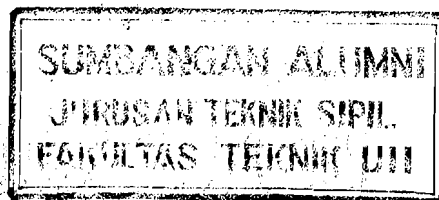


TUGAS AKHIR

STUDI KOMPARASI HASIL PENGUJIAN
DAYA DUKUNG TIANG ANTARA LOADING TEST
DENGAN PILE DRIVING ANALYZER

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas
Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia



Disusun Oleh :

Zaima Mufaniri

No. Mhs : 89 310 086

N I R M : 89 51013114120084

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1995

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohiim

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penyusun panjatkan ke Hadirat Allah SWT, solawat dan salam semoga dilimpahkan kepada Nabi Besar kita Muhammad SAW. Alhamdulillah, pada akhirnya penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Studi Komparasi Hasil Loading Test Dengan Pile Driving Analyzer (PDA) ini.

Penulisan Tugas Akhir ini dilaksanakan sebagai prasyarat untuk memenuhi jenjang Strata Satu pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Akhirnya, dengan keterbatasan waktu dan pemikiran yang ada pada penyusun, adanya hambatan fisik dan psikis, membuat penyusun sangat bersyukur dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tentunya tak lepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Dosen Pembimbing II pada penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Pembimbing I pada penyusunan Tugas Akhir ini.

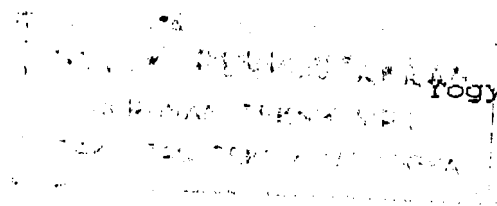
4. Yang Tercinta Kedua Orang Tua dan Adik-Adikku tersayang di rumah yang telah banyak memberikan dukungan dan kasih sayang tanpa batas selama ini.
5. Teman-teman seperjuangan dalam Iman dan Islam yang menemaniku selama hampir 6 tahun di Yogya dan tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu.

Semoga amal baiknya semua mendapat balasan dari Allah SWT., Amin ya Robbal 'Alamin.

Akhir kata, penyusun sepehuh hati menyadari bahwa banyak sekali kekurangan dalam Tugas Akhir ini. Untuk itu koreksi dan saran-saran akan penyusun terima dengan segala kerendahan hati demi penyempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga apa yang ada di didalamnya bermanfaat bagi penyusun dan orang-orang yang membutuhkannya.

Wabillahir taufiq Wal Hidayah

Wassalamualaikum Wr.Wb.



Yogyakarta, Juni 1995

Penyusun

ABSTRAK

Selama ini pengujian daya dukung tiang dengan menggunakan Loading Test telah dipercaya dapat menunjukkan kemampuan daya dukung tiang yang ada. Sejalan dengan kemajuan teknologi komputer, telah dapat ditemukan cara lain untuk menguji daya dukung statis pondasi tiang yaitu dengan merekam dan menganalisis regangan dan percepatan gelombang yang terjadi apabila pondasi tiang ditumbuk dengan energi tumbukan yang cukup. Alat ini dikenal dengan nama File Driving Analyzer (PDA).

Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai prinsip dasar dan cara pelaksanaan dari kedua metode pengujian daya dukung tiang tersebut. Studi kasus diambil dari hasil pengujian pada 5 buah tiang yang mengalami dua pengujian PDA dan Loading Test pada berbagai proyek.

Dari data yang diperoleh diketahui bahwa hasil kedua pengujian tidak jauh berbeda. Waktu yang diperlukan untuk melaksanakan pengujian PDA jauh lebih sedikit, serta biaya pelaksanaan lebih hemat 20-60% bila dibandingkan dengan biaya pelaksanaan Loading Test.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAKSI	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Manfaat	2
1.3. Lingkup Penulisan	2
BAB II PONDASI TIANG	
2.1. Umum	3
2.2. Penggolongan Pondasi Tiang	4
2.2.1. Tiang kayu	4
2.2.2. Tiang beton	5
2.2.3. Tiang baja	5
2.3. Analisis Kuat Dukung Tiang	
2.3.1. Analisis statis	6
2.3.2. Analisis dinamis	14
2.4. Pengujian Kuat Dukung Tiang	15
BAB III LOADING TEST	
3.1. Umum	16
3.2. Cara Kerja Uji Pembebanan Sistem	
Kentledge	17
3.3. Pelaksanaan Pekerjaan	18

BAB IV PILE DRIVING ANALYZER	
4.1. Umum	22
4.2. Analisis	23
4.2.1. Gelombang mekanik satu dimensi ..	24
4.2.2. Aplikasi untuk pondasi tiang	26
4.2.3. Gelombang reaksi akibat tahanan tanah	29
4.2.4. Tahanan total pondasi tiang	
4.2.5. Case Method	32
4.2.6. Metode CAPWAP	33
4.3. Pelaksanaan	35
 BAB V ANALISIS KOMPARASI	
5.1. Umum	42
5.2. Data Hasil Pengujian	42
 BAB VI PEMBAHASAN	
6.1. Umum	56
6.2. Penyajian Hasil Pengujian	56
6.3. Waktu pelaksanaan	59
6.4. Biaya pelaksanaan	59
 BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	
7.1. Kesimpulan.....	60
7.2. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN-LAMPIRAN	63

DAFTAR NOTASI

Q_u	= Daya dukung ultimit tiang
Q_{ub}	= Daya dukung ujung tiang
Q_{su}	= Daya dukung selimut tiang
A_p	= Luas dukungan
C	= Kohesi tanah pendukung
B	= Dasar tiang
N_c'	= Faktor daya dukung
N_q'	= Faktor daya dukung
\bar{q}	= Tegangan vertikal efektif
c_u	= Kohesi dalam keadaan tak terdrainasi
A_s	= Luas selimut tiang
f_s	= Tahanan gesekan
α	= Faktor adhesi
K	= Koefisien tanah lateral
δ	= Sudut gesek antara tanah dan tiang
A_b	= Luas penampang ujung tiang
A_s	= Luas selimut/dinding tiang
N	= Jumlah pukulan SPT
q_c	= Tahanan ujung konus (kg/cm^2)
e_h	= efisiensi palu
S	= banyaknya penetrasi titik pukulan
W_r	= Berat balok besi panjang
W_p	= Berat tiang pancang
n	= Koefisien restitusi
h	= Tinggi jatuhnya balok besi panjang
p	= Nilai konus rata-rata
x	= Jarak tempat pada batang
u	= Peralihan dari batang pada ujung x
ρ	= Kerapatan massa
γ	= Berat jenis tiang
g	= Gravitasi bumi

Rx = Tahanan tanah
RT = Jumlah tahanan tanah yang bekerja pada tiang
RSU = Tahanan statis ultimit
V = Kecepatan
F = Gaya
c = Modulus elastis tiang

DAFTAR GAMBAR

2.1. Faktor-Faktor Kapasitas Dukung Pondasi Dalam	8
2.2. Panjang efektif untuk tahanan konus rata-rata pada ujung tiang	10
3.1. Mekanisme Penyaluran Beban Pada Pondasi Tiang	20
3.2. Dongkrak Hidrolik	21
3.3. Dial Gauges	21
4.1. Perambatan Gelombang Satu Dimensi Pada Batang	24
4.2. Perambatan Gelombang Pada Pondasi Tiang dengan Keadaan Ujung yang Berbeda	27
4.3. Gelombang Reaksi Tahanan Tanah	30
4.4. Hasil Analisis CAPWAP	34
4.5. Strain Transducer dan Accelerometer	37
4.6. Pemasangan Strain Transducer dan Accelerometer pada Tiang Pondasi	38
4.7. Drop Hammer 4,5 ton	39
4.8. Peralatan Uji Analisis Tiang	39
4.9. Pelaksanaan Pengujian Beban Dinamis Menggunakan Drop Hammer	40
4.10. Skema Peralatan PDA di lapangan	41
5.1. Hasil Rekaman PDA GTG2-26	43
5.2. Perbandingan Kurva Beban Perpindahan antara Loading Test dan CAPWAP GTG2-26	44
5.3. Hasil Rekaman PDA GTG2-21	45
5.4. Perbandingan Kurva Beban Perpindahan antara Loading Test dan CAPWAP GTG2-21	46

4.6. Pemasangan Strain Transducer dan Accelerometer pada Tiang Pondasi	38
4.7. Drop Hammer 4,5 ton	39
4.8. Peralatan Uji Analisis Tiang	39
4.9. Pelaksanaan Pengujian Beban Dinamis Menggunakan Drop Hammer	40
4.10. Skema Peralatan PDA di lapangan	41
5.1. Hasil Rekaman PDA GTG2-26	43
5.2. Perbandingan Kurva Beban Perpindahan antara Loading Test dan CAPWAP GTG2-26	44
5.3. Hasil Rekaman PDA GTG2-21	45
5.4. Perbandingan Kurva Beban Perpindahan antara Loading Test dan CAPWAP GTG2-21	46
5.5. Perbandingan Hasil Pengujian PDA + CAPWAP dengan Loading Test TA-NOR	48
5.6. Hasil Pengujian PDA dan Analisis CAPWAP TA-NOR	49
5.7. Hasil Pengujian PDA ROX C4P18	51
5.8. Hasil Loading Test Tiang ROX C4P18	51
5.9. Hasil Final Set	52
5.10. Hasil Loading Test SEN-PTB9	53
5.11. Hasil Pengujian PDA SEN-PTB9	54
6.1. Grafik Pembebanan Terhadap Penurunan	57
6.2. Grafik Kesalahan Pengukuran Beban pada Pengujian Statis	57

DAFTAR TABEL

	hal.
2.1. Koefisien tanah menurut L. Decourt	12
2.2. Hubungan antara nilai tekanan ujung dengan nilai N dari SPT	13
4.1. Perjanjian Tanda	26
4.2. Nilai redaman J32	
5.1. Perbandingan PDA dengan Loading Test	54
6.1. Hasil pengujian PDA	58

DAFTAR LAMPIRAN

1. Surat Bimbingan Tugas Akhir
2. Surat Pengantar ke PLN
3. Hasil Loading Test Pile GTG-2 No.21

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pondasi merupakan suatu bagian dari konstruksi bangunan yang bertugas mendukung dan meneruskan beban ke tanah dasar. Pondasi tiang merupakan salah satu pilihan yang umum digunakan untuk mendukung konstruksi bangunan tinggi. Untuk dapat mengetahui kemampuan dukung suatu pondasi tersebut stabil dan aman, maka perlu diadakan pengujian daya dukung tiang pondasi.

Selama ini pengujian daya dukung tiang dengan menggunakan metode Loading Test telah dipercaya dapat menunjukkan kemampuan daya dukung tiang yang ada. Sejalan dengan tingkat perkembangan teknologi, telah berhasil ditetapkan hubungan dasar antara karakteristik gelombang satu dimensi yang menjalar di tiang selama pemancangan dengan daya dukung statis dari pondasi tersebut. Dengan kemajuan di bidang geoteknik dapat dikembangkan pula pengujian daya dukung tiang dengan menggunakan Pile Driving Analyzer (PDA). Konsep PDA adalah mengukur regangan dan percepatan ketika pondasi mengalami tumbukan. Hasil pengukuran tersebut dapat untuk memperkirakan daya dukung tiang.

1.2. Tujuan dan Manfaat

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah membandingkan efektifitas pengukuran Loading Test dengan Pile Driving Analyzer. Adapun manfaatnya adalah untuk mengetahui lebih jauh tentang pengujian daya dukung tiang dengan menggunakan Pile Driving Analyzer dilihat dari segi ketepatan hasil, waktu dan biaya yang dibutuhkan bila dibandingkan dengan metode Loading Test.

1.3. Lingkup Penulisan

Ruang lingkup dari tugas akhir meliputi pengetahuan tentang pondasi tiang, uraian dan pengujian dari daya dukung tiang dengan Loading Test dan Pile Driving Analyzer, serta komparasi hasilnya.

Lokasi tiang yang diuji dari berbagai proyek di Jakarta sebanyak 5 buah tiang dengan syarat tiang yang dipakai menjalani pengujian dengan PDA dan Loading Test.

BAB II

PONDASI TIANG

2.1. Umum

Suatu bangunan harus mempunyai pondasi yang terencana dengan baik karena kerusakan atau ketidaksempurnaan konstruksi dapat menimbulkan keruntuhan suatu bangunan. Didalam merencanakan suatu pondasi terlebih dahulu harus meneliti tanah dasar. Selanjutnya untuk mengetahui sifat-sifat dari tanah dasar itu perlu diadakan penyelidikan tanah di lapangan dan laboratorium, misalnya mengenai jenis tanah, tebal lapisan, letak atau kedalamannya dan juga sifat-sifat penting lainnya.

Dari hasil penyelidikan tanah tersebut dapat diketahui kedalaman suatu pondasi untuk suatu konstruksi bangunan. Dasar pondasi harus diletakkan pada suatu lapisan tanah keras dengan tebal yang memenuhi syarat. Dari kedalaman tanah keras inilah dapat dibedakan beberapa macam pondasi, yaitu: pondasi dangkal ($d_f \leq B$) dan pondasi dalam ($d_f \geq B$).

Pengertian dari pondasi dangkal adalah bila kedalaman dari muka tanah (D_f) lebih kecil atau sama dengan lebar terkecil dari plat pondasinya (B). Contoh dari pondasi dangkal adalah pondasi telapak. Sebagaimana pondasi dangkal maka pondasi dalam dapat didefinisikan sebagai pondasi yang kedalamannya lebih besar dari lebar terkecil plat pondasinya. Contoh untuk pondasi dalam adalah pondasi tiang.

Pada bangunan tinggi umumnya digunakan pondasi tiang

dengan fungsi memikul seluruh beban dan disalurkan pada tanah pendukung yang letaknya relatif dalam. Keuntungan dari pondasi tiang antara lain :

1. Untuk meneruskan beban-beban konstruksi di atas tanah ke dalam lapisan tanah.
2. Untuk menahan gaya desakan ke atas atau gaya guling.
3. Sebagai faktor keamanan tambahan di bawah tumpuan jembatan khususnya jika terdapat masalah erosi.
4. Dengan adanya pondasi tiang yang berjumlah banyak, maka akan terjadi pemadatan tanah disekitarnya sehingga menambah daya dukung tanah

2.2. Penggolongan Pondasi Tiang

Pondasi tiang digolongkan berdasarkan kualitas material dan cara pelaksanaannya. Dari jenis bahannya maka terdapat tiga jenis tiang yaitu: tiang kayu, tiang beton dan tiang baja. Penggunaan jenis tiang yang dipakai didasarkan atas tiga pertimbangan, yaitu:

1. Lokasi dan tipe bangunan,
2. Keadaan tanah,
3. Ketahanan tiang,

Keterangan mengenai jenis tiang berdasarkan kualitas materialnya adalah sebagai berikut ini.

2.2.1. Tiang kayu

Tiang kayu biasanya digunakan untuk bangunan atas yang relatif ringan, misalnya dengan beban rencana 25 ton pertiang. Sifat dari tiang kayu adalah ketika berada di bawah bidang batas air jenuh permanen akan tahan dipakai

terus menerus. Untuk kondisi di atas muka air tanah maka perlu diperhatikan adanya pembusukan kayu. Pada saat dipancang kayu merupakan bahan peredam yang cukup baik.

2.2.2. Tiang beton

Tiang beton dapat dibagi dalam 2 golongan yaitu:

a. Tiang beton pracetak ("precast concrete pile)

Tiang jenis ini dibentuk di tempat pencoran sentral kemudian dibawa ke tempat konstruksi atau bila lokasi memungkinkan maka dapat dibuat langsung di tempat pekerjaan. Tiang beton pracetak dimasukkan dengan cara memancangkannya ke dalam tanah sehingga menimbulkan getaran yang cukup kuat. Keuntungannya adalah dapat menahan beban cukup besar dan bersifat permanen.

b. Tiang beton cor di tempat ("cast-in place piles")

Tiang beton ini dicor langsung di tempat dengan terlebih dahulu membuat lubang di dalam tanah, diisi dengan tulangan kemudian dicor beton. Untuk menghindari keruntuhan tanah pada lubang bor biasa dipakai "casing". Pengecoran harus dilaksanakan dengan seksama guna menghindari pengisian beton yang tidak merata dan berakibat mempengaruhi kapasitas daya dukung tiang.

2.2.3. Tiang baja

Tiang baja akan bersifat awet pada tanah biasa dan akan mengalami korosi bila terdapat air laut. Kemampuan tiang baja dalam mendukung beban relatif besar. Bentuk dari tiang baja yang biasa dipakai adalah profil "H" dan bentuk pipa.

2.3. Analisis Daya Dukung Tiang

Analisis daya dukung tiang dibedakan atas dua hal:

1. Analisis statis
2. Analisis dinamis

2.3.1. Analisis Statis

Maksud dari analisis statis adalah penggunaan Bearing Capacity Formula dengan menggunakan strength parameter yang diperoleh dari uji laboratorium.

Persamaan daya dukung tunggal dengan analisis statis diberikan sebagai berikut:

$$Q_{up} = Q_{ub} + Q_{us} \quad (2-1)$$

dengan:

Q_{up} = daya dukung ultimate tiang

Q_{ub} = daya dukung ujung tiang

Q_{us} = daya dukung selimut/dinding tiang

Pada analisis statis besarnya P_u dapat ditentukan dengan menggunakan rumus empiris berdasarkan data uji langsung.

a. Uji Laboratorium

Dari beberapa sampel yang diuji di laboratorium didapat beberapa strength parameter. Dari hasil tersebut dengan rumus empiris dapat ditentukan nilai Q_u . Daya dukung tanah untuk tiang :

$$q_u = c N_c' + q N_q' + \gamma B N_\gamma'$$

Sehingga :

$$Q_u = A_p q_u = A_p (c N_c' + q N_q' + \gamma B N_\gamma') \quad (2-2a)$$

dengan:

A_p = Luas dukungan

C = Kohesi tanah pendukung

B = Dasar tiang

N_c' , N_q' = Faktor daya dukung

q = Tegangan vertikal efektif

Karena B relatif kecil dan dapat diabaikan, maka:

$$Q_u = A_p (cN_c' + qN_q')$$

Untuk tiang pada tanah lempung jenuh, kondisi tidak terdrainasi sehingga $\phi = 0$, maka:

$$Q_u = N_c' c_u A_p$$

sedangkan untuk $\phi = 0$, $N_c' = 9$, maka:

$$Q_u = 9 c_u A_p$$

c_u = kohesi dalam keadaan tak terdrainasi.

Nilai Q_s (ΣQ_s)

Adanya gesekan antara tiang pondasi dengan tanah sekelilingnya akan menambah besarnya daya dukung tiang dalam menahan beban. Karena tiang pondasi relatif panjang sedangkan kondisi parameter tanah akan berubah pada kedalaman tertentu, maka tahanan gesekan keseluruhannya adalah merupakan penjumlahan dari gesekan tiap satuan kedalaman sehingga dapat ditulis:

$$Q_s = \Sigma A_s f_s \quad (2-2b)$$

dengan:

A_s = Luas selimut tiang dalam satuan panjang tertentu, besarnya sama dengan keliling tiang dikalikan dengan panjang yang ditinjau.

f_s = Tahanan gesekan.

Besarnya f_s dapat dicari dengan berbagai cara, dalam hal ini akan dipakai metode α yang diusulkan oleh Tomlinson sebagai berikut:

$$f_s = \alpha c + \bar{q} K \tan \delta \quad (2-3)$$

dengan:

α = Koefisien dari gambar 2.1

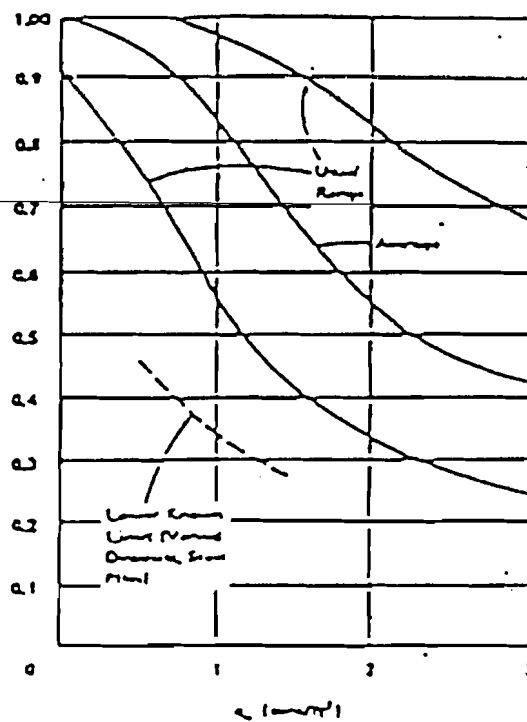
c = Kohesi rata-rata

\bar{q} = Tegangan vertikal efektif

K = Koefisien tanah lateral

δ = Sudut gesekan efektif antara tanah dan bahan tiang

Dari rumus daya dukung selimut tiang (Q_s) dapat dilihat bahwa kemampuan daya dukung selimut tiang tergantung pada besarnya parameter yang diperoleh dan luas selimut tiang yang efektif.



Gambar 2.1. Hubungan faktor adhesi dengan q_u

b. Menggunakan Hasil Pengujian "Cone Penetration Test" (CPT)

Pengujian dengan CPT disebut juga dengan pengujian sondir. Tujuannya untuk mengetahui perubahan-perubahan lapisan tanah terutama kekerasan dan kepadatannya. Penentuan daya dukung tiang berdasarkan grafik pengujian sondir dengan beberapa metode adalah sebagai berikut:

1. Rumus Wesley

Daya dukung ultimit tiang adalah:

$$\begin{aligned} Q &= Q_p + Q_s && (2-4) \\ &= p \cdot A + f \cdot O \end{aligned}$$

dengan:

Q_p = Daya dukung ultimit ujung tiang

Q_s = Daya dukung ultimit tiang karena gesekan atau lekatan

p = Nilai konus rata-rata

A = Luas tampang tiang

f = Jumlah total hambatan pelekatan pada ujung pondasi

O = Keliling tiang

Daya dukung tiang ijin (\bar{Q})

$$\bar{Q} = \frac{p \cdot A}{SF_1} + \frac{f \cdot O}{SF_2} \quad (2-5)$$

Dengan:

Untuk pasir murni $SF_1 = 3$

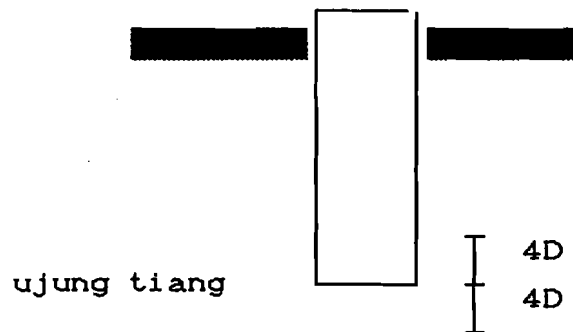
$SF_2 = 5$

Untuk lempung $SF_1 = 5$

$SF_2 = 10$

Untuk tahanan konus rata-rata (p) pada ujung tiang diambil

sebesar $4D$ di atas ujung tiang dan $4D$ dibawah ujung tiang (gambar 2.2).



