

LAPORAN PENELITIAN

STUDY PUKULAN SPT PADA TANAH SRENGSENG DAN BEKASI MENGGUNAKAN SEPATU PANCANG TERBUKA (STANDAR) DAN KERUCUT PEJAL BERSUDUT 60°

Dikerjakan Oleh :

Ir. Idrus M.Sc
Staff Pengajar Jurusan Sipil ISTN



ISTN

JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA
1994

EXHIBIT 10

THE BOARD OF DIRECTORS OF THE COMPANY HAS REVIEWED THE INFORMATION CONTAINED IN THIS REPORT AND IS NOT AWARE OF ANY UNSTATED INFORMATION THAT COULD MATERIALLY AFFECT THE COMPANY'S FINANCIAL POSITION.

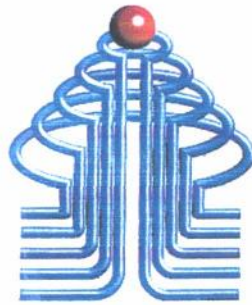
Very truly yours,

John J. ...
President



EXHIBIT 10
1991

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN**



ISTN

**STUDY PUKULAN SPT PADA TANAH
SRENGSENG DAN BEKASI MENGGUNAKAN
SEPATU PANCANG TERBUKA (STANDAR)
DAN KERUCUT PEJAL BERSUDUT 60°**

Dikerjakan Oleh:

Ir .Idrus M.Sc, (Staff Pengajar Jurusan Teknik Sipil)

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Ir. Arimulyo Diah Utami, M.T

**Program Studi Teknik Sipil
Institut Sain dan Teknologi Nasional
Jakarta 1994**

LEHIBAN PERKOTAAN
KAWASAN PERKOTAAN

1992

1993

1994

REVISI PERUBAHAN SUDUT JALAN
SIMPANG DAN BUKTI MENGGEMAR
SUDUT KAWASAN PERKOTAAN
DAN KECUCI TETAP BERSAMA TPO

Peraturan Menteri
(No. 20/P.1992/Permen/Perkotaan/Perkotaan)

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Peraturan Menteri
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
No. 20/P.1992/Permen/Perkotaan/Perkotaan
1992

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rakhmat dan Karunia-Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Penelitian ini dengan sebaik-baiknya.

Pembuatan Laporan Penelitian ini merupakan salah satu syarat akademis yang harus diselesaikan pada Fakultas Teknik Sipil – Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.

Laporan Penelitian ini berjudul **“Study Pukulan SPT Pada Tanah Srengseng Dan Bekasi Menggunakan Sepatu Pancang Terbuka (Standar) Dan Kerucut Pejal Bersudut 60°”**.

Dalam menyusun laporan penelitian ini, penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan – kekurangan, karena keterbatasan dan kemampuan yang ada. Walaupun demikian laporan penelitian ini telah dibuat dengan usaha semaksimal mungkin dengan dukungan dan bantuan yang diberikan dari berbagai pihak.

Penulis menyadari bahwa Laporan Penelitian ini masih kurang sempurna, oleh karena itu segala saran dan kritikan yang membangun akan penulis terima dengan senang hati.

dan sebagainya.

Walaupun demikian, segala hal yang berkaitan dengan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat harus diperhatikan dan dikembangkan.

Salah satu aspek yang harus diperhatikan adalah aspek kesehatan masyarakat pada khususnya. Untuk itu, perlu dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kesehatan masyarakat.

Salah satu aspek yang harus diperhatikan adalah aspek kesehatan masyarakat pada khususnya. Untuk itu, perlu dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kesehatan masyarakat.

Salah satu aspek yang harus diperhatikan adalah aspek kesehatan masyarakat pada khususnya. Untuk itu, perlu dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kesehatan masyarakat.

Salah satu aspek yang harus diperhatikan adalah aspek kesehatan masyarakat pada khususnya. Untuk itu, perlu dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kesehatan masyarakat.

Akhir kata, mudah – mudahan laporan Penelitian ini dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi perkembangan ilmu Teknik Sipil.

Jakarta, 1994
Penulis

(Ir. IDRUS M.Sc)

... yang telah ...
... yang ...
...
...

...
...

...
...

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR NOTASI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR GRAFIK	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB. I. Pendahuluan.	1
I. 1. Latar Belakang.	1
I. 2. Maksud dan Tujuan.	2
I. 3. Ruang Lingkup Pembahasan.	2
I. 4. Sistematika Pembahasan.	4
BAB. II. Klassifikasi dan Pengujian Tanah di Laboratorium.	5
II. 1. Klassifikasi Tanah Sistim Unified.	5
II. 2. Pengujian Tanah di Laboratorium.	10
II. 2. 1 Percobaan Berat Jenis.	10
II. 2. 2 Percobaan Indeks Properties.	11
II. 3. 3 Percobaan Batas-Batas Atterberg.	12
II. 4. 4 Percobaan Analisa Ukuran Butiran.	14
BAB. III. Pengujian tanah di Lapangan.	17
III. 1. Standard Penetration Test (SPT).	17
III. 2. Perkembangan SPT.	18

III.	3.	Percobaan Penetrasi menggunakan sepatu pancang kerucut (modifikasi).....	23
III.	4.	Peralatan dan prosedur percobaan.....	25
III.	5.	Faktor-faktor penting yang berpengaruh dalam pelaksanaan pengujian tanah.....	27
III.	6.	Koreksi nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap kondisi muka air tanah.....	28
III.	7.	Koreksi nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap tegangan overburden.....	33
III.	8.	Koreksi nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap ratio energi batang, pengaruh ukuran panjang batang bor serta pengaruh diameter lubang bor.....	36
III.	9.	Korelasi nilai perlawanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap derajat kepadatan tanah.....	42
III.	10.	Aplikasi nilai perlawanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap perhitungan daya dukung pondasi dangkal.....	44
BAB.	IV.	PEMBAHASAN.....	46
	IV.	1. Hubungan kedalaman dengan parameter tanah.....	46
	IV.	2. Hubungan kedalaman dengan nilai perlawanan penetrasi.....	57
	IV.	3. Hubungan nilai perlawanan penetrasi dengan tegangan overburden.....	61

BAB.	V. KESIMPULAN DAN SARAN-SARAN.	68
	V.1. KESIMPULAN.	68
	V.2. SARAN.	69
	Daftar Pustaka.	

DAFTAR NOTASI

	Satuan
N	: Harga SPT dilapangan (pukulan)
N'	: Harga SPT setelah dikoreksi (pukulan)
σ_v	: Tegangan overburden (ton/ft ²)
C _N	: Faktor koreksi pengaruh tegangan overburden
B	: Lebar pondasi (m)
D	: Kedalaman pondasi (m)
q _{ad}	: Daya dukung allowed (ton/m ²)
q _{ul}	: Daya dukung ultimate (ton/m ²)
ERr/60	: Faktor koreksi energi batang
η_1	: Faktor koreksi panjang batang
η_2	: Faktor koreksi diameter lubang bor
Dr	: Kepadatan relatif
e	: Angka pori
W _n	: Kadar air (%)
δ_d	: Berat isi kering (t/m ³)
G _s	: Spesifik gravity
S _r	: Derajat kejenuhan (%)
W _p	: Batas plastis (%)
W _l	: Batas cair (%)
I _p	: Indeks plastisitas (%)

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1. Diagram plastisitas	9
2. 2. Grafik pembagian ukuran butir	15
3. 1. Peralatan yang dipergunakan dalam percobaan	26
3. 2. Hubungan antara harga SPT diatas dan dibawah muka air tanah untuk pasir halus dan pasir endapan	32
3. 3. Cara pelepasan beban pemukul dalam percobaan SPT	37
3. 4. Jenis alat pemukul pada percobaan SPT	38

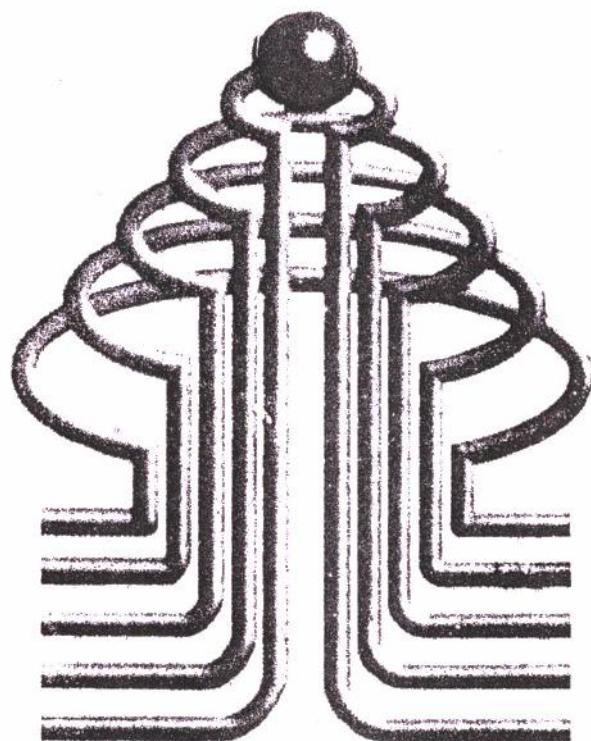
DAFTAR GRAFIK

	Halaman
3. 1. Koreksi nilai-nilai tahanan penetrasi standar hasil pengukuran	35
4. 1. Hubungan kedalaman dengan kadar air pada tanah lempung	47
4. 2. Hubungan kedalaman dengan kadar air pada tanah pasir	48
4. 3. Hubungan kedalaman dengan berat vol.kering pada tanah lempung	49
4. 4. Hubungan kedalaman dengan berat vol.kering pada tanah pasir	50
4. 5. Hubungan kedalaman dengan angka pori pada tanah lempung	51
4. 6. Hubungan kedalaman dengan angka pori pada tanah pasir	52
4. 7. Hubungan kedalaman dengan derajat kejenuhan pada tanah lempung	53
4. 8. Hubungan kedalaman dengan derajat kejenuhan pada tanah pasir	54
4. 9. Hubungan kedalaman dengan batas cair pada tanah lempung	55
4. 10. Hubungan kedalaman dengan batas plastis pada tanah lempung	56

4. 11. Hubungan kedalaman dengan nilai perlawanan penetrasi pada tanah pasir	59
4. 12. Hubungan kedalaman dengan nilai perlawanan penetrasi pada tanah lempung	60
4. 13. Hubungan nilai perlawanan penetrasi dengan tegangan overburden pada tanah pasir	62
4. 14. Hubungan nilai perlawanan penetrasi dengan tegangan overburden pada tanah lempung	63
4. 15. Nilai perlawanan penetrasi akibat pengaruh tegangan overburden pada tanah pasir dengan pemancang standar	64
4. 16. Nilai perlawanan penetrasi akibat pengaruh tegangan overburden pada tanah pasir dengan pemancang modifikasi	65
4. 17. Nilai perlawanan penetrasi akibat pengaruh tegangan overburden pada tanah lempung dengan pemancang standar	66
4. 18. Nilai perlawanan penetrasi akibat pengaruh tegangan overburden pada tanah lempung dengan pemancang modifikasi	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1. Kelompok-kelompok tanah utama pada sistim klassifikasi Unified	6
3. 1. Ciri-ciri perbedaan penetrometer dan SPT	20
3. 2. Faktor koreksi ratio energi batang	40
3. 3. Faktor koreksi panjang batang dan diameter lubang bor ...	41



ISTN

BAB. I
PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Standard Penetration Test (SPT) merupakan metode yang paling sederhana untuk menyelidiki kepadatan tanah dilapangan. Dengan menghitung jumlah tumbukan dari beban yang dijatuhkan untuk mendorong split-spoon (sendok pengambil contoh) kedalam tanah sedalam 30 cm. Beban tersebut mempunyai berat standar sebesar 140 lb. (63,5 kg) dengan tinggi jatuhnya adalah 30 inchi (75 cm). Split spoon dipasang pada batang bor dan diturunkan kedasar lubang bor, setelah lubang bor dibersihkan menggunakan auger. Setelah split spoon mencapai dasar lubang bor, beban tadi dijatuhkan sehingga menumbuk puncak batang bor sampai split spoon masuk kedalam tanah sedalam 15 cm dan setelah itu percobaan penetrasi dimulai. Jumlah tumbukan yang diperlukan untuk menembus kedalam 30 cm dicatat, disebut juga sebagai nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT).

Prosedur dan peralatan SPT telah distandarisasi dengan ASTM D-1586. Split spoon terdiri dari tabung berdinding tipis yang pada bagian ujung bawahnya dilengkapi dengan sepatu pancang (driving shoe) terbuka.

Berdasarkan hal tersebut, penulis ingin mempelajari nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) melalui karakteristik lapisan tanah.

I. 2. Maksud dan Tujuan Penulisan

Maksud dari penulisan ini adalah ingin memperdalam pengertian dan pemahaman tentang nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) melalui karakteristik lapisan tanah.

Tujuan yang ingin dicapai adalah untuk memperoleh jawaban atau gambaran dari pengujian tanah dilapangan dengan SPT dalam hal penggunaan sepatu pemancang standar dan penggunaan sepatu pemancang kerucut pejal bersudut 60° (modifikasi).

I. 3. Ruang Lingkup Pembahasan

- Prosedur pengujian dan peralatan yang dipergunakan yaitu Standard Penetration Test (SPT), dan nilai-nilai N-SPT di ukur menggunakan sepatu pemancang standar dan menggunakan sepatu pemancang kerucut pejal bersudut 60° (modifikasi).
- Kedalaman tanah dalam melakukan pengujian tanah yaitu 4,10m.
- Pengujian tanah di laboratorium dari contoh tanah yang diambil dari lubang bor, terdiri dari; Penentuan berat jenis tanah, Indeks properties, Batas-batas Atterberg, serta Analisa ukuran butiran.

- Pengujian tanah di lapangan dilakukan pada dua lokasi yaitu, di Kampus ISTN Srengseng Sawah dan di daerah Bekasi.
- >Di Srengseng Sawah dimaksudkan untuk pengujian SPT pada tanah merah.
- >Di daerah Bekasi di maksudkan untuk pengujian SPT pada tanah pasir.

I.4. Sistematika Pembahasan.

Secara keseluruhan sistematika pembahasan ini terdiri dari:

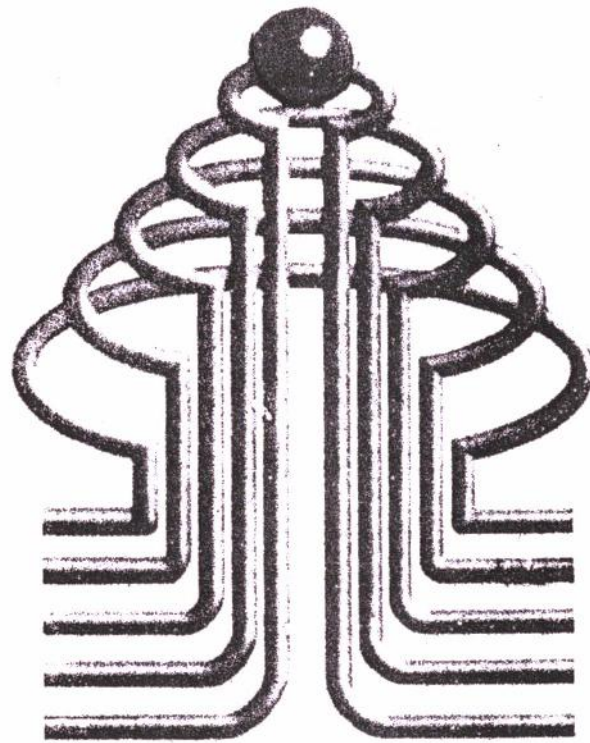
BAB. I : Pendahuluan, meliputi penjelasan latar belakang masalah, maksud dan tujuan dari penulisan, ruang lingkup pembahasan, dan sistematika pembahasan.

BAB. II : Klassifikasi dan Pengujian Tanah dilaboratorium meliputi penjelasan klassifikasi tanah sistim unified, dan penelitian contoh tanah dilaboratorium mengenai Berat jenis, Indeks Properties, Batas-Batas Atterberg dan Analisa Ukuran Butiran.

BAB. III : Pengujian tanah dilapangan dengan SPT, meliputi penjelasan tentang SPT dan perkembangannya, peralatan dan prosedur pengujian SPT berdasarkan ASTM D-1586, faktor yang mempengaruhi dalam pelaksanaan pengujian tanah dilapangan serta faktor-faktor koreksi dari nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT).

BAB. IV : Pembahasan, meliputi korelasi kedalaman penetrasi dengan parameter - parameter tanah , korelasi kedalaman dengan N-SPT, serta korelasi N-SPT tegangan overburden.

BAB. V : Kesimpulan dan Saran.



ISTN

BAB. II

KLASSIFIKASI DAN PENGUJIAN TANAH DI LABORATORIUM

II. 1. Klassifikasi tanah sistim unified

Tanah dalam bidang mekanika tanah mencakup dari semua bahan seperti lempung, pasir, kerikil, dan batu-batu besar. Untuk membedakan serta menunjukkan dengan tepat masing-masing sifat bahan-bahan ini, telah dipakai metoda-metoda 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 di sebut sistim klassifikasi.

Sistim klassifikasi yang dipakai dalam mekanika tanah dimaksudkan untuk memberikan keterangan mengenai sifat-sifat teknis dari bahan-bahan itu.

Secara umum tanah dapat diklassifikasikan sebagai tanah yang tidak kohesif dan kohesif atau tanah yang berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Akan tetapi klassifikasi ini memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya. Di samping itu, klassifikasi di atas tidak cukup lengkap untuk menentukan apakah tanah itu sesuai untuk suatu bahan konstruksi atau tidak .

Dari beberapa sistim klassifikasi tanah yang ada, sistim klassifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium

yang paling banyak dipakai secara meluas adalah, sistim Unified Soil Classification (sistim klassifikasi tanah terpadu).

Berdasarkan sistim klassifikasi ini, kelompok-kelompok tanah utama diperlihatkan seperti tabel (II-1).

Tanah ditentukan berdasarkan simbol kelompok yang terdiri dari sebuah prefiks dan sebuah sufiks. Dimana prefiks menunjukkan sebagai jenis tanahnya dan sufiks menunjukkan sub-divisi.

Jenis tanah	prefiks	sub-kelompok	sufiks
		Gradasi baik	W
Kerikil	G	Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	W1 < 50%	L
Organik	O	W1 > 50%	M
Gambut	Pt		

TABEL (II-1)

(Kelompok - kelompok tanah utama pada sistim klassifikasi Unified).

- Kerikil (G) yang bergradasi baik adalah GW
- Pasir (S) yang bergradasi buruk adalah SP
- Pasir (S) yang bergradasi baik adalah SW

-Pasir (S) yang berlanau adalah SM

-Lempung (C) dengan batas cair > 50% adalah CH dst.

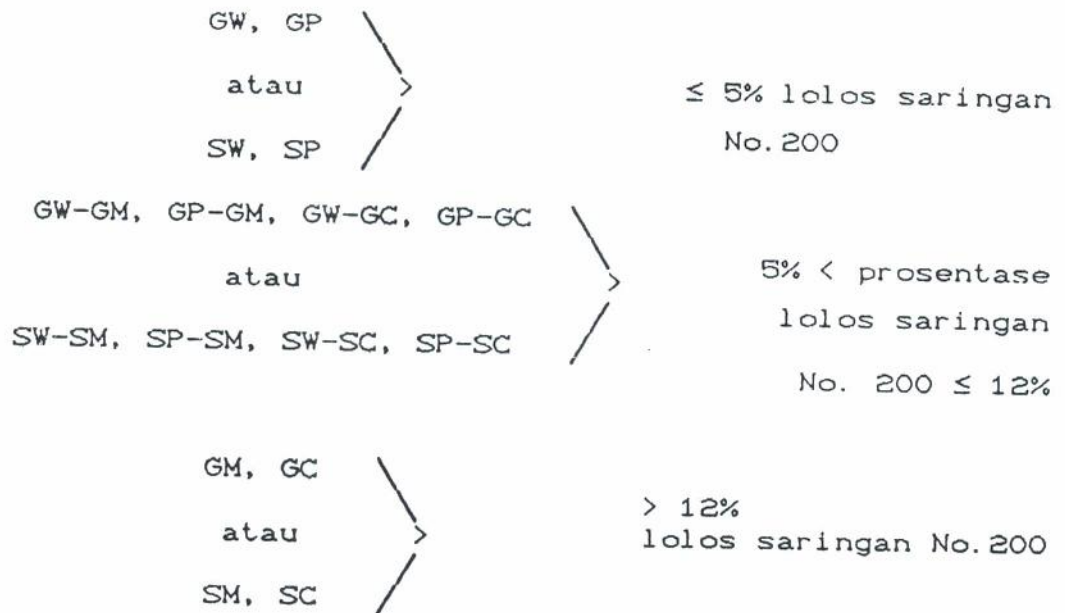
Tanah didefinisikan pada sistim klassifikasi Unified ini sebagai :

1. Tanah berbutir kasar, apabila lebih dari 50% tertahan pada saringan No. 200.
2. Tanah berbutir halus, apabila lebih dari 50% dapat lolos saringan No. 200.

