625 74
Yun
P 4

PENGARUH BEBAN PELAKSANAAN TERHADAP KESTABILAN TIMBUNAN DIATAS TANAH LUNAK

TESIS

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil

Oleh

NOERHADI YUNIARTO

PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2003

" Ilmu yang bermanfaat adalah ilmu yang diamalkan bagi kepentingan Nusa , Bangsa & Agama"

Ya ALLAH YA ROBBI ampunilah segala dosaku
rahmatilah hambamu ini dan keluarga hamba ,
ampunilah segala dosa almarhum kedua orang tua hamba
dan masukkanlah hamba kedalam orang – orang yang ENGKAU beri berkah
Dunia dan Akhirat, ya ALLAH hanya kepada MU lah hamba
menyembah dan hanya kepada MU lah hamba
memohon pertolongan.

Tulisan ini kuperuntukkan bagi :
Istriku tercinta Sri Harnanik
Anak –anakku tersayang
Anita Yuniasari & Ismilla Kurnia Yuniasari
Semoga kebahagiaan selalu menaungi kita bersama.

PENGARUH BEBAN PELAKSANAAN TERHADAP KESTABILAN TIMBUNAN DIATAS TANAH LUNAK

TESIS

Disusun oleh :
NOERHADI YUNIARTO
NIM : L4A.098 030

Disetujui Untuk Dipresentasikan

Pembimbing I,

Ir. Muhrozi, MS

Pembimbing II,

Drs. Bagus Priyatno, ST, MT

PENGARUH BEBAN PELAKSANAAN TERHADAP KESTABILAN TIMBUNAN DIATAS TANAH LUNAK

Disusun oleh :

NOERHADI YUNIARTO

NIM : L4A 098 030

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :
27 Juni 2003

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji :

Ketua : Ir. Muhrozi, MS .....

Sekretaris : Drs.BagusPriyatno,ST,MT .....

Anggota 1 : Dr.Ir. Sri Prabandiyani,M.Sc .....

Anggota 2 : Ir. Djoko Purwanto , MS .....

Anggota 3 : Ir. Bagus Hario Setiadji,ST,MT .....

Semarang, 27 Juni 2003

Universitas Diponegoro
Program Pasca Sarjana
Magister Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Ir. Suripin, M. Eng

ABSTRAKSI

Jembatan Banjir Kanal Timur yang dibangun di lokasi antara pelabuhan Tanjung Mas dan jalan Kaligawe Semarang, berada pada daerah Tanah Lunak dengan konstruksi pondasi tiang pancang dimana konstruksi tiang pancang tersebut tidak mencapai tanah keras dan hanya tertumpu pada lapisan tanah lunak (*soft soil*), sehingga sangat rawan terhadap gaya lateral / horisontal yang timbul akibat adanya beban-beban pelaksanaan bila suatu saat akan dilaksanakan pembangunan jalan/jembatan baru disampingnya.

Untuk itu perlu dilakukan suatu penelitian guna mengantisipasi agar pelaksanaan pembangunan jalan / jembatan di samping bangunan jembatan Banjir Kanal Timur tidak mengganggu kestabilan konstruksi jembatan *existing*.

Pelaksanaan penelitian dilakukan di empat titik lokasi penelitian di sekitar pier (1, 2, 3, 4), jembatan Banjir Kanal Timur meliputi penyelidikan tanah di lapangan dan uji laboratorium. Hasil dari tenyelidikan tanah diketahui bahwa tanah di daerah tersebut pada kedalaman –0.00 m sampai dengan -14.00 m terdapat lapisan lempung sangat lunak sampai dengan lunak, sedangkan pada kedalaman –14.00 m sampai dengan -23.00 m merupakan lapisan lempung lunak sampai dengan teguh dan dari hasil perhitungan Stabilitas Lereng dengan menggunakan *Slope/W* diketahui bahwa H_{cr} timbunan tanpa beban pelaksanaan adalah 2.30 m dengan panjang bidang gelincir (L) = 17.12 m dan H_{cr} timbunan dengan beban pelaksanaan adalah 1.90 m dengan panjang bidang gelincir (L) = 16.60 m dengan Faktor Keamanan (FS) = 1.2. Hasil tersebut diharapkan dapat digunakan untuk evaluasi dalam pembangunan jalan / jembatan baru di samping jembatan Banjir Kanal Timur *existing* agar dalam pelaksanaan nantinya letak jembatan baru tidak kurang dari 17.12 m dan tinggi timbunan tidak melebihi 1.90 m. Dengan demikian diharapkan pembangunan jalan dan jembatan tersebut dapat terealisasi dengan baik, dan tidak mengganggu konstruksi jembatan Banjir Kanal Timur *existing*, dan penelitian ini diharapkan dapat dipakai pula sebagai acuan pada daerah lain yang mempunyai sifat tanah sejenis.

ABSTRACT

Banjir Kanal Timur Bridge, located in Semarang between Tanjung Mas Harbour and Kaligawe road, is built on soft soil. The bridge is supported by foundation piles, which did not reached hard soil layer, therefore it is very sensitive to the lateral forces or horizontal forces, may be caused by construction a new road or bridge close to it.

For that reason, the research is needed to anticipate the existing bridge stability disturbance due to the new bridge construction.

The research is carried out which in four location points surrounding the area of Banjir Kanal Timur Bridge Pier (1, 2, 3 and 4) covers soil test in the field and laboratory test. The result of soil test show that the soil in this area at deepth of – 0.00 m up to – 14.00 m is very soft clay to soft clay, while at depth of – 14.00 m up to – 23.00 m represents soft to firmness clay, the critical thickness embankment H_{cr} without load is 2.30 m with slip length (L) = 17.12 m and H_{cr} with load is 1.90 m with slip length (L) = 16.60 m with Factor of Safety (FS) = 1.2. It is conclude that the construction of new bridge would not disturb the stability of the existing bridge when built at least 17.12 m away from the existing bridge, and the embankment is need high than 1.90 m.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis ini dengan judul "Pengaruh Beban Pelaksanaan Terhadap Kestabilan Timbunan Di Atas Tanah Lunak".

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

Dalam penyelesaian Tesis ini penulis tidak melupakan bantuan dari pihak lain yang semuanya telah memberikan support dan bimbingan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan Tesis ini.

Untuk itu pada kesempatan ini perkenankanlah penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT tempat penulis menyembah dan memohon pertolongannya.
2. Istri tercinta dan anak-anak yang selalu memberikan dorongan semangat sehingga walaupun banyak rintangan akhirnya dapat juga penulis menyelesaikan Tesis ini.
3. Almarhum Ayah dan Ibuku semoga amal sholeh beliau dapat diterima Allah SWT dan mendapat tempat yang layak disisinya.
4. Ir. Muhrozi, MT dan Drs. Bagus Prayitno, ST, MT yang telah memberikan motivasi dan wawasan dalam penyelesaian Tesis ini.
5. Pimpinan dan Staff Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Universitas Diponegoro Semarang.
6. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tesis ini.

Semarang, 27 Juni 2003

Penulis,

NOERHADI YUNIARTO
NIM : L4A 098 030

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
ABSTRAKSI ii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN xii
DAFTAR LAMPIRAN xiv

BAB I : PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Permasalahan 2
1.3. Maksud dan Tujuan 3
1.4. Batasan Masalaah 4
BAB II. STUDI PUSTAKA 5
2.1. Diskripsi Dan Klasifikasi Tanah 5
2.1.1. Klasifikasi Tanah 5
2.1.2. Deskripsi Sistimatik 6
2.2. Struktur Geologi 7
2.3. Dataran Pantai Semarang (Wilayah Semarang Bawah) 8
2.4. Sifat Fisis Dan Indeks Tanah 10
2.4.1. Definisi Dasar Dan Hubungan Volume - Berat 10
2.4.2. Struktur Tanah 13
2.4.3. Batas Atterberg (Konsistensi) 17
2.5. Kekuatan Geser Tanah 18
2.5.1. Sifat Umum Kuat Geser Tanah 18
2.5.2. Sifat Kekuatan Geser Pada Tanah Berbutir Halus 19
2.6. Prinsip Tegangan Effektif 21
2.7. Tekanan Air Pori Akibat Tambahan Beban 22
2.8. Tekanan Air Pori Selama Konsolidasi 25
2.9. Kemantapan Lereng 26

2.9.1. Kemantapan Lereng Pada Tanah Kohesif dan Friction (C - ϕ Soil)..... 27
2.9.2. Kemantapan Lereng Pada Tanah Kohesif (C - Soil)..... 28
2.10. Kapasitas Daya Dukung Tanah..... 30
2.11. Definisi Tanah Lunak 33
2.12. Penelitian Yang Pernah Dilakukan..... 34
BAB III. METODE KOMPLILASI DATA DAN PENELITIAN..... 36
3.1. Pengumpulan Data..... 36
3.1.1. Data Sekunder..... 36
3.1.2. Data Primer..... 36
3.1.3 Jenis Data..... 36
3.2. Lokasi dan Tujuan Penyelidikan Tanah..... 38
3.2.1. Lokasi Penyelidikan Tanah..... 38
3.2.2. Tujuan Penyelidikan Tanah..... 38
3.3. Lingkup Penyelidikan Tanah..... 39
3.3.1. Penyelidikan Tanah..... 39
3.4. Pengujian Laboratorium..... 43
3.4.1. Indeks Properties..... 43
3.4.2. Engineering Properties..... 48
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... 49
4.1. Hasil Penelitian..... 49
4.1.1. Berat Jenis Tanah (*GS*)..... 49
4.1.2. Water Content (*W*)..... 49
4.1.3. Berat Isi (*Unit Weight*)..... 50
4.1.4. Hasil Boring..... 50
4.1.5. Hasil Sondir..... 52
4.1.6. Hasil Vane Shear Test..... 54
4.2. Pembahasan..... 55
4.2.1. Hubungan (Korelasi) Antara Nilai qc dengan Cu pada Penelitian 1..... 55
4.2.2. Hubungan (Korelasi) Antara Nilai qc dengan Cu pada Penelitian 2..... 57
4.2.3. Hubungan (Korelasi) Antara Nilai qc dengan Cu pada Penelitian 3..... 59

4.2.4. Hubungan (Korelasi) Antara Nilai qc dengan Cu pada Penelitian 4 61
4.2.5. Menentukan Nilai Cu_{design} dan qc_{design} pada Kedalaman 0.00 m – 14.00 m 64
4.2.6. Menentukan Nilai Cu_{design} dan qc_{design} pada Kedalaman 14.00 m – 23.00 m 65
4.2.7. Analisa Kestabilan Lereng 70
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN 79
5.1. Kesimpulan 79
5.2. Saran 80
DAFTAR PUSTAKA 81

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
2.1.	Klasifikasi Teknis Tanah	7
2.2.	Hasil Boring di Lokasi Tambak Lorok	9
2.3.	Berat Jenis Untuk Berbagai Macam Tanah	13
2.4.	Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah	18
2.5.	Parameter Tekanan Ruang Pori (A)	24
2.6.	Taylor's Stability Numbers	29
2.7.	Common Properties of Clay Soils	33
2.8.	Hubungan Konsistensi Tanah Dengan Nilai Kuat Geser Undrained (qu), Nspt dan Berat Isi Tanah (γ)	34
4.1.	Spesific Gravity	49
4.2.	Water Content	49
4.3.	Berat Isi (*Unit Weight*)	50
4.4.	Hasil Boring pada Penelitian 1	50
4.5.	Hasil Boring pada Penelitian 2	51
4.6.	Hasil Boring pada Penelitian 3	51
4.7.	Hasil Boring pada Penelitian 4	51
4.8.	Konsistensi Tanah	52
4.9.	Hasil Sondir pada Penelitian 1	52
4.10.	Hasil Sondir pada Penelitian 2	53
4.11.	Hasil Sondir pada Penelitian 3	53
4.12.	Hasil Sondir pada Penelitian 4	53
4.13.	Nilai Cu dari Hasil Vane Shear	54
4.14.	Korelasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 1 (P1)	55
4.15.	Kerolasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 2 (P2)	57
4.16.	Korelasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 3 (P3)	59
4.17.	Korelasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 4 (P4)	61
4.18.	Menentukan Cu_{desain} dari Nilai Konus Resistance (qc) pada Kedalaman 0.00 – 14.00 m	68

4.19. Menentukan Cu_{desain} dari Nilai Konus Resistance (qc) pada Kedalaman 14.00 – 23.00 m..... 69
4.20. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 1 71
4.21. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 2 73
4.22. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 3 75
4.23. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 4 77

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
2.1.	Diagram Fase Tanah	10
2.2.	Struktur Butir Tunggal (a) Lepas, (b) Padat	14
2.3.	Model Susunan Butiran yang Bulat dan Berukuran Sama (Tampak Atas) (a) Susunan yang Sangat Lepas, (b) Susunan yang Sangat Padat	14
2.4.	Struktur Sarang Lebah	15
2.5.	Struktur Tanah (a) Susunan Ped-Ped dan Ruang Pori Makro, (b) Susunan Domain-Domain dan Cluster-Cluster dengan Butiran Berukuran Lanau	17
2.6.	Lokasi-Lokasi Relatip dari Batas-Batas Plastis dan Suatu Tanah	17
2.7.	Kekuatan Geser Tanah	20
2.8.	Prinsip Tegangan Efektif	21
2.9.	Tekanan Air Pori Akibat Tambahan Beban	23
2.10.	Perubahan Volume	24
	2.10.a. Perubahan Volume	24
	2.10.b. Perubahan Volume	24
2.11.	Tekanan Air Pori Selama Konsolidasi	25
2.12.	Perubahan Tegangan	26
2.13.	Kemantapan Lereng (C, ϕ soil)	27
2.14.	Angka Kemantapan (Stability Numbers) Untuk Lereng dengan Kekuatan Geser Seragam ($\phi = 0$)	30
2.15.	Kapasitas Daya Dukung Tanah	31
2.16.	Prinsip Analisis Daya Dukung Tanah	31
2.17.	Timbunan Oprit Jembatan Kapuas Kecil Waktu Mencapai Ketinggian 3.20 m, Timbunan Retak Selebar ± 10 cm	35
3.1.	Bagan Alur Penelitian	37
3.2.	Sketsa Lokasi Penelitian Proyek	38
3.3.	Percobaan Alat Vane Shear	41
4.1.	Grafik Korelasi Nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane Shear*) pada Penelitian 1	56
4.2.	Grafik Korelasi Nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane Shear*) pada Penelitian 2	58
4.3.	Grafik Korelasi Nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane Shear*) pada Penelitian 3	60
4.4.	Grafik Korelasi Nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane Shear*) pada Penelitian 4	62
4.5.	Grafik Gabungan pada Penelitian 1, 2, 3 dan 4	63

4.6. Dimensi Timbunan dan Data Tanah pada Penelitian 1, 2, 3, 4 70
4.7. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 1 71
4.8. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Panjang Bidang Gelincir (L) pada Penelitian 1 72
4.9. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 2 73
4.10. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Panjang Bidang Gelincir (L) pada Penelitian 2 74
4.11. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 3 75
4.12. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Panjang Bidang Gelincir (L) pada Penelitian 3 76
4.13. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 4 77
4.14. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Panjang Bidang Gelincir (L) pada Penelitian 4 78

DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

Lambang dan Notasi

Inggris

A	Parameter tekanan ruang
C	Compressi tanah
c	Kohesi tanah
Cc	Compressibilitas butiran tanah hasil dari tekanan uniaxial dengan zero excess pure water pressure.
Ce	Koefisien of the volume expansibility
Cp	Compressibilitas air pori
Cu	Kekuatan geser undrained
Df	Faktor kedalaman
e	Void ratio
FK	Faktor Keamanan
GS	Spesific Gravity
m	Massa total tanah
ms	Massa butiran padat tanah
n	Porosity
N	Gaya normal
Ns	Angka kemantapan
PI	Indeks Plastisitas
qc	Konus resistance
qult	Kapasitas daya dukung
R	Jari-jari
S	Derajat kejenuhan
t	Waktu
u	Tegangan air pori
V	Volume total tanah
Vo	Volume tanah semula
Va	Volume udara
Vw	Volume air
Vs	Volume butiran

w	Kadar air
W	Berat total tanah
Wa	Berat udara
W_L	Batas cair
W_P	Batas plastis
Ww	Berat air
Ws	Berat butiran tanah

Yunani

β	Sudut kemiringan
ε	Regangan
ε'	Kecepatan regangan
γ	Berat volume
γ_d	Berat satuan kering
γ_{sat}	Berat satuan jenuh
ϕ	Sudut geser dalam
ρ	Density
σ	Tegangan efektif

Singkatan

ASSTHO	*American Association of State Highway and Transportation Officials.*
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
CBR	*California Bearing Ratio.*
ZAV	*Zero Air Voids.*

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
A	Profil Tanah.....	82
B	Liquid and Palstic Limit Test.....	86
C	Percobaan Kekuatan Tekan Bebas.....	98
D	Sondir.....	102
E	Vane Shear Test.....	110
F	Grain Size.....	114
G	Soil Test.....	118
H	Hasil Pemeriksaan Tanah Urugan Pilihan.....	122
I	Analisa Kestabilan Lereng.....	126

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di negara-negara berkembang jumlah penduduk cenderung meningkat, termasuk di Indonesia laju pertumbuhan penduduk sekitar 1.75 % per tahun dan pada akhir-akhir ini laju pertumbuhan penduduk di Jawa Tengah terus meningkat sekitar 3.50 % pertahun.

Pertumbuhan penduduk tersebut akan membawa dampak bagi perkembangan suatu wilayah, dimana kegiatan ekonomi akan meningkat guna melayani pemenuhan kebutuhan masyarakat di wilayah tersebut dan untuk mempercepat pertumbuhan ekonomi seiring dengan pertumbuhan penduduk yang ada perlu didukung sarana dan prasarana transportasi yang memadai, sehingga arus pergerakan barang dan manusia dapat berjalan dengan lancar.

Kota Semarang sebagai ibu kota Propinsi Jawa Tengah yang terletak di jalur pantai utara Pulau Jawa mempunyai peranan yang sangat vital, selain sebagai ibu kota propinsi Jawa Tengah, kota Semarang juga berfungsi sebagai kota yang menghubungkan antara kota Surabaya dengan ibu kota Jakarta, hal ini tentunya berdampak terhadap pertumbuhan arus lalu lintas yang ada di kota Semarang cenderung terus meningkat dan menimbulkan kemacetan di tengah perkotaan, terutama pada jam-jam sibuk. Kemacetan arus lalu lintas terutama terjadi di perlintasan rel kereta api jalan Kaligawe dan bundaran Kalibanteng.

Untuk menghindari kemacetan lalu lintas di jalan Kaligawe dan bundaran Kalibanteng, diperlukan jalur lintas (jalan alternatif) yang dimulai dari bundaran Kalibanteng sampai ke jalan Kaligawe dan pertemuan dengan jalan Tol seksi C atau yang lebih dikenal dengan nama jalan Lingkar Utara Semarang. Jalan tersebut dibangun oleh pemerintah melalui program *Semarang Surakarta Urban Development Project* (SSUDP) dan *Strategic Urban Road Infra Structure Project* (SURIP).

Jalan Lingkar Utara Semarang yang dibiayai oleh pemerintah melalui program SURIP dan SSUDP dikerjakan melalui beberapa tahapan meliputi :

a. Jalan Lingkar Utara Semarang seksi 1 tahap I :

Dimulai dari bundaran Kalibanteng sampai dengan perempatan Tanah Mas sepanjang 4.38 km (4 lajur), dibiayai melalui program SURIP.

UPT-PUSTAK-UNDIP

b. Jalan Lingkar Utara Semarang seksi 1 tahap II :

Dimulai dari perempatan Tanah Mas sampai depan pintu I pelabuhan Tanjung Mas sepanjang 2.85 km (4 lajur), dibiayai melalui Program SURIP.

c. Jalan Lingkar Utara Semarang seksi 2 :

Dimulai dari pintu I pelabuhan Tanjung Mas sampai dengan pintu IV pelabuhan Tanjung Mas sepanjang 1.3 km berupa jalan layang (*fly over*) 4 lajur, dibiayai melalui Program SURIP.

d. Jalan Lingkar Utara Semarang seksi 3 tahap I :

Dimulai dari pintu IV pelabuhan Tanjung Mas sampai dengan pertigaan jalan Kaligawe dan pertemuan dengan jalan Tol seksi C sepanjang 3 km (2 lajur), dibiayai melalui Program SSUDP.

e. Jalan Lingkar Utara Semarang Seksi 3 Tahap II (dalam perencanaan) :

Direncanakan dimulai dari pintu IV Pelabuhan Tanjung Mas sampai dengan pertigaan jalan Kaligawe dan pertemuan dengan jalan Tol seksi C sepanjang 3 km (2 lajur).

Dengan dibangunnya jalan Lingkar Utara Semarang ini diharapkan semua kendaraan berat dari luar kota Semarang, baik dari arah Jakarta maupun dari arah Surabaya dapat melalui jalur tesebut, sehingga kepadatan lalu lintas di tengah kota dapat dikurangi dan kemacetan yang terjadi di dalam kota dapat teratasi.

1.2. Permasalahan

Jalan Lingkar Utara Semarang seksi 3 tahap I yang dimulai dari pintu IV Pelabuhan Tanjung Mas sampai dengan pertigaan jalan Kaligawe dan pertemuan dengan jalan Tol seksi C sepanjang 3 km (2 lajur) dibangun pada tahun 1996 melalui program SSUDP dilaksanakan oleh PT. Aempe Pluit Bataco Raya Jakarta.

Pada saat penggalian tanah untuk konstruksi *footing* jembatan Banjir Kanal Timur galian tanah tersebut mengalami kelongsoran dan menyebabkan sebagain besar tiang pancang patah dan bergerak mengumpul di luar titik semula yang dipancang.

Dari hasil penyelidikan yang dilakukan oleh pihak proyek, konsultan dan kontraktor dengan dibantu oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) jalan Bandung disimpulkan bahwa tiang pancang yang ada sebagian besar patah pada kedalaman –6.00 m sampai –8.00 m dari pangkal tiang pancang maka untuk mengatasi hal tersebut diperlukan penambahan tiang pancang, penambahan tiang pancang tersebut harus tetap mengikuti

kedalaman tiang pancang yang sudah ada (-32.00 m) dari permukaan tanah karena konstruksi tiang pancang yang ada terletak pada lapisan tanah lunak (*soft soil*) maka konstruksi tiang pancang tersebut sangat rawan terhadap bahaya penurunan dan gaya lateral / horisontal.

Hal-hal pokok yang melatar belakangi penulisan tesis ini sebagai berikut :

a. Jembatan Banjir Kanal Timur dibangun di atas lapisan *alluvial* sangat muda dan sangat tebal, yang mempunyai sifat sangat lunak dan masih dalam proses konsolidasi.
b. Pada lokasi tersebut lapisan tanah lunak (*soft soil*) mencapai kedalaman –40.00 m dari permukaan tanah setempat dan lapisan lensa pasir medium padat terletak pada kedalaman –45.00 m sampai –55.00 m.

Kedalaman tiang pancang jembatan Banjir Kanal Timur hanya mencapai kedalaman -32.00 m dari permukaan tanah dan tertumpu pada lapisan tanah lunak (*soft soils*), sehingga konstruksi pondasi jembatan tersebut sangat rawan terhadap gaya lateral / horizontal yang diakibatkan oleh beban-beban pelaksanaan apabila jembatan baru dibangun didekat konstruksi jembatan Banjir Kanal Timur, mengingat hal tersebut maka rencana pelaksanaan jembatan baru yang akan dibangun disamping jembatan Banjir Kanal Timur harus diperhitungkan secara matang terhadap jarak minimal antara bangunan jembatan Banjir Kanal Timur dengan jembatan baru sehingga pengaruh gaya lateral / horisontal yang ditimbulkan oleh beban pelaksanaan tidak mempengaruhi konstruksi pondasi jembatan Banjir Kanal Timur.

Permasalahan ini diangkat sebagai bahan tesis dalam rangka untuk mengetahui secara jelas permasalahan pengaruh beban pelaksanaan terhadap kestabilan timbunan di atas tanah lunak agar pelaksanaan pembangunan jembatan baru yang terletak disamping jembatan Banjir Kanal Timur dapat ditentukan jarak minimal yang harus dipenuhi antara konstruksi jembatan Banjir Kanal Timur dengan konstruksi jembatan baru.

1.3. Maksud dan Tujuan

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh beban pelaksanaan terhadap kestabilan timbunan diatas tanah lunak yang diakibatkan oleh beban pelaksanaan pembangunan jalan dan jembatan baru disamping jembatan Banjir Kanal Timur.

Mengingat jembatan Banjir Kanal Timur hanya tertumpu pada pondasi tiang pancang yang tidak mencapai tanah keras dan terletak di lokasi tanah lunak (*soft soil*), maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Mencari panjang maksimal bidang gelincir timbunan tanah sehingga dapat ditentukan jarak yang tepat (jarak minimal) antara konstruksi jembatan Banjir Kanal Timur terhadap

konstruksi jembatan baru yang akan dibangun, agar pada waktu pelaksanaan jembatan baru tidak menimbulkan pengaruh yang berarti terhadap kestabilan konstruksi jembatan Banjir Kanal Timur.

b. Memberikan sumbang saran kepada instansi terkait yang akan melaksanakan pembangunan jalan lingkar Semarang seksi 3 tahap 2 dimasa yang akan datang, untuk tetap memperhatikan jarak minimal yang harus dipenuhi antara jembatan Banjir Kanal Timur *existing* dengan jembatan baru yang akan dibangun.