Gambar 2.2 Panjang efektif untuk tahanan konus rata-rata (q_c) pada ujung tiang

2. Metode Tomlinson modifikasi NV. Nayak

Metode Tomlinson yang dimodifikasi NV. Nayak menghitung kapasitas daya dukung tiang dari data CPT berdasarkan data tahanan konus (Q_c), dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{up} = C_{kd} A_p + \frac{C_{dk}}{200} A_s \quad (2-6)$$

$$Q_{op} = \frac{Q_{up}}{3} \quad (2-7)$$

dengan:

Q_{up} = Kapasitas daya dukung ultimit

Q_{op} = Kapasitas daya dukung ijin

Q_c = Tahanan konus ujung rata-rata

A_p = Luas penampang ujung pondasi

C_{dk} = Tahanan konus rata-rata sepanjang tiang

A_s = Luas selimut tiang

Tahanan konus ujung rata-rata diambil $3D$ di atas ujung tiang pondasi dan $1D$ di bawah ujung tiang pondasi.

c. Menggunakan Hasil Pengujian "Standard Penetration Test"

Pengujian dengan SPT menghasilkan grafik yang menjelaskan hubungan antara jumlah tumbukan selama pengujian dan jenis tanah dengan kedalamannya. Pada grafik juga diketahui jenis tanah di kedalaman tertentu. Untuk menghitung daya dukung berdasarkan data pengujian SPT digunakan rumus sebagai berikut:

1. Metode langsung (NV Nayak, 1982)

$$Q_{up} = 40 N A_p + \frac{\bar{N} A_s}{5} \quad (2-8)$$

$$Q_{op} = \frac{Q_{up}}{4} \quad (2-9)$$

dengan:

Q_{up} = daya dukung ultimit tiang

N = nilai N (SPT) rata-rata pada ujung tiang sampai 2D di bawah ujung tiang

\bar{N} = Nilai N (SPT) rata-rata sepanjang tiang

A_p = Luas potongan melintang ujung tiang

A_s = Luas selimut sepanjang tiang

Q_{op} = Daya dukung ijin tiang

2. Menurut L. Decourt, daya dukung ultimit tiang dapat dihitung sebagai berikut:

Daya dukung ujung, Q_p

Untuk memperkirakan daya dukung ujung diambil rata-rata 3 nilai N di atas ujung tiang pondasi.

$$\bar{N}_p = \frac{\sum N}{3}$$

Daya dukung ultimit ujung dinyatakan dengan:

$$Q_p = \bar{N}_p K A_p \quad (2-10)$$

Dengan:

\bar{N}_p = Rata-rata nilai N

K = Koefisien tanah

Tabel 2.1. Koefisien tanah menurut L. Decourt

Jenis tanah	K (kpa)	K (t/m ²)
Tanah lempung	118	12
Lanau berlempung	196	20
Lanau berpasir	245	25
Pasir	392	40

Kapasitas gesekan tiang

Untuk mencari kapasitas gesekan tiang perlu mempertimbangkan rata-rata nilai N sepanjang tiang. Besar gesekan sepanjang tiang (f_s) adalah sebagai berikut:

$$f_s = \bar{N}/3 + 1$$

dengan:

\bar{N} = Rata-rata jumlah pukulan sepanjang tiang, N/n

n = Jumlah titik yang ditinjau

Daya dukung akibat gesekan

$$Q_s = f_s \cdot p \cdot l \quad (2-11)$$

dengan:

Q_s = gesekan sepanjang tiang

p = keliling tiang

l = kedalaman

Daya dukung ijin

$$Q_{ap} = \frac{Q_p + Q_s}{3} \quad (2-12)$$

Menurut Terzaghi dan Peck, untuk lanau dan pasir jenuh dengan nilai N lebih besar dari 15 maka nilai N harus dikoreksi menjadi:

$$N = 15 + \frac{1}{2} (N' - 15)$$

dengan:

N = Nilai N yang terkoreksi

N' = Nilai N lapangan

d. Korelasi Standard Penetration Test dan Cone Penetration Test

Hubungan antara nilai tekanan ujung dari CPT (q_c) dan nilai N dari SPT oleh Scherman diuraikan sebagai berikut:

$$q_c = n \cdot N \quad (2-13)$$

$$\text{atau } n = \frac{q_c}{N}$$

Hubungan antara q_c dan N dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hubungan antara nilai tekanan ujung (q_c dalam kPa) dengan nilai N dari SPT

jenis tanah	$n = q_c/N$
Lumpur, pasir berlanau, campuran pasir lanau	200
Pasir halus sampai sedang, pasir dengan sedikit lanau	300-400
Pasir kasar dan pasir berkerikil	500-600
Kerikil berpasir dan kerikil	800-1000

2.3.2. Analisis Dinamis

Analisis dinamis dilaksanakan pada tiang pancang yang dimasukkan ke dalam tanah dengan menggunakan palu. Secara umum dipakai rumus Engineering News Record yaitu:

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{s + 0,1} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (2-14)$$

Dengan:

- Q_u = Kapasitas tiang pancang ultimit
- e_h = Efisiensi palu
- s = Banyaknya penetrasi titik pukulan
- W_r = Berat balok besi panjang
- W_p = Berat tiang pancang (sungkup, blok sungkup, sepatu).
- n = Koefisien restitusi (Tabel 17-3 Bowles)
- h = Tinggi jatuhnya balok besi panjang

Khusus untuk pondasi tiang Franki memakai rumus Nordlund. Perhitungan berdasarkan jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk menumbuk beton dalam pembentukan "Base".

$$Q = \frac{W H B V^{2/3}}{K}$$

dengan:

- W = Berat drop hammer/penumbuk
- H = Tinggi jatuh drop hammer
- B = Jumlah pukulan perunit volume
- V = Volume Bulk
- K = Konstanta

2.4. Pengujian Daya Dukung Tiang

Ketika tiang sudah tertanam pada lapisan tanah pendukung, cenderung tidak diketahui secara pasti kualitas tiang tersebut. Ketidaksempurnaan atau kerusakan tiang dapat menimbulkan kegagalan atau pun keruntuhan bangunan yang dapat membahayakan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode untuk mengetahui ketuhan dan kekuatan pondasi tiang sebelum digunakan tanpa merusakkan pondasi tiang tersebut. Maka diadakan pengujian daya dukung tiang dan dalam hal ini akan dibahas 2 pengujian yaitu:

1. Loading test.
2. Pile Driving Analyzer (PDA).

BAB III

LOADING TEST

3.1. Umum

Loading Test dikenal sebagai uji pembebanan secara statis yang berfungsi memperkirakan kapasitas dukung sebuah pondasi tiang. Kapasitas dukung tersebut ditetapkan berdasarkan penurunan maksimum yang terjadi dari setiap uji pembebanan sesuai kriteria perencanaan.

Pelaksanaan pengujian daya dukung tiang dengan Loading Test cukup mudah yaitu dengan seri pembebanan secara langsung dari pembebanan terkecil sampai sebesar 200% atau lebih dari beban kerja yang direncanakan. Mekanisme penyaluran beban pada pondasi tiang terdiri dari dua cara, yaitu: Kentledge System dan Reaction System seperti terlihat pada gambar 3.1. Perbedaan kedua sistem tersebut terletak pada cara penyaluran beban, yakni: untuk sistem Kentledge beban merupakan tumpukan blok-blok beton yang diteruskan pada gelagar melintang terlebih dahulu sebelum membebani alat pendorong beban. Adapun untuk sistem reaksi dengan cara menggunakan suatu balok yang tegar merentang pada tiang pancang uji kemudian dengan kokoh diikat ke tiang-tiang reaksi.

Penyaluran pembebanan diatur secara bertahap dengan memakai pompa hidrolik sampai pada batas yang direncanakan. Dengan dikerjakannya pompa hidrolik, maka beban bekerja pada

tiang sehingga tiang akan mengalami penurunan. Apabila penurunan yang terjadi pada tiang telah mencapai penurunan maksimal maka daya dukung tiang dianggap maksimal.

Pada saat ini Loading Test yang dilaksanakan biasanya menggunakan sistem Kentledge, sehingga di bawah ini hanya diuraikan uji pembebanan dengan sistem Kentledge.

3.2. Cara Kerja Uji Pembebanan Sistem Kentledge

Uji pembebanan pada sistem Kentledge menggunakan beban dari blok-blok beton berukuran 1,0 X 1,0 X 1,5 m dengan berat 3,5 ton yang disusun menjadi satu kesatuan Kentledge. Susunan ini ditopang oleh balok baja melintang yang masing-masing menahan blok beton dengan susunan paralel dan tegak lurus arah balok.

Sebuah balok profil baja utama sebagai Test Beam (balok utama) diletakkan di atas tiang pengujian dan di bawah balok melintang. Balok utama ini dipakai untuk menyalurkan beban dari balok-balok melintang kepada dongkrak hidrolik yang diletakkan di atas pelat baja.

Beban yang dikehendaki pada setiap pengujian diperoleh dengan jalan memompa jack hidrolik sampai nilai tekan yang ditetapkan dan dibaca.

Penurunan tiang diukur atau dibaca dari pembacaan 4 buah arloji ukur yang dipasang pada tiang. Kesamaan ketinggian arloji selalu dikontrol selama pengujian.

Peralatan yang dipakai pada uji pembebanan adalah :

1. Balok utama; yaitu balok yang berhubungan langsung dengan dongkrak.

2. Jack hidrolik; dengan kapasitas 500 ton.
3. Manometer; dengan pembacaan sampai 10.000 psi.
4. Pompa oli; memberikan tekanan oli ke dalam dongkrak.
5. Arloji ukur; untuk melihat penurunan tiang.

Sebelum uji pembebanan dilaksanakan perlu persiapan pekerjaan yang meliputi:

a. Permukaan kepala tiang percobaan dibuat rata dan mendatar.

b. Dipasang pelat landasan jack dengan tebal ± 30 mm di atas kepala tiang.

c. Pada pelat landasan tersebut dipasang profil baja sebagai tempat kedudukan arloji ukur.

d. Setelah itu dipasang beban utama, beban referensi, balok-balok penyangga, arloji ukur, dongkrak dan pompa oli.

e. Pemasangan instalasi listrik untuk penerangan pada malam hari.

3.3. Pelaksanaan pekerjaan

Pembebanan pada tiang uji dilakukan secara bertahap dengan beberapa siklus. Siklus dan persentase pembebanan diatur sebagai berikut ini :

1. Siklus I = 0%-25%-50%-25%-0% dari beban rencana.
2. Siklus II = 0%-50%-75%-100%-75%-50%-25%-0% dari beban rencana.
3. Siklus III = 0%-50%-100%-125%-150%-125%-100%-50%-0% dari beban rencana.

4. Siklus IV = 0%-50%-100%-150%-175%-200%-175%-150%-100%
50%-0% dari beban rencana.

Pembacaan penurunan pada setiap beban dilakukan sebagai berikut :

1. Pada setiap beban dikerjakan pembacaan arloji ukur pada saat awal dan akhir penurunan dengan interval waktu 10 menit untuk 1 jam pertama, dan selanjutnya setiap 20 menit.

2. Pengecualian terjadi pada beban 200% dari beban rencana pada siklus IV dan pembacaan penurunan dilakukan sebagai berikut ini.

- a. 0 sampai 1 jam - interval waktu 10 menit
- b. 1 sampai 2 jam - interval waktu 1 jam
- c. 10 sampai 12 jam - interval waktu 2 jam
- d. 12 jam - interval waktu 4 jam

3. Pada rebound terakhir (beban 0 ton), pembacaan penurunan dilakukan setiap 10 menit sampai 1 jam pertama, selanjutnya setiap jam sampai 11 jam atau nilai penurunannya $< 0,25 \text{ mm/jam}$.

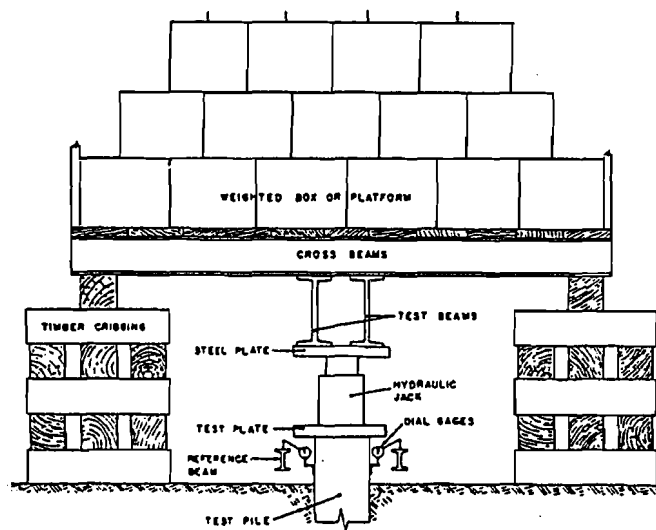
4. Hasil-hasil percobaan pembebanan dibuat dalam bentuk hasil pencatatan pembacaan penurunan serta grafik hubungan antara beban dan penurunan, beban dan waktu, juga penurunan dan waktu.

Kegagalan percobaan pembebanan pondasi tiang ditentukan sebagai berikut :

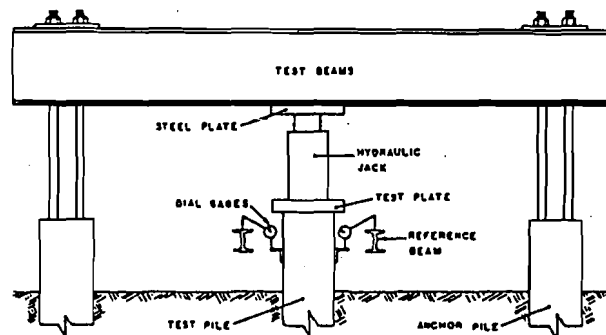
1. Pembebanan tidak dapat dilanjutkan akibat ketidakstabilan dari metode pembebanan, terjadi kebocoran pada hidrolik jack.

2. Penurunan maksimum yang terjadi selama tes beban lebih besar dari penurunan maksimum yang diijinkan.

3. Terjadinya retak-retak "rambut", terjadi perubahan dari bentuk semula, dan penyimpangan sumbu dari posisi semula.



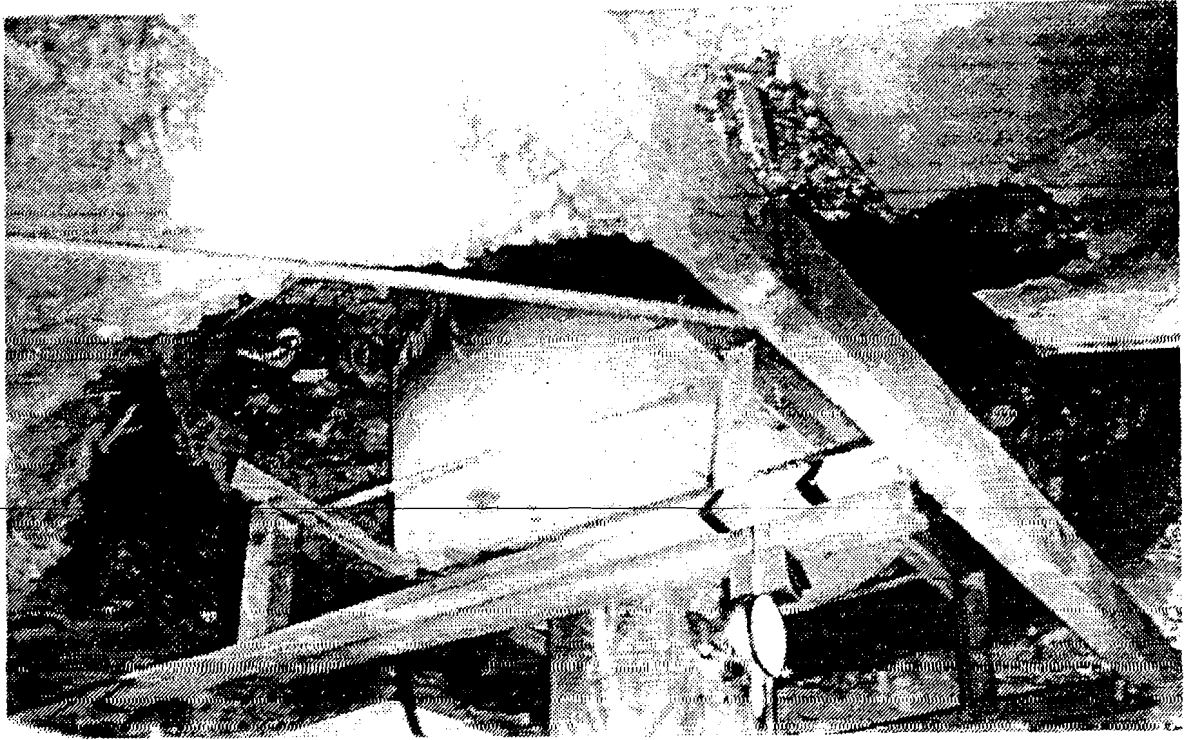
a. Kentledge system



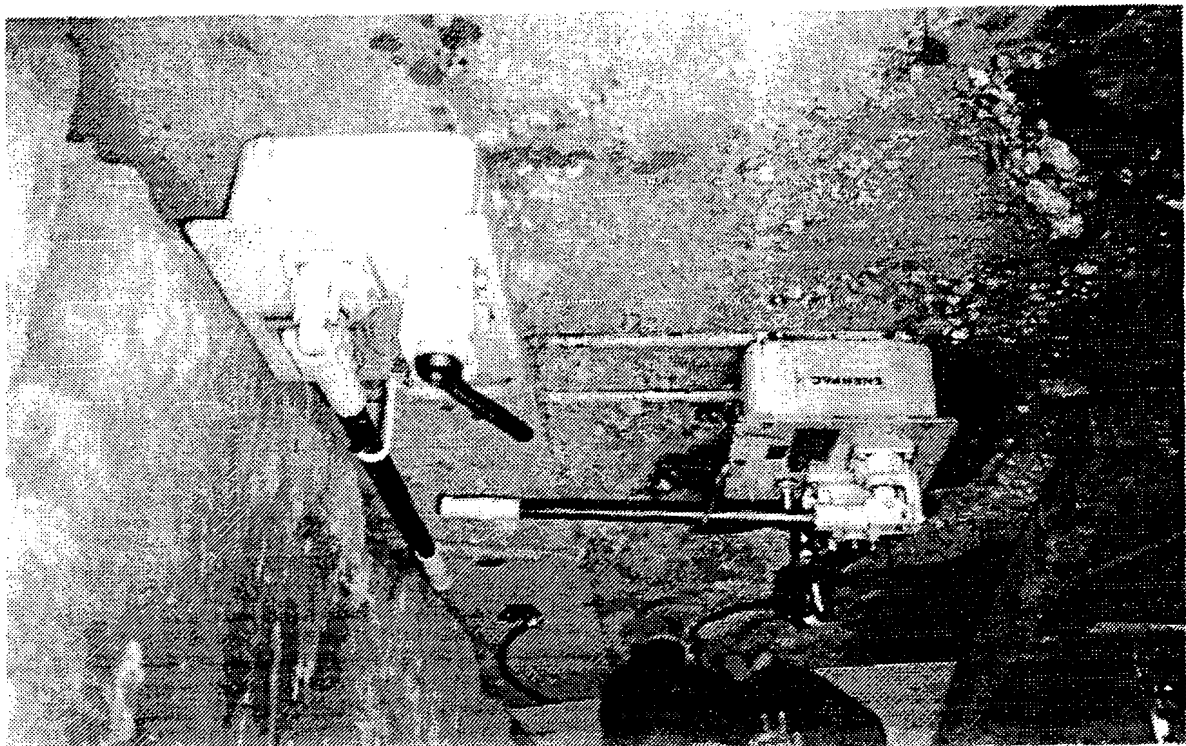
b. Reaction system

Gambar 3.1. Mekanisme penyaluran beban pada pondasi tiang

Gambar 3.1. Plat Ganges



Gambar 3.2. Dongkrak Hidroliks



BAB IV

PILE DRIVING ANALYZER

4.1. Umum

Penggunaan uji dinamik pondasi tiang pancang dikembangkan pada sebuah proyek penelitian di Case Institute of Technology oleh Goble (1964.). Cara penelitiannya dengan merekam dan menganalisis gelombang tumbukan yang terjadi pada waktu tiang dipancang. Akhir tahun 1960 penelitian tersebut berhasil menetapkan hubungan dasar antara karakteristik gelombang satu dimensi yang menjalar di tiang selama pemancangan dengan daya dukung statis pondasi tiang tersebut. Hal ini merupakan titik awal penggunaan cara dinamis untuk menguji daya dukung statis pondasi tiang.

Pada saat ini pengujian secara dinamis dengan alat perekam untuk menganalisis gelombang akibat tumbukan palu pancang dikenal dengan nama Pile Driving Analyzer (PDA).

Tata cara pengujian dinamis telah diatur dalam American Society for Testing Method (ASTM D4945-89 Standard Test Method for High-Strain Dynamics Testing of Pile).

