

TUGAS AKHIR

ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE NAVY – MC. KEY

Diajukan untuk memenuhi syarat akademis dalam menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Sarjana (Strata-1) Teknik Sipil
Fakultas Teknik – Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP

Disusun Oleh :

Mulyana Saputra
2112197015



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA (USB) - YPKP
BANDUNG
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGUNAKAN METODE NAVY – MC. KEY

Disusun Oleh :

Mulyana Saputra
2112197015

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan dan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP

Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing

Chandra Afriade, ST., MT
432.200.167

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Slamet Risnanto, ST., MT.
432.200.125

Chandra Afriade Siregar, ST., MT.
432.200.167

SURAT PERNYATAAN KEABSAHAN

Dengan ini penulis menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini yang berjudul **“ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE NAVY – MC. KEY “** tidak terdapat karya yang pernah di lakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam Tugas Akhir ini sebagaimana disebutkan dalam Daftar Pustaka. Selain itu penulis menyatakan pula, bahwa Tugas Akhir ini dibuat oleh penulis sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka penulis bersedia dikenai sanksi/resiko sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandung, Februari 2022
Pembuat Pernyataan

Mulyana Saputra
2112197015

**ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG
FONDASI TIANG PANCANG DENGAN
MENGUNAKAN METODE NAVY – MC. KEY**

Oleh :

Mulyana Saputra
2112197015

Sebuah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana - YPKP

© Mulyana_S_2022

Universitas Sangga Buana - YPKP

2022

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan di cetak ulang, di foto kopi atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dengan nama lengkap Mulyana Saputra yang saat ini berumur 38 tahun lahir di Cimahi, 15 Januari 1984 merupakan anak ketujuh dari delapan bersaudara, dari pasangan Bapak Ruchijat dan Ibu Aah Tati Sumiati. Penulis Adalah berjenis kelamin Laki-Laki dengan Status Menikah

Penulis memulai pendidikan formal di SD Negeri Mawar Cimahi lulus tahun 1996, SMP Negeri 3 Cimahi lulus tahun 1999, SMK Negeri 2 Bandung lulus tahun 2002 dan melanjutkan ke jenjang pendidikan Strata Satu (S1) Di Universitas Sangga Buana YPKP Bandung jurusan Teknik Sipil.

Penulis memiliki pengalaman bekerja mulai bekerja pada Tahun 2012 sampai sekarang sebagai Pegawai Negeri Sipil Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Pemerintah Kabupaten Bandung.

PERSEMBAHAN

Alloh SWT yang telah memberikan nikmat kemampuan dan kekuatan untuk menyelesaikan Skripsi ini.

Ibu dan Bapak Tercinta Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Ayah yang telah memberikan doa, kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dalam kata persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ibu dan Ayah bahagia karena kusadar, selama ini belum bisa berbuat yang lebih.

Untuk Istriku Tercinta Cici Cartika, S.Pd yang senantiasa mendukung dan memberikan semangat dalam menjalani kehidupan ini, serta kedua anakku yang menjadi penyemangatku. Semoga Allah SWT senantiasa selalu memberikan keberkahan kepada keluarga kita.

Untuk semua saudara-saudaraku di Cimahi dan Purwakarta yang selalu mendukung baik moril maupun materil. Semoga selalu dalam lindungan dan Ridho Alloh SWT.

Segenap civitas akademika kampus Universitas Sangga Buana YPKP Bandung, dosen, karyawan dan seluruh mahasiswa, semoga kita semua selalu dalam lindungan Alloh SWT.

Segenap Teman, Sahabat yang telah menemani hari-hari dalam kesibukan perkuliahan dan pekerjaan, terimakasih atas segala dukungan dan semangat semoga Alloh SWT membalas semua kebaikannya.

MOTTO



“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil, tapi berusahalah untuk menjadi manusia yang berguna”

(Albert Einstein)

“Bekerjalah seolah engkau akan hidup 1000 tahun lagi dan beribadallah seolah engkau akan mati esok hari”

“Bukan doamu yang tidak dikabulkan, hanya saja Alloh punya sesuatu yang lebih baik dari yang kamu inginkan”.

“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), maka pasti azab-Ku sangat berat.”

(Q.S Ibrohim : 7)

ABSTRAK

Dalam pembangunan suatu konstruksi, pekerjaan fondasi (struktur bawah/*sub strukture*) merupakan pekerjaan pertama yang dilaksanakan sebelum melaksanakan pekerjaan struktur atas (*upper structure*). Pembangunan suatu fondasi sangat besar fungsinya pada suatu konstruksi. Secara umum fondasi didefinisikan sebagai bangunan bawah tanah yang meneruskan beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri dan beban luar yang bekerja pada bangunan ke tanah yang ada disekitarnya.

Fondasi tiang pancang adalah bagian struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Fondasi tiang pancang bentuknya panjang dan langsing untuk dapat menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Dalam pelaksanaan fondasi tiang pancang yaitu dengan dipukul/dipancang dengan palu besar.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis kapasitas daya dukung tiang pancang menggunakan formula dinamis metode *Navy – Mc. Key*.

Dalam Metode *Navy – Mc. Key* faktor-faktor yang mempengaruhi dalam menghitung kapasitas daya dukung tiang adalah berat palu/hammer, berat tiang pancang, tinggi jatuh palu/hammer, penetrasi tiang (*final set*) terakhir, koefisien alat (*efisiensi*). Hasil analisis tiang pancang beton diameter 40 cm dan kedalaman 42 m berdasarkan formula dinamis Metode *Navy – Mc. Key* didapat kapasitas daya dukung tiang pancang ultimate maksimum sebesar 420.058 ton dan minimum sebesar 105.015 ton.

Kata Kunci : fondasi tiang, tiang pancang, metode *Navy – Mc. Key*, kapasitas daya dukung

ABSTRACT

In the construction of a construction, the foundation work (sub-structure) is the first work carried out before carrying out the work on the upper structure. The construction of a foundation has a very large function in a construction. In general, the foundation is defined as an underground building that transmits the load that comes from the weight of the building itself and external loads acting on the building to the surrounding soil.

Pile foundation is a part of the structure that is used to receive and distribute the load from the superstructure to the supporting soil which is located at a certain depth. The pile foundation is long and slender to be able to transmit the load to deeper soil. In the implementation of the pile foundation, namely by being hit / driven with a big hammer.

In this study, an analysis of the carrying capacity of the pile was carried out using the dynamic formula of the Navy – Mc method. Key.

In the Navy Method – Mc. Key factors that influence in calculating the bearing capacity of the pile are hammer weight, pile weight, hammer drop height, final pile penetration (final set), tool coefficient (efficiency). The results of the analysis of concrete piles with a diameter of 40 cm and a depth of 42 m based on the dynamic formula of the Navy – Mc. Key obtained the maximum ultimate pile bearing capacity of 420.058 tons and a minimum of 105,015 tons.

Key Words : pile foundation, pile, Navy – Mc. Key method, bearing capacity

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, terimakasih yang terbesar kepada Yang Maha Mengetahui Allah SWT. Shalawat serta salam buat Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat, dan para pengikutnya.

Penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE NAVY – MC. KEY**”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP.

Penulis sangat menyadari bahwa usulan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan dan kelemahan, baik dalam penyajian materi maupun dalam pemberian analisis yang disebabkan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun terhadap kesempurnaan usulan penelitian ini.

Dengan selesainya penulis menyusun Tugas Akhir, maka perkenankanlah penulis pada kesempatan ini untuk mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Dr. H. Asep Effendi R, SE., PIA**, Selaku Rektor Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.
2. **Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si.**, Selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.

3. **Memi Sulaksmi, SE., M.Si.**, Selaku Wakil Rektor II Bidang Administrasi dan Keuangan Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.
4. **Dr. Deni Nurdyana H, Drs, M.Si.**, Selaku Wakil Rektor III Bidang Kemahasiswaan Universitas SanggaBuana – YPKP - Bandung.
5. **Slamet Risnanto, ST., M.Kom**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP - Bandung.
6. **Chandra Afriade Siregar, ST., MT.**, Selaku Ketua Program Pendidikan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP – Bandung dan dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini.
7. **Muhammad Syukri, ST., MT.**, selaku Wakil Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana – YPKP – Bandung
8. **Sutedjo, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung
9. **Dosen-dosen dan Staff-staff** di Universitas Sangga Buana YPKP - Bandung yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu, atas segala kebaikan dan bantuannya selama ini.
10. **Staff Dosen** Fakultas Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP Bandung.
11. **Kedua Orang Tua** tercinta, atas dukungan do'a material yang tidak henti – hentinya mendoakan penulis.
12. Dan semua pihak yang telah membantu penyusun dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penyusun berharap agar laporan ini dapat bermanfaat. Penyusun mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dimasa yang akan datang. Atas segala perhatiannya, penyusun mengucapkan terima kasih.

Bandung, Februari 2022

Mulyana Saputra
2112197015

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	ii
HALAMAN HAK CIPTA	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB II	STUDI LITERATUR.....	7
2.1	Definisi Tanah.....	7
2.1.1	Asal Usul Batuan	9
2.1.2	Jenis Tanah Berdasarkan Ukuran Butir	7
2.1.3	Sistem Klasifikasi AASHTO.....	13
2.1.4	Sistem Klasifikasi USCS	15
2.2	Fondasi	18
2.2.1	Fondasi Dangkal (<i>Shallow Foundation</i>).....	20
2.2.2	Fondasi Dalam (<i>Deep Foundation</i>)	24
2.3	Kapasitas Daya Dukung Cara Dinamis.....	29
2.3.1	Persamaan Dinamis Modifikasi Hiley	29
2.3.2	Metode Wijaya Karya (WIKA)	31
2.3.3	Persamaan Eytelwein.....	32
2.3.4	Persamaan Danish.....	33
2.3.5	Persamaan <i>Modified New Engineering News</i> <i>Record (ENR)</i>	33
2.3.6	Persamaan Navy-MC Key	34
2.4	Jenis-jenis <i>Hammer</i>	35
2.4.1	<i>Drop Hammer</i>	35
2.4.2	<i>Diesel Hammer</i>	36
2.4.3	<i>Hydraulic static pile driver (HSPD)</i>	38
2.4.4	<i>Vibratory Pile Driver</i>	40
2.4.5	<i>Steam Hammer</i>	40
2.5	Pemancangan Tiang	42

2.6	Perhitungan Pemancangan	44
2.6.1	Kekuatan Tiang.....	44
2.6.2	Persyaratan-persyaratan Pemancangan.....	45
2.7	Kalendering Pemancangan	46
2.7.1	Pelaksanaan Kalendering.....	46
2.7.2	Penghentian Pemancangan	48
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	49
3.1	Diagram Alir Penelitian	49
3.2	Pekerjaan Persiapan	50
3.3	Pengumpulan Data.....	50
3.4	Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Formula Dimanis Metode <i>Navi – Mc. Key</i>	52
BAB IV	PEMBAHASAN	53
4.1	Lokasi Penelitian	53
4.2	Denah Dan Potongan Memanjang Struktur Jembatan Rancabeureum ...	53
4.3	Kompilasi Data.....	57
4.3.1	Data Spesifikasi Alat	57
4.3.2	Data Fondasi Tiang Pancang	58
4.3.3	Denah Titik Fondasi Tiang Pancang	59
4.3.4	Data Kalendering	60
4.4	Analisis Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Formula Dinamis Metode <i>Navy – Mc. Key</i>	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah.....	8
Gambar 2.2 Siklus Batuan.....	9
Gambar 2.3 Batasan Ukuran Golongan Tanah Menurut Beberapa Sistem...	11
Gambar 2.4 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh USDA.....	12
Gambar 2.5 Rentang (<i>range</i>) dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) untuk Tanah Butir Halus	15
Gambar 2.6 <i>Strip Foundations</i> (Fondasi Menerus).....	22
Gambar 2.7 <i>Pad Foundations</i> (Fondasi Tapak).....	23
Gambar 2.8 <i>Raft Foundations</i> (Fondasi Tikar).....	24
Gambar 2.9 Fondasi Tiang Kayu	26
Gambar 2.10 Gambar 2.10 Jenis-jenis <i>Cast In Situ Pile</i>	27
Gambar 2.11 Fondasi Tiang Baja.....	28
Gambar 2.12 Fondasi Tiang Komposit	28
Gambar 2.13 Hasil penetrasi tiang pancang.....	31
Gambar 2.14 <i>Drop Hammer</i>	36
Gambar 2.15 <i>Diesel hammer</i>	37
Gambar 2.16 <i>Hydraulic Static Pile Driver</i>	39
Gambar 2.17 <i>Vibratory Pile Driver</i>	40
Gambar 2.18 <i>Single Acting Hammer</i>	41
Gambar 2.19 <i>Double Acting Hammer</i>	42
Gambar 2.20 Pelaksanaan Kalendering	48

Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	49
Gambar 4.1	Denah Jembatan Rancabeureum	54
Gambar 4.2	Potongan Memanjang Jembatan Rancabeureum.....	55
Gambar 4.3	Proses Pemancangan Tiang Pancang Dengan <i>Diesel Hammer</i>	56
Gambar 4.4	Denah Titik Fondasi Tiang Pancang	59
Gambar 4.5	Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Batas (Qu) Metode Navy-Mc Key	64
Gambar 4.6	Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Ijin (Qall) Metode Navy-Mc Key	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah	10
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)	14
Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi USCS	17
Tabel 4.1 Tabel 4.1 Spesifikasi Alat	57
Tabel 4.2 Spesifikasi Tiang Pancang Diameter 40 cm	58
Tabel 4.3 Data Kalendering	60
Tabel 4.4 Nilai Kapasitas Daya Dukung Metode Navy – Mc. Key	63

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, terimakasih yang terbesar kepada Yang Maha Mengetahui Allah SWT. Shalawat serta salam buat Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat, dan para pengikutnya.

Penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE NAVY – MC. KEY**”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP.

Penulis sangat menyadari bahwa usulan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan dan kelemahan, baik dalam penyajian materi maupun dalam pemberian analisis yang disebabkan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun terhadap kesempurnaan usulan penelitian ini.

Dengan selesainya penulis menyusun Tugas Akhir, maka perkenankanlah penulis pada kesempatan ini untuk mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Dr. H. Asep Effendi R, SE., PIA**, Selaku Rektor Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.
2. **Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si.**, Selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.

3. **Memi Sulaksmi, SE., M.Si.**, Selaku Wakil Rektor II Bidang Administrasi dan Keuangan Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.
4. **Dr. Deni Nurdyana H, Drs, M.Si.**, Selaku Wakil Rektor III Bidang Kemahasiswaan Universitas SanggaBuana – YPKP - Bandung.
5. **Slamet Risnanto, ST., M.Kom**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP - Bandung.
6. **Chandra Afriade Siregar, ST., MT.**, Selaku Ketua Program Pendidikan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP – Bandung dan dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini.
7. **Muhammad Syukri, ST., MT.**, selaku Wakil Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana – YPKP – Bandung
8. **Sutedjo, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung
9. **Dosen-dosen dan Staff-staff** di Universitas Sangga Buana YPKP - Bandung yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu, atas segala kebaikan dan bantuannya selama ini.
10. **Staff Dosen** Fakultas Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP Bandung.
11. **Kedua Orang Tua** tercinta, atas dukungan do'a material yang tidak henti – hentinya mendoakan penulis.
12. Dan semua pihak yang telah membantu penyusun dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penyusun berharap agar laporan ini dapat bermanfaat. Penyusun mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dimasa yang akan datang. Atas segala perhatiannya, penyusun mengucapkan terima kasih.

Bandung, Februari 2022

Mulyana Saputra
2112197015

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	ii
HALAMAN HAK CIPTA	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB II	STUDI LITERATUR.....	7
2.1	Definisi Tanah.....	7
2.1.1	Asal Usul Batuan	9
2.1.2	Jenis Tanah Berdasarkan Ukuran Butir	7
2.1.3	Sistem Klasifikasi AASHTO.....	13
2.1.4	Sistem Klasifikasi USCS	15
2.2	Fondasi	18
2.2.1	Fondasi Dangkal (<i>Shallow Foundation</i>).....	20
2.2.2	Fondasi Dalam (<i>Deep Foundation</i>)	24
2.3	Kapasitas Daya Dukung Cara Dinamis.....	29
2.3.1	Persamaan Dinamis Modifikasi Hiley	29
2.3.2	Metode Wijaya Karya (WIKA)	31
2.3.3	Persamaan Eytelwein.....	32
2.3.4	Persamaan Danish.....	33
2.3.5	Persamaan <i>Modified New Engineering News</i> <i>Record (ENR)</i>	33
2.3.6	Persamaan Navy-MC Key	34
2.4	Jenis-jenis <i>Hammer</i>	35
2.4.1	<i>Drop Hammer</i>	35
2.4.2	<i>Diesel Hammer</i>	36
2.4.3	<i>Hydraulic static pile driver (HSPD)</i>	38
2.4.4	<i>Vibratory Pile Driver</i>	40
2.4.5	<i>Steam Hammer</i>	40
2.5	Pemancangan Tiang	42

2.6	Perhitungan Pemancangan	44
2.6.1	Kekuatan Tiang.....	44
2.6.2	Persyaratan-persyaratan Pemancangan.....	45
2.7	Kalendering Pemancangan	46
2.7.1	Pelaksanaan Kalendering.....	46
2.7.2	Penghentian Pemancangan	48
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	49
3.1	Diagram Alir Penelitian	49
3.2	Pekerjaan Persiapan	50
3.3	Pengumpulan Data.....	50
3.4	Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Formula Dimanis Metode <i>Navi – Mc. Key</i>	52
BAB IV	PEMBAHASAN	53
4.1	Lokasi Penelitian	53
4.2	Denah Dan Potongan Memanjang Struktur Jembatan Rancabeureum ...	53
4.3	Kompilasi Data.....	57
4.3.1	Data Spesifikasi Alat	57
4.3.2	Data Fondasi Tiang Pancang	58
4.3.3	Denah Titik Fondasi Tiang Pancang	59
4.3.4	Data Kalendering	60
4.4	Analisis Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Formula Dinamis Metode <i>Navy – Mc. Key</i>	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah.....	8
Gambar 2.2 Siklus Batuan.....	9
Gambar 2.3 Batasan Ukuran Golongan Tanah Menurut Beberapa Sistem...	11
Gambar 2.4 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh USDA.....	12
Gambar 2.5 Rentang (<i>range</i>) dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) untuk Tanah Butir Halus	15
Gambar 2.6 <i>Strip Foundations</i> (Fondasi Menerus).....	22
Gambar 2.7 <i>Pad Foundations</i> (Fondasi Tapak).....	23
Gambar 2.8 <i>Raft Foundations</i> (Fondasi Tikar).....	24
Gambar 2.9 Fondasi Tiang Kayu	26
Gambar 2.10 Gambar 2.10 Jenis-jenis <i>Cast In Situ Pile</i>	27
Gambar 2.11 Fondasi Tiang Baja.....	28
Gambar 2.12 Fondasi Tiang Komposit	28
Gambar 2.13 Hasil penetrasi tiang pancang.....	31
Gambar 2.14 <i>Drop Hammer</i>	36
Gambar 2.15 <i>Diesel hammer</i>	37
Gambar 2.16 <i>Hydraulic Static Pile Driver</i>	39
Gambar 2.17 <i>Vibratory Pile Driver</i>	40
Gambar 2.18 <i>Single Acting Hammer</i>	41
Gambar 2.19 <i>Double Acting Hammer</i>	42
Gambar 2.20 Pelaksanaan Kalendering	48

Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	49
Gambar 4.1	Denah Jembatan Rancabeureum	54
Gambar 4.2	Potongan Memanjang Jembatan Rancabeureum.....	55
Gambar 4.3	Proses Pemancangan Tiang Pancang Dengan <i>Diesel Hammer</i>	56
Gambar 4.4	Denah Titik Fondasi Tiang Pancang	59
Gambar 4.5	Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Batas (Qu) Metode Navy-Mc Key	64
Gambar 4.6	Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Ijin (Qall) Metode Navy-Mc Key	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah	10
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)	14
Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi USCS	17
Tabel 4.1 Tabel 4.1 Spesifikasi Alat	57
Tabel 4.2 Spesifikasi Tiang Pancang Diameter 40 cm	58
Tabel 4.3 Data Kalendering	60
Tabel 4.4 Nilai Kapasitas Daya Dukung Metode Navy – Mc. Key	63

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, terimakasih yang terbesar kepada Yang Maha Mengetahui Allah SWT. Shalawat serta salam buat Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat, dan para pengikutnya.

Penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE NAVY – MC. KEY**”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP.

Penulis sangat menyadari bahwa usulan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan dan kelemahan, baik dalam penyajian materi maupun dalam pemberian analisis yang disebabkan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun terhadap kesempurnaan usulan penelitian ini.

Dengan selesainya penulis menyusun Tugas Akhir, maka perkenankanlah penulis pada kesempatan ini untuk mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Dr. H. Asep Effendi R, SE., PIA**, Selaku Rektor Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.
2. **Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si.**, Selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.

3. **Memi Sulaksmi, SE., M.Si.**, Selaku Wakil Rektor II Bidang Administrasi dan Keuangan Universitas Sangga Buana – YPKP - Bandung.
4. **Dr. Deni Nurdyana H, Drs, M.Si.**, Selaku Wakil Rektor III Bidang Kemahasiswaan Universitas SanggaBuana – YPKP - Bandung.
5. **Slamet Risnanto, ST., M.Kom**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP - Bandung.
6. **Chandra Afriade Siregar, ST., MT.**, Selaku Ketua Program Pendidikan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP – Bandung dan dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini.
7. **Muhammad Syukri, ST., MT.**, selaku Wakil Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana – YPKP – Bandung
8. **Sutedjo, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung
9. **Dosen-dosen dan Staff-staff** di Universitas Sangga Buana YPKP - Bandung yang tidak bisa saya sebutkan satu-satu, atas segala kebaikan dan bantuannya selama ini.
10. **Staff Dosen** Fakultas Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB) - YPKP Bandung.
11. **Kedua Orang Tua** tercinta, atas dukungan do'a material yang tidak henti – hentinya mendoakan penulis.
12. Dan semua pihak yang telah membantu penyusun dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penyusun berharap agar laporan ini dapat bermanfaat. Penyusun mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dimasa yang akan datang. Atas segala perhatiannya, penyusun mengucapkan terima kasih.

Bandung, Februari 2022

Mulyana Saputra
2112197015

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	ii
HALAMAN HAK CIPTA	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud dan Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB II	STUDI LITERATUR.....	7
2.1	Definisi Tanah.....	7
2.1.1	Asal Usul Batuan	9
2.1.2	Jenis Tanah Berdasarkan Ukuran Butir	7
2.1.3	Sistem Klasifikasi AASHTO.....	13
2.1.4	Sistem Klasifikasi USCS	15
2.2	Fondasi	18
2.2.1	Fondasi Dangkal (<i>Shallow Foundation</i>).....	20
2.2.2	Fondasi Dalam (<i>Deep Foundation</i>)	24
2.3	Kapasitas Daya Dukung Cara Dinamis.....	29
2.3.1	Persamaan Dinamis Modifikasi Hiley	29
2.3.2	Metode Wijaya Karya (WIKA)	31
2.3.3	Persamaan Eytelwein.....	32
2.3.4	Persamaan Danish.....	33
2.3.5	Persamaan <i>Modified New Engineering News</i> <i>Record (ENR)</i>	33
2.3.6	Persamaan Navy-MC Key	34
2.4	Jenis-jenis <i>Hammer</i>	35
2.4.1	<i>Drop Hammer</i>	35
2.4.2	<i>Diesel Hammer</i>	36
2.4.3	<i>Hydraulic static pile driver (HSPD)</i>	38
2.4.4	<i>Vibratory Pile Driver</i>	40
2.4.5	<i>Steam Hammer</i>	40
2.5	Pemancangan Tiang	42

2.6	Perhitungan Pemancangan	44
2.6.1	Kekuatan Tiang.....	44
2.6.2	Persyaratan-persyaratan Pemancangan.....	45
2.7	Kalendering Pemancangan	46
2.7.1	Pelaksanaan Kalendering.....	46
2.7.2	Penghentian Pemancangan	48
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	49
3.1	Diagram Alir Penelitian	49
3.2	Pekerjaan Persiapan	50
3.3	Pengumpulan Data.....	50
3.4	Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Formula Dimanis Metode <i>Navi – Mc. Key</i>	52
BAB IV	PEMBAHASAN	53
4.1	Lokasi Penelitian	53
4.2	Denah Dan Potongan Memanjang Struktur Jembatan Rancabeureum ...	53
4.3	Kompilasi Data.....	57
4.3.1	Data Spesifikasi Alat	57
4.3.2	Data Fondasi Tiang Pancang	58
4.3.3	Denah Titik Fondasi Tiang Pancang	59
4.3.4	Data Kalendering	60
4.4	Analisis Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Formula Dinamis Metode <i>Navy – Mc. Key</i>	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan.....	66
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah.....	8
Gambar 2.2 Siklus Batuan.....	9
Gambar 2.3 Batasan Ukuran Golongan Tanah Menurut Beberapa Sistem...	11
Gambar 2.4 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh USDA.....	12
Gambar 2.5 Rentang (<i>range</i>) dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) untuk Tanah Butir Halus	15
Gambar 2.6 <i>Strip Foundations</i> (Fondasi Menerus).....	22
Gambar 2.7 <i>Pad Foundations</i> (Fondasi Tapak).....	23
Gambar 2.8 <i>Raft Foundations</i> (Fondasi Tikar).....	24
Gambar 2.9 Fondasi Tiang Kayu	26
Gambar 2.10 Gambar 2.10 Jenis-jenis <i>Cast In Situ Pile</i>	27
Gambar 2.11 Fondasi Tiang Baja.....	28
Gambar 2.12 Fondasi Tiang Komposit	28
Gambar 2.13 Hasil penetrasi tiang pancang.....	31
Gambar 2.14 <i>Drop Hammer</i>	36
Gambar 2.15 <i>Diesel hammer</i>	37
Gambar 2.16 <i>Hydraulic Static Pile Driver</i>	39
Gambar 2.17 <i>Vibratory Pile Driver</i>	40
Gambar 2.18 <i>Single Acting Hammer</i>	41
Gambar 2.19 <i>Double Acting Hammer</i>	42
Gambar 2.20 Pelaksanaan Kalendering	48

Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	49
Gambar 4.1	Denah Jembatan Rancabeureum	54
Gambar 4.2	Potongan Memanjang Jembatan Rancabeureum.....	55
Gambar 4.3	Proses Pemancangan Tiang Pancang Dengan <i>Diesel Hammer</i>	56
Gambar 4.4	Denah Titik Fondasi Tiang Pancang	59
Gambar 4.5	Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Batas (Qu) Metode Navy-Mc Key	64
Gambar 4.6	Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Ijin (Qall) Metode Navy-Mc Key	64

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah	10
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)	14
Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi USCS	17
Tabel 4.1 Tabel 4.1 Spesifikasi Alat	57
Tabel 4.2 Spesifikasi Tiang Pancang Diameter 40 cm	58
Tabel 4.3 Data Kalendering	60
Tabel 4.4 Nilai Kapasitas Daya Dukung Metode Navy – Mc. Key	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pembangunan suatu konstruksi, pekerjaan fondasi (struktur bawah/*sub strukture*) merupakan pekerjaan pertama yang dilaksanakan sebelum melaksanakan pekerjaan struktur atas (*upper structure*). Pembangunan suatu fondasi sangat besar fungsinya pada suatu konstruksi. Secara umum fondasi didefinisikan sebagai bangunan bawah tanah yang meneruskan beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri dan beban luar yang bekerja pada bangunan ke tanah yang ada disekitarnya.