1.4. Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang dibahas dalam penulisan Tesis ini perlu dilakukan agar tidak keluar dari inti permasalahan dan untuk menghindari meluasnya penulisan, untuk itu perlu diambil pembatasan masalah sebagai berikut :

a. Untuk mengetahui parameter tanah sangat lunak (nilai Cu) yang akurat secara insitu test di lokasi penelitian dengan alat vane shear dan mencari korelasi nilai Cu dari vane shear dengan nilai konus resistance (qc) dari test sondir.

b. Tesis ini hanya mengkaji mengenai panjang maximum bidang gelincir dari suatu timbunan diatas tanah lunak.

BAB II
STUDI PUSTAKA

2.1. Deskripsi dan Klasifikasi Tanah

Istilah "Tanah" dalam bidang mekanika tanah dipakai untuk mencakup semua bahan seperti lempung, pasir, kerikil dan batu-batu yang besar. Untuk membedakan serta menunjukkan dengan tepat masing-masing sifat bahan-bahan ini, telah dipakai metode-metode sistimatik, sehingga untuk tanah-tanah tertentu dapat diberikan nama yang tepat dan istilah-istilah tentang sifatnya, dapat dipilih dengan tepat. Metode sistimatik ini pada umumnya disebut sistim klasifikasi.

Haruslah dimengerti dengan jelas bahwa metode-metode yang dipakai dalam Teknik Sipil (yang dimaksud : Mekanika Tanah), untuk membedakan dan menyatakan berbagai tanah, adalah betul-betul berbeda dari metode-metode yang dipakai dalam bidang geologi atau ilmu tanah. Sistim Klasifikasi yang dipakai dalam Mekanika Tanah dimaksudkan untuk memberikan keterangan mengenai sifat-sifat teknis dari bahan-bahan tersebut dengan cara yang sama seperti halnya pernyataan-pernyataan secara geologis dimaksudkan untuk memberikan keterangan mengenai asal geologis dari bahan-bahan itu.

Metode-metode klasifikasi ini tidak boleh dicampur baur, bahwa pun diperbolehkan untuk melampirkan keterangan geologis pada akhir dari keterangan Mekanika Tanah.

2.1.1. Klasifikasi Tanah

Dari sudut pandang teknis, tanah dapat digolongkan kedalam macam pokok berikut ini (*sumber : L.D. Wesley, Mekanika Tanah, 1977*) :

a. Batu Kerikil (*Gravel*)
b. Pasir (*Sand*)
c. Lanau (*Silt*)
d. Lempung (*Clay*) : - Inorganik
   - Organik

Golongan Batu Kerikil dan Pasir sering kali dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir kasar atau bahan-bahan tidak kohesif, sedang golongan Lanau dan Lempung dikenal sebagai kelas bahan-bahan yang berbutir halus atau bahan-bahan kohesif.

a. Batu Kerikil dan Pasir

Golongan ini terdiri dari pecahan-pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butir-butir Batu Kerikil biasanya terdiri dari pecahan-pecahan batu, tetapi kadang-kadang mungkin terdiri dari satu macam zat mineral tertentu, misalnya kwartz, flint. Butir-butir pasir hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral, terutama kwartz.

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

b. Lempung

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

c. Lanau

Adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus, kurang plastis dan lebih mudah ditembus air dari pada lempung dan memperlihatkan sifat dilatansi yang tidak terdapat pada lempung. Dilatansi ini menunjukkan gejala perubahan isi apabila Lanau itu berubah bentuknya. Jika Lanau akan menunjukkan gejala untuk menjadi *quick* (hidup) apabila diguncang atau digetarkan.

2.1.2 Deskripsi Sistimatik

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

Sedikit banyak, sifat-sifat tanah selalu tergantung pada ukuran butir-butirnya, dan ini dipakai sebagai titik tolak untuk klasifikasi teknis dari tanah. Berdasarkan ini, tanah dibagi seperti dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Klasifikasi Teknis Tanah

Macam Tanah	Batas-batas Ukuran
Berangkal (*Boulder*)	> 8 inci (20 cm)
Kerakal (*Cobblestone*)	3 inci – 8 inci (8 cm – 20 cm)
Batu Kerikil (*Gravel*)	2 mm – 3 inci (2 mm – 8 cm)
Pasir Kasar (*Course sand*)	0.6 mm – 2 mm
Pasir Sedang (*Medium sand*)	0.2 mm – 0.6 mm
Pasir Halus (*Fine sand*)	0.06 mm – 0.2 mm
Lanau (*Silt*)	0.002 mm – 0.06 mm
Lempung (*Clay*)	< 0.002 mm

Sumber : L.D. Wesley, Mekanika Tanah, 1977.

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

Akan tetapi lain halnya dengan tanah yang berbutir halus. Pada tanah ini diketahui bahwa tidak ada hubungan langsung antara sifat-sifatnya dengan ukuran butir-butirnya. Karena alasan inilah, maka untuk menyatakan sifat-sifat dan mengklasifikasikannya dipakai metode-metode lain, yaitu terutama percobaan Batas Atterberg. Dengan kata lain, apabila sudah jelas diketahui bahwa butir-butir tanah tertentu seluruhnya lebih halus dari 0.06 mm, maka tak perlu lagi mengukur lebih lanjut ukuran-ukuran butirnya, untuk menentukan apakah tanah itu lanau ataukah Lempung, penentuannya dilakukan atas dasar hasil percobaan Batas Atterberg.

2.2. Struktur Geologi

Berdasarkan peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, struktur geologi di daerah Semarang diidentifikasikan sebagai berikut:

a. Struktur Geologi Sesar, struktur geologi sesar tersingkap di bagian selatan daerah Semarang pada jarak ± 9 km dari lokasi dataran pantai atau lokasi yang mengalami rob. Tipe struktur geologi tersebut yaitu sesar normal, dari bentuk topografi kedudukan lapisan memperlihatkan kemiringan kearah utara.

b. Struktur Geologi Kelurusan (*Lineament*), indikasi kelurusan ini pada peta geologi daerah Semarang dijumpai memanjang pada arah utara - selatan terletak di dua tempat, yang pertama kelurusan bagian timur memanjang dari lokasi dataran pantai hingga daerah Kramas, Tembalang, dan yang kedua dari dataran pantai hingga di bagian hulu Kali Garang di wilayah Ungaran.

Dari bentuk topografi, kedudukan lapisan dan indikasi kelurusan (*lineament*) yang lebih kurang merupakan batas-batas daerah depresi alamiah dari wilayah atau lokasi yang mengalami banjir akibat rob di kota Semarang.

2.3. Dataran Pantai Semarang (Wilayah Semarang Bawah)

Tinjauan geologi dataran pantai Semarang, secara morfologi merupakan delta Kali Garang dengan susunan litologi terdiri dari (berdasarkan data hasil pemboran teknik PLTGU Tambaklorok, 1993) : bagian atas merupakan material timbunan lanau pasiran dan lempung lanau coklat lunak, agak plastis - sangat plastis tebal 3 - 5 meter, material lempung lanau, lanau pasiran dan pasir lanauan abu-abu agak plastis - sangat plastis, tebal 11 - 18 meter, selang-seling lempung abu-abu gelap, lanau pasiran, lempung lanau mengandung material organik, agak plastis - sangat plastis, tebal 10 - 16 meter; selanjutnya material pasir lanau coklat, non plastis dengan nilai permeabilitas (K) bervariasi dari 0.26 x 1O^-6 sampai dengan 1.66 x 1O^-3 cm/det, selang-seling material lempung, lanau pasiran serta pasir lanau tersedimentasi lemah (agak padat - padat).

Untuk daerah Tanah Mas dan sekitarnya kondisi tanah dapat diuraikan sebagai berikut : bagian atas merupakan material timbunan padas dan sampah berwarna coklat agak plastis - sangat plastis tebal 1 - 2 meter, material lempung sangat lunak sampai lunak sedikit sisipan pasir lepas pada kedalaman -2.00 m sampai dengan -25.00 m, lempung plastis - sangat plastis lunak dan selang-seling lanau pasiran gelap agak plastis terdapat pada kedalaman -25.00 m sampai dengan -35.00 m. Pada kedalaman -37.00 m sampai dengan -55.00 m terdapat lempung lunak sampai medium semi plastis berwama abu-abu dan dibawahnya pada kedalaman -60.00 m sampai dengan -70.00 m terdapat lapisan *breksi* dan *lapili tufa*.

Sifat mekanik tanah dan sifat konsolidasi tanah di daerah Semarang bawah dapat dilihat seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Hasil Boring di Lokasi Tambak Lorok

Sifat Tanah	0.00-2.50 m	2.50 - 6 m	6 - 15 m	15 - 30 m	30 – 60 m
N-spt	3-8	0-3	4-8	9-26	10-29
qc (kg/cm2)	19	2-10	12	24-60	-
Cu (kg/cm2)	1.0	0.16	0.40	1.0	1.2
Coefisien Compression (Cc)	0.25	0.70	0.50	0.45	0.40
Cr	0.05	0.15	0.10	0.09	0.08
Coefisien of Consolidation Cv (cm^2/det)	0.00035	0.00020	0.00015	0.00010	0.00010
Over Consolidation Rasio (OCR)	1.00	< 1.0	< 1.0	1.00	1.20

Sumber : Data Hasil Pemboran Teknik PLTGU, Tambak Lorok, 1993.

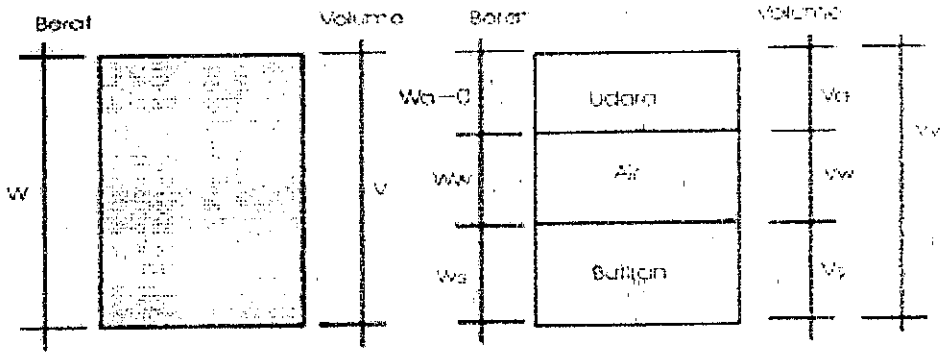
Struktur lapisan tanah di Semarang bagian tengah secara umum dapat diuraikan sebagai berikut : kedalaman -0.00 m sampai dengan -2.50 m berupa lempung kelanauan lunak berwarna abu-abu dengan nilai N.spt = 3 - 8. Kedalaman -2.50 m sampai dengan -6.00 m terdapat lapisan pasir halus lanauan dengan N.spt = 0 - 3. Kedalaman -6.00 m sampai dengan -15.00 m terdapat tanah lanau pasiran berwarna abu-abu diselingi dengan lensa pasir tipis berwarna abu-abu dengan N.spt. = 4 - 8. Kedalaman -15.00 m sampai dengan -30 m terdapat lapisan *tufa breksi* mengandung krikil berwarna coklat dengan N.spt = 9 - 26, dan dibawahnya sampai kedalaman -60.00 m terdapat lapisan *breksi, lapili tufa* dengan N.spt = 10 sampai dengan N.spt > 29.

Struktur lapisan tanah di Semarang bagian atas sekitar Jangli dan SPBU Kaliwiru dapat diuraikan sebagai berikut : kedalaman -0.00 m sampai dengan -5.00 m berupa lempung coklat kehitaman lunak sampai kecil dengan N.spt = 13 -36. Kedalaman - 5.00 m sampai dengan -15.00 m terdapat lapisan batu pasir berwarna coklat kehitaman padat sampai sangat padat dengan N.spt = 45 sampai dengan N.spt. > 60. Kedalaman -15.00 m sampai dengan -20.00 m terdapat batu lempung coklat keras sampai sangat keras dengan N.spt. > 60. Kedalaman -20.00 m sampai dengan -40 m terdapat lapisan *tufa breksi* dan *andesit* sangat keras dengan N.spt > 60.

Dilihat dari data sifat-sifat tanah yang ada, maka tanah di Semarang atas kurang potensi terhadap penurunan sedangkan tanah disekitar Semarang bawah mempunyai potensi penurunan yang sangat besar.

2.4. Sifat Fisis dan Indeks Tanah

2.4.1. Definisi Dasar Dan Hubungan Volume - Berat



Gambar 2.1. Diagram Fase Tanah

Pada Gambar 2.1 memperlihatkan bahwa tanah itu terdiri dari :

1). Pori atau ruang kosong (*voids*), yang merupakan ruang-ruang terbuka antara butir-butir tanah dengan berbagai ukuran.

2). Butir-butir tanah, baik berukuran makroskopis atau mikroskopis. Makroskopis adalah partikel-partikel tanah yang dapat dilihat dengan mata, sedangkan mikroskopis hanya bisa dilihat dengan bantuan mikroskop atau alat pembesar lainnya. Mikroskopis walaupun tidak dapat terlihat oleh mata tetapi bukan berarti jumlahnya sedikit.

3). Kelembaban tanah, yang akan menyebabkan tanah terlihat basah, lembab ataupun kering. Air di dalam pori atau ruang kosong disebut air pori.

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

Berat satuan tanah adalah berat per satuan volume. Jadi dapat diwujudkan pada persamaan (2-1).

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

atau persamaan (2-2)

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

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

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{Ws + Ww}{V} = \frac{Ws\left[1 + \left(\frac{Ww}{Ws}\right)\right]}{V} = \frac{Ws(1+w)}{V} \quad \text{(2-3)}$$

keterangan :

Ws = berat butiran tanah

Ww = berat air

γ = berat volume

Berat volume (*unit weight*) yang didefinisikan dengan persamaan (2-3) disebut juga berat volume basah (*moist unit weight*).

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

$$\gamma = \frac{Ws}{V} \quad \text{(2-4)}$$

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

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

keterangan :

γ_d = berat volume kering

w = kadar air

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

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

dan

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad \frac{\gamma}{1+w} \quad \text{(2-7)}$$

keterangan :

ρ = kerapatan *(density)*

ρ_d = kerapatan tanah kering

m = massa total tanah

m_s = massa butiran padat tanah

Hubungan volume dan berat pada suatu tanah adalah :

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

$$e = \frac{Vv}{Vs} \quad \text{(2-8)}$$

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

$$0 < e \leq \infty$$

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

$$n = \frac{Vv}{V} \quad \text{(2-9)}$$

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

$$S = \frac{Vw}{Vv} \quad \text{(2-10)}$$

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

$$w = \frac{Ww}{Ws} x100 \quad \text{(2-11)}$$

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

Batas-batas kadar air adalah :

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

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

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

$$Gs = \frac{\text{Berat butir}}{\text{Berat air dengan volume yang sama}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}12)$$

Atau

$$Gs = Gs = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{Ws}{V_s \gamma_w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2\text{-}13)$$

Berat jenis untuk tiap jenis tanah berbeda-beda. Pada Tabel 2.3 disajikan mengenai Gs berbagai jenis tanah.

Tabel 2.3. Berat Jenis Untuk Berbagai Macam Tanah.

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil (*Gravel*)	2,65-2,68
Pasir *(Sand)*	2,65-2,68
Pasir kwarsa (Quartz sand)	2,64-2,66
Lanau (*Sill*)	2,66-2,7
Lempung (*Clay*)	2,68-2,8
Kapur *(chalk)*	2,60-2,75
Gambut (Peat)	1,3-1,9

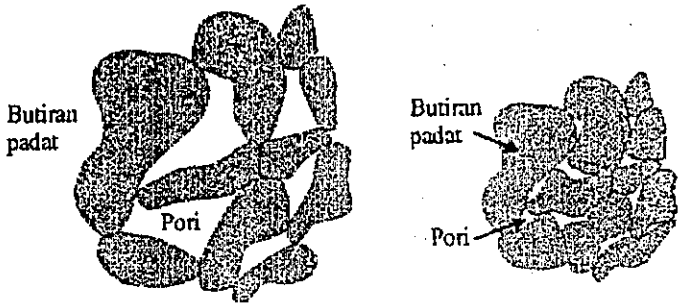
Sumber : L.D. Wesley, Mekanika Tanah, 1977.

2.4.2. Struktur Tanah

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

a. Struktur Tanah Tak Kohesif

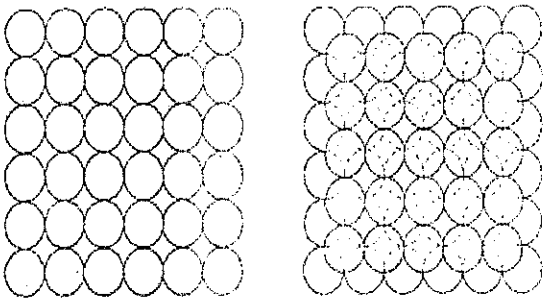
Struktur tanah tak berkohesi pada umumnya dapat dibagi dalam dua kategori pokok struktur butir tunggal *(single-grained)* dan struktur sarang lebah *(honeycombed)*. Pada struktur butir tunggal, butiran tanah berada dalam posisi stabil dan tiap-tiap butiran bersentuhan satu sama lain. Bentuk dan pembagian ukuran butiran tanah serta, kedudukannya mempengaruhi sifat kepadatan tanah (Gambar 2.2).



(a) (b)

Gambar 2.2. Struktur Butir Tunggal (a) Lepas, (b) Padat.

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang variasi angka pori yang disebabkan oleh kedudukan butiran, perhatikan suatu susunan yang terdiri dari butiran yang bulat dan berukuran sama seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



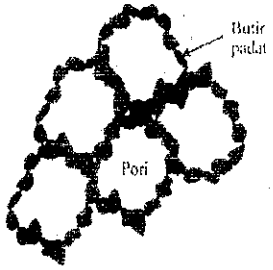
(a). Sangat lepas (e = 0,91) (b). Sangat padat (e = 0,35)

Gambar 2.3. Model Susunan Butiran yang Bulat dan Berukuran Sama (tampak atas)
(a) Susunan yang sangat lepas, (b) Susunan yang sangat padat.

Untuk suatu susunan dalam keadaan yang sangat lepas, angka pori adalah 0,91. Tetapi angka pori berkurang menjadi 0,35 bilamana butiran bulat dengan ukuran sama tersebut diatur sedemikian rupa hingga susunan menjadi sangat padat. Keadaan tanah

asli berbeda dengan model karena butiran tanah asli tidak mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Pada tanah asli, butiran dengan ukuran terkecil menempati rongga diantara butiran besar. Keadaan ini menunjukkan kecenderungan terhadap pengurangan angka pori tanah. Tetapi, ketidakrataan bentuk butiran pada umumnya menyebabkan adanya kecenderungan terhadap penambahan angka pori dari tanah. Sebagai akibat dari dua faktor tersebut, maka angka pori yang didapat tanah asli kira-kira masuk dalam rentang yang sama seperti angka pori yang didapat dari model tanah di mana bentuk dan ukuran butiran adalah sama.

Pada struktur sarang lebah (Gambar 2.4), pasir halus dan lanau membentuk lengkung-lengkung kecil hingga merupakan rantai butiran. Tanah yang mempunyai struktur sarang-lebah mempunyai angka pori besar dan biasanya dapat memikul beban statis yang tak begitu besar. Tetapi, apabila struktur tersebut dikenai beban berat atau apabila dikenai beban bergetar, struktur tanah akan rusak dan menyebabkan penurunan yang besar.



Gambar 2.4. Struktur Sarang Lebah.

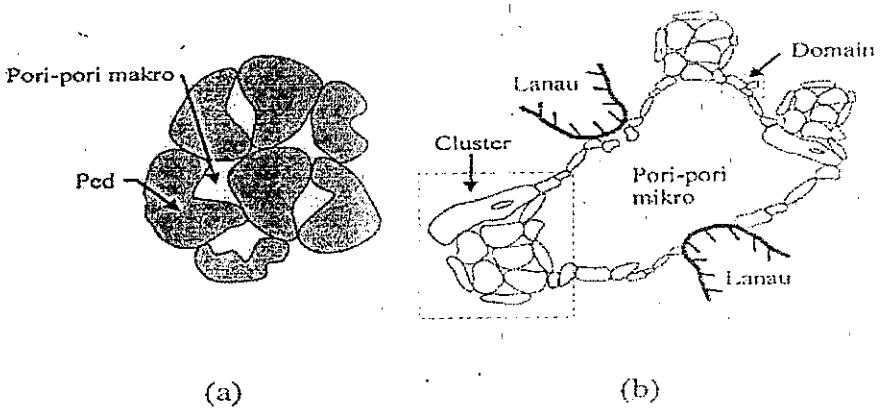
Tanah gambut termasuk tanah tidak kohesif karena butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan bersatu dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan di dalam air.

b. Struktur Tanah Kohesif

Untuk dapat mengerti dasar dari struktur tanah kohesif, perlu diketahui tipe dari gaya-gaya yang bekerja antara butir-butir tanah lempung yang terlarut dalam air. Pada umumnya tanah lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Muatan negatif dinetralkan oleh adanya *exchange cations* (ion-ion positif yang mudah berganti dengan yang lain) seperti Ca++, Mg++, Na+ dan Ka+ yang mengelilingi

partikel lempung tersebut dan terikat pada partikel oleh gaya tarik menarik *elektostatik*. Bila air kemudian ditambahkan kepada lempung tersebut, kation-kation tersebut dan sejumlah kecil *anion-anion* (ion bermuatan negatif) akan berenang diantara partikel-partikel itu. Keadaan ini disebut sebagai lapisan ganda terdefusi *(defifuse double layer)*. Bilamana dua butiran lempung dalam larutan terletak berdekatan satu terhadap yang lain, lapisan ganda terdefusi dari kedua butiran tersebut akan menyebabkan gaya tolak-menolak. Pada waktu yang sama, timbul juga gaya tarik menarik antar butiran lempung yang disebabkan oleh gaya Van Der Waal yang tidak tergantung pada sifat air. Kedua gaya tolak-menolak dan tarik-menarik ini akan bertambah dengan berkurangnya jarak antara partikel-partikel lempung tetapi kecepatan penambahan untuk kedua gaya tersebut tidak sama. Bilamana jarak antara partikel-partikel sangat kecil, gaya tarik-menarik adalah lebih besar daripada gaya tolak-menolak.

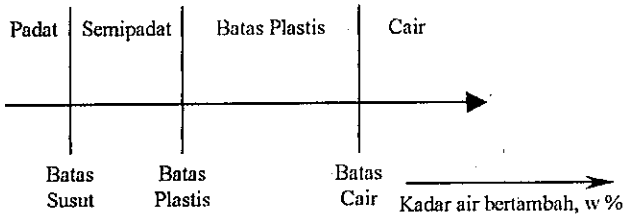
Deposit tanah yang terdiri atas mineral lempung saja ternyata jarang ditemui. Maka dari itu, bilamana suatu tanah mengandung 50% atau lebih partikel dengan ukuran 0,002 mm atau kurang, biasanya tanah tersebut dinamakan lempung. Studi dengan alat *scanning electron microscopes* menunjukkan bahwa tiap-tiap partikel lempung cenderung untuk menggumpal dalam ukuran-ukuran yang kecil. Gumpalan-gumpalan kecil tersebut dinamakan *domain*. Beberapa *domain* kemudian bersama-sama membentuk kelompok yang dinamakan *cluster*. *Cluster* dapat dilihat dengan alat mikroskop biasa. Beberapa *cluster* mengelompok bersama-sama membentuk *ped*, pengelompokkan *cluster-cluster* disebabkan karena adanya gaya antar partikel. *Ped* dapat dilihat tanpa *mikroskopis*. Kelompok dari *ped* merupakan suatu struktur makro yang lengkap dengan sambungan dan retakan. Susunan beberapa *ped* dengan pori-pori makro (*macropori*) dan pori-pori mikro (*micropori*) ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut ini;



Gambar 2.5. Struktur Tanah (a) Susunan *ped-ped d*an ruang pori makro. (b) Susunan *domain-domain* dan *cluster-cluster* dengan butiran berukuran lanau.

2.4.3. Batas Atterberg (Konsistensi)

Atterberg sekitar tahun 1911 memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi tanah. Batas-batas konsistensi tanah ini didasarkan kepada kadar air. Gambar 2.6 memperlihatkan lokasi-lokasi dari batas-batas plastis dan cair suatu tanah.



Gambar 2.6. Lokasi-lokasi Relatif dari Batas-batas Plastis dan Cair Suatu Tanah.

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

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

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

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

3. Indeks Plastisitas

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

   $Ip = W_L - w_p$ ..... (2-14)

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan dari suatu jenis tanah. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah dan kohesinya dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah.