Ketika tiang di tumbuk, PDA mengukur regangan dan percepatan yang dengan menggunakan alat 'strain transducer' dan 'accelerometer' yang dipasang pada bagian atas tiang seperti terlihat pada gambar 4.4. Hasil pengukuran ini

dipergunakan untuk memperkirakan daya dukung tiang dengan menggunakan Case Method, yaitu suatu metoda yang dikembangkan berdasarkan teori gelombang satu dimensi. Parameter-parameter tiang yang dapat diinformasikan oleh PDA adalah sebagai berikut :

1. Menghitung dan menampilkan kapasitas tiang dengan menggunakan Case Method.

2. Menghitung dan menampilkan energi pemancangan yang terjadi pada kepala tiang.

3. Menghitung gaya maksimum pada lokasi pengukuran (tempat 'transducer' dipasang).

4. Menerima dan menampilkan kecepatan maksimum pada lokasi pengukuran (tempat 'accelerometer").

5. Menskala rekaman pengukuran dan rekaman yang terjadi untuk disimpan pada sebuah tape recorder.

6. Menampilkan pengukuran rekaman gaya dan kecepatan dalam bentuk yang dapat dengan mudah diamati dan dievaluasi oleh operator PDA.

7. Menampilkan pengukuran rekaman gaya dan kecepatan pada sebuah plotter untuk diuji dan dievaluasi di lapangan.

4.2. Analisis

Pada saat sebuah tiang mengalami gaya aksial tiba-tiba, maka akan timbul sebuah gelombang yang merambat pada tiang tersebut. Perambatan gelombang yang diperoleh dapat diselesaikan menggunakan sebuah persamaan diferensial yang

dapat ditulis dalam bentuk:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (4-1)$$

dengan:

x = sebuah jarak tempat pada batang (m)

u = peralihan dari batang pada ujung x (m)

ρ = kerapatan massa (kg/m^3)

= γ/g

γ = berat jenis tiang (N/m^3)

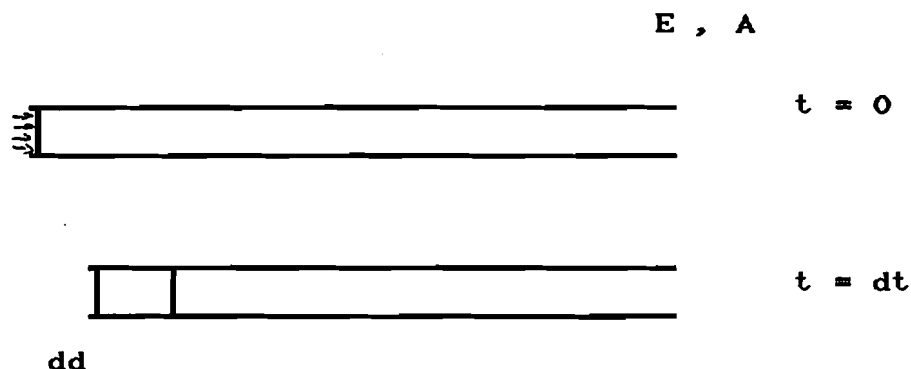
g = gravitasi bumi (m/t^2)

E = modulus elastisitas tiang (kg/cm^2)

Persamaan diatas dikenal dengan nama persamaan gelombang mekanik satu dimensi.

4.2.1. Gelombang mekanik satu dimensi

Apabila sebuah batang dengan luas penampang A dan panjang L , ditumbuk salah satu ujungnya dengan gaya sebesar P seperti tampak pada gambar 4.1., maka gelombang tumbukan akan merambat sepanjang batang tersebut.



Gambar 4.1. Perambatan Gelombang Satu Dimensi pada Batang

Setelah waktu dt , gelombang telah merambat sejauh dL , dengan kecepatan C , maka:

$$C = \frac{dL}{dt} \quad (4-2)$$

Selama waktu dt , tongkat akan mengalami perpendekan sebesar dd , maka regangan yang dialami batang:

$$\epsilon = \frac{dd}{dL} \quad (4-3)$$

Titik A di ujung batang mengalami perpindahan sejauh dd dalam waktu dt , sehingga kecepatan perpindahan titik A atau lebih dikenal dengan kecepatan partikel adalah:

$$v = \frac{dd}{dt} \quad (4-4)$$

Apabila ketiga persamaan di atas digabungkan, akan diperoleh:

$$v = \epsilon \cdot C \quad \text{atau} \quad \epsilon = \frac{v}{C} \quad (4-5)$$

Dengan menggunakan hukum Hooke akan diperoleh hubungan antara gaya bekerja pada batang dengan besaran-besaran yang telah dihitung di atas dalam bentuk:

$$\epsilon = \frac{P}{E \cdot A}$$

$$P = \frac{EA}{C} v \quad (4-6)$$

Karena E , A , dan C adalah konstanta maka dapat kita lambangkan dengan $Z = \frac{EA}{C}$, maka:

$$P = Z \cdot v \quad (4-7)$$

Persamaan (4-7) disebut Proportional Condition. Besaran Z disebut "impedance" atau "dynamic stiffness".

Dapat disimpulkan bahwa akibat gelombang satu dimensi yang merambat pada satu arah yang sama, besarnya gaya yang bekerja berbanding lurus dengan kecepatan partikel. Kondisi tongkat adalah linier, elastis dan berpenampang seragam.

4.2.2. Aplikasi untuk pondasi tiang

Gelombang yang terjadi pada pondasi tiang sewaktu dipancang baik pada tiang pancang atau ditumbuk pada tiang bor dapat dianggap sebagai gelombang satu dimensi. Gelombang yang ditimbulkan oleh tumbukan palu merambat ke bawah. Perambatan gelombang ini akan menimbulkan reaksi dari elemen tanah di sekitar tiang, sehingga menimbulkan gelombang balik dengan arah rambatannya ke atas.

Ketika gelombang yang pertama tiba di ujung bawah tiang, gelombang tersebut akan dipantulkan kembali dengan arah perambatan ke atas. Gelombang pantulan ini juga akan menimbulkan reaksi tanah yang memberikan gelombang ke bawah.

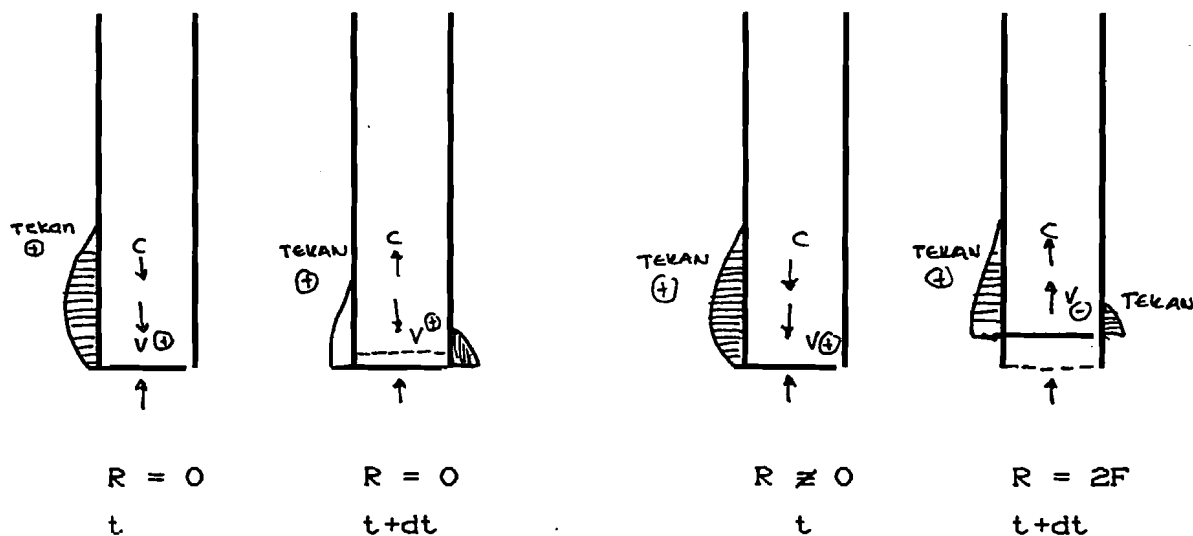
Akibat dari gaya tumbukan dalam tiang terjadi beberapa gelombang dan dikelompokkan menjadi gelombang ke atas dan bawah. Perambatan gelombang tersebut dapat menyebabkan terjadinya gaya tekan maupun gaya tarik, dan kecepatan partikel v arahnya ke atas atau ke bawah.

Perjanjian tanda yang telah disepakati adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1. Perjanjian Tanda

Tanda	Gaya (F)	Kec. partikel V
Positif	Tekan	Ke bawah
Negatif	Tarik	Ke atas

Pada gambar 4.2. diperlihatkan gelombang tumbukan yang merambat pada dua buah pondasi tiang dengan keadaan yang berlainan, yaitu keadaan ujung bawah bebas dan keadaan ujung bawah terjepit.



a) Ujung Bebas

b) Ujung terikat

Gambar 4.2. Perambatan Gelombang pada Pondasi Tiang dengan keadaan ujung yang berbeda.

Pada keadaan pondasi dengan ujung bebas, gelombang tumbukan mencapai ujung dengan tidak terjadi reaksi tanah ($R=0$). Karena syarat keseimbangan gaya pada ujung tiang tetap harus dipenuhi, maka gelombang tumbukan (tekan, F positif) akan dipantulkan menjadi gelombang tarik (F negatif) menyebabkan titik-titik pada tiang bergerak ke bawah (perambatan gelombang ke atas), jadi kecepatan partikel V (positif), menjadi dua kali sebelumnya.

Untuk keadaan ujung tiang terjepit, pada saat gelombang mencapai ujung tiang maka gelombang akan dipantulkan sebagai gelombang tekan (F positif) yang besarnya sama dengan anggapan rendaman tidak ada. Arah rambatan menuju ke atas dan gerakan vertikal juga ke atas (V negatif). Diujung bawah tiang, kecepatan partikel = 0, karena kecepatan akibat gelom-

bang tumbukan dan gelombang pantulan saling menghilangkan.

Dari kedua contoh di atas dapat diambil kesimpulan bahwa untuk gelombang yang merambat ke atas, gelombang tekan (F positif) menyebabkan gerakan partikel ke atas (V negatif), sedangkan gelombang tarik (F negatif) menyebabkan gerakan partikel ke bawah (V positif).

Dengan demikian hubungan proposional dari persamaan (4-7) dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\text{Gelombang ke atas : } F_d = + Z \cdot V_d \quad (4-8)$$

$$\text{Gelombang ke bawah: } F_u = - Z \cdot V_u$$

Besarnya gaya (F) dan kecepatan (V) pada setiap saat (t) lokasi tertentu di sepanjang tiang adalah superposisi dari gaya dan kecepatan gelombang ke atas dan gelombang ke bawah:

$$F(t) = F_d(t) + F_u(t) \quad (4-9a)$$

$$V(t) = V_d(t) + V_u(t) \quad (4-9b)$$

Dengan menggabungkan persamaan tersebut akan diperoleh bentuk persamaan untuk $F_d(t)$ dan $F_u(t)$ dapat juga ditulis

$$\begin{aligned} F_d(t) &= F(t) - F_u(t) \\ &= F(t) - [V(t) - V_d(t)] \\ &= F(t) + Z [V(t) - V_d(t)] \end{aligned}$$

$$2F_d(t) = F(t) + Z \cdot V(t)$$

$$F_d(t) = \frac{1}{2} [F(t) + Z \cdot V(t)] \quad (4-10a)$$

dengan cara yang sama diperoleh:

$$F_u(t) = \frac{1}{2} [F(t) - Z \cdot V(t)] \quad (4-10b)$$

Jadi apabila $F(t)$ dan $V(t)$ dapat diukur maka gelombang ke bawah dan gelombang ke atas dapat dihitung.

4.2.3. Gelombang reaksi akibat tahanan tanah

Apabila pada kedalaman x terdapat tahanan tanah (lengketan) sebesar R_x , maka ketika gelombang tumbukan merambat sejauh x dari ujung atas, tanah akan memberikan reaksi total sebesar R_x seperti ditunjukkan pada gambar 4.3. Karena keseimbangan gaya dan kontinuitas tiang pada titik x harus dipenuhi, maka gaya reaksi total sebesar R_x menimbulkan gelombang tekan sebesar $R_x/2$ yang merambat ke atas dan gelombang tarik yang sama besarnya yaitu $R_x/2$, merambat ke bawah.

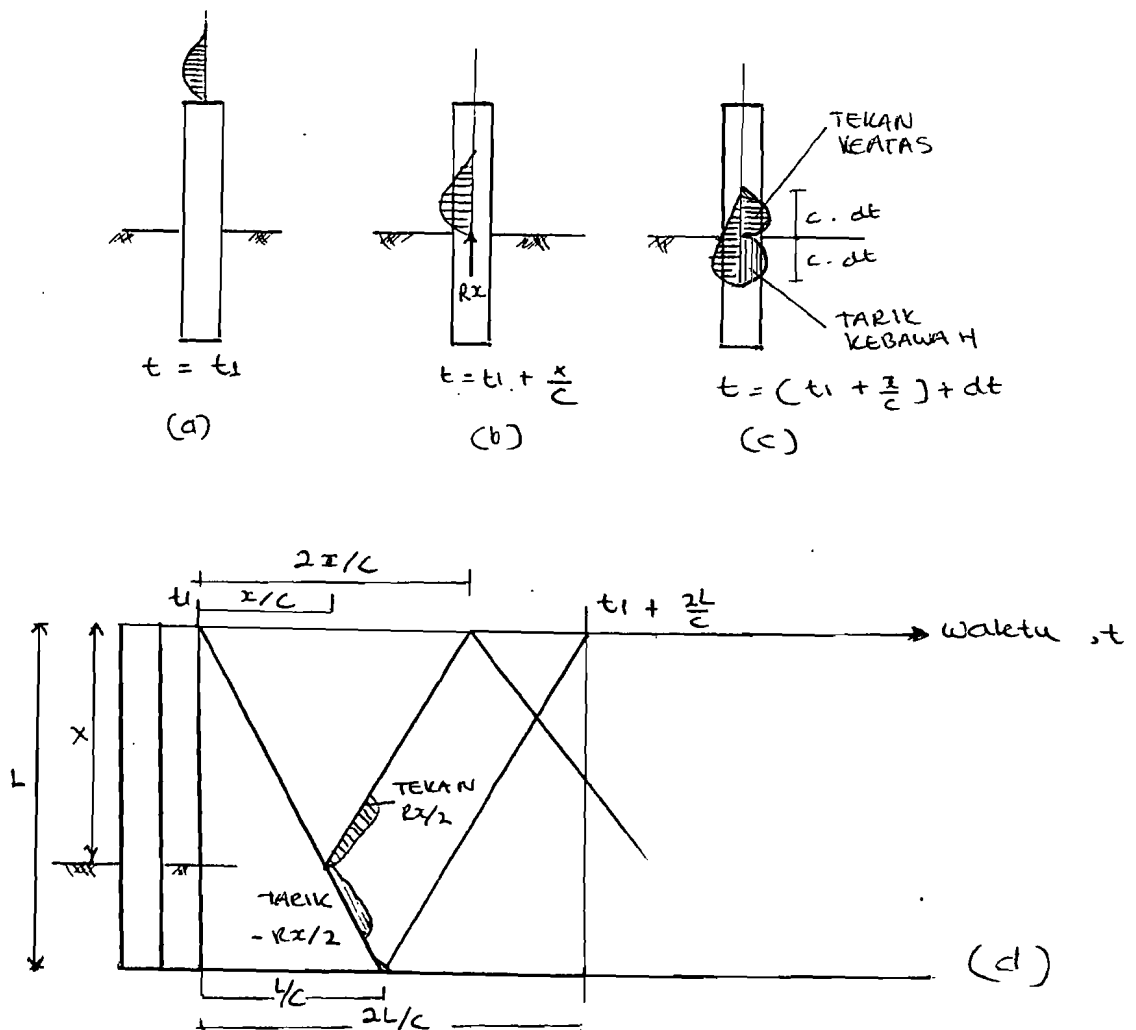
Gelombang tekan sebesar $R_x/2$ akan tiba di ujung atas tiang pada saat $2x/C$ sejak tiang ditumbuk seperti pada gambar 4.3. Kecepatan partikel akibat gelombang tekan ini besarnya adalah $-R_x/(2Z)$ karena arahnya ke atas. Jadi gaya (F) di ujung atas tiang pada saat $2x/C$ sejak tumbukan terjadi akan bertambah besar sebesar $R_x/2$, sedangkan kecepatan (v) di ujung atas tiang pada saat yang sama akan berkurang sebesar $R_x/(2Z)$. Apabila tumbukan terjadi pada saat t_1 , maka pada waktu ini persamaan 4-9a dan 4-9b gaya (F) dan kecepatan (V) di ujung atas tiang pada saat $t = t_1 + 2x/C$ dapat ditulis dalam bentuk:

$$F(t_1 + 2x/C) = F_0(t_1 + 2x/C) + R_x/2 \quad (4-11)$$

$$V(t_1 + 2x/C) = V_0(t_1 + 2x/C) + [-R_x/(2Z)] \quad (4-12)$$

Apabila kedua kurva $F(t)$ dan $V(t)$ digambar bersama dengan skala yang disesuaikan yaitu kurva $V(t)$ dikalikan faktor proposional (Z), maka pada $t = t_1 + 2x/C$, kedua kurva

di atas akan terpisah dengan jarak $= R_x$ sebesar gaya reaksi yang diberikan oleh tanah. Gelombang reaksi tahanan tanah pada setiap saat besarnya adalah $R_x/2$ dan kecepatannya adalah $-R_x/(2Z)$, maka persamaan (4-11) dan (4-12) berlaku juga untuk setiap titik antara ujung atas tiang dengan lokasi bekerjanya tahanan R_x . Dengan demikian pengukuran tidak perlu dilakukan di ujung atas tiang, sebaliknya dapat berjarak dua kali diameter atau sejauh keliling tiang dari ujung atas, untuk menghindari daerah konsentrasi tegangan.



Gambar 4.3. Gelombang reaksi tahanan tanah

4.2.4. Tahanan total pondasi tiang

Pada ujung bawah tiang juga bekerja tahanan ujung sebesar R_b , sehingga ketika gelombang mencapai ujung bawah tiang R_b akan menimbulkan gelombang tekan yang merambat ke atas dan tiba di ujung atas tiang pada saat $t = t_1 + 2L/c$. R_b akan tiba bersama-sama dengan gelombang tumbukan yang telah dipantulkan di ujung bawah tiang sebagai gelombang tarik, $[-F_d(t_1)]$ dan gelombang tarik $-R_x/2$ yang telah dipantulkan di ujung bawah sebagai gelombang tekan $R_x/2$ setelah tiba pada saat $t = t_1 + 2L/c$ dianggap masih bekerja pada $t = t_1 + 2L/c$, maka pada saat $2L/c$ sesudah tumbukan, gelombang ke atas yang tiba di ujung atas tiang yang terukur adalah:

$$F_u(t_1 + 2L/c) = R_b + [-F_d(t_1)] + R_x/2 + R_x/2 \quad (4-13)$$

Pada persamaan di atas, diketahui jumlah tahanan tanah yang bekerja pada tiang adalah:

$$RT = R_b + R_x/2 + R_x/2 \quad (4-14)$$

Jika persamaan (4-13) digabungkan dengan persamaan (4-14) akan diperoleh:

$$\begin{aligned} F_u(t_1 + 2L/c) &= RT - F_d(t_1) \\ RT &= F_d(t_1) + F_u(t_1 + 2L/c) \end{aligned} \quad (4-15)$$

Apabila kita masukkan besaran-besaran yang dapat diukur $F(t)$ dan $V(t)$ seperti pada persamaan (4-10a) dan (4-10b), maka persamaan (4-15) dapat ditulis dalam bentuk:

$$RT = \frac{1}{2} [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + \frac{1}{2} [F(t_2) - Z \cdot V(t_2)] \quad (4-16)$$

dengan: $t_2 = t_1 + 2L/C$

$F(t_1)$ dan $F(t_2)$ dapat dihitung apabila regangan dapat diukur dan $V(t_1)$ dan $V(t_2)$ juga dapat dihitung kalau percepatan dapat diukur, sehingga tahanan total RT selama tiang dipancang/ditumbuk dapat dihitung.

Pile Driving Analyzer sebagai alat pengukur regangan dan percepatan mengkonversikan setiap hasil pengukuran dan memplotnya di layar komputer dalam bentuk pasangan kurva F dan V. Berdasarkan kurva hasil pengukuran tersebut, PDA menghitung daya dukung aksial pondasi tiang yang diuji dengan menggunakan Case Method.

4.2.5. Case Method

Case Method menggunakan salah satu rumus dan dipakai oleh PDA yaitu rumus RSP:

$$RSP = (1-J)[F(t_1) + Z.V(t_1)]/2 + (1+J)[F(t_2) - Z.V(t_2)]/2.. \quad (4-17)$$

Dengan nilai J yang direkomendasikan untuk berbagai jenis tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2. Nilai Redaman J

Jenis Tanah	Nilai J
Pasir	0,05 - 0,20
Pasir berlanau Lanau berpasir	0,15 - 0,30
Lanau	0,20 - 0,45
Lanau berlempung Lempung berlanau	0,40 - 0,70
Lempung	0,60 - 1,10

Besarnya nilai J yang dipilih akan mempengaruhi besarnya perkiraan daya dukung tiang, oleh karena itu dalam perkembangan selanjutnya direkomendasikan juga 'automatic methods' RAU dan RA2, yang tidak dipengaruhi oleh faktor redaman yang dihitung pada saat V_b (kecepatan ujung bawah tiang) mencapai 0 (tidak bergerak), sehingga daya dukung total pada saat itu seluruhnya statis.