Struktur bawah sebagai fondasi juga secara umum dapat dibagi dalam dua jenis yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Pemilihan jenis fondasi ini tergantung kepada jenis struktur atas, apakah termasuk konstruksi beban ringan atau beban berat dan juga jenis tanahnya. Fondasi digunakan untuk menyalurkan beban struktur atas ke dalam tanah tanpa mengakibatkan terjadinya keruntuhan geser tanah dan penurunan yang berlebihan (Rekayasa Fundasi I, Chandra).

Fondasi dalam berupa fondasi tiang berdasarkan cara pelaksanaannya dapat dibagi menjadi fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor. Fondasi tiang ini dapat terbuat dari beton, baja, dan kayu.

Fondasi tiang pancang adalah bagian struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu. Fondasi tiang pancang bentuknya panjang dan langsing untuk dapat menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Dalam pelaksanaan fondasi tiang pancang yaitu dengan dipukul/dipancang dengan palu besar.

Fondasi tiang pancang digunakan sebagai fondasi bangunan apabila tanah yang berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat struktur/bangunan yang diatas atau yang bekerja padanya. Atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berapa pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah.

Dalam perencanaan fondasi dalam banyak metode analisis yang digunakan dan maka dari dalam tugas akhir ini dikonsentrasikan dalam analisis fondasi dalam khususnya permasalahan fondasi tiang pancang. Fondasi tiang pancang merupakan fondasi tiang/batang yang relatif panjang dan langsing yang digunakan untuk menyalurkan beban fondasi melewati lapisan tanah dengan daya dukung rendah kelapisan tanah keras yang mempunyai kapasitas daya dukung tinggi yang relatif cukup dalam dibanding fondasi dangkal. Daya dukung tiang pancang diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara tiang pancang dan tanah disekelilingnya.

Secara umum tiang pancang dapat diklasifikasikan antara lain: dari segi bahan ada tiang pancang bertulang, tiang pancang pratekan, tiang pancang baja, dan tiang pancang kayu. Dari segi bentang penampang, tiang pancang bujur sangkar, segitiga, segi enam, bulat padat, pipa, huruf H, huruf I, dan bentuk spesifik. Dari segi teknik pemancangan, dapat dilakukan dengan palu jatuh (*drop hammer*), *diesel hammer*, dan *hidrolic hammer*.

Tiang pancang berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Ada dua metode yang biasa digunakan

dalam penentuan kapasitas daya dukung tiang pancang yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis.

Dalam menganalisis kapasitas daya dukung fondasi tiang dapat dilakukan dengan formula statis dan formula dinamis. Pada formula statis diperlukan data-data karakteristik tanah dari penyelidikan tanah lapangan berupa uji lapangan (sondir dan SPT) dan uji laboratorium (berat isi, berat jenis, sudut geser tanah, dan kohesi tanah). Sedangkan formula dinamis memerlukan data-data pelaksanaan lapangan seperti spesifikasi alat pancang, data kalendering, dan data karakteristik fondasi tiang.

Penulis akan menganalisis kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang dengan menggunakan metode formula dinamis. Formula dinamis yang akan penulis analisis adalah metode *Navy – Mc. Key*. Formula dinamis didasarkan pada hubungan daya dukung tiang pancang dengan energi pemancangan tiang sebagai nilai *set* serta menganggap perlawanan tanah pada saat pemancangan adalah sama dengan kapasitas tiang untuk memukul beban dalam keadaan statis.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini yang merupakan rumusan masalah yang akan dibahas adalah :

1. Apa yang menjadi faktor pengaruh pada analisis kapasitas daya dukung tersebut dengan formula dinamis metode *Navy - Mc. Key*?
2. Bagaimana menganalisa kapasitas daya dukung tiang pancang dengan menggunakan formula dinamis metode *Navy - Mc. Key*?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari analisis yang penulis lakukan adalah mengkaji kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan data lapangan dengan menggunakan formula dinamis metode *Navy - Mc. Key*.

Sedangkan tujuan dari penelitian ini sebagai tulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui faktor pengaruh pada analisis kapasitas daya dukung tersebut dengan formula dinamis metode *Navy - Mc. Key*
2. Mendapatkan kapasitas daya dukung tiang pancang dengan menggunakan formula dinamis metode *Navy - Mc. Key*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah yang akan digunakan untuk mendapatkan hasil penelitian ini lebih baik. Adapun batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan adalah hasil data kalendering proyek pembangunan Jembatan Rancabeureum oleh kontraktor PT. Waskita Jaya Purnama dan PT. Taruna Putra Pertiwi.
2. Tiang pancang yang digunakan dari beton dengan lingkaran diameter 40 cm.
3. Alat pemancangan yang digunakan adalah *Diesel Hammer*.
4. Analisis kapasitas daya dukung tiang pancang menggunakan formula dinamis metode *Navy - Mc. Key*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk menambah ilmu pengetahuan, khususnya tentang analisis kapasitas daya dukung fondasi tiang

pancang dengan menggunakan formula dinamis khususnya metode Wujaya Karya (Wika).

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi kepada semua pihak yang berkaitan. Sebagai bahan pertimbangan untuk instansi terkait dalam proyek pembangunan jembatan yang sejenis.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam laporan tugas akhir ini yang berjudul “**ANALISIS KAPASITAS DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE NAVY - MC. KEY**” terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan bingkai studi atau rancangan yang akan dilakukan meliputi latar belakang, perumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Merupakan kajian teori-teori tanah, teori dan jenis-jenis fondasi, dan analisis kapasitas daya dukung tiang pancang dengan formula dinamis terutama metode *Navy - Mc. Key* serta hasil studi yang relevan yang telah dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Merupakan bab yang berisikan tentang metodologi yang dipakai dalam penelitian ini, sumber data yang diperoleh dan alur penulisan pada tugas akhir ini dan analisis yang akan digunakan.

BAB IV PEMBAHASAN

Merupakan bab yang terdiri dari data-data yang digunakan dan perhitungan serta analisis kapasitas daya dukung tiang pancang dengan menggunakan formula dinamis metode *Navy - Mc. Key*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang berisikan kesimpulan dan saran dari analisis yang telah dilakukan. Dalam kesimpulan ini dijelaskan yang mempengaruhi besar atau kecilnya suatu nilai kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang dan nilai kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang maksimum serta minimum. Selain kesimpulan, dalam bab ini juga memberikan saran-saran agar penelitian ini lebih baik dan lengkap.

BAB II

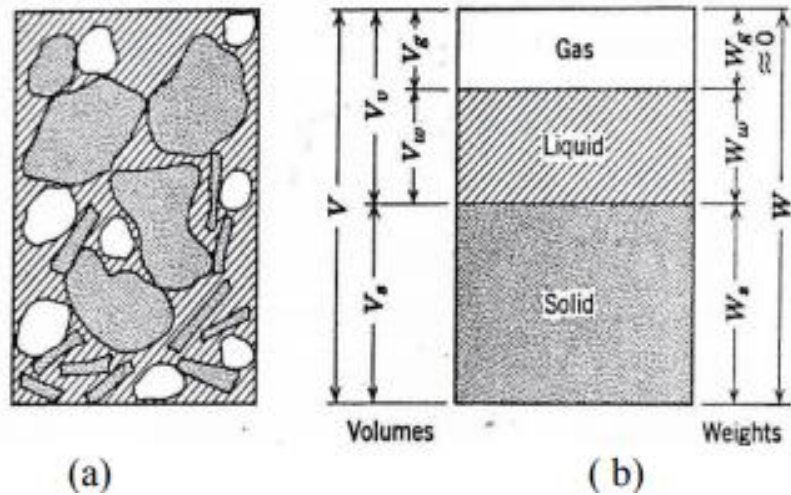
STUDI LITERATUR

2.1 Tanah

Definisi tanah adalah material yang terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Material ini berasal dari pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali oleh sifat batuan induk yang merupakan material asal, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut.

Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya kemudian dipakai sebagai nama tambahan dibelakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung dan sebagainya.

Tanah terdiri dari 3 komponen, yaitu udara, air dan bahan padat. Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang diantara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya, tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Bila rongga terisi udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian (*partially saturated*). Tanah kering adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol.



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah

Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu partikel padat tanah (*solid skeleton*) yang membatasi pori-pori yang mengandung air maupun udara. Volume kerangka tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat penyusunan kembali partikel-partikel padat pada posisinya yang baru, terutama dengan cara menggelinding dan menggelincir yang menyebabkan terjadinya perubahan gaya-gaya yang bekerja di antara partikel-partikel tanah. Pada tanah jenuh, pengurangan volume hanya terjadi bila sebagian airnya dapat melepaskan diri dan ke luar dari pori-pori. Pada tanah kering atau tanah jenuh sebagian, pengurangan volume selalu mungkin terjadi akibat kompresi udara dalam pori-pori, dan terdapat suatu ruang kembali partikel tanah.

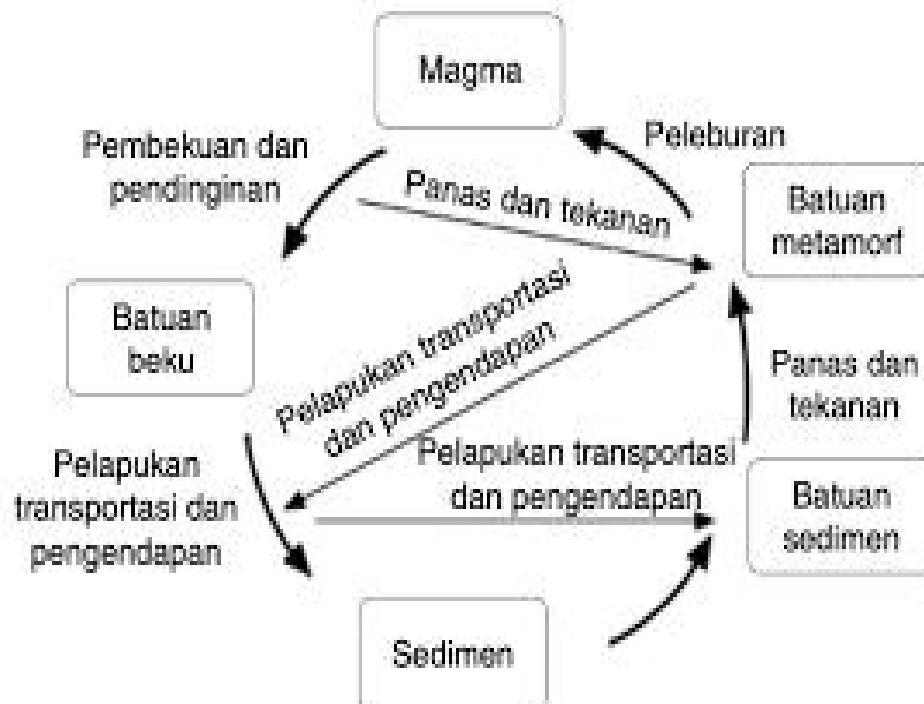
Tanah dalam bidang ketekniksipilan khususnya geoteknik didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1995). Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil pelapukan dari batuan. Ukuran setiap butiran padat

tersebut sangat bervariasi dan sifat-sifat fisik dari tanah banyak tergantung dari faktor-faktor ukuran, bentuk, dan komposisi kimia dari butiran. Faktor-faktor tersebut dipengaruhi oleh tipe-tipe dasar dari batuan yang membentuk kerak bumi, mineral-mineral yang membentuk batuan dan proses pelapukan.

2.1.1 Asal Usul Batuan

Batuan berdasarkan asal usulnya dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu batuan beku (*igneous rocks*), batuan sedimen (*sedimentary rocks*) dan batuan metamorf (*metamorphic rocks*).

Siklus batuan adalah suatu proses yang menggambarkan perubahan dari magma yang membeku akibat pengaruh cuaca hingga menjadi batuan beku, lalu sedimen, batuan sedimen dan batuan metamorphic dan akhirnya berubah menjadi magma kembali. Selanjutnya batuan beku tersebut mengalami pelapukan.



Sumber : www.google.com

Gambar 2.2 Siklus Batuan

2.1.2 Jenis Tanah Berdasarkan Ukuran Butir

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), atau lempung (*clay*), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan tanah (*soil separate size limits*). Pada tabel 2.1 ditunjukkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah yang telah dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), *U.S Department of Agriculture* (USDA), *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO), dan oleh *U.S Army Corps of Engineers* dan *U.S Bureau of Reclamation System* (USCS). Pada tabel tersebut, sistem MIT diberikan hanya untuk keterangan tambahan saja, Sistem MIT ini penting artinya dalam sejarah perkembangan sistem batasan ukuran golongan jenis tanah. Pada saat sekarang, sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) telah diterima di seluruh dunia. Sistem ini sekarang telah dipakai pula oleh *American Society of Testing Materials* (ASTM).

Tabel 2.1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama golongan	Ukuran butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075		Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,0075.

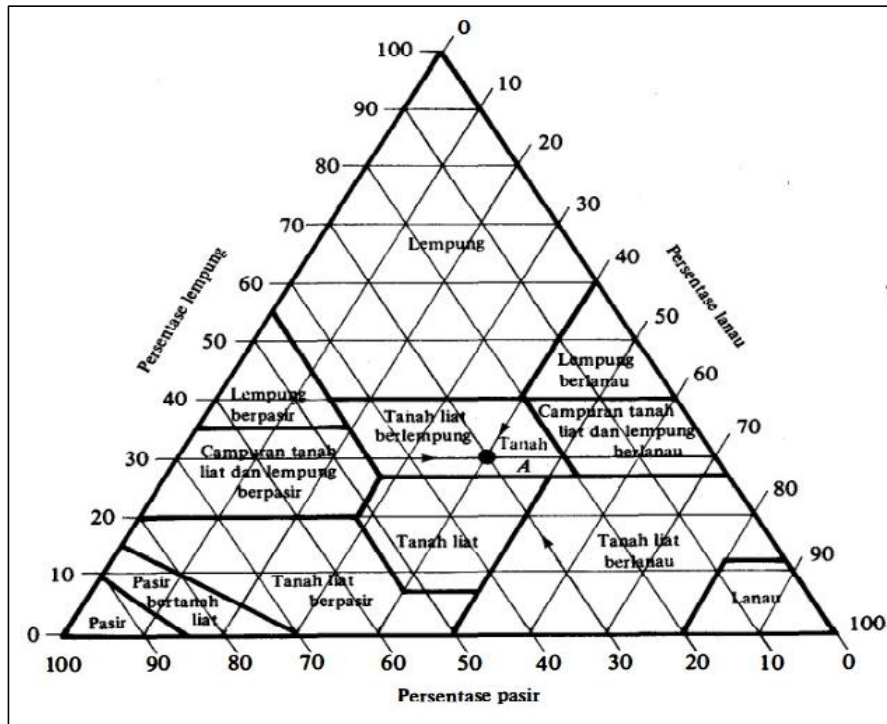
	2,0 mm	1,0	0,5	0,25	0,1	0,05				0,002 mm	
<i>Bureau of Soils USDA</i>	kerikil	kasar	sedang	halus	sangat halus	lanau			lempung		
		pasir									
	2,0 mm	0,420		0,075			0,005		0,001		
<i>ASTM</i>	pasir sedang		pasir halus		lanau			lempung	lempung koloidal		
	2,0 mm	0,6	0,2	0,06			0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm	
<i>MIT nomenclature</i>	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus		
	pasir			lanau			lempung				
	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm
<i>International nomenclature</i>	sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	sangat halus
	pasir				Mo	lanau		lempung			

Sumber : www.google.com

Gambar 2.3 Batasan Ukuran Golongan Tanah Menurut Beberapa Sistem

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995). Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Gambar 2.3 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh USDA. Sistem ini didasarkan pada ukuran batas butiran tanah seperti yang diterangkan sistem USDA dalam tabel 2.2, yaitu :

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



Sumber : www.google.com

Gambar 2.4 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur oleh USDA

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung dalam tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena itu, kiranya perlu untuk memperhitungkan sifat plastisitas tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung, agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah. Karena sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah, dan secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk sebagian besar dari keperluan teknik.

Pada saat sekarang ada lagi dua buah sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas *Atterberg*. Sistem-sistem tersebut adalah sistem

klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi USCS. Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan raya di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sedangkan sistem klasifikasi USCS pada umumnya lebih disukai oleh para ahli geoteknik untuk keperluan-keperluan teknik yang lain.

2.1.3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration System*. Sistem ini sudah beberapa kali mengalami perbaikan dan versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan *Committee of The Highway Research Board* di tahun 1945 (ASTM Standard no D-3282, AASHTO metode M145).

Sistem klasifikasi AASHTO yang dipakai saat ini diberikan dalam tabel 2.2. Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar yaitu, A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no. 200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan no. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

1. Ukuran butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3 in.) dan yang tertahan pada ayakan no. 200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan no. 200.

2. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*Plasticity Index, PI*) sebesar 10 atau kurang.

Nama berlempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai PI sebesar 11 atau lebih.

3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, presentase batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

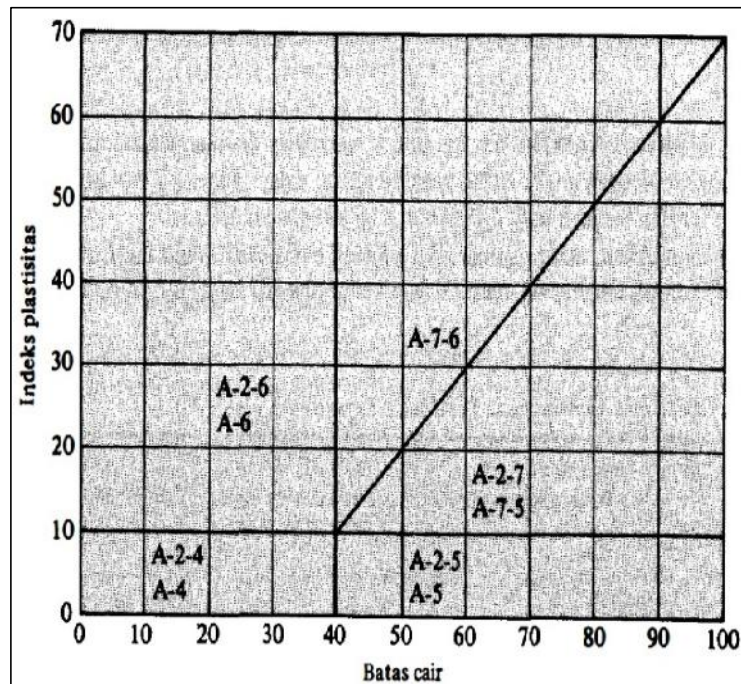
Apabila sistem AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam tabel 2.2 dari kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem AASHTO)

Klasifikasi umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)				Tanah-tanah anau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)			
	A-1	A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7
A-1-a A-1-b	A-2-4 A-2-5		A-2-6 A-2-7	A-7-5/A-7-6				
Analisis saringan (% lolos)								
2,00 mm (no. 10)	50 maks	.	.	.	.	.	.	.
0,425 mm (no. 40)	30 maks 50 maks	51 min	.	.	.	.	.	.
0,075 mm (no. 200)	15 maks 25 maks	10 maks	35 maks 35 maks	35 maks 35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Staf fraksi lolos saringan no. 4)								
Batas cair (LL)	.	.	40 maks 41 min	40 maks 41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks	np	10 maks 10 maks	11 min 11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (GI)	0	0	0	4 maks	6 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	pecahan batu, kerikil dan pasir	pasir hakis	kerikil berlempung atau berlempung dan pasir		tanah berlempung		tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	sangat baik sampai baik				sedang sampai buruk			

Catatan : Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (FL)
 Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5;
 untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.
 np = nonplastis

Gambar 2.5 menunjukkan suatu gambar dari senjang batas cair (*liquid limit*, LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah yang masuk ke dalam kelompok A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Sumber : Braja M. Das, 1995

Gambar 2.5 Rentang (*range*) dari Batas Cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) untuk Tanah Butir Halus

2.1.4 Sistem Klasifikasi USCS

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan dalam pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineer* selama perang dunia II. Dalam rangka kerjasama dengan *United State of Bureau of Reclamation* tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Sistem klasifikasi USCS diberikan pada tabel 2.3. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*course grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dari huruf awal G atau S. G adalah kerikil (*gravel*) stsu tanah berkerikil, dan S adalah pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dari huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS adalah :

1. W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik).
2. P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk).
3. L = *low plasticity* (plastisitas rendah, $LL < 50$).
4. H = *high plasticity* (plastisitas tinggi, $LL > 50$).

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti GW, GP, GM, GC, SW, SM, dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, faktor-faktor berikut ini perlu diperhatikan :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan no. 200 (ini adalah fraksi halus).
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan no. 40.
3. Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0% - 12% lolos ayakan no. 200.
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no. 200).

Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis			
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil berih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ antara 1 dan 3	
		Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus	GP	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
	Pasir lebih dari 50% kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil berih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ antara 1 dan 3	
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
		Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	<p>Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir kasar, Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarah berir dibuatkan klasifikasinya menggunakan dua simbol.</p>
				CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('lean clays')	
OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH		Lanau tak organik atau pasir halus diatomea, lanau elastis.			
	CH		Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')			
	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Tanah dengan kadar organik tinggi	P _i	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi.	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2498			

Sumber : Braja M. Das (1995)

2.2 Fondasi

Fondasi adalah suatu bagian dari bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, dan berfungsi pendistribusi beban bangunan ke tanah. Fondasi biasanya memanjang hingga bawah tanah.

Fondasi bangunan adalah konstruksi yang terpenting pada suatu bangunan. Karena fondasi berfungsi sebagai "penahan seluruh beban yang berada di atasnya dan gaya – gaya dari luar". Fondasi merupakan bagian dari struktur yang berfungsi meneruskan beban menuju lapisan tanah pendukung dibawahnya. Dalam struktur apapun, beban yang terjadi baik yang disebabkan oleh berat sendiri ataupun akibat beban rencana harus disalurkan ke dalam suatu lapisan pendukung dalam hal ini adalah tanah yang ada di bawah struktur tersebut. Beton bertulang adalah material yang paling cocok sebagai fondasi untuk struktur beton bertulang maupun bangunan baja, jembatan, menara, dan struktur lainnya. Beban dari kolom yang bekerja pada fondasi ini harus disebar ke permukaan tanah yang cukup luas sehingga tanah dapat memikul beban dengan aman. Jika tegangan tekan melebihi tekanan yang diizinkan, maka dapat menggunakan bantuan tiang pancang untuk membantu memikul tegangan tekan pada dinding dan kolom pada struktur.

Setiap pembangunan suatu struktur bangunan seperti gedung, jembatan, jalan raya, menara, dermaga, pelabuhan, dam/tanggul dan sebagainya harus mempunyai fondasi yang dapat mendukung beban-beban ditanggung struktur. Istilah fondasi juga digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Untuk itu, fondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang bekerja, gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain. Di samping itu tidak boleh terjadi penurunan melebihi batas yang diijinkan.

Pembangunan fondasi pada lapisan tanah lunak (*soft clay*) maupun yang sangat lunak (*very soft clay*) dengan lapisan tanah kuat yang sangat dalam, maka harus menggunakan tiang pancang. Fondasi tiang pancang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bagian-bagian tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Selain itu, tiang pancang juga digunakan untuk mendukung bangunan jembatan.

Dalam pelaksanaan pemancangan pada umumnya dipancangkan tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancangkan miring (*battle pile*) untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal yang bekerja. Pada jembatan Rancaberem beberapa pemancangan dipancangkan miring karena untuk menahan gaya horizontal dari aliran air di bawahnya, namun hal ini lebih sering terjadi di dermaga dimana terdapat tekanan ke samping dari kapal dan perahu. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya.

Dari ilmu ketekniksipil menyatakan disebut fondasi jika suatu konstruksi bagian dasar bangunan yang berfungsi sebagai penerus beban dari struktur ke lapisan tanah dibawahnya tanpa terjadinya keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan (Diktat Mekanika Tanah, Chandra Afriade, 2018)

Dalam perencanaan fondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe fondasi. Pemilihan tipe fondasi ini didasarkan atas :

- a. Fungsi bangunan atas (*super structure*) yang akan dipikul oleh fondasi tersebut.
- b. Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- c. Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- d. Biaya fondasi dibandingkan dengan bangunan diatas

Berdasarkan kondisi pelapisan tanah dimana fondasi bertumpu serta besar

beban bangunan struktur atas fondasi bisa dibagi ke dalam 2 jenis, yakni : fondasi dangkal dan fondasi dalam.

2.2.1 Fondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

Fondasi dangkal adalah struktur bangunan paling bawah yang berfungsi meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah yang berada relatif dekat dengan permukaan tanah. Meskipun fondasi dangkal sangat umum dipakai, namun pada kondisi tertentu fondasi tersebut tidak cocok untuk dipergunakan. Sebagai contoh, apabila lapisan tanah yang dekat permukaan sangatlah jelek (lembek) atau ada kemungkinan terjadi gerusan dari air permukaan (*erosi*), genangan air atau bila fondasi menahan beban lateral yang sangat besar maka fondasi dangkal kurang cocok untuk digunakan.

Pada awalnya, yang dikategorikan dalam fondasi dangkal adalah fondasi yang memiliki kedalaman (*D*) lebih kecil atau sama dengan dimensi lebar fondasi (*B*). Namun dalam perkembangannya, fondasi masih dianggap dangkal meskipun kedalaman fondasi mencapai tiga (3) sampai empat (4) kali lebar fondasi (*4B*).