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

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

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

2.5. Kekuatan Geser Tanah

2.5.1. Sifat Umum Kuat Geser Tanah

Pengetahuan tentang kekuatan geser tanah diperlukan untuk berbagai macam masalah praktis dalam mekanika tanah dan teknik pondasi yang meliputi :

- Stabilitas Lereng (galian dan timbunan)
- Kapasitas Daya Dukung Tanah
- Tegangan Tanah terhadap Dinding Penahan Tanah
- Tahanan Geser pada Pondasi Tiang

Sangat sedikit bangunan dalam Teknik Sipil yang tidak ada hubungannya dengan kekuatan geser tanah, dengan mengetahui kekuatan geser suatu tanah, kita dengan mudah dapat menyelesaikan kasus-kasus yang kita temui dalam kaitannya dengan Rekayasa Mekanika Tanah dan Pondasi.

Secara phisik kekuatan geser tanah ini merupakan sumbangan dari tiga komponen pada tanah yang bersangkutan, yaitu :

- Sifat bidang geser antara butir partikel tanah
- Kohesi dan Adhesi antara partikel tanah
- Bidang kontak yang saling mengunci antar partikel tanah untuk menahan deformasi.

Pada kenyataannya besarnya kekuatan geser tanah sangat bervariasi, tergantung dari kondisi tanah dan merupakan fungsi dari beberapa faktor yang sangat komplek, secara keseluruhan persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut :

$S = f(C,c,e,\phi,\sigma,\varepsilon,\varepsilon',H,S,\gamma,w)$ ..... (2.15)

keterangan :

C : compresi tanah	ε' : kecepatan regangan
c : kohesi tanah	H : stress history
e : angka pori	S : struktur tanah
ϕ : sudut geser dalam	γ : berat volume
σ : tegangan efektif	w : kadar air
ε : regangan	dan lain-lain

2.5.2. Sifat Kekuatan Geser Pada Tanah Berbutir Halus

Keruntuhan geser (*shear failure*) dalam tanah adalah akibat gerak relatif antar butir tanah, bukanlah karena butir tanah itu sendiri yang hancur. Oleh karena itu kekuatan tanah tergantung pada gaya-gaya yang bekerja antara butirnya dengan demikian kekuatan geser tanah dianggap terdiri dari dua bagian :

a. Bagian yang bersifat kohesi yang tergantung kepada macam tanah dan kepadatan butirnya.
b. Bagian yang mempunyai sifat gesekan (*frictional*), yang sebanding dengan tegangan effektif yang bekerja pada bidang geser.

Mohr pada tahun 1910, dalam teorinya menganggap bahwa keruntuhan sepanjang bidang didalam suatu bahan akan terjadi akibat kombinasi antara tegangan normal (σ) dan tegangan geser (S), dan bukan salah satunya. Hubungan kedua tegangan ini dapat ditulis sebagai berikut :

$S = f(\sigma)$ ..... (2.16)

Sedangkan pada tahun 1776 oleh Coulomb mendefinisikan f (σ) sebagai fungsi dari C + σ tan ϕ, apabila dimasukkan pada persamaan 2.16. maka dapat ditulis :

$S = C + \sigma \tan \phi$ ..... (2.17)

keterangan : C = cohesi tanah

ϕ = sudut geser dalam tanah

Persamaan 2.17. ini dikenal sebagai kreteria keruntuhan Mohr-Coulomb, dengan demikian maka persamaan. 2.17 diatas menjadi :

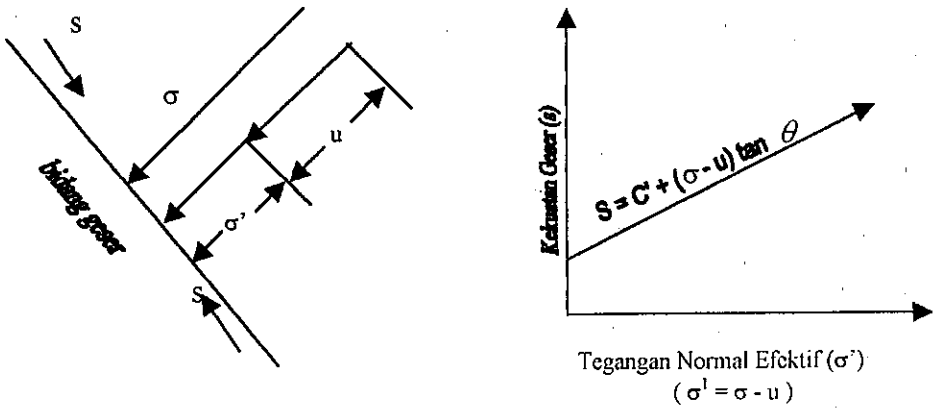
$S = C + (\sigma - u) \tan \phi$ ..... (2.18)

keterangan : u = tegangan air pori

σ = tegangan total pada bidang Geser

S = Kekuatan Geser

Rumus ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Kekuatan Geser Tanah

Besarnya parameter kekuatan geser tanah yang kita dapatkan untuk perencanaan sebenarnya dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi : karakteristik material tanah, metode pengujian (lapangan, laboratorium) dan faktor luar (pelaksanaan beban).

Ketiga faktor ini akan mempengaruhi hasil dari parameter tanah yang kita dapat. Untuk tanah berbutir halus kekuatan gesernya sangat dipengaruhi oleh tingkat tegangan awal yang pernah bekerja yang ditunjukkan oleh Konsistensi Tanah yang bersangkutan. Dari hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh para pakar sebagai berikut :

Sanglerat (1972)

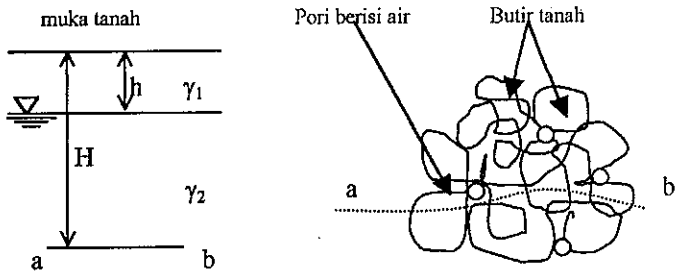
$Cu = \frac{qc}{10}$ (lokasi di *Great Britain*) Inggris

$$Cu = \frac{qc}{10 - 20}$$ (lokasi di *Annency*) Perancis

2.6. Prinsip Tegangan Effektif

Besarnya pengaruh gaya-gaya yang menjalar dari partikel ke partikel lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui sejak tahun 1923 oleh Terzaghi, ketika beliau mengemukakan prinsip tegangan effektif yang didasarkan pada data hasil percobaan dan prinsip ini hanya berlaku untuk tanah yang jenuh sempurna.

Untuk mempelajari besarnya tegangan yang bekerja pada tanah dan khususnya pada kerangka butiran tanah, maka kita dapat menghitung besarnya tegangan pada kedalaman H dibawah permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Prinsip Tegangan Efektif

Permukaan air tanah terletak pada kedalaman h, dan berat isi tanah yang terletak diatas muka air = γ_1, sedangkan berat isi tanah dibawah muka air = γ_2, maka tegangan pada bidang a-b pada kedalaman h dapat dihitung

yaitu : $\sigma = \gamma_1 h + \gamma_2 (H-h)$ ..... (2.19)

dimana = σ = tegangan total pada bidang a-b didalam tanah, yang dinyatakan sebagai gaya persatuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah fase tunggal.

Selain tegangan total ini, besarnya tegangan air didalam ruang pori ini dapat kita hitung, tegangan ini disebut tegangan air pori (u). Semua pori didalam tanah berhubungan satu dengan yang lain, sehingga tegangan air pori adalah sama dengan tegangan hidrostatistik.

yaitu : $u = \gamma_w (H-h)$ ..... (2.20)

Tegangan air pori yang bekerja diruangan antara butir tanah akan mengurangi tegangan yang sebenarnya bekerja pada butir-butir tanah. Tegangan yang bekerja pada kerangka butir tanah adalah selisih antara tegangan total dengan tegangan pori.

yaitu : $\sigma = \sigma - u$ ..... (2.21)

apabila persamaan 2.19 dan 2.20 disubtitusikan pada persamaan 2.21.

maka : $\sigma = \gamma_1 h + \gamma_2 (H-h) - \gamma_w (H-h)$

$\sigma = \gamma_1 h + (\gamma_2 - \gamma_w) (H-h)$ ..... (2.22)

Disebutkan tegangan effektif karena (σ) ini mempunyai efek (pengaruh) pada kerangka tanah, yang biasa diinterpretasikan sebagai jumlah tekanan normal (ΣN) dalam luasan dibagi luas tersebut.

Persamaan 2.22 sebagai rumusan yang terpenting dalam bidang mekanika tanah, karena sebagian besar masalah-masalah dalam bidang ini menyangkut dua hal utama yaitu :

a. Kemampatan tanah, yaitu perubahan isi tanah yang terjadi akibat perubahan tekanan yang bekerja pada tanah.
b. Kekuatan geser tanah.

2.7. Tekanan Air Pori Akibat Tambahan Beban

Untuk mengetahui perilaku meningkatnya tekanan air pori dalam tanah akibat berbagai macam tambahan beban pada kondisi tanah tak berdrainase secara teori dan pengamatan adalah sangat penting dalam mekanika tanah.

Apabila tambahan beban yang bekerja pada tanah sangat pelan dan dimungkinkan air pori mengalir keluar (berdrainase) maka secara praktis tidak ada tekanan air pori pada tanah tersebut, sebaliknya bila tanah menerima tambahan beban secara cepat dan *coefisien permeabilitas* tanah kecil (tanah lempung dan lanau) maka air pori tak sempat berdrainase, akibatnya tekanan Hidrostastik bertambah besar.

Phenomea tekanan air pori ini dipengaruhi oleh kondisi tekanan yang bekerja, seperti :

a. Tekanan Isotropik, dimana besarnya perubahan tegangan vertikal sama dengan perubahan tegangan Horizontal.
b. Tekanan Triaxial, dimana penambahan tegangan vertikal tidak sama dengan tegangan Horizontal.

c. Tekanan Uniaxial (*Confining Pressure*), dimana perubahan tekanan horisontal sebagai fungsi dari perubahan tekanan vertikal.

Tanah dalam keadaan jenuh apabila menerima tambahan beban sebesar ($\Delta\sigma$) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.a. dan drainase tidak diijinkan maka tekanan air pori akan bertambah sebesar (Δu), dimana besarnya $\Delta u = \gamma\ h$ (Gambar 2.9.b).

Bertambah besarnya tekanan air pori ini akan menyebabkan berubahnya volume ruang air pori sebesar ΔVp, yang besarnya adalah :

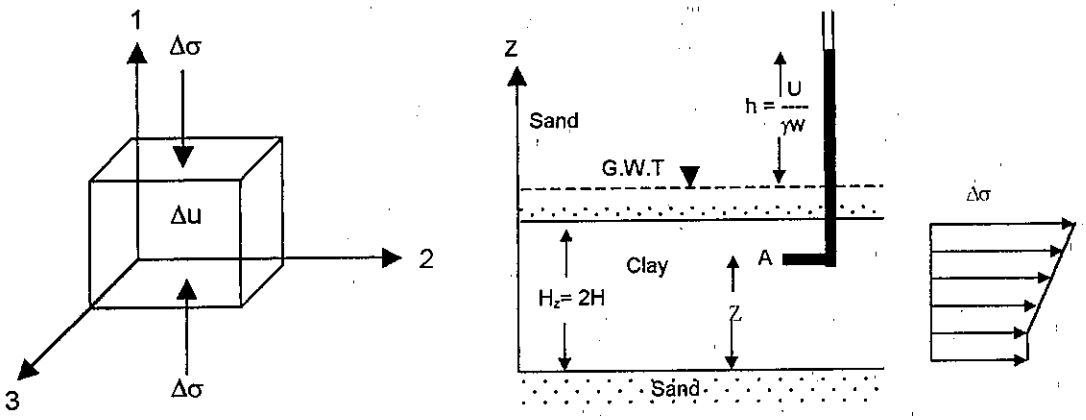
$$\Delta Vp = n\ Vo\ Cp\ \Delta u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.23)$$

keterangan :

n = porosity

Cp = compressibilitas air pori

Vo = volume tanah semula



Gambar 2.9. Tekanan Air Pori Akibat Tambahan Beban

Dari Gambar 2.10. akibat dari tambahan beban sebesar ($\Delta\sigma$) maka tekanan efektif pada elemen tanah adalah sebagai berikut :

arah 1 = $\Delta\sigma' = \Delta\sigma - \Delta u$

arah 2 = $\Delta\sigma' = 0 - \Delta u = -\Delta u$

arah 3 = $\Delta\sigma' = 0 - \Delta u = -\Delta u$

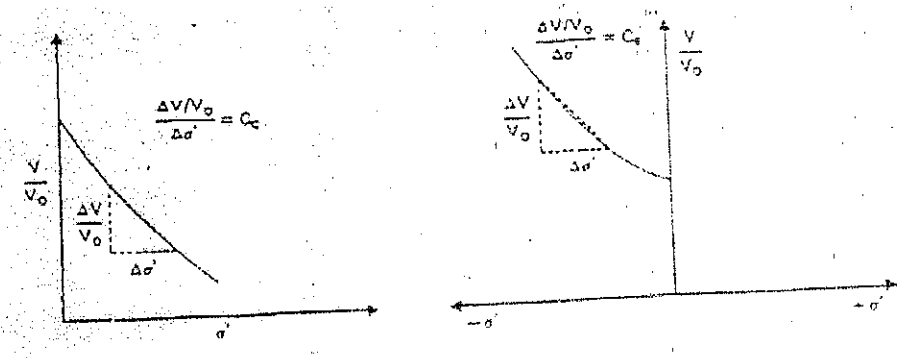
perubahan volume pada butir tanah dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta V = Cc\ Vo\ (\Delta\sigma - \Delta u) + Ce\ Vo\ (-\Delta u) + Ce\ Vo\ (-\Delta u) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.24)$$

keterangan :

Cc = compressibilitas butiran tanah hasil dari tekanan uniaxial dengan zero excess pore water pressure (Gambar 2.10.a)

Ce = koefisien of the volume expansibility (Gambar 2.10.b)



a. b.

Gambar 2. 10. a. dan 2. 10. b. Perubahan Volume

dari persamaan 2.23. dan 2.24. akan didapat :

$\Delta Vp = \Delta V$

$n\ Vo\ Cp\ \Delta u = Cc\ Vo\ (\Delta\sigma - \Delta u) - 2\ Ce\ Vo\ \Delta u$

$$\text{atau } \frac{\Delta u}{\Delta \sigma} = A = \frac{Cc}{n\ Cp + Cc + 2\ Ce} \quad \text{.....} \quad (2.25)$$

dimana A adalah parameter tekanan ruang pori (Skempton 1954). Bila diasumsikan tanah dalam keadaan elastis maka :

Cc = Ce atau A = 1/ (n (Cp/Cc) + 3)

Dalam kenyataan bahwa harga Cp sangat kecil dibanding dengan Cc sehingga Cp/Cc = 0, maka A = 1/3.

Tabel 2.5. Parameter Tekanan Ruang Pori (A)

Jenis tanah	A
Clay dg sensitivity tinggi	0.75 – 1.50
Clay normal konsolidasi	0.50 – 1.00
Clay overkonsolidasi	-0.50 – 0.00
Lempung kepasiran yang dipadatkan	0.50 – 0.75

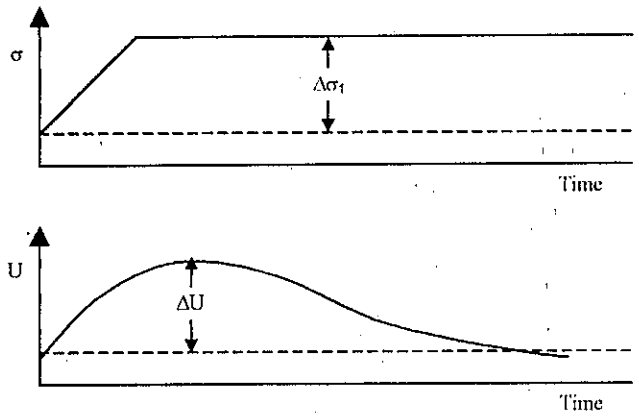
Material tanah tidak ada yang elastis sempurna maka harga A ini juga akan bervariasi, Tabel 2.5 menyajikan berbagai harga A dengan berbagai jenis tanah.

2.8. Tekanan Air Pori Selama Konsolidasi

Suatu lapisan tanah yang menerima tambahan tekanan akibat beban konstruksi tentunya akan mengalami pemampatan, selama proses pemampatan ini akan diikuti pula penyusunan kembali butiran tanah dan keluarnya air pori. Terzaghi (1943) mengatakan "berkurangnya kadar air pada tanah yang jenuh tanpa penggantian air oleh udara disebut proses konsolidasi".

Tanah lempung yang jenuh dan mempunyai koefisien permeability yang rendah apabila diberi tambahan beban seperti beban pondasi maka tekanan air pori segera naik, adanya waktu yang lama akibat beban tersebut bekerja air pori akan keluar sehingga tanah tersebut akan mengalami penurunan (*Settlement*).

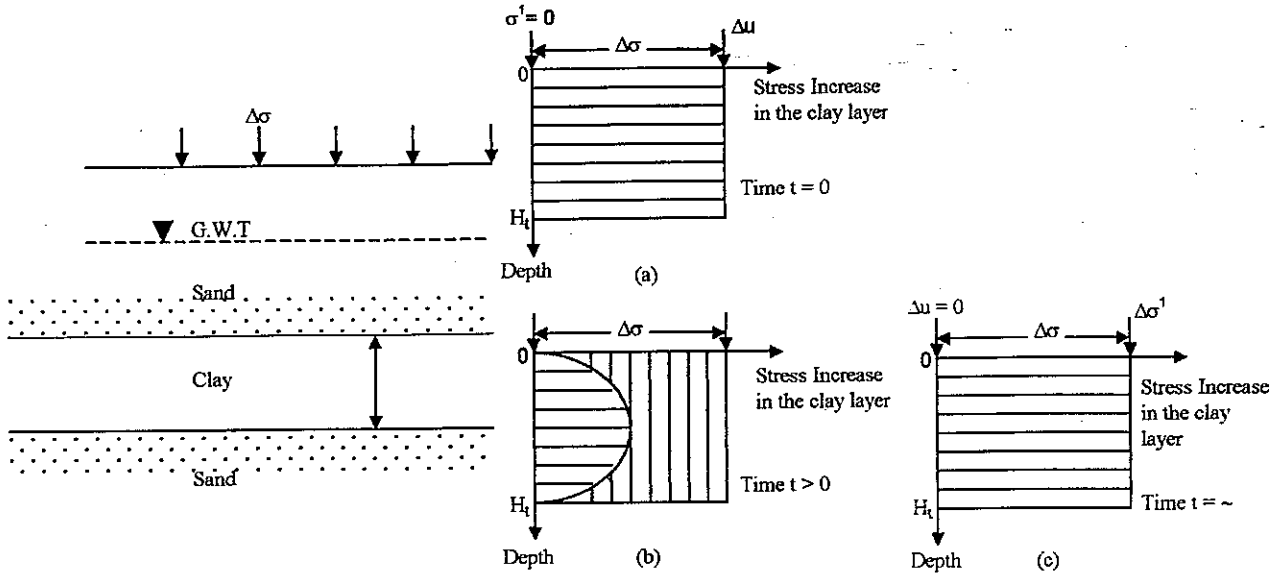
Phenomea tekanan air pori lebih akibat tambahan beban terhadap waktu seperti terlihat pada Gambar 2.11. dapat jelaskan sebagai berikut : tekanan air pori naik sesuai dengan naiknya beban yang bekerja, kenaikan air pori ini suatu saat mencapai puncaknya yang disebut *Initial Pore Water Pressure* setelah itu akan turun kembali mencapai keseimbangan gaya-gaya yang ada.



Gambar 2.11. Tekanan Air Pori Selama Konsolidasi

Seperti diuraikan diatas bahwa tekanan total sama dengan jumlah tekanan efektif dan tekanan air pori, adanya peristiwa konsolidasi ini tegangan air pori lambat laun akan berkurang sedang tegangan efektif semakin lama semakin besar, peristiwa ini dapat dilihat seperti Gambar 2.12.

UPT-PUSTAK-UNDIP



Gambar 2.12. Perubahan Tegangan

Adanya tambahan beban maka disetiap kedalaman lapisan clay akan mengalami perubahan tegangan, dengan kata lain pada waktu t = 0 tekanan yang ada diseluruh lapisan clay ditahan oleh tekanan air pori dan butiran tanah tidak menahan beban, seperti terlihat pada Gambar 2.12.(a).

Setelah beban bekerja (pada waktu t > 0), air yang ada di ruang pori akan mengalir ke arah lapisan pasir yang permeabilitasnya tinggi, maka tekanan air pori lebih akan berkurang, sebaliknya tekanan efektif akan bertambah, jadi untuk t > 0 seperti Gambar 2.12.(b). maka $\Delta\sigma' > 0$ dan $\Delta u < \Delta\sigma$. Secara teori pada waktu $t = t_1$, tekanan air pori disetiap kedalaman clay akan terdisipasi secara berangsur-angsur dengan cara berdrainase, jadi pada waktu t = ~maka $\Delta\sigma' = \Delta\sigma$ dan $\Delta u = 0$, seperti terlihat pada Gambar 2.12.(c).

Disini terlihat suatu proses dimana tekanan efektif berangsur-angsur bertambah disetiap lapisan clay sedang tekanan air pori berangsur-angsur berkurang yang pada akhirnya tegangan total sama dengan tegangan efektif.

2.9. Kemantapan Lereng

Timbunan tanah banyak dipakai untuk pekerjaan jalan raya, bendungan tipe urugan, jalan kereta api dan tanggul pada sungai. Kemantapan lereng sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik tanah dan sudut lereng tanah yang direncanakan, oleh karena itu kelongsoran dapat terjadi bila tidak ada keseimbangan antara kuat geser tanah dengan kemiringan lereng yang ada. Banyak cara yang dipakai untuk menghitung kemiringan lereng, cara yang aman dipakai untuk menghitung stabilitas lereng adalah analisa keseimbangan batas (*limit equilibriu method*).

Yaitu dengan menghitung besarnya kekuatan geser tanah yang diperlukan untuk mempertaruhkan kemantapan lereng dan dibandingkan dengan kekuatan jalan tanah yang ada. Dari perbandingan nilai tersebut akan didapatkan faktor keamanan (FK).

Sebagai langkah awal kita menganggap bahwa akan terjadi kelogsoran pada suatu bidang gelincir tertentu, kemudian dihitung gaya atau momen yang mencoba menyebabkan kelongsoran pada bidang tersebut akibat berat tanah. Gaya tersebut merupakan gaya penggerak (*Sliding Force*) atau momen penggerak (T*unning Moment*).

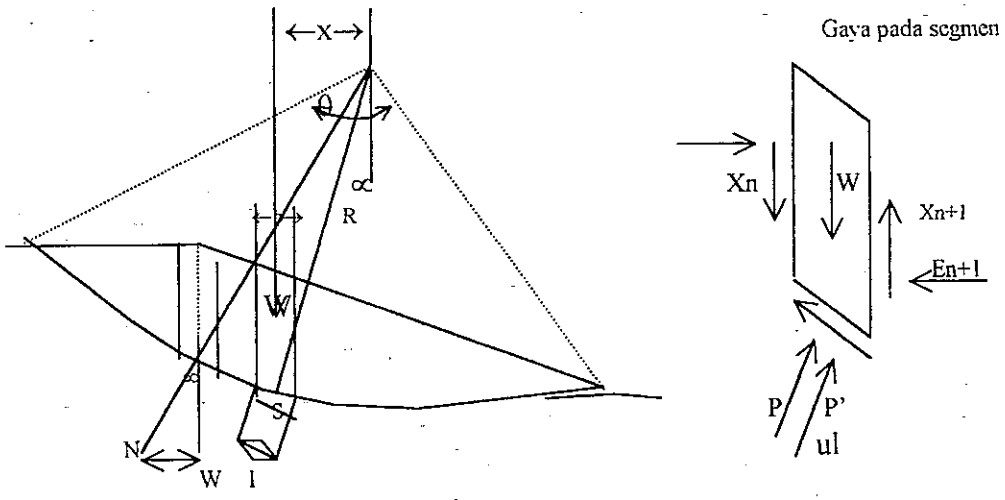
Selanjutnya kita menghitung gaya atau momen yang melawan kelongsoran, akibat kekuatan geser tanah, gaya ini disebut momen perlawanan (*Resisting Moment*).

Dengan mempersamakan kedua momen tersebut dapat ditentukan faktor keamanan terhadap kelongsoran pada bidang geser yang bersangkutan. Cara tersebut diulangi pada bidang gelincir yang lain, sampai didapatkan nilai faktor keamanan yang terkecil.

2.9.1. Kemantapan Lereng pada Tanah Kohesif dan Friction (C – ϕ Soil).

Teori ini dikembangkan oleh para ilmuwan Swedia (*Swedish Engineers*), untuk analisa stabilitas lereng biasanya kemiringan tanah dibagi dalam beberapa segmen / pias, hal ini diharapkan agar ketidak seragaman tanah dapat diperhitungkan dan juga agar gaya normal pada bidang geser dapat ditentukan.