Tiang yang diuji beberapa waktu setelah pemancangan, lengketan tanahnya telah bekerja dengan baik. Lengketan tanah yang cukup besar akan menyebabkan terjadinya 'unloading' selama pengujian, yaitu kecepatan partikel di bagian atas tiang arahnya ke atas akibat gelombang reaksi tanah. Untuk kondisi seperti ini perlu dilakukan koreksi terhadap bagian yang mengalami unloading. Case Method mengusulkan RSU Method untuk memperkirakan daya dukung tiang yang diuji.

$$RSU = (RT + UN) - J [F(t) + Z.V(t)] - (RT - UN) \quad (4-18)$$

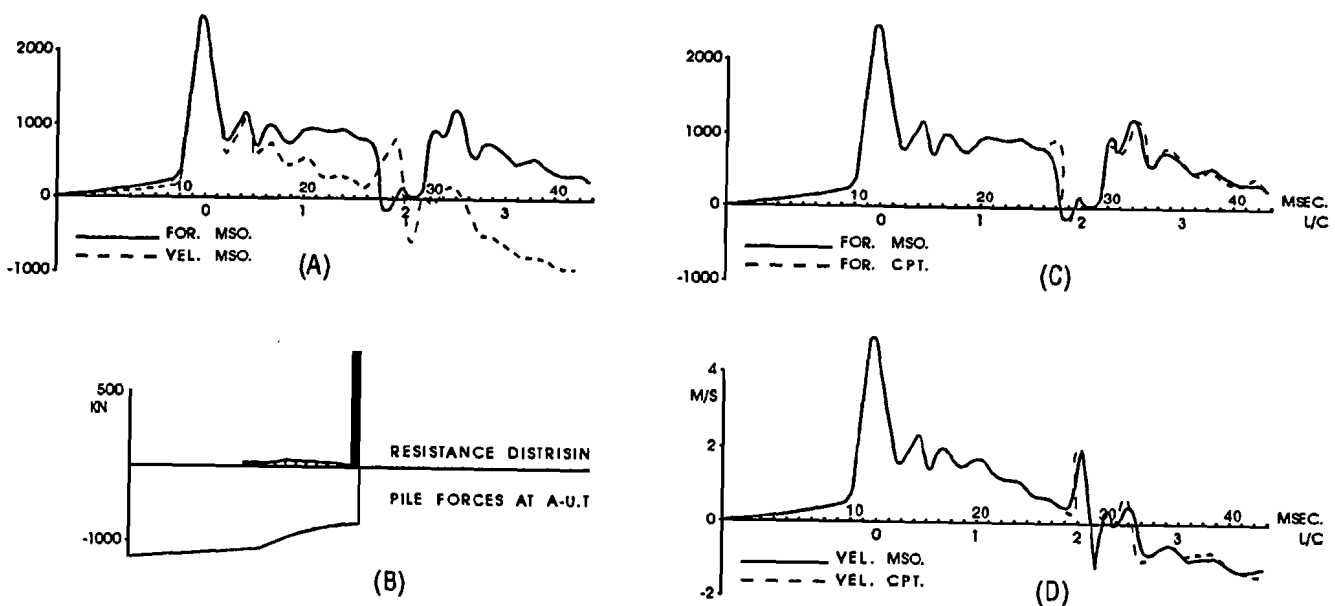
Dimana UN adalah faktor koreksi yang dihitung berdasarkan besarnya lengketan pada segemen tiang yang mengalami unloading.

4.2.6. Metoda CAPWAP

Case Pile Wave Analysis Program atau CAPWAP merupakan metoda analisis yang mengkombinasikan data pengukuran di lapangan dengan tata cara persamaan gelombang untuk menaksir kapasitas daya dukung statis tiang dan distribusi tahanan. Metoda ini juga dimaksudkan untuk memeriksa perkiraan metoda

Case yang dibuatnya.

Analisis CAPWAP menggunakan model matematika dari tiang dan tanah seperti yang digunakan pada program persamaan gelombang. Analisis CAPWAP menghasilkan sebuah penggambaran yang lengkap dari tiang pondasi dan tanah. Sehingga dapat memberikan data yang lebih lengkap dibandingkan metode Case.



Gambar 4.4. Hasil Analisis CAPWAP

Keterangan Gambar 4.4 :

(A) Pengukuran sejarah gaya dan kecepatan di kepala pondasi tiang.

(B) Distribusi tahanan statis pondasi tiang.

(C) Pengukuran dan perhitungan gaya di kepala tiang.

(D) Pengukuran dan perhitungan kecepatan di kepala tiang.

4.3. Pelaksanaan

Pengujian dinamis ini didasarkan pada interpretasi gelombang satu dimensi yang menjalar dalam tiang pondasi akibat tumbukan yang diterima oleh tiang pada tiang pancang. Untuk tiang bor (pondasi tiang yang dicor di tempat) diperoleh dari tumbukan Drop Hammer seberat kira-kira 4,5 ton yang dijatuhkan dari ketinggian bervariasi (sekitar 120-200 cm) sesuai dengan energi yang dibutuhkan untuk menguji daya dukung tiang seperti pada gambar 4.6.

Peralatan yang digunakan untuk uji dinamis seperti yang terlihat pada gambar 4.7 adalah sebagai berikut:

1. Strain transducer

Alat yang berfungsi untuk menerima regangan pada tiang ketika tiang dipancang/ditumbuk. Dalam setiap uji dinamis dipakai dua buah Strain transducer guna menghindari kerusakan yang mungkin terjadi pada salah satu alat. Pemasangan Strain transducer sejarak $1,5x$ diameter tiang untuk menghindari lentur pada tiang seperti ditunjukkan pada gambar 4.4 dan gambar 4.5. Dengan menggunakan hukum Hooke dapat diperoleh gaya yang bekerja pada tiang.

2. Accelerometer

Berfungsi untuk menerima percepatan gelombang yang merambat dalam tiang dengan mengintegrasikan percepatan terhadap waktu diperoleh kecepatan gelombang. Dipakai dua buah Accelerometer dan dipasang sama dengan transducer.

3. Alat Pile Driving Analysis

Alat analisis yang menerima regangan dan percepatan

untuk menguatkan, menyaring dan mengkalibrasi serta kemudian mengubahnya menjadi gaya dan kecepatan yang diproses dengan menggunakan Case Method.

4. Tape Recorder

Berfungsi menyimpan rekaman sehingga memungkinkan untuk mengevaluasi ulang kapasitas tiang dikemudian hari jika diperlukan.

5. Oscilloscope

berfungsi untuk memantau kualitas data perambatan gelombang dan kemungkinan terjadinya kerusakan pada tiang.

6. Alat pencetak Plotter

Berfungsi untuk memplotkan gaya dan kecepatan hasil pengukuran untuk memberikan laporan grafik perambatan gaya dan kecepatan gelombang yang baik sehingga dapat dievaluasikan oleh operator.

7. Komputer

Berfungsi untuk menganalisis data pemancangan tiang dari PDA untuk diproses sehingga diperoleh daya dukung tiang yang diuji.

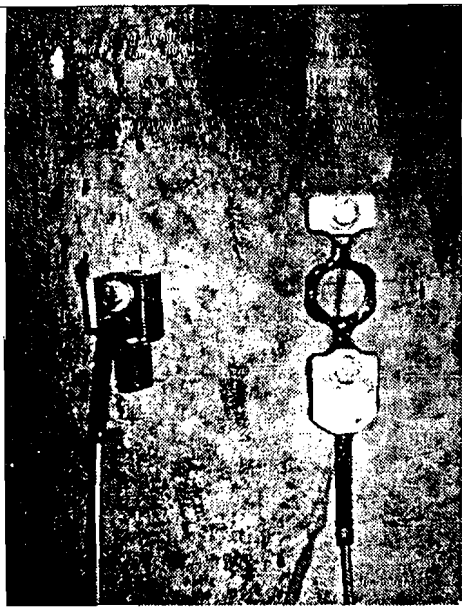
Sistem pengujian adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan pelebaran lubang pada tiang bor untuk memasang Strain transducer dan Accelerometer.
2. Tiang bor ditumbuk dengan Drop Hammer sebanyak 2 sampai 5 kali.
3. Hasil rekaman PDA dianalisis lebih lanjut dengan CAPWAP, karena penampang tiang tidak seragam, sedangkan PDA menganggap penampang tiang seragam. Analisis CAPWAP juga perlu untuk memperoleh konfirmasi perkiraan daya dukung

tiang, distribusi kekuatan lapisan tanah dan simulasi pembebanan statis.

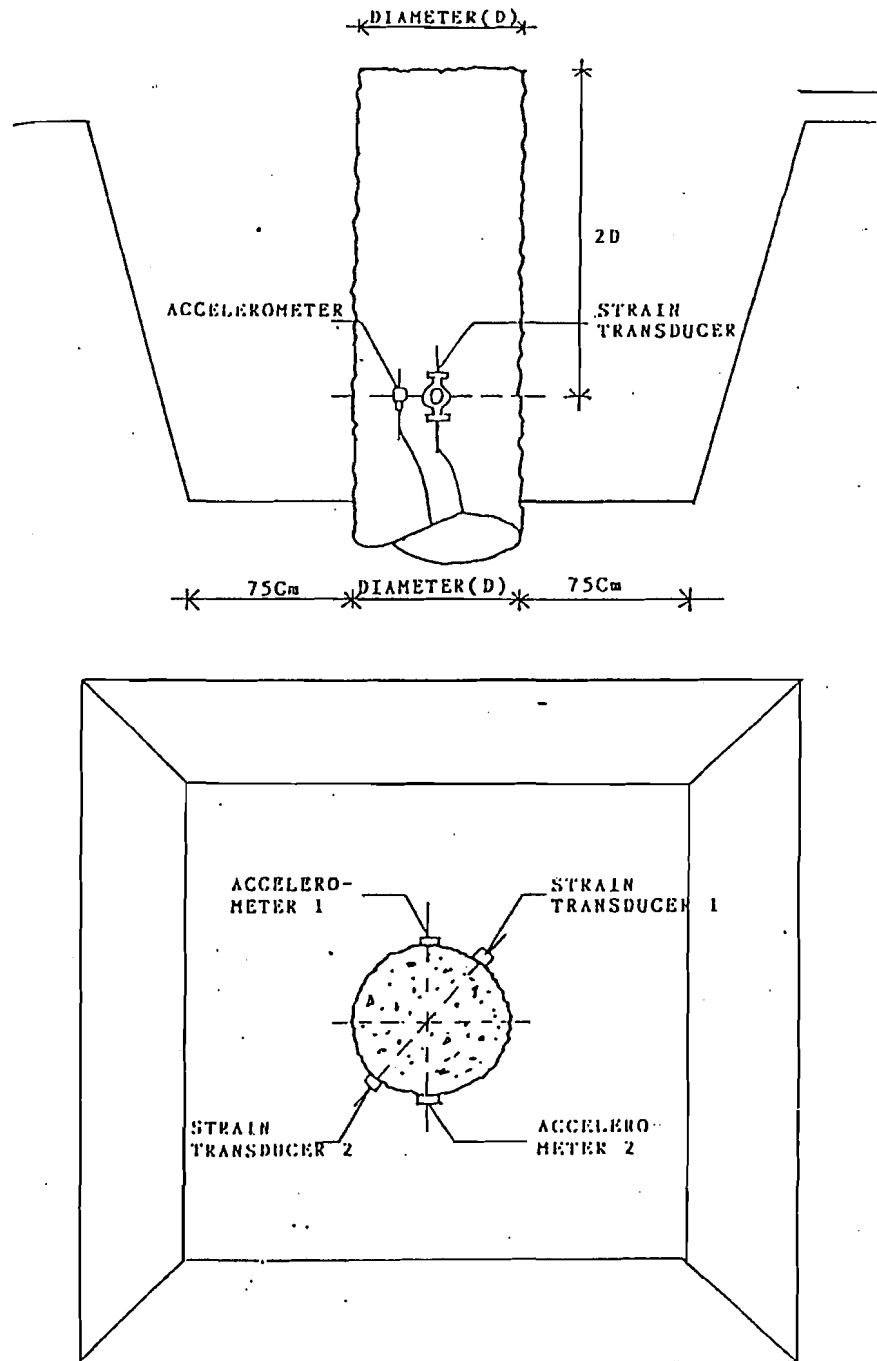
4. Analisis mengenai benturan tiang berdasarkan hasil rekaman PDA dilakukan dengan menganalisis karakteristik kurva F (gaya) dan V (kecepatan). Apabila terjadi retak-retak pada tiang kurva F akan turun dan kurva V akan naik pada saat yang sama.

Dengan kecepatan membaca 1000 "samples" perdetik (10.000 hertz), PDA dapat membaca regangan dan percepatan sebanyak 2500 samples perdetik (4 instrumen dibaca sekaligus). Kecepatan perambatan gelombang di pondasi tiang berkisar antara 5000 m/detik. Jadi waktu yang dibutuhkan oleh gelombang tumbukan untuk merambat ke ujung bawah tiang sepanjang 100 meter dan kembali lagi adalah 0,04 detik. Selama perambatan tersebut, PDA dapat membaca regangan dan percepatan yang terjadi sebanyak 100 samples apabila diperlukan untuk menghasilkan kurva yang baik.

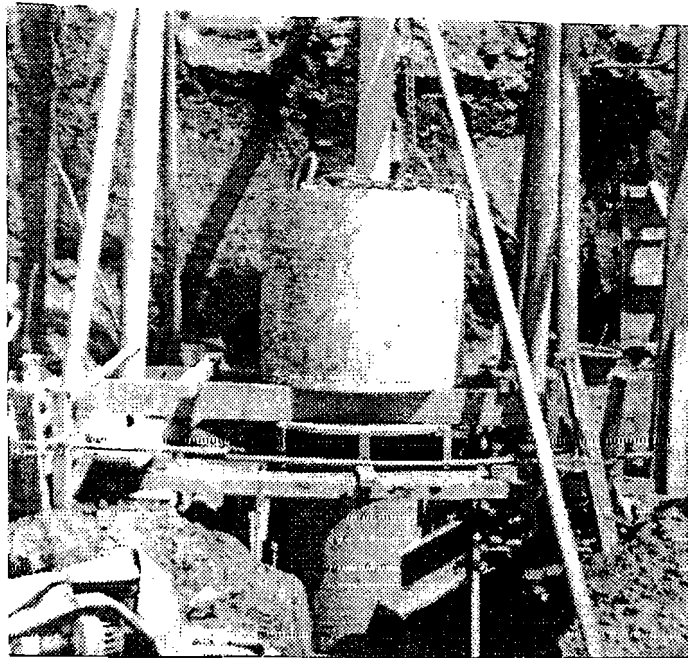


Gambar 4.5. Strain Transducer dan Accelerometer

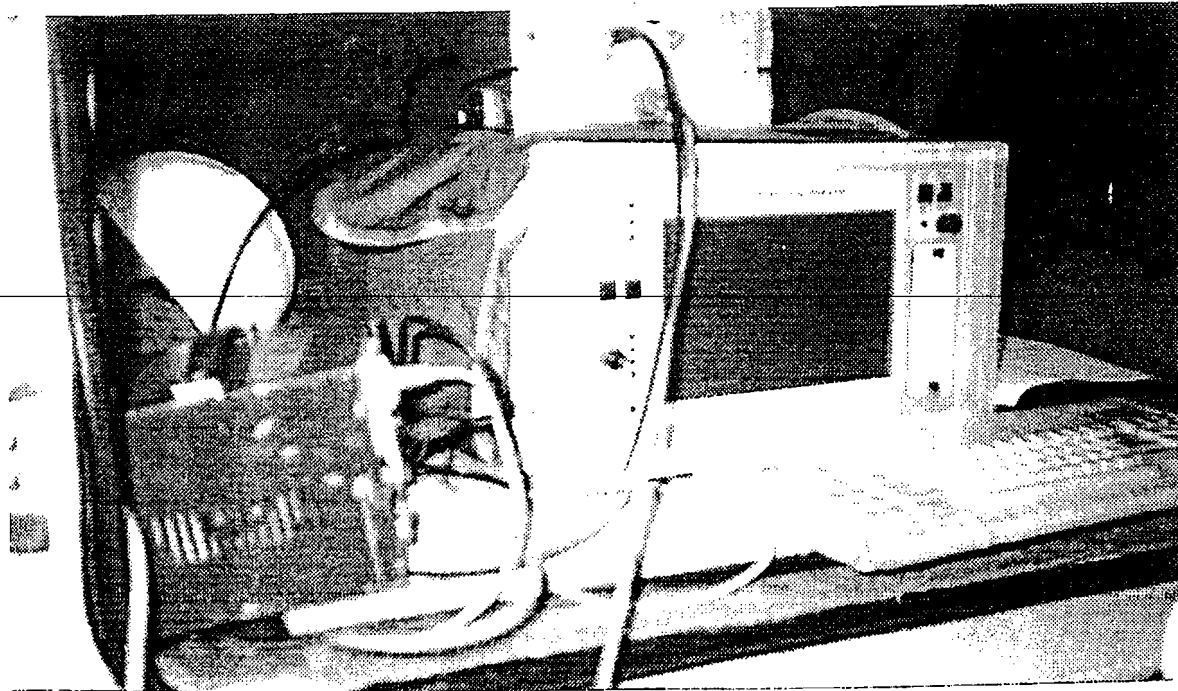




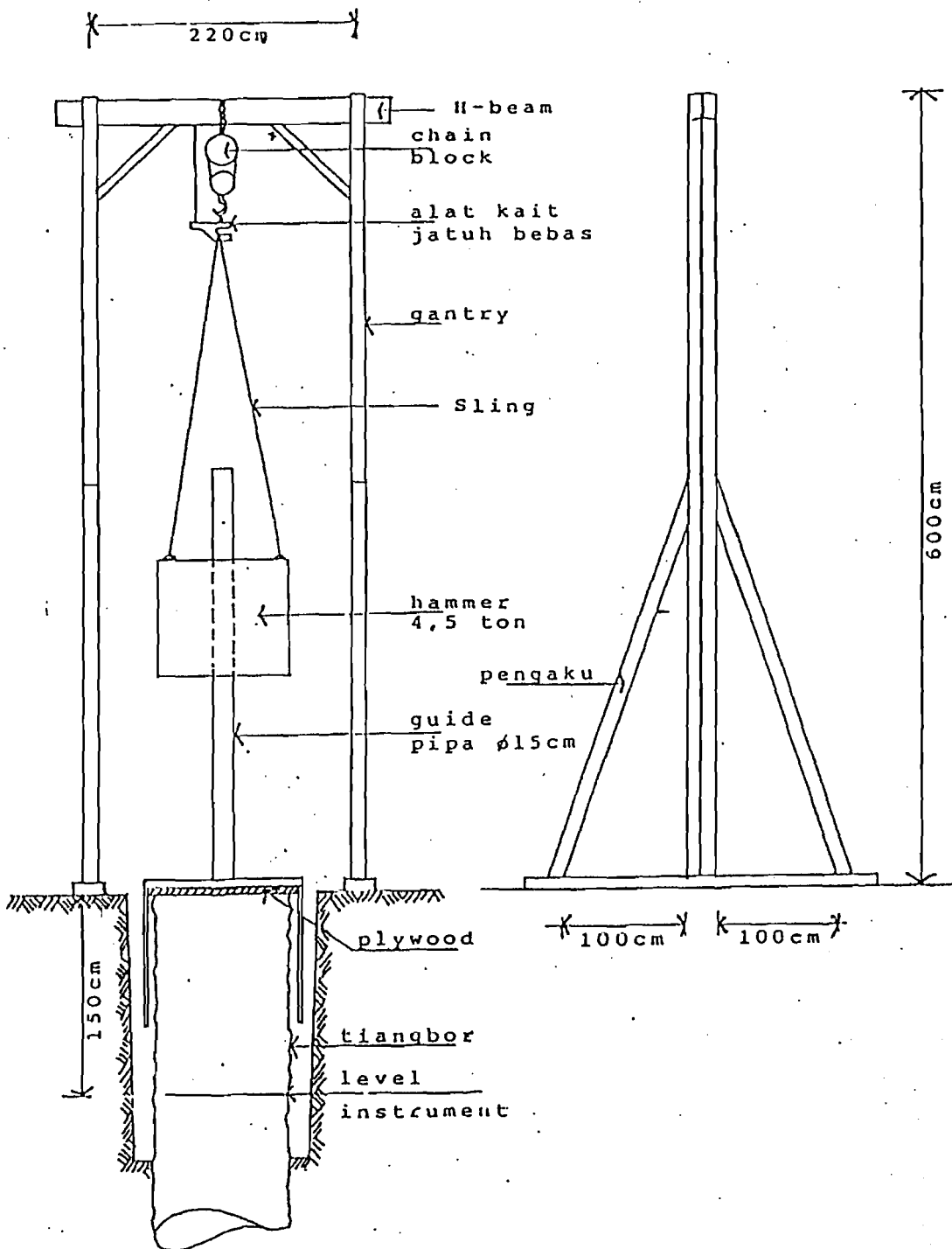
Gambar 4.6. Pemasangan Strain Transducer dan Accelerometer pada tiang pondasi.



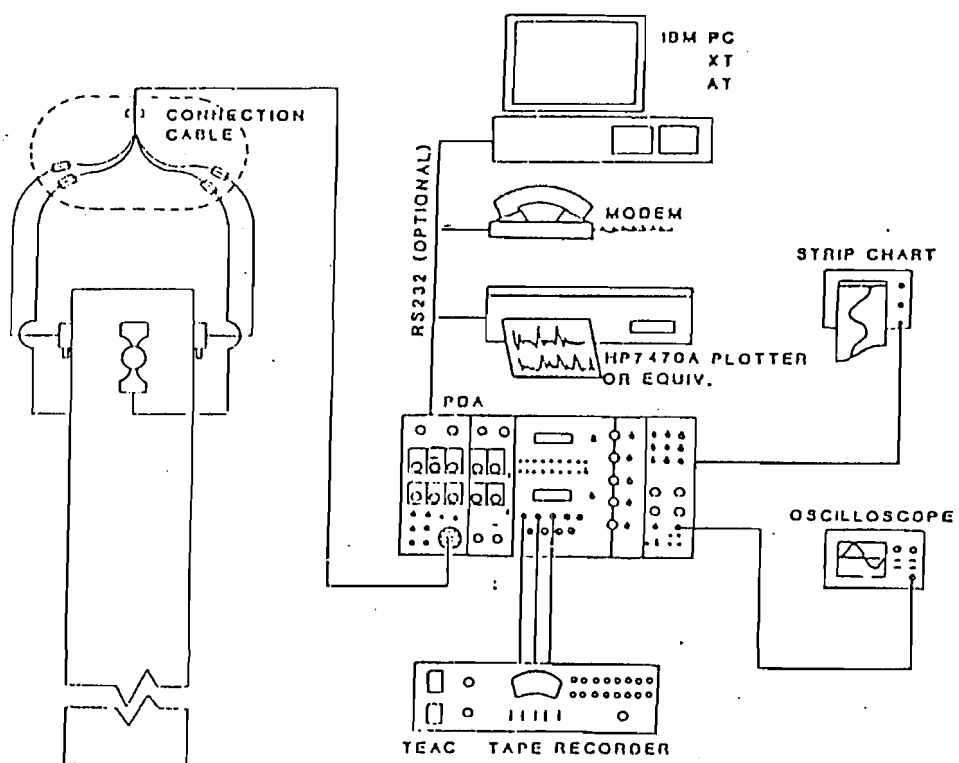
Gambar 4.7. Drop Hammer 4,5 Ton



Gambar 4.8. Peralatan Uji Analisis Tiang, PDA (Kiri), Tape Recorder (Kanan atas) dan Oscilloscope (Kanan bawah).