Persyaratan untuk fondasi dangkal yaitu :

1. Perbandingan antara kedalaman dengan lebar fondasi ≤ 1
2. Daerah penyebaran struktur fondasi pada tanah di bawahnya (lapisan penyangga/*bearing stratum*) lebih kecil atau sama dengan lebar fondasi.

Secara fisik umumnya fondasi dangkal berupa fondasi telapak dengan bentuk empat persegi panjang, bujur sangkar, atau lingkaran (setempat dan menerus).

Untuk fondasi bangunan rumah tinggal dan gedung bertingkat biasa (*ordinary low rise buildings*), karena berat bangunan relatif tidak besar, maka biasanya cukup digunakan fondasi dangkal yang disebut fondasi langsung (*spreadfooting*), yaitu dengan memperlebar bagian bawah dari kolom atau dinding

bangunan, sehingga beban bangunan disebarakan (*spread*) menjadi desakan yang lebih kecil daripada daya dukung tanah yang diizinkan. Dimensi fondasi dihitung berdasar beban bangunan dan daya dukung yang diizinkan (Rudy Gunawan : 1983).

Kedalaman fondasi langsung dangkal akan semakin murah dan semakin mudah pelaksanaannya, tetapi ada beberapa factor yang harus diperhatikan :

1. Dasar fondasi harus terletak dibawah lapisan tanah teratas ("*top-soils*"). yang mengandung humus/bahanorganik/sisa tumbuh-tumbuhan.
2. Kedalaman tanah urug (*sanitary landfill*) atau tanah lunak ("*peat*," "*muck*").
3. Kedalaman muka air tanah.
4. Letak dan kedalaman fondasi bangunan lama yang berdekatan.

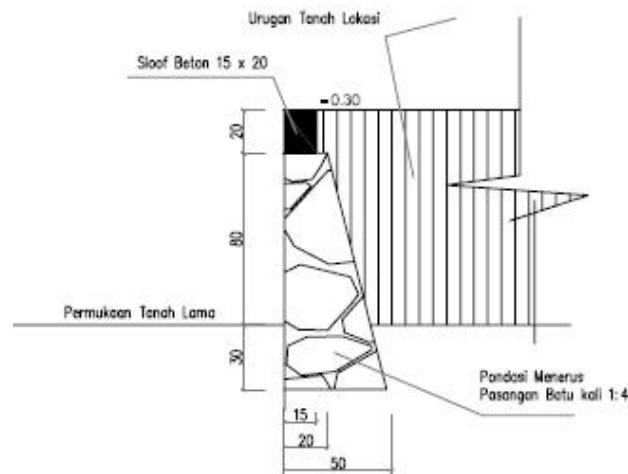
Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, maka kedalaman dasar fondasi langsung di Indonesia biasanya diletakkan antara 0.6 m sampai 3.0 m dibawah muka tanah.

Fondasi dangkal (fondasi langsung) menurut bentuk konstruksinya biasa dibagi menjadi empat macam :

1. Fondasi menerus (*continunous footing*)

Fondasi menerus merupakan fondasi gabungan menerus untuk menahan kolom-kolom yang dibebani dengan berat, khususnya apabila kolom tersebut ditumpu oleh lapisan tanah yang daya dukungnya relatif kecil dan tidak seragam. Apabila jarak antara kolom-kolom tersebut relatif jauh dan slab fondasi sangat kaku, maka penurunan pada setiap bagian dari fondasi pada dasarnya akan sama. Dengan demikian momen-mimen dan gaya geser yang terdapat pada fondasi dapat diperoleh dengan menggunakan analisis balok menerus berbalik. Sedangkan apabila fondasi relatif fleksibel dan jarak antar kolomnya besar maka penurunan yang terjadi tidak lagi

seragam dan linier. Untuk kasus ini, momen-momen dan gaya-gaya fondasi didapat dengan menggunakan teori balok di atas fondasi elastis. Bahan untuk fondasi ini dapat menggunakan pasangan batu pecah, batu kali, cor beton tanpa penulangan dan dapat juga menggunakan pasangan batu bata dengan catatan tidak mendukung beban structural.



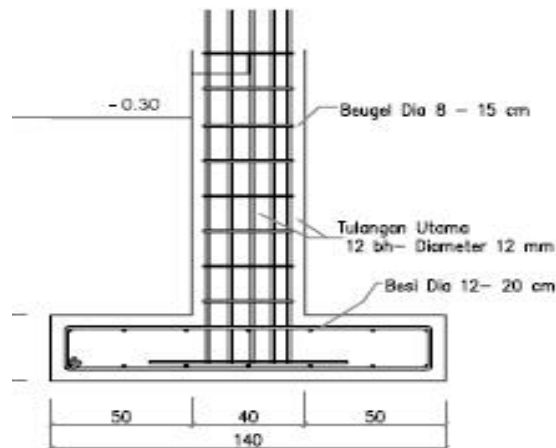
Gambar 2.6 *Strip Foundations* (Fondasi Menerus)

2. Fondasi telapak (*individual footing*)

Fondasi tapak adalah suatu fondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah fondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan kualitas yang baik yang mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit di bawah permukaan tanah. Jika di bawah suatu lapisan permukaan yang tipis terdapat suatu lapisan tanah yang baik, maka meskipun kualitas tanah fondasi itu kurang baik, dalam beberapa hal kita dapat menerapkan suatu cara perbaikan tanah.

Fondasi tapak pada umumnya di bangun di atas tanah pendukung fondasi dengan membuat suatu yang bentuk dan ukurannya sesuai dengan beban

bangunan dan daya dukung fondasi itu. Fondasi itu bersatu dengan bagian utama bangunan sehingga merupakan suatu konstruksi yang monolit. Jenis fondasi ini biasanya terdiri dari lapisan beton bertulang dengan ketebalan yang seragam, tetapi fondasi tapak dapat juga dibuat dalam bentuk bertingkat atau *haunched* jika fondasi ini dibutuhkan untuk menyebarkan beban dari kolom berat. Fondasi tapak di samping diterapkan dalam fondasi dangkal dapat juga digunakan untuk fondasi dalam.



Gambar 2.7 *Pad Foundations* (Fondasi Tapak)

3. Fondasi kaki gabungan (*combined footing*)

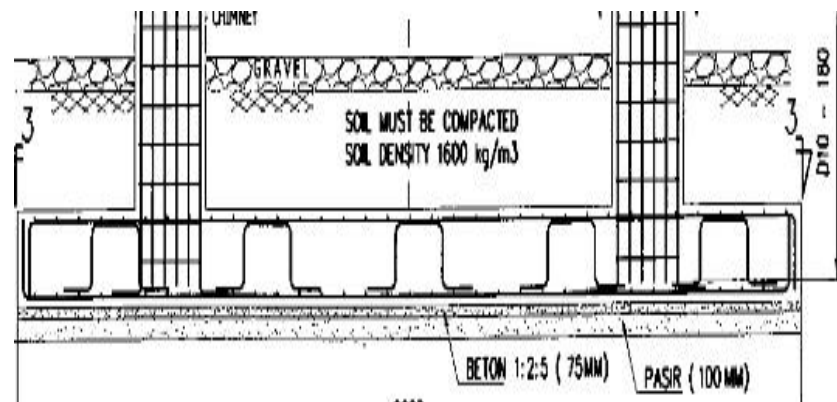
Fondasi kaki gabungan merupakan fondasi telapak dan fondasi menerus yang digabungkan. Fondasi telapak difungsikan sebagai pada/dasar dari fondasi di setiap titi-titik kolom.

Fondasi kaki gabungan digunakan untuk menyebarkan beban dari struktur atas area yang luas, biasanya dibuat untuk seluruh area struktur. Fondasi tika digunakan ketika beban kolom atau beban structural lainnya berdekatan dan fondasi pad saling berinteraksi.

4. Fondasi plat (*mat footing/raft footing*)

Fondasi tikar digunakan untuk menyebarkan beban dari struktur atas area yang luas, biasanya dibuat untuk seluruh area struktur. Fondasi tikar digunakan ketika beban kolom atau beban structural lainnya berdekatan dan fondasi pad saling berinteraksi.

Fondasi tikar biasanya terdiri dari pelat beton bertulang yang membentang pada luasan yang ditentukan. Fondasi tikar memiliki keunggulan mengurangi penurunan setempat dimana plat beton akan mengimbangi gerakan diferensial antara posisi beban. Fondasi tikar sering digunakan pada tanah lunak atau longgar dengan kapasitas daya tanah rendah karena fondasi tikar dapat menyebarkan beban di area yang lebih besar.



Gambar 2.8 *Raft Foundations* (Fondasi Tikar)

2.2.2 Fondasi Dalam (*Deep Foundation*)

Fondasi dalam merupakan jenis fondasi dalam Teknik Fondasi yang dibedakan dengan fondasi dangkal dari segi kedalaman masuknya kedalam tanah.

Perbandingan kedalaman dengan lebar fondasi lebih dari empat ($D/B > 4$), meneruskan beban ke tanah keras atau batu, terletak jauh dari permukaan. Adapun jenis-jenis fondasi dalam :

1. Fondasi sumuran (*pier foundation*) ; peralihan fondasi dangkal dan fondasi

tiang dipakai bila lapisan tanah kuat letaknya relative jauh.

2. Fondasi tiang (*pile foundation*) ; digunakan bila lapisan di kedalaman normal tidak mampu mendukung bebannya dan lapisan tanah kerasnya sangat dalam, terbuat dari kayu, beton dan baja. Diameter lebih kecil dan lebih panjang dari fondasi sumuran.

Berdasarkan material yang digunakan, fondasi tiang terbagi atas 4 jenis, yaitu tiang pancang kayu, tiang pancang beton, tiang pancang baja dan tiang pancang komposit.

- a. Tiang Pancang Kayu

Tiang pancang kayu di buat dari batang pohon yang cabang-cabangnya telah dipotong dengan hati-hati dan biasanya diberi bahan pengawet, dan didorong dengan ujungnya yang kecil sebagai bagian yang runcing. Kadang-kadang ujungnya yang besar didorong untuk maksud-maksud khusus, seperti dalam tanah yang sangat lembek di mana tanah tersebut akan bergerak kembali melawan poros dan dengan ujung tebal terletak pada lapisan yang keras untuk dukungan yang diperbesar.

Buku pedoman ASCE (dicetak ulang ASCE (1959) tetapi sekarang tidak di cetak lagi) mengategorikan tiang pancang sebagai berikut :

Kelas A : Digunakan untuk beban-beban berat dan/atau panjang tak bertopang yang besar. Diameter minimum dari ujung tebal 360 mm.

Kelas B : Untuk beban-bebans edang. Diameter ujung tebal minimum 300 mm.

Kelas C : Gunakan dibawah bidang batas air jenuh atau untuk pekerjaan yang bersifat sementara. Diameter ujung tebal minimum adalah 300 mm.

Kulit kayu (bark) dapat ditinggalkan (dibiarkan) pada kelas tiang-pancang ini.



Gambar 2.9 Fondasi Tiang Kayu

b. Tiang Pancang Beton

Tiang pancang beton dapat dibedakan menjadi :

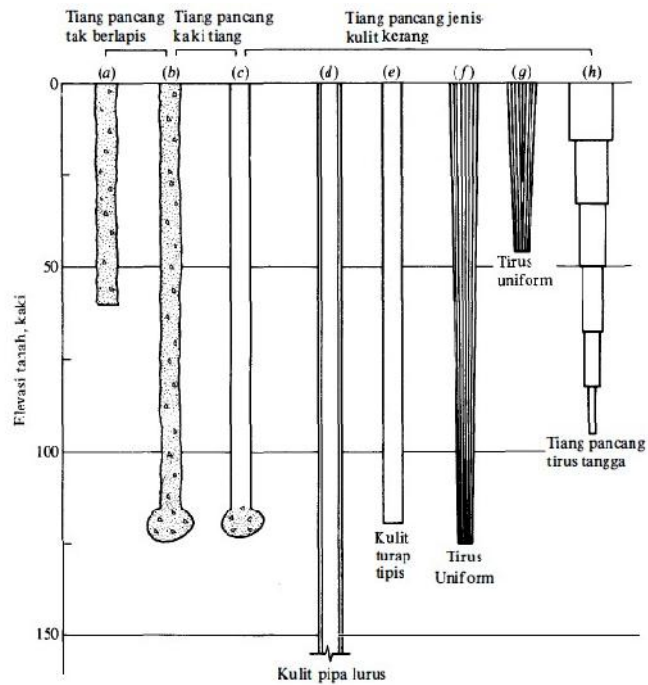
) Tiang-tiang Beton Pracetak (*Precast Pile*)

Tiang pancang dalam kategori ini dibentuk ditempat pencoran sentral sesuai dengan Panjang tiang pancang yang sudah ditentukan, diobati, dan kemudian dikirimkan (dikapalkan) ke tempat konstruksi. Jika ruangan tersedia dan jumlah yang diperlukan sudah mencukupi, maka halaman pencoran dapat disediakan di proyek untuk mengurangi biaya transportasi.

) Tiang Pancang yang Dicor Langsung di Tempat (*Cast-In Place Piles*)

Tiang pancang yang dicor langsung ditempat, dibentuk dengan membuat sebuah lubang dalam tanah dan mengisinya dengan beton. Lobang tersebut dapat dibor (seperti didalam kaison), tapi lebih sering dibentuk dengan memancangkan sebuahsel (shell)

atau corong kedalam tanah. Corong (*casing*) tersebut dapat diisi dengan sebuah paksi (mandreal), dengan kondisi pada penarikan balik paksa akan mengosongkan corong. Corong dapat juga dipancang dengan sebuah ujung pemancang pada titik, yang menyediakan sebuah sel yang siap untuk segera diisi dengan beton, atau corong dapat dipancang dengan ujung terbuka, dan tanah yang terperangkap dalam corong dapat dikeluarkan setelah pemancangan diselesaikan.



Sumber: Rekayasa Fundasi, Chandra A

Gambar 2.10 Jenis-jenis *Cast In Situ Pile*

c. Tiang Pancang Baja

Jenis-jenis tiang pancang baja ini bisanya berbentuk H yang digiling atau merupakan tiang pancang pipa. Balok yang mempunyai flens lebar (wide-flange beam) atau balok-1 dapat juga digunakan; tapi, bentuk H khususnya dibuat sebanding untuk menahan tegangan pancangan yang

keras yang mungkin dialami oleh tiang pancang tersebut. Dalam tiang pancang H flens dan badan mempunyai tebal yang sama; bentuk W yang standar dan bentuk H biasanya mempunyai badan yang lebih tipis dari flens.



Gambar 2.11 Fondasi Tiang Baja

d. Tiang Pancang Komposit

Tiang pancang komposit merupakan perpaduan antara tiang pancang baja dan beton.



Gambar 2.12 Fondasi Tiang Komposit

2.3 Kapasitas Daya Dukung Cara Dinamis

Kapasitas daya dukung dinamis dihitung berdasarkan data lapangan, yaitu uji skala pembebanan seperti data *calendering* dan PDA (*pile driving analyzer*) yang diperoleh saat pemancangan. Hasil hitungan kapasitas dukung tiang yang didasarkan pada teori mekanika tanah, kadang-kadang masih perlu dicek dengan mengadakan pengujian tiang untuk meyakinkan hasilnya.

Kapasitas daya dukung tiang pancang dapat diperkirakan berdasarkan data lapangan berupa data kalendering dengan menggunakan beberapa persamaan pendekatan sebagai berikut :

2.3.1 Persamaan Dinamis Modifikasi Hiley

Kapasitas daya dukung tiang pancang dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan dinamis (Hiley). Sebenarnya dalam hitungan kalendering bisa menggunakan rumus lain, akan tetapi persamaan Hiley lebih sering digunakan. Adapun persamaannya sebagai berikut :

$$Q = \frac{2WH}{S + 0.5K} \times \frac{W + (N^2P)}{W + P}$$

Dengan :

Q_u = Kapasitas daya dukung batas (ton)

W = Berat pemukul (ton)

P = Berat tiang pancang (ton)

H = Tinggi jatuh pemukul (cm)

S = Penetrasi tiang pancang pada saat penumbukan terakhir atau "set" (cm)

K = Rata-rata *Rebound* untuk 10 pukulan terakhir (cm)

N = Koefisien restitusi

- 0.40 - 0.50 untuk palu besi cor, tiang beton tanpa helm
- 0.30 - 0.40 untuk palu kayu (landasan kayu)
- 0.25 - 0.30 untuk tiang kayu

Agar didapatkan R yang aman, maka hasil penggunaan persamaan (2.4) perlu dikalikan faktor keamanan (SF) dan efisien *hammer* (ef), sehingga kapasitas daya dukung terpakai adalah :

$$Q_a = \frac{1}{S} \times e \cdot Q$$

Dengan :

ef = 0.8 - 0.9 untuk *diesel hammer*

ef = 0.7 - 0.9 untuk *drop hammer*

ef = 0.7 - 0.85 untuk *single/double acting hammer*

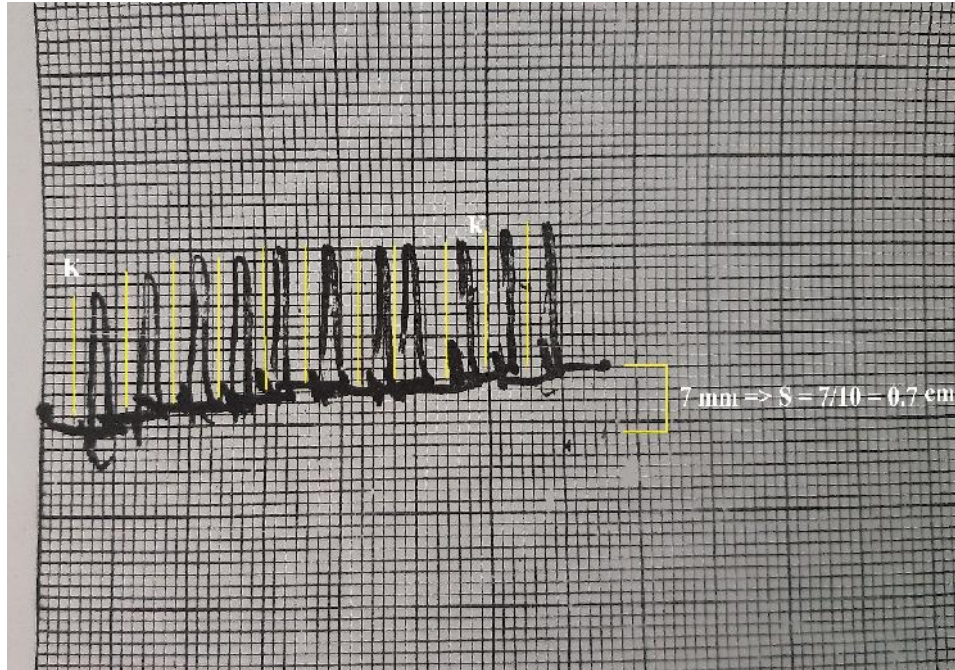
SF = besarnya tergantung dari perencanaan akan tetapi perusahaan pancang juga menggunakan faktor keamanan (SF) tersendiri.

Faktor aman (SF) :

SF = 3-4 untuk *permanen load*

SF = 1 untuk *temporary load*

Untuk menentukan besarnya nilai penetrasi tiang pancang pada saat penumbukan terakhir (S) dan rata-rata *rebound* dalam pukulan terakhir (K) dari millimeter kalendering. Gambar 2.12 menunjukkan contoh hasil pencatatan pengukuran penetarasi tiang pancang (millimeter kalendering).



Gambar 2.13 Hasil penetrasi tiang pancang

Dari gambar di atas diambil pukulan yang ke sepuluh, maka didapatkan S dari 10 pukulan adalah 7 mm, jadi $S = 7/10 = 0.7$ cm. sedangkan untuk *rebound* (K) ada 10, diambil rata-rata K dari grafik terbaca K sekitar = 0.13 cm

2.3.2 Metode Wijaya Karya (WIKAW)

Persamaan kapasitas daya dukung tiang pancang ultimate yang dibuat dari formula dinamis metode Wijaya Karya (Wika) adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{2 W_R \cdot H}{S + K} \times \frac{W_R \cdot e^2 \cdot W_P}{W_R + W_P}$$

$$Q_u = \frac{1}{S} \times Q$$

Dengan :

Q_u = Kapasitas daya dukung (ton)

Q_{all} = Kapasitas ijin tiang (ton)

W_R = Berat *hammer* (ton)

W_p = Berat pile (ton)

e = Koefisien restitusi

S = Penetrasi pukulan per cm (cm)

H = *Ram stroke* atau tinggi jatuh *hammer* (cm)

K = *Rebound* (cm)

SF = Faktor keamanan = 4

2.3.3 Persamaan Eytelwein

Persamaan kapasitas daya dukung tiang pancang ultimate untuk formula dinamis metode Eytelwein adalah sebagai berikut :

$$Q_u = \frac{eh \cdot Eh}{S + 0.1 \left(\frac{W}{W} \right)}$$

$$Q = \frac{1}{S} \times Q$$

Dengan :

Q_u = Kapasitas Daya Dukung tiang (Ton)

Q_{all} = Kapasitas ijin tiang (Ton)

eh = Efisiensi alat pancang

Eh = Energi alat pancang = $WH.H$ (ton.cm)

S = Penetrasi 10 pukulan terakhir (cm)

W_p = Berat tiang pancang (Ton)

W_r = Berat *hammer* (Ton)

SF = Faktor keamanan = 6

2.3.4 Persamaan Danish

Persamaan kapasitas daya dukung tiang pancang ultimate untuk formula dinamis metode Danish adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{\eta \cdot E}{S + \sqrt{\frac{\eta \cdot E \cdot L}{2 \cdot A \cdot E_p}}}$$

$$Q = \frac{1}{S} \times Q$$

Dengan :

Q_u = Daya dukung ultimate tiang (Ton)

Q_{all} = Kapasitas ijin tiang (Ton)

S = Penetrasi pukulan (cm)

= Efisiensi alat pancang

E = Energi alat pancang = $W_H \cdot H$

W_H = Berat *Hammer* (Ton)

H = Tinggi jatuh (cm)

L = Panjang tiang pancang (cm)

A = Luas penampang tiang di ujung (cm²)

E_p = Modulus elastis tiang (Ton/cm²)

SF = Faktor keamanan = 3

2.3.5 Persamaan *Modified New Engineering News Record* (ENR)

Persamaan kapasitas daya dukung tiang pancang ultimate untuk formula dinamis metode ENR adalah sebagai berikut :

$$Q = \frac{e \cdot W_R \cdot h}{S + 0.25} \times \frac{W_R \cdot n^2 \cdot W_P}{W_R + W_P}$$

$$Q = \frac{1}{S} \times Q$$

Dengan :

e_f = Efisiensi *hammer* (%)

Q_{all} = Kapasitas ijin tiang (Ton)

W_R = Berat *hammer* (Ton)

W_P = Berat pile (Ton)

S = Penetrasi pukulan per cm (cm)

n = Koefisien restitusi

h = Tinggi jatuh *hammer* (cm)

SF = Faktor keamanan = 6

2.3.6 Persamaan Navy-MC Key

Persamaan kapasitas daya dukung tiang pancang ultimate untuk formula dinamis metode Navy-MC Key adalah sebagai berikut :

$$Q_U = \frac{eh \cdot Eh}{S \left(1 + 0.3 \left(\frac{W}{W} \right) \right)}$$

$$Q = \frac{1}{S} \times Q$$

Dengan :

Q_u = Kapasitas daya dukung tiang (Ton)

Q_{all} = Kapasitas ijin tiang (Ton)

eh = Efisiensi alat pancang

Eh = Energi alat pancang = $WH.H$ (ton.cm)

S = Penetrasi 10 pukulan terakhir (cm)

W_p = Berat tiang pancang (Ton)

W_r = Berat *hammer* (Ton)

SF = Faktor keamanan = 6

2.4 Jenis-jenis *Hammer*

Alat pemancang drop hammer merupakan palu raksasa yang diletakkan pada ketinggian tertentu di atas tiang. Palu kemudian dilepaskan dan jatuh mengenai bagian atas / kepala tiang. Perlu diperhatikan, tiang jangan sampai rusak akibat tumbukan tersebut.

Adapun jenis-jenis *hammer* yang banyak digunakan di lapangan antara lain seperti berikut :

2.4.1 *Drop Hammer*

Penumbuk (*hammer*) ditarik ke atas dengan kabel dan kerekan sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian penumbuk (*hammer*) tersebut jatuh bebas menimpa kepala tiang pancang. Untuk menghindari terjadinya kerusakan akibat tumbukan ini, pada kepala tiang dipasangkan semacam topi atau cap sebagai penahan energi atau *shock absorber* yang biasanya dibuat dari kayu. Tenaga tarik *drop hammer* dapat berupa manusia atau mesin uap.

Drop hammer dengan tenaga tarik manusia tinggi jatuh 1.00 s.d. 1.50 meter, frekuensi pukulan 4 kali per menit, kalendering setelah 30 kali pukulan. Sama dengan tenaga tarik manusia yaitu *drop hammer* dengan tarik mesin uap, tinggi jatuh 1.00 s.d. 1.50 meter.

Kelebihan dari alat ini yaitu :

- a. Investasi yang rendah
- b. Mudah dalam pengoperasian
- c. Mudah dalam mengatur energi per blow dengan mengatur tinggi

Kekurangan dari alat ini yaitu :

- a. Kecepatan pemancangan yang kecil
- b. Kemungkinan rusaknya tiang akibat tinggi jatuh yang besar

- c. Kemungkinan rusaknya bangunan di sekitar lokasi akibat getaran pada permukaan tanah
- d. Tidak dapat digunakan untuk pekerjaan di bawah air



Sumber : www.google.com

Gambar 2.14 *Drop Hammer*

2.4.2 Diesel Hammer

Diesel Hammer adalah sebuah alat yang digunakan untuk memancang/memukul tiang pancang ke dalam tanah yang digunakan untuk fondasi sebuah bangunan.