Tanah berbutir kasar dapat dikelompokkan lagi seperti :

1. Kerikil , apabila lebih dari setengah fraksi kasar pada ukuran saringan No. 4.
2. Pasir, apabila lebih dari setengah fraksi kasar berada diantara ukuran saringan No. 4 dan No. 200.

Tanah berbutir kasar adalah :



Klassifikasi tanah-tanah berbutir kasar terutama tergantung pada analisa ukuran butiran dan kepada distribusi ukuran partikel.

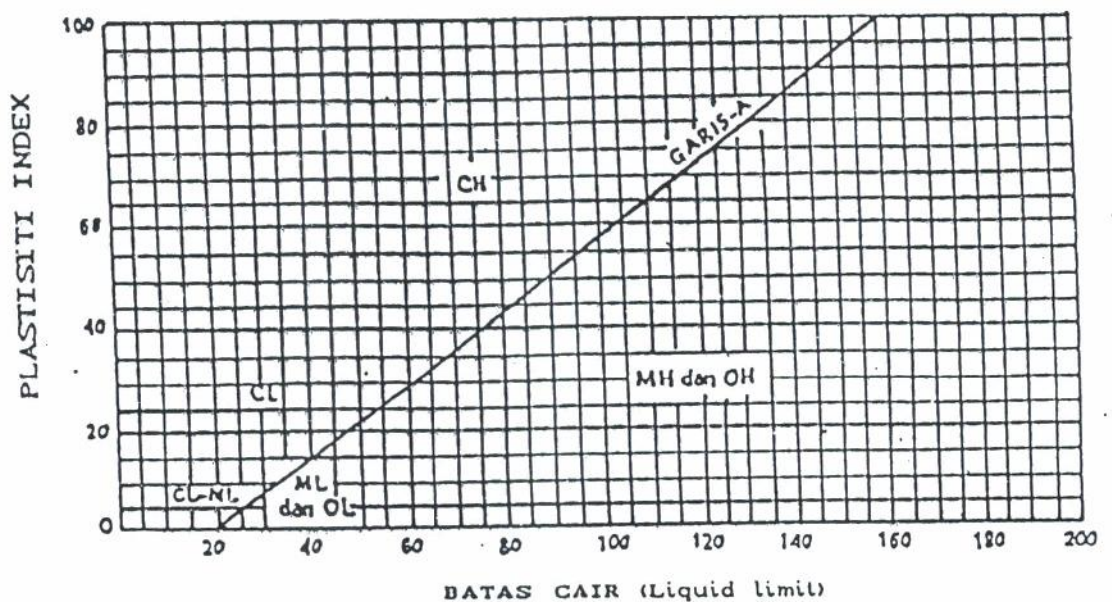
Untuk tanah-tanah berbutir halus di klassifikasikan atas dasar plastisitasnya dan kadar persenyawaan organiknya. Klassifikasi tanah berbutir halus membutuhkan diagram plastisitas (plasticity chart), seperti terlihat pada gambar (II-I).

Diagram ini merupakan grafik P.I dan L.L, dimana digambarkan sebuah garis diagonal yang disebut garis-A dan satu garis tegak lurus ditarik pada batas cair 50.

Garis-A adalah batas empiris antara lempung inorganik (OL dan CH) dengan lanau inorganik (ML dan MH) atau tanah-tanah organik (OL dan OH). Garis tegak lurus, pada batas cair 50 memisah

kan lanau dan lempung yang mempunyai batas cair rendah (CL) dari lanau dan lempung yang mempunyai batas cair tinggi (CH).

Gambar (II-1)
(Diagram plastisitas)



Pada bagian bawah diagram, dibawah batas cair kira-kira 29 dan antara nilai P.I sebesar 4 dan 7, sifat-sifat tanah menunjukkan gejala saling berimpitan dan karena itulah garis-A di daerah ini menjadi suatu daerah.

Klassifikasi dualitas CL -ML dipakai untuk tanah-tanah yang berada di dalam daerah ini.

II. 2. Pengujian tanah di Laboratorium.

II. 2. 1 Percobaan Berat Jenis.

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air, dan dinyatakan hanya sebagai bilangan saja dengan nilai rata-rata adalah sebesar 2,65 dengan variasi yang agak kecil, yaitu jarang dibawah 2,4 atau diatas 2,8.

Tujuan penentuan berat jenis adalah untuk mengetahui berat jenis suatu tanah. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan piknometer.

Berat jenis dapat di perhitungkan dengan rumus :

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

dimana:

W_1 = Berat piknometer

W_2 = Berat piknometer + Tanah kering

W_3 = Berat piknometer + Tanah + Air

W_4 = Berat piknometer + Air

II. 3. 2 Percobaan Indeks properties

Percobaan yang dilakukan di laboratorium untuk mengetahui parameter - parameter tanah yang menunjukkan sifat-sifat dari tanah yaitu, Kadar Air (W), Derajat Kejenuhan (Sr), Berat Volume Tanah (ρ), Porositas (n), Angka Pori (e).

Parameter-parameter tersebut dapat diketahui dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

Berat volume tanah (ρ) :

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (\text{t/m}^3 \text{ atau gram/cm}^3)$$

Kadar air (w) :

$$w = \frac{W_v}{W_s} (\%)$$

Angka Pori (e) :

$$e = \frac{G \cdot \rho_v (1 + w)}{\rho} - 1$$

Porositas (n) :

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

Derajat kejenuhan (Sr) :

$$Sr = \frac{G \cdot w}{e} (\%)$$

Dimana :

W_z = Berat volume tabung + tanah

W_1 = Berat tabung

V = Volume tabung

W_v = Berat air

W_s = Berat tanah

G = Berat jenis tanah

ρ_v = Berat volume air

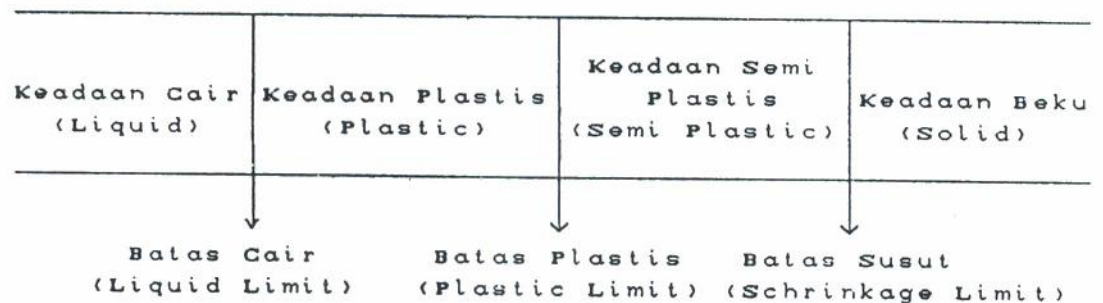
II. 2. 3 Percobaan Batas-batas Atterberg.

Kadar air yang berkenaan dengan perbatasan antara keadaan-keadaan konsistensitanah kohesif disebut sebagai batas-batas Atterberg (Atterberg limit). Percobaan untuk menilai konsistensi tanah kohesif tersebut dikenal sebagai percobaan batas-batas Atterberg.

Jika kadar air tanah kohesif secara berangsur-angsur dikurangi dengan pengeringan perlahan-lahan, maka tanah tersebut akan menjalani proses perubahan dari keadaan cair melalui keadaan plastis, dan akhirnya kekeadaan padat. Tetapi peralihan dari satu ke keadaan lainnya tidak terjadi secara tiba-tiba, melainkan setelah dicapainya suatu nilai kadar air kritis.

Peralihan ini terjadi perlahan-lahan melalui daerah selang kadar air yang panjang.

Keadaan-keadaan ini, dengan istilah-istilah yang yang dipakai untuk perbatasan antaranya adalah sebagaimana digambarkan dibawah ini :



Dari percobaan batas - batas Atterberg akan diperoleh suatu gambaran secara garis besar tentang sifat-sifat tanah. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk , yaitu kekuatannya kekuatannya rendah , kompressibilitasnya tinggi, dan akan sulit untuk di padatkan.

Batas - batas konsistensi tanah didasarkan atas kadar air tersebut didefinisikan :

1. Batas Cair (Liquid Limit) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis.

Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk , yaitu kekuatannya rendah , compressibilitasnya tinggi , dan sangat sulit untuk dipadatkannya.

2. Batas Plastis (Plastic Limit) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis, atau kadar air dimana tanah mulai retak-retak ketika tanah digulung menjadi gulungan yang tipis.
3. Batas Susut (Shrinkage Limit) atau batas bawah perubahan volume adalah kadar air dimana bagian bawahnya kehilangan air, karena evaporasi tidak akan mengakibatkan pengurangan volume. Percobaan ini dilakukan pada tanah kohesif yang lolos pada saringan No. 40.

Percobaan batas-batas Atterberg dilakukan untuk memperoleh gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan.

II. 2. 4 Percobaan Ukuran Butir.

Dalam mekanika tanah pengukuran besarnya butir tanah merupakan suatu percobaan yang sangat sering dilakukan, karena sifat-sifat suatu macam tanah tertentu banyak tergantung kepada ukuran butirnya, terutama untuk tanah-tanah berbutir kasar dan ini dipakai sebagai titik tolak untuk klassifikasi teknis dari tanah.

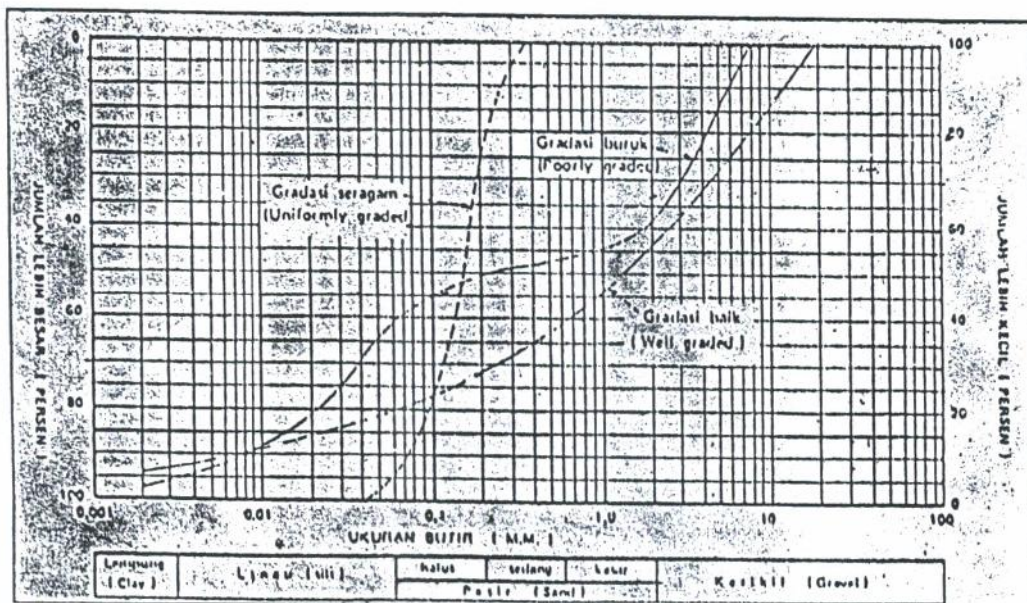
Berdasarkan ini, tanah dibagi sebagai berikut :

Macam Tanah	Batas-batas Ukuran
Berangkal (Boulder)	> 8 inci (20 cm)
Kerakal (Cobblestone)	3 inci - 8 inci (8-20 cm)
Batu Kerikil (Gravel)	2 mm - 3 inci (2 mm-8 cm)
Pasir Kasar (Course Sand)	(0,6 - 2) mm
Pasir Sedang (Medium Sand)	(0,2 - 0,6) mm
Pasir Halus (Fine Sand)	(0,06 - 0,2) mm
Lanau (Silt)	(0,002 - 0,06) mm
Lempung (Clay)	< 0,002 mm

Besarnya butir tanah digambarkan pada grafik , yaitu grafik lengkung gradasi (Grading Curve) atau grafik lengkung pembagian butir (Particle Size Distribution Curve) seperti pada gambar (II-2).

Gambar (II-2)

(Grafik pembagian ukuran butir)



Pada gambar ini dapat dilihat besarnya butir yang merupakan batas antara kerikil dan pasir, pasir dan lanau dan sebagainya.

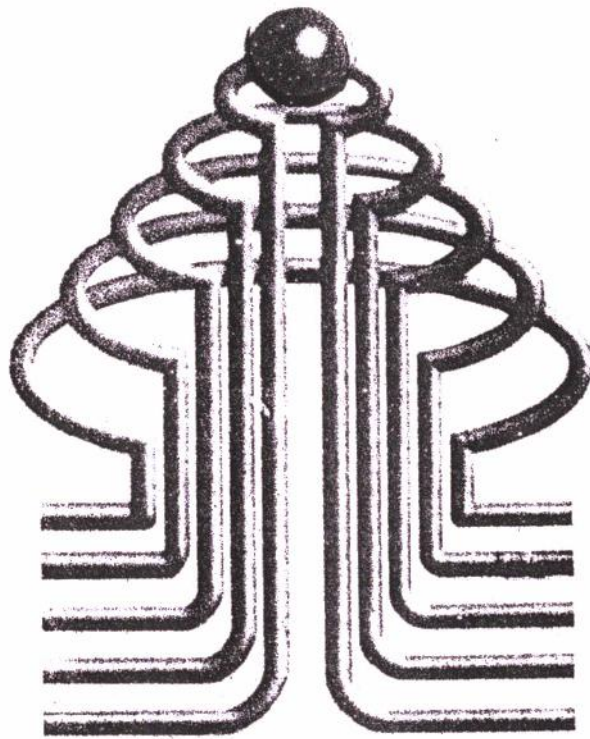
Penentuan ukuran butir tanah dilakukan dengan memakai dua cara sebagai berikut :

1. Cara Saringan

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

2. Cara Pengendapan (Sedimentation)

Cara pengendapan (sedimentation) disebut sebagai analisis basah atau dikenal sebagai percobaan hidrometer (Hydrometer analysis). Percobaan ini dipakai pada tanah yang lebih kecil daripada pasirhalus atau tanah yang lolos saringan No. 200.



ISTN

BAB. III
PENGUJIAN TANAH DI LAPANGAN

III. 1. Standard Penetration Test (SPT).

Standard Penetration Test (SPT) merupakan suatu percobaan penetrasi yang berasal dari Amerika Serikat. Disebut juga percobaan dinamis karena percobaan tersebut dilakukan dengan hammer (pemukul) yang mempunyai berat tertentu yang dijatuhkan dengan bebas dari suatu ketinggian tertentu pula.

Pada akhir-akhir ini percobaan Standard Penetration Test (SPT) sangat populer dan banyak digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan tanah dan untuk mendapatkan informasi tentang sifat-sifat lain dari tanah, misalnya; Kepadatan relatif (D_r), Kekuatan geser (Shear strength), Daya dukung tanah (Bearing capacity), Penurunan, Liquifaction dan masih banyak lagi yang lainnya. Disamping itu peralatan SPT sangat sederhana dan mudah dilaksanakan dan biaya yang diperlukan relatif murah. Meskipun percobaan SPT masih menjadi sumber kritikan, misalnya De Mello pada tahun 1971 serta Schmertmann pada tahun 1975, akan tetapi SPT masih banyak dipakai. Hal ini disebabkan banyaknya data-data yang menunjukkan keberhasilan dari percobaan ini.

III. 2. Perkembangan SPT

Percobaan SPT pada mulanya dimulai di Amerika Serikat dan diperkirakan pada tahun 1927 oleh Gordon A. Fletcher dari New York dengan bukunya yang berjudul "The Origin, Application And Limitation On Standard Penetration Test". Dan pada tahun 1943 dikembangkan oleh Mohr dari perusahaan Raymond Concrete Pile dan dipublikasikan oleh Terzaghi dan R. B. Peck tahun 1948.

Charles R. Gow pada tahun 1902 memperkenalkan sebuah metoda untuk mendapatkan sebuah contoh dari tanah kering yang kemudian berkembang, dimana contoh tanah didapatkan dari suatu aksi penyemprotan air didalam lubang bor. Dan ia juga mengembangkan mengenai ukuran dari diameter pipa pemancang untuk mengambil contoh tanah sebesar 1 inchi dengan hammer (pemukul) seberat 110 lb.

Perusahaan Charles R. Gow dan perusahaan Raymond Concrete Pile bekerja sama, dan melalui L. Hart dan Gordon A. Fletcher pada tahun 1927 merancang sebuah alat pengambil contoh tanah (split spoon sampler) dengan diameter sebesar 2 inchi.

Dengan melakukan serangkaian percobaan-percobaan, percobaan penetrasi tersebut distandarisasi oleh Fletcher dan Harry A. Mohr dengan menggunakan alat pengambil contoh tanah (split spoon sampler) dan berat dari hammer (pemukul) sebesar 140 lb dengan tinggi jatuhnya 30 inchi (76,2 cm). Kemudian dengan mengadakan perbaikan terutama mengenai penggunaan katup atau klep

untuk mencegah kehilangan yang terlalu banyak dalam pengujian tanah yang tidak kohesif pada saat mengeluarkan pipa contoh dari dalam lubang bor.

Pada mulanya SPT dipergunakan untuk memperoleh data tanah dalam perencanaan sebuah pondasi dalam. Oleh karena percobaan tersebut terus meluas penggunaannya di Amerika Serikat, maka K. Terzaghi dan R. B. Peck menyusun data-data percobaan tersebut dalam bentuk tabel untuk digunakan juga pada perencanaan pondasi dangkal.

K. Terzaghi dan R. B. Peck membahas hubungan antara nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) dengan kepadatan relatif (D_r) pada tahun 1948.

Pada tahun 1935, 1956, Housel mengembangkan sebuah type yang khusus dari peralatan SPT di University of Michigan.

SPT telah dibakukan sebagai American Standard Testing For Material (ASTM) D-1586 dengan diadakan perbaikan hingga sekarang.

Prof. Vargas dari Sao Paolo dan President of Committee On Methods Testing By Static and Dynamic Penetrometer of The International Society Of Soil Mechanics And Foundation pada tahun 1961 memberikan perbandingan Type-type peralatan yang digunakan dalam percobaan SPT di luar Amerika Serikat, seperti ditunjukkan pada tabel (III - 1).