Gambar 4.9. Pelaksanaan Pengujian Beban Dinamis Menggunakan Drop Hammer



Gambar 4.10. Skema Peralatan PDA di Lapangan

BAB V
ANALISIS KOMPARASI

5.1. Umum

Pada bab sebelumnya sudah diterangkan mengenai dua macam metode pengujian tiang pondasi, sedangkan di bawah ini akan diuraikan data-data hasil pengujiannya di lapangan. Data diambil dari 5 buah tiang yang mengalami pengujian Loading Test dan Pile Driving Analyzer pada beberapa proyek. Perbedaan perkiraan daya dukung tiang pada dua metode pengujian tersebut akan di lihat berikut sifat-sifat khusus yang mengiringinya.

5.2. Data Hasil Pengujian

1. Tiang I = GTG2-26 PLTGU Muara Karang

Hasil pengujian PDA

BN 45 = Analisa dilakukan pada tumbukan ke 45

RA2 235 = Perkiraan daya dukung tiang berdasarkan pada analisis menggunakan 'automatic methods' menghasilkan daya dukung tiang sebesar 235 ton.

RS1 146 = Perkiraan daya dukung tiang dengan memasukkan tekanan tanah statis = 146 ton.

EMX 113 = Energi maksimum yang ditransfer ke tiang sebesar $113/10 = 11,3$ tonm.

FMX 243 = Gaya tekan maksimum pada lokasi instrumen dipasang sebesar 243 ton

BTA 78 = Nilai keutuhan tiang = 78%, tiang mengalami keretakan pada saat pengujian.

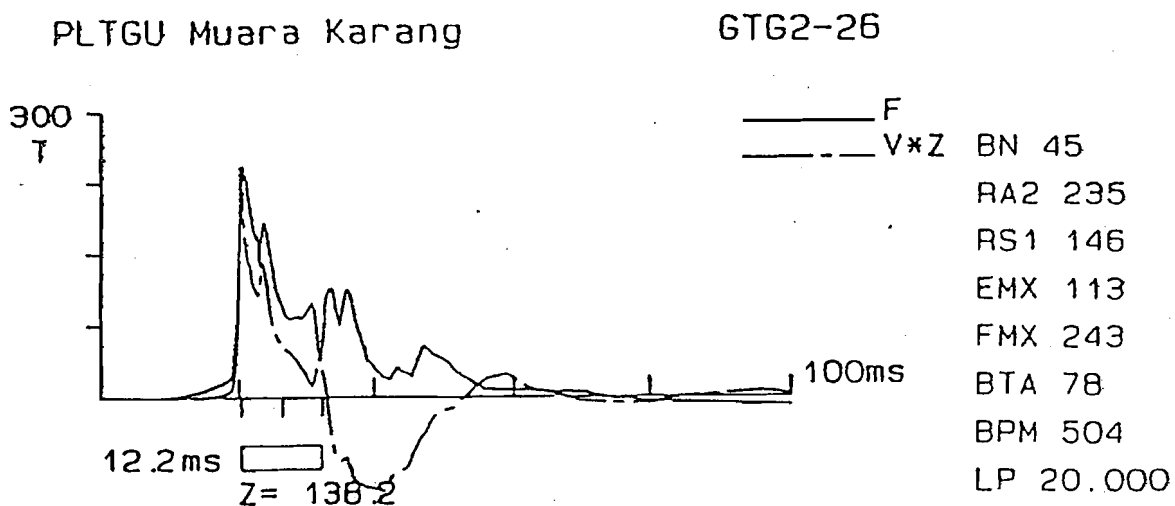
BPM 504 = Banyaknya tumbukan permenit $504/10 = 50,4$

LP 20.000 = Kedalaman penetrasi 20 meter.

Hasil pada Loading test daya dukung tiang = 280 ton (Lihat lampiran).

Analisis mengenai keutuhan tiang berdasarkan hasil rekaman PDA dilakukan dengan menganalisa kurva F (gaya) dan V (kecepatan). Apabila terjadi retak pada tiang, kurva F akan turun dan kurva V akan naik pada saat yang sama. Dari hasil analisis kurva F dan V ternyata terjadi sedikit keretakan atau keutuhan tiang adalah 78%.

Kondisi tiang pancang hampir seragam dan telah mencapai daya dukung batas selama pengujian. Pelaksanaan Loading Test dimulai 10 hari setelah pengujian PDA. Normalnya dilakukan 14 hari setelah Pengujian PDA Hasil dari pengujian Loading Test diketahui terjadi penurunan 16,55 mm.

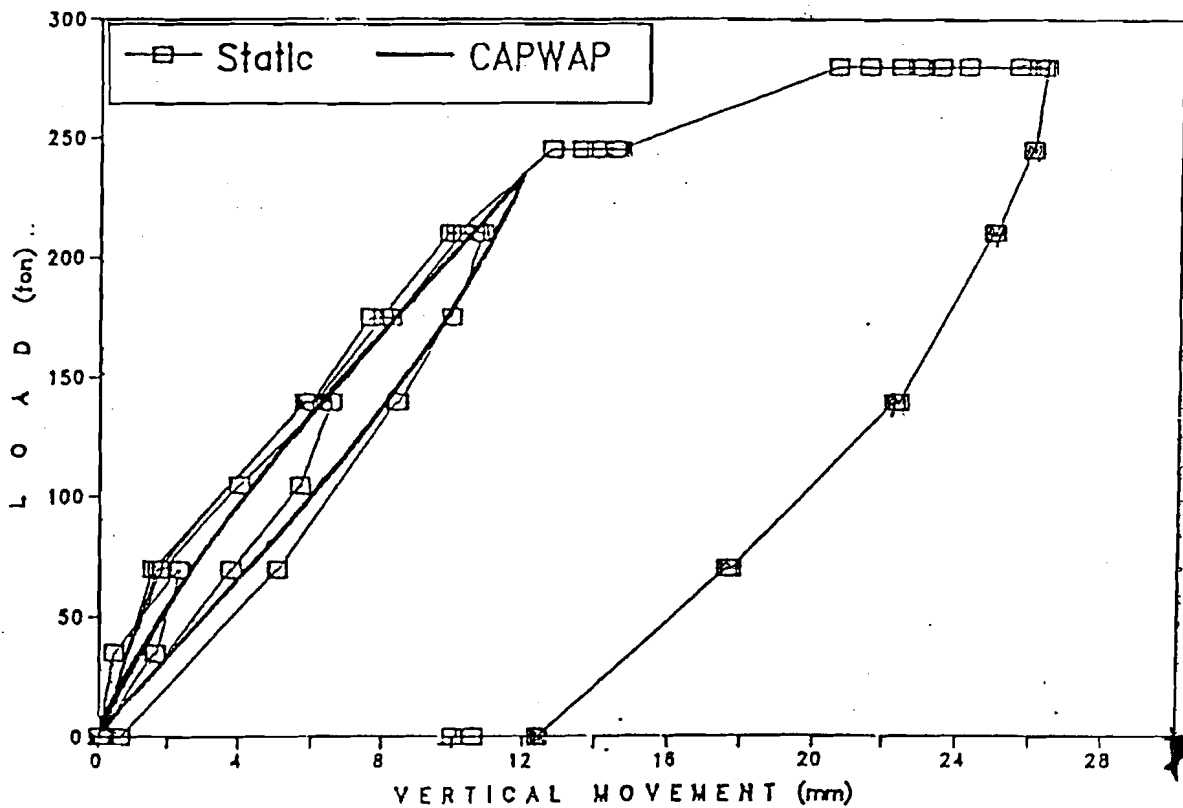


Gambar 5.1. Hasil rekaman PDA GTG2-26

Comparison between Static Load & CAPWAP

CCPP-Muara Karang, Pile No. GTG2-26

44



Gambar 5.2. Perbandingan kurva beban-perpindahan
Antara Loading Test dan CAPWAP GTG2-26

2. Tiang 2 = GTG2-21 Muara Karang

Hasil pengujian PDA

BN 22 = Analisis dilakukan pada tumbukan ke 22.

RA2 304 = Perkiraan daya dukung tiang berdasarkan pada analisis menggunakan 'automatic methods' menghasilkan daya dukung tiang sebesar 304 ton.

RSU 190 = Perkiraan daya dukung dengan menggunakan koreksi pada bagian 'unloading' = 190 ton.

EMX 181 = Energi maksimum yang di transfer ke tiang sebesar $181/10 = 18,3$ tonm.

FMX 360 = Gaya tekan maksimum pada lokasi instrumen dipasang sebesar 360 ton.

BTA 100 = Nilai keutuhan tiang = 100%, tiang tidak mengalami keretakan pada saat pengujian.

BPM 511 = Banyaknya tumbukan permenit $511/10 = 51,1$

LP 20.000 = Kedalaman penetrasi 20 meter.

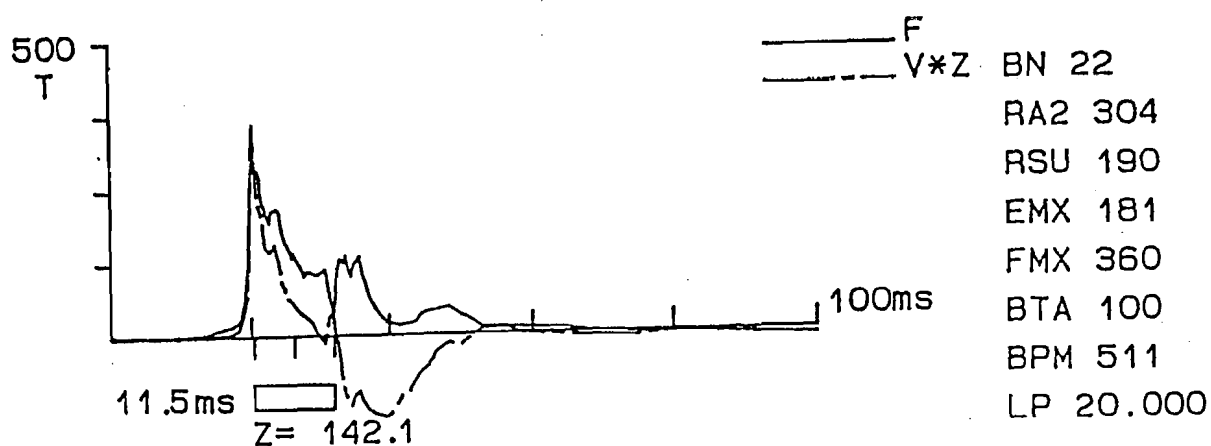
Hasil Loading Test daya dukung tiang = 285 ton.

Pelaksanaan Loading Test sebulan setelah pengujian PDA, tetapi tiang yang diuji belum mencapai daya dukung batasnya. Tidak terjadi keretakan sehingga keutuhan tiang adalah 100%.

Perkiraan daya dukung tiang menggunakan 'automatic methods' yang tidak dipengaruhi oleh faktor redaman tanah. Sehingga daya dukung dihitung pada saat kecepatan gelombang pada ujung bawah tiang mencapai 0 atau tidak bergerak. Maka daya dukung total pada saat itu seluruhnya statis.

PLTGU Muara Karang

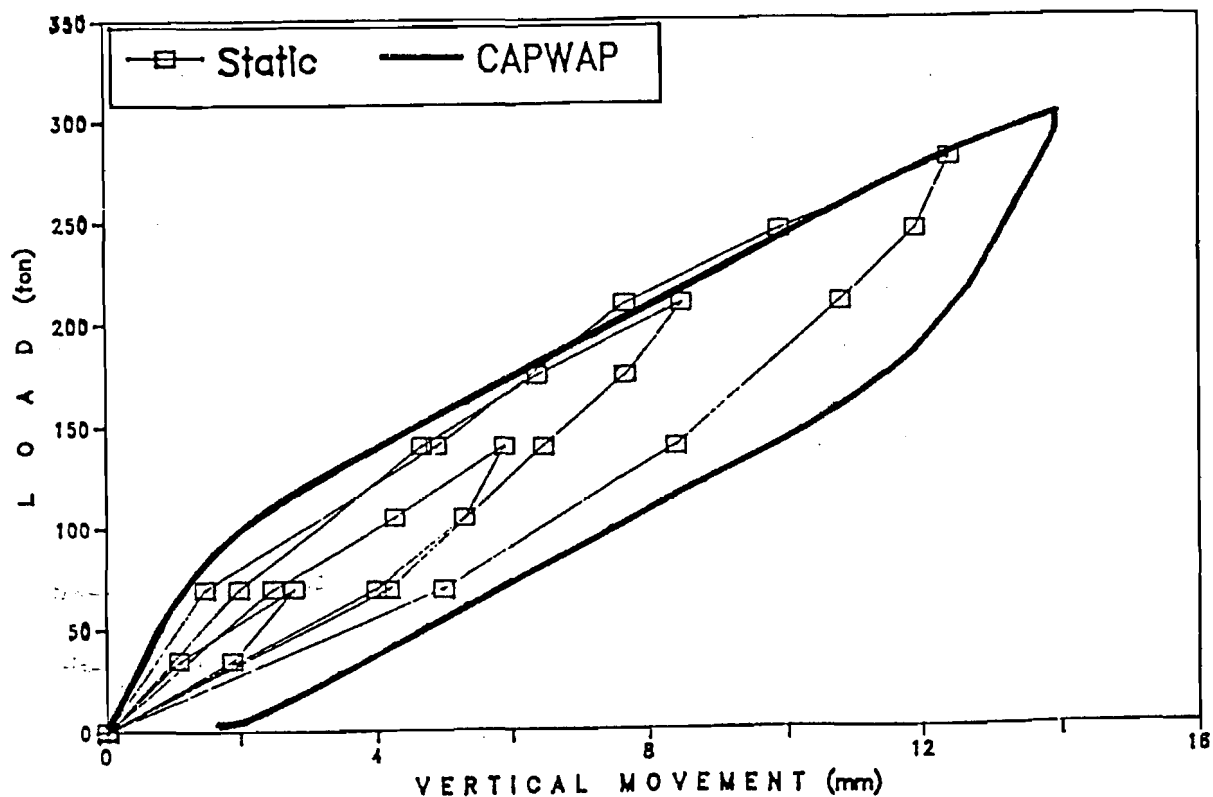
GTG2-21



Gambar 5.3. Hasil rekaman PDA GTG2-21

Comparison between Static Load & CAPWAP

CCPP-Muara Karang. Pile No. GTG2-21



Gambar 5.4. Perbandingan Kurva Beban-Perpindahan Antara Loading Test dan CAPWAP GTG2-21

3. Tiang 3 = TA-Nor Gold Hill Tropics Apartment

Hasil pengujian PDA

BN 2 = Analisis dilakukan pada tumbukan ke 2.

RSU 183 = Perkiraan daya dukung dengan menggunakan koreksi pada bagian 'unloading' = $183 \times 10 = 1830$ ton.

FMX 191 = Gaya tekan maksimum pada lokasi instrumen dipasang sebesar $191 \times 10 = 1910$ ton.

CTN -45 = Gaya tegangan maksimum pada lokasi instrumen dipasang = $45 \times 10 = 450$ ton

CFB 98 = Gaya tekan pada ujung tiang = $98 \times 10 = 980$ ton.

EMX 203 = Energi maksimum yang ditransfer ke tiang = $203/10$
= 20,3 tonm.

BPM 0 = Tumbukan permenit = 0 (Drop Hammer).

LP 33.3 = Kedalaman penetrasi 33,3 meter.

Hasil Loading Test daya dukung 1100 ton.

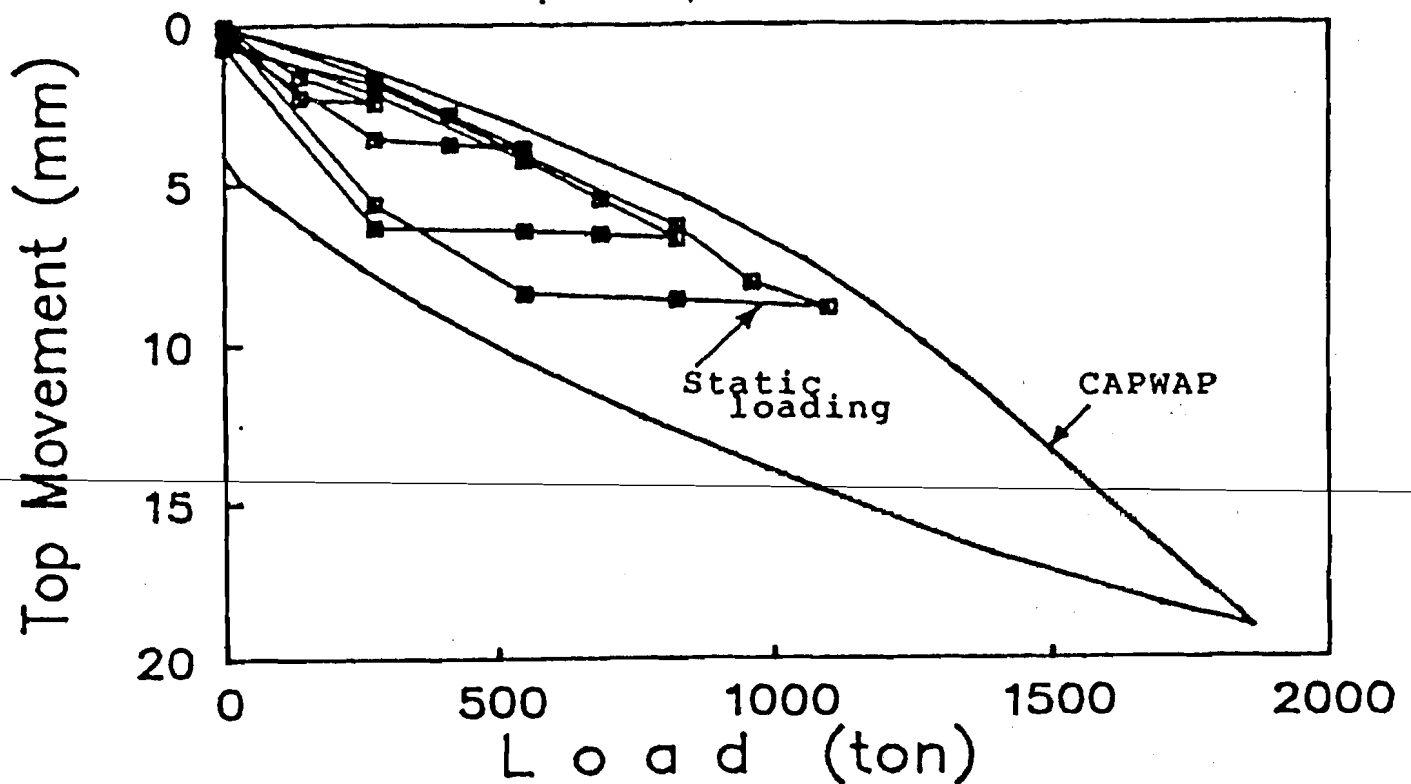
Tiang uji berdiameter 1000 mm dengan panjang 38 m. Diuji pertama kali dengan PDA dan 6 minggu kemudian diuji dengan Loading Test. PDA memberikan daya dukung sebesar 1830 ton. Kurva Velocity pada gambar 5.5. yang menjadi negatif karena bergerak ke atas sebelum muka gelombang 'wave front' mencapai ujung bawah tiang bor menunjukkan kuatnya gelombang reaksi akibat lengketan tanah pada dinding tiang bor. Tiang bor ini tidak mencapai daya dukung ultimate pada waktu diuji dengan PDA. Dalam keadaan ini daya dukung yang diperkirakan oleh PDA disebut "mobilised capacity" atau daya dukung yang termobilisasi.

Karena penampang tiang bor tidak seragam, hasil PDA perlu dianalisis lebih lanjut dengan CAPWAP. Menggunakan hasil PDA sebagai tolak ukur, CAPWAP membuat model tiang bor dan lengketan lapisan tanah untuk mensimulasi penjalaran gelombang tumbukan. Perbandingan hasil Loading Test dengan hasil pengujian PDA dan CAPWAP dilakukan dengan membandingkan kurva beban-perpindahan hasil kedua cara pengujian seperti terlihat pada gambar 5.6. Terlihat bahwa korelasi hasil kedua metoda pengujian itu baik.

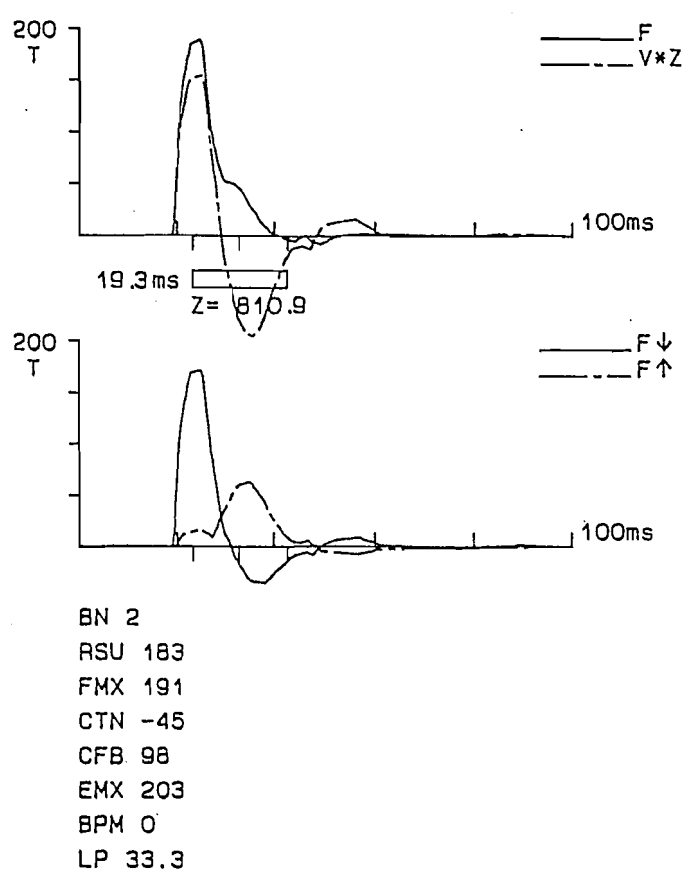
Pemberian beban pada Loading Test dihentikan ketika

beban mencapai 1100 ton. Pada saat perpindahan vertikal kepala tiang baru mencapai 9 mm, sekitar 35% dari deformasi elastis tiang bornya sendiri yang 25 mm. Hal ini menunjukkan besarnya lengketan tiang sehingga sebagian besar beban telah habis sebelum mencapai ujung bawah tiang.

