

TUGAS AKHIR
EVALUASI DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN
DATA SPT PADA GEDUNG DAMKAR PROYEK REKONSTRUKSI
PELABUHAN DONGGALA



Diajukan Kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh :
Ilhan Aliyansyah Sandagang
STB. F 111 20 134

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO

2025

TUGAS AKHIR
**EVALUASI DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN
DATA SPT PADA GEDUNG DAMKAR PROYEK REKONSTRUKSI
PELABUHAN DONGGALA**



Diajukan Kepada Universitas Tadulako untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

Oleh :
Ilhan Aliyansyah Sandagang
STB. F 111 20 134

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TADULAKO
2025

FINAL PROJECT

EVALUATION OF LOAD-BEARING CAPACITY OF PILE FOUNDATIONS BASED ON SPT DATA FOR THE FIRE STATION BUILDING IN DONGGALA PORT RECONSTRUCTION PROJECT



*Submitted as a partial fulfillment of the requirements for Bachelor Degree
at Department of Civil Engineering
Tadulako University*

Compiled by:

ILHAN ALIYANSYAH SANDAGANG
STUDENT ID. F 111 20 134

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING TADULAKO UNIVERSITY
2025



HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR

**“EVALUASI DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG
BERDASARKAN DATA SPT PADA GEDUNG DAMKAR PROYEK
REKONSTRUKSI PELABUHAN DONGGALA ”**

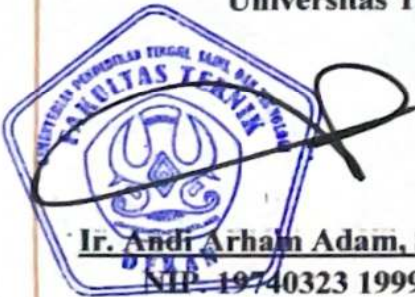
Yang dipersiapkan dan disusun oleh
ILHAN ALIYANSYAH SANDAGANG
NIM. F 111 20 134

Telah dipertahankan di depan majelis penguji
Pada tanggal 25 Juni 2025

Tugas akhir ini telah disetujui oleh majelis penguji dan dinyatakan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu Teknik Sipil

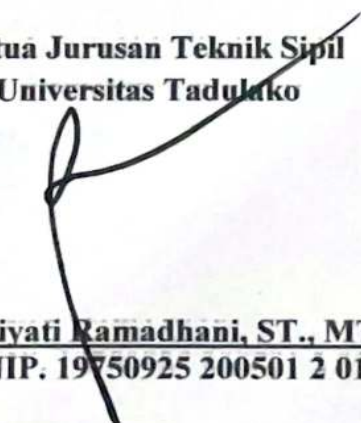
Mengesahkan

**Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako**



Ir. Andi Arham Adam, ST., M.Sc., Ph.D
NIP. 19740323 199903 1 002

**Ketua Jurusan Teknik Sipil
Universitas Tadulako**



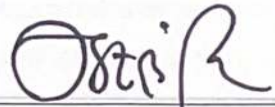
Dr. Sriyati Ramadhani, ST., MT.
NIP. 19750925 200501 2 011

HALAMAN PERSETUJUAN

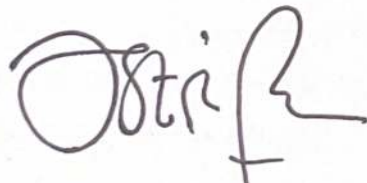
Panitia Ujian Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako yang ditetapkan berdasarkan SK Dekan Fakultas Teknik No.10915/UN.28.6//KP.00.00/2025 Tanggal 2 Juli 2025 menyatakan menyetujui Tugas Akhir yang telah dipertanggung jawabkan di hadapan Majelis Penguji pada Hari Rabu, 2 Juli 2025 oleh:

Nama : Ilhan Aliyansyah Sandagang
No. Stambuk : F11120134
Judul : Evaluasi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data SPT pada Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Dosen Pembimbing:

No.	Nama/ NIP	Jabatan	Tanda Tangan
1.	Dr. Astri Rahayu, S.T., S.T NIP. 19670705 199702 2 001	Pembimbing 1	
2.	Dr. Ir. Gusti Made Oka, S.T., NIP. 19631231 199702 1 011	Pembimbing 2	

Palu, 2025
Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Tadulako



Dr. Astri Rahayu, ST., MT.
NIP. 19670705 199702 2 001

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini, yang berjudul :

“EVALUASI DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA SPT PADA GEDUNG DAMKAR PROYEK REKONSTRUKSI PELABUHAN DONGGALA”

Tak lupa pula sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya, serta semua umatnya yang senantiasa dapat menjalankan syari’atnya, amin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa yang tercakup dalam Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang penulis peroleh. Hal ini tidak terlepas dari kodrat manusia yang tidak luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, dengan hati yang tulus dan terbuka, penulis mengharapkan masukan dan kritikan yang membangun sebagai bahan perbaikan kedepannya bagi penulis.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan, bimbingan dan kerja sama dari berbagai pihak dan berkat Tuhan Yang Maha Kuasa sehingga hambatan-hambatan yang dihadapi tersebut dapat diatasi. Untuk itu penulis menyampaikan banyak ucapan terima kasih kepada orang tua penulis Bapak Alpin Sandagang dan Ibu Dewi Afriyanti Lagonah, S.Pd yang telah membesarkan dan mendidik penulis serta memberi harapan dan doa-doa terbaik kepada penulis agar menjadi manusia yang bermanfaat bagi banyak orang.