Untuk lebih jelasnya analisa kemantapan lereng untuk tanah C - ϕ dengan metode potongan ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Kemantapan Lereng (C, ϕ soil)

Total momen pengerak (Σ W . X) diperoleh dengan menjumlahkan momen dari setiap segmen :

Total momen penggerak = Σ W . X

$$MT = \Sigma W . R . \text{Sin} \propto$$

$$= R \Sigma W \text{ Sin} \propto$$

Kekuatan geser pada Gambar 2.13 adalah S dan N maka untuk mempertahankan kekuatan geser pada kestabilan lereng tiap segmen adalah : C . d + tan ϕ N.

Jadi total momen penahan adalah :

MR = (C . L + tan $\phi \Sigma$N) R.

Faktor keamanan (FK) untuk stabilitas lereng adalah perbandingan antara kekuatan geser yang ada dengan kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan kestabilan lereng, jadi FK = MT/MR atau

$$FK = \frac{C . L + \tan \phi \Sigma N}{\Sigma W \sin \propto}$$

Nilai faktor keamanan (FK) ini ditentukan oleh banyak lingkaran yang ditinjau dan dicari nilai FK yang terkecil. Lingkaran dengan nilai FK paling kecil ini disebut lingkaran kritis (*Critical circle*).

2.9.2. Kemantapan Lereng pada Tanah Kohesif (C – Soil)

Untuk menentukan kemantapan lereng pada tanah lempung yang penuh air (*Fully Saturated Clay*) untuk jangka waktu pelaksanaan yang cepat, maka sebagai input data masukan adalah kekuatan geser undrained (Cu),

maka S = Cu (ϕ = c)

sehingga $Fx = \frac{\Sigma Cu . \propto}{W \text{ Sin} \propto} = \frac{C . L}{W \text{ Sin} \propto}$

Rumus diatas tidak perlu diketahui gaya normal pada bidang gelincir karena gaya tersebut tidak mempengaruhi kekuatan geser tanah (tan ϕ = tan 0 = 0). Pada kondisi tanah dianggap homogen denga kekuatan seragam (ϕ = 0 dan Cu = tetap) kestabilan dapat ditentukan dengan memakai "angka kemantapan" (*Stability Numbers*).

Angka kemantapan (Ns) adalah suatu angka yang tidak berdimensi dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$Ns = \frac{C}{\partial \text{ x H}}$$

keterangan :

Ns = angka kemantapan (*Stability numbers*)

∂ = berat isi tanah

C = kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan kestabilan lereng

H = tinggi lereng

Taylor's (1948) telah menghitung angka kemantapan (Ns) dengan menunjukkan grafik kemantapan terhadap sudut kemiringan β dan faktor kedalaman (Df) dalam bentuk grafik dan tabel. Bilamana sudut β ini lebih besar dari 52 % maka lingkaran kritis selalu dangkal, yaitu tidak pernah lebih dalam dari pada 52 % maka lingkaran kritis selalu dangkal.

Tetapi bilamana sudut β kurang dari 52 % maka lingkaran kritis akan selalu dalam dan untuk menyelesaikan perhitungan kita harus mengetahui dalam maksimum yang dapat dipakai lingkaran tersebut. Jalan maksimum ini ditentukan oleh adanya lapisan yang keras dibawah lempung yang bersangkutan.

Dalam maksimum dipakai untuk menghitung permintaan D yaitu:

DH = dalam sampai lapisan keras

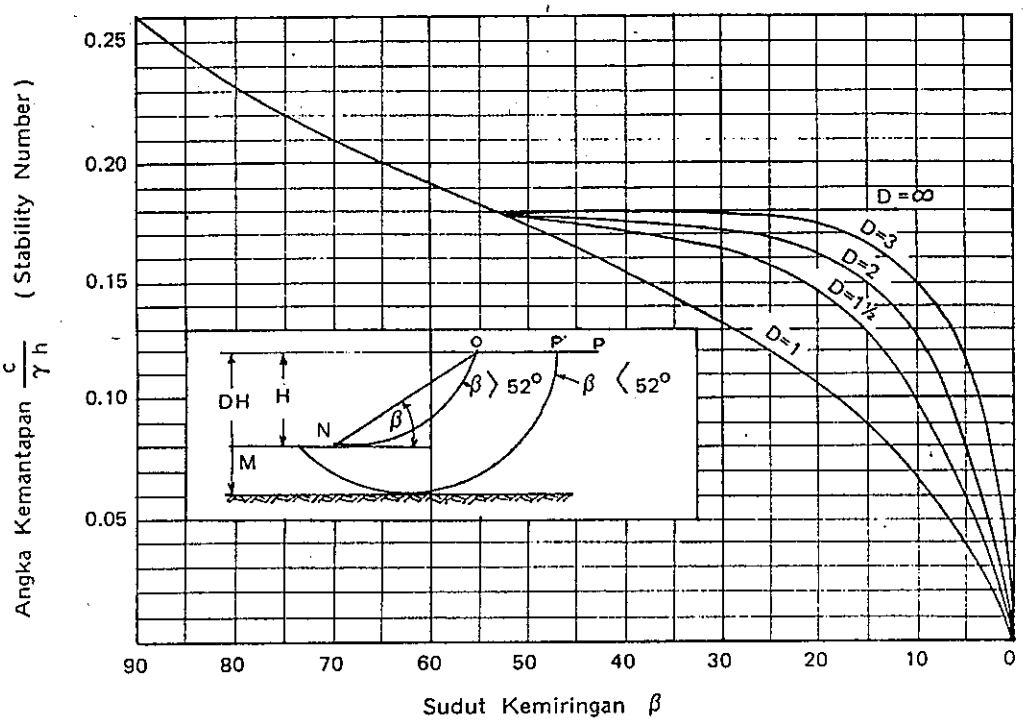
H = tinggi lereng

Taylor's telah menghitung angka kemantapan (Ns) untuk lereng dengan kuat geser tertentu dan sudut kemiringan tanah tertentu, seperti pada Tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6. Taylor's Stability Numbers

i \ ϕ	0°	5°	10°	15°	20°	25°
90°	0.261	0.239	0.218	0.199	0.182	0.166
75°	0.219	0.195	0.173	0.152	0.134	0.117
60°	0.191	0.162	0.138	0.116	0.097	0.079
45°	(0.17)	0.136	0.108	0.083	0.062	0.044
30°	(0.56)	(0.110)	0.075	0.046	0.062	0.009
15°	(0.145)	(0.068)	(0.02)	-	-	-

Sedangkan angka kemantapan (NS) untuk lereng dengan kekuatan geser silangan $\phi = 0$ dapat dilihat pada Gambar 2.14.



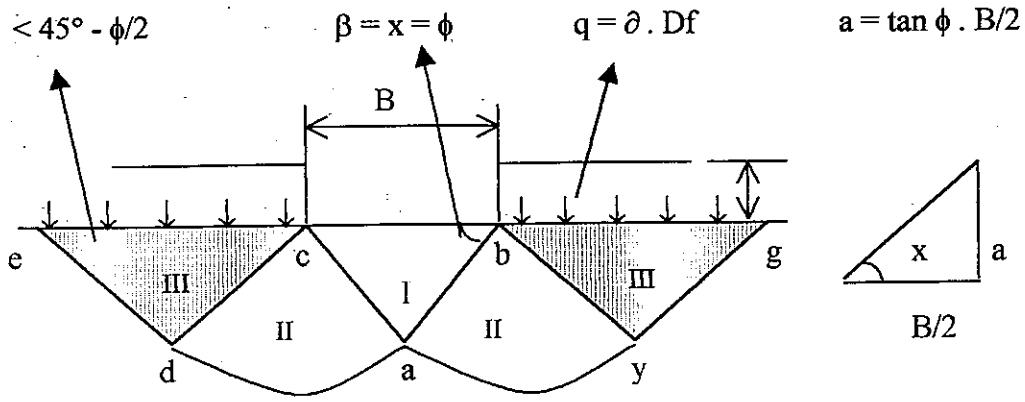
Gambar 2.14. Angka Kemantapan (*Stability Numbers*) Untuk Lereng Dengan Kekuatan Geser Seragam ($\phi = 0$)

2.10. Kapasitas Daya Dukung Tanah

Banyak formula gaya dukung tanah yang ada dalam buku, seperti formula Terzaghi, Mayerhof, Hanki, Vesic dll. Mengingat di daerah penelitian kondisi tanah sangat lunak dan beban timbunan tanah maka formula yang cocok adalah formula Terzaghi. Karena Terzaghi menganggap dasar pondasi tidak licin, sehingga gesekan antara dasar pondasi dengan tanah cukup tinggi. Dengan demikian melihat Gambar 2.15. Kapasitas Daya Dukung Tanah, bagian a, b dan c akan bergerak bersama dengan pondasi.

Bagian a – b – y merupakan daerah *radial shear* dan bagian b – y – g merupakan daerah tekan tanah pasif. Kekuatan tanah diatas garis b – g tidak diperhitungkan hanya beratnya saja yang diperhatikan.

Terzaghi (1883 – 1963) mengembangkan teori KOD (1930 – 1955)



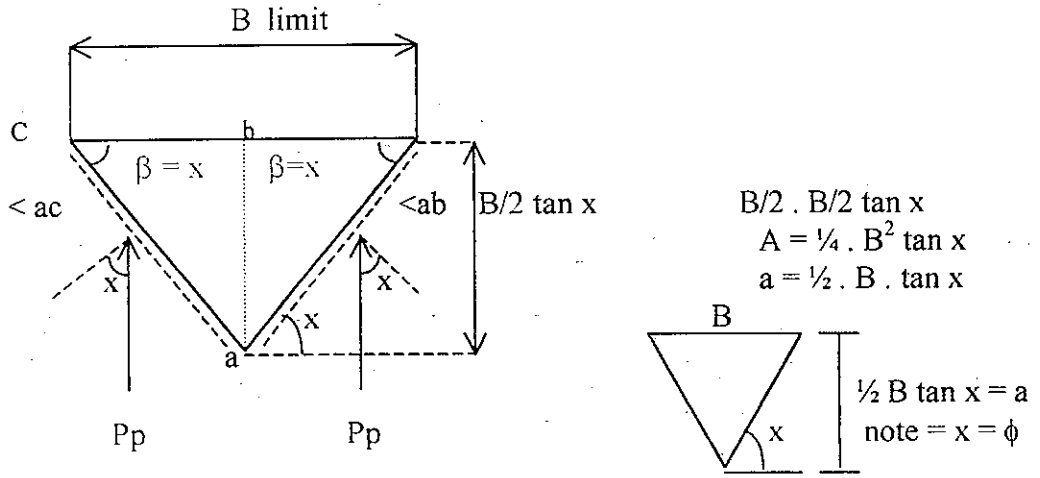
Gambar 2.15. Kapasitas Daya Dukung Tanah

Zona tegangan :

- Zone Elastis (*Zone I*) → bekerja sebagai bagian Pondasi
- Zone Geser Radial (*Zone II*) → Ujung dasar pondasi sebagai titik pusat spiral
- Zone Geser Linier (*Zone III*) → Berbatasan dengan bidang horizontal bersudut 45°-ϕ / 2

Prinsip Analisis Daya Dukung Tanah dapat dilihat pada Gambar 2.16.

- Akibat beban segitiga abc (*zone I*) akan kebawah, akibatnya timbul pergerakan lateral dari *zone II* dan *zone III*.
- Pergerakan lateral akan ditahan oleh gaya – gaya yang bekerja pada bidang a-b dan a-c gaya yang bekerja :
  a. Resultance tekanan pasir Pp
  b. Total kohesi yang bekerja sepanjang bidang a-b dan a-c.



Gambar 2.16. Prinsip Analisis Daya Dukung Tanah

Gaya yang bekerja :

a. Kebawah : - beban = qult .

- berat Δ gaya = ½ . b . B/2 tan ϕ . ∂

$= ¼ \partial b^2 \tan \phi$

b. Keatas : - Mobilitas Tek. pasif Pp

bekerja ⊥ → 2 Pp

- Mobilitas kohesi – c ac dan c ab

$ac = ab = \frac{b/2}{\cos \phi}$ $\sin \phi = B/2 \tan \phi$

$\sum V = 0$

$q\,ult \,.\, B = 2\,Pp + BC \tan \phi - ¼ \partial B^2 \tan \phi$ ..... (2.26)

Persamaan (1) dapat ditulis dalam bentuk lain :

$qult \,.\, B = (\, 2\,Pp\partial - ¼ \partial B^2 \tan \phi\,)\,(\sum Ppc + B.\,C \tan \phi) + 2\,Pp_2$..... (2.27)

Note → Ppϑ + Ppc + Ppq

oleh Terzaghi diambil :

$$\left.\begin{array}{ll} 2\,Pp\partial - ¼ \partial B2 \tan \phi & = B \times Y2\partial BN\partial \\ 2\,Ppc + BC \tan \phi & = B \times C \times NC \\ 2\,Pp2 & = B \times q \times Nq \rightarrow q \,.\, \sum_{t=1}^{n} J\,i\,Dfi \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (2.28)$$

Persamaan (2) menjadi

$q\,ult = CNc + q\,Nq + 0{,}5\,J\,BN\partial$..... (2.29)

Persamaan (a) menjadi persamaan K.D.D pondasi menerus dengan merubah bentuk pondasi (bentuk permukaan fundasi) dapat diturunkan persamaan K.D.D. fundasi lainnya.

Tipe Pondasi	Kapasitas Daya Dukung	
- Menerus	$q\,ult = CNc + q\,Nq - 0{,}5\,J\,BN\partial$	
- Empat persegi panjang	$q\,ult = 1{,}3\,CNc + q\,N\,q + 0{,}4\,\partial\,BN\,\partial$	.... (2.30)
- Lingkaran	$q\,ult = 1{,}3\,CNc + q\,N\,q + 0{,}3\,\partial\,BN\,\partial$	

$$\text{Dimana } Nq = \frac{a^2}{2\cos^2(45^\circ + \phi/2)}$$

$$a = C^{(0{,}75\pi - \phi/2)\tan\phi}$$

$$Nc = (Nq - 1)\cos\phi$$

$$Nj = \frac{\tan\phi}{2}\left(\frac{Kp\partial - 1}{\cos^2\phi}\right)$$

Faktor kapasitas daya dukung..... (2.31)

Dari berbagai peneliti :

- Terzaghi $\Rightarrow \phi = 0 \rightarrow Nc = 5.7$
- Vesic $\Rightarrow \phi = 0 \rightarrow Nc = 5.14$
- Nawfac $\Rightarrow \phi = 0 \rightarrow Nc = 5.53$
- Mayerhof $\Rightarrow \phi = 0 \rightarrow Nc = 5.14$
- Buisman – Prandt (1952) $\Rightarrow \phi = 0 \rightarrow Nc = 5.14$

2.11. Definisi Tanah Lunak

Lambe dan Whitman (1959) membagi konsistensi tanah berdasarkan nilai Nspt, berat isi tanah (γ) dan kuat geser undrained (Cu) menjadi 6 macam seperti dalam Tabel 2.7. Common Properties of Clay Soils.

Tabel 2.7. Common Properties of Clay Soils

Konsistensi	Nspt	γ (t/m^2)	Cu (kg/cm^2)
Kuat	> 30	> 2	> 4
Sangat kaku	15 – 30	2.08 – 2.24	2 – 4
Kaku	8 – 15	1.92 – 2.08	1 – 2
Teguh	4 – 8	1.76 – 1.92	0.5 – 1
Lunak	2 – 4	1.63 – 1.76	0.25 – 0.5
Sangat lunak	< 2	1.44 – 1.63	< 0.25

Sedangkan oleh Mayor Hoft (1956) mengelompokkan konsistensi tanah berdasarkan nilai kuat geser undrained (qu), Nspt dan berat isi tanah (γ). Ini dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Hubungan Konsistensi Tanah dengan Nilai Kuat Geser Undrained (qu), Nspt dan Berat Isi Tanah (γ).

Konsistensi	Sangat Lunak	Lunak	Tegak	Kaku	Sangat Kaku	Keras
qu (kPa)	0 – 25	25 – 50	50 – 100	100 – 200	200 – 400	> 400
Nspt	0 – 2	2 – 4	4 – 8	8 – 16	16 – 32	> 32
γ (kN/m^3)	9 – 16		17 – 20		19 - 22	

2.12. Penelitian Yang Pernah Dilakukan

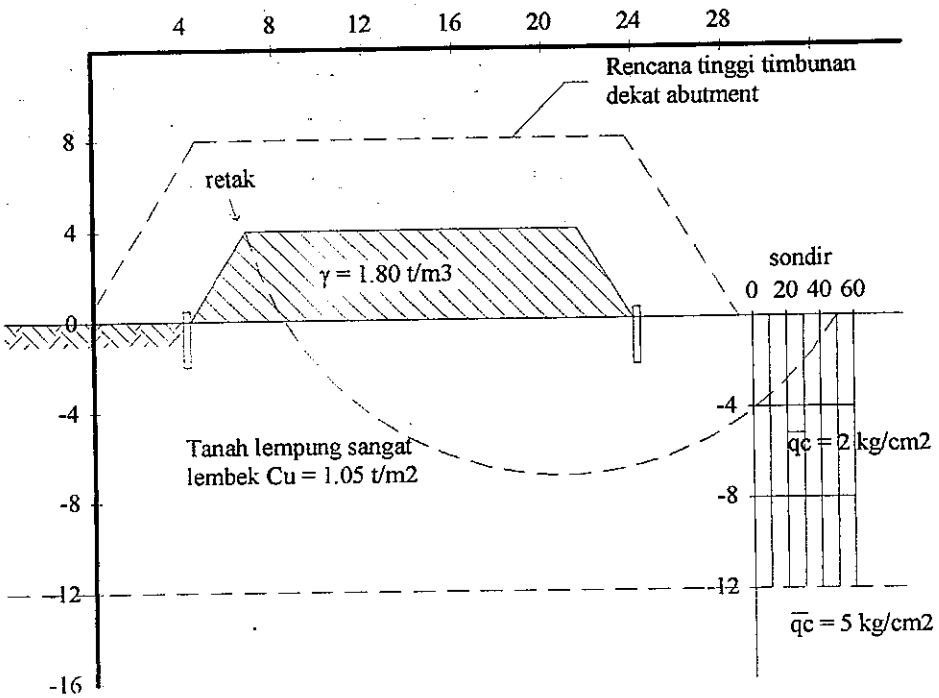
Alan Rachlan Juni 1986 dalam Seminar Pembuatan Jalan Diatas Tanah Lembek menyampaikan beberapa penelitian tentang jembatan yang dibangun diatas tanah lunak yang pernah dilakukan di Indonesia salah satunya di Jembatan Kapuas di Kalteng.

Jembatan Kapuas terdiri dari dua buah jembatan yang membentangi Sungai Kapuas Kecil dan Sungai Landak dengan bentang masing-masing 300 m. Jembatan tersebut mempunyai rencana tinggi timbunan oprit 8.00 m untuk Kapuas Kecil dan 6.50 m untuk Sungai Landak. Kedua jembatan dihubungkan oleh jalan pendekat melalui tanah berawa-rawa yang sangat lembek.

Dari hasil penyelidikan yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan (Puslitbang) diketahui pada lokasi abutment dan rencana oprit jembatan Kapuas Kecil didapat lapisan lempung yang sangat lembek sedalam ± 12 m. Lapisan tanah secara terinci adalah sebagai berikut :

- 0.00 m – 12.00 m Lapisan lempung sangat lembek dengan nilai qc rata-rata 2 kg/cm^2.
- 12.00 m – 15.00 m Lapisan lempung lembek dengan nilai qc = 5 kg/cm^2.
- 15 – kebawah Lapisan lempung teguh dengan nilai qc = 10 kg/cm^2.

Hasil pemeriksaan *vane shear* yang dilakukan pada lobang bor sampai kedalaman 10 m didapat harga kuat geser undrained rata-rata Cu = 1.05 t/m^2 atau 0.105 kg/cm^2. Waktu dilakukan penimbunan untuk oprit terjadi retakan selebar 10 cm waktu timbunan mencapai ketinggian 3.25 m. Timbunan kemudian dikupas kembali untuk mencegah terjadinya sliding, seperti dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Timbunan Oprit Jembatan Kapuas Kecil

Waktu Mencapai Ketinggian 3.20 m, Timbunan Retak Selebar ± 10 cm.

BAB III
METODE KOMPLILASI DATA DAN PENELITIAN

3.1. Pengumpulan Data

3.1.1. Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder adalah penghimpunan data-data tanah yang pernah dilakukan oleh proyek itu sendiri, maupun data-data proyek lain yang dekat dengan pelabuhan, meliputi : data-data sondir, data laporan hasil test material urugan dan data-data lain yang diperlukan dalam pembuatan tesis ini.

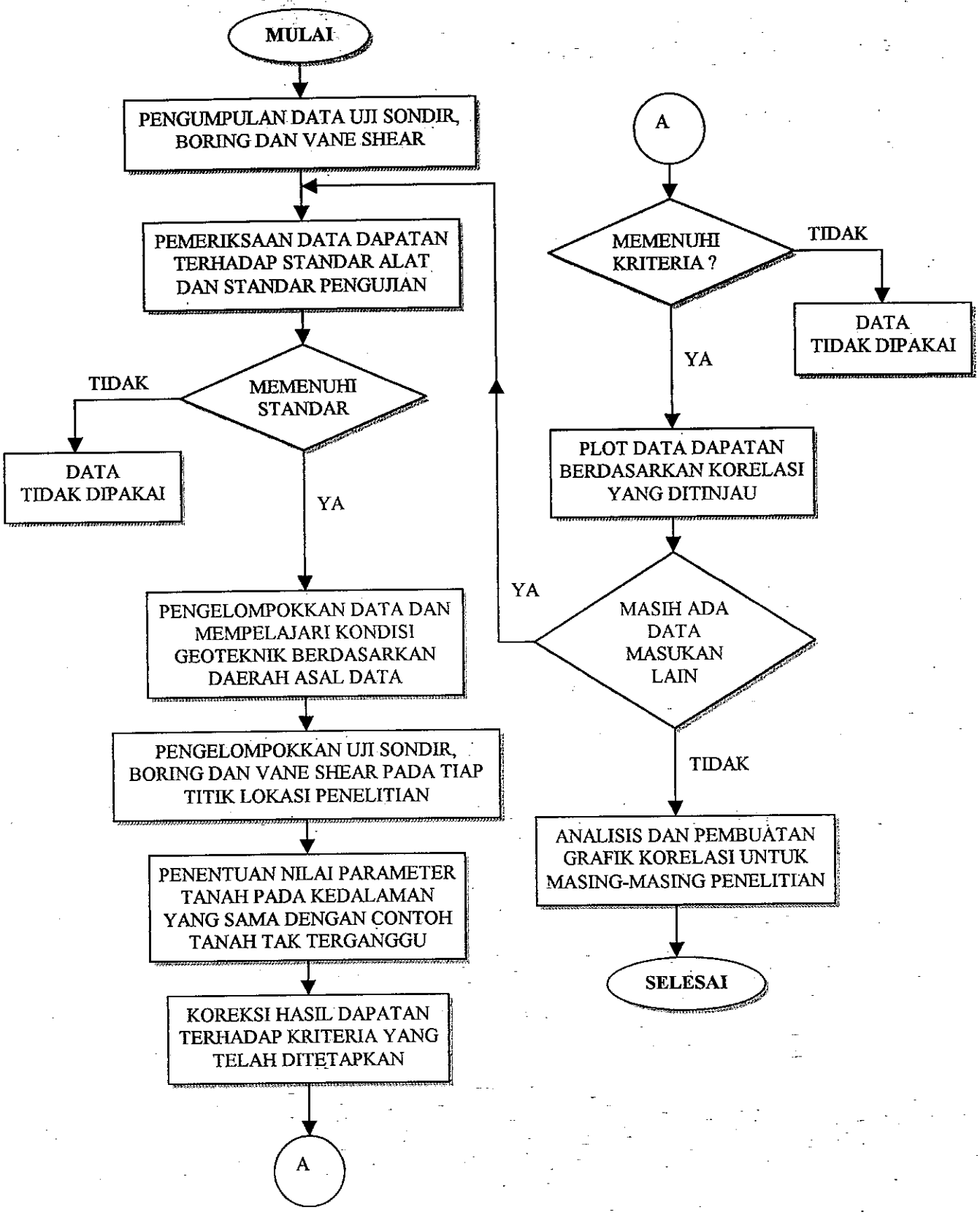
3.1.2. Data Primer

Pengumpulan data diambil dari hasil test yang dilakukan di lapangan. Data-data test langsung dari lapangan tersebut dibutuhkan untuk mendapatkan data parameter tanah berupa parameter fisik maupun parameter teknik secara akurat yang dibutuhkan untuk kegiatan analisa dalam pembuatan tesis ini. Rencana penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1. Bagan Alur Penelitian.

3.1.3. Jenis Data

Jenis data yang diperoleh dari hasil penelitian adalah :

a. Diskripsi lapisan tanah
b. Data kuat geser (Cu) dari vane shear, yaitu :
c. Sifat fisik, teknis dari tanah
d. Grafik sondering, tahanan konus, hambatan friksi lokal dan total serta rasio friksi.