Bagian-bagian penting alat pancang :

- a. Pemukul (*hammer*) bagian ini biasanya terbuat dari baja masif/pejal yang berfungsi sebagai palu untuk pemukul tiang pancang agar masuk ke dalam tanah
- b. Leader, merupakan jalan untuk Bergeraknya pemukul (*hammer*) ke atas dan ke bawah. Macam-macam leader yaitu fixed leader (leader tetap), hanging leader (leader gantung), swinging leader (leader yang dapat berputar dalam bidang vertikal)
- c. Mesin uap untuk menggerakkan pemukul (*hammer*) pada *single* atau *double acting steam hammer*

Kelebihan *diesel hammer* yaitu :

- a. Ekonomis dalam pemakaian
- b. Mudah dipakai di daerah terpencil
- c. Berfungsi sangat baik di daerah dingin
- d. Mudah perawatannya

Kekurangan *diesel hammer* yaitu :

- a. Kesulitan dalam menentukan energi/blow
- b. Sulit/sukar dalam pengerjaan pada tanah lunak

Diesel hammer merupakan pengembangan dari *steam hammer*, sebagai penggerak *hammer* adalah campuran gas dan udara. Spesialisasi *diesel hammer* adalah :

- a. Berat *hammer* 1.50 s.d. 2.50 ton
- b. Tinggi jatuh 0.90 s.d. 1.00 meter
- c. Frekuensi pukul 40 s.d. 50 kali per menit
- d. Kalendering setiap 10 kali pukulan



Sumber : www.google.com

Gambar 2.15 *Diesel hammer*

2.4.3 *Hydraulic static pile driver (HSPD)*

Secara garis besar pemancangan dengan *hydraulic static pile driver* untuk operasinya menggunakan sistem jepit kemudian menekan tiang tersebut. HSPD memiliki 4 buah kaki, 2 kaki pada bagian luar (rel besi berisi air) dan 2 kaki pada bagian dalam yang semuanya digerakkan secara hidrolis. Kaki-kaki ini disebut sebagai *support sleeper* yang digunakan untuk bergerak menuju ke titik-titik yang sudah ditentukan sebelumnya dan diberi tanda. *Hydraulic static pile driver* memiliki kemampuan mobilisasi dan mampu untuk memancang tiang pancang berdiameter besar. Alat lain yang digunakan untuk mendukung kinerja alat ini adalah *mobile crane* yang berfungsi untuk mengangkat tiang pancang ke dekat alat pancang. *Mobile crane* sering digunakan dalam proyek-proyek yang berskala menengah namun proyek tersebut membutuhkan alat untuk mengangkut bahan-bahan konstruksi yang cukup berat, termasuk tiang pancang. *Mobile crane* digunakan dalam proyek konstruksi dengan area yang cukup luas karena *mobile crane* mampu bergerak bebas mengelilingi area proyek.

Cara kerja alat ini secara garis besar yaitu :

- a. Tiang pancang diangkat dan dimasukkan ke dalam lubang pengikat tiang yang disebut *grip*, kemudian sistem *jack-in* akan naik dan mengikat atau memegang tiang tersebut. Ketika tiang sudah dipegang erat oleh *grip*, maka tiang mulai ditekan.
- b. Alat ini mempunyai alat control/kabin yang dilengkapi dengan *oil pressure* atau *hydraulic* yang menunjukkan *pile pressure* yang kemudian akan dikonversikan ke *pressure force* dengan menggunakan tabel yang sudah ada
- c. Jika *grip* hanya mampu menekan tiang pancang sampai bagian pangkal lubang mesin saja, maka penekan dihentikan dan *grip* bergerak naik ke atas untuk mengambil tiang pancang sampungan yang telah disiapkan. Tiang

pancang sambungan (*upper*) kemudian diangkat dan dimasukkan ke dalam *grip*. Setelah itu *jack-in* akan naik dan mengikat atau memegang tiang tersebut. Ketika tiang sudah dipegang erat oleh *grip*, maka tiang akan ditekan mendekati tiang pancang di bawah (*lower*). Penekan dihentikan sejenak saat kedua tiang sudah bersentuhan. Hal ini dilakukan guna mempersiapkan penyambungan ke dua tiang pancang dengan cara pengelasan.

- d. Untuk penyambungan tiang pertama dan tiang kedua digunakan sistem pengelasan. Agar proses pengelasan berlangsung dengan baik dan sempurna, maka kedua ujung tiang pancang yang diberikan plat harus benar-benar tanpa rongga. Pengelasan harus bisa dilakukan dengan teliti karena kecerobohan dapat berakibatkan fatal, yaitu beban tidak tersalur sempurna. Apabila sudah penekanan tiang pancang dapat dilanjutkan, demikian seterusnya.



Sumber : www.google.com

Gambar 2.16 Hydraulic Static Pile Driver

2.4.4 *Vibratory Pile Driver*

Cara kerja alat ini menggunakan getaran yang ditimbulkan oleh motor, biasanya digunakan pada tanah granuler. Pemilihan penggunaan alat ini yaitu untuk meminimalisir getaran yang terjadi pada saat pemancangan. Getaran yang dibangkitkan untuk pemancangan suatu tiang berkisar antara 1200 VPM s.d. 2400 VPM (*vibrator per minutes*).



Sumber : www.google.com

Gambar 2.17 *Vibratory Pile Driver*

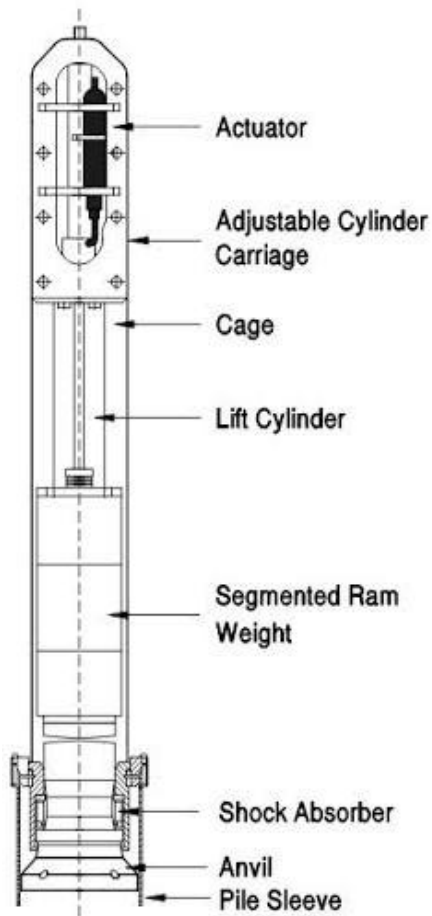
2.4.5 *Steam Hammer*

Pada sistem operasional steam hammer maka ada dua kategori *steam hammer* yaitu “*single acting*” dan “*double acting*”.

a. *Single Acting Hammer*

Prinsip kerjanya yaitu pemukul aksi tunggal berbentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan

turun ram disebabkan oleh beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal adalah sama dengan berat ram dikalikan tinggi jatuh

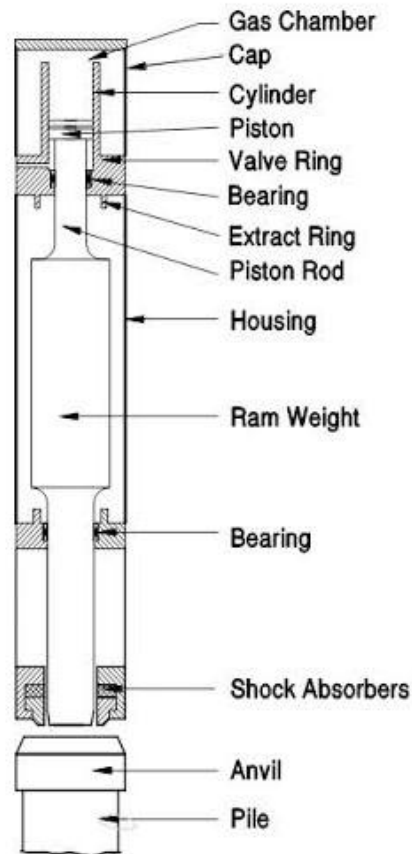


Sumber : www.google.com

Gambar 2.18 *Single Acting Hammer*

b. *Double Acting Hammer*

Prinsip kerjanya yaitu penumbuk diangkat ke atas dengan tenaga uap sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian penumbuk tersebut diletakkan ke bawah dengan tenaga uap. Jadi disini *hammer* jatuh dengan kecepatan lebih besar daripada *single acting hammer* maupun *drop hammer*.



Sumber : www.google.com

Gambar 2.19 *Double Acting Hammer*

2.5 Pemancangan Tiang

Dalam proses pemancangan tiang dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Pengangkatan tiang pancang
2. Penyesuaian ujung tiang pancang dengan titik yang akan dipancang
3. Pemancangan tiang pancang sampai kedalaman yang telah ditentukan

Prinsip pemancangan tiang adalah dengan cara memukul tiang dengan *hammer*/palu, besarnya/beratnya palu harus disesuaikan dengan ukuran tiangnya.

Menurut Sardjono HS, hubungan antara berat penumbuk (*hammer*) dengan berat tiang pancang :

$$B = 0.5 P + 600 k$$

Dengan :

B = Berat palu penumbuk (*hammer*) (kg)

P = Berat tiang pancang (kg)

Jadi misalnya pada pemancangan tiang pancang beton precast dengan ukuran 35x35 panjang 15 m maka penumbuk yang diperlukan beratnya setidaknya :

$$B = 0,5 \cdot 0,35 \cdot 0,35 \cdot 15 \cdot 2400 + 600 = 2,8 t$$

4. Apabila pemancangan perlu penyambungan, maka setelah tiang pancang tinggal sekitar 2 meter dari atas tanah, tali besi dilepas dari tiang pancang. Setelah tali dilepas, pemancangan dilanjutkan kembali hingga mendekati posisi tinggi tiang ideal untuk penyambungan tiang.
5. Penyambungan tiang pancang
Setelah tiang pancang yang pertama terbenam, untuk menyambung pada tiang yang kedua sebaiknya menyisakan tiang pancang di atas permukaan tanah sekitar 30 cm untuk memudahkan pengelasan tiang.
6. Melakukan kalendering pada tiang pancang
Saat tiang pancang hampir mendekati top pile yang disyaratkan untuk melakukan proses kalendering.
7. Penyelesaian pemancangan
Setelah melakukan kalendering, kemudian pemancangan dihentikan.
8. Tiang pancang yang tersisa di atas elevasi rencana dikelupas betonnya sehingga tersisa besi tulangnya yang akan dipakai sebagai stek untuk dihubungkan dengan pile cap pada bangunan gedung atau abutment pada konstruksi jembatan.

Kesalahan yang mungkin terjadi pada cara pemancangan fondasi tiang pancang ini bisa terletak pada penggunaan bahan di bawah spesifikasi perhitungan sehingga fondasi tidak kuat, selain itu kesalahan dalam pengangkatan yang tidak berada pada titik aman dapat menyebabkan patah, kemiringan pemancangan juga bisa terjadi akibat kurang terkontrolnya ketegakan sehingga mengurangi kedalaman dan kekuatan fondasi yang berbeda dari perencanaan.

2.6 Perhitungan Pemancangan

2.6.1 Kekuatan Tiang

Jumlah pukulan yang diberikan oleh *hammer* akan semakin banyak pada pemancangan yang dilakukan pada tanah yang semakin keras. Apabila berat *hammer* = W ton, dan tinggi jatuh pemukul (*hammer*) = h meter, maka tenaga (E) yang diberikan oleh *hammer* adalah sebesar $E = W \cdot h$.

Tenaga yang diberikan oleh *hammer* tidak semuanya dapat dimanfaatkan, karena adanya faktor-faktor lain (misal, gesekan dan lainnya). Jika perlawanan oleh = P ton dan masuknya tiang ke tanah sebesar s cm, maka :

$$E = W \cdot h = P \cdot s + P \cdot c$$

atau

$$P = \frac{W \cdot h}{s + c}$$

Karena adanya faktor keamanan (n), maka persamaan untuk tiang pancang miring sebagai berikut :

$$P = \frac{1}{n} \cdot \frac{W \cdot h}{s + c}$$

Dengan :

P = Perlawanan oleh tanah (kekuatan tiang maksimum)

W = Berat pemukul

h = Tinggi jatuh

c = Konstanta, besarnya 0.25 untuk *steam hammer* dan 2.5 untuk *drop hammer*

s = Masuknya tiang ke tanah

n = Angka keamanan, menurut *engineering new formula* n = 6 sehingga persamaannya akan berubah menjadi :

$$P = \frac{1}{6} \cdot \frac{W \cdot h}{s + c}$$

2.6.2 Persyaratan-persyaratan Pemancangan

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam melaksanakan pemancangan adalah :

1. *Hammer* tidak boleh terlalu ringan, perbandingan antara berat *hammer* (pemukul) dengan berat tiang adalah sebagai berikut :

Berat pemukul (*hammer*) = 3 s.d. 3.50 kali berat tiang

2. Menurut *modified engineering new formula*, untuk menghitung kekuatan tiang maksimum dapat digunakan persamaan berikut :

$$P = \frac{1}{6} \cdot \frac{E}{s + c} \cdot \frac{W}{W + p}$$

Dengan :

W = Berat *hammer*

P = Berat tiang

3. Persamaan tiang pancang (persamaan 2.11 atau persamaan 2.12) adalah sebagai dasar atau pedoman untuk menghentikan pemancangan tiang, agar tiang tidak rusak karena pukulan.

Sebagai perkiraan pemberhentian tiang saat melakukan pemancangan adalah sebagai berikut:

- a. Tiang beton, berhenti jika 10 kali pukulan, penurunan tiang hanya 3 s.d. 4 cm
- b. Tiang kayu, berhenti jika 10 kali pukulan, penurunan tiang hanya 5 s.d. 6 cm
- c. Tiang baja, berhenti jika 10 kali pukulan, penurunan tiang hanya 1.2 s.d. 2 cm

2.7 Kalendering Pemancangan

2.7.1 Pelaksanaan Kalendering

Secara umum kalendering digunakan pada pekerjaan pemancangan tiang pancang (beton maupun pipa baja) yaitu untuk mengetahui daya dukung tiang melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Alat pancang bisa berupa *diesel hammer* maupun *hydraulic hammer*. Kalendering dalam proses pemancangan tiang pancang merupakan pekerjaan yang harus dilaksanakan dan dijadikan laporan proyek. Sebagai tambahan selain kalendering dilakukan pengecekan dengan PDA test. Perhitungan kalendering menghasilkan *output* yang berupa daya dukung tanah dalam ton.

Sebelum dilaksanakan kalendering biasanya juga dilakukan monitoring pemukulan saat pemancangan yaitu untuk mengetahui jumlah pukulan tiap meter dan total sebagai salah satu bentuk data yang dilampirkan beserta hitungan kalendering. Untuk itu sebelumnya tiang pancang yang akan dipancang diberikan skala terlebih dahulu tiap meternya menggunakan penanda misalnya cat semprot/*philox*. Untuk menghitungnya disediakan terlebih dahulu *counter* agar mudah dalam menghitung jumlah pukulan tiap meter dan totalnya.

Sebenarnya metode pelaksanaan kalendering hanyalah sederhana. Alat yang disediakan cukup spidol, kerta milimeterblock. Selotip dan kayu pengarah spidol agar selalu pada posisinya atau bisa menggunakan penggaris berukuran

besar. Alat tersebut biasanya juga telah disediakan oleh subkon pancang. Dan pelaksanaannya pun merupakan bagian dari kontrak pemancangan. Pelaksanaannya dilakukan pada saat 10 pukulan terakhir. Kapan saat dilaksanakan kalendering adalah saat hamper mendekati *top pile* yang disyaratkan, final set 3 cm untuk 10 pukulan terakhir, atau bisa dilihat dari data *bore log*. Sebenarnya ada beberapa faktor lain tergantung kondisi lapangan.

Tahapan pelaksanaannya yaitu :

- a. Saat kalendering telah ditentukan untuk berhenti pemukulannya oleh *hammer*
- b. Memasang kertas milimeterblock pada tiang pancang menggunakan selotip
- c. Menyiapkan spidol yang dtumpu pada kayu/penggaris, kemudian menempelkan ujung spidol pada kertas millimeterblock
- d. Menjalankan kembali pemukulan/pemancangan
- e. Satu orang melakukan kalendering dan satu orang mengawasi serta menghitung jumlah pukulan (bantuan *counter*)
- f. Setelah 10 pukulan kertas millimeter diambil
- g. Tahap ini dilakukan 2-3 kali agar memperoleh grafik yang bagus
- h. Ushakan kertas bersih, karena jika menggunakan *diesel hammer* biasanya terkena oli dan grafiknya jadi kurang valid karena tertutup oli
- i. Setelah tahapan selesai hasil kalendering ditanda tangani oleh kontraktor, pengawas, dan direksi lapangan yang selanjutnya dihitung daya dukung



Sumber : www.google.com

Gambar 2.20 Pelaksanaan Kalendering

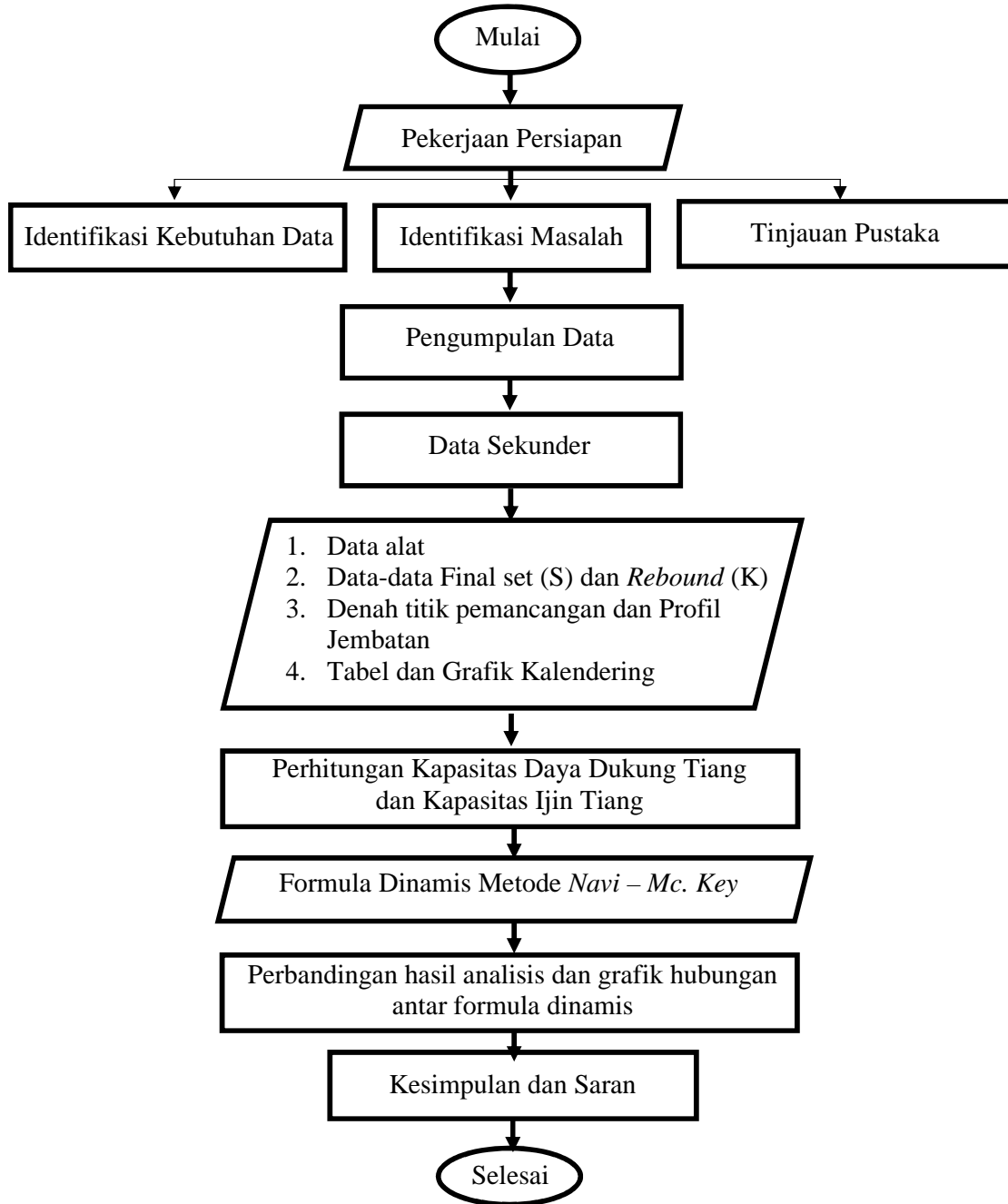
2.7.2 Penghentian Pemancangan

Penghitungan pemancangan tergantung dari jenis tiang pancang yang digunakan (tiang pancang beton, kayu atau tiang pancang baja). Persyaratan menentukan untuk tiang beton dihentikan pemancangan jika dalam 10 kali pukulan masuknya tiang pancang ke tanah hanya 3-4 cm atau dalam 13-16 kali putaran hanya sekitar 5 cm, untuk tiang kayu apabila dalam 10 kali pukulan masuknya tiang ke tanah hanya 5-6 cm, sedangkan untuk tiang baja apabila dalam 10 kali pukulan masuknya tiang ke tanah hanya sekitar 1.20 - 3.00 cm.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Pekerjaan Persiapan

Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan data dan pengolahan data. Dalam tahap ini disusun hal-hal penting yang harus dilakukan dengan tujuan mengefektifkan waktu dan pekerjaan.

Adapun dalam tahap persiapan meliputi :

1. Identifikasi masalah terhadap materi tugas akhir untuk menentukan garis besar permasalahan
2. Menentukan kebutuhan data yang akan digunakan
3. Tinjauan pustaka untuk menggali informasi melalui jurnal-jurnal ataupun buku-buku yang dapat dijadikan referensi

Persiapan di atas harus dilakukan dengan cermat untuk menghindari adanya bagian-bagian yang terlupakan ataupun pekerjaan berulang. Sehingga pekerjaan pada tahap pengumpulan data dapat maksimal.

3.3 Pengumpulan Data

Data-data yang mendukung dalam tugas akhir ini secara garis besar dapat diklarifikasikan menjadi dua bagian, yaitu data primer dan sekunder.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh melalui pengamatan langsung atau hasil penelitian terhadap studi objek

2. Data Sekunder

Data ini diperoleh dari pihak lain atau instansi terkait dengan kata lain menggunakan data yang telah ada. Yang termasuk data sekunder disini yaitu

:Data lapangan

- Data *final set*
- Data kalendering

- Data alat *diesel hammer*
- a. Data pendukung
 - Peta lokasi dan gambar titik-titik tiang pancang

Metode pengumpulan data dilakukan dengan cara :

1. Metode Penelitian dan Observasi

Yaitu dengan cara pengamatan langsung terhadap pelaksanaan pemancangan di semua titik termasuk mengamati pengambilan grafik kalendering. Tidak hanya mengamati namun penulis turut serta melakukan perhitungan jumlah pukulan pada salah satu titik pemancangan.

2. Metode Interview

Yaitu melakukan wawancara dengan pihak-pihak terkait yang dianggap mengetahui permasalahan. Data ini merupakan data sekunder dan data yang didapat dari metode interview :

- a. Kondisi lapangan lokasi
- b. Penjelasan mengenai pengambilan data kalendering

3. Metode literatur

Yaitu dengan metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan cara mengumpulkan, mengidentifikasi, mengolah data tertulis dan metoda kerja yang digunakan. Data tertulis dapat juga dari instansi-intansi.

Data yang diperoleh dari metode literatur ini pada umumnya didapat dari instansi terkait, antara lain :

- a. *Layout* jembatan dan detail titik-titik tiang pancang
- b. Panduan alat yang digunakan
- c. Grafik dan tabel yang berhubungan

3.4 Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Formula Dimanis Metode *Navi – Mc. Key*

Adapun cara analisa dalam penulisan penelitian ini adalah menghitung dan menganalisis kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan data kalendering dengan menggunakan formula dinamis metode *Navi – Mc. Key*.

Kapasitas daya dukung tiang pancang dapat diperkirakan dengan menggunakan formula dinamis metode *Navi – Mc. Key*. Adapun persamaannya sebagai berikut :

$$Q_U = \frac{eh \cdot Eh}{S \left(1 + 0.3 \left(\frac{W_p}{W_r} \right) \right)}$$

$$Q_{all} = \frac{1}{SF} \times Q_U$$

Dengan :

Q_U = Kapasitas daya dukung tiang batas (ton)

Q_{all} = Kapasitas daya dukung tiang ijin (ton)

eh = Efisiensi alat pancang

Eh = Energi alat pancang = WH.H (ton.cm)

S = Penetrasi 10 pukulan terakhir (cm)

W_p = Berat tiang pancang (ton)

W_r = Berat *hammer* (ton)

SF = Faktor keamanan

BAB IV

PEMBAHASAN

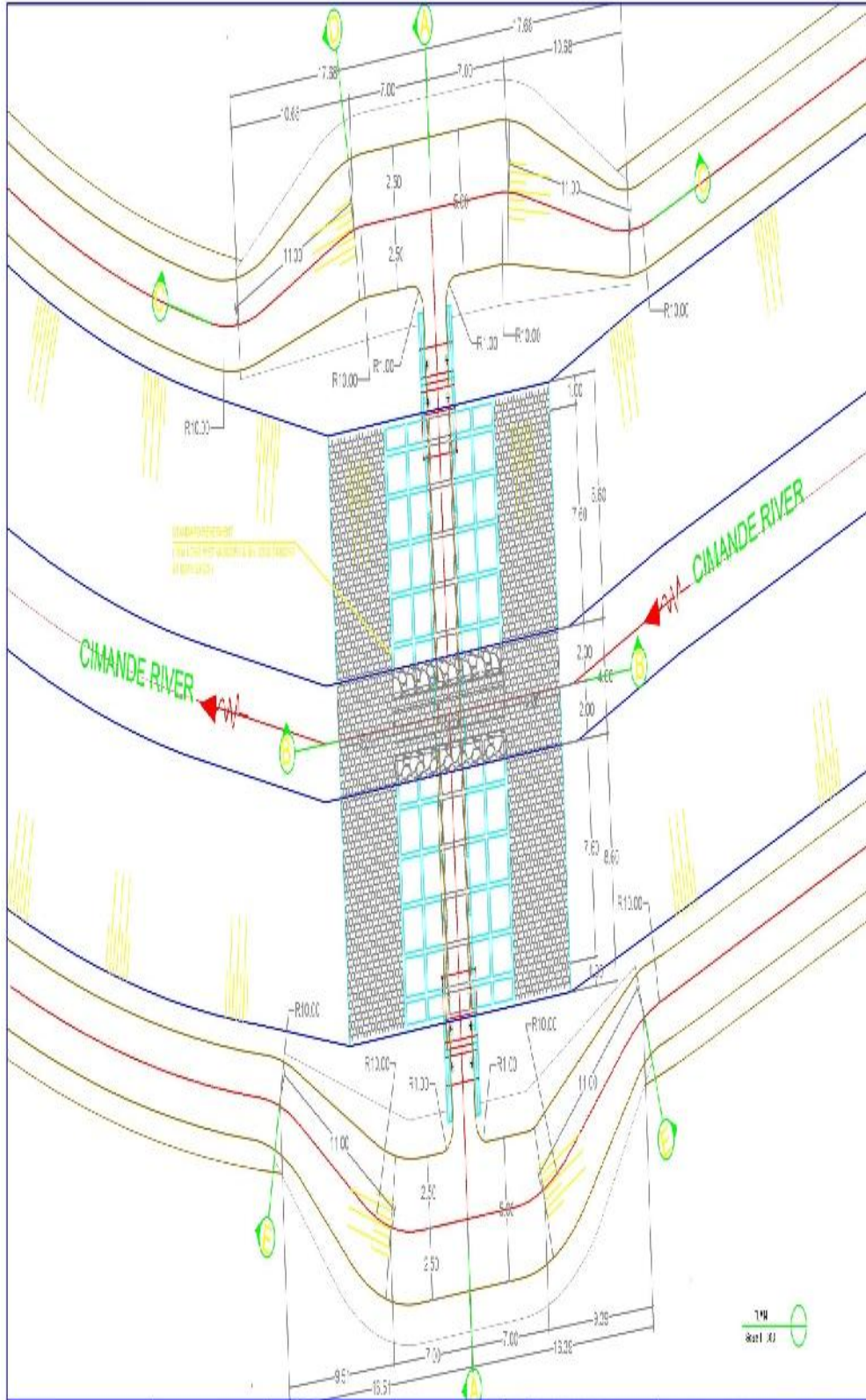
4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di desa Sukamulya kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung dan merupakan bagian dari Proyek Peningkatan Kapasitas Sungai Cimande Kabupaten Bandung, tepatnya pada proyek jembatan Rancabeureum di STA 3+331. Objek dalam penelitian ini dikerjakan oleh kontraktor PT. Waskita Jaya Purnama dan PT. Taruna Putra Pertiwi.