Pada tahun 1964, H. E. Davis dari Mobile Drilling membuat type yang khusus dari peralatan SPT yang disebut sebagai

Country	Type of penetrometer used	Driving weight (kg)	Case required	Split-spoon barrel	Spill-spoon barrel	Conical point	Rod required	Record of penetration resistance				
		(kg)	(cm)	O.L. (cm)	I.C.L. (cm)	I.D. (cm)	O.D. (cm)	I.C. (cm)	D (cm)	C.S. angle (cm ²)		
Argentina	standard split-barrel	70	drilling frequently used	87	67	3.9	5.02	3.9			1 1/4"	every meter, measuring number of blows to penetrate first 15 cm and then the following 30 cm, the latter being taken as 'N'
Brazil	thick-walled split-barrel	65	2" pipe	77	62	2.54 (1")	4.13 (1 5/8")	2.54 (1")			1" pipe	every meter, measuring number of blows to penetrate first 30 cm, the latter being taken as 'N'
	thin-walled split-barrel	60	2" pipe	53.7	46.6	3.65 (1 1/16")	4.6	3.7 (1 1/2")			"C" rod	same as above
	standard split-barrel	65	2 1/2" pipe	77	62	3.48 (1 3/8")	5.08 (2")	3.48 (1 3/8")			1" pipe	every meter, measuring number of blows to penetrate 30 cm, after the T.L. of Aachen developed a version in which the blows are applied directly over the split-barrel, inside a 12 cm ² Ø casing
	standard split-barrel	63.5 (140 lbs.) (30")	none	81.4	66.6	3.48 (1 3/8")	5.08 (2")		3.56 10 60°		2 cm	number of blows for each 20 cm penetration
Germany	dynamic sounding rod (light)	10	none						4.37 15 90°		3.2 cm	same as above
	dynamic sounding rod (heavy)	50	none						3.56 10 60°		3.2 cm	penetration of 0.2 - 0.4 m/min (D.L.N. 4094, 1st part)
	Mohr static								3.56 10 60°		3.56 cm	penetration resistance = point bearing in bar
Sweden	Dutch static											
	Swedish static sounding rod								square point 20 cm long		3/4"	penetration resistance = smallest load (in kg) that causes rod to penetrate
	Perros hammer	70	none						3.2 8 50° square point 4 x 4 x 20		3.2 cm	number of blows for each 25 cm penetration
S.G.J. sounding machine								2.5 8.0		2 cm		

O.L. = overall length; I.C.L. = inside clear length; I.D. = inside diameter; O.D. = outside diameter; I.C. = inside clearance (diameter); D = maximum diameter of cone; C.S. = minimum cross-section of cone.

Tabel III-1

Characteristic of differ it types of penetrometer and SPT
(After M. Vargas).

Penetrohammer.

Pada tahun 1965, Mayerhof membandingkan data antara percobaan SPT dengan Classical Penetration Test.

Mohr pada tahun 1966, K. Terzaghi dan R. B. Peck pada tahun 1967, New York Building Code dan The New England Division of Civil Engineering memberikan persyaratan atas percobaan SPT.

A. R. S. Bazaraa pada tahun 1967 di University of Illinois memperkenalkan thesisnya yang berjudul Use Of SPT For Estimating Settlement Of Shallow Foundation On Sand.

Di Denver, Colo, USA, diadakan studi laboratorium atas perlawanan penetrasi dari pasir kasar dan halus yang di selenggarakan oleh The Soil Mechanic Laboratory Of The Bureau Of Reclamation.

Pada tahun 1972, penelitian tentang SPT ditingkatkan dengan riset tambahan untuk mengevaluasi Liquefaction Potensial oleh Schmertmann.

Pada tahun 1979, Horn melaporkan bahwa SPT memungkinkan untuk dipakai sebagai dasar penetapan dalam praktek eksplorasi tanah di Amerika Utara dan melebihi alat-alat pengambil contoh yang lainnya.

Pada dewasa ini, beberapa departemen di china telah mengikut sertakan percobaan SPT kedalam suatu studi proyek dan mereka tidak hanya mendapatkan suatu pengalaman yang berharga atas aplikasi SPT untuk suatu proyek, tetapi juga mendapatkan hasil yang memuaskan dalam riset teori dan otomatisasi peralatan.

Disamping itu, percobaan SPT telah dimasukkan kedalam Peraturan Desain Pondasi untuk Bangunan Industri dan Sipil (Foundation Code For Industrial And Civil Building), Peraturan Teknik Eksplorasi Geologi untuk Bangunan Industri dan Sipil (Engineering Geological Exploration Code For Industrial And Civil Building), Peraturan Desain Tahan Gempa untuk Bangunan Industri dan Sipil (Anti Earthquake Design Code For Industrial And Civil) dan digunakan sebagai dasar dalam desain pondasi pada proyek yang besar dan kecil.

Sampai saat ini percobaan SPT terus berkembang dari tahun ke tahun dan telah digunakan secara luas di seluruh dunia, baik pada tanah yang kohesif maupun tanah yang tidak kohesif.

III. 3. Percobaan Penetrasi menggunakan sepatu pancang bentuk kerucut (cone).

Penggunaan sepatu pancang bentuk kerucut (cone) pada sendok pengambil contoh (split spoon) diperbolehkan.

Palmer dan Stuart 1957 menggunakan sepatu pancang yang berbentuk kerucut pada percobaannya yang dipasang ditempat sepatu pemancang standar.

Percobaan penetrasi dengan sepatu pancang bentuk kerucut digunakan pada kerikil (gravel) untuk menghindari nilai perlawanan penetrasi standar (N-SPT) yang tinggi akibat adanya kemungkinan tersangkutnya partikel besar pada sepatu pancang yang standar.

Mayerhof (1965) mengemukakan perbandingan antara percobaan penetrasi standar (SPT) dengan percobaan penetrasi dinamik dengan menggunakan sepatu pancang bentuk kerucut (cone).

Dengan menggunakan kerucut yang bersudut 60° , diameter 2 in dan dihubungkan dengan batang diameter $1\frac{5}{8}$ in.

Agar hasil-hasil percobaan dapat dibandingkan dengan percobaan penetrasi standar (SPT), energi yang digunakan untuk mendorong penetrometer sama dengan yang digunakan pada percobaan penetrasi standar (SPT).

Perlawanan penetrasi dinamik dengan menggunakan sepatu pancang bentuk kerucut diperkirakan dua kali daripada perlawanan penetrasi standar (SPT). Kemungkinan ini sebagian dikarenakan, bahwa kenyataannya luas kerucut diperkirakan dua kali luas ujung

pemancang (spoon) yang dipergunakan pada percobaan penetrasi standar (SPT).

Juga menurut Mayerhof, gesekan lateral yang terjadi yang disebabkan oleh dorongan tanah yang berlawanan dengan tangkai dapat diabaikan sampai dengan kedalaman kira-kira 10 m untuk yang dilakukan pada tanah tidak kohesif yang berada diatas muka air tanah.

Di Amerika, sebelum dibakukannya peralatan SPT. Menunjukkan secara luas perbedaan nilai perlawanan penetrasi yang diperoleh dari energi pukulan (blow) yang diberikan sama, tetapi dengan menggunakan bermacam-macam ukuran pemancang (spoons). Untuk setiap ukuran pemancang yang diberikan, nilai perlawanan penetrasi akan berubah tergantung pada energi pendorong yang digunakan.

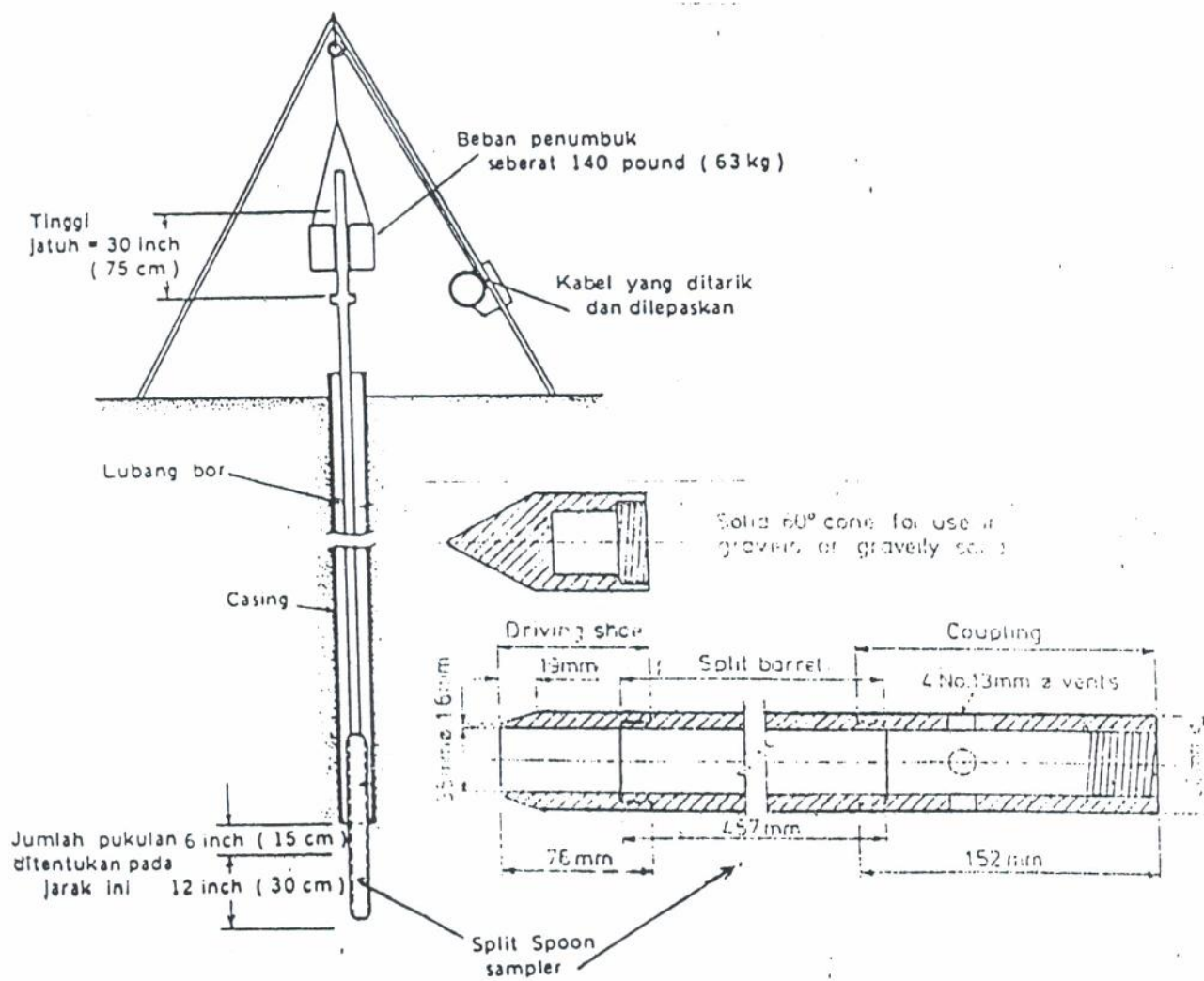
III. 4. Peralatan dan prosedur percobaan.

1. Peralatan SPT dapat dilihat pada gambar (III - 1) terdiri dari :
 - a. Hammer (pemukul) dengan berat 140 lb. (63,5 kg).
 - b. Split-spoon sampler (sendok pengambil contoh) dengan diameter luar sebesar 2 inchi (5 cm) dan diameter dalam sebesar $1\frac{3}{8}$ inchi (3,49 cm).
 - c. Tinggi jatuh bebas hammer 30 inchi (75 cm).
2. Prosedur percobaan SPT berdasarkan ASTM D - 1586.
 - a. Bersihkan lubang bor dari semua material yang lepas lepas dan material yang terganggu dengan pemboran.
 - b. Masukkan alat pengambil contoh, periksalah apakah alat pengambil contoh tersebut telah mencapai kedalaman yang telah dibersihkan tadi.
 - c. Dorong alat pengambil contoh sedalam 18 inchi.
 - d. Tentukan tinggi jatuh hammer, setinggi 30 inchi.
 - e. Hitung dan catat jumlah pukulan setiap penurunan 12 inchi.

Peralatan dan prosedur percobaan penetrasi dengan menggunakan sepatu pancang bentuk kerucut (modifikasi) sama dengan percobaan penetrasi standar (SPT). Kerucut dengan sudut 60° dan diameter 2 inchi.

Gambar (III-1)

(Peralatan yang dipergunakan dalam percobaan)



III. 5. Faktor-faktor penting yang berpengaruh dalam pelaksanaan pengujian tanah.

1. Kondisi dari sendok pengambil contoh.

Apabila terjadi perubahan bentuk pada sendok pengambil contoh, maka akan sangat mempengaruhi pada hasil-hasil percobaan.

2. Adanya kerusakan pada sepatu pemancang.

3. Lokasi dari posisi muka air tanah terhadap contoh tanah yang akan diperoleh.

4. Diameter lubang bor.

5. Posisi relatif dari dasar lubang bor dan ujung dari batang.

6. Terjadi selang waktu antara pengeboran lubang dan pelaksanaan percobaan dengan SPT.

7. Elastisitas dan kelenturan batang penghantar banyak menyerap energi pendorong untuk pemancangan.

Usulan yang dikemukakan oleh Cambefort (1957), untuk menggunakan tabung pengambil contoh yang dilengkapi peluncur khusus sebagai pemecahan masalah ini.

Fletcher (1966) mengusulkan batas-batas lain diantaranya:

8. Variasi dalam menjatuhkan beban pemukul.

9. Penggunaan batang-batang yang berat.

10. Panjangnya batang-batang penghantar yang besar (>15m).

11. Perlawanan gesekan yang dapat mencegah beban pemukul

benar-benar jatuh bebas.

12. Kesalahan perhitungan jumlah pukulan atau dalam pengukuran penetrasi.

Apabila percobaan SPT dilaksanakan dengan teliti, akan memberikan keterangan yang sangat bermanfaat mengenai kepadatan tanah.

Tahanan penetrasi mempunyai nilai yang sangat tinggi apabila contoh tanah tertekan selama pelaksanaan pemancangan. Sebaliknya, data percobaan akan tidak berarti apabila tanah yang diuji terganggu, sebagai kemungkinan akibat adanya tekanan hidrostatik pada dasar lubang bor dimana air akan mengalir dengan cepat kedalam lubang.

Pada deposit tanah kerikil (gravel), nilai N apabila ditentukan dengan teliti mempunyai harga terbesar, tetapi diperlukan ketelitian untuk menentukan apakah ukuran kerikil akan mempunyai pengaruh pada hasil. Biasanya dalam kasus tentang krikil, hanya nilai N terendah yang diambil didalam perhitungan.

- III. 6. Koreksi nilai tahanan penetrasi standar (N -SPT) terhadap kondisi muka air tanah.

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh K. Terzaghi dan K. B. Peck tahun 1948 terhadap pasir yang sangat halus atau silty sand dalam keadaan terendam, maka jumlah tumbukan (N -SPT) akan

dipengaruhi oleh tegangan air pori (pore water pressure).

Tegangan air pori adalah tegangan air yang ada didalam pori tanah. Tegangan air pori akibat pemberian tegangan geser akan mengakibatkan terjadinya tegangan air pori positif atau negatif, tergantung dari kepadatan tanah tersebut.

Apabila tanah ditekan dan butiran tanah sangat padat, maka tegangan air pori yang terjadi akan negatif. Sedangkan bilamana butir tanah tersebut tidak padat, maka tegangan air pori yang terjadi akan positif.

Hasil studi yang dilakukan oleh K. Terzaghi dan R. B. Peck menyatakan bahwa, tegangan air pori yang positif akan mengurangi perlawanan geser tanah karena tegangan air pori tersebut akan melawan penetrasi dari sendok pengambil contoh, sehingga nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) pada tanah yang dalam keadaan lepas akan berkurang tergantung dari tingkat keterendamannya. Dan tegangan air pori negatif akan menaikkan perlawanan penetrasi dari sendok pengambil contoh.

Oleh karena itu, dengan adanya pengaruh tegangan air pori tersebut maka nilai tahanan penetrasi yang dihasilkan pada saat percobaan penetrasi harus diperbaiki atau dikoreksi terlebih dahulu.

Sebagai akibat adanya pengaruh tersebut, maka K. Terzaghi dan R. B. Peck pada tahun 1948 menganjurkan, untuk pasir yang sangat halus atau silty sand yang terendam dengan nilai penetrasi yang diukur (N) lebih besar dari 15, harus dikoreksi menjadi sebuah nilai penetrasi (N_1) dengan mempergunakan persamaan dibawah ini :

$$N_1 = 15 + 0,5 (N - 15) \dots\dots\dots\text{(III-1)}.$$

Menurut K. Terzaghi dan R. B. Peck, pasir yang sangat halus atau silty sand yang terendam dengan sebuah nilai penetrasi terukur (N) lebih besar dari 15 akan mempunyai kepadatan relatif yang mendekati atau sebanding dengan pasir kering dengan sebuah nilai penetrasi (N_1) seperti yang diberikan oleh persamaan (III-1).

Sedangkan Bazaraa dari hasil studinya menyatakan bahwa, pasir kering dan gravel pada keadaan terendam tidak mempunyai pengaruh yang berarti atas nilai-nilai penetrasi.

Hasil studi ini membantah hasil-hasil percobaan laboratorium yang dilakukan oleh Gibbs dan Holtz pada tahun 1957 dan Schultze dan Melzer pada tahun 1965 yang menyatakan bahwa, keterendaman akan menurunkan nilai perlawanan penetrasi pada pasir yang sangat halus atau silty sand. Dan hasil studi ini juga membantah hasil dari penyelidikan yang dilakukan oleh K. Terzaghi dan R. B. Peck pada tahun 1948 yang menyatakan bahwa, keterendaman tidak menaikkan nilai N untuk pasir yang sangat halus atau silty sand. Kecuali tanah-tanah tersebut relatif padat dengan sebuah nilai N yang melebihi 15 diatas muka air.

Pada kenyataannya keterendaman akan menaikkan nilai N untuk pasir yang sangat halus atau silty sand, begitu juga nilai-nilai N dari pasir kering diatas maupun dibawah 15.

Meningkatnya nilai N tergantung kepada tingkat keterendamannya dan

akan lebih besar pengaruhnya pada pasir yang lepas dibandingkan dengan pasir yang padat.

Kepadatan relatif dari pasir yang terendam dengan sebuah nilai SPT terukur sebesar N , hampir sama dengan kepadatan relatif dari pasir kering dengan sebuah nilai SPT sebesar N_1 , dimana :

$$N_1 = 0,6 N \dots\dots\dots\text{(III-2)}$$

Dengan adanya berbagai macam faktor koreksi atas pengaruh dari keterendaman seperti yang diperlihatkan pada persamaan (III-1) dan persamaan (III-2), maka sebuah koreksi empiris sangat diperlukan dari nilai penetrasi dibawah muka air tanah.

Persamaan (III-1) merupakan suatu gambaran yang tepat untuk suatu harga penetrasi akibat pengaruh muka air tanah, setidaknya untuk nilai penetrasi terukur (N) lebih besar 15.