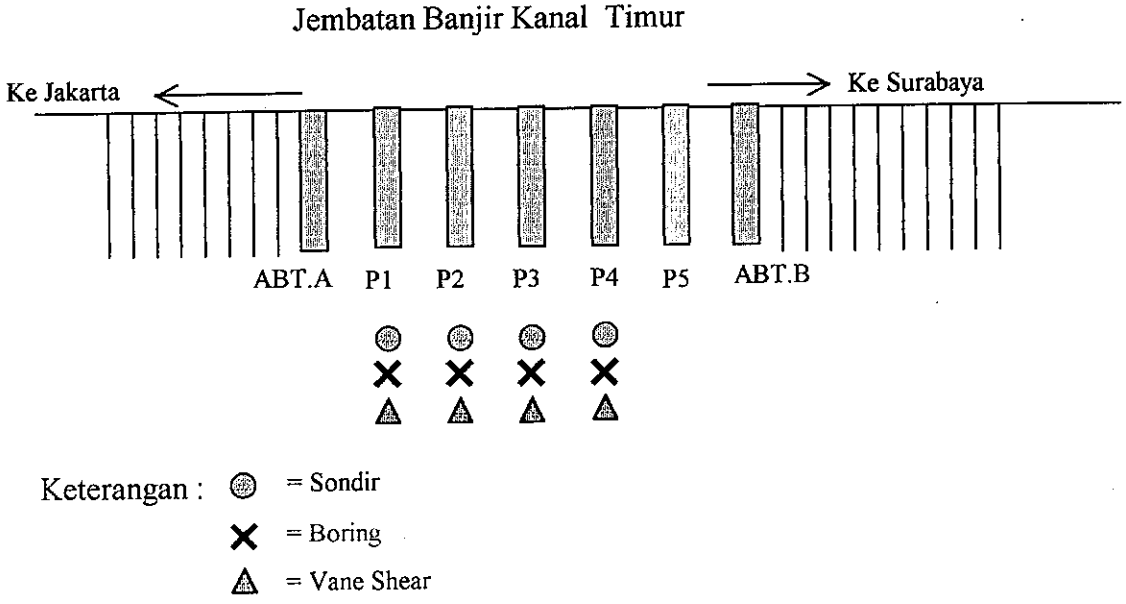
Gambar 3.1. Bagan Alur Penelitian

3.2. Lokasi dan Tujuan Penyelidikan Tanah

3.2.1. Lokasi Penyelidikan Tanah

Lokasi penyelidikan tanah (*Soil Investigation*) dilakukan di jembatan Banjir Kanal Timur pada pilar (P1, P2, P3 dan P4).

Sketsa lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2. Sketsa Lokasi Penelitian Proyek

Penyelidikan tanah di lapangan dilakukan pada 4 titik lokasi penelitian meliputi : sondir, vane shear dan boring dengan lokasi yang berdekatan antara tiap titik pengujian. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data parameter tanah yang lebih akurat untuk analisis dalam pembuatan tesis ini, dan dilakukan pula pengambilan sampel tanah untuk dilakukan pengujian di laboratorium.

3.2.2. Tujuan Penyelidikan Tanah

Pekerjaan Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*) pada tanah disekitar pilar di jembatan Banjir Kanal Timur ini bertujuan untuk mendapatkan data parameter tanah berupa parameter fisik maupun parameter teknis dan informasi teknis yang dibutuhkan untuk analisa Tesis.

Agar dapat dilakukan secara baik diperlukan data tanah yang terbaru dan akurat, baik itu data yang didapat dari test di lapangan maupun di laboratorium.

Secara spesifik kegiatan penelitian ini bertujuan, untuk mengetahui parameter tanah sangat lunak (nilai Cu) yang akurat secara insitu test di lokasi penelitian dengan alat vane shear dan mencari korelasi nilai Cu dari vane shear dengan nilai konus resistance (qc) dari test sondir.

3.3. Lingkup Penyelidikan Tanah

Lingkup pekerjaan Penyelidikan Tanah ini terdiri dari Penelitian (Investigation) di lapangan dan Uji Laboratorium Mekanika Tanah serta Evaluasi dan Analisa Penelitian secara jelas dapat diterangkan sebagai berikut :

3.3.1. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah di lapangan dilakukan untuk mengetahui sifat teknis dari tanah/batuan pada keadaan aslinya. Pekerjaan lapangan ini meliputi :

a. Pengujian sondir
b. Pengujian geser baling (*Vane Shear Test*)
c. Boring
d. Pengambilan contoh tanah

a. Pekerjaan Sondir

Tujuan dari penyelidikan sondir, ini adalah untuk mendapatkan nilai pengukuran langsung tahan ujung (qc dalam kg/cm^2) disuatu titik dan besar perlawanan geser (local friction dalam kg/cm^2) sepanjang lubang setelah dilewati konus. Pengujian sondir dilakukan dengan kecepatan konstan scbesar 2 cm/dt setiap interval 20 cm. Pengujian sondir dihentikan jika konus minimal 150kg/cm^2. SNI 03-2827-1992 digunakan sebagai acuan.

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

- Mesin sondir (keadaan baik)
- Stang sondir sebanyak 25 (dua puluh lima) batang dengan panjang masing-masing 1.00 meter.
- Manometer 2 (dua) buah yaitu manometer kapasitas 0 – 60 kg cm^2 dan manometer kapasitas 0.250 kg/cm^2
- 1 (satu) buah bikonus dan 1 (satu) single konus

- 1 (satu) set angker terdiri dari 4 (empat) buah angker dan besi kanal penjepit penahan.
- Kunci-kunci dan perlengkapan lain.

Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

- Mesin sondir dipasang dengan posisi legak lurus dengan dasar tanah dan ditahan oleh angker dan besi kanal dalam keadaan stabil.
- Oli dalam piston dalam kondisi penuh, baru stang dan konus dipasang manometer pada kondisi awal dalam keadaan baik.
- Pembacaan dilaksanakan pada penekanan pertama dari ujung konus dan penekanan kedua adalah pembacaan ujung konus dan mantel.
- Penekanan stang dilaksanakan pada setiap jarak (interval) kedalaman 20 cm.
- Pekerjaan Sondir dihentikan apabila dalam keadaan :
  - Pembacaan manoneter tiga kali berturut-turut akan menunjukkan nilai konus (qc) >200 kg/cm^2.
  - Pembacaan manometer menunjukkan nilai konus (qc) kecil tetapi nilai total lekatan besar sehingga mengakibatkan angker, terangkat maka kanal penahan diberi beban (pemberat).
  - Apabila pada kedalaman kurang dari 4.00 meter sudah mencapai tekanan (nilai) konus qc = 250 kg/cm^2. Agar alat sondir digeser sejauh ± 2.00 meter. Tetapi apabila kondisinya sama, maka pekerjaan dihentikan dan lapisan tanah dapat diyakini dalam kondisi padat.

Hasil Penggambaran grafik meliputi :

- Grafik tahanan konus (*conus resistance*)
- Grafik lekatan setempat (*local friction*).
- Grafik jumlah hambatan lekat (*total friction*)
- Perbandingan geseran (*friction ratio*).

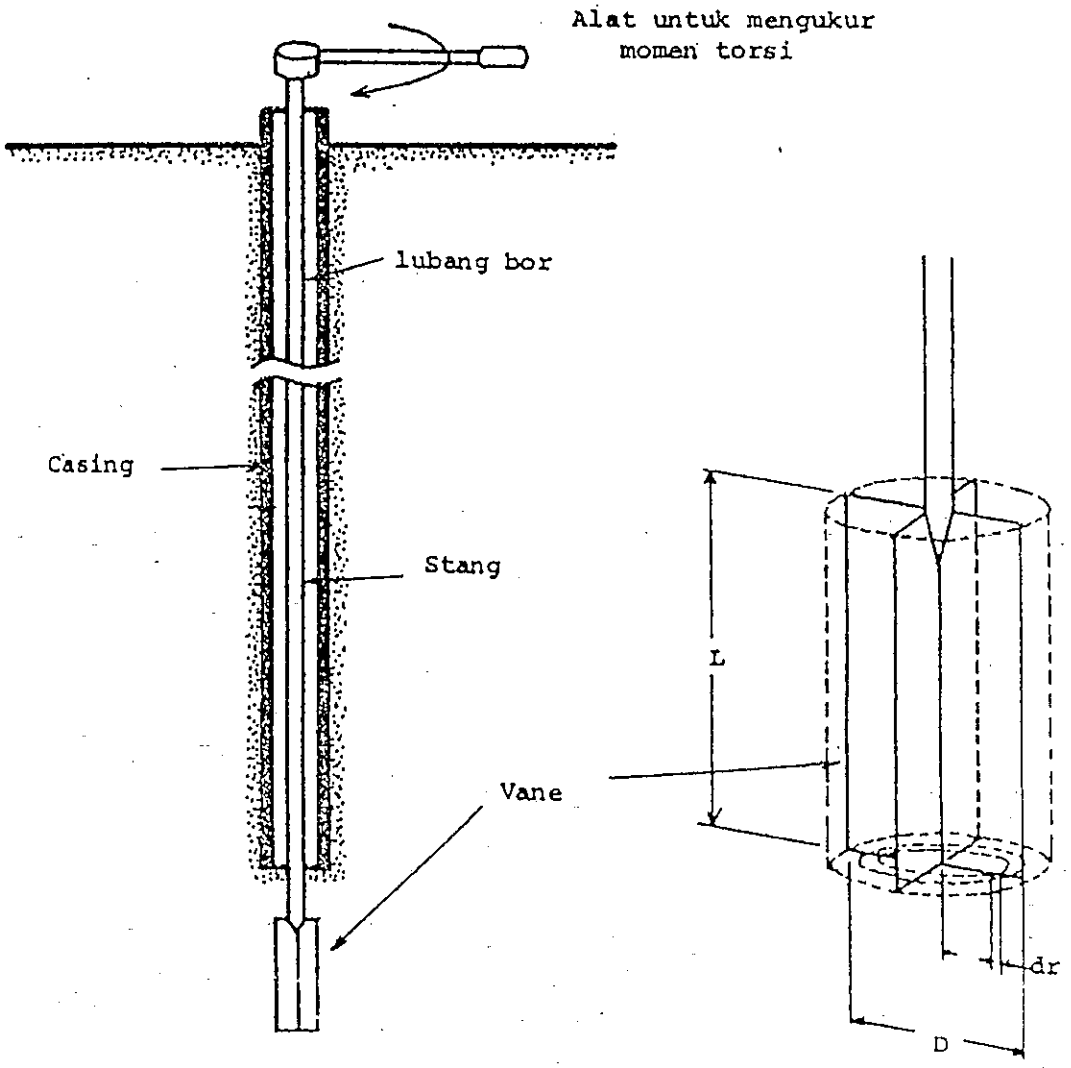
b. Penyelidikan Dengan Alat Vane Shear

Percobaan Vane Shear ini dilakukan untuk mengukur besarnya kekuatan geser langsung dilapangan untuk lapisan tanah berbutir halus (Tanah Lunak), yang bersifat lembek. Percobaan ini dilakukan bersama-sama, pada waktu pemboran. Dalam lapisan tanah lembek biasanya kita tidak dapat mengambil contoh tanah asli dengan tabung contoh, maka untuk mengukur besarnya kekuatan geser ini kita melakukan Vane Shear.

Alat Vane dipasang pada ujung stang bor dan ditekan supaya masuk kedalam tanah pada dasar lubang bor. Setelah dimasukkan Vane diputar sehingga. terjadi pergeseran pada suatu bidang tanah yang berbentuk silinder, untuk memutar stang ini dipergunakan suatu alat pengukur yang dipasang pada ujung atas stang tersebut.

Dengan Alat pengukur ini kita dapat menentukan momen torsi yang terjadi pada saat terjadi keruntuhan *(Failure)*. Dan dengan momen torsi ini kita dapat menentukan kekuatan geser dari tanah yang kita periksa yaitu geser *'Undrained'*.

Dalam Tesis ini kita lakukan 4 titik penyelidikan dengan Vane Shear dengan kedalaman 3 meter dan kita lakukan uji Vane tiap 40 cm dengan titik pengujian berdekatan dengan test Sondir, alat Vane Shear dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Percobaan Alat Vane Shear

Metode Pengujian Vane Shear :

- Pengujian dilakukan dengan mengacu pada standar AASHTO T 223-76 & ASTM D 1574-94.
- Pengujian dilakukan pada strata-2 dan strata-3, yaitu pada tanah timbunan dan pada lapisan tanah dasar atau tanah asli.
- Sebuah tangkai kecil dengan baling-baling (*vane*) persegi (sirip) dengan ukuran diameter 3/8 inc. dan tinggi 5/4 inc.
- Setelah rangkaian vane shear terpasang, kemudian alat dimasukkan ke dalam tanah dan diputar searah jarum jam hingga torsi menunjukkan nilai puncak kuat geser tanah bersangkutan runtuh.
- Dengan memasukkan data ke dalam rumus yang ada, maka kuat geser *undreined* dapat ditentukan dengan mengacu rumus sederhana sebagai berikut :

$$Su = \frac{T}{\pi . D^2 (H/2 + D/6)}$$

Su = harga *shear strength* dari tanah asli

T = harga pembacaan momen torsi di lapangan

H = tinggi alat vane shear

D = diameter alat vane shear

c. Pengambilan Contoh Tanah

Pengambilan contoh tanah tak terganggu (*undisturbed sampling*) sesuai prosedur ASTM D. 1587, dilakukan pada semua titik bor dengan interval pengambilan 2,50 sampai dengan 3,00 meter.

Langkah pengambilan contoh tanah adalah sebagai berikut :

- Dasar lubang bor yang akan diambil contohnya, terlebih dulu dibersihkan dari sisa-sisa pemboran.
- Setelah lubang bor dibersihkan, tabung pengambilan contoh (*undisturbed sampling tube*) ditekan ke dalam tanah sampai tabung berisi penuh, kemudian dibiarkan sesaat agar terjadi pelekatan antara dinding tabung bagian dalam dengan contoh tanah yang diambil.
- Setelah diperkirakan terjadi lekatan, maka tabung diputar secara pelan dan terus menerus dan kemudian tabung beserta isinya diangkat dari lubang bor.

- Untuk menghindari penguapan air tanah asli, maka pada kedua ujung tabung contoh tanah (*sampling tube*) yang terbuka ditutup dengan parafine.

Hasil dari pengambilan contoh tanah kemudian dibawa ke laboratorium untuk diteliti secara laboratories sesuai prosedur ASTM D.421 mengenai jenis dan sifat tanah serta dibuatkan diskripsi tanah berdasarkan jenis dan warna.

3.4. Pengujian Laboratorium

Maksud dan Tujuan dari pengujian laboratorium ini adalah untuk dilakukan pengujian contoh tanah/batuan yang diperoleh dari lapangan. Adapun tujuan dari pengujian laboratorium ini adalah untuk mengetahui parameter keteknikan dari contoh tanah//batuan secara lebih kualitatif.

Pekerjaan Laboratorium ini meliputi :

3.4. 1. Indeks Properties

Maksud dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sccara pasti data dan sifat-sifat dasar dari contoh tanah.

Pengujian ini meliputi :

- ***Water Content*** (Kadar air)

  Maksud dari percobaan ini adalah untuk mendapatkan kadar air asli dari contoh tanah (*undisturbed*)

  – Peralatan yang digunakan antara lain :
  – Ring contoh tanah
  – Alat pemotong contoh tanah
  – Timbangan dengan ketelitian 0,01 gr
  – Oven (*electric*)
  – Container/cawan

  Prosedur pelaksanaan adalah sebagai berikut :

  – Keluarkan contoh tanah pada ring contoh tanah
  – Potong contoh tanah yang telah tercetak pada ring contoh
  – Keluarkan contoh tanah kemudian timbang bersama container
  – Masukan container/cawan yang berisi contoh tanah kedalam cawan

– Keluarkan container yang berisi contoh tanah dari oven kemudian ditimbang
– Prosedur mengikuti ASTM D.22 16-7 1 : PB D 117-76

- ***Grain size Analysis*** (analisa butiran/gradasi)

  Maksud dari percobaan ini adalah untuk mengetahui susunan besar butir (prosentasi berat) dari contoh tanah dengan cara disaring dengan ayakan standard. Untuk butiran tanah yang lolos dari tapis no. 200 dilakukan dengan analisa hidrometer dengan sistem waktu pengendapan.

  Percobaan diatas dengan cara mengikuti peraturan yang diambil dari pembakuan.

  ❖ Analisa Butir

  ASTM C 42 1 – 72 : PB 0105 - 76 dan 0 106 –76

  ❖ Hidrometer.

  ASTM C 422 – 72 : PB 0107 - 76

  Peralatan yang dipergunakan antara lain :

  - Analisa butir
  - Satu set saringan
  - Timbangan
  - Oven
  - Kuas
  - Sikat kawat
  - Sendok

  ❖ Hidrometer

  - Gelas ukuran 1000 ml ϕ 6,5 nm
  - Pelampung hidrometer
  - Thermometer
  - Mixer
  - Timbangan
  - Oven
  - Stopwatch

  Prosedur pelaksanaan adalah sebagai berikut :

  ❖ Analisa butiran

  - Ambil contoh tanah kering seberat 100 - 500 gram
  - Saring lewat susunan saringan standar

- Susunan saringan diguncang dengan alat pengguncang selama ± 3 menit
- Timbang contoh tanah yang tertinggal diatas tiap-tiap saringan

❖ Hidrometer

- Rendam contoh kering, dengan berat kering, 50 gram dengan 100 mm aquades dan 20 mm water glass dan diaduk sampai rata serta direndam ± 24 jam.
- Campuran tersebut dimixer selama ± 5 menit kemudian pindahkan dalam gelas ukur dan ditambah dengan aquades hingga campuran menjadi 100 mm.
- Tutup rapat mulut tabung dengan telapak tangan kemudian kocok, letakan tabung serta tekan stopwatch
- Baca angka skalanya pada 1/2, 1, 2, 5, 15, 30, 60, 240, 1440 menit
- Pindahkan kedalam saringan No.200 cuci sampai air pencuci jernih dan biarkan air tersebut mengalir terbuang.
- Butir yang tertinggal diatas saringan No. 200 dikeringkan, disaring dan ditimbang.

• *Specific Gravity* / Berat Jenis (GS)

Maksud dari percobaan ini adalah untuk mendapatkan berat jenis dari contoh tanah.

Peralatan yang digunakan antara lain :

- Timbangan dengan ketelitian 0.01 gr
- Piknometer
- Aquades
- Kompor listrik/*Hot Plate*
- Thermometer

Prosedure pelaksanannya adalah sebagai berikut :

- Timbang contoh tanah kering
- Masukan contoh tanah kering pada piknometer campur dengan air aquades sampai terisi 2/3 (duapertiga) kemudian ditimbang beratnya.
- Didihkan selama ± 10 menit untuk mengeluarkan udara yang tersekat.
- Biarkan sampai pada suhu konstan lalu tambahkan *aquades* sampai penuh dan tutup piknometer + *aquades*.
- Prosedur mengikuti pembahasan ASTM D.854 72. PB 0108 – 76.

- ***Atterberg Limits*** (Batas-batas Atterberg)

  Maksud dari percobaan ini adalah untuk mendapatkan batas cair batas plastik dan indeks plastisitas dari contoh tanah (*cohesive*).

  Peralatan yang dipergunakan adalah antara lain :

  ❖ Liquid Limit (LL)
  - Alat batas cair standar
  - *Grooving tool*
  - Sendok dempul
  - Plat kaca
  - Cawan kadar air
  - *Aquades*/air suling
  - Oven

  ❖ Plastis Limit
  - Plat kaca, sendok dempul
  - Batang pembanding ϕ 3 mm
  - Timbangan
  - Cawan kadar air
  - Aquades
  - Oven

  Prosedur pelaksanaan

  ❖ Liquid limit
  - Ambil tanah kering yang lolos saringan No. 40
  - Letakkan contoh tanah pada plat kaca/mangkok keramik, aduk menggunakan spatula dengan ditambah aquades sedikit demi sedikit hingga homogen
  - Letakkan benda uji yang sudah homogen diatas mangkok alat batas cair, ratakan permukaan sampai sejajar dasar alat dengan bagian paling tebal ± 1 cm.
  - Buat alur dengan jalan membagi dua benda uji dalam mangkok memakai *grooving tool.*
  - Putar alat sehingga mangkok naik/jatuh dengan kecepatan dua putaran/detik sampai dasar alur benda uji bersinggungan ± 1.25 cm.
  - Catat jumlah pukulannya serta periksa kadar airnya.
  - Ulangi pekerjaan tersebut dengan kadar air berbeda.
  - Prosedur mengikuti ASTM D 423 - 66, PB 0109 –76.

❖ Plastis Limit

- Letakan benda uji diatas kaca dan aduk sampai kadar airnya merata
- Bola-bola tanah dari benda uji seberat 8 gram kemudian digeleng diatas plat kaca dengan kecepatan 80 - 90 gelengan permenit.
- Penggilingan dilakukan sampai benda uji membentuk batang dengan diameter 3 mm dan dalam retak-retak.
- Periksa kadar air batang tanah tersebut.

- Shrinkage Limits (Batas Kerut)
  - Uji shrinkage dilakukan dengan menggunakan mangkok porselin mempunyai diameter kira-kira 44.4 mm dan tinggi 12.7 mm.
  - Masukkan benda uji pada mangkuk porselin yang sudah diketahui volumenya (volume mangkok sudah dikalibrasi), dan ditimbang.
  - Mangkok beserta isinya dioven sampai beratnya konstan, setelah itu didinginkan dalam disikator dan dicari volume tanah kering dan berat tanah kering.

Hasil penyelidikan :

- Liquid Limit (LL)

  Hasil yang diperoleh berupa grafik antara jumlah pukulan dan kadar air yang bersangkutan dalam skala logaritma. Batas cair ditentukan dari nilai kadar air contoh tanah yang mempunyai jumlah ketentuan = 25.

- Plastic Limit (PL)

  Hasil yang diperoleh langsung menunjukkan kadar air dalam keadaan batas plastis.

- Plasticity Index (PI)

  Plasticity Index dari contoh tanah adalah selisih nilai kadar air dari batas cair dengan batas plastis (PI = LL – PL).

- Shringkage Limit (SL)

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2}(100) - \frac{(v_i - v_f)}{m_2}(100)$$

Keterangan : m_1 = berat tanah basah dalam mangkok (gr)

m_2 = berat tanah kering (gr)

v_i = volume contoh tanah basah (cc)

v_f = volume tanah kering (cc)

3.4.2. Engineering Properties

Maksud dari pengujian ini adalah untuk mengetahui secara pasti sifat-sifat Mekanika dari contoh tanah. Pengujian ini adalah *Unconfined Compression Test*.

Unconfined Compression Test adalah untuk pengujian *compressive strength* dari tanah kohesif pada kondisi tak terganggu. Tanah yang diuji berbentuk silinder dan pengujiannya dengan diberi beban sampai beban maksimum hingga tanah runtuh atau perosoknya mencapai 20 %. Dari jenis test ini akan didapatkan kuat tekan, kuwat geser dan sensitivitas. Test ini dilakukan dengan mengikuti ketentuan ASTM D.2166 – 72 : PB0115 – 76.

Peralatan yang digunakan antara lain :

- Alat tekan (mesin compressor)
- Alat pengeluar contoh (jangka sorong)
- Alat pencatat waktu
- Oven pengering
- Timbangan dengan ketelitian 0.01 gram.

Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

- Pembuatan model contoh tanah untuk test baik berupa silinder, balok maupun prisma dimana perbandingan panjang dan diameter contoh antara 2 - 2,5 . Persyaratan lain adalah kedua bidang yang akan ditekan harus sejajar dengan permukaanya.
- Masukkan contoh tanah dalam compressor meter
- Tekan contoh tanah dengan tekanan 5 - 10 kg/cm^2 perdetik, catat perubahan bentuk (strain) dan tekanan yang bekerja pada saat tiap pembacaan sampai contoh batuan ini pecah.

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Berat Jenis Tanah (*Gs*)

Nilai berat jenis tanah (*Spesific Gravity*) yang di dapat pada 4 titik lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Spesific Gravity

Lokasi / Kedalaman (m)	P1	P2	P3	P4
- 1.00	2.6281	2.6517	2.7654	2.6297
- 2.00	2.6890	2.6645	2.6654	2.6073
- 3.00	2.7492	2.6800	2.6296	2.7091

Dari Tabel 4.1. *Spesific Gravity* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai sebaran dari hasil penelitian *Spesific Gravity* di 4 titik lokasi penelitian mempunyai nilai antara 2.6073 – 2.7492.

Menunjuk Tabel 2.3. Berat jenis untuk berbagai macam tanah pada halaman 13 berat jenis (Gs) = 2.66 – 2.70 termasuk lanau/*silt*, berat jenis (Gs) = 2.68 – 2.80 termasuk lempung/*clay*. Jadi nilai sebaran di empat titik lokasi penelitian menunjukkan berat jenis (Gs) tanah di daerah tersebut termasuk lanau/*silt* dan lempung/*clay*.