Dengan penuh rasa haru dan hormat penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Ibu Dr. Astri Rahayu, S.T.,M.T. dan Bapak Dr. Ir. Gusti Made Oka, S.T.,M.T. selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu dan masukan yang berharga sepanjang penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Amar, ST.,M.T.,IPU., Asean Eng. selaku Rektor Universitas Tadulako.
2. Bapak Ir. Andi Arham Adam, S.T.,M.Sc(Eng). Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
3. Ibu Dr. Ir. Yuli Asmi Rahman, S.T.,M.Eng selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
4. Bapak Dr. Ir. Fuad Zubaidi, S.T.,M.Sc selaku Wakil Dekan Bidang Administrasi Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Tadulako
5. Bapak Dr. Ir. Bakri, S.T.,Pg. Dpil (Eng),. M.Phil selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Tadulako
6. Ibu Dr. Sriyati Ramadhani, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
7. Ibu Dr. Astri Rahayu, S.T.,M.T. selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Tadulako.
8. Bapak Anas Tahir, ST., MT. dan Bapak Ir. H. Muhammad Kasan, M.T. selaku Dosen Wali yang telah memberikan dukungan, nasehat, arahan, bantuan dan bimbingan selama melaksanakan studi di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
9. Bapak Ir. H. Muhammad Kasan, M.T., Ibu Iffah Fadliah, ST., MT., Bapak Dr. Eng. Ir. Hendra Setiawan, ST., MT. dan Bapak Dr. Ir. Gusti Made Oka, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah membimbing, serta memberikan saran dan masukan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
10. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar serta Staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Tadulako yang telah memberi bekal ilmu pengetahuan yang luar biasa dan membantu pengurusan administrasi selama melaksanakan kegiatan perkuliahan di Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
11. PT.Wijaya Karya (Persero) Tbk. Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala yang telah membantu memberikan data pengujian tanah pada penelitian ini.
12. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2020, terkhusus teman-teman *International Class 20* (Aeternus).
13. Teman-teman CEMARA (Panes, Uta, Dhimas, Didi, Hamdi, Gugun, Adnan, Indra, Iki) yang telah banyak membantu dan memberikan motivasi sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan studi.

Dan seluruh pihak yang telah berjasa dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, atas segala bantuan, doa, motivasi, serta berbagai dukungan moral dan materi yang tulus diberikan untuk penulis.

Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa memberikan berkat, karunia dan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan masa studi ini. Aamiin

Palu, 2025

Ilhan Aliyansyah Sandagang

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
ABSTRAK	xviii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-2
1.3 Tujuan Penelitian	I-2
1.4 Manfaat Penelitian.....	I-2
1.5 Batasan Masalah	I-2
1.6 Keaslian Penelitian	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Definisi Tanah.....	II-1
2.2 Definisi Pondasi.....	II-1
2.2.1 Jenis-Jenis Pondasi	II-1
2.2.2 Pondasi Tiang Pancang.....	II-1
2.2.3 Fungsi Tiang Pancang.....	II-2
2.2.4 Tipe-Tipe Pondasi Tiang Pancang	II-2
2.3 Penyelidikan Geoteknik.....	II-8
2.3.1 Cone Penetration Test (CPT).....	II-8
2.3.2 Standard Penetration Test (SPT).....	II-9
2.4 Berat Isi (γ)	II-12
2.5 Sudut Gesek (ϕ).....	II-12
2.6 Kohesi (c)	II-13
2.7 Pembebanan Pada Bangunan.....	II-13
2.7.1 Beban Mati	II-13
2.7.2 Beban Hidup	II-14
2.7.3 Beban Angin	II-14