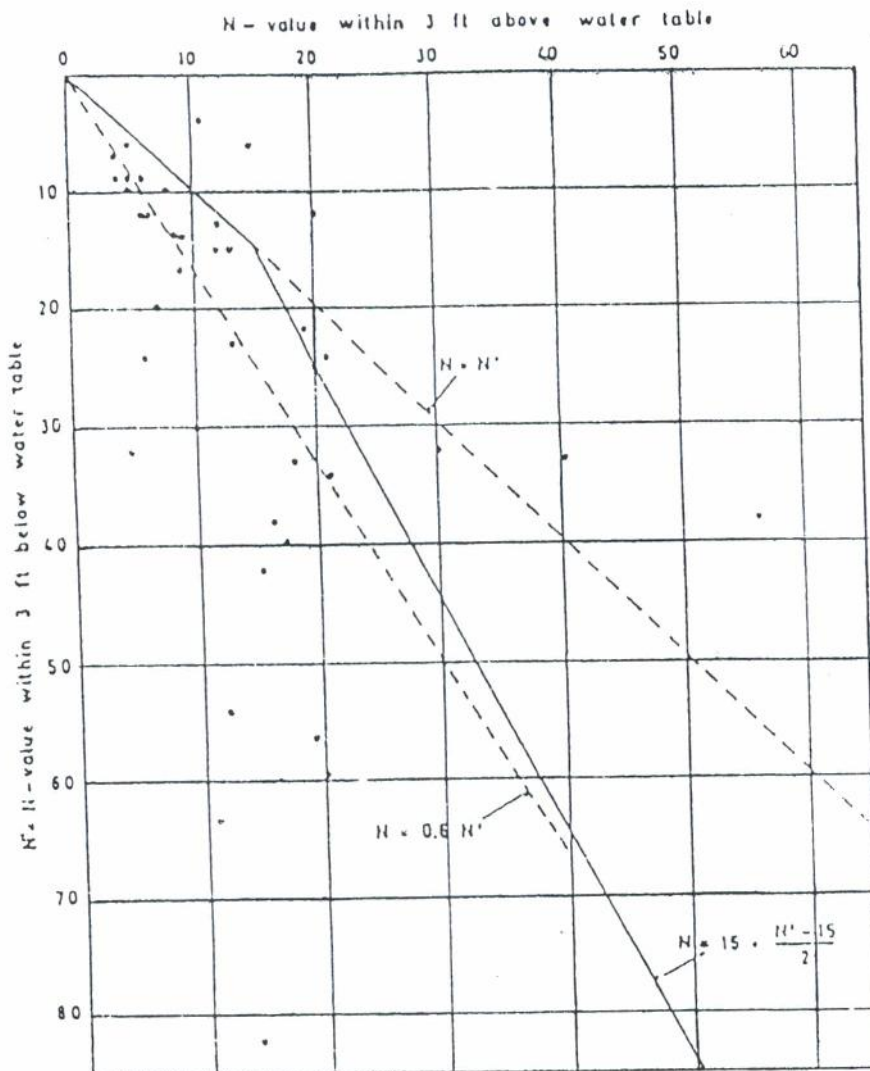
Jika nilai-nilai perlawanan penetrasi standar yang terukur (N) kurang dari 15, maka pasir adalah halus sampai kasar atau tanah tersebut adalah kering. Sehingga dipakai persamaan seperti dibawah ini :

$$N_1 = N \dots\dots\dots\text{(III-3)}$$

Persamaan (III-1), (III-2), (III-3) juga dapat dilihat pada gambar (III-2).

Gambar (III-2)

(Hubungan antara harga SPT diatas dan dibawah muka air tanah untuk pasir halus dan pasir endapan).



III. 7. Koreksi nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap tegangan overburden.

Hasil-hasil dari data laboratorium menunjukkan pentingnya pengaruh dari tegangan efektif pada kedalaman yang diukur atas nilai penetrasi pada percobaan SPT. Dimana tegangan efektif yang disebabkan tekanan efektif akibat tanah di atasnya (overburden pressure) untuk pertama kalinya hal ini dikemukakan oleh Gibbs dan Holtz pada tahun 1957, dan sejak itu perbaikan-perbaikan atau koreksi nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) akibat pengaruh tegangan overburden merupakan aspek yang standar.

Ada beberapa formula seperti yang diberikan oleh Teng (1964), Bazaraa (1967) dan yang lainnya yang dapat dipakai dalam menentukan besarnya faktor koreksi akibat adanya pengaruh tegangan overburden. Kita bebas dalam menggunakan faktor-faktor koreksi tersebut, akan tetapi hal itu dapat menimbulkan interpretasi yang berbeda.

Faktor koreksi akibat pengaruh dari tegangan overburden dalam percobaan SPT adalah C_{nd} dan ditentukan sebagai ratio perbandingan ukuran penetrasi dari perlawanan SPT pada tingkat pemberian tegangan efektif sampai pada penetrasi dari perlawanan SPT pada tingkat tegangan yang standar atau yang diijinkan (σ_v) yang biasanya dalam satuan ton/sq.ft atau kg/cm².

Beberapa formula yang telah diberikan untuk memperoleh besarnya faktor koreksi C_{n} antara lain :

a. Teng (1964) yang mempergunakan kurva-kurva yang diberikan oleh Gibbs dan Holtz (1957) untuk mendapatkan hubungan antara nilai-nilai N yang diukur dengan nilai N_1 yang ada dibawah sebuah tegangan efektif overburden, dan besarnya faktor koreksi C_N yang diberikan sebesar :

$$C_N = 50 / (10 + \bar{\sigma}_v) \dots\dots\dots(III-4)$$

$$\bar{\sigma}_v \leq 40 \text{ psi}$$

b. Bazaraa (1967) memberikan faktor koreksi C_N sebesar :

$$C_N = 4 / (1 + 2 \bar{\sigma}_v) \dots\dots\dots(III-5)$$

$$\bar{\sigma}_v \leq 1,5 \text{ kips/sq. ft}$$

$$C_N = 4 / (3,25 + 0,5 \bar{\sigma}_v) \dots\dots\dots(III-6)$$

$$\bar{\sigma}_v \geq 1,5 \text{ kips/sq. ft}$$

c. R. B. Peck, Hansen dan Thornburn (1974) memberikan faktor koreksi C_N sebesar :

$$C_N = 0,77 \log (20 / \bar{\sigma}_v) \dots\dots\dots(III-7)$$

$$\bar{\sigma}_v \text{ (kips/sq. ft)}$$

d. Seed (1976) memberikan faktor koreksi C_N sebesar :

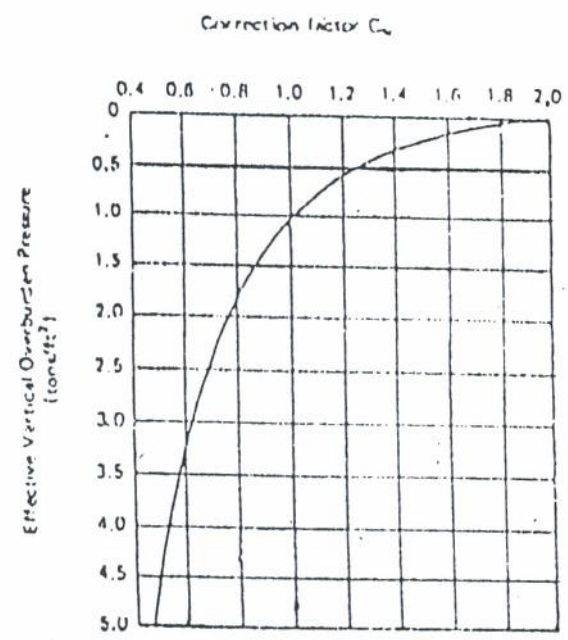
$$C_N = 1 - 1,25 \log \bar{\sigma}_v \dots\dots\dots(III-8)$$

$$\bar{\sigma}_v \text{ (kips/sq. ft)}$$

Dalam prakteknya, nilai perlawanan penetrasi standar yang terukur (N) dan kemudian dikoreksi atau diperbaiki menjadi N_1 dengan mempergunakan persamaan dibawah ini :

$$N_1 = C_N \cdot N \dots\dots\dots(III-9)$$

Dimana faktor koreksi C_N dapat ditentukan dengan menggunakan grafik (III-1).



Grafik (III-1)
Koreksi nilai-nilai tahanan penetrasi standar
hasil pengukuran

III. 8. Koreksi nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap Ratio Energi Batang, pengaruh ukuran panjang batang bor serta pengaruh diameter lubang bor.

Pada percobaan SPT, nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) yang dihasilkan berkaitan erat dengan kemampuan daya pendorong (energi) yang diberikan oleh beban pemukul setelah beban pemukul membentur landasan (anvil), kemudian diteruskan kepada tabung pengambil contoh yang dimasukkan kedalam lubang bor. Tetapi terdapat perbedaan cara yang dipakai untuk melepaskan beban pemukul.

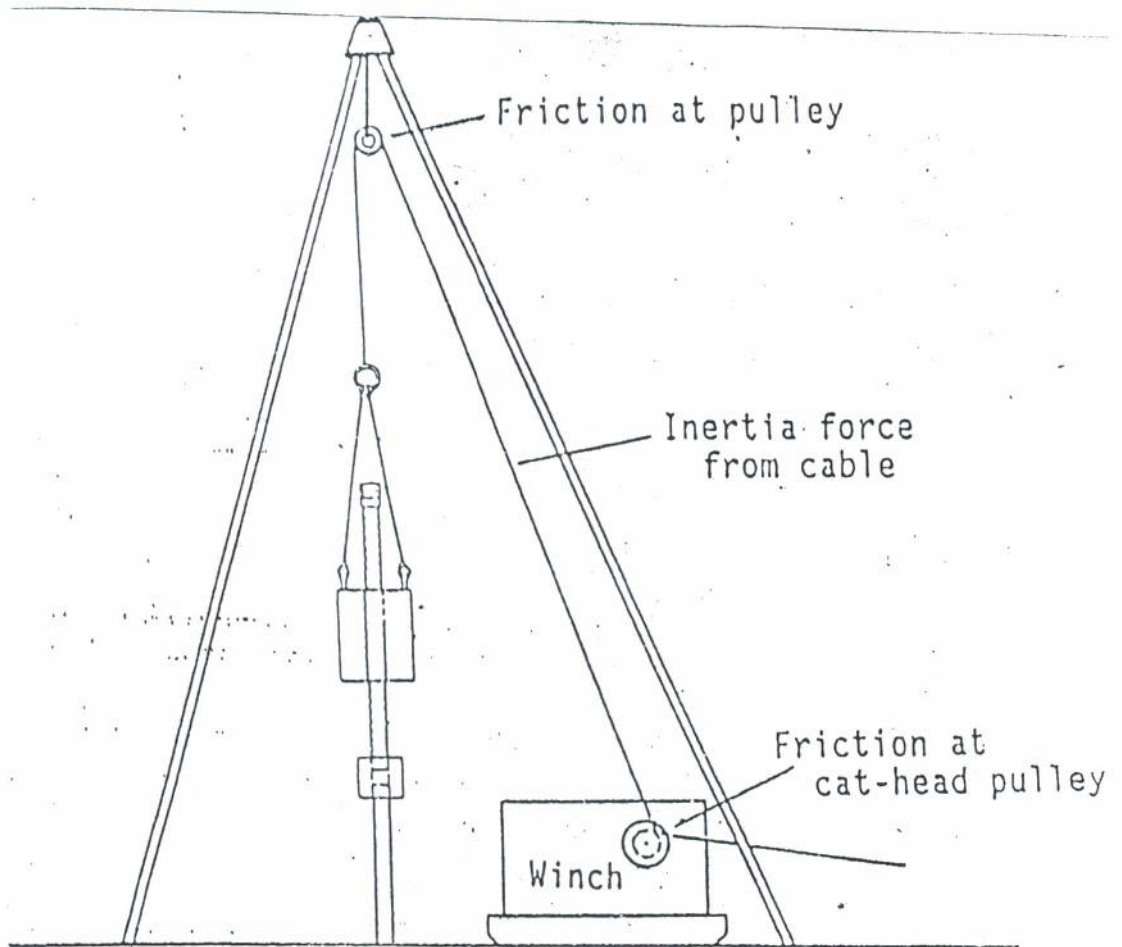
Hanya energi yang sampai pada tabung pengambil contoh saja yang dipakai pada penetrasi, dimana perbandingan dari energi yang sampai pada tabung pengambil contoh dengan energi jatuh bebas beban pemukul disebut sebagai ratio energi batang.

Akan tetapi cara yang dipakai dalam melepaskan beban pemukul berbeda-beda. Cara yang paling sering dipergunakan seperti diperlihatkan pada gambar (III-3). Dengan cara ini, tidaklah semua tenaga dari beban pemukul dapat dipakai untuk memasukkan tabung pengambil contoh. Sebagian tenaga menjadi hilang karena adanya perlawanan gesekan pada puli serta adanya perlawanan inerti pada kabel yang dipakai untuk menaikkan dan menjatuhkan beban pemukul.

Apabila alat pemukul yang dipakai pada percobaan SPT melepaskan beban pemukul sama sekali dari kabel, jenis ini disebut sebagai Free Fall Hammer. Bila kabel tidak dilepaskan dari beban

Gambar (III-3)

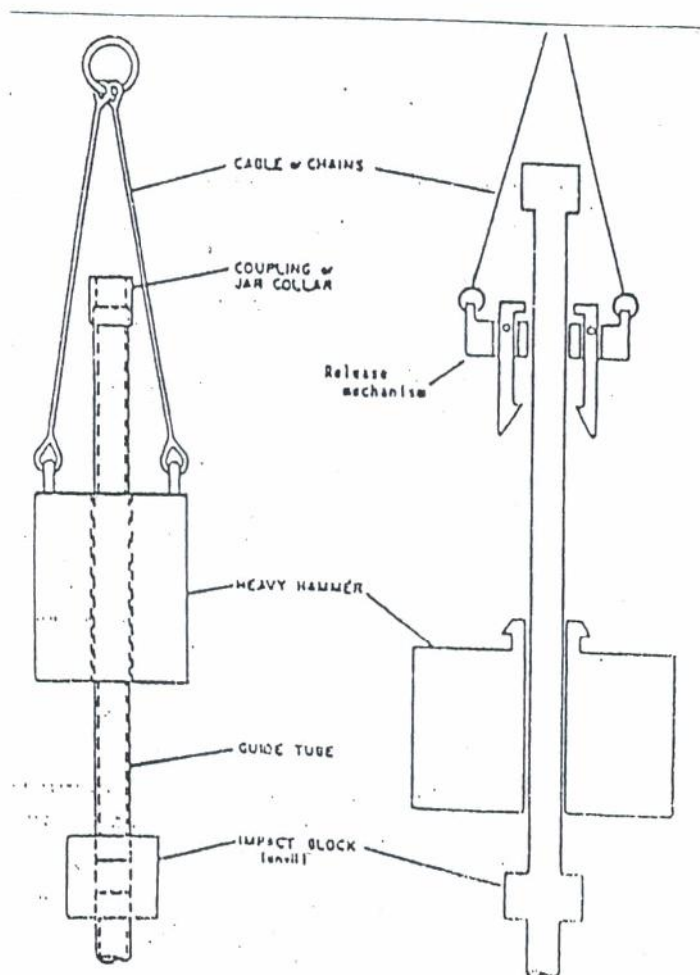
(Cara pelepasan beban pemukul dalam percobaan SPT)



pemukul, jenis ini disebut sebagai Rope and Pulley Hammer, seperti ditunjukkan pada gambar (III-4).

Gambar (III-4)

Jenis alat pemukul pada percobaan SPT



Dengan memakai cara rope and pully hammer, ternyata bahwa energi yang diterima oleh tabung pengambil contoh tidak lebih dari 40% sampai 60% energi yang maksimum.

Sedangkan dengan cara free fall hammer jenis yang dipakai di Jepang, energi yang diterima tabung pengambil contoh masih berkisar 78%.

Dengan adanya perbedaan cara dalam melepaskan beban pemukul pada percobaan SPT, maka nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) yang diukur harus dikoreksi atau dinormalisasi terhadap ratio energi batang.

Ratio-ratio energi batang untuk prosedur operasi yang digunakan pada beberapa negara bervariasi antara 45% dan 78%.

Seed dan kawan-kawan pada tahun 1984 mengusulkan besarnya nilai ratio energi batang untuk keperluan menormalisasi nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) sebesar 60%.

Di Amerika dianjurkan pemakaian ratio energi batang sebesar 50% sampai 55%.

Akan tetapi telah direkomendasikan bahwasuatu ratio energi batang standar sebesar 60% harus diambil. Oleh karena itu semua hasil pengukuran nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) harus dinormalisasi terhadap ratio energi batang standar ini, dimana nilai-nilai normalisasi ditandai dengan N_{60} .

Dengan adanya keperluan penormalisasian tersebut, maka nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) yang terukur dinormalisasi menggunakan rumus sbb:

$$N_{60} = N \cdot E_{Rr}/60 \dots\dots\dots(\text{III-10})$$

Faktor-faktor koreksi ratio energi batang ditunjukkan seperti pada tabel (III-2).

Country	Hammer Type	Hammer Release	Estimated Rod Energy (Percent)	Correction Factor for 60 Percent Rod Energy
Japan*	Donut	Free-fall	78	78/60 = 1.30
	Donut	Rope and pulley with special throw release	67	67/60 = 1.12
United States	Safety	Rope and pulley	60	60/60 = 1.00
	Donut†	Rope and pulley	45	45/60 = 0.75
Argentina...	Donut	Rope and pulley	45	45/60 = 0.75
China	Donut	Free-fall*	60	60/60 = 1.00
	Donut	Rope and pulley	50	50/60 = 0.83

*Japanese SPT results have additional corrections for borehole diameter and frequency effects.

†Prevalent method in the United States, today.

*Pilon-type hammers develop an energy ratio of about 60 percent.

SOURCE: Seed et al. (1984).

Tabel (III-2)

Faktor koreksi ratio energi batang

Gibbs dan Holtz (1957) serta kemudian oleh Mc. Lean dan kawan-kawan (1975) dan lain-lain, menganalisis tentang pengaruh ukuran panjang batang bor yang dipergunakan dalam percobaan SPT.

Apabila ukuran panjang batang bor yang dipergunakan dalam percobaan SPT melebihi kira-kira 10 m, agaknya tidak bersifat kritis. Akan tetapi bila ukuran panjang batang bor yang lebih pendek yaitu kurang dari 10 m ($< 10 \text{ m}$), maka akan terjadi suatu pemantulan energi dan hal ini akan mengakibatkan kehilangan energi yang lebih besar. Dengan demikian nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) juga harus dikoreksi terhadap pengaruh dari ukuran panjang batang bor apabila ukuran panjang batang bor totalnya yang

dipergunakan dalam percobaan SPT lebih kecil dari 10 m ($L < 10 \text{ m}$).

Dan suatu pengaruh tambahan dapat juga ditimbulkan oleh diameter dari lubang bor, dimana telah terbukti bahwa nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) yang lebih rendah diperoleh pada lubang bor yang berdiameter 150 mm dan 200 mm.

Sedangkan untuk lubang bor yang diameternya kurang dari 115 mm akan menghasilkan nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) yang lebih tinggi. Maka nilai-nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) harus dikoreksi akibat pengaruh diameter lubang bor.

Faktor-faktor koreksi untuk nilai tahanan penetrasi standar (N-SPT) akibat pengaruh ukuran panjang batang bor dan akibat pengaruh diameter lubang bor seperti pada tabel (III-3).

Koreksi panjang batang n_f		
Panjang	> 10 m	$n_f = 1,00$
	6 - 10 m	= 0,95
	4 - 6 m	= 0,85
	0 - 4 m	= 0,75
<i>N</i> terlalu tinggi untuk $L < 10 \text{ m}$.		
Koreksi diameter lubang bor n_d		
Diameter lubang:	† 60 - 120 mm	$n_d = 1,00$
	150 mm	= 1,05
	200 mm	= 1,15
Nilai dasar; <i>N</i> terlalu kecil pada waktu memakai lubang yang berukuran lebih		
Data disintesis dari Riggs (1986), Skempton (1986), Schmertmann (1978a) dan Seed dan Kawan (1985).		
† $n_d = 1,00$ untuk semua diameter bor tanah bertangkai-bolong, kalau SPT diambil lewat tangkai.		

Tabel (III-3)

Faktor koreksi panjang batang dan diameter lubang bor

III. 9. Korelasi nilai perlawanan penetrasi standar (N-SPT) terhadap derajat kepadatan tanah.

Percobaan Penetrasi Standar (SPT) merupakan metoda yang paling sederhana untuk mengetahui derajat kepadatan tanah dilapangan. Dengan mengetahui jumlah tumbukan yang diperlukan dari beban yang dijatuhkan untuk mendorong split spoon (sendok pengambil contoh) kedalam tanah sedalam 30 cm.

Derajat kepadatan tanah-tanah yang kohesif biasanya dinyatakan dengan konsistensi. Apakah tanah-tanah kohesif itu termasuk sangat lunak, lunak, sedang, kaku dan keras.

Dan derajat kepadatan tanah-tanah yang tidak berkohesi biasanya dikenal dengan kepadatan relatif (Dr). Apakah tanah-tanah itu termasuk sangat lepas, lepas, sedang, padat dan sangat padat.

Dengan mengetahui nilai-nilai perlawanan penetrasi standar (N-SPT) yang diperoleh dari percobaan dilapangan, maka akan dapat diperkirakan tentang konsistensi maupun kepadatan relatif (Dr) tanah yang bersangkutan.