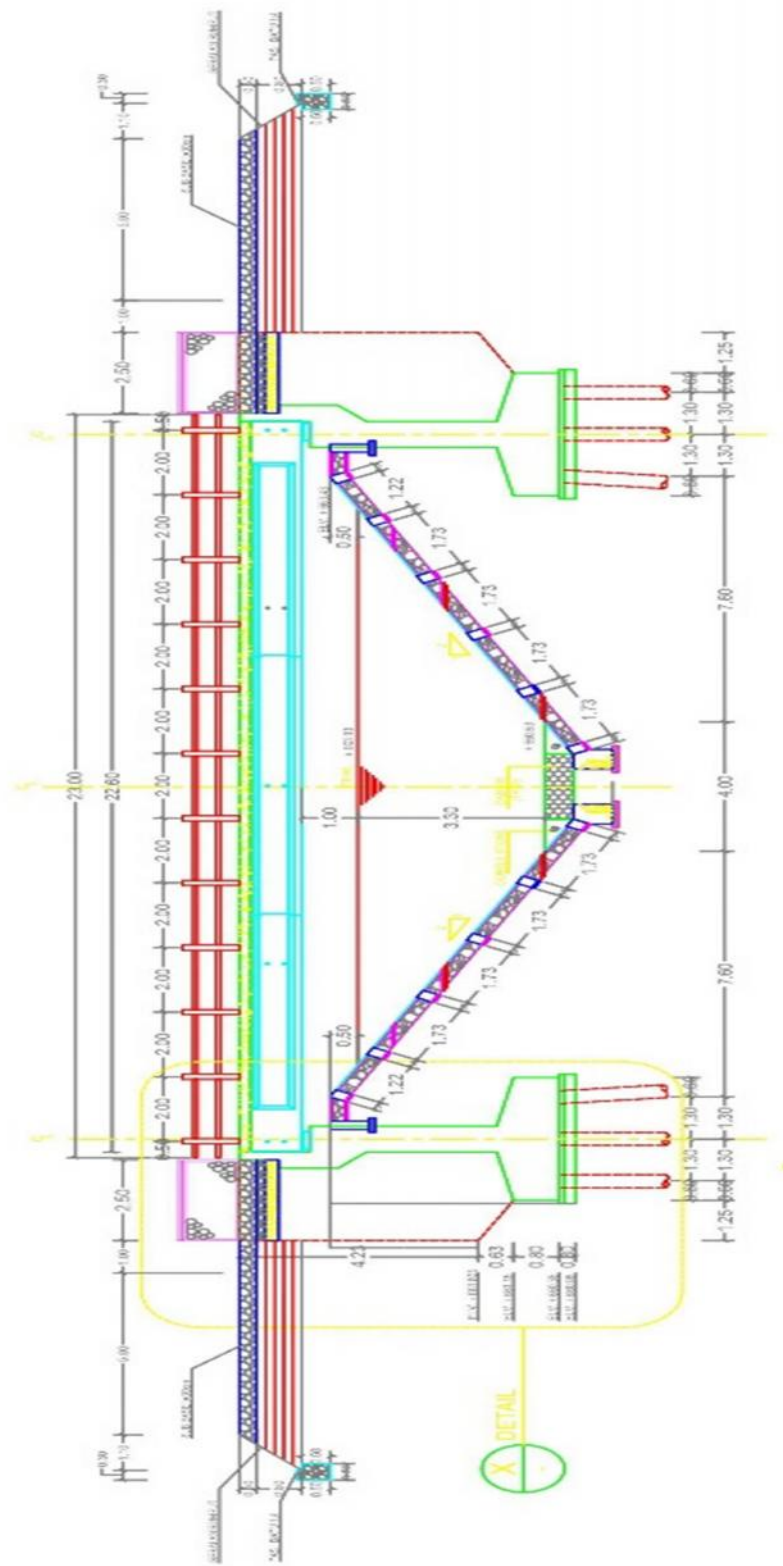
Jembatan Rancabeureum tersebut membentang di atas sungai Cimande sebagai jalan akses penyebrangan pengendara motor dan masyarakat untuk menunjang aktivitas setiap harinya. Oleh karena itu Jembatan Rancabeureum ini merupakan suatu kebutuhan yang amat penting bagi warga sekitar ataupun warga dari luar.

4.2 Denah Dan Potongan Memanjang Struktur Jembatan Rancabeureum

Denah dan potongan memanjang struktur bangunan Jembatan Rancabeureum pada Proyek Sungai Cimande dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.1 Denah Jembatan Rancabeureum



Gambar 4.2 Potongan Memanjang Jembatan Rancabeureum

Pada Gambar 4.2 menunjukkan profil memanjang Jembatan Rancabeureum pada proyek Sungai Cimande. Jembatan tersebut memiliki panjang bentang 22.60 meter dan 2 *abutment*. Pemancangan dilakukan dengan 12 titik dan menggunakan alat pancang *diesel hammer* untuk pemancangan fondasi pada jembatan ini dikarenakan tidak adanya bangunan lain di sekitar lokasi proyek sehingga aman untuk dilakukan.



Gambar 4.3 Proses Pemancangan Tiang Pancang Dengan *Diesel Hammer*

Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa proses pemancangan dengan palu jatuh. *Hammer* yang dijatuhkan oleh *crane* memberikan tumbukkan pada kepala tiang pancang sehingga tiang dapat terpancang.

4.3 Kompilasi Data

Faktor pendukung dalam keberhasilan penelitian ini, memerlukan beberapa konstruksi yang berkaitan dengan apa yang akan dianalisis. Adapun data-data yang diperoleh sebagai berikut.

1. Gambar struktur
2. Spesifikasi Alat
3. Data kalendering
4. Data *Penetrations*

Gambar-gambar yang didapat dari pihak proyek, terdiri dari gambar konstruksi seperti :

1. Gambar denah dan profil memanjang Jembatan Rancabeureum
2. Gambar denah *pier* atau *pile cap*
3. Denah titik-titik tiang pancang sebanyak 12 titik

4.3.1 Data Spesifikasi Alat

Tabel 4.1 Spesifikasi Alat

Diesel Pile Hammer	Model	
	IDH-35	
Impact weight (ram)	kg	3.500
Energy per blow	kg . m	10.500
Number of blows per minute		42-60
Max. combustion pressure against pile	kg	150.000
Operating weight (dry)	kg	7.800
Cooling system	Water Cooled	
Fuel consumption	/h	14-20

Lubricant consumption	/h	1.8
Lube oil reservoir capacity		50
Fuel tank capacity		7.6
Cooling water tank capacity		150

Daftar lengkap spesifikasi alat pancang yang digunakan dapat dilihat di lampiran.

4.3.2 Data Fondasi Tiang Pancang

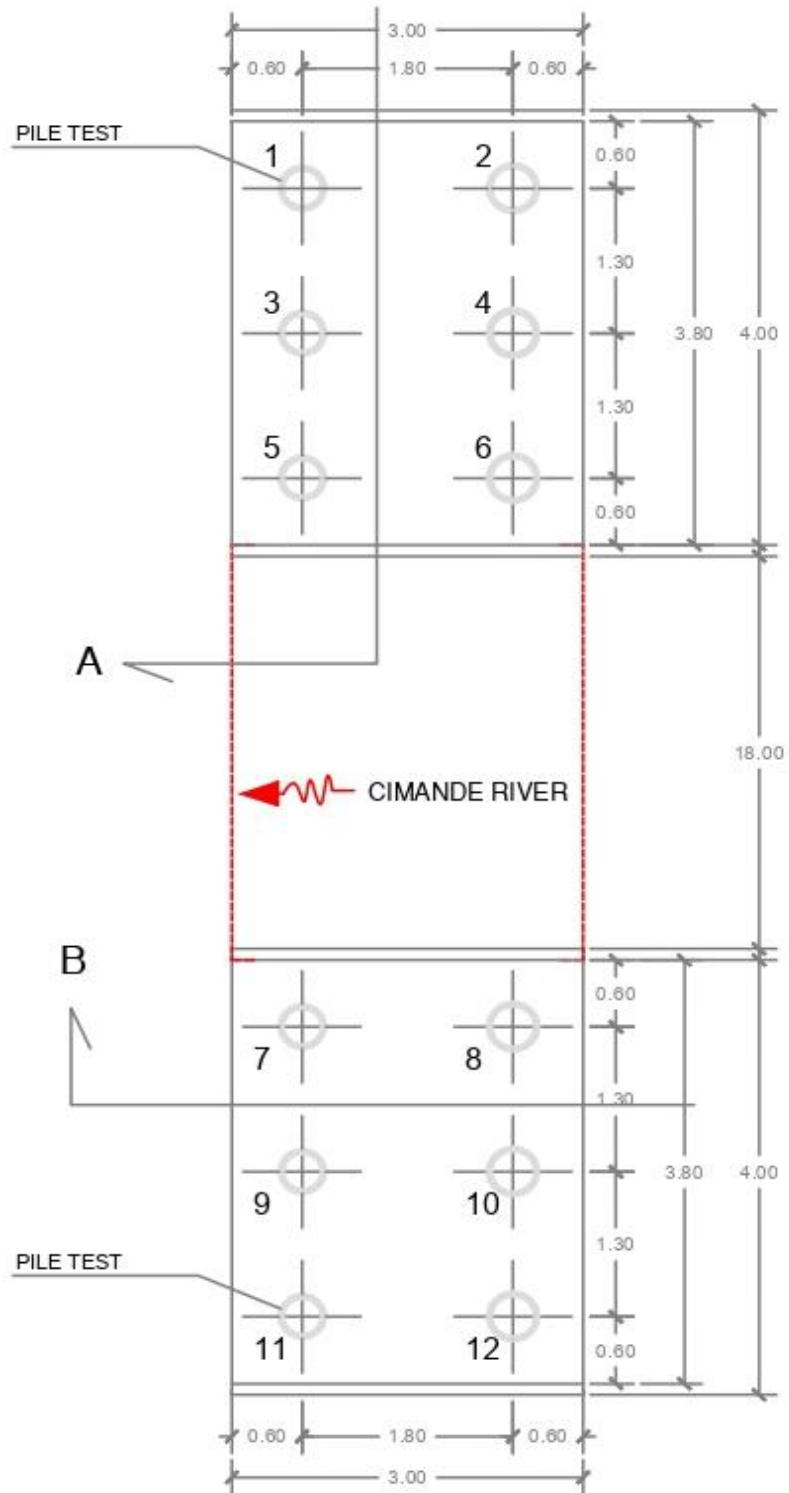
Spesifikasi tiang pancang yang digunakan pada pelaksanaan pemancangan pembangunan Jembatan Rancabeureum pada Proyek Sungai Cimande, dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Spesifikasi Tiang Pancang Diameter 40 cm

Type tiang pancang	Dimensi (cm)	Panjang Segmen (m)
<i>Bottom</i>	40	10
<i>Middle</i>	40	8
<i>Upper</i>	40	10

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa tiang pancang yang digunakan terdapat 3 tipe yaitu *bottom*, *middle* dan *upper* dengan semua diameter 40 cm dan panjang masing-masing 10 m, 8 m, 10 m. Pada gambar 4.4 di bawah ini, dapat dilihat skema titik kalendering tiang pancang dalam penelitian ini.

4.3.3 Denah Titik Fondasi Tiang Pancang



Gambar 4.4 Denah Titik Fondasi Tiang Pancang

4.3.4 Data Kalendering

Data kalendering yang didapat melalui PT. Waskita Jaya Purnama dan PT. Taruna Pertiwi, maka diperoleh panjang tiang pancang yang masuk ke dalam tanah dan penetrasi per 10 pukulan terakhir pada tiang pancang No. 1 sampai No. 12 dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Data Kalendering

No.	No. Tiang Pancang	Kedalaman Tiang Pancang masuk	Penetrasi Tiang Pancang (S)	Rebound (C)
		(m)	(cm)	(cm)
1	11	42.0	0.9	1.3
2	12	42.0	0.8	0.8
3	9	41.5	1.0	1.0
4	10	41.5	0.9	1.0
5	7	41.5	0.8	0.8
6	8	41.0	0.8	0.8
7	1	42.0	0.7	0.9
8	6	41.0	1.0	0.8
9	4	41.0	0.9	0.8
10	2	41.0	0.8	1.0
11	5	41.0	1.0	0.6
12	3	41.0	0.8	0.9

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa pemancangan tiang pancang dilakukan 12 titik pemancangan. Secara keseluruhan tiang pancang terbesar yang masuk ke

dalam tanah adalah 42 meter dan terkecil adalah 41 meter. Hasil penetrasi terbesar adalah 1 cm dan terkecil 0.7 cm. Hasil *rebound* terbesar adalah 1.3 cm dan terkecil adalah 0.6 cm.

Data pengukuram lapangan hasil kalendering secara lengkap dapat dilihat dalam lampiran.

4.4 Analisis Kapasitas Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Formula Dinamis Metode Navy – Mc. Key

Terdapat banyak metode formula dinamis yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang. Di antara beberapa metode yang ada maka yang akan dipakai untuk penelitian ini untuk analisa kapasitas daya dukung tiang pancang adalah dengan formula dinamis Metode *Navy – Mc. Key*.

Dalam perhitungan kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan data lapangan yaitu hasil kalendering dengan menggunakan metode *Navy – Mc. Key* mempunyai persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = \frac{eh \cdot Eh}{S \left(1 + 0.3 \left(\frac{W_p}{W_r} \right) \right)}$$

$$Q_{all} = \frac{1}{SF} \times Q_u$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung tiang

Q_{all} = Kapasitas ijin tiang pancang (ton)

S = Penetrasi pukulan

eh = Efisiensi alat pancang

Eh = Energi alat pancang = $W_H \cdot H$ (ton.cm)

Wr = Berat *Hammer* (ton)

Wp = Berat pile (Ton)

H = Tinggi jatuh (cm)

SF = Faktor Keamanan

Contoh perhitungan pada tiang pancang No.1 sebagai berikut :

$$Q_U = \frac{eh \cdot Eh}{S \left(1 + 0.3 \left(\frac{W_p}{W_r} \right) \right)}$$

Dimana,

Wr = 3.50 ton

Wp = 8.40 ton

eh = 0.85

Eh = WH , H = 595 ton

H = 170 cm

S = 0.70 cm

$$Q_U = \frac{(0.85) \cdot (595)}{(0.70) \left(1 + 0.3 \left(\frac{8.40}{3.50} \right) \right)}$$

$$Q_U = \frac{507.750}{1.204}$$

Qu = 420.058 ton

$$Q_{all} = \frac{1}{SF} \times Q_U$$

Dimana,

SF = 4

$$Q_{all} = \frac{1}{4} \times 420.058$$

Qall = 105.015 ton

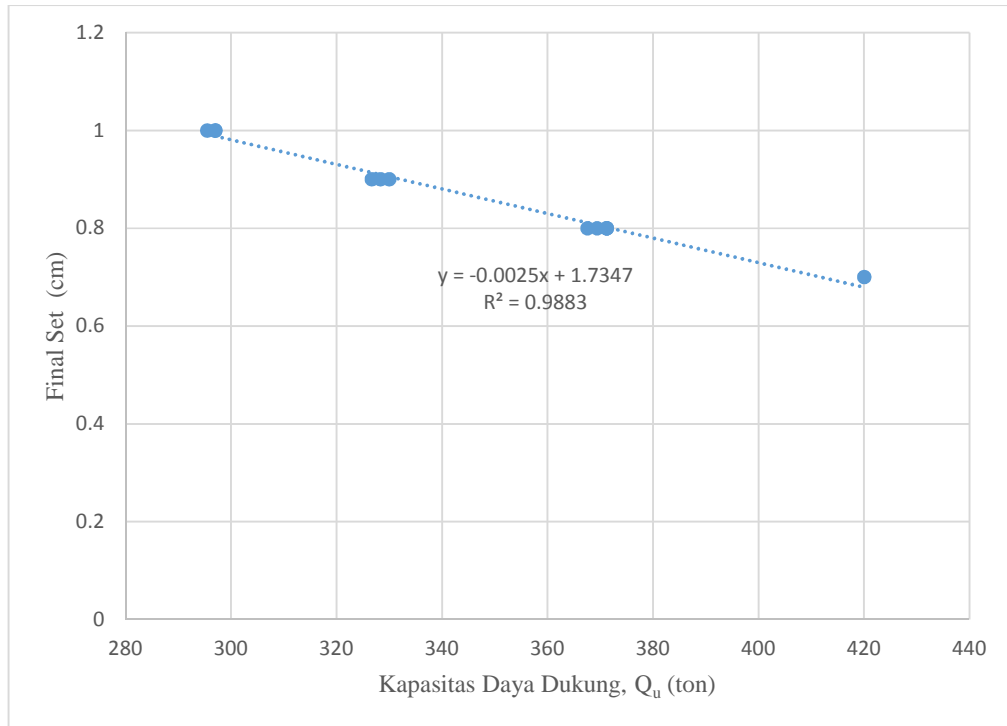
Perhitungan analisis daya dukung tiang pancang secara lengkap selanjutnya dilakukan dengan excel sebagai berikut :

Tabel 4.4 Nilai Kapasitas Daya Dukung Metode Navy – Mc. Key

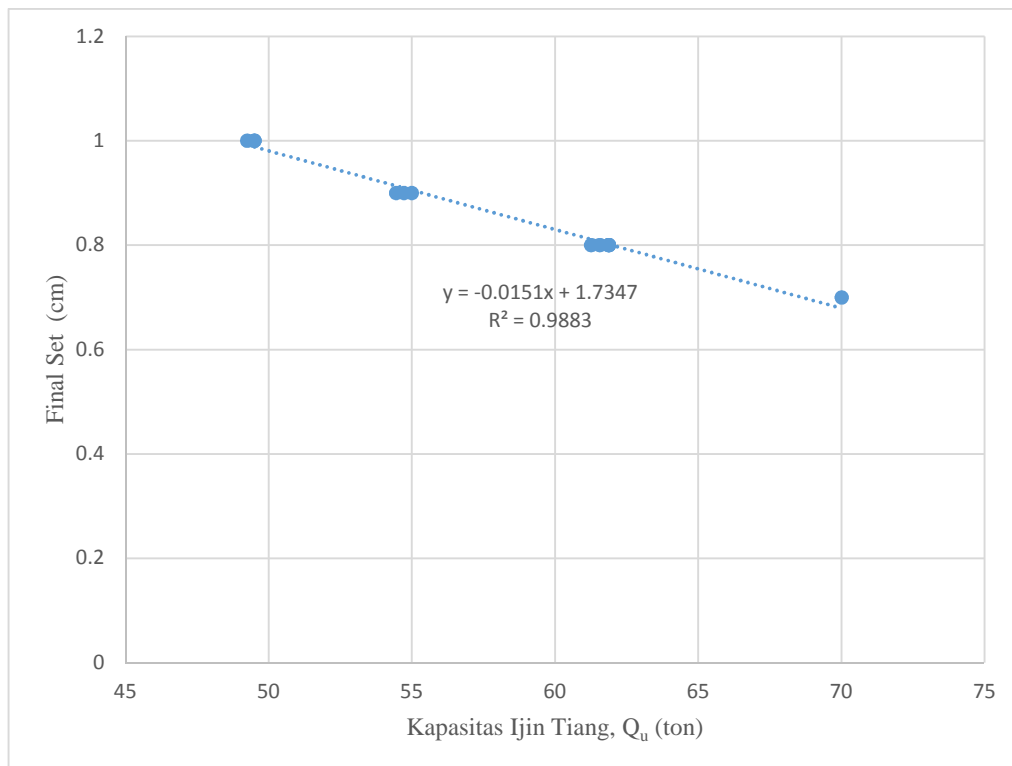
No.	No. Pile	Pc-Pile		Final Set (S) (cm)	Ram Stroke (H) (cm)	Rebound (K) (cm)	Kapasitas Daya Dukung (Qu) (ton)	Kapasitas Ijin Tiang (Qall) SF=4 (ton)
		Used Length (L) (cm)	Pile Weight (W _P) (ton)					
1	11	4200	8.40	0.9	170	1.3	326.712	81.678
2	12	4200	8.40	0.8	170	0.8	367.551	91,888
3	9	4150	8.30	1.0	170	1.0	295.513	73.878
4	10	4150	8.30	0.9	170	1.0	328.348	82.087
5	7	4150	8.30	0.8	170	0.8	369.392	92.348
6	8	4100	8.20	0.8	170	0.8	371.251	92.813
7	1	4200	8.40	0.7	170	0.9	420.058	105.015
8	6	4100	8.20	1.0	170	0.8	297.001	74.250
9	4	4100	8.20	0.9	170	0.8	330.001	82.500
10	2	4100	8.20	0.8	170	1.0	371.251	92.813
11	5	4100	8.20	1.0	170	0.6	297.001	74.250
12	3	4100	8.20	0.8	170	0.9	371.251	92.813

catatan :

- Hasil dengan berwarna merah merupakan hasil daya dukung/kapasitas ijin tiang maksimum
- Hasil dengan berwarna biru merupakan hasil daya dukung/kapasitas ijin tiang minimum



Gambar 4.5 Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Batas (Q_u) Metode Navy-Mc Key



Gambar 4.6 Grafik Kapasitas Daya Dukung Tiang Ijin (Q_{all}) Metode Navy-Mc Key

Dari hasil grafik diatas maka analisis kapasitas daya dukung tiang pancang dengan formula dinamis Metode *Navy – Mc. Key* ditemukan hubungan linier antara final set pancang dengan kapasitas daya dukung tiangnya. Semakin kecil final set (S) maka kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang akan semakin tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis kapasitas daya dukung tiang pancang dengan formula dinamis Metode *Navy – Mc. Key* maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Dalam Metode *Navy – Mc. Key* faktor-faktor yang mempengaruhi dalam menghitung kapasitas daya dukung tiang adalah berat palu/hammer, berat tiang pancang, tinggi jatuh palu/hammer, penetrasi tiang (final set) terakhir, koefisien alat (efisiensi).
2. Hubungan faktor penetrasi tiang (final set) dengan kapasitas daya dukung tiang pancang adalah linier terbalik yaitu semakin kecil final set (S) maka kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang akan semakin tinggi.
3. Dengan tiang pancang beton diameter 40 cm dan kedalaman 42.0 m berdasarkan formula dinamis Metode *Navy – Mc. Key* didapat kapasitas daya dukung tiang pancang ultimate maksimum sebesar 420.058 ton dan minimum sebesar 105.015 ton.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Dalam perhitungan kapasitas daya dukung berdasarkan kalendering, maka diperlukannya ketelitian dalam pengambilan final set (10 pukulan terakhir) dan

sesuai ketentuan bahwa final set tidak boleh lebih dari 1 cm. Karen hasil final set merupakan parameter utama yang akan diperhitungkan dalam perhitungan kapasitas daya dukung tiang.