Pada pengujian PDA telah berhasil memobilisasi daya dukung yang jauh lebih besar meskipun tetap belum berhasil mencapai daya dukung batas tiang bor tersebut.



Gambar 5.5. Perbandingan hasil pengujian PDA +CAPWAP dengan Loading Test TA-NOR



Gambar 5.6. Hasil pengujian PDA dan analisa CAPWAP TA-NOR

4. Tiang 4 = ROX C4P18

Hasil pengujian PDA

BN 2 = Analisis dilakukan pada tumbukan ke 2

RA2 121 = Perkiraan daya dukung tiang berdasarkan pada analisis menggunakan 'automatic methods' menghasilkan daya dukung tiang sebesar = 121 ton.

RMX 131 = Perkiraan daya dukung tiang dengan memasukkan pengaruh redaman tanah, menghasilkan daya dukung tiang sebesar 131 ton.

FMX 161 = Gaya tekan maksimum pada lokasi instrumen dipasang sebesar 161 ton.

EMX 142 = Energi maksimum yang ditransfer ke tiang sebesar

$$142/10 = 14,2 \text{ tonm.}$$

BTA 36 = Nilai keutuhan tiang = 36%, tiang mengalami retak pada saat pengujian.

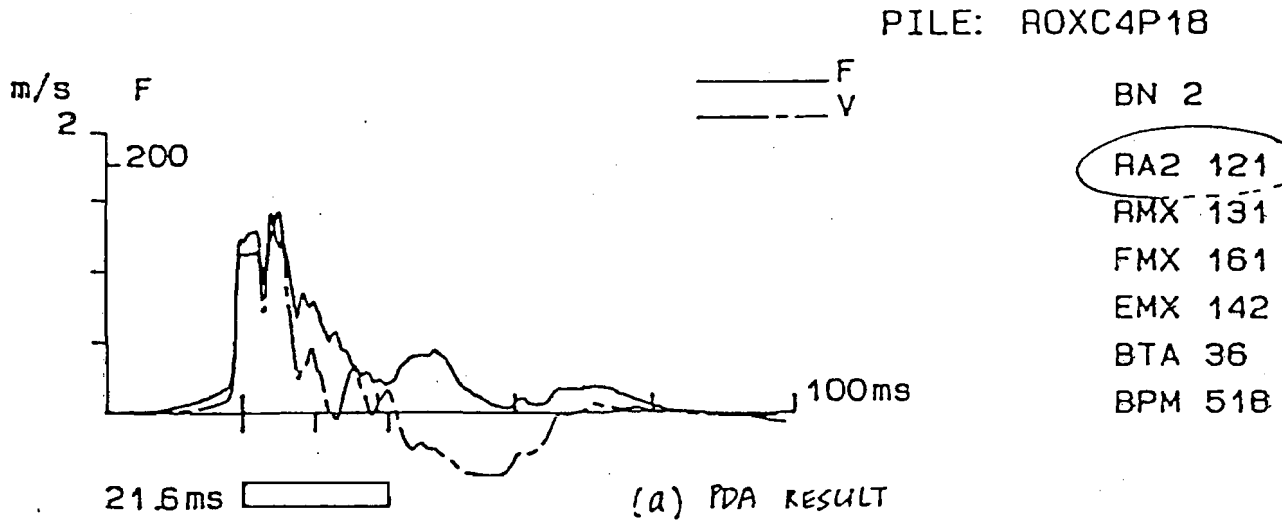
BPM 518 = Banyaknya tumbukan permenit $518/10 = 51,8$.

Hasil Loading Test daya dukung tiang = 122,5 ton.

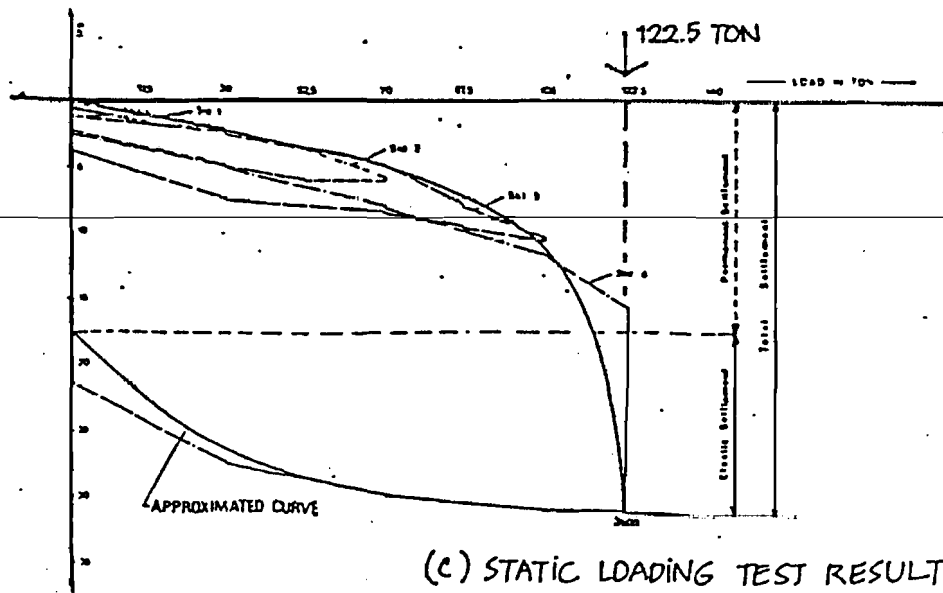
Pada Gambar 5.7. terlihat hasil pengujian PDA dilakukan beberapa minggu sebelum Loading Test. Dalam Loading Test tiang mengalami perpindahan (displacement) sebesar 10 mm/blow seperti Gambar 5.9., kondisi ini cukup besar untuk memobilisasi tegangan geser maksimum elemen tanah di sekitar tiang. Pengaruh tahanan geser terhadap daya dukung tiang cukup besar.

Dari hasil perhitungan PDA, diperoleh dua buah hasil analisis daya dukung tiang yaitu RMX atau daya dukung maksimum sebesar 131 ton dan RA2 sebesar 121 ton. Untuk pondasi tiang diambil sebesar 121 ton dari hasil analisis secara RA2. RA2 merupakan hasil analisis menggunakan Case Methods secara 'automatic methods', sehingga diperoleh daya dukung statis tiang sebesar 121 ton. Pada gambar 5.8. diperlihatkan hasil Loading Test dan grafik tersebut menunjukkan daya dukung tiang hasil pembebanan statis sebesar 122,5 ton.

Dari kedua hasil uji pembebanan di atas ternyata daya dukung tiang dengan uji beban secara PDA dan Loading Test hasilnya tak jauh beda yaitu sebesar 1,5 ton.

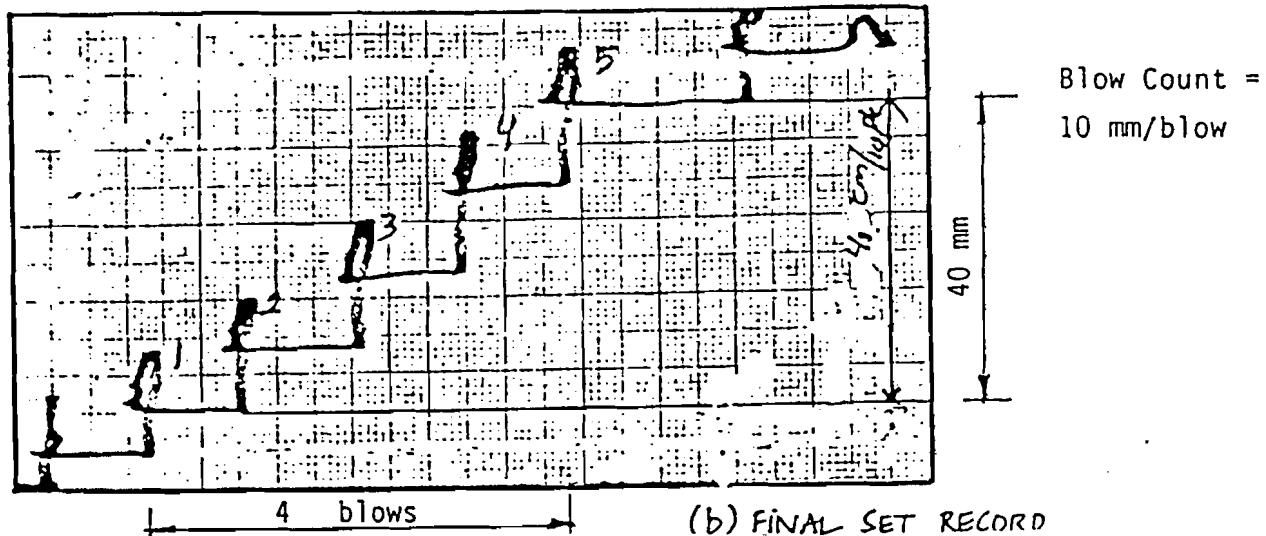


Gambar 5.7. Hasil Pengujian PDA ROXC4P18



Gambar 5.8. Hasil Loading Test Tiang ROXC4P18





Gambar 5.9. Hasil Final Set

5. Tiang 5 = Sen PTB-9

Hasil pengujian PDA

BN 2 = Analisis dilakukan pada tumbukan ke 2

RA2 252 = Perkiraan daya dukung tiang berdasarkan pada analisis menggunakan 'automatic methods' menghasilkan daya dukung tiang sebesar 252 ton.

RSU 285 = Perkiraan daya dukung dengan menggunakan koreksi pada bagian 'unloading' 285 ton.

FMX 316 = Gaya tekan maksimum pada lokasi instrumen di pasang sebesar 316 ton.

EMX 263 = Energi maksimum yang ditransfer ke tiang sebesar $263/10 = 26,3 \text{ tonm}$.

BTA 100 = Nilai keutuhan tiang = 100%, tiang tidak mengalami keretakan pada saat pengujian.

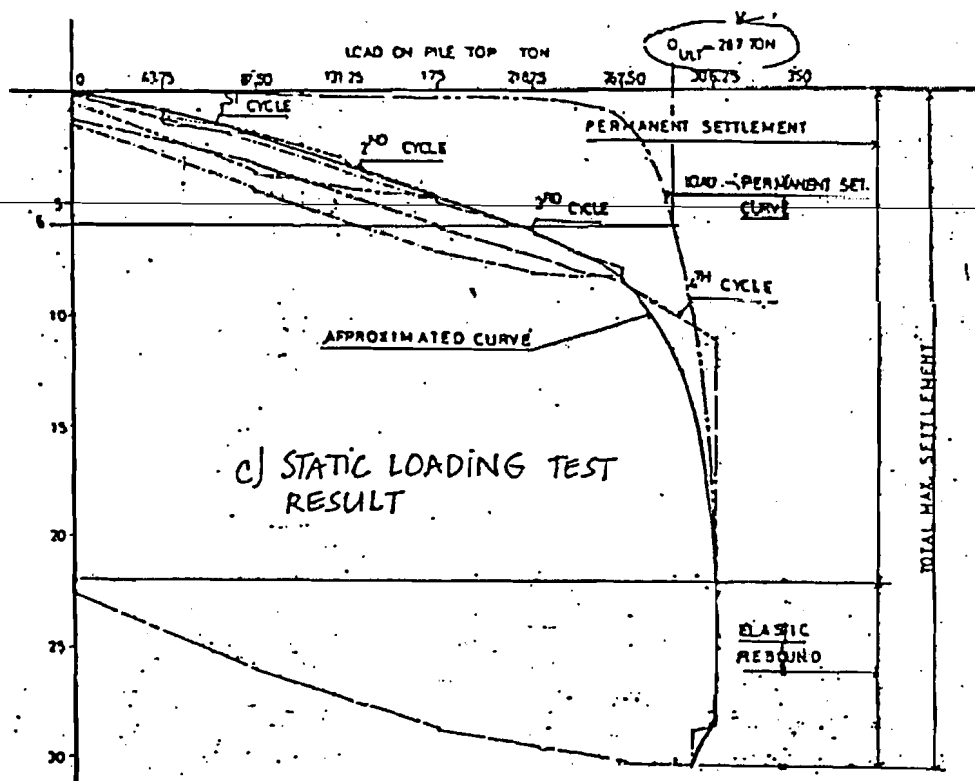
BPM 0 = Banyaknya tumbukan permenit 0 (Drop Hammer).

Hasil Loading Test daya dukung tiang = 287 ton.

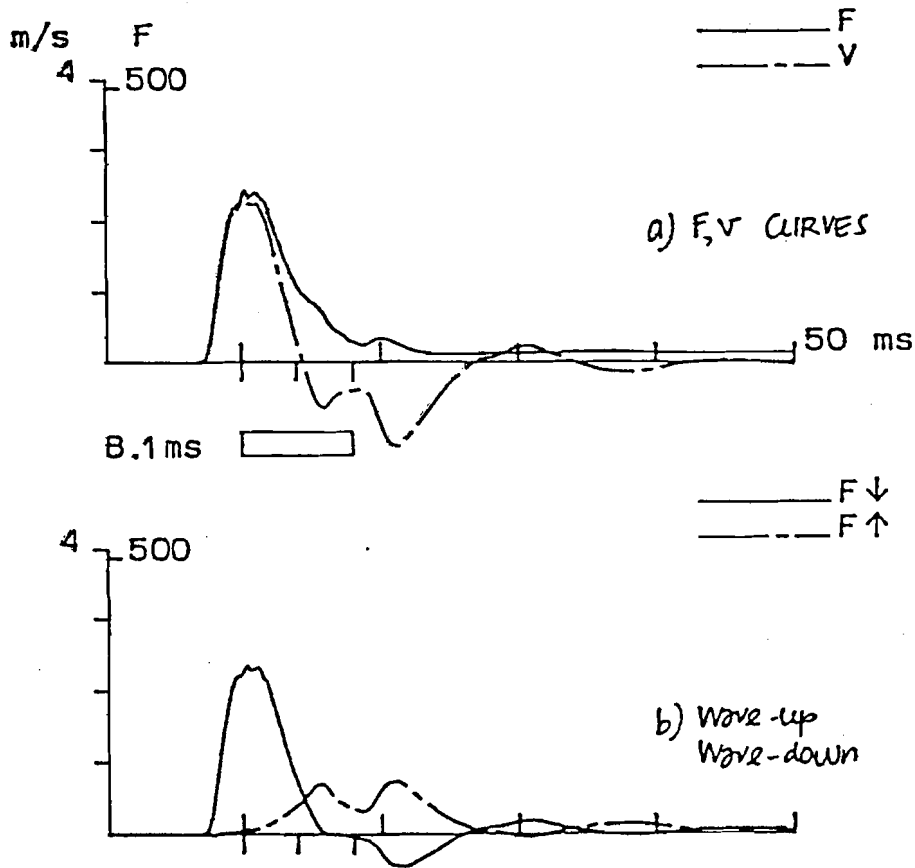
Pada Gambar 5.11. menunjukkan kondisi ultimate hampir tercapai pada saat waktu mendekati $2L/C$ untuk kurva

V. Pada kurva V menunjukkan pada uji beban terjadi 'unloading' karena tiang diuji beberapa waktu setelah pemancangan sehingga lengketan tanah telah bekerja pada dinding tiang (kurva V negatif sebelum SL/C. Untuk memperkirakan daya dukung tiang digunakan Case Method dengan daya tahan tiang RSU atau analisis ini dilakukan koreksi pada daerah yang mengalami 'unloading'. Jadi daya dukung tiang hasil pengujian dengan PDA adalah 285 ton.

Sedangkan pada gambar 5.10. ditunjukkan hasil uji beban secara statis pada pondasi tiang dilakukan beberapa hari setelah pengujian dengan PDA. Dari hasil Loading Test ini menunjukkan daya dukung tiang sebesar 287 ton. Dari kedua hasil tersebut menunjukkan perbedaan pada uji daya dukung tiang tidak berbeda jauh yaitu sebesar 2 ton.



Gambar 5.10. Hasil Loading Test SEN-PTB9



BN 2

RA2 252

RSU 285

FMX 316

EMX 263

BTA 100

BPM 0

Gambar 5.11. Hasil Pengujian PDA SEN-PTB9

Hasil-hasil pengujian di atas disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini.

Tabel 5.1.

Perbandingan PDA dengan Loading Test

No. Tiang	PDA (TD)	Loading Test (TD)
I	235	280
II	304	285
III	1830	1100
IV	121	122,5
V	287	285

Kesimpulan yang dapat diambil dari tabel 5.1. adalah:

1. Terdapat korelasi yang cukup baik antara hasil pengujian PDA dengan Loading Test untuk tiang bor maupun tiang pancang.
2. Untuk tiang 4 dan 5 perbedaan hasil sangat kecil.
3. Perbedaan pada tiang 1 terjadi karena pelaksanaan Loading Test lebih cepat dari seharusnya setelah mengalami pengujian PDA.
4. Pada tiang 3 perbedaan sangat besar karena pengujian beban dengan metode Loading Test dibatasi hanya 1100 ton.
5. Kurva beban - perpindahan hasil PDA dan CAPWAP rata-rata hampir berimpit dengan hasil Loading Test.

BAB VI

PEMBAHASAN

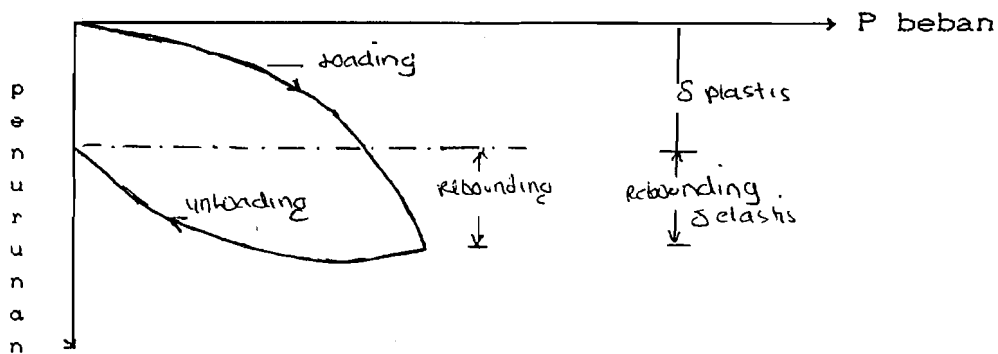
6.1. Umum

Pelaksanaan pengujian daya dukung tiang dengan Pile Driving Analyzer telah dapat dijadikan alternatif lain dalam pengujian tiang. Tetapi perbandingan pengujian tidak cukup dengan hanya membandingkan hasil akhirnya saja. Perlu juga perbandingan dalam hal penyajian hasil pengujian, waktu yang diperlukan, pelaksanaannya di lapangan dan besarnya biaya untuk setiap pengujian tiang. Untuk selanjutnya akan dibahas hal-hal tersebut di atas.

6.2. Penyajian hasil pengujian

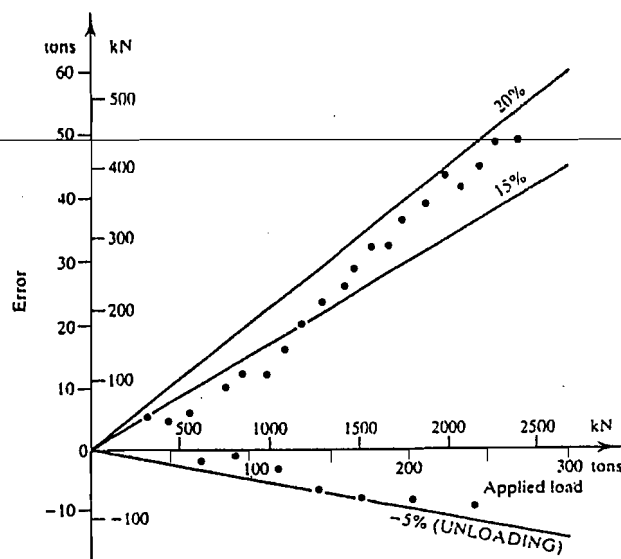
Pada Loading Test pemberian beban dilakukan secara bertahap dan biasanya sampai 200% dari beban perencanaan. Seperti yang telah diterangkan pada Bab III, cara yang dipakai adalah meningkatkan beban uji sampai jumlah tertentu lalu mengurangi beban uji hingga tanpa beban uji sampai kenaikan atau reaksi elastik tanah "rebound" berhenti. Tiang kemudian dibebani lagi sampai pada beban maksimum. Penambahan dan pengurangan ini merupakan siklus pembebanan atau disebut sebagai pembebanan cyclic.

Hasil pengujian setiap siklus disajikan dalam bentuk grafik pembebanan terhadap penurunan. Apabila penurunan yang terjadi melebihi batas yang telah ditetapkan maka tiang dianggap 'fail'.



Gambar 6.1. Grafik pembebanan terhadap penurunan

Dalam kenyataan di lapangan, daya dukung pondasi tiang sesungguhnya tidak pernah diketahui karena tiang tidak diuji sampai runtuh. Mengenai akurasi hasil pengujian statis, Fellinius (1984) menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran beban pada pengujian Loading Test dapat mencapai $\pm 20\%$ seperti terlihat pada gambar 6.2.



Gambar 6.2. Contoh kesalahan pengukuran beban pada pengujian statis (ASTM D-1143)

saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk lokasi pengujian yang sulit, maka pengujian dengan PDA adalah disarankan.

2. Untuk proyek-proyek berisiko tinggi dari segi keamanan maka tetap diperlukan pengujian daya dukung tiang dengan Loading Test.

3. Penulisan secara mendalam dengan contoh tiang yang lebih banyak sangat diharapkan guna membandingkan efektifitas pengukuran antara Loading Test dengan Pile Driving Analyzer lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bowles, Joseph.E., 1988, Analisa dan Disain Pondasi Jilid 1, Erlangga, Jakarta Pusat.
2. Bowles, Joseph.E., 1988, Analisa dan Disain Pondasi Jilid 2, Erlangga, Jakarta Pusat.
3. Goble, G.G., Modern Procedures for the Design of Driven Pile Foundations, Civil Engineering Department Texas A&M University, College Station, Texas, 1987.
4. Indrawan, Z., Pengujian Dinamis Daya Dukung Pondasi Tiang dengan Pile Driving Analyzer (PDA), Seminar Nasional dan Short Course "Perkembangan Perencanaan Struktur Bangunan Bertingkat Banyak di Indonesia", Universitas Kristen Indonesia Paulus, Ujung Pandang, 1991.
5. Nakazawa, K., dan Sosrodarsono, S., Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Tr.L.Taulu et al, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.
6. Rausche, F., Goble, G.G., Likins, G.E., Dynamic Determination of Pile Capacity, Journal of Geotechnical Engineering Vol. III No.3, ASCE, March, 1985.
7. Tomlinson, M.J., 1977, Pile Design and Construction Practice, Cement and Association, Grosvenor Gardens, London.
8. Wesley, L.D., 1977, Mekanika Tanah, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta Selatan.
9., et al., Penggunaan Pile Driving Analyzer untuk Quality Control Pondasi Tiang pada Proyek Pembangkit Listrik, Seminar dan Temu Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 1992.