4.1.2. *Water Content* (*w*)

Nilai kadar air (*water content*) yang di dapat pada 4 titik lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Table 4.2. Water Content

Lokasi / Kedalaman (m)	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)
- 1.00	55.95	45.62	49.80	32.28
- 2.00	51.79	55.56	46.65	50.00
- 3.00	63.07	63.93	48.58	50.77

Dari Tabel 4.2. *Water Content* dapat diambil kesimpulan bahwa nilai sebaran dari hasil penelitian *Water Content* di 4 titik lokasi penelitian mempunyai nilai antara 32.28 % - 63.93 %.

4.1.3. Berat Isi (*Unit Weight*)

Nilai berat isi (*Unit Weight*) yang di dapat pada 4 titik lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Berat Isi (*Unit Weight*)

Lokasi / Kedalaman (m)	P1 (gr/cm^3)	P2 (gr/cm^3)	P3 (gr/cm^3)	P4 (gr/cm^3)
- 1.00	1.5791	1.7362	1.5974	1.7171
- 2.00	1.5988	1.5096	1.6082	1.5193
- 3.00	1.5194	1.6800	1.5355	1.6000

Dari Tabel 4.3. Berat Isi (*Unit Weight*) dapat diambil kesimpulan bahwa nilai sebaran dari hasil penelitian Berat isi (*Unit Weight*) di 4 titik lokasi penelitian mempunyai nilai antara 1.5096 gr/cm^3 - 1.7362 gr/cm^3

4.1.4. Hasil Boring

Dari hasil Boring pada titik penelitian 1, 2, 3 dan 4 dapat diketahui diskripsi jenis tanah dan tinggi muka air tanah (*water table*) dapat dilihat pada masing-masing tabel dimulai dari Tabel 4.4 sampai dengan Tabel 4.7.

Tabel 4.4. Hasil Boring pada Penelitian 1

Kedalaman (m)	Diskripsi Jenis Tanah	Keterangan
-0.00 s/d –1.25	Lanau kelempungan lunak, warna coklat abu-abu muda	Hasil dari boring pada titik 1, muka air tanah terletak pada kedalaman –0.5 m
-1.25 s/d –2.00	Lanau kelempungan lunak, warna abu-abu tua	
-2.00 s/d –3.00	Lanau kelempungan lunak, warna abu-abu muda	

UPT-PUSTAK-UNDIP

Tabel 4.5. Hasil Boring pada Penelitian 2

Kedalaman (m)	Diskripsi Jenis Tanah	Keterangan
-0.00 s/d –1.00	Lanau kelempungan campur butir kasar, warna coklat abu-abu	Hasil dari boring pada titik 2, muka air tanah (*water table*) terletak pada kedalaman –0.5 m
-1.00 s/d –2.25	Lanau kelempungan sedikit butir kasar, warna abu-abu sedikit coklat	
-2.25 s/d –3.00	Lanau kelempungan lunak, warna abu-abu muda	

Tabel 4.6. Hasil Boring pada Penelitian 3

Kedalaman (m)	Diskripsi Jenis Tanah	Keterangan
-0.00 s/d –1.25	Lanau kelempungan sedikit butir kasar, warna coklat abu-abu	Hasil dari boring pada titik 3, tinggi muka air tanah (*water table*) terletak pada kedalaman –0.75 m
-1.25 s/d –2.00	Lanau kelempungan lunak, warna abu-abu muda	
-2.00 s/d –3.00	Lanau kelempungan lunak, warna abu-abu	

Tabel 4.7. Hasil Boring pada Penelitian 4

Kedalaman (m)	Diskripsi Jenis Tanah	Keterangan
-0.00 s/d –0.75	Lanau kelempungan sedikit butir kasar, warna coklat abu-abu	Hasil dari boring pada titik 4, tinggi muka air tanah (*water table*) terletak pada kedalaman –0.5 m
-0.75 s/d –2.00	Lempung kelanauan lunak, warna abu-abu muda	
-2.00 s/d –3.00	Lanau kelempungan lunak, warna abu-abu	

Dari Tabel 4.4. sampai dengan 4.7. dapat diambil kesimpulan bahwa dari hasil Boring dari 4 titik lokasi penelitian secara umum dapat ditunjukkan bahwa pada kedalaman –0.00 m sampai dengan –1.25 m terdapat lapisan lanau kelempungan sedikit butir kasar warna coklat abu – abu muda, hal ini menunjukkan bahwa lapisan tanah bagian atas di lokasi tersebut tercampur oleh material timbunan.

Lapisan tanah pada kedalaman –2.00 m sampai dengan –3.00 m terdapat lapisan lanau kelempungan lunak berwarna abu – abu, hal ini menunjukkan lapisan tanah asli pada lokasi tersebut.

Muka air tanah (*water table*) dari 4 titik lokasi penelitian Boring menunjukkan bahwa muka air tanah di lokasi penelitian terletak pada kedalaman antara 0.5 m – 0.75 m dari permukaan tanah asli.

4.1.5. Hasil Sondir

Schamartment memberikan suatu batasan konsistensi tanah lempung dari data pondasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Konsistensi Tanah

Konsistensi Tanah	Tahanan Konus qc (kg/cm^2)	Kuat Geser Undrained Cu (kg/cm^2)
Sangat lunak	< 2.5	< 0.12
Lunak	2.50 – 5.00	0.125 – 0.25
Teguh	5.00 – 10.00	0.25 – 0.50
Kaku	10.00 – 20.00	0.50 – 1.00
Sangat kaku	20.00 – 40.00	1.00 – 2.00
Keras	> 40.00	> 2.00

Menunjuk Tabel 4.8. Konsistensi Tanah dapat diketahui sifat konsistensi tanah pada masing-masing titik pengujian di 4 lokasi sondir dapat dilihat pada Tabel 4.9 sampai dengan Tabel 4.12.

Tabel 4.9. Hasil Sondir pada Penelitian 1

Kedalaman (m)	Sifat konsistensi tanah
0.40 – 12.40	Sangat Lunak
12.60 – 17.80	Lunak
18.00 – 23.00	Teguh

Tabel 4.10. Hasil Sondir pada Penelitian 2

Kedalaman (m)	Sifat konsistensi tanah
0.40 – 11.80	Sangat Lunak
11.80 – 14.60	Lunak
14.60 – 21.40	Teguh

Tabel 4.11. Hasil Sondir pada Penelitian 3

Kedalaman (m)	Sifat konsistensi tanah
0.40 – 3.80	Sangat lunak
4.00 – 5.40	Lunak
5.60 – 12.40	Sangat lunak
12.60 – 14.40	Lunak
14.60 – 21.40	Teguh

Tabel 4.12. Hasil Sondir pada Penelitian 4

Kedalaman (m)	Sifat konsistensi tanah
0.40 – 3.60	Teguh
3.80 – 13.60	Sangat Lunak
13.80 – 17.20	Lunak
17.40 – 23.00	Teguh

Menunjuk Tabel 4.8. Konsistensi Tanah dapat diambil kesimpulan bahwa dari hasil sondir pada 4 titik lokasi penelitian seperti terlihat pada Tabel 4.9. sampai dengan Tabel 4.12. menunjukkan pada kedalaman 0.00 m - 14.00 m kosistensi tanah di daerah tersebut termasuk dalam konsistensi tanah sangat lunak, sedangkan pada kedalaman 14.00 s/d 22.00 termasuk dalam konsistensi tanah teguh.

4.1.6. Hasil *Vane Shear* Test

Dengan menempatkan rumus *Vane Shear* :

$$SU = \frac{T}{\pi D^2 (H/2 + D/6)}$$

Su = Cu = Nilai Shear Strength dari tanah asli

T = Harga pembacaan momen torsi di lapangan

H = Tinggi alat *Vane Shear*

D = Diameter alat *Vane Shear*

Nilai Cu dari hasil test *Vane Shear* di 4 titik lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai Cu dari Hasil *Vane Shear*

Lokasi / Kedalaman (m)	Nilai Cu dari hasil *Vane Shear* (kg/cm^2)			
	P1	P2	P3	P4
- 0.40	0.071	0.065	0.086	0.128
- 0.80	0.086	0.065	0.082	0.086
- 1.20	0.082	0.090	0.092	0.082
- 1.60	0.094	0.086	0.101	0.094
- 2.00	0.086	0.105	0.088	0.086
- 2.40	0.069	0.108	0.088	0.069
- 2.80	0.057	0.125	0.088	0.057

Dari Tabel 4.13. dapat diambil kesimpulan bahwa nilai satuan dari hasil penelitian *Vane Shear* di 4 titik lokasi penelitian mempunyai nilai Cu antara 0.057 - 0.128 dan menunjuk Tabel 4.8. Konsistensi Tanah maka nilai Cu di 4 titik lokasi penelitian tersebut menunjukkan konsistensi tanah sangat lunak < 0.12 kg/cm^2.

4.2. Pembahasan

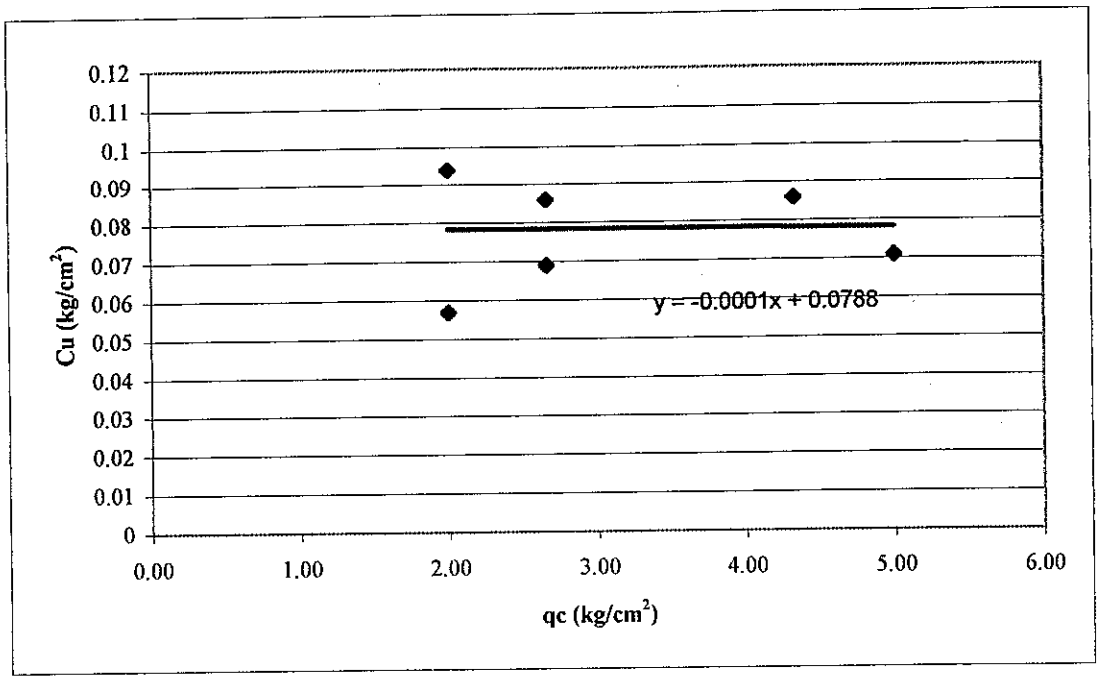
4.2.1. Hubungan (korelasi) Antara Nilai qc Dengan Cu pada Penelitian 1.

Tabel 4.14. menunjukkan korelasi nilai qc dan Cu pada penelitian 1, sedangkan grafik dari korelasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 4.14. Korelasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 1 (P1)

Titik	Kedalaman (M)	qc	cu
P1	-0.4	5.00	0.071
	-0.8	4.33	0.086
	-1.2	2.66	0.086
	-1.6	2.00	0.094
	-2.0	2.66	0.086
	-2.4	2.66	0.069
	-2.8	2.00	0.057
	-3.2	2.00	
	-3.6	2.00	
	-4.0	2.00	
	-4.4	2.00	
	-4.8	2.00	
	-5.2	1.66	
	-5.6	1.00	
	-6.0	1.00	
	-6.4	1.00	
	-6.8	1.00	
	-7.2	1.00	
	-7.6	1.00	
	-8.0	1.33	
	-8.4	2.00	
	-8.8	2.00	
	-9.2	1.66	
	-9.6	1.00	
	-10.0	1.66	
	-10.4	2.00	
	-10.8	2.00	
	-11.2	2.33	
	-11.6	3.00	
	-12.0	2.33	
	-12.4	2.00	

Titik	Kedalaman (M)	qc	cu
P1	-12.8	2.66	
	-13.2	3.00	
	-13.6	3.33	
	-14.0	4.00	
	-14.4	4.66	
	-14.8	5.00	
	-15.2	5.00	
	-15.6	4.33	
	-16.0	4.33	
	-16.4	5.00	
	-16.8	5.00	
	-17.2	5.00	
	-17.6	5.00	
	-18.0	5.33	
	-18.4	5.66	
	-18.8	5.66	
	-19.2	6.33	
	-19.6	7.33	
	-20.0	8.00	
	-20.4	7.66	
	-20.8	7.00	
	-21.2	7.00	
	-21.6	7.33	
	-22.0	8.00	
	-22.4	8.00	
	-22.8	7.33	



Gambar 4.1. Grafik korelasi nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane Shear*) pada penelitian 1.

Dengan menempatkan nilai konus resistance (qc) dari Sondir dengan nilai Cu dari *vane shear* maka didapat hubungan antara qc dan Cu sebagai berikut :

$Cu = 0.0788\ qc$

atau

$$Cu = \frac{qc}{12.69}\ (kg/cm^2).$$

Keterangan :

Penelitian yang dilakukan Sanglerat (1972),

$$Cu = \frac{qc}{10 - 20}\ (kg/cm^2).$$

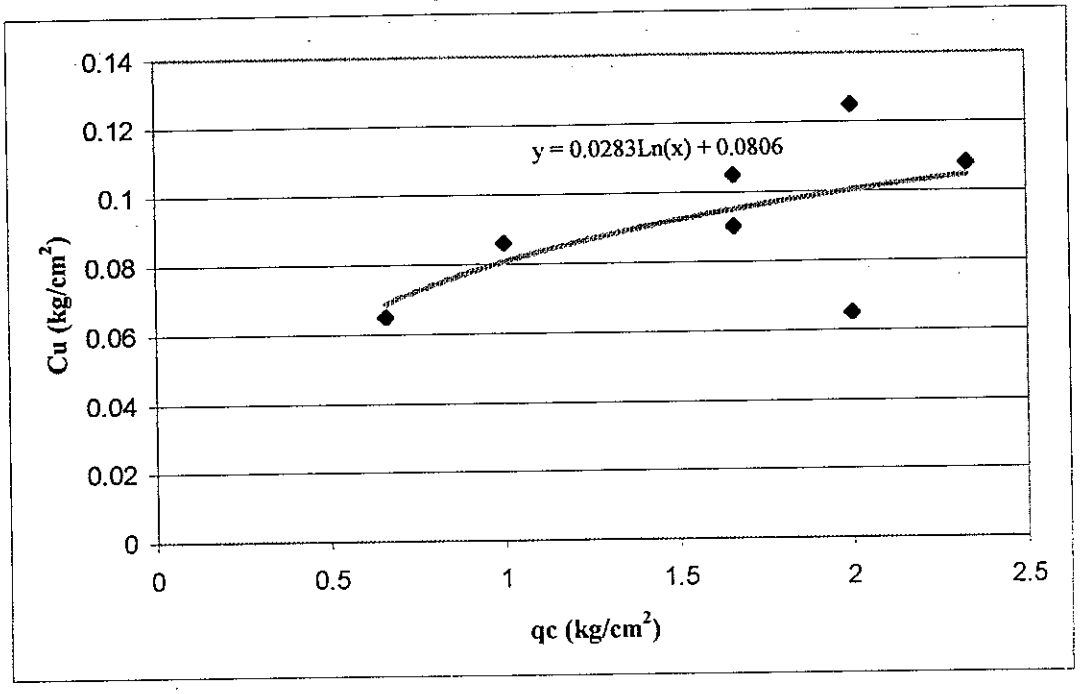
4.2.2. Hubungan (korelasi) antara nilai qc dengan Cu pada penelitian 2

Tabel 4.15. menunjukkan korelasi nilai qc dan Cu pada penelitian 2, sedangkan grafik dari korelasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2

Tabel 4.15. Korelasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 2 (P2)

Titik	Kedalaman (M)	qc	cu
P2	-0.4	2.00	0.065
	-0.8	2.00	0.065
	-1.2	2.00	0.090
	-1.6	2.00	0.086
	-2.0	2.00	0.105
	-2.4	2.33	0.108
	-2.8	2.00	0.125
	-3.2	1.33	
	-3.6	1.33	
	-4.0	1.33	
	-4.4	1.00	
	-4.8	1.00	
	-5.2	1.00	
	-5.6	1.66	
	-6.0	2.00	
	-6.4	1.66	
	-6.8	1.00	
	-7.2	1.00	
	-7.6	1.00	
	-8.0	1.00	
	-8.4	1.33	
	-8.8	2.00	
	-9.2	2.00	
	-9.6	2.00	
	-10.0	2.00	
	-10.4	2.33	
	-10.8	3.00	
	-11.2	2.33	
	-11.6	2.00	
	-12.0	2.33	
	-12.4	3.66	

Titik	Kedalaman (M)	qc	cu
P2	-12.8	3.33	
	-13.2	2.00	
	-13.6	3.33	
	-14.0	5.00	
	-14.4	5.0	
	-14.8	5.33	
	-15.2	6.33	
	-15.6	7.00	
	-16.0	7.00	
	-16.4	7.00	
	-16.8	6.33	
	-17.2	5.66	
	-17.6	6.66	
	-18.0	6.66	
	-18.4	6.00	
	-18.8	6.66	
	-19.2	7.00	
	-19.6	7.00	
	-20.0	7.00	
	-20.4	7.00	
	-20.8	7.66	
	-21.2	8.00	



Gambar 4.2. Grafik Korelasi Nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane* Shear) pada Penelitian 2

Dengan menempatkan nilai konus resistance (qc) dari Sondir dengan nilai Cu dari *vane shear* maka didapat hubungan antara Cu dan qc sebagai berikut :

$Cu = 0.0806\ qc$

atau

$$Cu = \frac{qc}{12.40}\ (kg/cm^2).$$

Keterangan :

Penelitian yang dilakukan Sanglerat (1972),

$$Cu = \frac{qc}{10 - 20}\ (kg/cm^2).$$

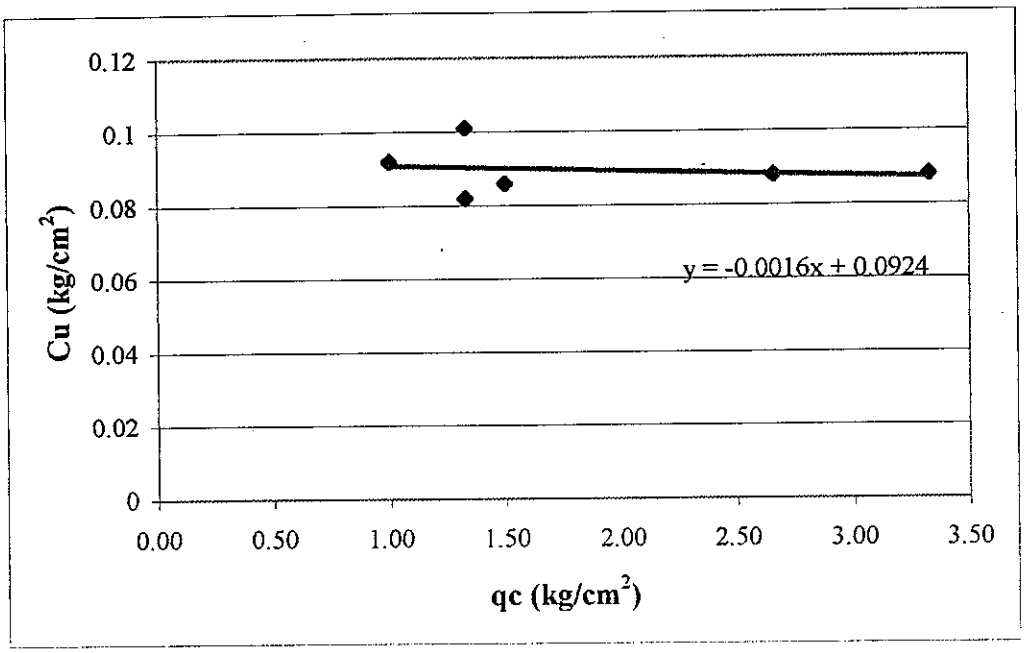
4.2.3. Hubungan (korelasi) Antara Nilai qc Dengan Cu pada Penelitian 3

Tabel 4.16. menunjukkan korelasi nilai qc dan Cu pada penelitian 3, sedangkan grafik dari korelasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Tabel 4.16. Korelasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 3 (P3)

Titik	Kedalaman (M)	qc	cu
P3	-0.4	1.50	0.086
	-0.8	1.33	0.082
	-1.2	1.00	0.092
	-1.6	1.33	0.101
	-2.0	2.66	0.088
	-2.4	3.33	0.088
	-2.8	2.66	0.088
	-3.2	2.00	
	-3.6	2.00	
	-4.0	2.33	
	-4.4	4.00	
	-4.8	4.00	
	-5.2	5.00	
	-5.6	4.00	
	-6.0	2.00	
	-6.4	2.00	
	-6.8	2.00	
	-7.2	1.33	
	-7.6	1.00	
	-8.0	1.00	
	-8.4	1.00	
	-8.8	1.33	
	-9.2	2.00	
	-9.6	2.00	
	-10.0	2.00	
	-10.4	2.00	
	-10.8	2.33	
	-11.2	3.00	
	-11.6	3.00	
	-12.0	3.33	
	-12.4	2.33	

Titik	Kedalaman (M)	qc	Cu
P3	-12.8	4.00	
	-13.2	4.66	
	-13.6	4.66	
	-14.0	5.00	
	-14.4	5.0	
	-14.8	6.33	
	-15.2	6.66	
	-15.6	6.00	
	-16.0	6.33	
	-16.4	7.00	
	-16.8	7.00	
	-17.2	6.33	
	-17.6	5.33	
	-18.0	5.33	
	-18.4	6.66	
	-18.8	7.00	
	-19.2	7.33	
	-19.6	8.00	
	-20.0	7.66	
	-20.4	7.00	
	-20.8	7.33	
	-21.2	7.00	



Gambar 4.3. Grafik Korelasi Nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane* Shear) pada Penelitian 3

Dengan menempatkan nilai konus resistance (qc) dari Sondir dengan nilai Cu dari *vane shear* maka didapat hubungan antara Cu dan qc sebagai berikut :

$Cu = 0.0924\ qc$

atau

$$Cu = \frac{qc}{10.82}\ (kg/cm^2).$$

Keterangan :

Penelitian yang dilakukan Sanglerat (1972),

$$Cu = \frac{qc}{10 - 20}\ (kg/cm^2).$$

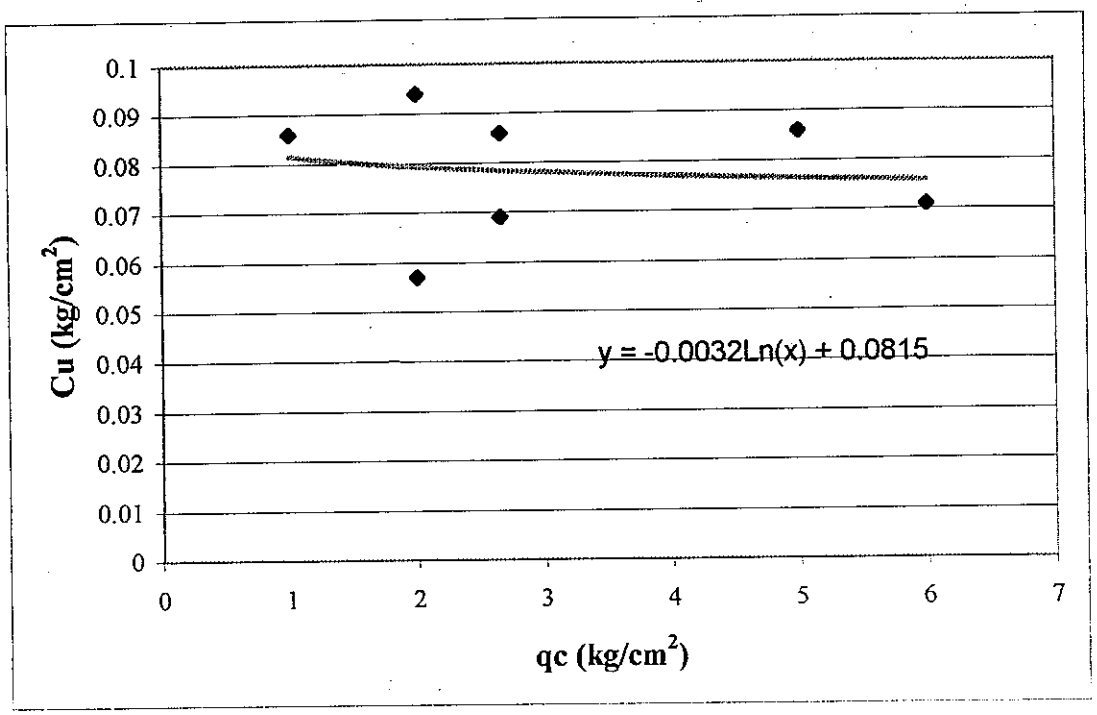
4.2.4. Hubungan (korelasi) Antara Nilai qc Dengan Cu pada Penelitian 4