Alasan utama menggunakan kepadatan relatif (Dr) pada tanah-tanah yang tidak berkohesi adalah dikarenakan, pengambilan contoh-contoh tanah tersebut hampir tidak mungkin dilakukan pada pasir dan kerikil yang tidak berkohesi, untuk keperluan pengujian tentang sifat-sifat tanah dilaboratorium. Oleh karena itu uji penetrometer terpaksa sering digunakan.

Kepadatan relatif (Dr) lapisan pasir (tanah tidak

kohesif) mempunyai pengaruh yang sangat menentukan terhadap daya dukung serta terhadap penurunan.

Dengan bertambahnya kepadatan relatif (D_r), daya dukung akan bertambah dengan cepat, dan penurunan akibat beban tertentu berkurang.

Terzaghi dan R. B. Peck (1948) memberikan hubungan (korelasi) antara nilai-nilai perlawanan penetrasi (N-SPT) dengan kepadatan relatif (D_r) dan konsistensi

Jumlah tumbukan	Kepadatan Relatif
0 - 4	Sangat lepas
4 - 10	Lepas
10 - 30	Sedang
30 - 50	Padat
Lebih besar 50	Sangat padat

Jumlah tumbukan	Konsistensi
2	Sangat lunak
2 - 4	Lunak
4 - 8	Sedang
8 - 15	Kaku
15 - 30	Sangat kaku
Lebih besar 30	Keras

III. 10. Aplikasi N - SPT terhadap perhitungan daya dukung pondasi dangkal.

-Daya dukung ijin berdasarkan rumus Mayerhof (1956) adalah :

$$q_{ull} = N \cdot B (1 + D/B) \cdot 1/10$$

Dengan faktor keamanan 3, kapasitas daya dukung ijin maksimum q_{ad} dinyatakan dalam ton/ft² dan B dalam ft, maka :

$$q_{ad} = N \cdot B (1 + D/B) \cdot 1/30$$

Rumus ini hanya berlaku untuk tanah yang tidak berkohesi dan terletak diatas muka air tanah. Sedangkan untuk pasir yang mengandung lempung (clayed sand), dan pasir yang terendam air maka q_{ad} harus dibagi 2.

-Pengalaman menunjukkan bahwa daya dukung ijin dapat dihitung dengan mengikuti petunjuk praktis :

$$q_{ad} = N / 8 \dots\dots\dots \text{ untuk } B \leq 4 \text{ ft.}$$

$$q_{ad} = N (1 + 1/B)^2 \dots\dots\dots \text{ untuk } B > 4 \text{ ft.}$$

Dalam persamaan tersebut, q_{ad} dinyatakan dalam ton/ft² dan B dalam ft. Hasil ini termasuk pengaruh air tanah.

-Pada tanah tidak kohesif, suatu nilai q_{ad} untuk pondasi yang

(diharapkan) dapat membatasi penurunan tidak lebih dari 25 mm telah diberikan oleh Meyerhof sebagai :

$$q_{ad} = \frac{N}{F_1} K_d \dots\dots\dots B \leq F_4$$

$$q_{ad} = \frac{N}{F_2} \left(\frac{B + F_3}{B} \right)^2 \dots\dots\dots B > F_4$$

Dimana : q_{ad} = Tekanan dukung yang diperbolehkan untuk penurunan tidak lebih dari 25 mm. Dinyatakan dalam ton/ft².

B = Dimensi sisi terkecil dari pondasi (ft atau m).

D = Kedalaman pondasi dalam satuan ft atau m.

$$K_d = 1 + 0,33 D/B \leq 1,33$$

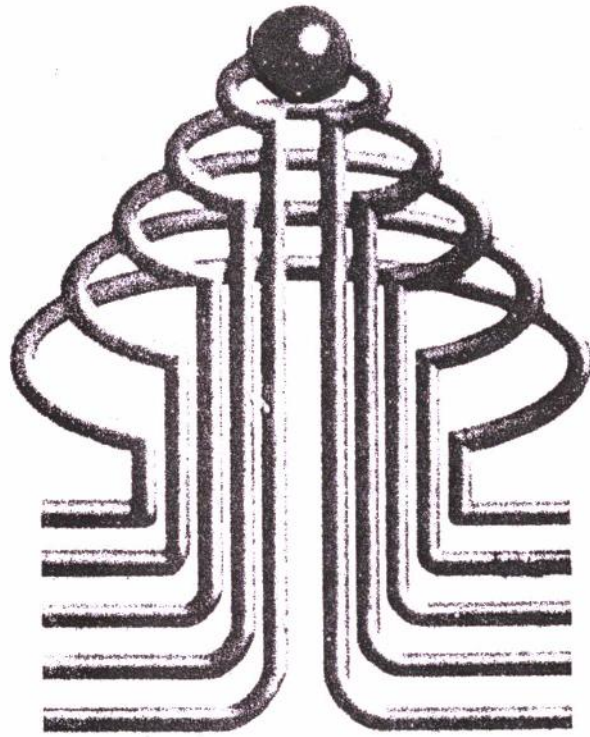
N = Jumlah uji penetrasi standar SPT (pakai nilai rata-rata untuk kedalaman sampai sekitar 0,75 B di bawah pondasi).

F_i = Konstanta yang tergantung pada satuan yang di pakai.

F	SI, m	Fps, ft
1	0,05	2,5
2	0,08	4,0
3	0,30	1,0
4	1,20	4,0

Untuk pondasi pelat (mat foundation) yang mempunyai B yang sangat besar :

$$q_{ad} = \frac{N}{F_2} K_d$$



ISTN

BAB. IV
PEMBAHASAN

IV. 1 Hubungan kedalaman dengan parameter tanah.

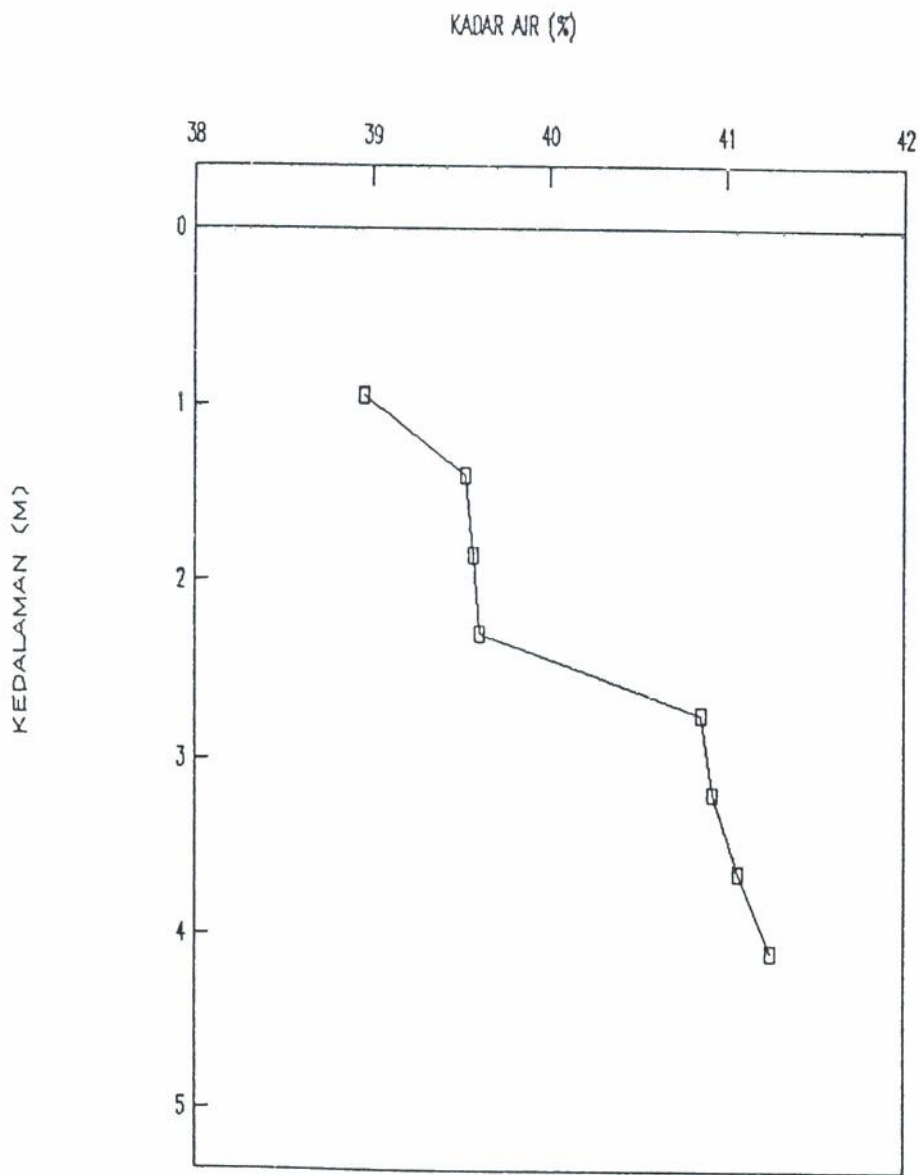
Hasil pengujian terhadap contoh-contoh tanah yang diperoleh dari lubang bor, contoh-contoh tanah tersebut diklassifikasikan sebagai pasir halus dan tanah lempung.

Hasil-hasil pengujian indeks properties contoh-contoh tanah menunjukkan bahwa, nilai parameter-parameter tanah bervariasi yaitu pada kedalaman 0,50 sampai kedalaman 1,40 m, tetapi mulai kedalaman 1,40 m nilai-nilai parameter tanah meningkat dengan meningkatnya kedalaman.

Dari hasil pengujian terhadap contoh tanah lempung dengan melakukan percobaan batas-batas Atterberg, tanah lempung mempunyai batas cair yang tinggi dan indeks plastisitas yang tinggi, yaitu lebih dari 50%.

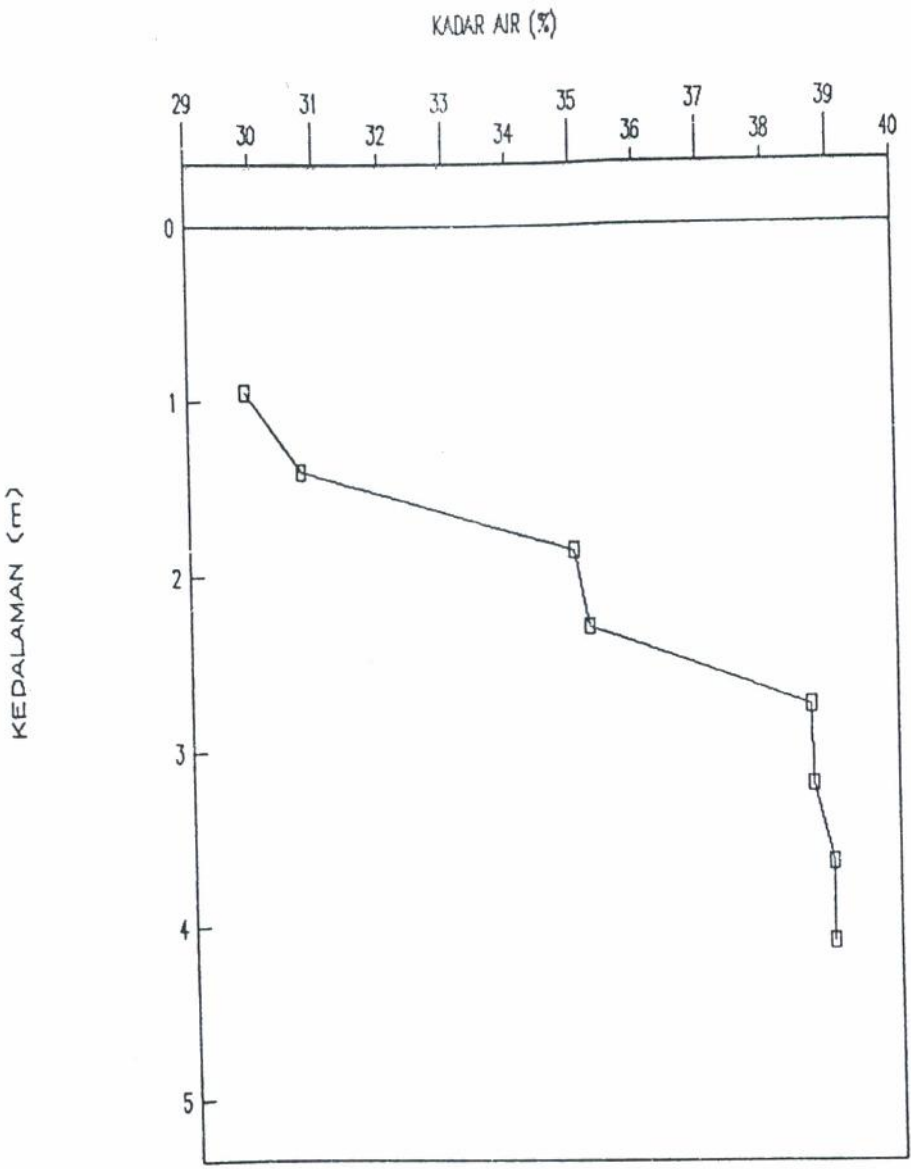
Pada umumnya tanah-tanah lempung tersebut mempunyai plastisitas yang tinggi karena termasuk kedalam golongan CH. Dan tanah merupakan tanah yang teguh.

Hubungan kedalaman dengan parameter-parameter tanah seperti digambarkan dalam grafik (IV-1) s/d grafik (IV-10).



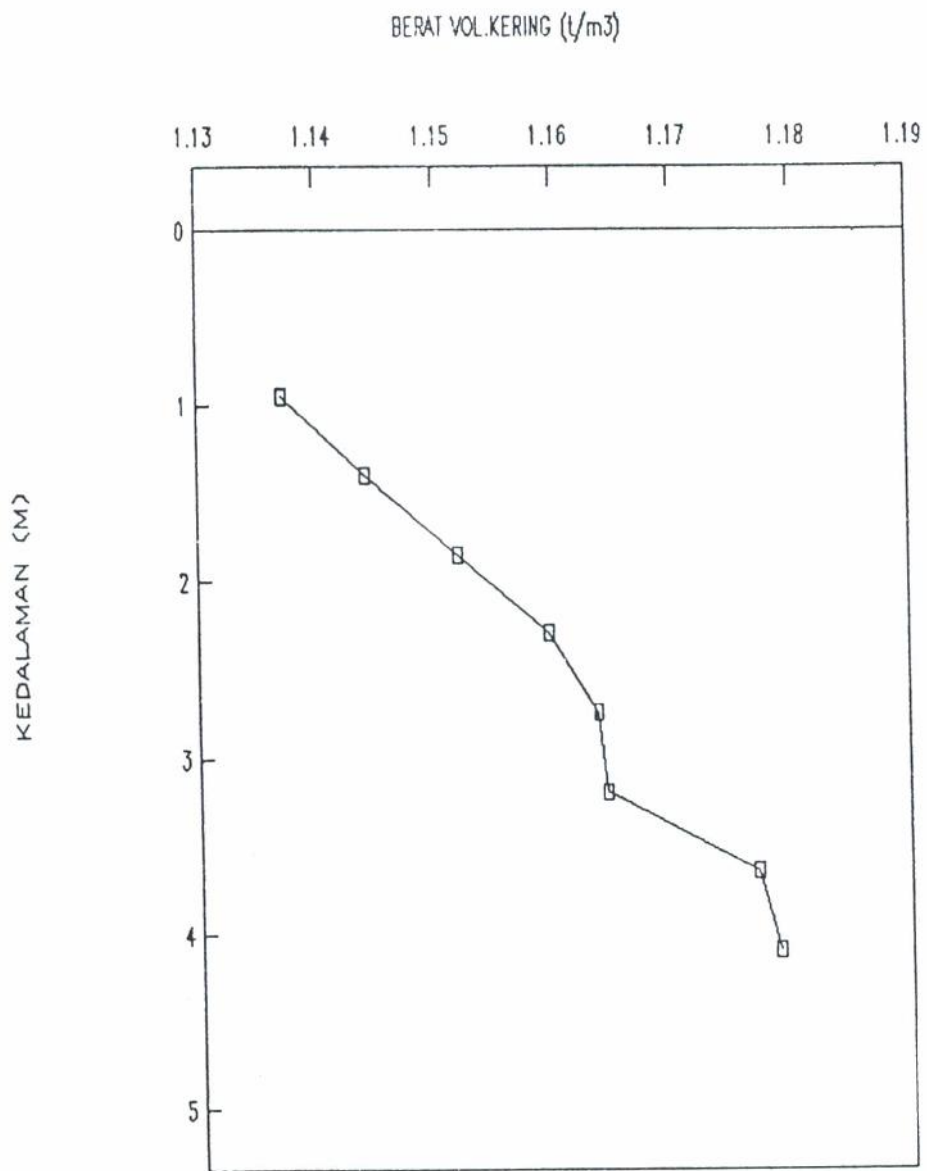
Grafik IV-1.

Hubungan antara Kedalaman dengan Kadar Air pada tanah lempung



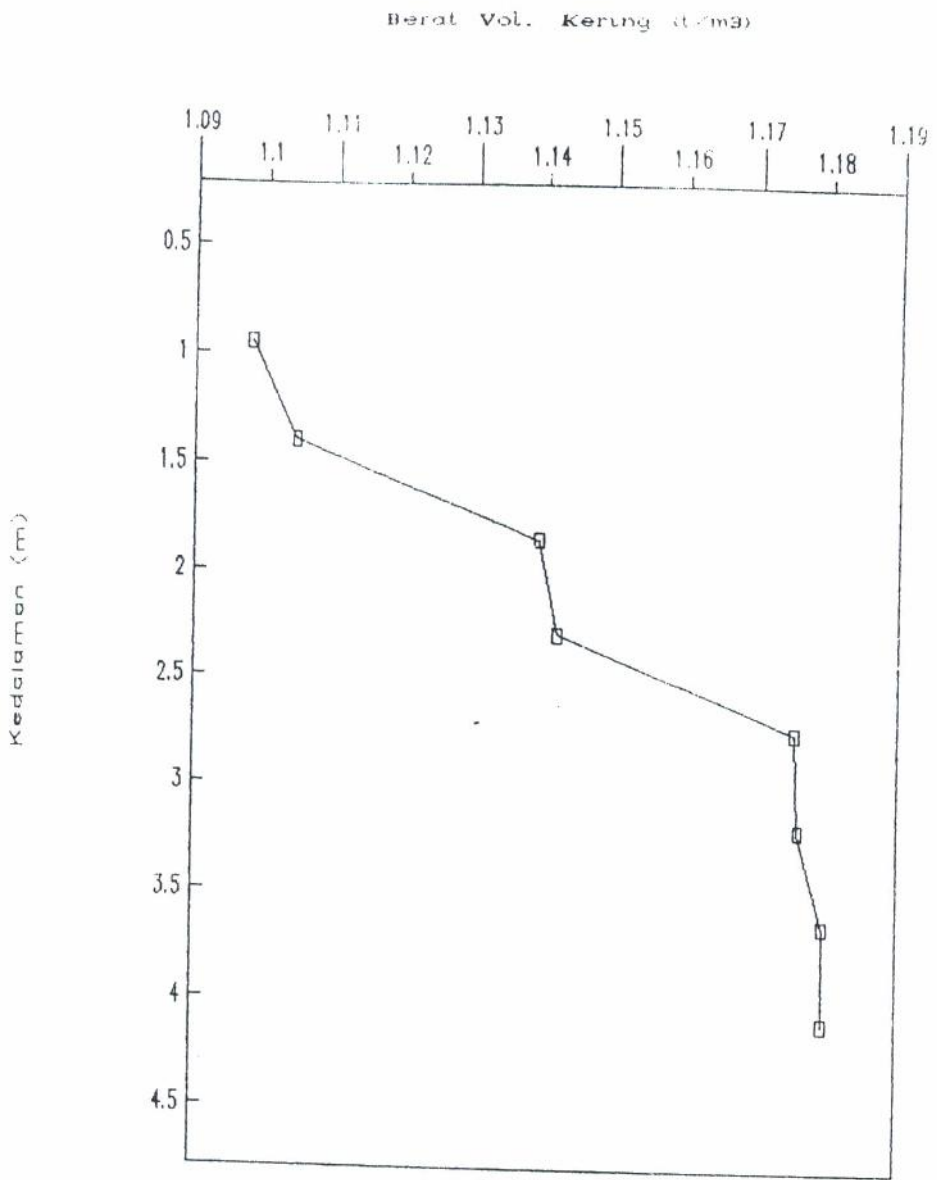
Grafik IV-2.