L A M P I R A N



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Jl. Kaliurang Km 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta 68554

Nomor : 460/C.08.03/JTS/XII/94 Yogyakarta, 29 DES 1994
Lamp. : -
Hal : BIMBINGAN TUGAS AKHIR.

Kepada Yth. :
Bapak IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE.
di -
YOGYAKARTA.

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Dengan ini kami mohon dengan hormat kepada Bapak/Ibu agar mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan tersebut dibawah ini :

1. Nama : ZAIMA MUFANIRI
No. Mhs. : 89310086
N.I.R.M. : 895014330084
Bidang Studi : KONSTRUKSI
Tahun Akademi : 1994-1995

Dapat diberikan petunjuk-petunjuk, pengarahan serta bimbingan dalam melaksanakan Tugas Akhir.
Dengan dosen Pembimbing sbb. :

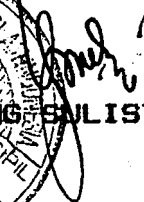

Dosen Pembimbing I : IR. IBNU SUDARMADJI, MS.
Dosen Pembimbing II : IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE.

Dengan mengambil topik : STUDI KOMPARASI HASIL PENGUJIAN
DAYA DUKUNG TANAH ANTARA LOADING TEST DENGAN PILE DRIVING
ANALYZER (PDA).

Demikian atas bantuan serta kerjasamanya diucapkan
terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

an. Dekan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil,


(IR. BAMBANG SULISTIONO, MSCE.)






UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Jl. Kaliurang Km 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta 68554

N o m o r : 556/C.08.03/JTS/II/95 Yogyakarta, 24 PEB 1995.
 L a m p . : -
 H a l : Mohon Bantuan.

Kepada Yth. :
 PIMPINAN
 PUSAT PELAYANAN ENGINEERING PLN
 DI -
 J A K A R T A .

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Sehubungan dengan Tugas Akhir yang akan dilaksanakan oleh mahasiswa kami, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, yang bernama :

ZAIMA MUFANIRI
 No. Mhs. : 89310086

Berkenaan hal tersebut dengan ini mohon kepada Bapak sudilah kiranya untuk dapat memberikan bantuan berupa hasil Loading Test dan Pile Driving Analyzer pada Proyek PLN Tanjung Priok. Demikian permohonan kami, atas perkenan serta bantuannya diucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

D e k a n ,

 Susastrawan, MS.)

ENGINEERING CHECK			
CIVIL	MECH.	ELECT.	INST.
2-92			

RECEIVED
 25 OCT 91
 PROJECT TEAM
 MUARA KARANG-CCPP 500MW
 PLN-PPE

**PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA
 MUARA KARANG COMBINED CYCLE POWER PLANT**

PRELIMINARY REPORT OF WORKING PILE
 CONVENTIONAL LOADING TEST

APPROVED
 APPROVED AND ACCEPTED
 NOT APPROVED

DATE _____
 DATE _____
 DATE _____
 DATE _____

FOR PLN SITE

This Approval of Interpretation does not relieve the Contractor of responsibility for accuracy of detail and proper functioning of the plant.

FOR APPROVAL

PERUSAHAAN UMUM LISTRIK NEGARA
 AGENCY OF THE MINISTRY OF MINES AND ENERGY
 OF THE GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF INDONESIA

MUARA KARANG COMBINED CYCLE POWER PLANT
 500MW PHASE - I

PUSAT PELAYANAN ENJINIRING

DWG. NO. 1205-00-5-0000-0000-0000-0000

SPECIFICATION VOLUME AND FILE NUMBER 4/3/S301 REV 00

ISSUED BY: *[Signature]*

CONTRACT NO. 030 -- A.PJP/ 22/1991/M

*0891/06/06/1991/1992/1992
 2-9/26/92*

REMARK	PURCHASER	Power Plant Construction Department Planning and Control Section	
	ORDER ITEM NO.		
CALCULATION NO.	DATE REFERENCES	Checked by :	REVISION NO. 00
		Designed by :	
		Drawn by :	
MARK-1-L T-05		Date of Issue :	

UNITOMO CORPORATION

P R E F A C E

This report writes in respect of the results of working pile loading tests carried out in GTG II, MUARA KARANG COMBINED CYCLE POWER STATION.

This Pile Loading Test was conducted on 27 September, 1991 at GTG 2 area on pile No. 26 and the result was found to be as follows :

The result shows - Yield Point at 240 T
RA = $240/2$ minus NF 18.7 T
= 101.3 Tons

This is lower than the required Design Bearing Capacity of 120 Tons.

The reason for this low bearing capacity is attributed to the following two factors :

1. The steel plate which was placed on the pile head was not in an even position due to the uneven surface of the cut pile. As the position of the steel plate was not in the same plane and uniform with the pile head, the force applied on the steel plate could not be distributed evenly to the entire surface of the pile head and this caused some cracks to appear on the pile head.
2. Pile Loading Test was conducted 10 days after the PDA Test. Normally this should be 14 days after the PDA Test. We presume that the skin friction did not recover fully by that time.

It is, therefore, decided to have another conventional test on 18 October, 1991 on another pile (Pile No. 21) at GTG 2 foundation.

C O N T E N T S

1. PILE TAST DATA
 (1) GENERAL1
 (2) SOIL CONDITION2
 (3) LOCATION OF PILE .. 3

2. METHOD OF LOADING TEST
 (1) GENERAL4
 (2) LOADING STEP8
 (3) LOADING AND MEASURING9

3. TEST EQUIPMENT
 (1) HYDRAULIC JACK ... 10
 (2) MANOMETER10
 (3) HAND PUMP10
 (4) DIAL GAUGE11
 (5) REFERENCE BEAM ... 11
 (6) STANDARD11

4. TEST RESULT.....12

5. EVALUATION17

6. PHOTO

APPENDIX

1. PILE TEST DATA

(1) GENERAL

Type : Concrete Hollow Prestressed Pile
Location : G T G - 2 No. 26
Diameter of pile : 6 0 0 m / m
Depth of penetration : 1 9 . 9 0 m
Driving date : S e p t. 5 t h. 1 9 9 1
P D A Test : S e p t. 1 3 r d, 1 9 9 1
Type Hammer : K o b e l c o K - 3 5
Piston weight : 3 , 5 0 0 K g
Total weight : 7 , 5 0 0 K g
Maximum energy : 10, 5 0 0 K g m
Total nos of blows : 5 6 6
Design load : 1 3 8 . 7 t o n s
Maximum test load : 2 8 0 t o n s
Date of start testing : S e p t. 2 3 r d, 1 9 9 1

2) SOIL CONDITION

FIG DRILLING LOG

Test No: 003-07 Project: RIG WUKA KARANG Type of Drilling: Rotary
 Elevation: RL 116 m Date: July 26 to July 28, 1991
 Driller: WRAHATI (Thomas)

Penetration Test
 P: Standard Penetration Test
 N - Value
 10 20 30 40 50

Sample No.	Depth in m	General Remarks	Relative Density or Consistency	Colour	Type of Soil	Legend	Thickness in m	Depth in m	Elevation in m
P-1	1.00		Medium	Reddish Brown	Silly Clay		1.50	0.10	1.60
P-2	2.00	Arg. clay with fine sand, locally with sh. fragments	Very Soft	Dark Grey	Silly Clay			0.10	1.50
P-3	3.00								
P-4	4.00								
P-5	5.00								
P-6	6.00								
P-7	7.00								
P-8	8.00								
P-9	9.00	df. sh. fragments	Very Soft	Dark Grey	Silly Clay		6.50		
P-10	10.00								
P-11	11.00								
P-12	12.00								
P-13	13.00	Yellowish brown particles of upper	Medium	Dark Grey	Silly Clay		5.00	11.40	13.00
P-14	14.00								
P-15	15.00	Occasionally weathy							
P-16	16.00								
P-17	17.00								
P-18	18.00	loc. cemented sil.							
P-19	19.00	fine sand at base	Very Soft	Brown	Silt		1.00	17.40	19.00
P-20	20.00	loc. cemented sil.							
P-21	21.00	loc. cemented					2.00	19.40	21.00
P-22	22.00								
P-23	23.00								
P-24	24.00	loc. angular shape	Very Soft	Dark Grey	Silly Clay		3.00	22.40	24.00
P-25	25.00	loc. angular shape							
P-26	26.00								
P-27	27.00								
P-28	28.00								
P-29	29.00								
P-30	30.00								
P-31	31.00								
P-32	32.00								
P-33	33.00								
P-34	34.00								
P-35	35.00								
P-36	36.00								
P-37	37.00								
P-38	38.00								
P-39	39.00								
P-40	40.00								
P-41	41.00								
P-42	42.00								
P-43	43.00								
P-44	44.00								
P-45	45.00								
P-46	46.00								
P-47	47.00								
P-48	48.00								
P-49	49.00								
P-50	50.00								

Embedded Length = 19.9 m

EL+1.50

Standard Penetration Test

Sampling

Depth in m

General Remarks

Relative Density or Consistency

Colour

Type of Soil

Legend

Thickness in m

Depth in m

Elevation in m

(3) LOCATION OF PILE

TEST PILE

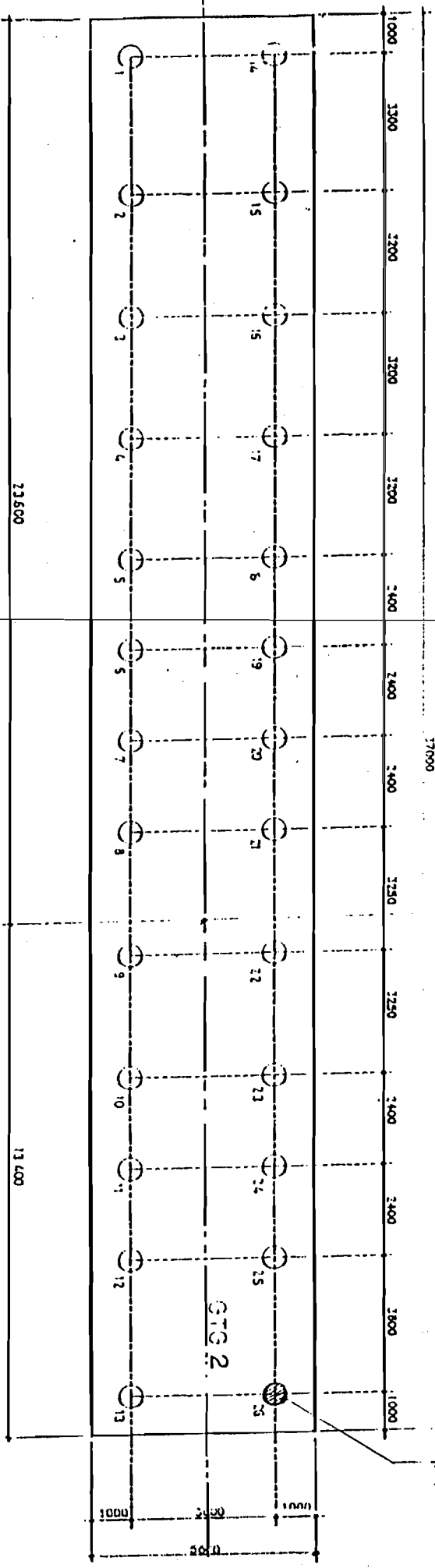


Fig. 2 LOCATION OF TEST PILE

2. METHOD OF LOADING TEST

(1) GENERAL

The method of loading used herein is " Kentledge System " using the concrete blocks for reaction as arranged on steel platform which consists of 22 nos of steel secondary beams, in area of 12.00 x 6.00 m². The secondary beams are supported on two pieces of concrete blocks with 2 shafts with first dimension 6.00 x 2.00 x 2.00 m³. (See Fig. 3 5)

The weight of concrete blocks on the platform is about 300 tons added by the weight of crosshead or main beams and platform of about 15 tons.

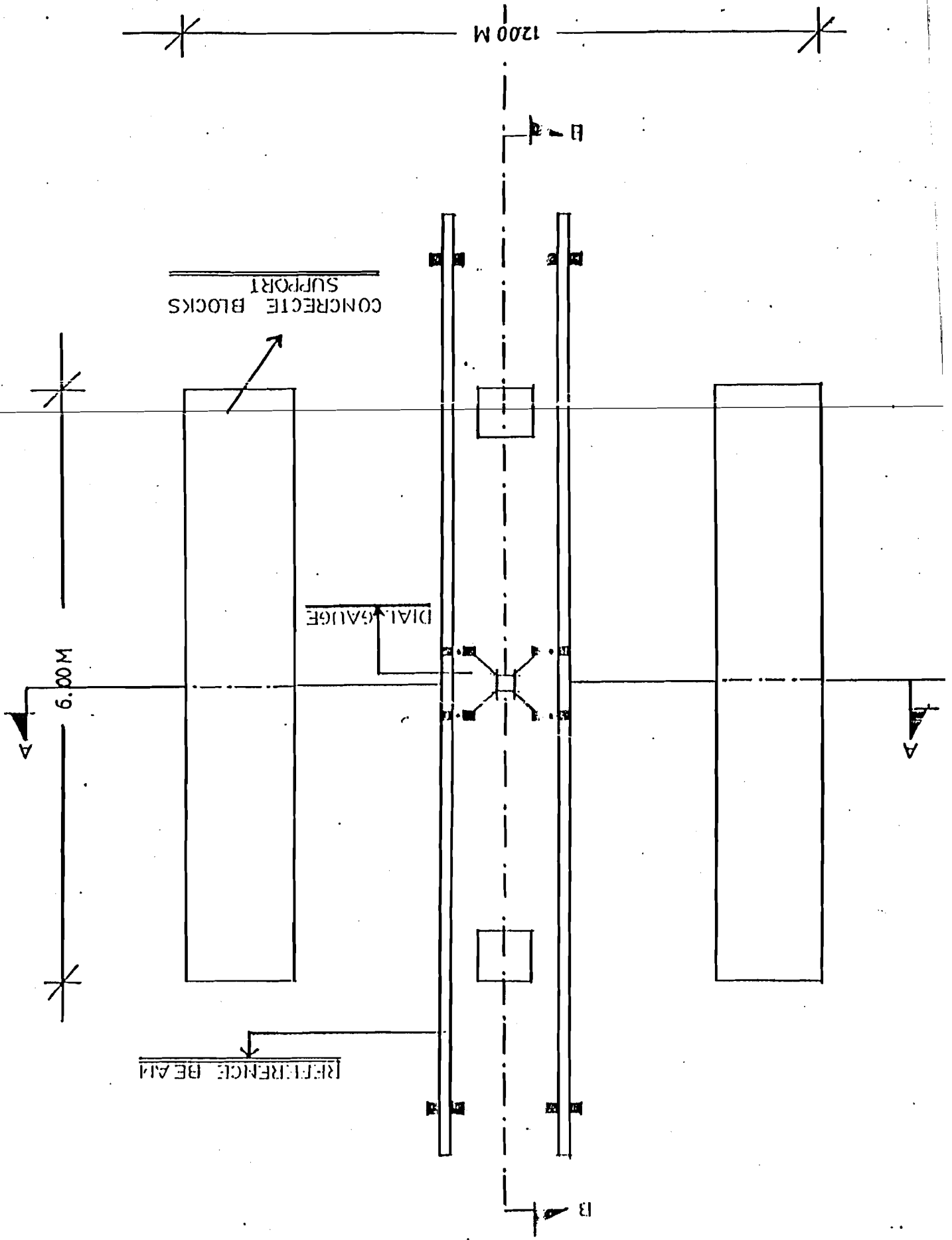
Loading is applied by using a hydraulic jack placed between the pile head and the of the main or test beam, connected to the hand pump which is provided with a manometer to measure the load acting on the pile head.

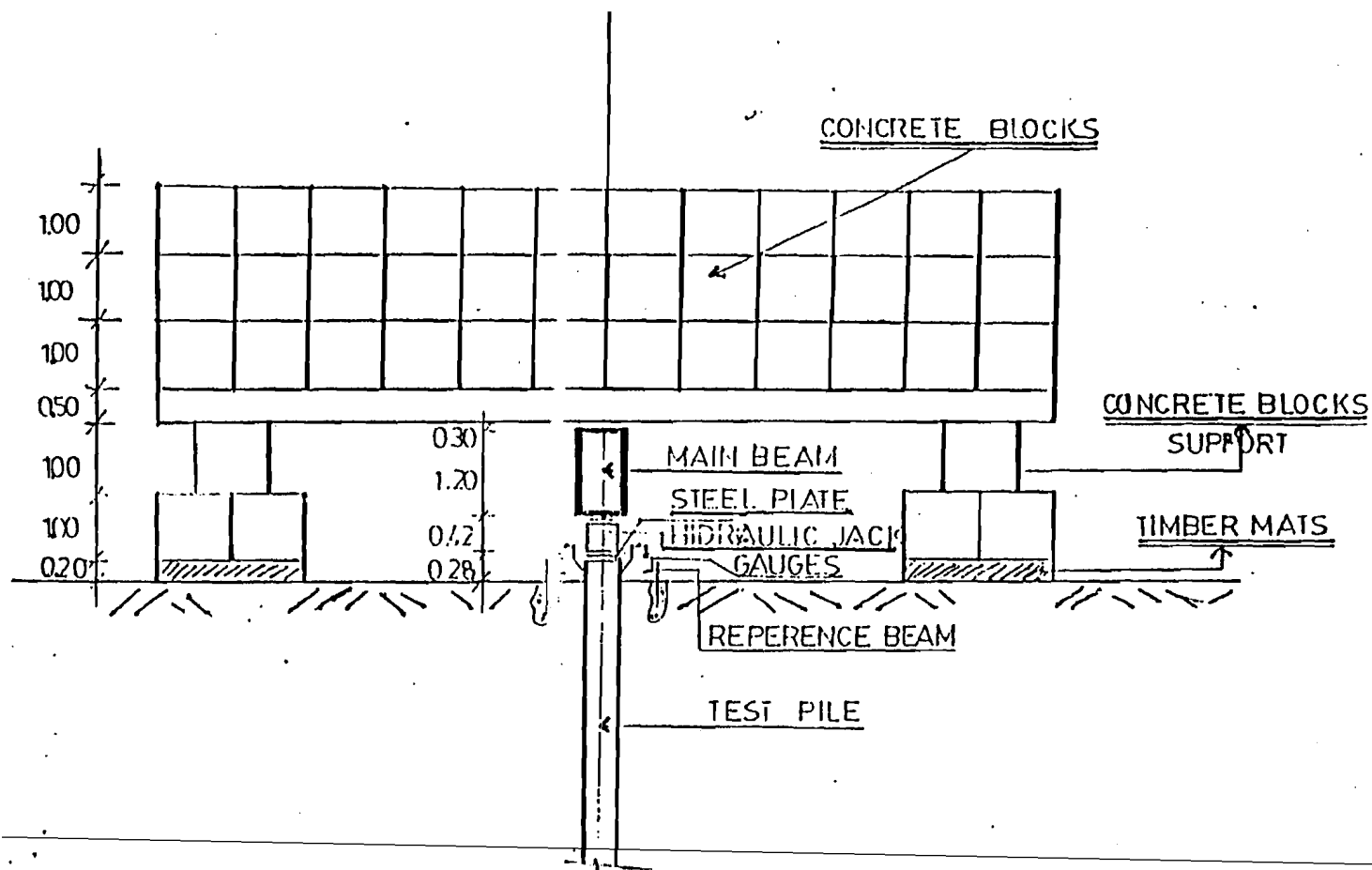
As a load measuring device is used a manometer attached on the hand pump.

The vertical deflection of the pile head is measure by using four dial gauges fixed diagonally at the steel bracket and in contact with a horizontal steel beam which is referred as " References Beam " that is, supported independently.