Tabel 4.17. Menunjukkan korelasi nilai qc dan Cu pada penelitian 4, sedangkan grafik dari korelasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.17. Korelasi Nilai qc dan Cu pada Penelitian 4 (P4)

Titik	Kedalaman (M)	qc	cu
P4	-0.4	3.33	0.128
	-0.8	8.33	0.086
	-1.2	9.33	0.082
	-1.6	8.00	0.094
	-2.0	5.00	0.086
	-2.4	5.33	0.069
	-2.8	6.66	0.057
	-3.2	7.00	
	-3.6	6.33	
	-4.0	4.33	
	-4.4	3.00	
	-4.8	2.00	
	-5.2	1.33	
	-5.6	1.00	
	-6.0	1.00	
	-6.4	1.00	
	-6.8	1.00	
	-7.2	1.00	
	-7.6	1.00	
	-8.0	2.00	
	-8.4	2.33	
	-8.8	2.00	
	-9.2	2.00	
	-9.6	2.00	
	-10.0	2.00	
	-10.4	2.00	
	-10.8	2.00	
	-11.2	1.66	
	-11.6	1.00	
	-12.0	1.00	
	-12.4	1.66	

Titik	Kedalaman (M)	qc	cu
P4	-12.8	2.00	
	-13.2	2.33	
	-13.6	2.33	
	-14.0	2.66	
	-14.4	3.00	
	-14.8	3.00	
	-15.2	3.66	
	-15.6	4.66	
	-16.0	4.33	
	-16.4	4.33	
	-16.8	5.00	
	-17.2	5.00	
	-17.6	6.00	
	-18.0	6.66	
	-18.4	7.00	
	-18.8	6.66	
	-19.2	5.33	
	-19.6	5.66	
	-20.0	7.00	
	-20.4	7.00	
	-20.8	6.33	
	-21.2	6.00	
	-21.6	6.66	
	-22.0	7.33	
	-22.4	8.00	
	-22.8	8.00	



Gambar 4.4. Grafik Korelasi Nilai qc (Sondir) dan Cu (*Vane* Shear) pada Penelitian 4

Dengan menempatkan nilai konus resistance (qc) dari Sondir dengan nilai Cu dari *vane shear* maka didapat hubungan antara Cu dan qc sebagai berikut :

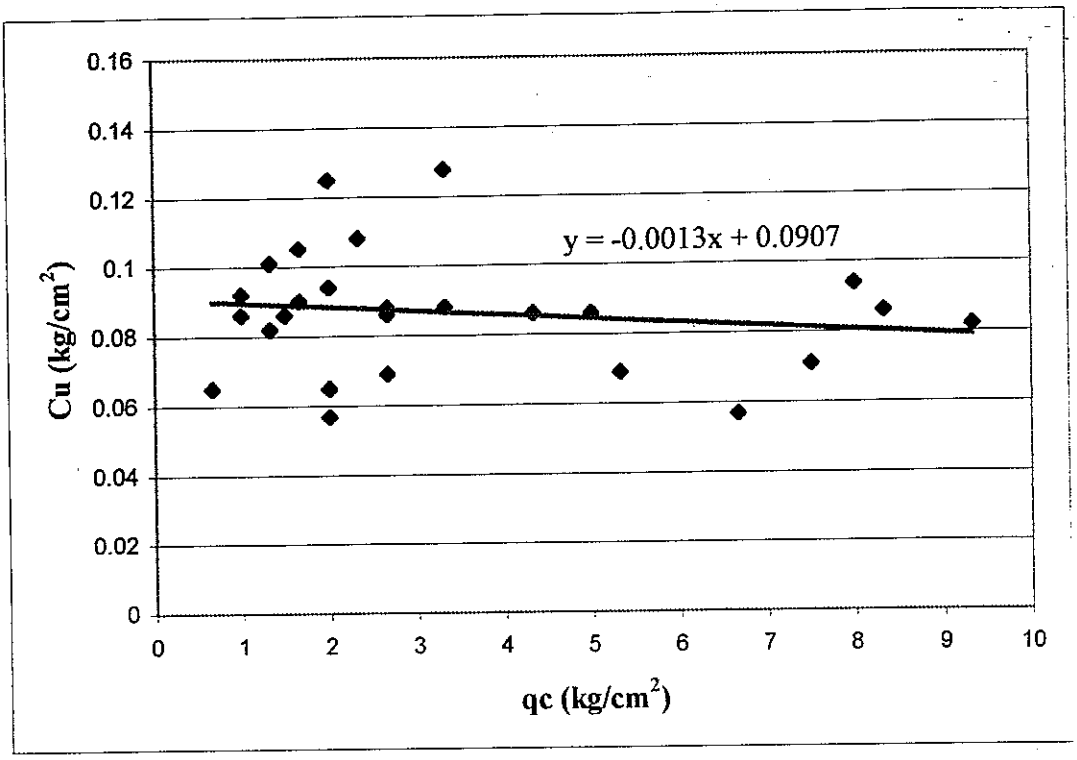
Cu = 0.0815 qc atau

$$Cu = \frac{qc}{12.26} \ (kg/cm^2).$$

Keterangan :

Penelitian yang dilakukan Sanglerat (1972),

$$Cu = \frac{qc}{10 - 20} \ (kg/cm^2).$$



Gambar 4.5. Grafik Gabungan pada Penelitian 1, 2, 3 dan 4.

Gambar 4.5. menunjukkan grafik gabungan dari hubungan korelasi nilai qc dan Cu pada penelitian 1, 2, 3 dan 4

Dengan menempatkan nilai gabungan konus resistance (qc) dari Sondir 1, 2, 3 dan 4 dengan nilai Cu dari *vane shear* 1, 2, 3 dan 4 maka didapat hubungan antara Cu dan qc sebagai berikut :

$Cu = 0.0907\ qc$

atau

$$Cu = \frac{qc}{11.02}\ (kg/cm^2).$$

Keterangan :

Penelitian yang dilakukan Sanglerat (1972),

$$Cu = \frac{qc}{10 - 20}\ (kg/cm^2).$$

4.2.5. Menentukan Nilai Cu_{design} dan qc_{design} pada Kedalaman 0.00 m – 14.00 m

❖ **Pada titik sondir 1 (penelitian 1)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P1) = qc_{rata\text{-}rata} - 1.64$ (Nilai Standar Deviasi S1)

dimana Standar Deviasi S1 = 0.7004 (lihat Tabel 4.18. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 0.00 m – 14.00 m)

$= 2.0746 - 1.64\ (0.7004)$

$= 0.9259\ kg/cm^2$

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P1) = qc_{design} / 11.02$

$= 0.9259 / 11.02$

$= 0.084\ kg/cm^2$

❖ **Pada titik sondir 2 (penelitian 2)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P2) = qc_{rata\text{-}rata} - 1.64$ (Nilai Standar Deviasi S2)

dimana Standar Deviasi S2 = 0.5073 (lihat Tabel 4.18. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 0.00 m – 14.00 m)

$= 1.7414 - 1.64\ (0.5073)$

$= 0.9094\ kg/cm^2$

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P2) = qc_{design} / 11.02$

$= 0.9094 / 11.02$

$= 0.0825\ kg/cm^2$

❖ **Pada titik sondir 3 (penelitian 3)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P3) = qc_{rata\text{-}rata} - 1.64$ (Nilai Standar Deviasi S3)

dimana Standar Deviasi S3 = 0.89388 (lihat Tabel 4.18. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 0.00 m – 14.00 m)

$= 2.27 - 1.64\ (0.89388)$

$= 0.98281\ kg/cm^2$

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P3) = qc_{design} / 11.02$

$= 0.98281 / 11.02$

$= 0.08918\ kg/cm^2$

❖ **Pada titik sondir 4 (penelitian 4)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P4)$ = $qc_{rata\text{-}rata}$ – 1.64 (Nilai Standar Deviasi S4)

dimana Standar Deviasi S4 = 0.60331 (lihat Tabel 4.18. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 0.00 m – 14.00 m)

= 1.91286 – 1.64 (0.60331)

= 0.98377 kg/cm^2

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P4)$ = qc_{design} / 11.02

= 0.08918 / 11.02

= 0.08927 kg/cm^2

4.2.6. Penentuan Nilai Cu_{design} dan qc_{design} pada Kedalaman 14.00 – 23.00 m

❖ **Pada titik sondir 1 (penelitian 1)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P1)$ = $qc_{rata\text{-}rata}$ – 1.64 (Nilai Standar Deviasi S1)

dimana Standar Deviasi S1 = 1.20365 (lihat Tabel 4.19. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 14.00 m – 23.00 m)

= 6.0315 – 1.64 (1.20365)

= 4.05751 kg/cm^2

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P1)$ = qc_{design} / 11.02

= 4.05751/ 11.02

= 0.3681955 kg/cm^2

❖ **Pada titik sondir 2 (penelitian 2)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P2)$ = $qc_{rata\text{-}rata}$ – 1.64 (Nilai Standar Deviasi S2)

dimana Standar Deviasi S2 = 0.568148 (lihat Tabel 4.19. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 14.00 m – 23.00 m)

= 6.6272 – 1.64 (0.568148)

= 5.69545 kg/cm^2

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P2)$ = qc_{design} / 11.02

= 5.695459/11.02

= 0.516829 kg/cm^2

❖ **Pada titik sondir 3 (penelitian 3)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P3)$ = $qc_{rata\text{-}rata}$ – 1.64 (Nilai Standar Deviasi S3)

dimana Standar Deviasi S3 = 0.636543 (lihat Tabel 4.19. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 14.00 m – 23.00 m)

= 6.625556 – 1.64 (0.636543)

= 5.581625 kg/cm^2

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P3)$ = qc_{design} / 11.02

= 5.581625/ 11.02

= 0.5065 kg/cm^2

❖ **Pada titik sondir 4 (penelitian 4)**

Perhitungan qc_{design}

$qc_{design}(P4)$ = $qc_{rata\text{-}rata}$ – 1.64 (Nilai Standar Deviasi S4)

dimana Standar Deviasi S4 = 1.152273 (lihat Tabel 4.19. Menentukan Cu_{design} pada kedalaman 14.00 m – 23.00 m)

= 5.482273 – 1.64 (1.152273)

= 3.592545 kg/cm^2

Perhitungan Cu_{design}

$Cu_{design}(P4)$ = qc_{design} / 11.02

= 3.592545/11.02

= 0.326002 kg/cm^2

Perhitungan tinggi timbunan kritis (H_{cr})

Data Cu_{design} dapat dilihat pada hasil perhitungan menentukan nilai Cu_{design} dan qc_{design} pada kedalaman 0.00 m – 14.00 m dan γ timbunan dapat dilihat dalam Lampiran H.1.2. Hasil Penelitian Tanah Urugan Pilihan halaman 119 dari uji laboratorium.

H_{cr} 1 = $Cu_{design}(P1).Nc/\gamma_{timbunan}$

= 0.84. 5,5/1.85

= 2.497 m

H_{cr} 2 = $Cu_{design}(P2).Nc/\gamma_{timbunan}$

= 0.825.5,5/1.85

= 2.45 m

H_{cr} 3 $= Cu_{design}(P3).Nc/\gamma_{timbunan}$

$= 0.8918.5,5/1.85$

$= 2.65$ m

H_{cr} 4 $= Cu_{design}(P4).Nc/\gamma_{timbunan}$

$= 0.8927.5,5/1.85$

$= 2.65$ m

Perhitungan Angka Keamanan (FS)

Data Cu_{design} dapat dilihat pada hasil perhitungan menentukan nilai Cu_{design} dan qc_{design} pada kedalaman 0.00 m – 14.00 m, γ timbunan dapat dilihat dalam Lampiran H.1.2. Hasil Penelitian Tanah Urugan Pilihan halaman 119 dari uji laboratorium dan H_{cr} dapat dilihat pada perhitungan tinggi timbunan kritis.

Pada penelitian 1 (P1)

FS1 $= Cu_{design}(P1).Nc/\gamma_{timbunan}\ H_{cr}1$

FS1 $= 0.84.\ 5,5/1.85\ 2.497$

$= 1.002$

Pada penelitian 2 (P2)

FS2 $= Cu_{design}(P2).Nc/\gamma_{timbunan}\ H_{cr}2$

FS2 $= 0.825.\ 5,5/1.85\ 2.45$

$= 1.001$

Pada penelitain 3 (P3)

FS3 $= Cu_{design}(P3).Nc/\gamma_{timbunan}\ H_{cr}3$

FS3 $= 0.8918.\ 5,5/1.85\ 2.65$

$= 1.0004$

Pada penelitian 4 (P4)

FS4 $= Cu_{design}(P4).Nc/\gamma_{timbunan}\ H_{cr}4$

FS4 $= 0.8927.\ 5,5/1.85\ 2.65$

$= 1.0001$

Tabel 4.18. Menentukan Cu_{design} dari Nilai Konus Resistance (qc) pada Kedalaman 0.00 – 14.00 m

Kedalaman (m)	Nilai konus resistance qc (kg/m^2)			
	S1	S2	S3	S4
-0.4	5	2	1.5	3.33
-0.8	4.33	2	1.33	3.33
-1.2	2.66	2	1	3.33
-1.6	2	2	1.33	3
-2.0	2.66	2	2.66	3
-2.4	2.66	2.33	3.33	2.33
-2.8	2	2	2.66	3.66
-3.2	2	1.33	2	2
-3.6	2	1.33	2	2.33
-4.0	2	1.33	2.33	2.33
-4.4	2	1	4	3
-4.8	2	1	4	2
-5.2	1.66	1	5	1.33
-5.6	1	1.66	4	1
-6.0	1	2	2	1
-6.4	1	1.66	2	1
-6.8	1	1	2	1
-7.2	1	1	1.33	1
-7.6	1	1	1	1
-8.0	1.33	1	1	2
-8.4	2	1.33	1	2.33
-8.8	2	2	1.33	2
-9.2	1.66	2	2	2
-9.6	2	2	2	2
-10.0	2	2	2	2
-10.4	2.33	2.33	2	2
-10.8	3	3	2.33	2
-11.2	2.33	2.33	3	1.66
-11.6	2	2	3	1
-12.0	2.66	2.33	3.33	1
-12.4	3	3.66	2.33	1.66
-12.8	3.33	3.33	4	2
-13.2	4	2	4.66	2.33
Standart deviasi	0.7004	0.5073	0.89388	0.60331
Rata-rata	2.0746	1.7414	2.27	1.91286
qc design (kg/cm^2) 0.00 m s/d -14.00 m	0.9259	0.9094	0.98281	0.98377
Cu design = qc design/11.02	0.084	0.0825	0.08918	0.08927
	100	100	100	100
Cu x 100 (KN/m^2)	8.4023	8.2526	8.91839	8.9271
Cu (T/m^2)	0.84	0.82	0.89	0.89

Tabel 4.19. Menentukan Cu_{design} dari Nilai Konus Resistance (qc) pada Kedalaman 14.00 – 23.00 m

Kedalaman (m)	Nilai konus resistance qc (kg/m^2)			
	S1	S2	S3	S4
-14.4				3
-14.8				3
-15.2	4.66	5	5	3.66
-15.6	5	5.33	6.33	4.66
-16.0	5	6.33	6.66	4.33
-16.4	4.33	7	6	4.33
-16.8	4.33	7	6.33	5
-17.2	5	7	7	5
-17.6	5	6.33	7	6
-18.0	5	5.66	6.33	4.66
-18.4	5	6.66	5.33	7
-18.8	5.33	6.66	5.33	4.66
-19.2	5.66	6	6.66	5.33
-19.6	6.33	6.66	7	5.66
-20.0	7.33	7	7.33	6
-20.4	8	7	8	6
-20.8	7	7	7.66	6.33
-21.2	7	7	7	6
-21.6	7.33	7.66	7.3	6.66
-22.0	8	8	7	7.33
-22.4	8			8
-22.8	7.33			8
Standart deviasi	1.20365	0.568148	0.636543	1.152273
Rata-rata	6.0315	6.627222	6.625556	5.482273
qc design (kg/cm^2) -14.00 m s/d – 23.00 m	4.057514	5.695459	5.581625	3.592545
Cu design = qc design/11.02	0.368196	0.516829	0.5065	0.326002
	100	100	100	100
Cu x 100 (KN/m^2)	36.81955	51.68293	50.64995	32.60023
Cu (T/m^2)	36.82	51.68	50.65	32.60

4.2.7. Analisa Kestabilan Lereng

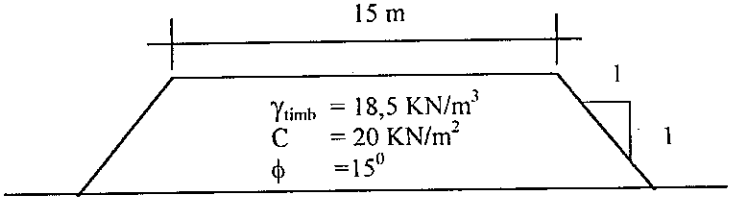
Untuk menganalisa kestabilan lereng digunakan suatu program komputer Slope/W. Dalam hal ini program yang digunakan adalah versi *student*.

Slope/W adalah suatu program yang menggunakan metode kesetimbangan batas untuk memecahkan (mencari faktor keamanan). Program ini dibuat oleh *Geo-Slope International Ltd, Calgary, Alberta, Canada.*

Untuk perhitungan standar, Slope/W dalam perhitungannya menggunakan :

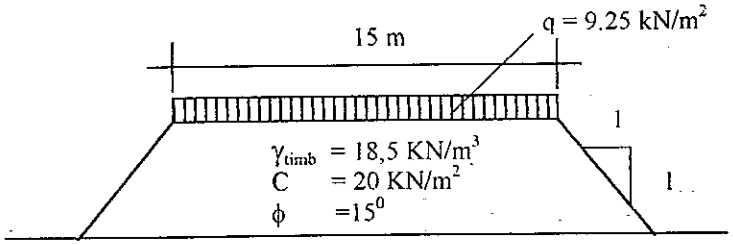
1. Metode Fellenius
2. Metode Bishop
3. Metode Janbu

Hasil perhitungan yang dipakai adalah hasil dari metode Bishop. Perhitungan dengan program ini bertujuan untuk mengetahui panjang maximum bidang gelincir dari suatu timbunan, sehingga dapat ditentukan jarak yang aman untuk membangun bangunan yang baru di samping bangunan yang telah ada. Dimensi bangunan dan data tanah dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut;



γ = 16,2 KN/m^3
Cu = titik 1 = 8,4 KN/m^2
titik 2 = 8,25 KN/m^2
titik 3 = 8,918 KN/m^2
titik 4 = 8,927 KN/m^2
ϕ = 0

a. Timbunan Tanah



γ = 16,2 KN/m^3
Cu = titik 1 = 8,4 KN/m^2
titik 2 = 8,25 KN/m^2
titik 3 = 8,918 KN/m^2
titik 4 = 8,927 KN/m^2
ϕ = 0

b. Timbunan Tanah dengan Beban Pelaksanaan

Gambar 4.6. Dimensi Timbunan dan Data Tanah pada Penelitian 1,2,3, dan 4.

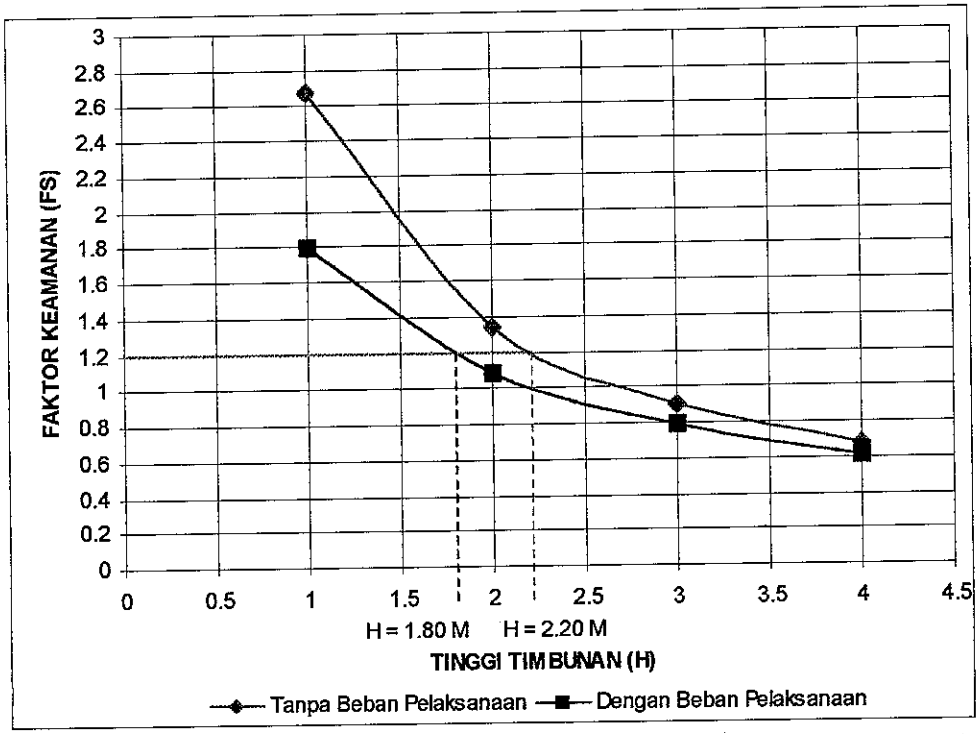
Perhitungan stabilitas lereng dapat dilihat pada Lampiran I.1.1.s/d L.4.6. Analisa Stabilitas Lereng halaman 126 s/d 221.

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng yang dapat dilihat pada Lampiran I.1.1 s/d I.4.6 halaman 126 s/d 221 dapat disimpulkan seperti pada Tabel 4.20 untuk penelitian 1.

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 1.

Timbunan (m)	FS (Angka Keamanan)		L (Panjang Bidang Gelincir)	
	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan
1.00	2.677	1.790	15.33 m	15.50 m
2.00	1.339	1.084	16.66 m	16.70 m
3.00	0.897	0.789	17.83 m	17.90 m
4.00	0.677	0.607	16.33 m	16.60 m

Dari Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 1 dapat dihitung tinggi timbunan kritis (H_{cr}) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



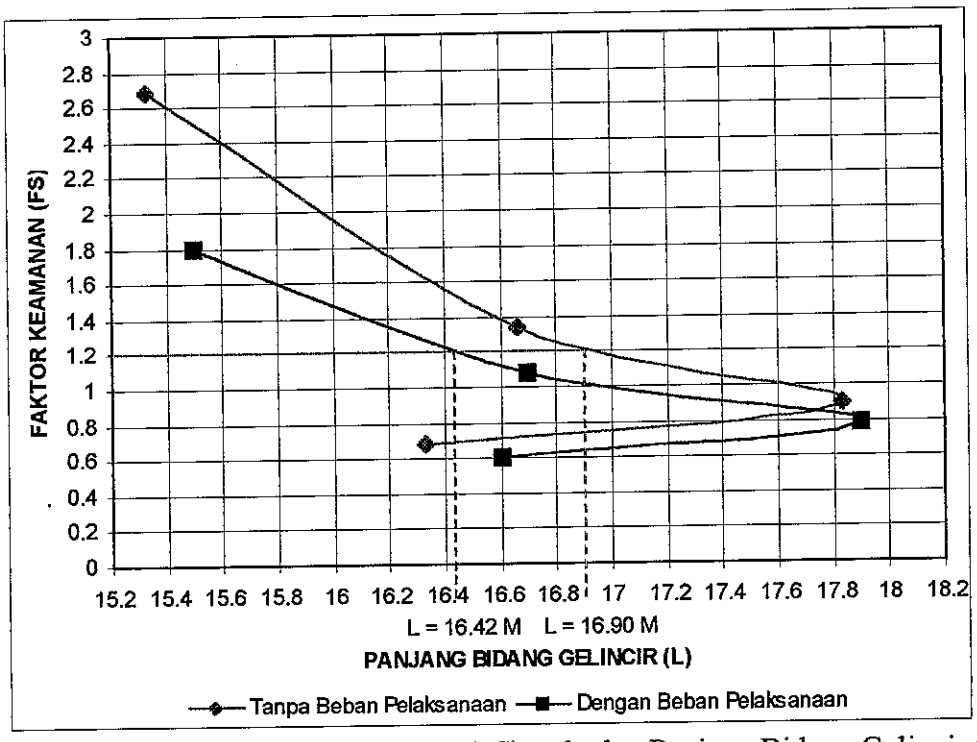
Gambar 4.7. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 1.

Dari Gambar 4.7. Grafik FS terhadap H, dapat diketahui :

Untuk ⟶ FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat H_{cr} = 2.20 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) didapat H_{cr} = 1.80 m

Dari Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 1 dapat dihitung panjang bidang gelincir (L) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Panjang Bidang Gelincir (L) pada Penelitian 1.