Hubungan antara Kedalaman dengan Kadar Air pada tanah pasir



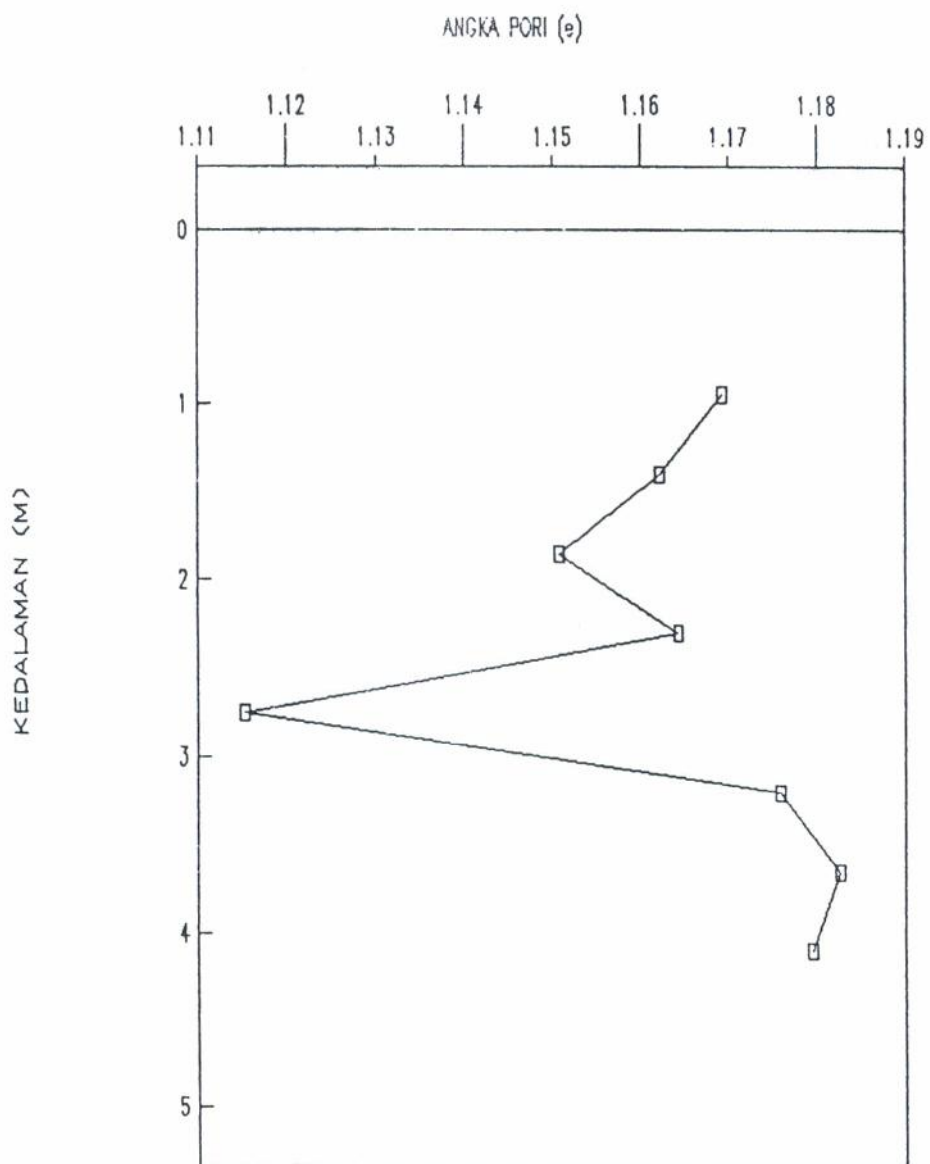
Grafik IV-3.

Hubungan antara Kedalaman dengan Berat Vol. Kering pada tanah lempung



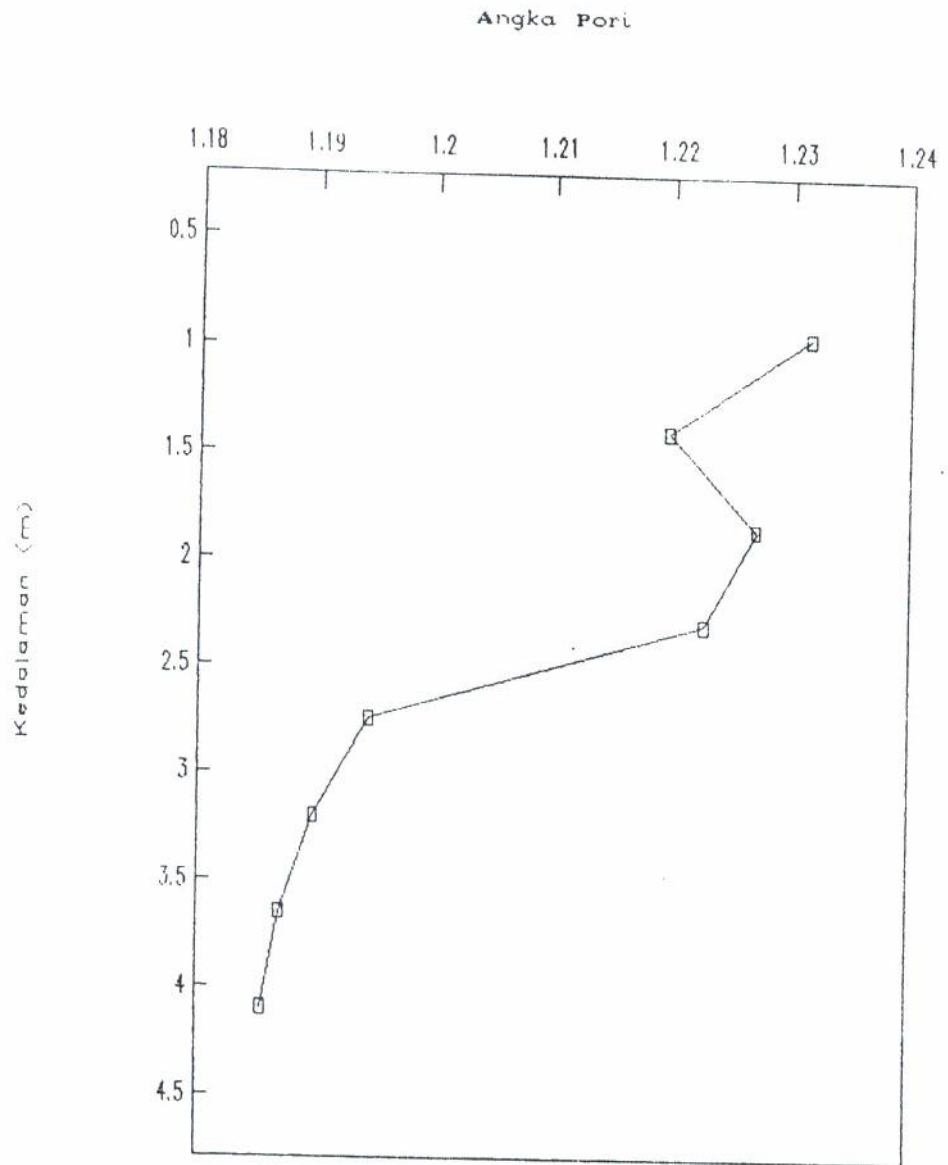
Grafik IV - 4

Hubungan antara Kedalaman dengan Berat Vol. Kering pada tanah pasir



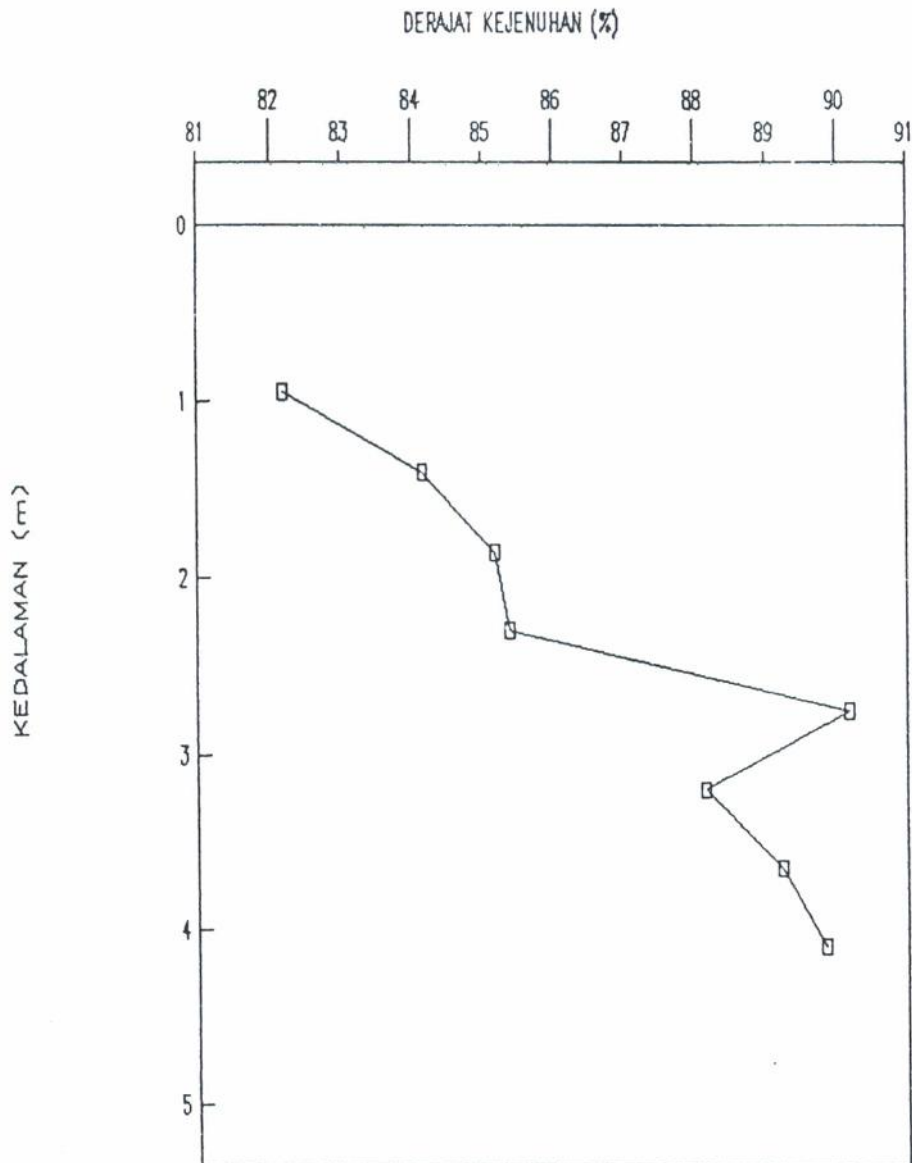
Grafik IV-5.

Hubungan antara Kedalaman dengan Angka Pori
pada tanah lempung



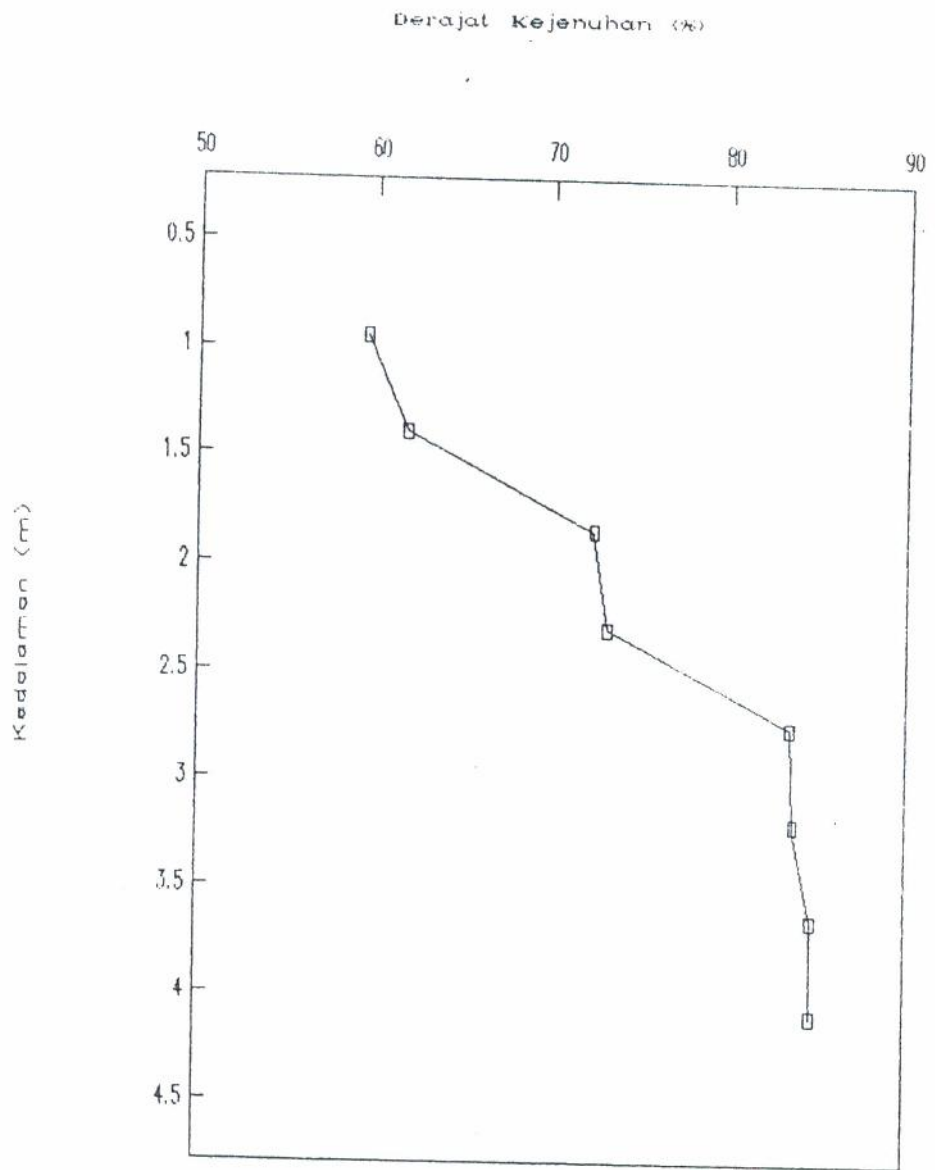
Grafik IV - 6

Hubungan antara Kedalaman dengan Angka Pori
pada tanah pasir



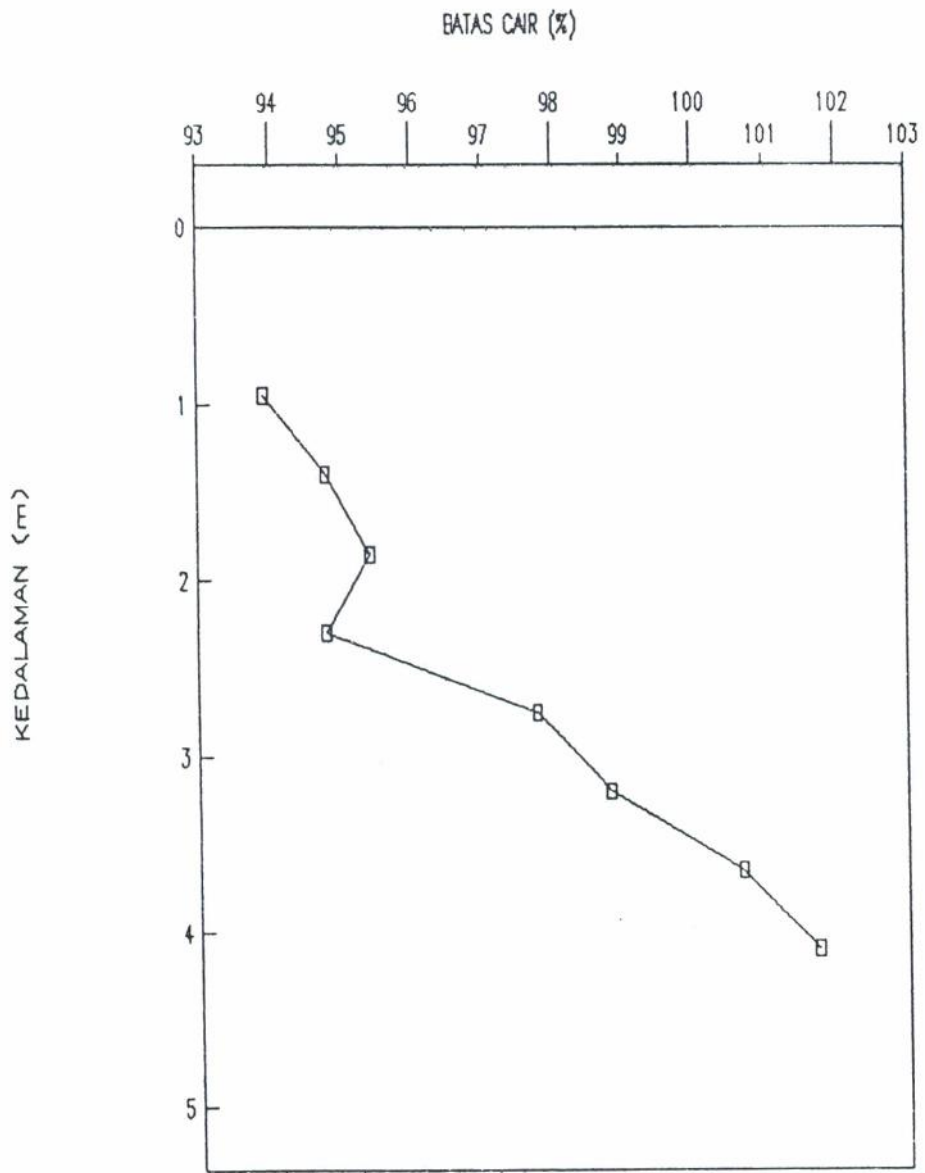
Grafik IV-7.

Hubungan antara Kedalaman dengan Derajat Kejenuhan pada tanah lempung



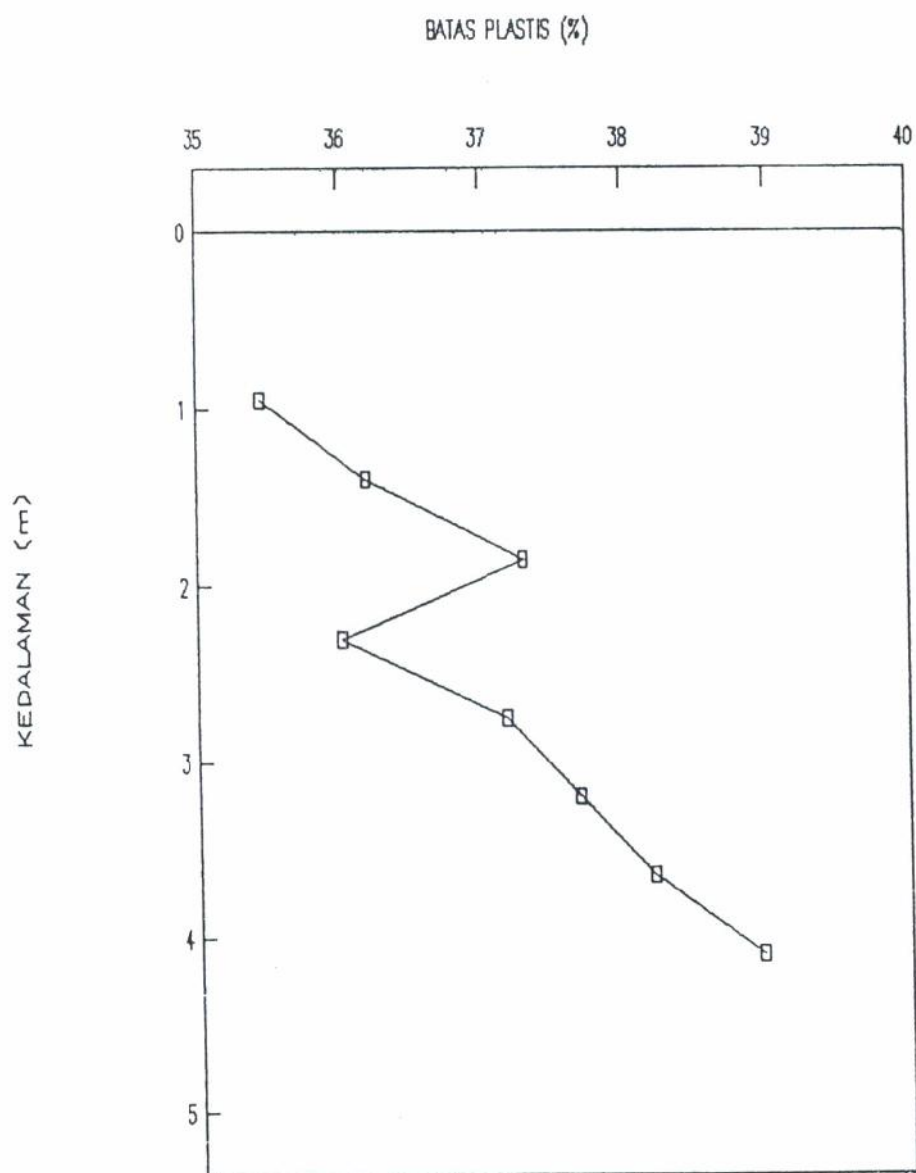
Grafik IV - 8

Hubungan antara Kedalaman dengan Derajat Kejuhan pada tanah pasir



Grafik IV-9.