Fig. 3. LOADING TEST PLAN

5





12.00 M

Fig 4. SECTION A-A

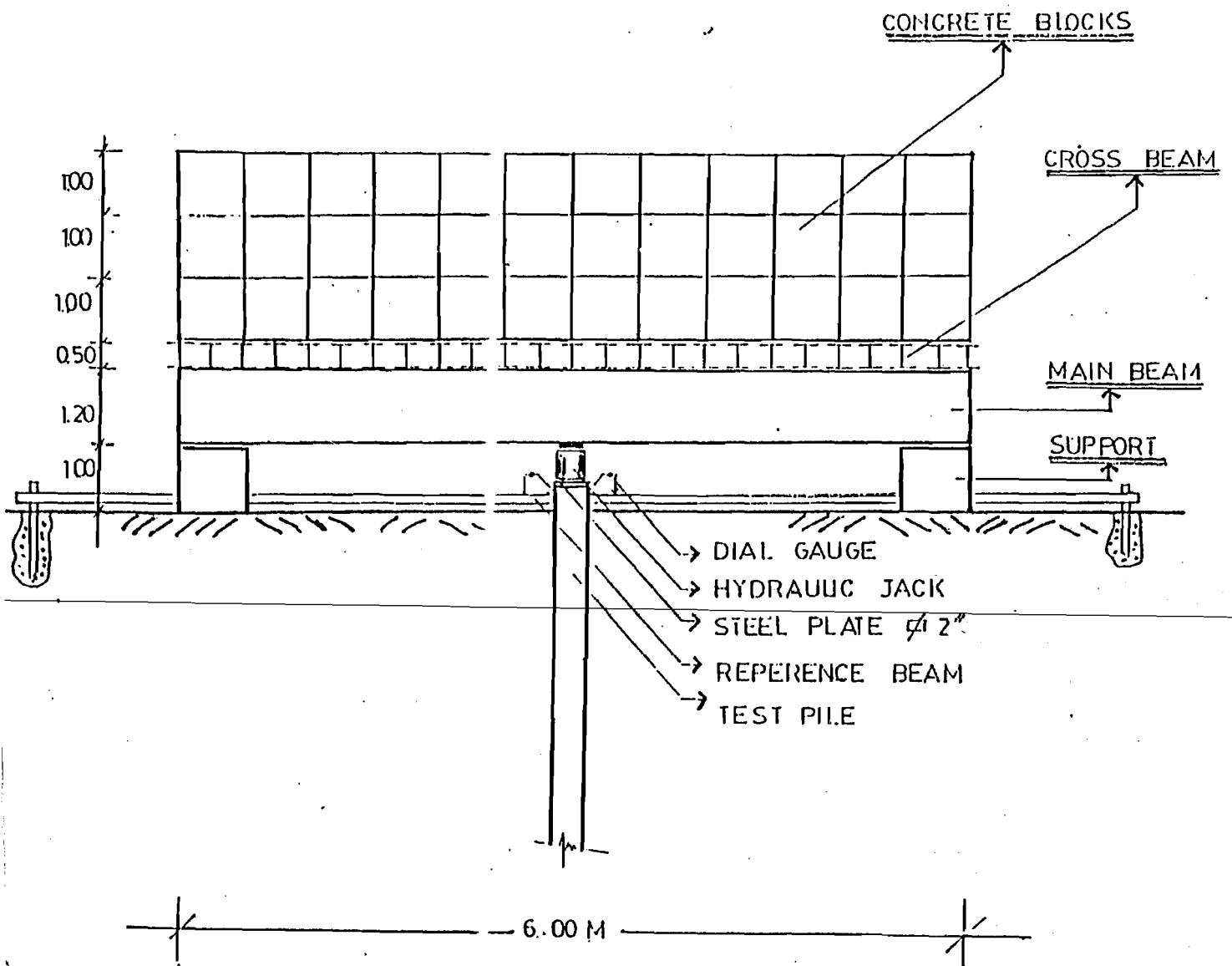
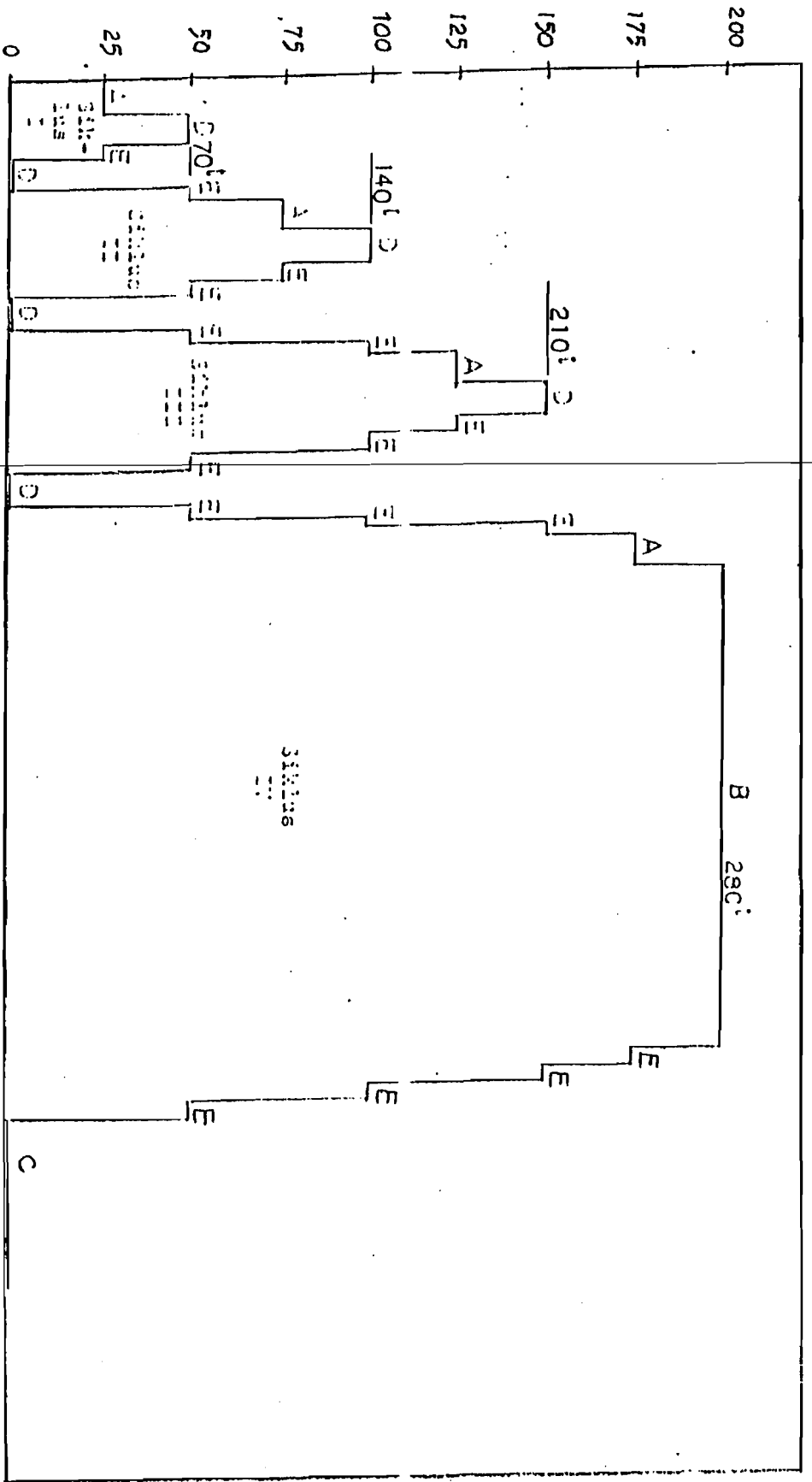


Fig 5. SECTION B-B



Note : A - 1 hour if set s < 0.25 mm / hour or maximum 2 hours
 B - 12 hours if set s < 0.25 mm / hour or maximum 24 hours
 C - until s < 0.25 mm / hour or maximum 12 hours
 D - 1 hour
 E - 20 minutes

Fig 6. LOADING STEP

4. TEST RESULT

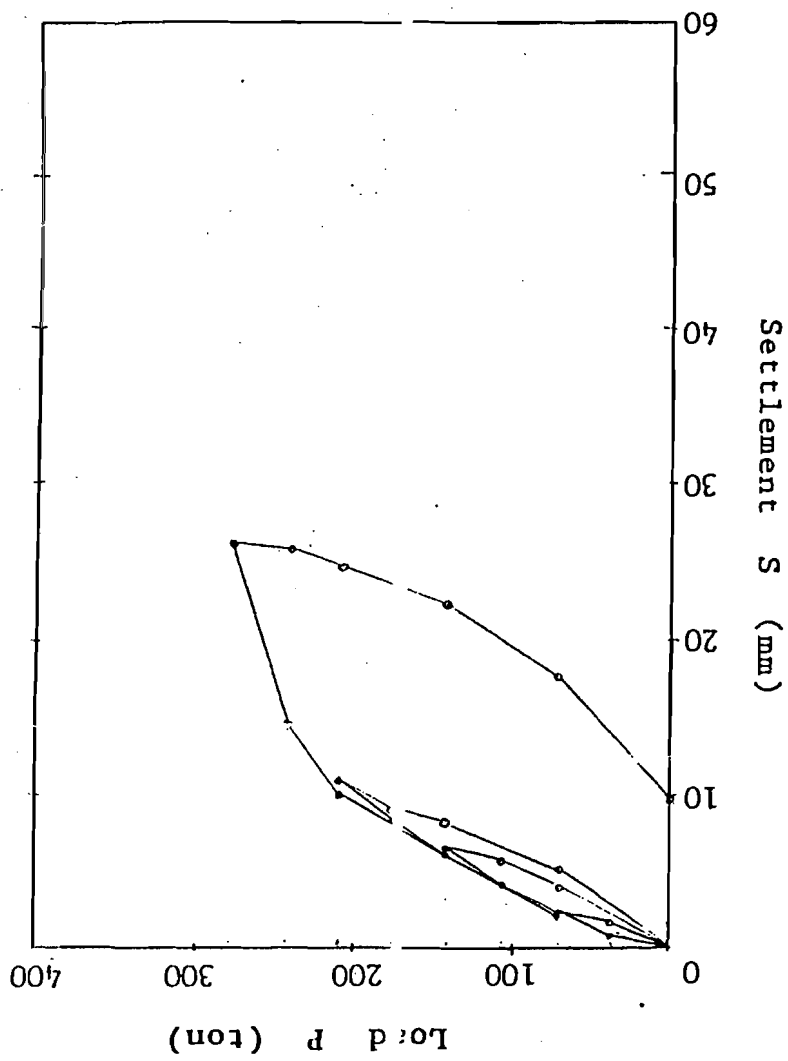
From the result of the loading test carried out to maximum test load of 280 tons test pile it's observed that total settlement at different applied load are listed below :

LOAD (TONS)	TOTAL SETTLEMENT (MM)	
	ELASTIC	PERMANENT
140.00	6.570 mm	0.050 mm
280.00	16.550 mm	9.860 mm

It's clearly shown that at maximum test load of 280 tons, the corresponding settlement is 26.410 mm, and the permanent settlement is 9.860 mm.

That means the rebound/elastic settlement is 16.550 mm.

Fig. 8. P - S CURVE



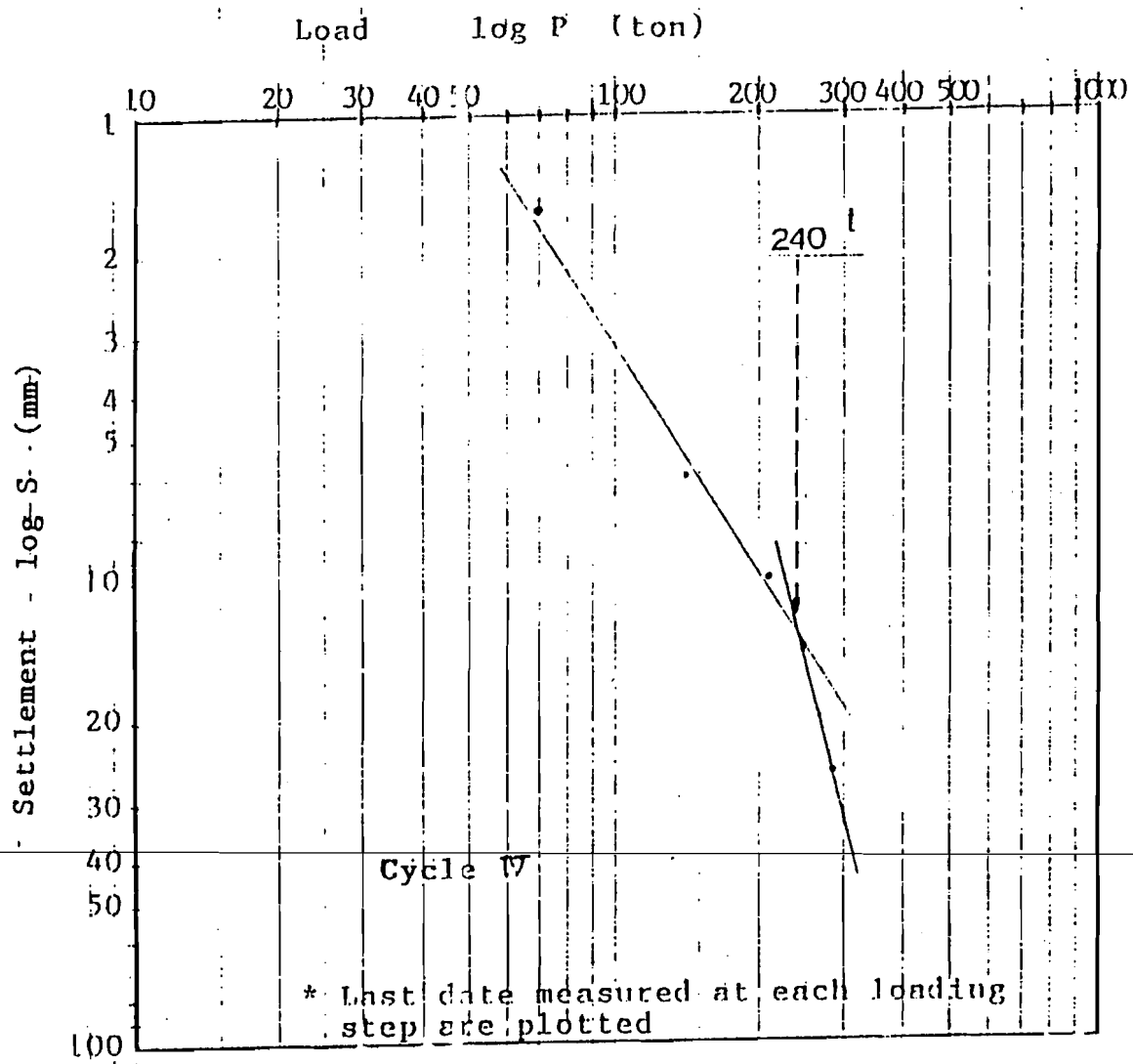


Fig. 9 log P - log S Curve

5. Evaluation

Maximum settlement of the pile head is 264 mm at the maximum test load 280 ton.

Fig. 9 shows log P - log S curve of the final loading cycle 4. In this figure we can find the yeilding point at load is 240 ton. (In case the line has a changing point, we can jugde the yeilding point at the first changing point). And Pall is usually estimated half of the yeilding load Py (Pall = Py/2)

The Pall estimated from Py is as follows.

$$\begin{aligned} \text{Pall} &= \text{Py}/2 - \text{NF} \\ &= 240/2 - 13.7 = 101.3 \text{ ton} \end{aligned}$$

Date/Time	Test Load (Tons)	SETTLEMENT READINGS (MM)				LEVEL READ		Average Settlement (MM)
		Dial No. 1	Dial No. 2	Dial No. 3	Dial No. 4	Scale A	Scale B	
20. "	105	3. 63	3. 67	4. 47	4. 10			3. 25
20. 27	"	3. 70	3. 70	4. 47	4. 11			3. 29
20. 31	"	3. 70	3. 70	4. 47	4. 11			3. 29
20. 37	"	3. 71	3. 71	4. 47	4. 12			4. 00
20. 37	"	3. 71	3. 71	4. 47	4. 12			4. 00
21. 00	"	3. 71	3. 71	4. 47	4. 13			4. 00
21. 00	"	3. 72	3. 72	4. 47	4. 14			4. 01
21. 07	110	6. 87	6. 13	6. 45	6. 22			6. 10
21. 09	"	6. 49	6. 30	6. 45	6. 27			6. 28
21. 30	"	6. 58	6. 39	6. 55	6. 35			6. 36
21. 43	"	6. 62	6. 44	6. 59	6. 39			6. 47
21. 53	"	6. 63	6. 48	6. 61	6. 41			6. 51
21. 03	"	6. 68	6. 50	6. 64	6. 43			6. 56
22. 13	"	6. 70	6. 52	6. 64	6. 44			6. 57
22. 14	105	5. 85	5. 68	5. 69	5. 56			5. 69
22. 24	"	5. 84	5. 66	5. 69	5. 55			5. 68
22. 34	"	5. 84	5. 65	5. 69	5. 55			5. 68
22. 35	70.	3. 86	3. 70	3. 76	3. 83			3. 78
22. 55	"	3. 82	3. 68	3. 76	3. 85			3. 77
22. 55	"	3. 82	3. 68	3. 76	3. 85			3. 77
23. 06	0.	0. 05	0. 15	0. 00	0. 21.			0. 10
23. 06	"	0. 05	0. 15	0. 00	0. 04			0. 06
23. 16	"	0. 05	0. 15	0. 00	0. 04			0. 06
23. 26	"	0. 05	0. 00	0. 00	0. 00			0. 00
23. 36	"	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00			0. 00
23. 46	"	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00			0. 00
23. 56	"	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00			0. 00
24. 58	70.	1. 44	1. 21	1. 97	2. 16			1. 69
24. 09	"	1. 46	1. 24	1. 97	2. 17			1. 71
24. 18	"	1. 46	1. 24	1. 97	2. 17			1. 71
24. 22	140.	5. 92	5. 52	5. 80	5. 90			5. 78
24. 32	"	6. 05	5. 65	5. 87	6. 00			5. 89
24. 42	"	6. 12	5. 74	5. 94	6. 06			5. 96
24. 47	175.	8. 58	7. 45	6. 85	7. 72			7. 65
24. 57	"	8. 77	7. 60	6. 92	7. 86			7. 79
07. 07	"	8. 92	7. 72	7. 00	8. 00			7. 91
07. 17	"	9. 01	7. 80	7. 08	8. 09			7. 99
07. 27	"	9. 06	7. 86	7. 12	8. 14			8. 04
07. 37	"	9. 12	7. 89	7. 17	8. 19			8. 09
07. 47	"	9. 16	7. 94	7. 21	8. 24			8. 13
07. 57	"	9. 19	7. 96	7. 24	8. 28			8. 16

Date/Time	Test Load (Tons)	SETTLEMENT READINGS (MM)				LEVEL READ		Average Settlement (MM)	
		Dial No. 1	Dial No. 2	Dial No. 3	Dial No. 4	Scale A	Scale B		
07. 12	245	15. 42	12. 17	9. 80	13. 67			12.	29.
07. 22	"	15. 54	12. 26	9. 90	13. 89			12.	27.
07. 32	"	16. 04	12. 71	10. 27	14. 32			13.	33.
07. 42	"	16. 31	12. 97	10. 50	14. 58			13.	57.
07. 52	"	16. 56	13. 22	10. 73	14. 84			13.	84.
08. 02	"	16. 24	13. 37	10. 87	15. 02			14.	01.
08. 12	"	16. 52	13. 57	11. 02	15. 13			14.	13.
08. 22	"	16. 27	13. 67	11. 15	15. 26			14.	25.
08. 32	"	17. 08	13. 72	11. 24	15. 36			14.	35.
08. 44	"	17. 19	13. 83	11. 38	15. 45			14.	46.
08. 52	"	17. 26	13. 92	11. 44	15. 52			14.	55.
09. 02	"	17. 36	13. 99	11. 50	15. 61			14.	62.
09. 12	"	17. 43	14. 06	11. 57	15. 70			14.	69.
09. 22	280	21. 28	20. 46	16. 40	22. 58			19.	23.
09. 33	"	21. 49	20. 53	16. 42	22. 61			20.	77.
09. 48	"	21. 00	21. 00	16. 40	22. 61			21.	52.
09. 58	"	21. 50	21. 00	16. 40	22. 61			21.	41.
10. 08	"	21. 70	21. 11	17. 42	23. 76			21.	20.
10. 18	"	21. 92	21. 30	17. 20	23. 01			21.	42.
10. 28	"	21. 11	21. 11	18. 00	24. 21			22.	60.
10. 38	"	21. 27	21. 27	18. 28	24. 45			22.	81.
10. 48	"	21. 49	21. 42	18. 47	24. 57			22.	78.
10. 58	"	21. 64	21. 62	18. 42	24. 61			23.	11.
11. 08	"	21. 74	21. 73	18. 61	24. 71			23.	21.
11. 18	"	21. 84	21. 81	18. 71	24. 87			23.	32.
11. 28	"	21. 97	21. 96	18. 89	25. 02			23.	46.
12. 38	"	27. 54	23. 40	19. 33	29. 40			24.	91.
13. 28	"	27. 73	23. 60	19. 64	29. 77			24.	51.
14. 38	"	27. 97	23. 80	19. 29	29. 01			24.	15.
15. 38	"	28. 14	24. 29	20. 00	29. 15			24.	42.
16. 38	"	28. 15	24. 00	20. 76	29. 26			25.	60.
17. 38	"	28. 40	24. 31	21. 28	29. 57			25.	31.
18. 38	"	28. 66	24. 57	21. 51	29. 78			25.	13.
19. 38	"	28. 81	24. 77	21. 67	29. 96			26.	29.
20. 38	"	28. 86	24. 72	21. 72	29. 98			26.	33.
21. 38	"	28. 93	24. 82	21. 80	29. 08			26.	41.
21. 49	245	29. 60	25. 52	21. 56	29. 69			26.	74.
21. 39	"	29. 57	25. 57	21. 34	29. 68			26.	23.
21. 19	"	29. 59	25. 51	21. 32	29. 67			26.	02.
21. 10	"	29. 71	25. 59	21. 17	29. 67			27.	00.
21. 10	"	29. 63	25. 64	21. 07	29. 61			27.	44.
21. 10	"	29. 64	25. 64	21. 06	29. 61			27.	73.

Date/Time	Test Load (Tons)	SETTLEMENT READINGS (MM)				LEVEL READ	Average Settlement (MM)
		Dial No. 1	Dial No. 2	Dial No. 3	Dial No. 4		
22. 11	140.	25. 89	22. 12	17. 39	24. 23	22.	28
22. 21	"	25. 80	22. 05	17. 20	24. 16	22.	26
22. 31	"	25. 78	22. 02	17. 17	24. 14	22.	26
22. 42	70.	20. 37	17. 52	13. 02	11. 99	17.	12
22. 52	"	20. 25	17. 47	12. 57	11. 96	17.	11
23. 02	"	20. 20	17. 42	12. 52	11. 94	17.	11
23. 12	"	14. 46	11. 30	8. 30	15. 30	12.	12
23. 22	"	13. 51	10. 07	7. 37	14. 45	11.	11
23. 32	"	11. 82	8. 17	5. 17	11. 19	11.	11
23. 42	"	11. 42	8. 05	5. 05	10. 05	10.	10
23. 52	"	11. 34	8. 04	5. 04	10. 03	10.	10
23. 03	"	11. 24	7. 54	4. 54	9. 93	10.	10
23. 13	"	11. 17	7. 49	4. 49	9. 86	10.	10
23. 23	"	11. 10	7. 44	4. 44	9. 80	10.	10
23. 33	"	11. 04	7. 39	4. 39	9. 74	10.	10
23. 43	"	11. 01	7. 36	4. 36	9. 71	10.	10
23. 53	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
23. 04	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
23. 14	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
23. 24	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
23. 34	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
23. 44	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
23. 54	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
24. 04	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
24. 14	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
24. 24	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
24. 34	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
24. 44	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10
24. 54	"	11. 00	7. 35	4. 35	9. 70	10.	10

PT. NUSKUTAN PERASTA
 PT. PAKUMAH PERASTA
 (Sol m. / so)

PT. BRANTAS AIR PERASTA
 (SISID DWI PRASTO)

PT. NUSKUTAN PERASTA
 PT. PAKUMAH PERASTA

6/24/91