2. Perlu diingat bahwa formula dinamis merupakan rumus-rumus empiris yang berarti mengandung pada asumsi dan kondisi saat rumus dibuat dan dikembangkan dari hasil pemantauan.
3. Perlu dilakukan perbandingan kapasitas daya dukung tiang pancang formula dinamis dengan menggunakan metode lainnya seperti : metode Modifikasi Hiley, metode Wijaya Karya (Wika), metode Eytelwein, metode Danish, dan metode *Modified Engineering News Record (ENR)*.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi, Andini (2017). *Studi Khusus Pemancangan Tiang di Jakarta Utara dengan Teori Perambatan Gelombang*. Universitas Katolik Parahyangan
- Kalendering pada Proyek Icon City Delta Mas, Cikarang Pusat Bekasi*. Pakuan
- Lukman, Hikmad. *Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil*
Universitas Pakuan
- Moena, Hadi Utoyo (2017). *Mekanika Tanah I*. Bandung : Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana YPKP Bandung
- Moena, Hadi Utoyo (2017). *Mekanika Tanah II*. Bandung : Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana YPKP Bandung
- Rizaldy (2012). *Fondasi Tiang Pancang (Pile Foundation)*. Jakarta Timur
- Rochjati, Takdir (2015). *Analisa Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Hasil Uji Calendering*. Ungaran
- Sardjono, HS (1991). *Fondasi Tiang Pancang Jilid I*. Surabaya : Sinar Wijaya
- Sardjono, HS (1991). *Fondasi Tiang Pancang Jilid II*. Surabaya : Sinar Wijaya
- Seftian, Eko (2015). *Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Statik dan Calendering*. Universitas Sam Ratulangi Manado
- Siboro, Nora Cristina (2009). *Perbandingan Perhitungan Kapasitas Tiang dengan Rumus Dinamis*. Medan : Universitas Sumatera Utara

Siregar, C. A. (2018). *Rekayasa Fundasi I*. Bandung: Universitas Sangga Buana YPKP

Siregar, C. A. (2018). *Rekayasa Fundasi II*. Bandung: Universitas Sangga Buana YPKP

Surendro, Bambang (2015). *Rekayasa Fondasi ; Teori dan Penyelesaian*. Yogyakarta : Graha Ilmu

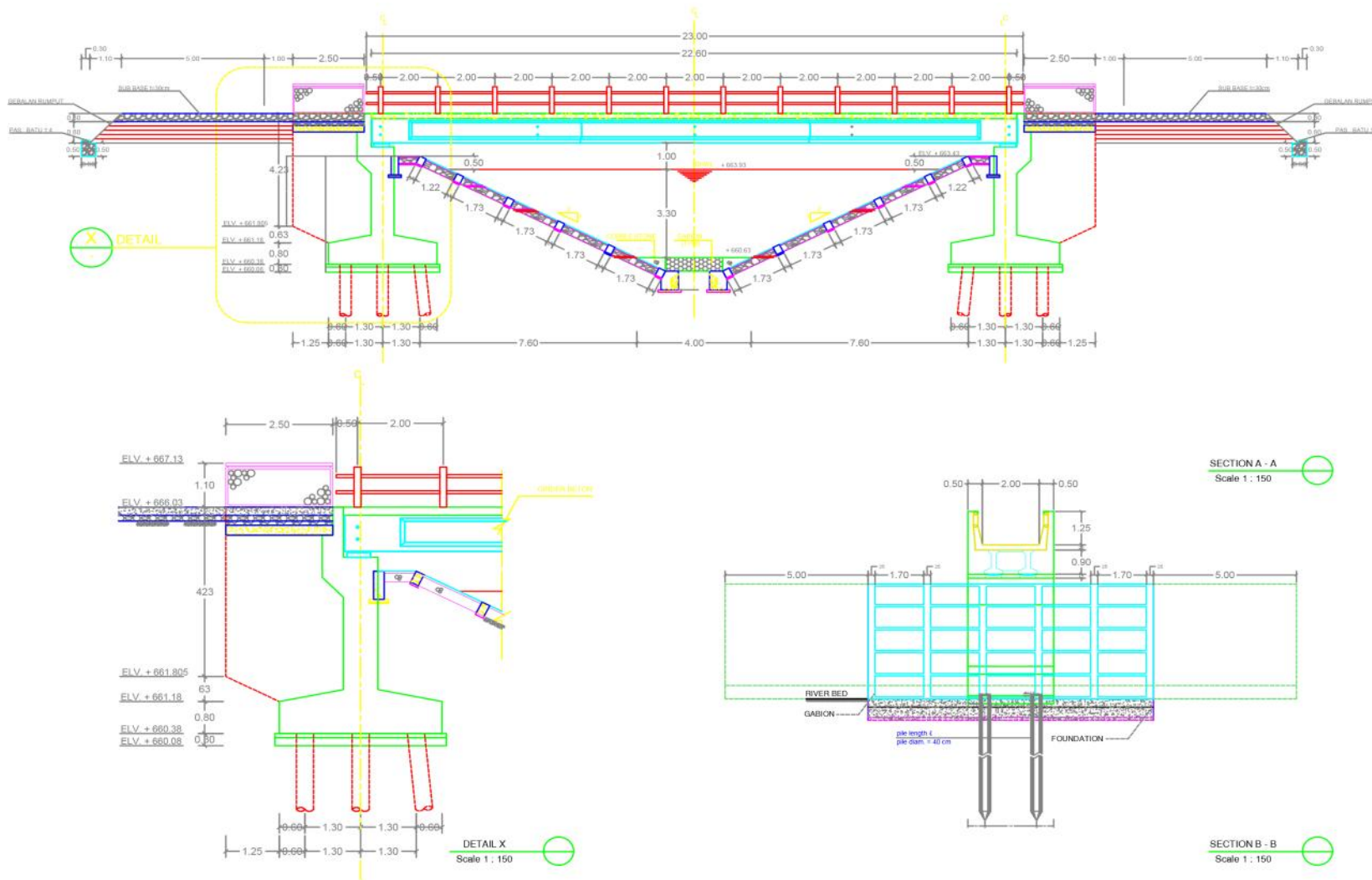
Yusti, Andi (2014). *Daya Dukung Tiang Pancang dengan Hasil Uji PDA danCAPWAP*. Bangka Belitung

LAMPIRAN A

(LEMBAR ASISTENSI)

LAMPIRAN B

(DENAH TITIK PEMANCANGAN
DAN PROFIL JEMBATAN)



PREPARED BY CONTRACTOR		APPROVED FOR SHOP DRAWING		REVISION			
NAME	SIGN	PROJECT	CONSULTANT	CODE	DESCRIPTION	DATE	REMARK
SITE MANAGER:		PROJECT SUPERVISOR	CONSTRUCTION ENGINEER				
PURWANTO, ST		DIKRY DRAS DIKRY, A. ms	SURYADI				
PROJECT MANAGER		PPK, SP, J	CO-TEAM LEADER:				
MOHAMMAD BRODZ		EDHAR MUHAMMAD SYAHAN, ST, MERSA TLP. 081241424111 VW	TEDY SIBWANTO				

MINISTRY OF PUBLIC WORKS & HOUSING
DIRECTORATE GENERAL OF WATER RESOURCES
BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI CITARUM
 DIVY PELAKSANAAN JARINGAN SUMBER AIR CITARUM
Alamat: Jln. Hertasni Citarum Selatan No. 400 Bandung 40132. Telp. Fax (022) 7564973.

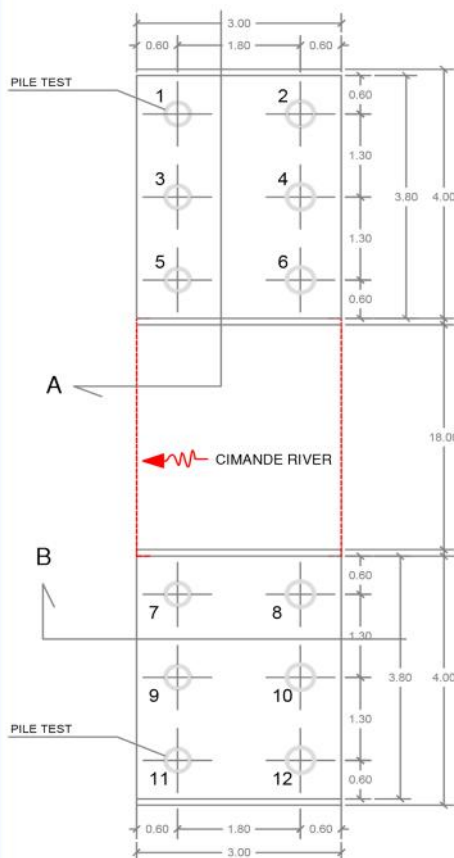
UPPER CITARUM BASIN
 FLOOD MANAGEMENT SECTOR LOAN PROJECT
 (JICA LOAN - IP - 559)
 RIVER IMPROVEMENT AND CONSTRUCTION OF RIVER STRUCTURE
 OF CIMANDE (PACKAGE-A2)

Oriental Consultants Global Co. Ltd.
Project Engineering Division

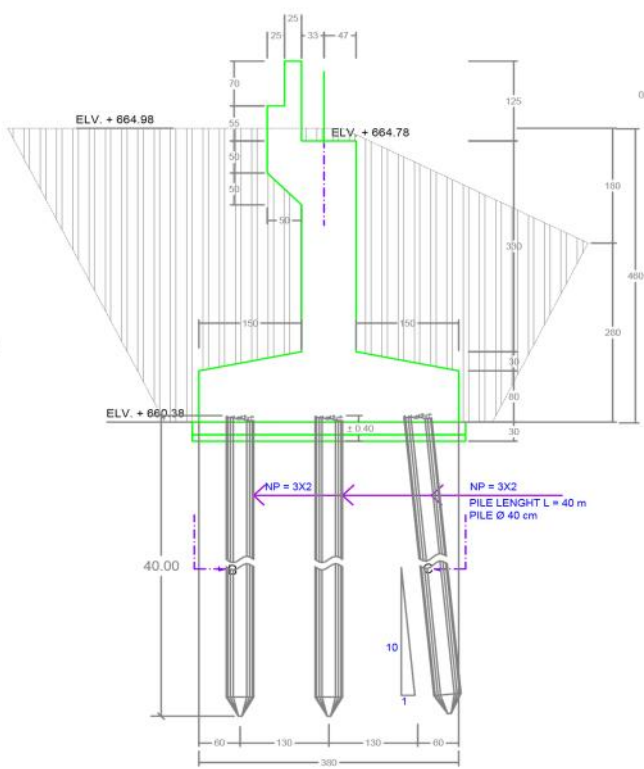
DRAWING TITLE :
 SECTION OF PEDESTRIAN BRIDGE
 PC-TYPE WIDTH 2.0m

PT. MANGKITA ALFA PERKASA
PT. TUNGGAL PUTRA PERKASA, LTD.

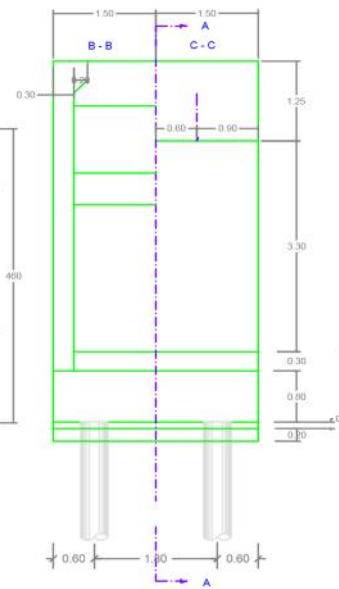
DRAWING NO. :
 CMD-ST-PB-021



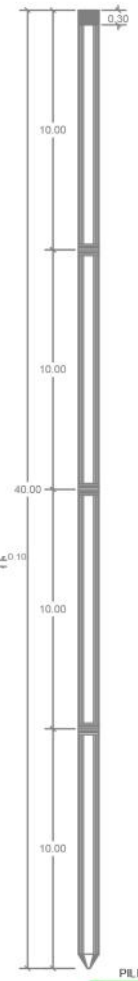
PILLING PLAN
Scale 1 : 150



SECTION A-A
Scale 1 : 150



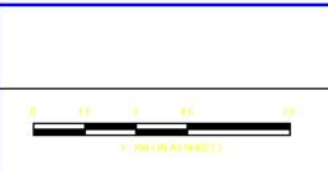
SECTION B - B
Scale 1 : 150



PILE
Scale 1 : 150

KOORDINAT TITIK PANGCANG

NO. TITIK	X	Y
1	806468.827	9225795.354
2	806470.619	9225795.523
3	806468.949	9225794.060
4	806470.741	9225794.229
5	806469.071	9225792.765
6	806470.863	9225792.934
7	806470.868	9225773.649
8	806472.660	9225773.818
9	806470.990	9225772.355
10	806472.782	9225772.524
11	806471.112	9225771.061
12	806472.904	9225771.229



PREPARED BY CONTRACTOR		APPROVED FOR SHOP DRAWING		REVISION			
NAME	SIGN	PROJECT	CONSULTANT	CODE	DESCRIPTION	DATE	REMARK
SITE MANAGER :		PROJECT SUPERVISOR	CONSTRUCTION ENGINEER :				
PROJECT MANAGER :		PROJECT MANAGER :	PROJECT MANAGER :				
MOHAMMAD BRODZ		ERWAN MUKHAMAD SOEWAN, ST. MPEKSA Telp. 0812 444111 W	TREY BIRWANTO				

MINISTRY OF PUBLIC WORKS & HOUSING
 DIRECTORATE GENERAL OF WATER RESOURCES
BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI CITARUM
 SINVT PELAKSANAAN JARINGAN SUMBER AIR CITARUM
Alamat : Jln. Hospital Citarum Sukarene-Heris 40132 Bandung 40132, Telp. Fax (021) 7564073.

UPPER CITARUM BASIN
 FLOOD MANAGEMENT SECTOR LOAN PROJECT
 (JICA LOAN : IP - 359)
 RIVER IMPROVEMENT AND CONSTRUCTION OF RIVER STRUCTURE
 OF CIMANDE (PACKAGE-A2)

Oriental Consultants Global Co., Ltd.
Branch: Bandung, Cirebon, Jakarta, Medan, Padang, Pekanbaru, Palembang, Pontianak, Samarinda, Surabaya, Yogyakarta

DRAWING TITLE :
 PILLING PLAN
 PEDESTRIAN BRIDGES STA 3+31

PT. SARANA PELAKSANAAN PERTAMA, Tbk.
Jl. Tolong Arief Rahman Hakim No. 100, Jakarta 10110

DRAWING NO :
 CMD-ST-PB-023

LAMPIRAN C

(DATA KALENDERING)

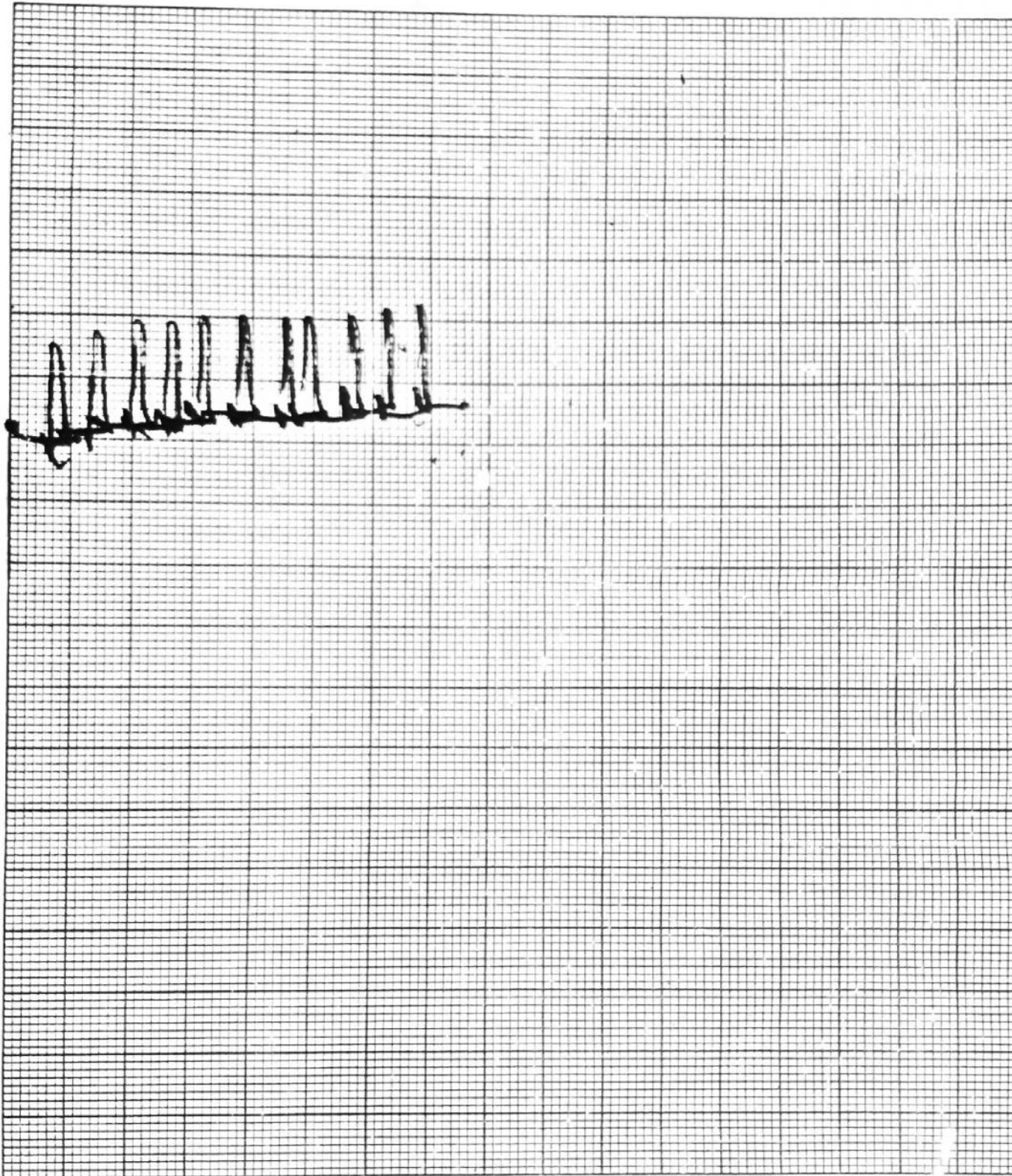
TGL/2.03 2019

PILE DRIVING LOG

No. : 1

Project : _____
Date : 2/3 - 2019
Block No : _____
Pile No. : 1

Penetration Depth : 42 + 0.06 2 M
Final Set : 7 mm
Total No. Of Blows : 990
Casting Date : _____



12
13
14
15
16
17
18
19
20

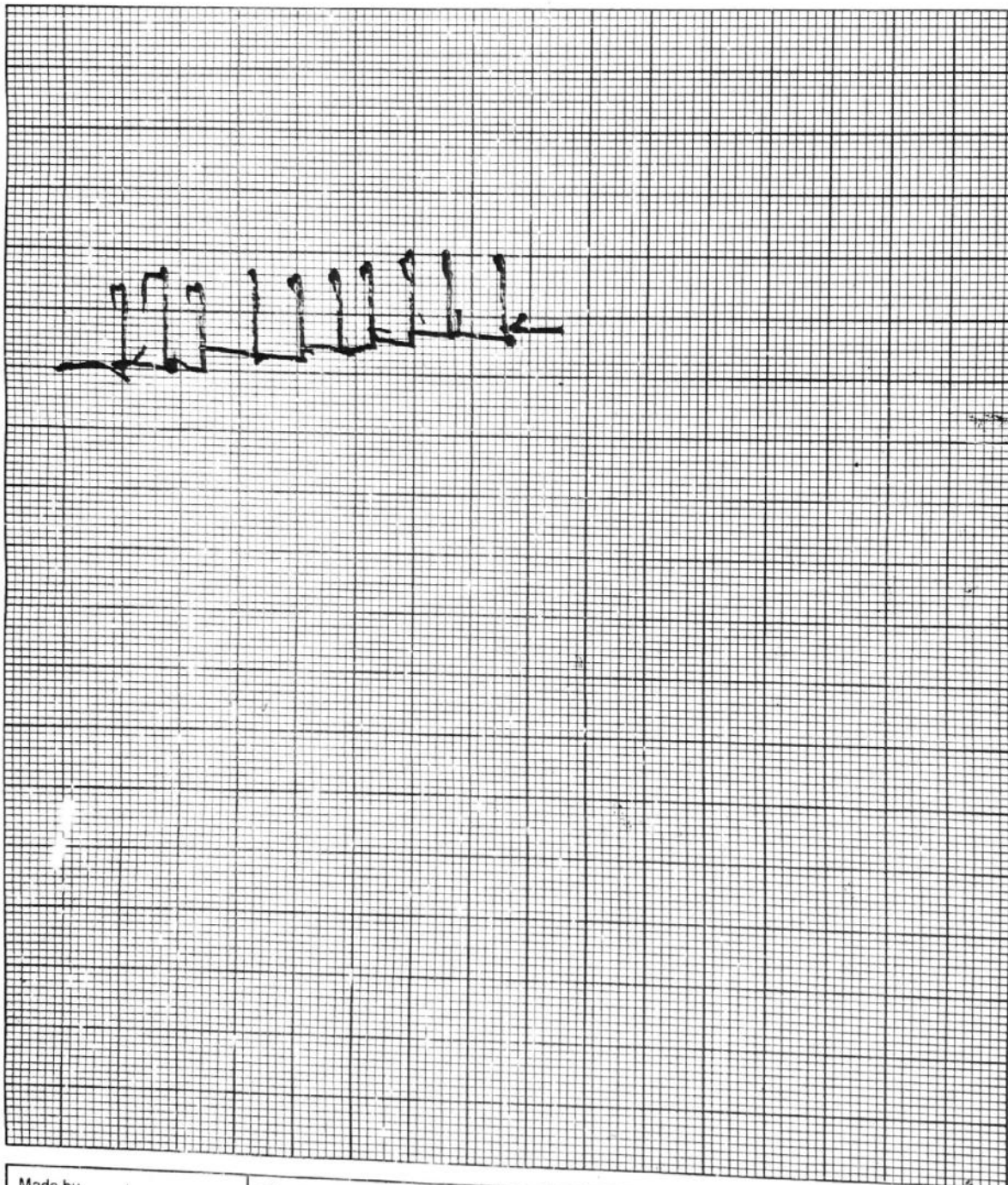
TG 613 022019

PILE DRIVING LOG

No. : 2

Project : _____
Date : 3/3 - 2019
Block No : _____
Pile No. : 2

Penetration Depth : 41 + 0.6 = 3 m M
Final Set : 8 mm
Total No. Of Blows : 934
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : <u>[Signature]</u>	Witnessed by : _____	Form No. : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : <u>3/3 - 2019</u>	Date : _____	Date : _____

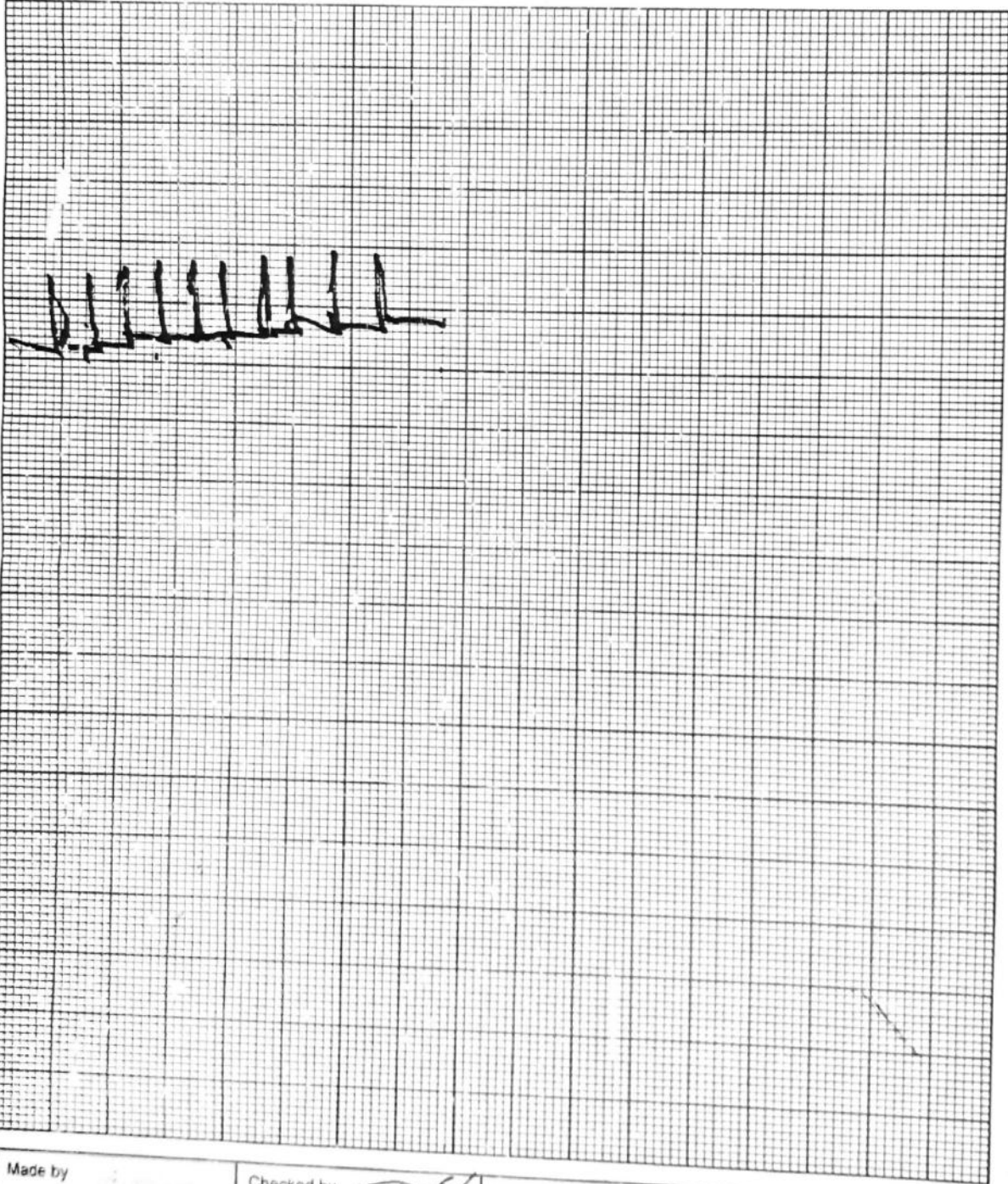
TGL/S 022017

PILE DRIVING LOG

No. : 3

Project : _____
Date : 3/3-2019
Block No : _____
Pile No. : 3

Penetration Depth : 41 + 006 3 M
Final Set : 8 mm
Total No. Of Blows : 883
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : <i>[Signature]</i>	Witnessed by : _____	Form No. : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : 3/3-2019	Date : _____	Date : _____