Hubungan antara Kedalaman dengan Batas Cair pada tanah lempung



Grafik IV-10.

Hubungan antara Kedalaman dengan Batas Plastis pada tanah lempung

IV. 2. Hubungan kedalaman dengan nilai perlawanan penetrasi.

Pengujian tanah dilapangan yaitu dengan melakukan percobaan penetrasi standar (SPT) dan juga melakukan percobaan penetrasi dengan menggunakan peralatan yang sama seperti dalam percobaan penetrasi standar, dengan mengganti sepatu pancang yang standar dengan sepatu pancang yang berbentuk kerucut pejal dan bersudut 60° (modifikasi).

Hasil-hasil pengujian digambarkan pada grafik (IV-11) untuk pengujian pada tanah pasir, dan grafik (IV-12) untuk pengujian pada tanah lempung. Grafik menggambarkan hubungan kedalaman dengan nilai perlawanan penetrasi.

Seperti terlihat pada grafik bahwa nilai perlawanan penetrasi meningkat dengan bertambahnya kedalaman, untuk kedua alat percobaan yang digunakan. Akan tetapi nilai perlawanan penetrasi lebih tinggi apabila percobaan dilakukan dengan menggunakan sepatu pancang bentuk kerucut dibandingkan dengan yang standar.

Hasil-hasil pengujian dilapangan pada tanah pasir seperti terlihat pada grafik (IV-11) adanya penambahan pukulan (nilai perlawanan penetrasi) kerucut pada kedalaman 1,85 m sampai kedalaman 2,30 m, kemungkinan ini karena dengan bertambahnya kadar air tanah menyebabkan kohesi semu pada pasir, mengakibatkan pukulan yang lebih banyak pada kerucut untuk mencapai penetrasi. Pada kedalaman 2,70 m - 3,20 m, terjadi penurunan perlawanan penetrasi pada kerucut. Hal ini kemungkinan disebabkan dengan

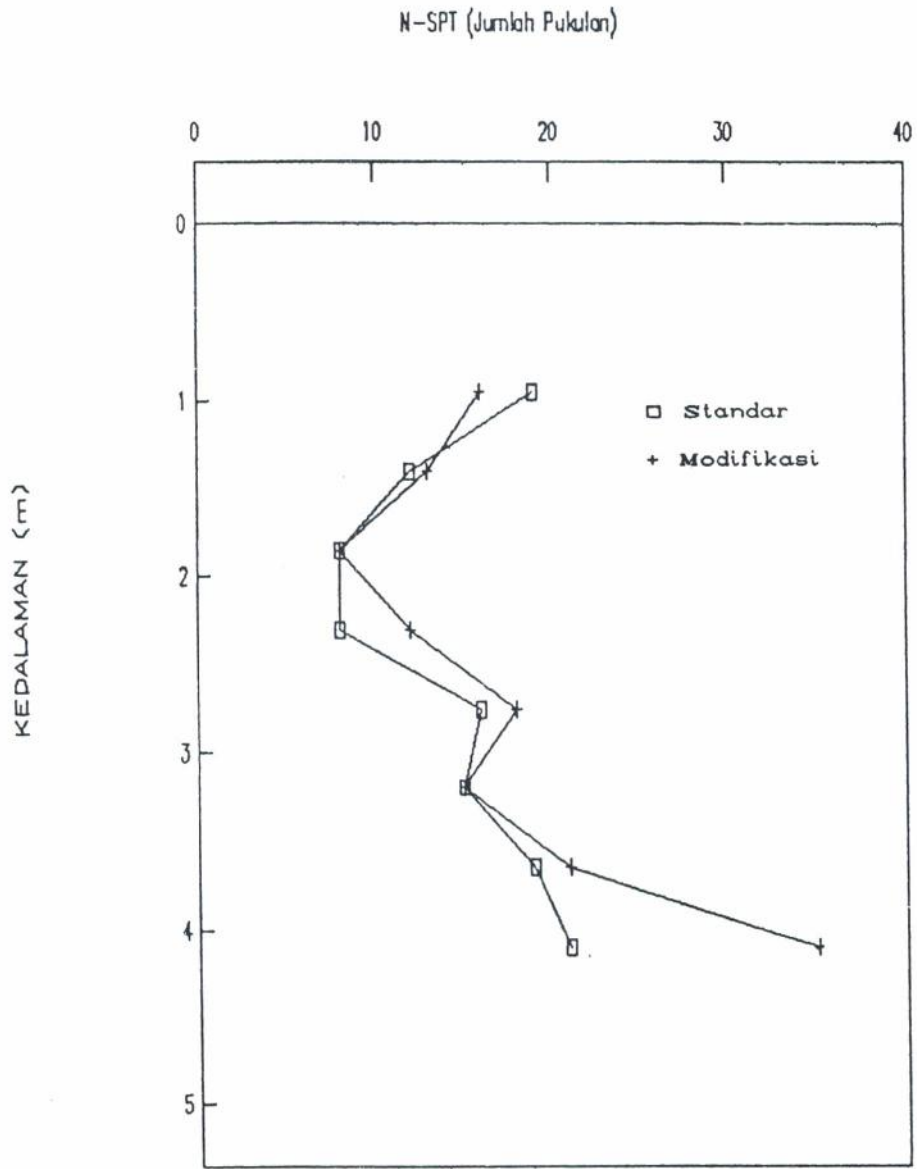
bertambahnya kadar air tetapi masih dibawah tingkat pasir jenuh, pasir masih merupakan lapisan yang lebih longgar dan mudah untuk suatu penetrasi kerucut.

Pengujian yang dilakukan pada tanah lempung dimana hasilnya seperti terlihat pada grafik (IV-12), pada umumnya menunjukkan jumlah pukulan (nilai perlawanan penetrasi) bertambah, untuk percobaan yang dilakukan dengan sepatu pemancang kerucut.

Pada kedalaman 1,85 m sampai kedalaman 2,75 m pada lapisan lempung yang lebih lunak, tidak mempengaruhi (mengurangi) nilai penetrasi kerucut. Hal ini kemungkinan disebabkan, disamping adanya daya kohesi lapisan lempung tetapi juga tanah merupakan lempung teguh. Sehingga diperlukan jumlah pukulan yang lebih banyak untuk mencapai kedalaman penetrasi yang ditentukan dibandingkan dengan pada percobaan penetrasi standar (SPT).

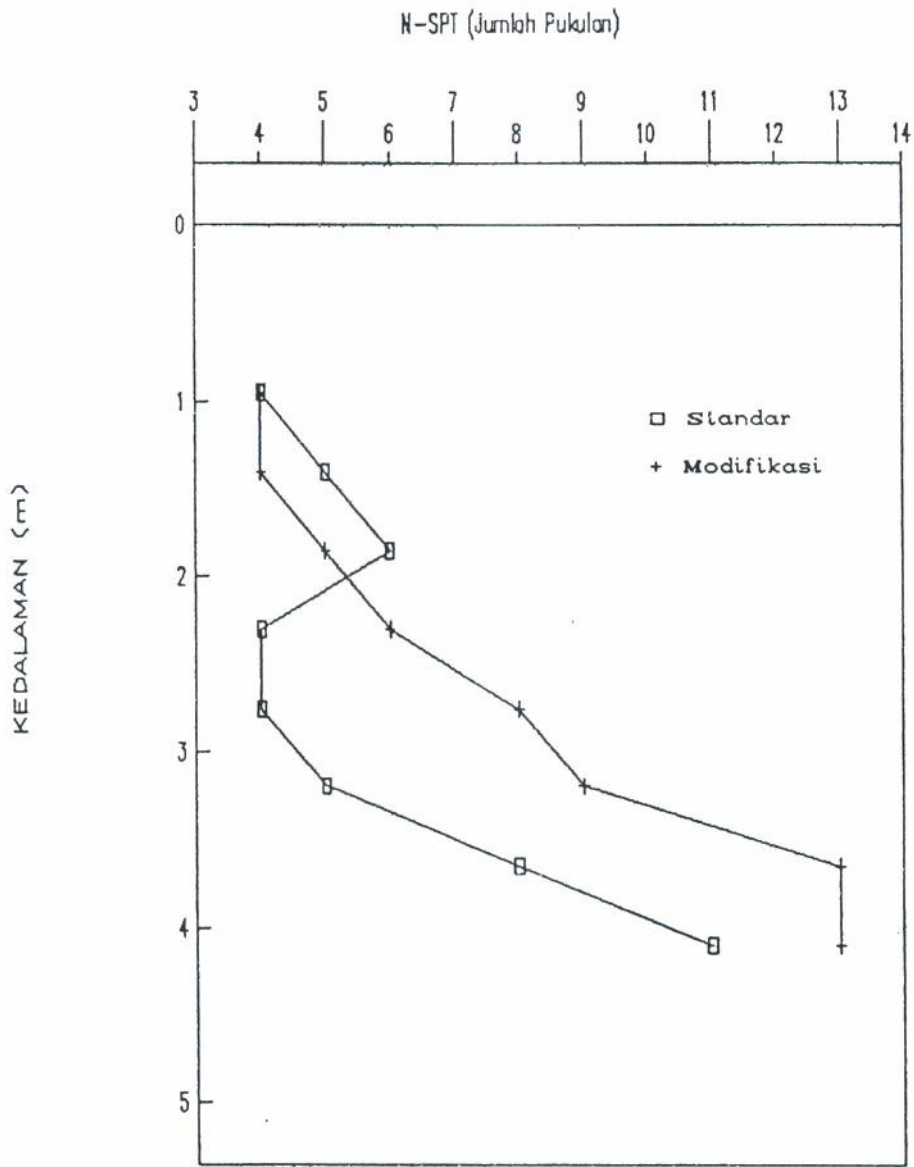
Mayerhof (1965) dari hasil studinya mengemukakan tentang perbandingan penggunaan pemancang yang berbentuk kerucut dengan sudut 60° dan diameter 2 in, bahwa perlawanan penetrasi kerucut akan lebih tinggi dibandingkan dengan perlawanan penetrasi standar (SPT) dengan energi pukulan yang sama dan pada jenis tanah dan kepadatan sama.

Oleh karena itu, percobaan penetrasi dengan menggunakan peralatan sama dengan percobaan penetrasi standar (SPT), tetapi dengan bentuk pemancang bersudut 60° , jumlah pukulan yang diperlukan (nilai perlawanan penetrasi) akan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai perlawanan penetrasi standar (SPT), dengan melakukan percobaan pada jenis dan kepadatan tanah yang sama.



Grafik IV-11.

Hubungan Kedalaman Dengan Nilai Perlawanan Penetrasi pada tanah pasir



Grafik IV-12.

Hubungan Kedalaman Dengan Nilai Perlawanan Penetrasi pada tanah lempung

IV. 3. Hubungan nilai perlawanan penetrasi dengan tegangan overburden.

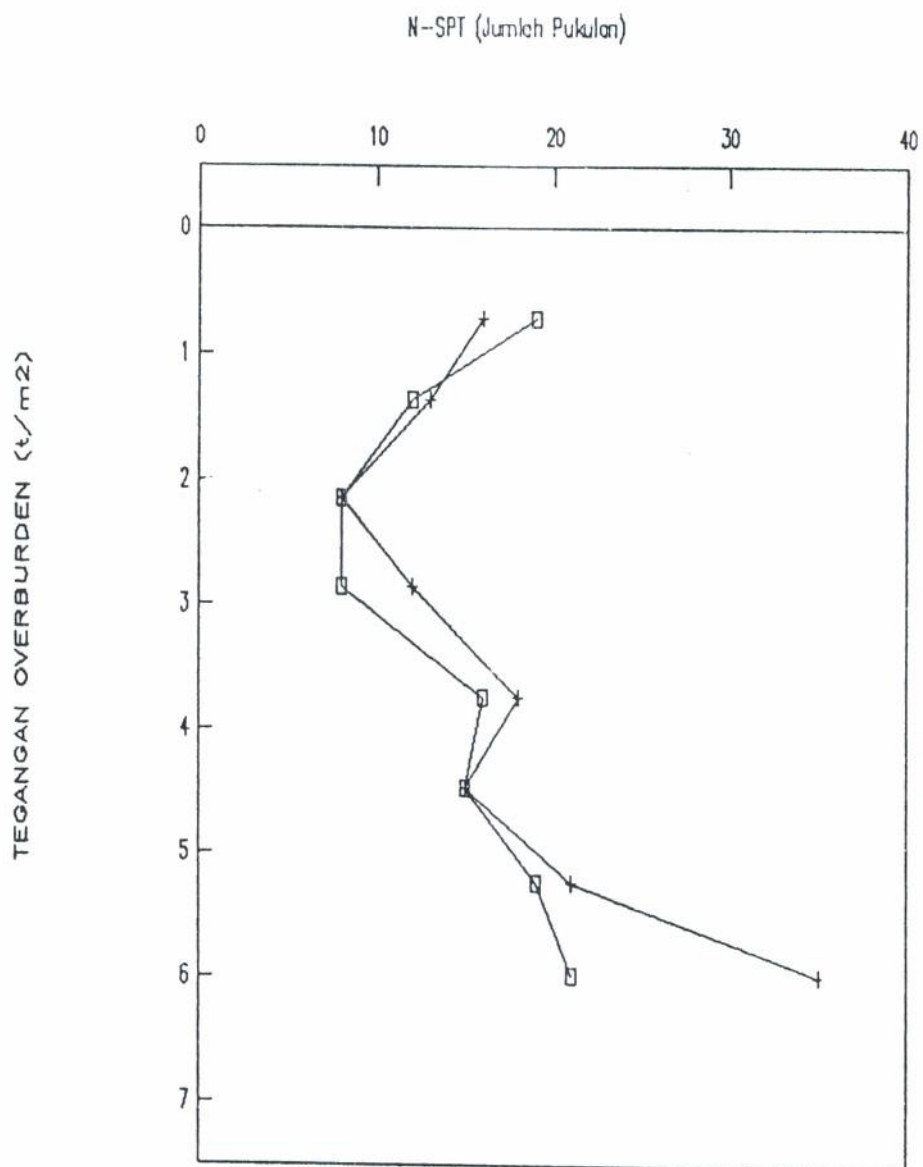
Seperti yang dikemukakan oleh Gibbs dan Holtz, tentang tegangan efektif pada kedalaman yang diukur (tegangan overburden) mempunyai pengaruh terhadap nilai perlawanan penetrasi. Perlawanan penetrasi meningkat dengan meningkatnya tegangan overburden.

Oleh karena itu tegangan overburden pada percobaan penetrasi menggunakan sepatu pancang bentuk kerucut 60° , mempunyai pengaruh yang sama dengan percobaan penetrasi menggunakan sepatu pancang yang standar (SPT).

Grafik (IV-13) memperlihatkan pengaruh tegangan overburden pada percobaan penetrasi tanah pasir, dan grafik (IV-14) merupakan pengaruh tegangan overburden pada percobaan tanah lempung.

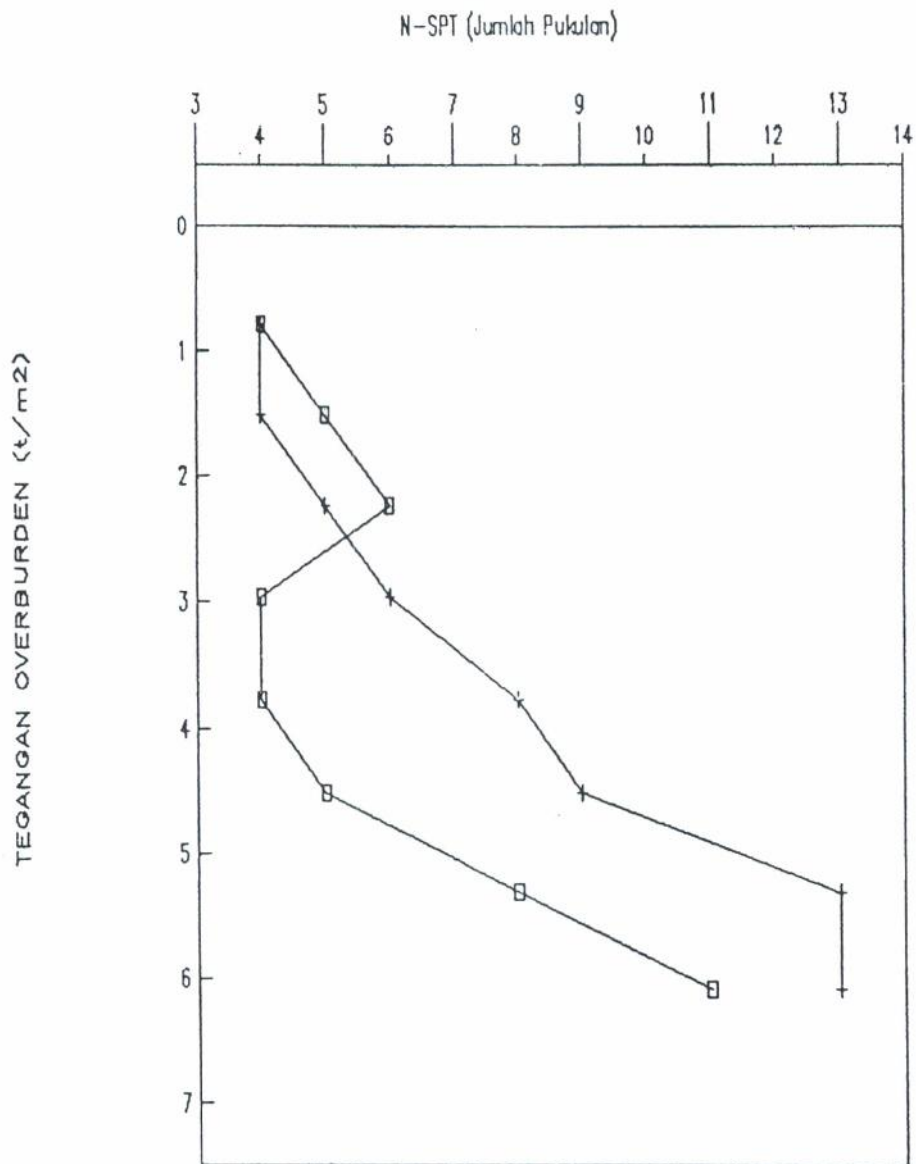
Dan akibat adanya pengaruh tegangan overburden, maka nilai-nilai yang diperoleh dari percobaan dilapangan dikoreksi dengan sebuah faktor C_N dari gambar (III-1).