Dari Gambar 4.8. Grafik FS terhadap L, dapat diketahui :

Untuk → FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat L = 16.90 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) didapat L = 16.42 m.

Pada penelitian 1 dapat diambil kesimpulan bahwa :

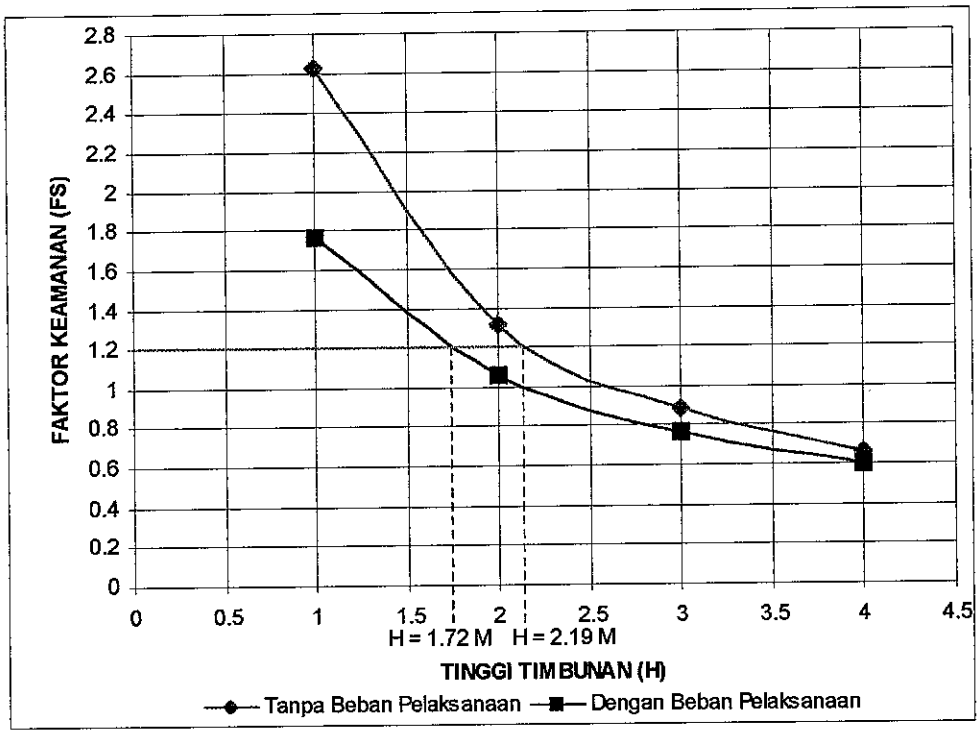
a. H_{cr} untuk timbunan tanah dengan beban pelaksanaan lebih kecil (H_{cr} = 1.80 m) dari pada H_{cr} timbunan tanah tanpa beban pelaksanaan (H_{cr} = 2.20 m).
b. Akibat dari turunnya tinggi timbunan kritis tersebut maka panjang bidang gelincir menjadi lebih pendek dari L = 16.90 m menjadi L = 16.42 m.
c. Pada FS < 0.789 dengan beban pelaksanaan dan FS < 0.897 tanpa beban pelaksanaan panjang bidang gelincir cenderung turun dan menjadi tidak menentu, hal ini disebabkan karena daya dukung tanah dasar tidak kuat menahan beban yang ada diatasnya sehingga panjang bidang gelincir tidak dapat dikontrol.

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng yang dapat dilihat pada Lampiran J.1.1 s/d J.4.6 halaman 150 s/d 173 dapat disimpulkan seperti pada Tabel 4.21 untuk penelitian 2.

Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 2.

Timbunan (m)	FS (Angka Keamanan)		L (Panjang Bidang Gelincir)	
	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan
1.00	2.632	1.760	15.44 m	15.50 m
2.00	1.317	1.062	16.66 m	16.70 m
3.00	0.882	0.763	17.83 m	17.90 m
4.00	0.666	0.597	16.50 m	16.55 m

Dari Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 2 dapat dihitung tinggi timbunan kritis (H_{cr}) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.



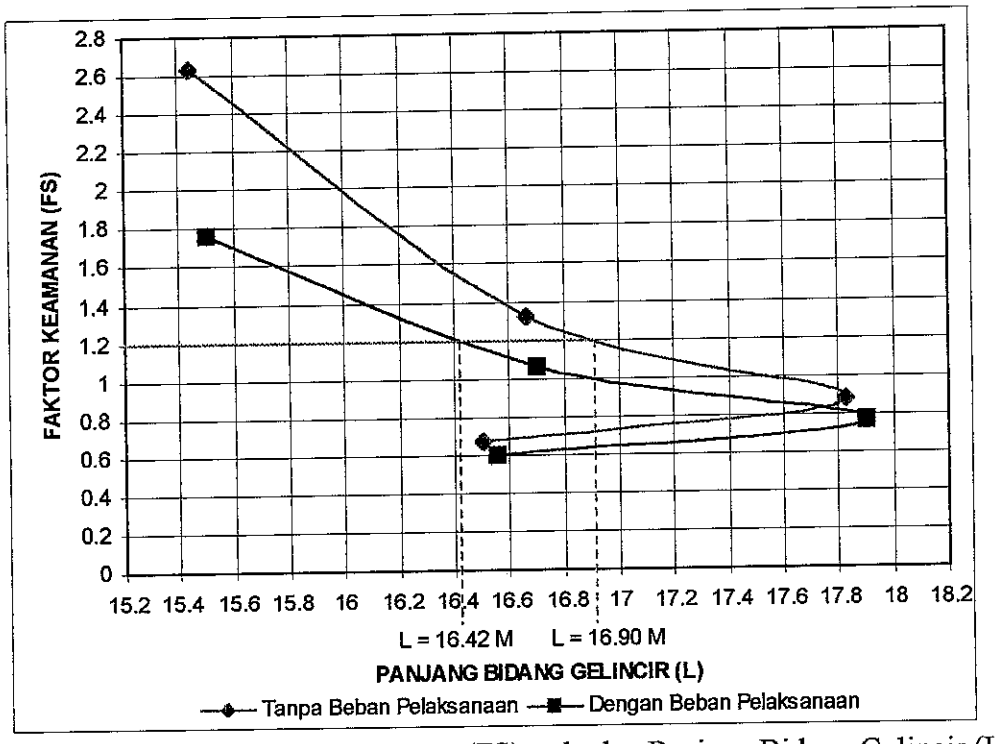
Gambar 4.9. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 2.

Dari Gambar 4.9. Grafik FS terhadap H, dapat diketahui :

Untuk → FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat H_{cr} = 2.19 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) H_{cr} = 1.72 m.

Dari Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 2 dapat dihitung panjang bidang gelincir (L) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Panjang Bidang Gelincir (L) pada Penelitian 2

Dari Gambar 4.10. Grafik FS terhadap L, dapat diketahui :

Untuk ⟶ FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat L = 16.90 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) L = 16.42 m.

Pada penelitian 2 dapat diambil kesimpulan bahwa :

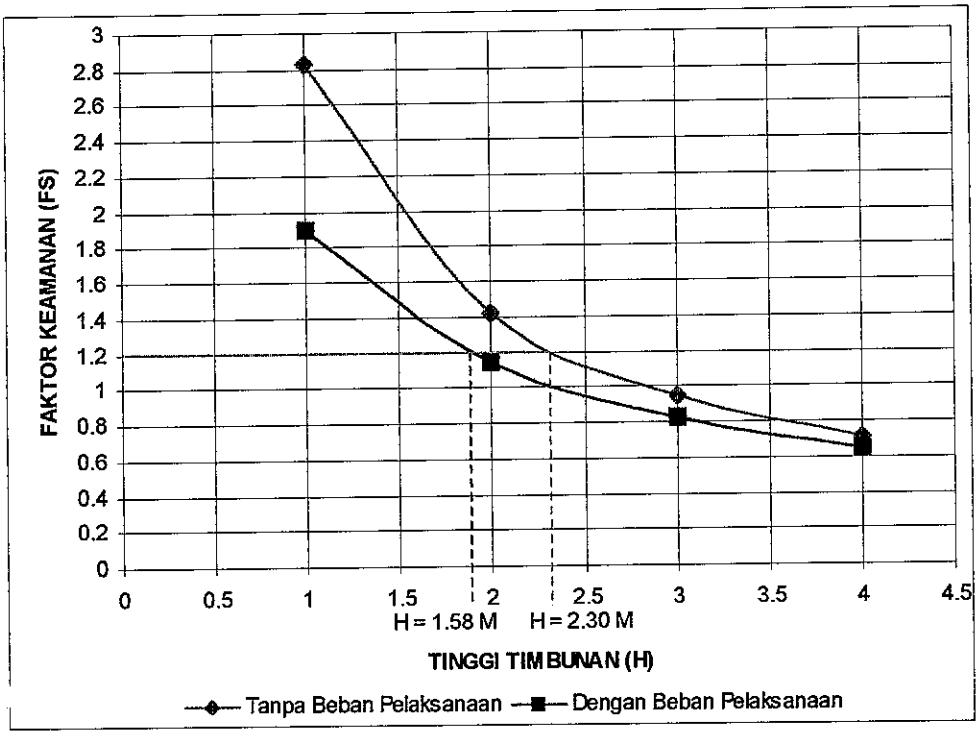
a. H_{cr} untuk timbunan tanah dengan beban pelaksanaan lebih kecil (H_{cr} = 1.72 m) dari pada H_{cr} timbunan tanah tanpa beban pelaksanaan (H_{cr} = 2.19 m).
b. Akibat dari turunnya tinggi timbunan kritis tersebut maka panjang bidang gelincir menjadi lebih pendek dari L = 16.90 m menjadi L = 16.42 m.
c. Pada FS < 0.763 dengan beban pelaksanaan dan FS < 0.882 tanpa beban pelaksanaan panjang bidang gelincir cenderung turun dan menjadi tidak menentu, hal ini disebabkan karena daya dukung tanah dasar tidak kuat menahan beban yang ada diatasnya sehingga panjang bidang gelincir tidak dapat dikontrol.

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng yang dapat dilihat pada Lampiran K.1.1 s/d K.4.6 halaman 174 s/d 197 dapat disimpulkan seperti pada Tabel 4.22 untuk penelitian 3.

Tabel 4.22. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 3.

Timbunan (m)	FS (Angka Keamanan)		L (Panjang Bidang Gelincir)	
	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan
1.00	2.832	1.895	15.33 m	15.50 m
2.00	1.416	1.143	16.36 m	16.60 m
3.00	0.948	0.820	17.83 m	17.90 m
4.00	0.715	0.642	16.50 m	16.60 m

Dari Tabel 4.22. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 3 dapat dihitung tinggi timbunan kritis (H_{cr}) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 3.

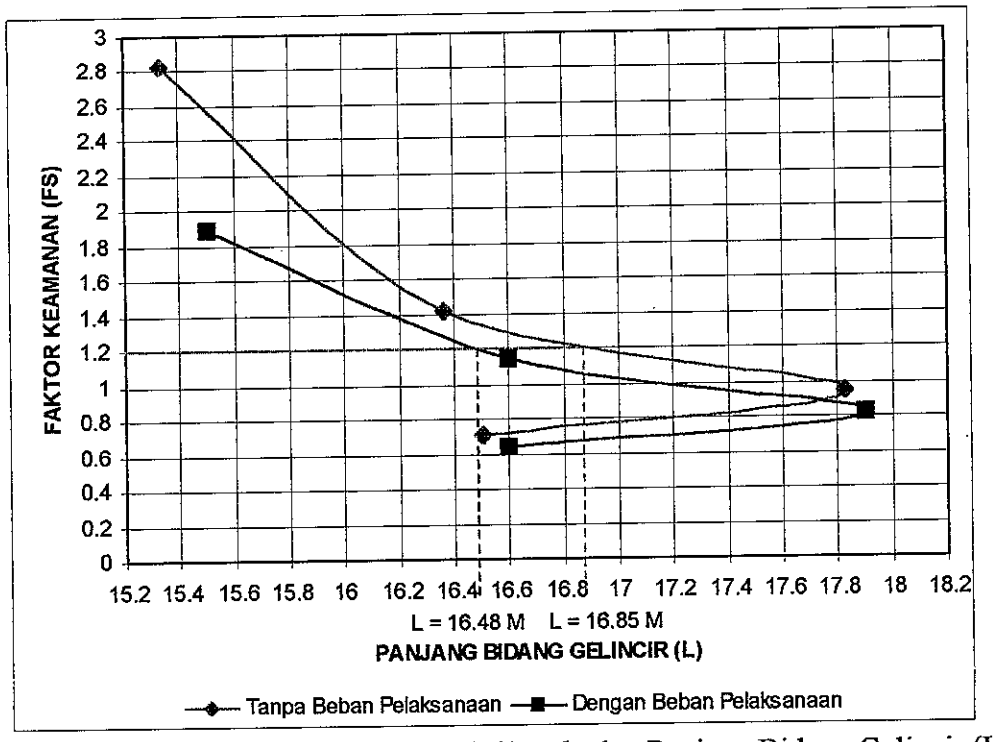
Dari Gambar 4.11. Grafik FS terhadap H, dapat diketahui :

Untuk ⟶ FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat H_{cr} = 2.30 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) didapat H_{cr} = 1.58 m.

UPT-PUSTAK-UNRIP

Dari Tabel 4.22. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 3 dapat dihitung panjang bidang gelincir (L) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Panjang Bidang Gelincir (L) pada Penelitian 3.

Dari Gambar 4.12. Grafik FS terhadap L, dapat diketahui :

Untuk ⟶ FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat L = 16.85 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) didapat L = 16.48 m.

Pada penelitian 3 dapat diambil kesimpulan bahwa :

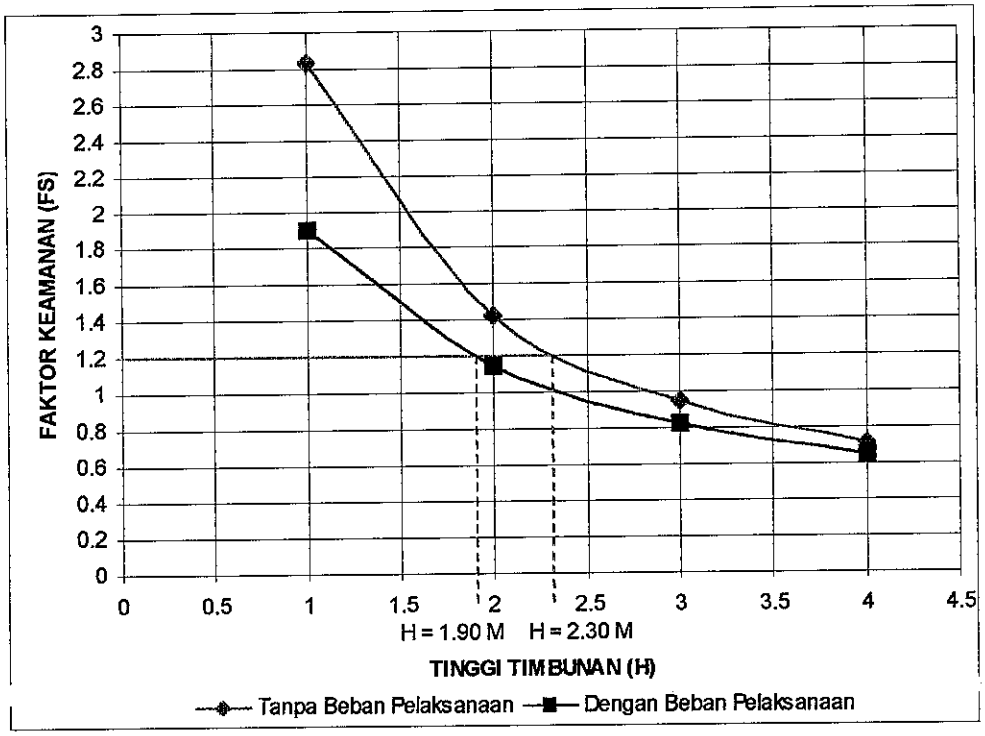
a. H_{cr} untuk timbunan tanah dengan beban pelaksanaan lebih kecil (H_{cr} = 1.58 m) dari pada H_{cr} timbunan tanah tanpa beban pelaksanaan (H_{cr} = 2.30 m).
b. Akibat dari turunnya tinggi timbunan kritis tersebut maka panjang bidang gelincir menjadi lebih pendek dari L = 16.85 m menjadi L = 16.48 m.
c. Pada FS < 0.820 dengan beban pelaksanaan dan FS < 0.948 tanpa beban pelaksanaan panjang bidang gelincir cenderung turun dan menjadi tidak menentu, hal ini disebabkan karena daya dukung tanah dasar tidak kuat menahan beban yang ada diatasnya sehingga panjang bidang gelincir tidak dapat dikontrol.

Dari hasil perhitungan stabilitas lereng yang dapat dilihat pada Lampiran L.1.1 s/d L.4.6 halaman 198 s/d 221 dapat disimpulkan seperti pada Tabel 4.23 untuk penelitian 4.

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 4

Timbunan (m)	FS (Angka Keamanan)		L (Panjang Bidang Gelincir)	
	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan	Tanpa Beban Pelaksanaan	Dengan Beban Pelaksanaan
1.00	2.835	1.897	15.50 m	15.50 m
2.00	1.417	1.144	16.66 m	16.70 m
3.00	0.949	0.821	17.83 m	17.89 m
4.00	0.716	0.643	16.50 m	16.60 m

Dari Tabel 4.23. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 4 dapat dihitung tinggi timbunan kritis (H_{cr}) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.13.



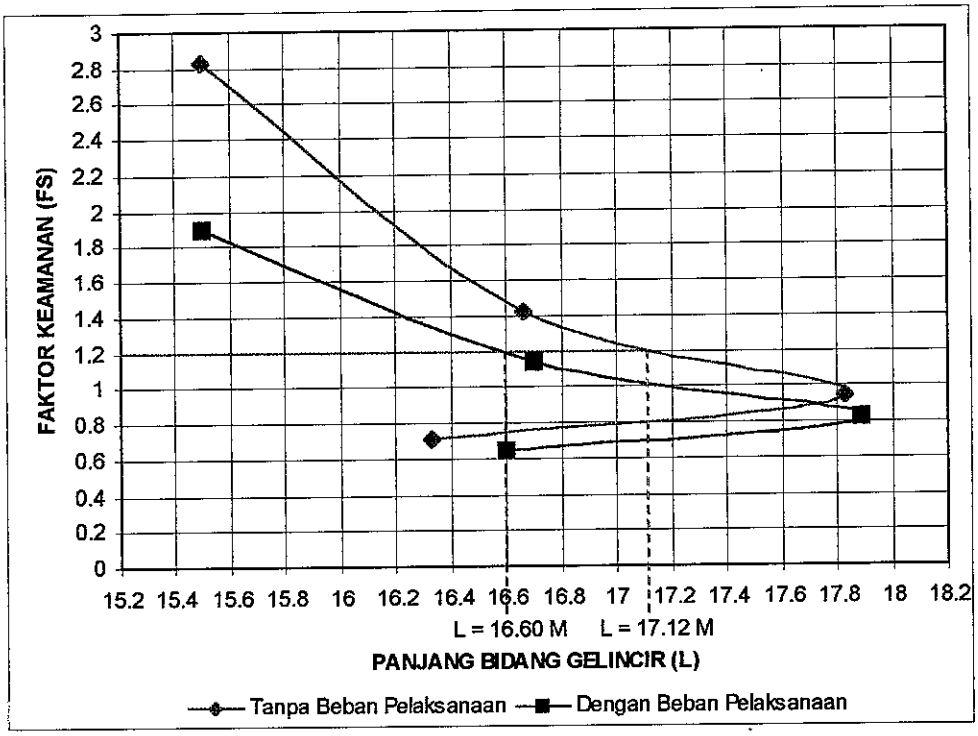
Gambar 4.13. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 4

Dari Gambar 4.13. Grafik FS terhadap H, dapat diketahui :

Untuk ⟶ FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat H_{cr} = 2.30 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) didapat H_{cr} = 1.90 m.

Dari Tabel 4.23. Hasil Perhitungan Analisa Kestabilan Lereng pada Penelitian 4 dapat dihitung panjang bidang gelincir (L) pada faktor keamanan FS = 1.2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Grafik Faktor Keamanan (FS) terhadap Tinggi Timbunan (H) pada Penelitian 4

Dari Gambar 4.14. Grafik FS terhadap L, dapat diketahui :

Untuk ⟶ FS = 1.2 (tanpa beban pelaksanaan) didapat L = 17.12 m

FS = 1.2 (dengan beban pelaksanaan) didapat L = 16.60 m.

Pada penelitian 4 dapat diambil kesimpulan bahwa :

a. H_{cr} untuk timbunan tanah dengan beban pelaksanaan lebih kecil (H_{cr} = 1.90 m) dari pada H_{cr} timbunan tanah tanpa beban pelaksanaan (H_{cr} = 2.30 m).
b. Akibat dari turunnya tinggi timbunan kritis tersebut maka panjang bidang gelincir menjadi lebih pendek dari L = 17.12 m menjadi L = 16.60 m.
c. Pada FS < 0.821 dengan beban pelaksanaan dan FS < 0.949 tanpa beban pelaksanaan panjang bidang gelincir cenderung turun dan menjadi tidak menentu, hal ini disebabkan karena daya dukung tanah dasar tidak kuat menahan beban yang ada diatasnya sehingga panjang bidang gelincir tidak dapat dikontrol.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Lapisan tanah di daerah Banjir Kanal Timur pada lokasi penelitian dari kedalaman – 0.00 sampai dengan -14.00 terdapat lapisan lempung sangat lunak sampai dengan lunak dan pada kedalaman –14.00 sampai dengan –23.00 terdapat lapisan lempung lunak sampai teguh.
2. Dari hasil penelitian didapat nilai korelasi antara Cu (kg/cm^2) dari Vane Shear dan qc (kg/cm^2) dari data sondir adalah sebagai berikut :

   $Cu = qc / 11{,}02$ (kg/cm^2)

   Menunjuk Penelitian Sangrelat seorang pakar luar negeri telah melakukan penyelidikan dibeberapa lokasi dengan hasil :

   $Cu = qc / 10$ (kg/cm^2) (lokasi di *Great Britain* Inggis)

   $Cu = qc / 10$ s/d 20 (kg/cm^2) (lokasi di *Annency* Perancis)
3. Dari hasil perhitungan stabilitas lereng dengan menggunakan *Slope/W* dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi penelitian mempunyai tinggi timbunan kritis (H_{cr}) dan panjang bidang gelincir (L) sebagai berikut :

   Untuk FS = 1.2 → H_{cr} (tanpa beban pelaksanaan) = 2.30 m

   H_{cr} (dengan beban pelaksanaan) = 1.90 m

   Untuk FS = 1.2 → L (tanpa beban pelaksanaan) = 17.12 m

   L (dengan beban pelaksanaan) = 16.60 m

   Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan beban pelaksanaan mengakibatkan turunnya tinggi timbunan kritis (H_{cr}), dengan turunnya H_{cr} tersebut maka panjang bidang gelincir menjadi lebih pendek.
4. Untuk FS < 0.821 dengan beban pelaksanaan dan FS < 0.949 tanpa beban pelaksanaan panjang bidang gelincir cenderung turun dan menjadi tidak menentu, hal ini disebabkan karena daya dukung tanah dasar tidak kuat menahan beban diatasnya. Sehingga panjang bidang gelincir tidak dapat dikontrol.

5.2. Saran

Untuk membangun jembatan baru disamping jembatan Banjir Kanal Timur *Existing* disarankan mempunyai jarak minimal 17.12 m dengan tinggi timbunan 1.90 m, agar pengaruh akibat beban pelaksanaan pekerjaan proyek baru tidak mengganggu terhadap konstruksi jembatan Banjir Kanal Timur *Existing*.

DAFTAR PUSTAKA

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

Bowels, JE. (1979) *Foundation Analysis and Design*, Mc. Graw Hill, New York.

Bowels, JE. (1984) *Physical and Geotechnical Properties of Soil*, Mc. Graw Hill, 1984.

Das, B. M., (1984), *Principles of Foundation Engineering*, Wadsworth Inc.

Das, B. M., (1985), *Principles of Geothecnical Engineering*, PW Kent publishing.

Das, B. M., (1985), *Advanced Soil Mechanics*, McGraw Hill Book Company.

James K. Michell (1976), *Foundamental of Soil Behavior*, John Willey and Sons, Inc.

L.D. Wesley (1977), Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Cetakan ke VI.

Pumia, BC (1982), *Soil Mechanias and Founsations Standards Book House*, New Dehli.

Skempton (1954), *The Pore Pressure Parameters A dan B Geotechnique*, Vol.4, The Building Congress, London.

Sanglarat G. (1972), *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Co. Amsterdam.

Taylor (1948), *Fundamentals of Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Terzaghi (1943), *Theoretical Soil Mechanics*, John Willy and Sons, Inc., New York.

T. William Lambe / Robert V. Whitman (1975), *Soil Mechanics*, John Willey and Sons.

Teng, W. C., (1981), *Foundation Detiga*, Prentice Hall of Hindia Private Limited New Dehli.