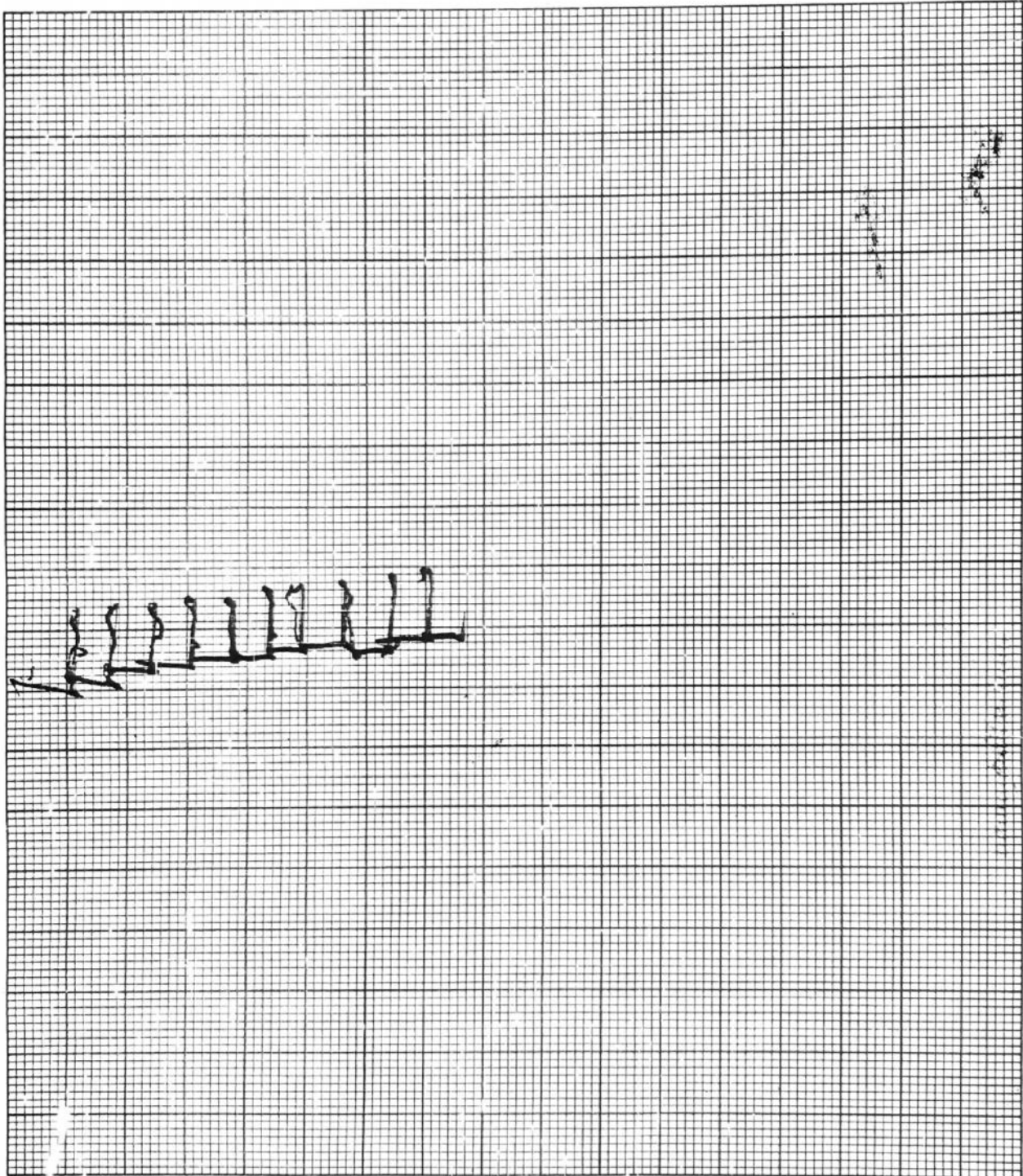
TGL/2 02 2019

PILE DRIVING LOG

No. 4

Project : _____
Date : 2/3 - 2019
Block No : _____
Pile No. : 4

Penetration Depth : 41 + 006 3 m M
Final Set : 9 mm
Total No. Of Blows : 920
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : <i>[Signature]</i>	Witnessed by : _____	Form No : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : 2/3 - 2019	Date : _____	Date : _____

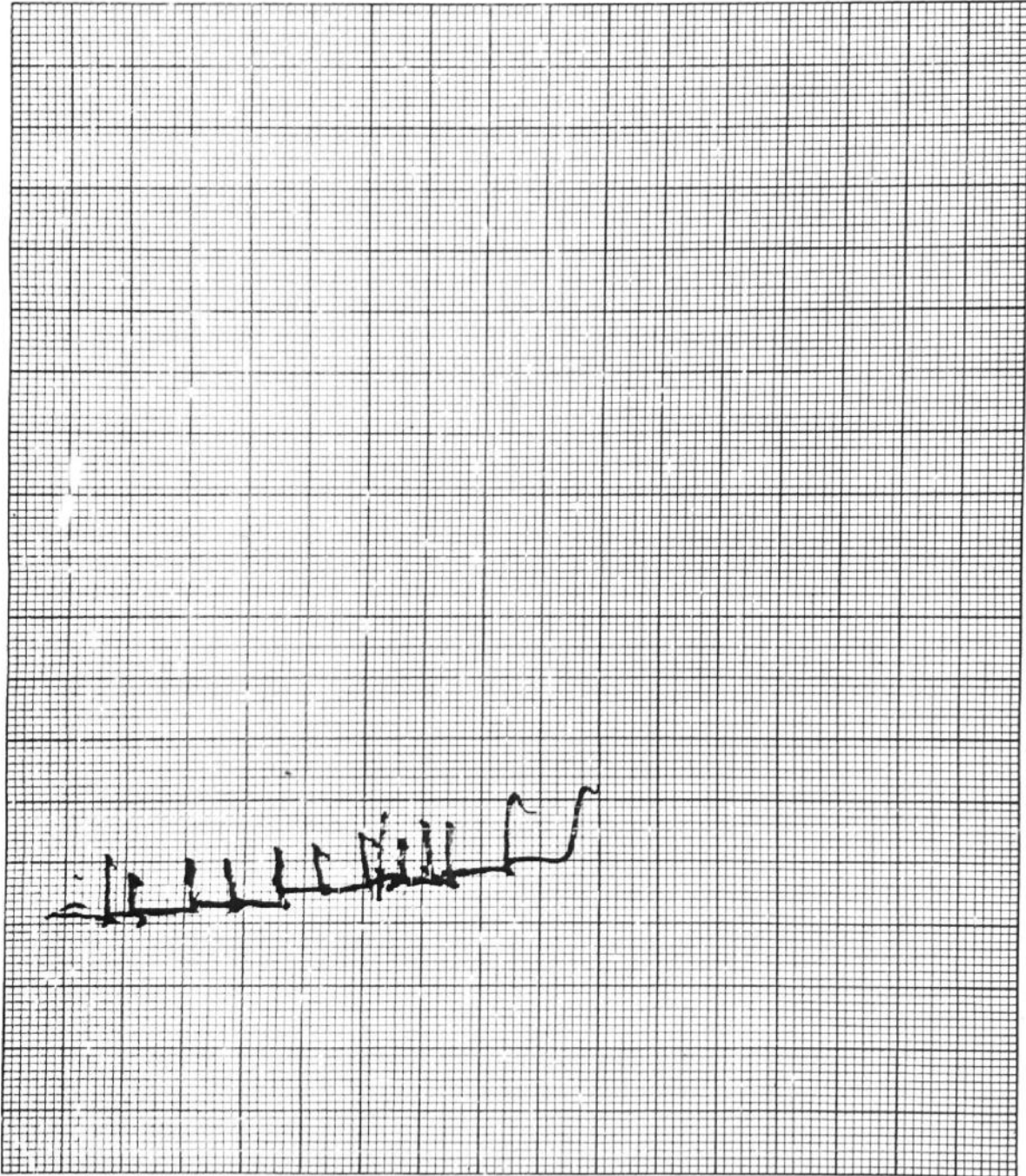
TCL/3 022019

PILE DRIVING LOG

No. : 5

Project : _____
Date : 3/3 - 2019
Block No : _____
Pile No. : 5

Penetration Depth : 41 + 004 3 r M
Final Set : 1 cm
Total No. Of Blows : 910
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : <i>[Signature]</i>	Witnessed by : _____	Form No. : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : _____	Date : _____	Date : _____

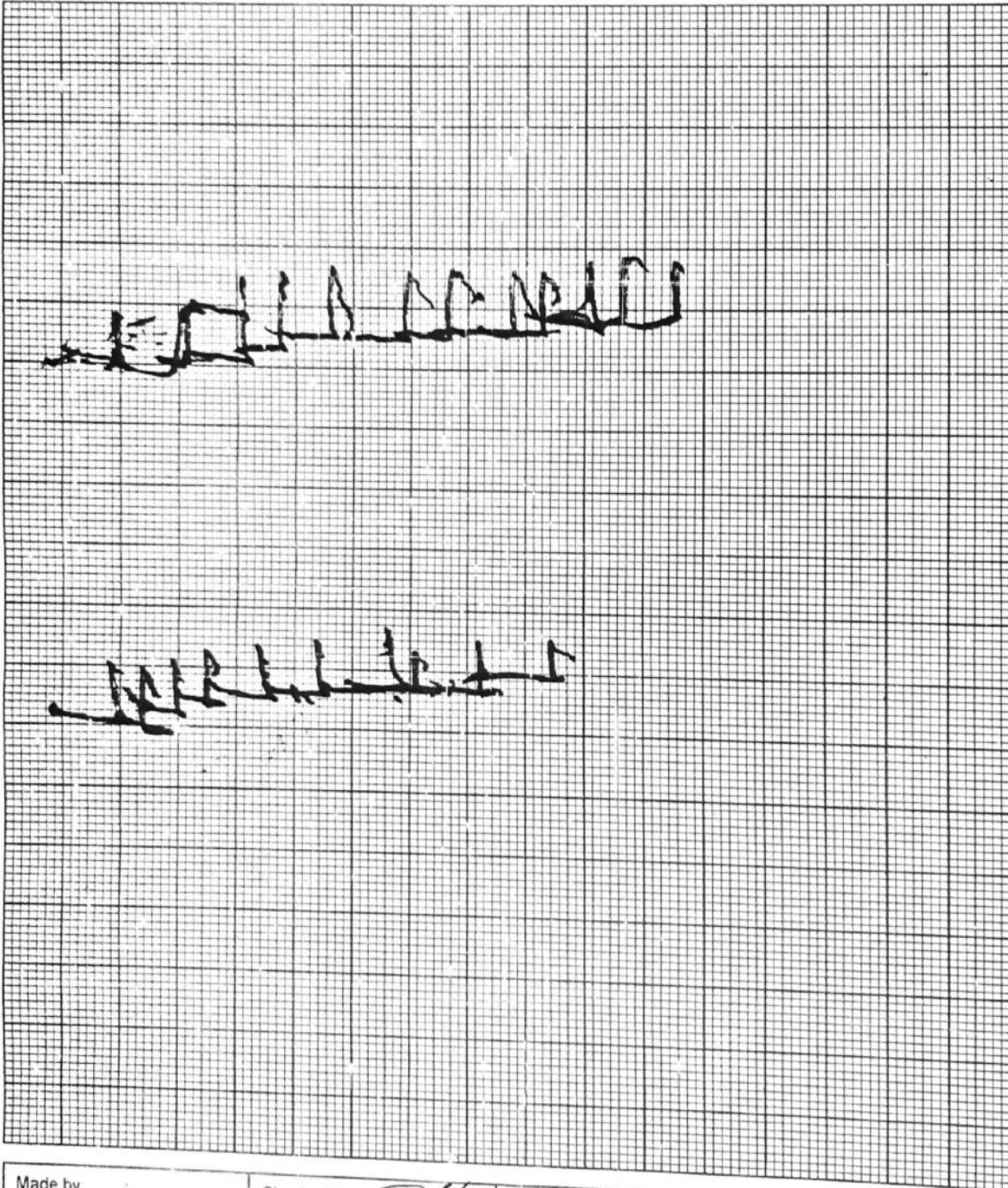
TGH/2 022019

PILE DRIVING LOG

No. 6

Project : _____
Date : 2/3 - 2019
Block No : _____
Pile No. : 6

Penetration Depth : 41 + 004 3 m M
Final Set : 1 cm
Total No. Of Blows : 890
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : <u>[Signature]</u>	Witnessed by : _____	Form No. : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : <u>2/3 - 2019</u>	Date : _____	Date : _____

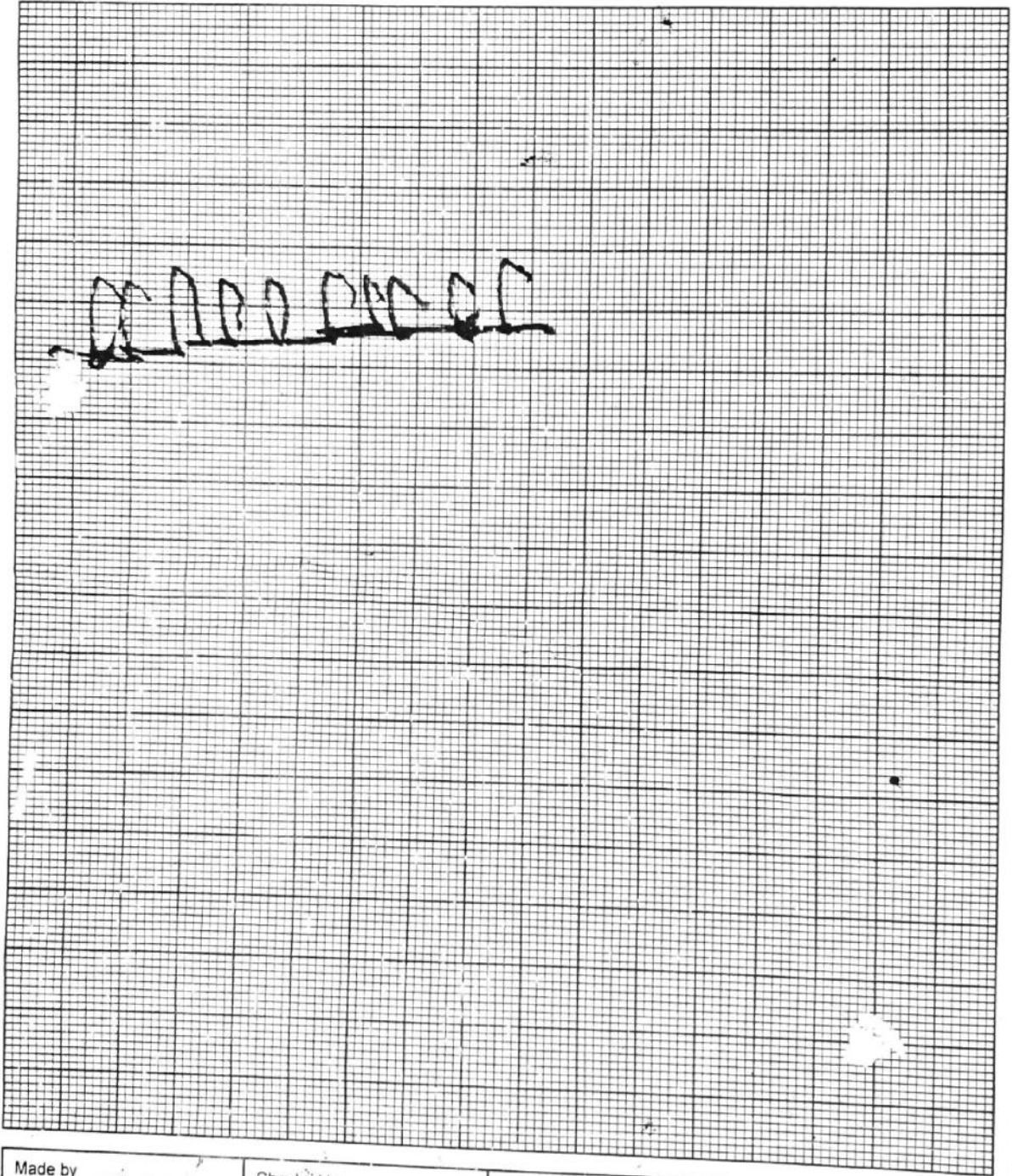
TGL-129 DR 2019

PILE DRIVING LOG

No.: 7

Project : _____
Date : 1/3 2019
Block No : _____
Pile No. : 7

Penetration Depth : 41.5 - 004 M
Final Set : 8 mm
Total No. Of Blows : 515
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : _____	Witnessed by : _____	Form No. : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : _____	Date : _____	Date : _____

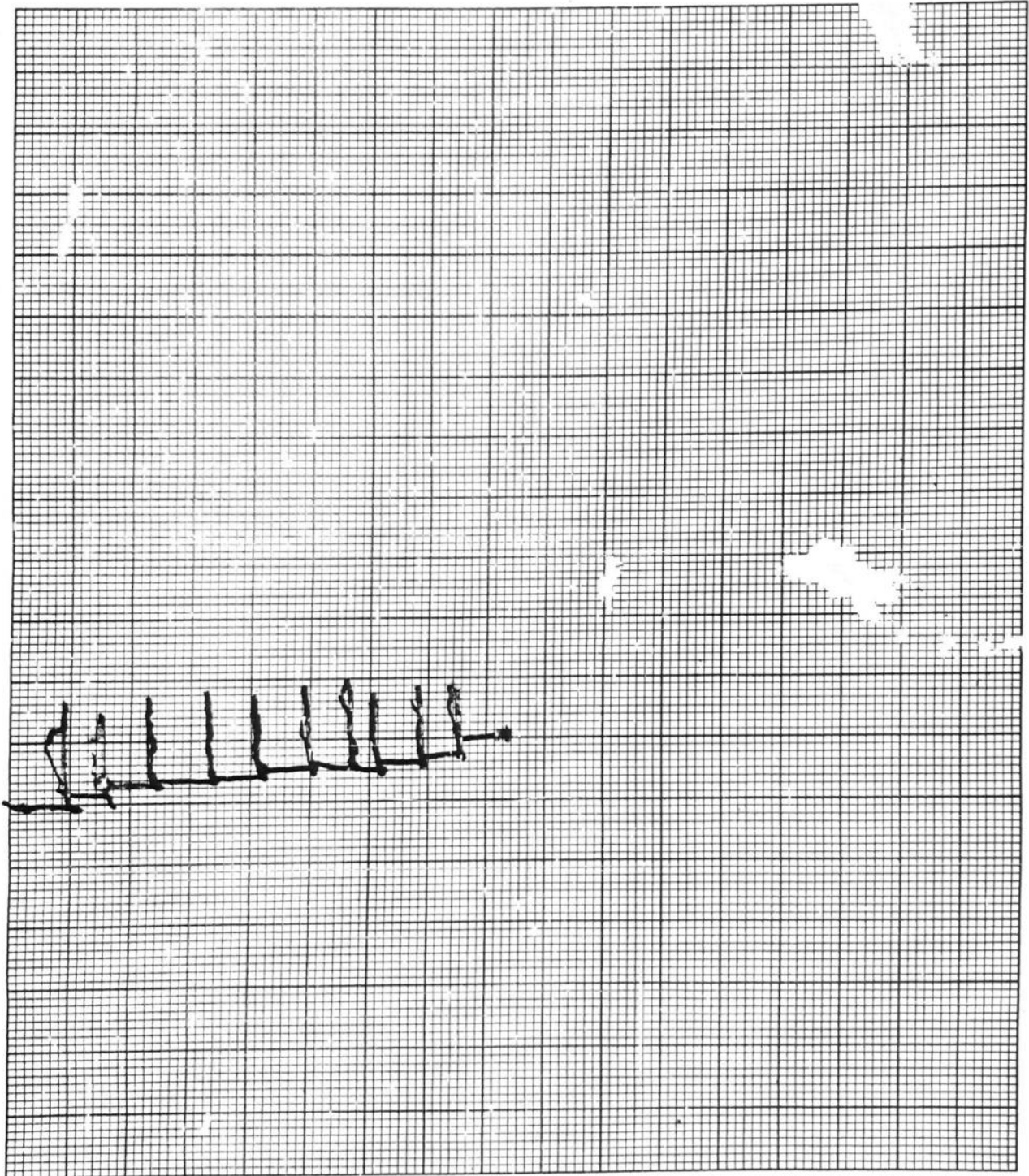
TC76/2902 2019

PILE DRIVING LOG

No. 9

Project _____
Date 1/3-2019
Block No _____
Pile No. 9

Penetration Depth 41.5 m
Final Set 1 cm
Total No. Of Blows 846
Casing Date _____



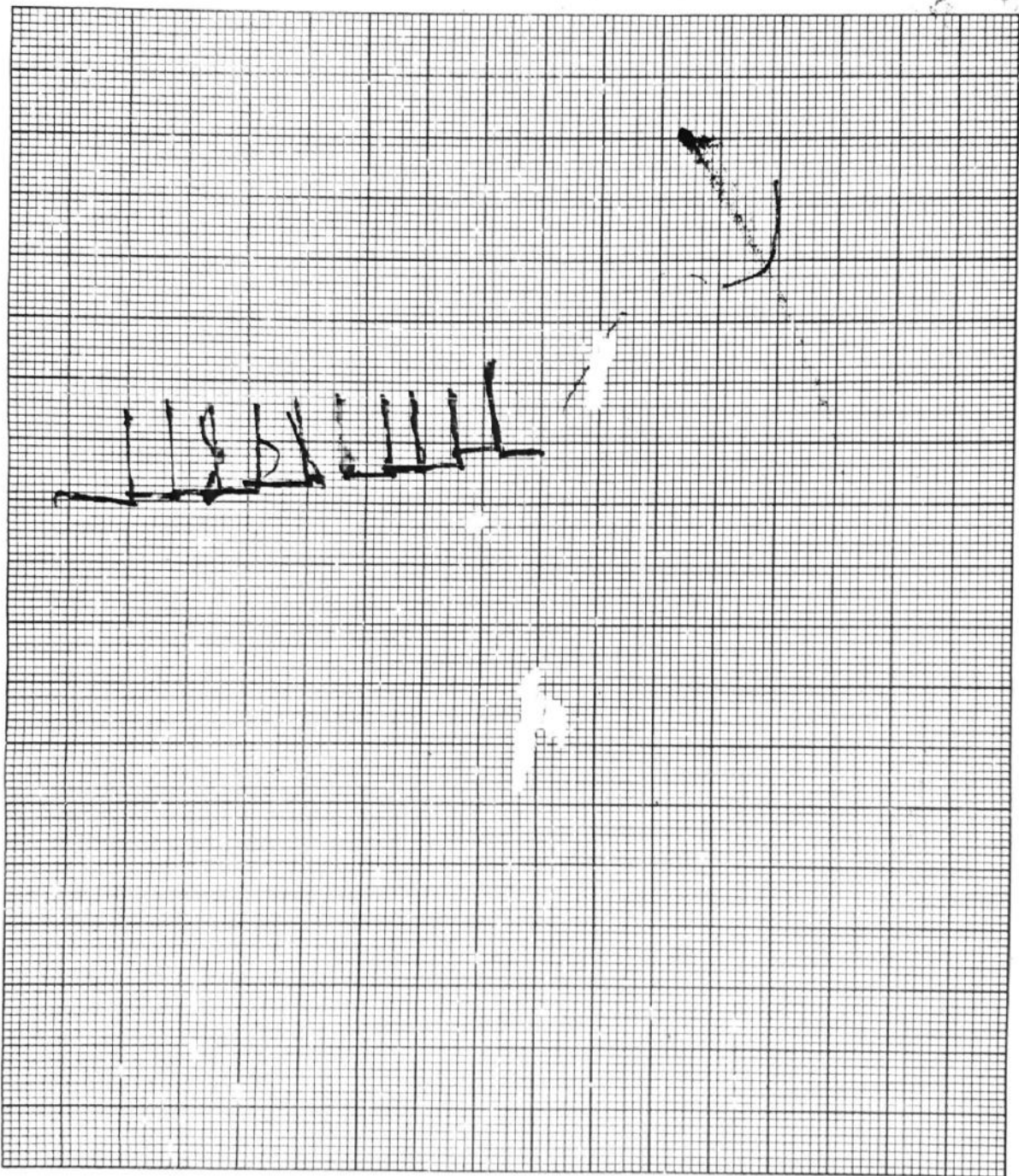
TGH/29 02 2019

PILE DRIVING LOG

No. : 10

Project : _____
Date : 1/3 - 2019
Block No : _____
Pile No. : 10

Penetration Depth : 41.5 x 3.5 m **M**
Final Set : 9 mm
Total No. Of Blows : 846
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : <u>TH</u>	Witnessed by : _____	Form No. : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : _____	Date : _____	Date : _____

TCL/29 022019

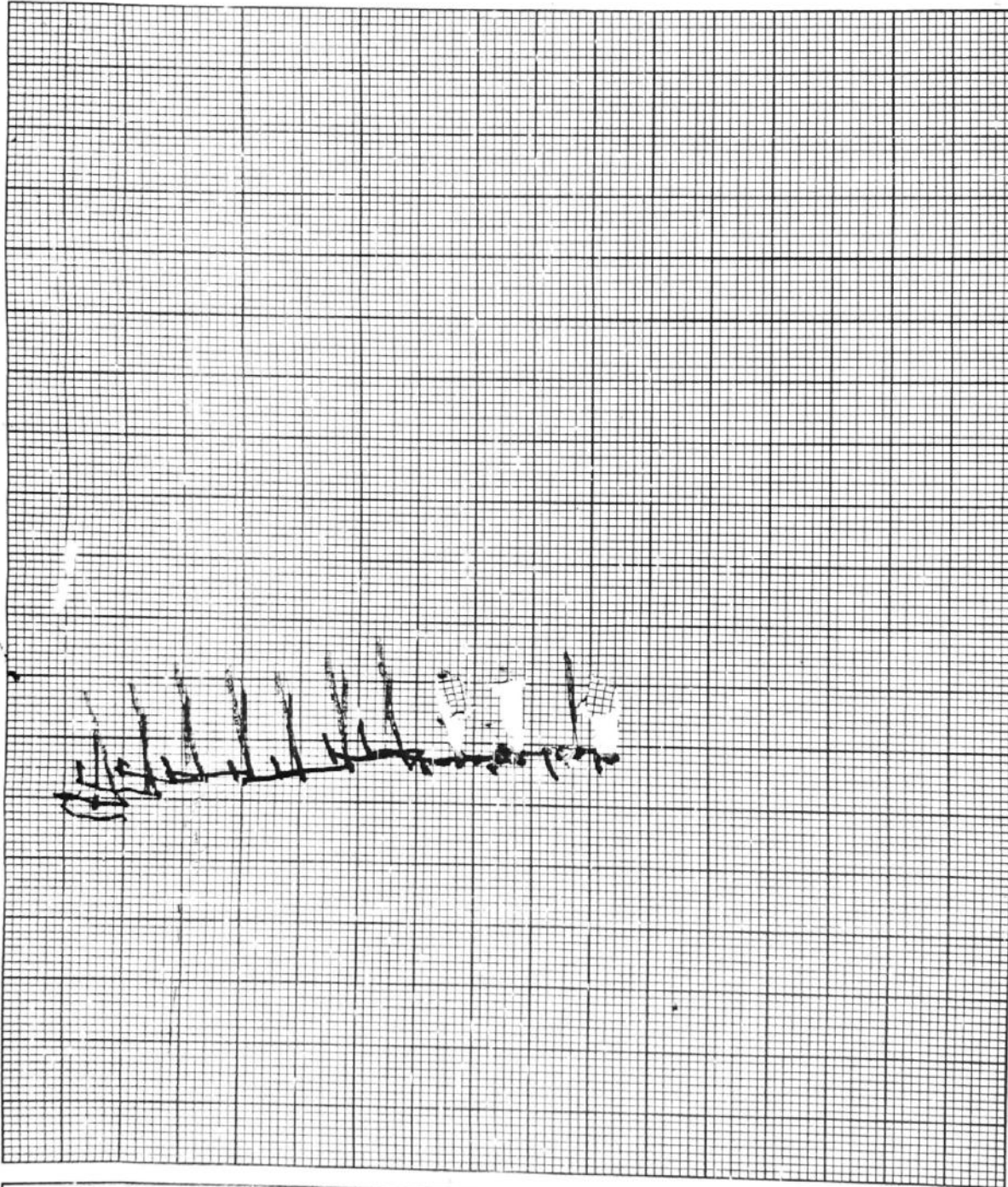
PILE DRIVING LOG

No.: 11

PERAMA

Project :
Date : 1/3 - 2019
Block No :
Pile No. : 11 (Cast Pile)