Grafik (IV-15) s/d Grafik (IV-18), memperlihatkan nilai perlawanan penetrasi setelah dikoreksi akibat adanya pengaruh tegangan overburden.



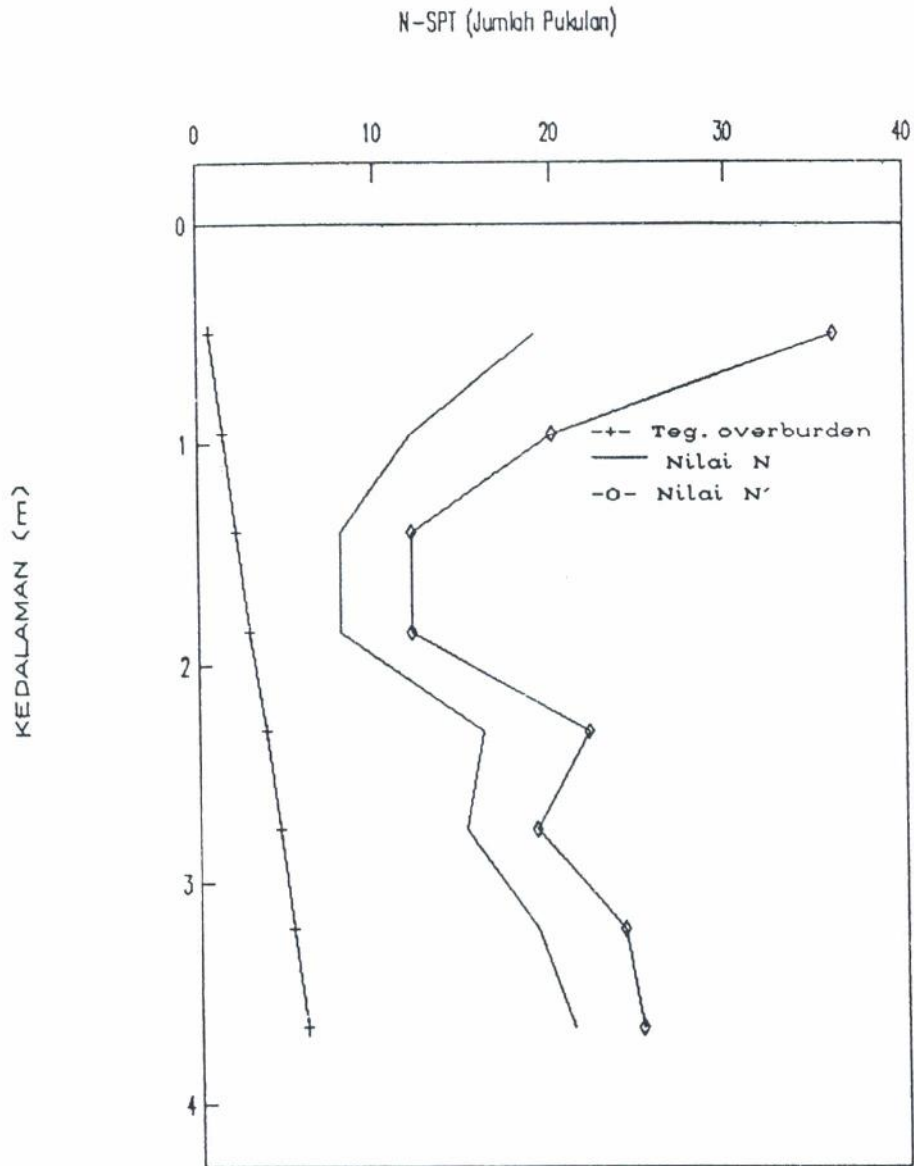
Grafik IV-13.

Hubungan Nilai Perlawanan Penetrasi
dengan Tegangan Overburden
pada tanah pasir



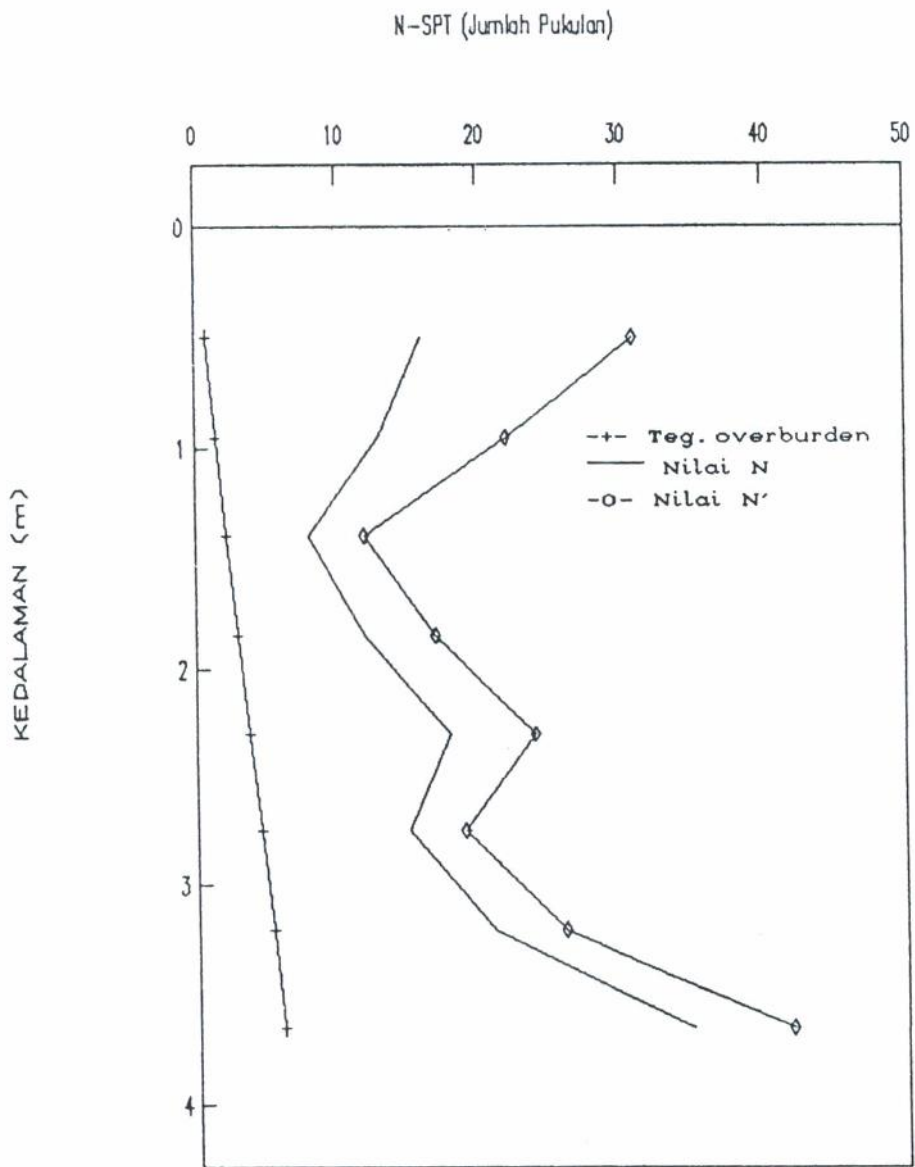
Grafik IV-14.

Hubungan Nilai Perlawanan Penetrasi
dengan Tegangan Overburden
pada tanah lempung



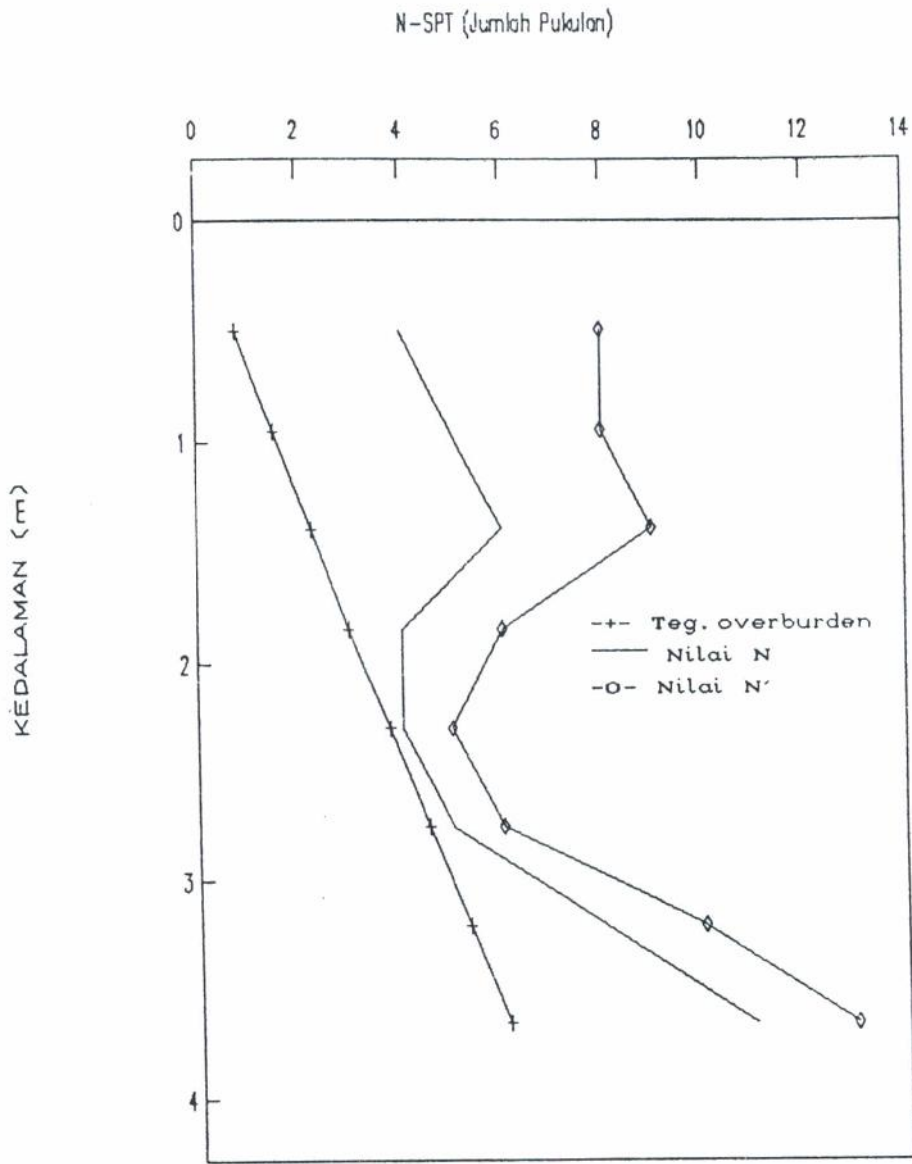
Grafik IV-15.

Nilai Perlawanan Penetrasi akibat pengaruh
 Tegangan Overburden pada tanah pasir
 dengan pemancang standar



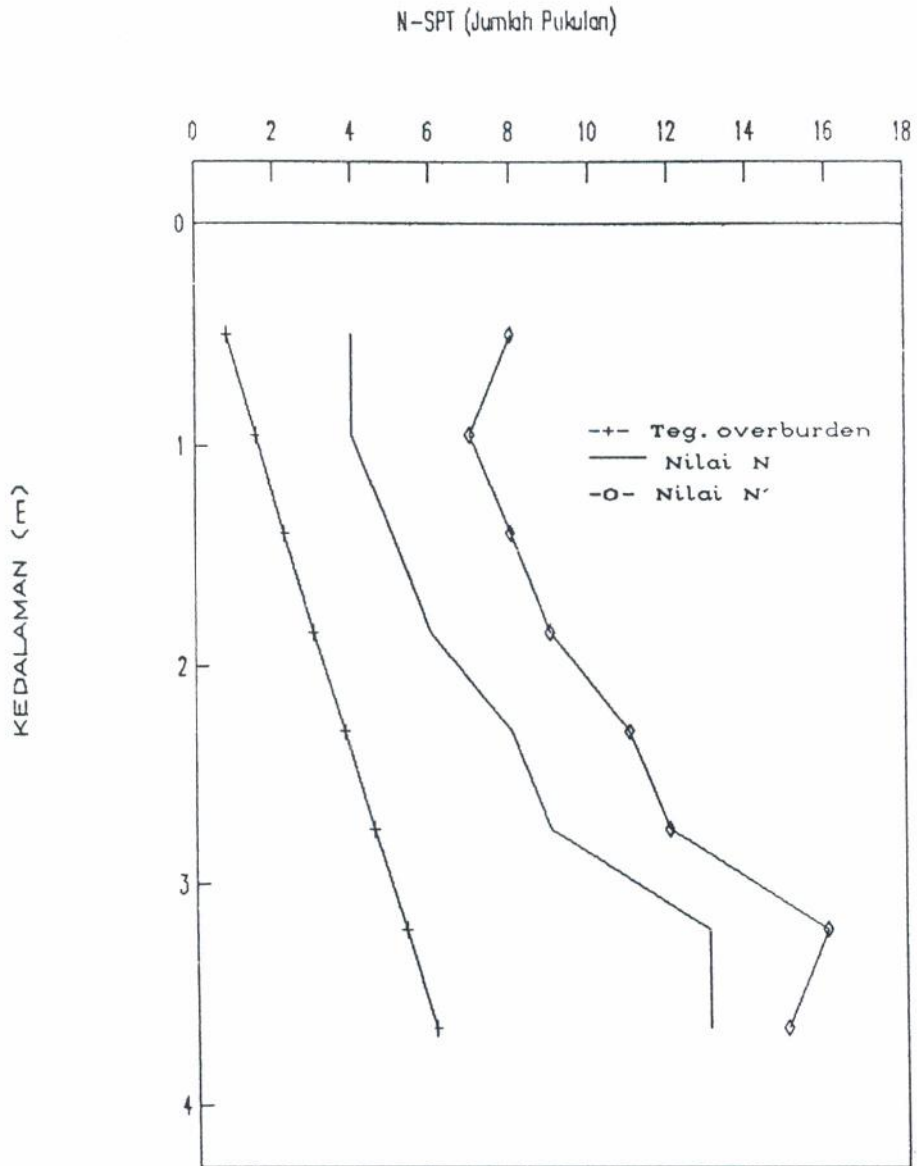
Grafik IV-16.

Nilai Perlawanan Penetrasi akibat pengaruh
Tegangan Overburden pada tanah pasir
dengan pemancang modifikasi



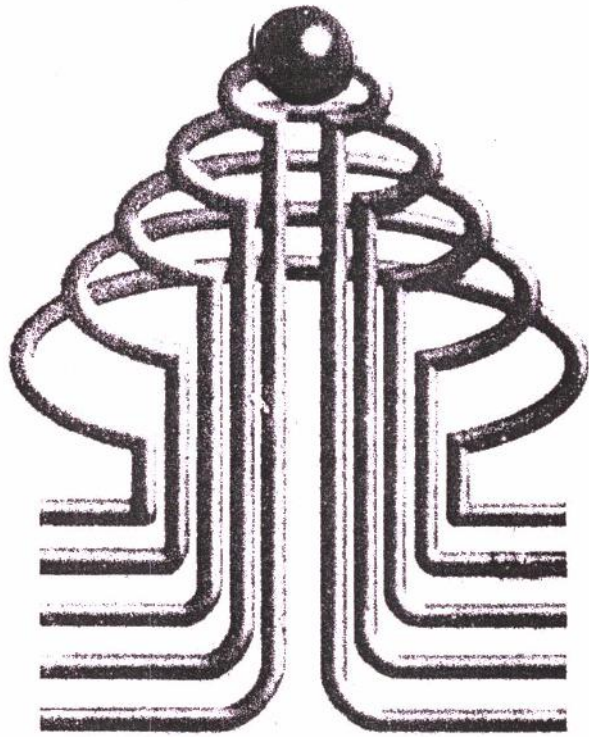
Grafik IV-17.

Nilai Perlawanan Penetrasi akibat pengaruh Tegangan Overburden pada tanah lempung dengan pemancang standar



Grafik IV-18.

Nilai Perlawanan Penetrasi akibat pengaruh
Tegangan Overburden pada tanah lempung
dengan pemancang modifikasi



ISTN

BAB. V.
KESIMPULAN DAN SARAN

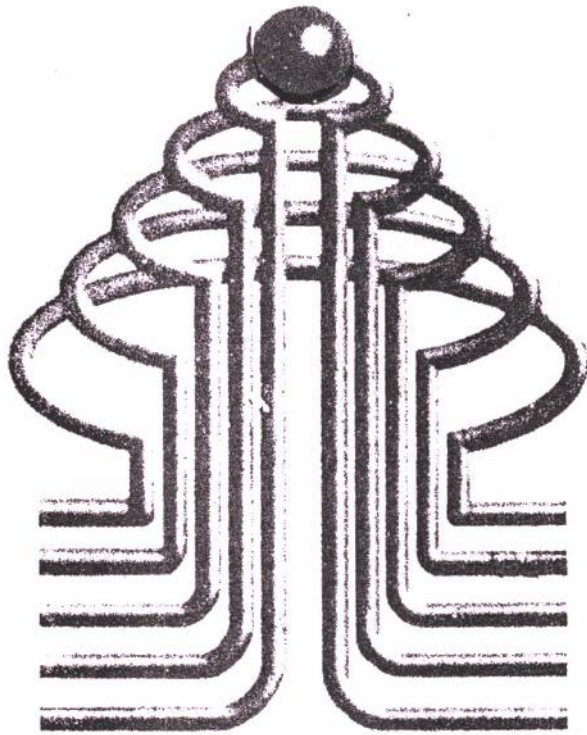
V. 1. Kesimpulan.

1. Klassifikasi tanah penelitian berdasarkan klassifikasi sistim klassifikasi unified termasuk kedalam pasir halus dan tanah lmpung dengan batas cair yang tinggi dan dengan plastisitas yang tinggi.
2. Dengan menggunakan sepatu pancang berbentuk kerucut pejal bersudut 60° pada percobaan penetrasi, dengan peralatan dan dengan beban pemukul yang sama pada percobaan penetrasi standar (SPT), maka jumlah pukulan (nilai perlawanan penetrasi) akan lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan penetrasi menggunakan sepatu pancang yang standar (terbuka) bila percobaan dilakukan pada jenis tanah yang sama.
3. Besarnya pengaruh pada jumlah pukulan (nilai perlawanan penetrasi) bila mempergunakan sepatu pancang yang bentuk kerucut pejal bersudut 60° dibandingkan dengan percobaan penetrasi yang standar (SPT), terutama pada tanah lempung yaitu lebih tinggi 30%, tetapi pengaruhnya pada pasir lebih tinggi 10%.

4. Pengaruh tegangan overburden pada percobaan penetrasi dengan menggunakan sepatu pancang bentuk kerucut pejal dengan sudut 60° , sama dengan yang dialami pada percobaan penetrasi standar (SPT).

IV. 2. Saran.

Berhubung penggunaan sepatu pancang kerucut pejal bersudut 60° mempengaruhi banyaknya jumlah pukulan dalam percobaan penetrasi, dibandingkan dengan percobaan penetrasi standar (SPT). Maka diperlukan suatu perbandingan untuk menyesuaikan jumlah pukulan percobaan penetrasi menggunakan sepatu pancang kerucut pejal bersudut 60° (modifikasi) dengan percobaan penetrasi menggunakan pemancang yang standar (SPT) untuk masing-masing jenis tanah, agar dapat dipakai sebagai percobaan yang standar.



ISTN

DAFTAR PUSTAKA

1. Wesley, L. D, 1977, Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
2. Craig, R. F. Budi Susilo, S, DR. Ir, 1991, Mekanika Tanah, Penerbit Erlangga, Jakarta.
3. Bowles, J, E, 1989, Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Penerbit Erlangga, Jakarta.
4. Bowles, J, E, 1991, Analisis dan Desain Pondasi, Penerbit Erlangga, Jakarta.
5. Terzaghi, K. Peck, R, B, 1987, Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa, Penerbit Erlangga, Jakarta.
6. Sanglerat, G, 1972, The Penetrometer and Soil Exploration, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
7. Diskusi Geoteknik, Geo'90, Prosedur Pengujian Sifat Mekanis Tanah.