Penetration Depth : 72 + 056 M
Final Set : 9 mm
Total No. Of Blows : 1053
Casting Date :



Made by : Signature : Date : 01/3/2019	Checked by : [Signature] Signature : Date :	Witnessed by : [Signature] Signature : Date : 01/3/2019	Form No. : Signature : Date :
--	---	---	-------------------------------------

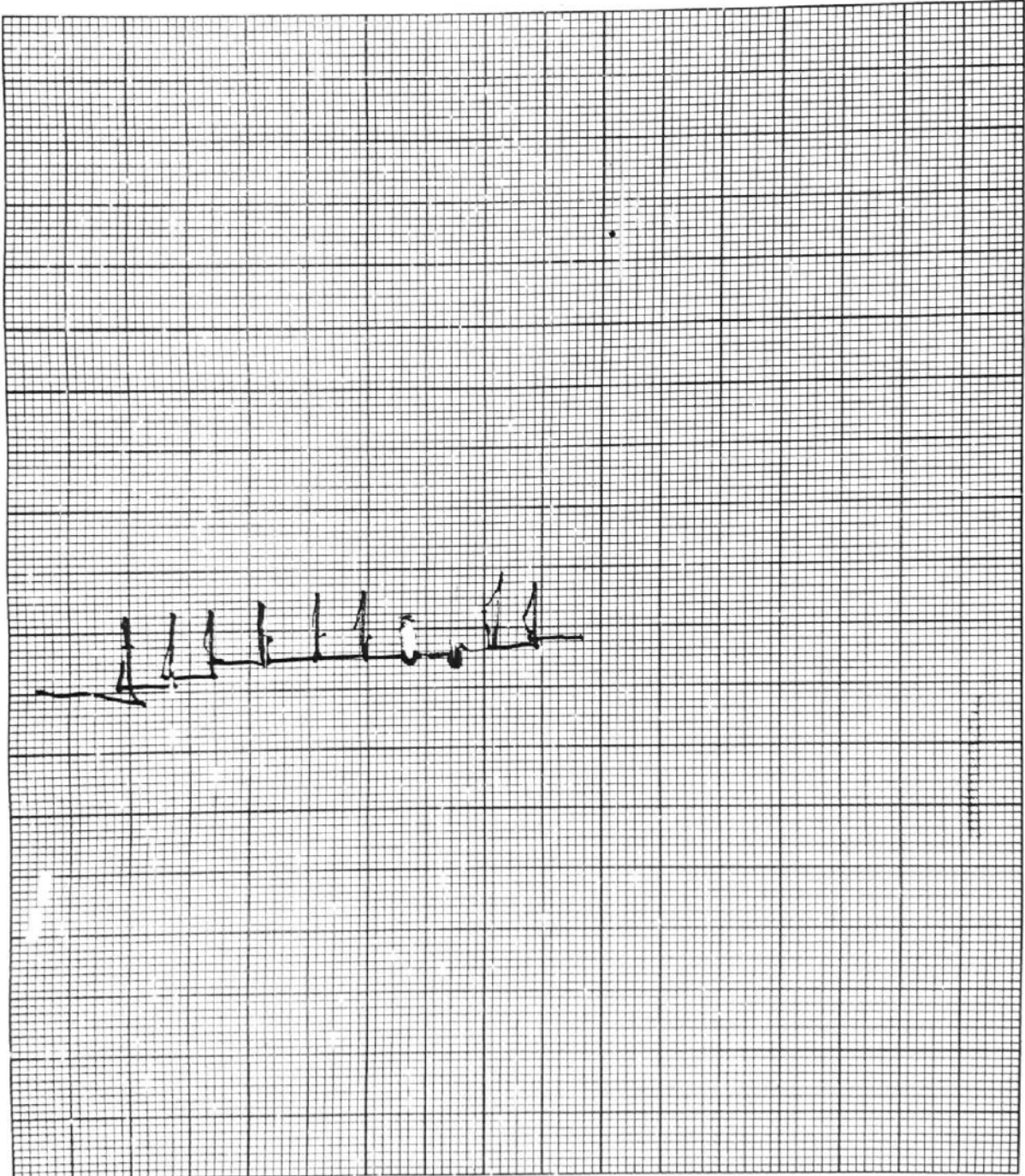
TGL/29 02 2019

PILE DRIVING LOG

No. :

Project : PERFAMA
Date : 1/3-2019
Block No : _____
Pile No. : 12

Penetration Depth : 41.5 006 3.5 M
Final Set : 900
Total No. Of Blows : 939
Casting Date : _____



Made by : _____	Checked by : <u>[Signature]</u>	Witnessed by : <u>[Signature]</u>	Form No. : _____
Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____	Signature : _____
Date : _____	Date : _____	Date : _____	Date : _____

LAMPIRAN D

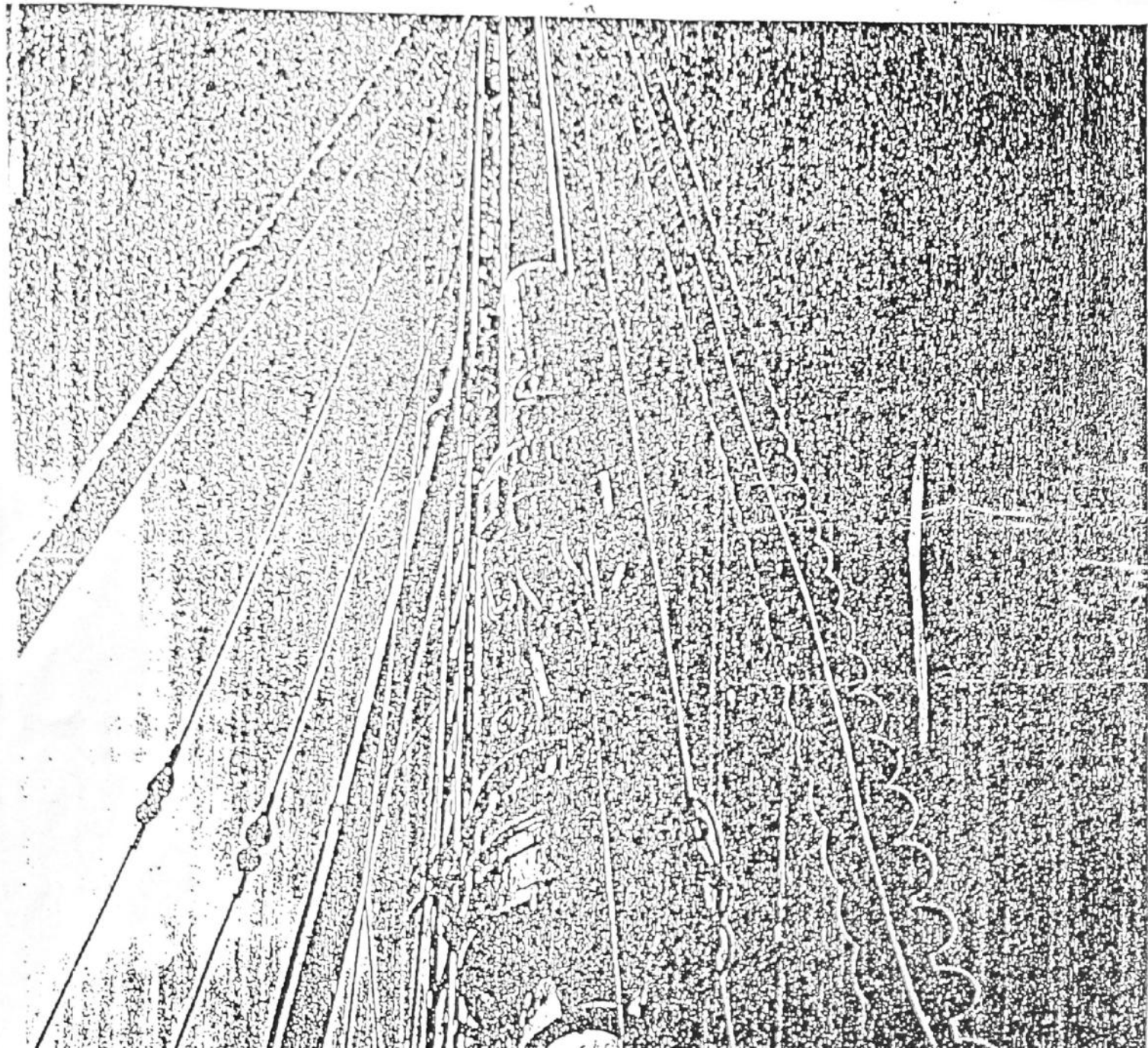
(DATA SPESIFIKASI ALAT)

High quality products on land, sea and in the air

IHI

DIESEL The Water-Cooled Hammer with
the "Complete Combustion" System
PILE HAMMERS

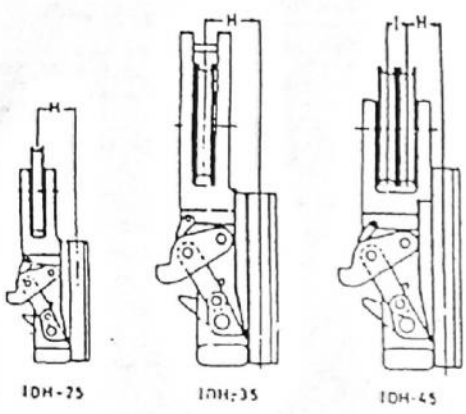
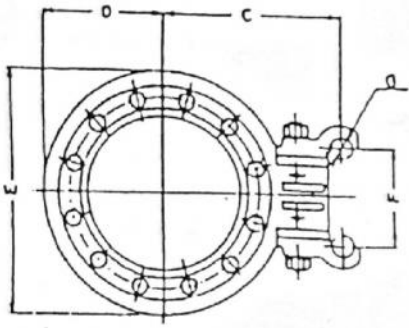
IDH-25
IDH-35
IDH-45



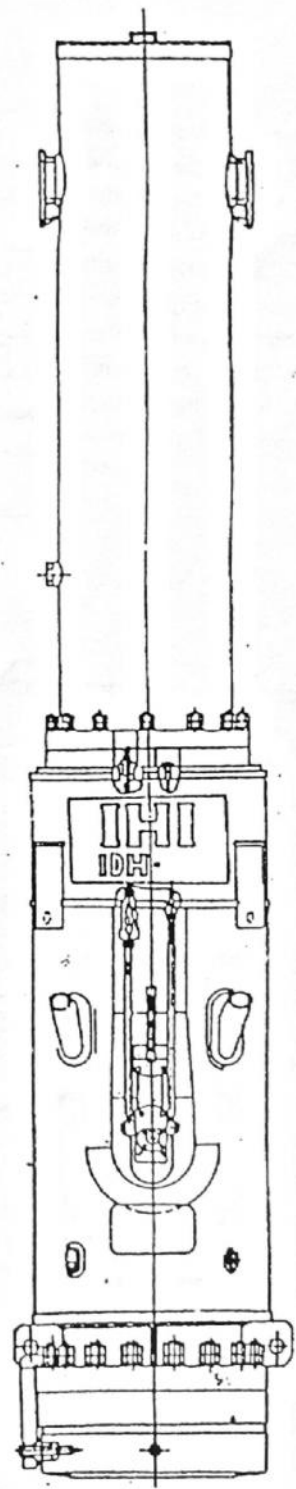
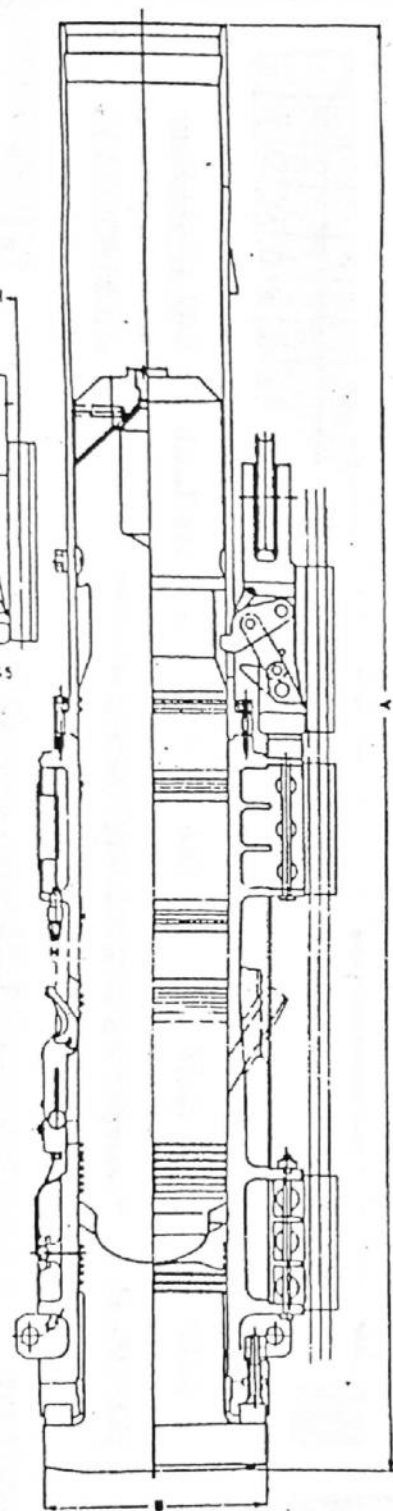
1. SPECIFICATIONS

Specifications				
Model		IDH-25	IDH-35	IDH-45
Impact Weight (Ram)	kg	2,500	3,500	4,500
Energy per blow	m.kg	7,500	10,500	13,500
Number of blows per minute		42 - 60	42 - 60	42 - 60
Max combustion pressure against pile	kg	108,000	150,000	191,000
Operating weight (dry)	kg	5,500	7,800	10,800
Cooling system		Water Cooled		
Fuel oil consumption	l/h	10 - 14	14 - 20	18 - 25
Lubricant consumption	l/h	1.5	1.8	2
Capacity (Fuel oil reservoir)	l	35	50	62
Capacity (Lube oil basin)	l	7	7.6	10
Capacity (Cooling water tank)	l	125	150	175

2-3



	1DH-25	1DH-35	1DH-45
A	4,565	4,613	4,698
B	590 Φ	700 Φ	780 Φ
C	433,5	490	580
D	305	355	405
E	610 Φ	710	810
F	330	330	330
G	70 Φ	70 Φ	70 Φ
H	125	146,5	118
I			65



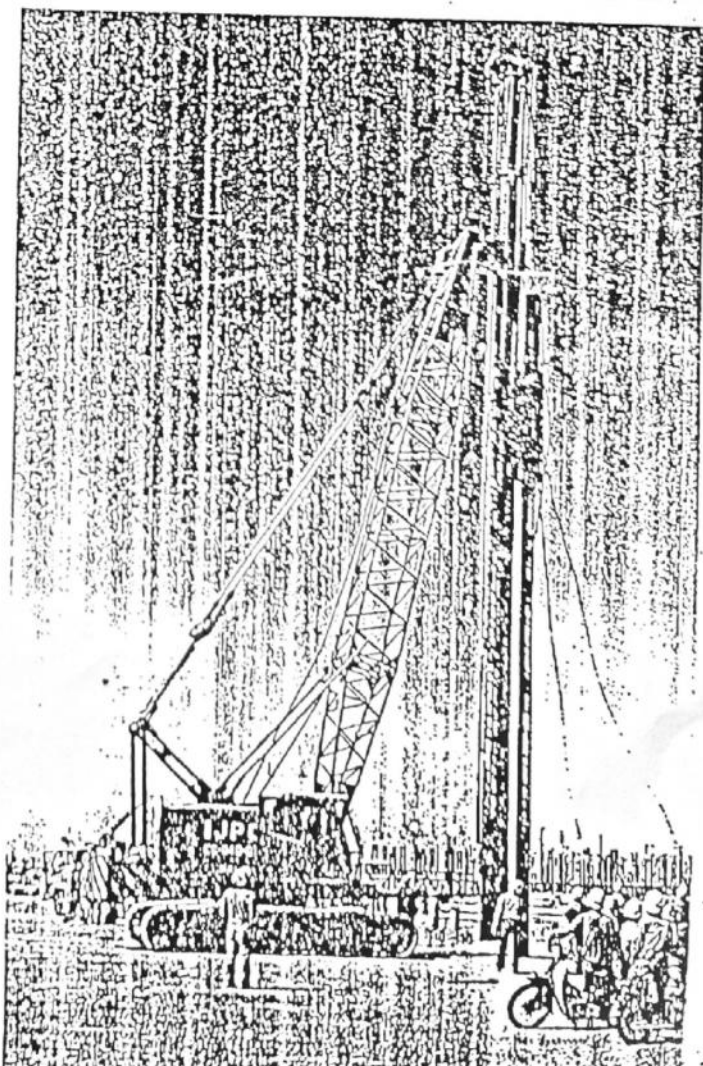
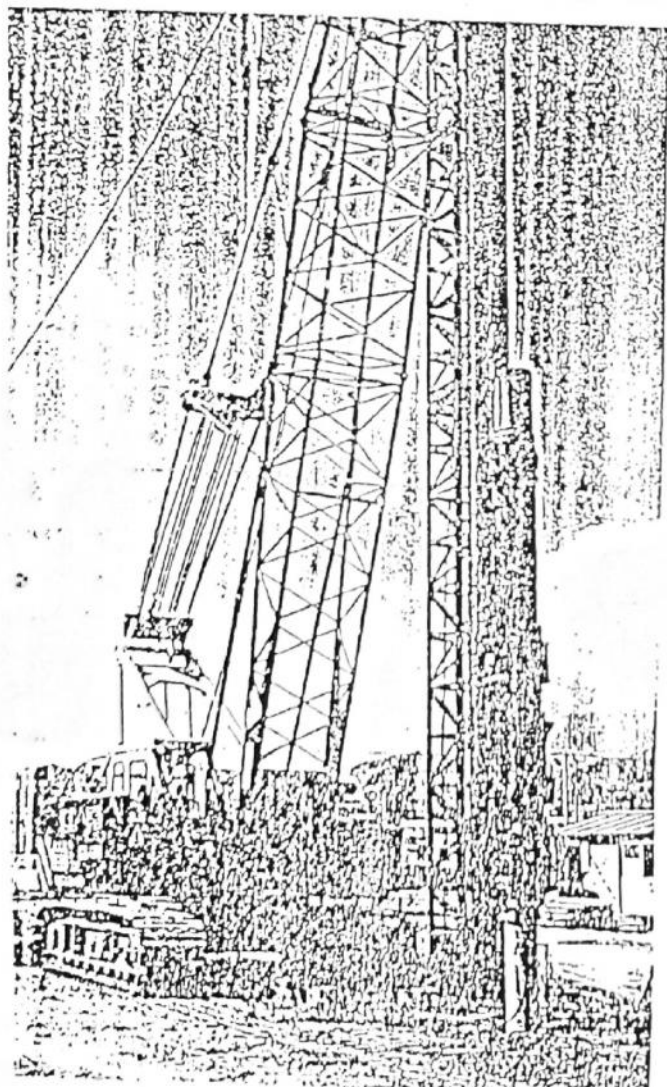
Applicability of IDH Diesel Pile Hammers

The relationships between hammer capacities and pile sizes are shown in the table below.

Diesel pile hammer model		IDH-25	IDH-35	IDH-45
Pile weight	metric tons	1.6-6.0	2.2-8.5	2.9-11.0
PILE SIZE				
Steel tube piles	mm	350-600 ϕ	500-800 ϕ	600-1000 ϕ
Concrete piles	Round section mm	300-500 ϕ	400-600 ϕ	500-900 ϕ
	Square section mm	270-450 \square	350-550 \square	450-800 \square
H- & I-shaped steel piles	mm	300-400	350-400	400 \square
Steel sheet piles		1- or 2-sheets driving	2-sheets driving	2-sheets driving

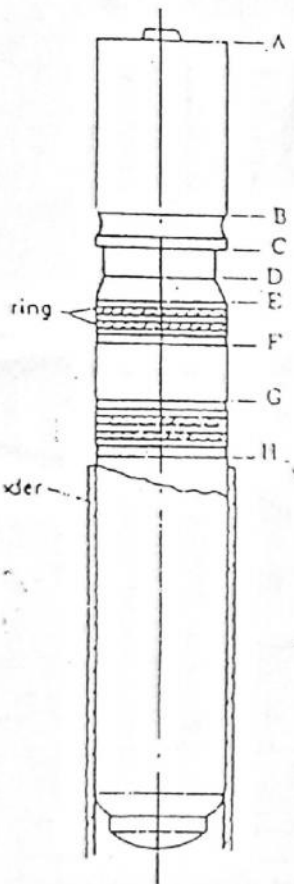
IDH Diesel Pile Hammers can be guided not only in the IHI standard leader but also in American U-type leaders and other types of leaders by modifying the guide clamps or parts of the hammer body. If necessary, please consult us in regard to any kind of application concerning IDH Diesel Pile Hammers.

NOTE: The ratio of driving energy loss increases as the weight of the pile increases in comparison to the impact weight (ram). It is therefore not recommendable to drive a pile that is more than four times heavier than the ram weight.



2) Visual Measurement

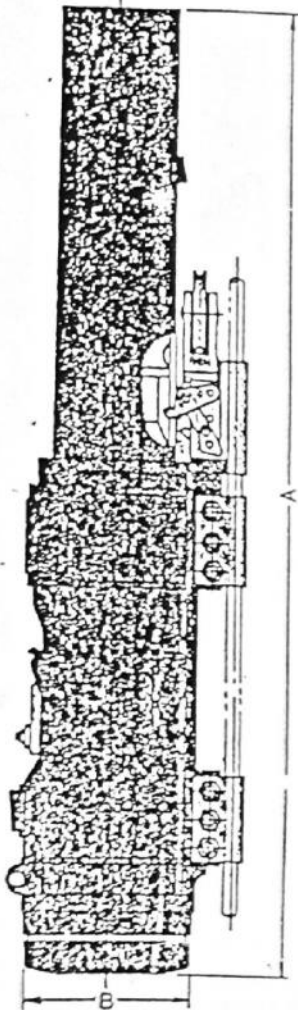
The falling distance of the ram of a Model IDH pile hammer is as shown in the table below when the respective machining border lines on the ram move out of the upper cylinder.



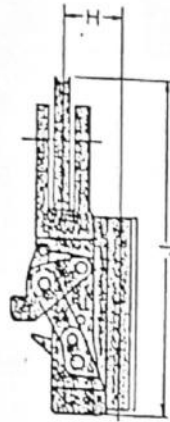
Jumping Height			
Unit: m			
Model	IDH-25	IDH-35	IDH-45
Jumping point			
A	0.92	0.96	0.93
B	1.42	1.44	1.47
C	1.55	1.58	1.62
D	1.81	1.83	1.91
E	1.87	1.89	2.01
F	1.95	1.99	2.09
G	2.32	2.41	2.38
H	2.40	2.48	2.46

Specifications

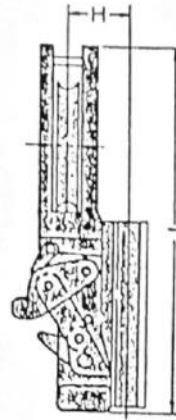
3-3



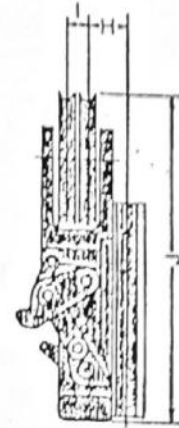
Tripping device



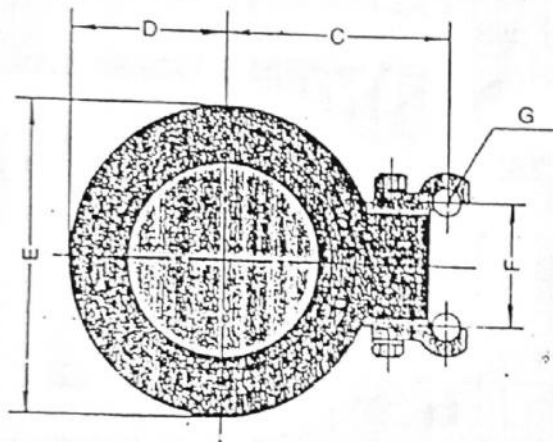
IDH-25



IDH-35



IDH-45



DIMENSIONS (Unit: mm)

Model	IDH-25	IDH-35	IDH-45
A	4,565	4,613	4,698
B	590φ	700φ	780φ
C	433.5	490	580
D	305	355	405
E	610φ	710φ	810φ
F	330	330	330
G	70φ	70φ	70φ
H	125	146.5	118
I	—	—	65
J	880	1,035	1,050

Diesel pile hammer model		IDH-25	IDH-35	IDH-45
Impact weight (ram)	kg	2,500	3,500	4,500
Energy per blow	kg/m	7,500	10,500	13,500
Number of blows per minute		42-60	42-60	42-60
Max. combustion pressure against pile	kg	108,000	150,000	191,000
Operating weight (dry)	kg	5,500	7,800	10,800
Cooling system		Water-cooled		
Fuel consumption	ℓ/h	10-14	14-20	18-25
Lubricant consumption	ℓ/h	1.5	1.8	2
Fuel tank capacity	ℓ	35	50	62
Lub oil reservoir capacity	ℓ	7	7.6	10
Cooling water tank capacity	ℓ	125	150	175

LAMPIRAN E

(SUMMARY OUT REGRESSIONS)

**SUMMARY OUTPUT KAPASITAS DAYA DUKUNG METODE NAVY-MC
KEY**

Regression Statistics

Multiple R 0.9941

R Square 0.9883

Adjusted R Square 0.9871

Standard Error 0.0112

Observations 12

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.1054	0.1054	842.1176	0.0000
Residual	10	0.0013	0.0001		
Total	11	0.1067			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	1.7347	0.0301	57.6583	0.0000	1.6676	1.8017
Kap. Daya Dukung	-0.0025	0.0023	-29.0193	0.0000	-0.0027	-

SUMMARY OUTPUT KAPASITAS IJIN TIANG METODE NAVY-MC KEY

Regression Statistics

Multiple R 0.9941
 R Square 0.9883
 Adjusted R Square 0.9871
 Standard Error 0.0112
 Observations 12

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	0.1054	0.1054	841.9514	0.0000
Residual	10	0.0013	0.0001		
Total	11	0.1067			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	1.7347	0.0301	57.6529	0.0000	1.6676	1.8017
Kap. Ijin Tiang	-0.0151	0.0139	-0.0162	0.0005	-0.0164	-0.0139