2.7.4	Beban Gempa	II-14
2.7.5	Beban Khusus	II-14
2.8	Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Tunggal.....	II-14
2.8.1	Metode Meyerhof	II-15
2.8.2	Metode Luciano Decourt	II-15
2.9	Penurunan Pondasi Tiang	II-16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		III-1
3.1	Bagan Alir Pengerjaan Analisis Pondasi	III-1
3.2	Lokasi Penelitian	III-3
3.3	Jenis Data dan Sumber Data	III-3
3.3.1	Data Tanah	III-3
3.3.2	Data Struktur Bangunan dan Pondasi.....	III-4
3.4	Analisa Data	III-4
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
4.1	Data Perencanaan Gedung Damkar	IV-1
4.2	Analisis Pembebanan.....	IV-6
4.2.1	Perhitungan Struktur Atas.....	IV-7
4.2.2	Kombinasi Pembebanan	IV-7
4.2.3	Pemodelan Struktur	IV-8
4.2.4	Pendefinisian Beban	IV-13
4.2.5	Pendefinisian Material.....	IV-14
4.2.6	Penetapan Pendefinisian Pada Model Struktur	IV-17
4.2.7	Perhitungan Pembebanan	IV-19
4.3	Data Tanah	IV-47
4.4	Kriteria Desain Tiang Pancang	IV-54
4.5	Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dari Data <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).....	IV-55
4.5.1	Perhitungan Metode Meyerhof.....	IV-55
4.5.2	Perhitungan Metode Luciano Decourt.....	IV-66
4.6	Perhitungan Penurunan Pondasi	IV-79
4.6.1	Perhitungan Penurunan Pondasi Tiang Tunggal.....	IV-79
4.6.2	Kontrol Penurunan.....	IV-80
4.7	Pembahasan	IV-80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		V-1
5.1	Kesimpulan.....	V-1

5.2	Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA		P-1
LAMPIRAN		L-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panjang dan beban maksimum untuk berbagai macam tipe tiang yang umum dipakai dalam praktek	II-3
Gambar 2.2 Tiang Pancang Kayu	II-3
Gambar 2.3 Tiang Pancang Beton Pracetak.....	II-4
Gambar 2.4 Tiang Standar Raimond.....	II-5
Gambar 2.5 Tiang Franki	II-5
Gambar 2.6 Tiang Bor.....	II-6
Gambar 2.7 Tampang melintang tiang baja profil.....	II-7
Gambar 2.8 Pengujian penetrasi probe CPT (kiri) dan CPTu (kanan).....	II-9
Gambar 2.9 Skema Pengujian Standard Penetration test	II-10
Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Analisis Pondasi Tiang Pancang	III-1
Gambar 3.2 Peta Lokasi Proyek.....	III-3
Gambar 3.3 Lokasi Pengujian Bor Inti dan N.SPT	III-4
Gambar 4.1 Denah Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala...	IV-1
Gambar 4.2 Potongan A-A Melintang Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala.....	IV-2
Gambar 4.3 Detail Sloof dan Slab Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala.....	IV-2
Gambar 4.4 Detail Baseplate Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala	IV-3
Gambar 4.5 Detail Kolom dan Balok Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala.....	IV-4
Gambar 4.6 Detail Balok Atap dan Kanal Atap Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala.....	IV-4
Gambar 4.7 Detail Pondasi Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala	IV-5
Gambar 4.8 Model 3D Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala	IV-6
Gambar 4.9 Kotak Define Sloof (S.1) 200 x 400 mm	IV-9
Gambar 4.10 Kotak Define Kolom Pedestal (BP. 1 dan BP. 2) 275 x 400 mm	IV-9
Gambar 4.11 Kotak Define Kolom Pedestal (BP. 3) 300 x 300 mm.....	IV-10
Gambar 4.12 Kotak Define Penampang Pelat Lantai Parkir 200 mm.....	IV-10
Gambar 4.13 Kotak Define Kolom Baja WF 300.150.9.6,5 mm (C.1).....	IV-11
Gambar 4.14 Kotak Define Kolom Baja WF 250.125.9.6 mm (C.2).....	IV-11
Gambar 4.15 Kotak Define Kolom Baja HB 200.200.12.8 mm (H.1).....	IV-11
Gambar 4.16 Kotak Define Balok Baja IWF 200.100.8.6 mm (B.1).....	IV-12
Gambar 4.17 Kotak Define Balok Baja IWF 150.75.7.5 mm (B.2).....	IV-12
Gambar 4.18 Kotak Define Balok Baja L 90.90.13 mm (B.C)	IV-13
Gambar 4.19 Kotak Define Gording Channel Baja 125.50.20.3 mm (CN.1)	IV-13
Gambar 4.20 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Beban Struktur.....	IV-14
Gambar 4.21 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja Tulangan Polos (BJTP 280)	IV-14
Gambar 4.22 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja Tulangan Sirip (BJTS 420)	IV-15

Gambar 4.23	Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Beton K-300.....	IV-15
Gambar 4.24	Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja BJ-37	IV-16
Gambar 4.25	Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja BJ-41	IV-16
Gambar 4.26	Tampilan Sumbu Y – Z Rangka Struktur.....	IV-17
Gambar 4.27	Tampilan Sumbu X – Z Rangka Struktur	IV-17
Gambar 4.28	Tampilan Sumbu X – Y Rangka Struktur.....	IV-18
Gambar 4.29	Perspektif 3D Tampak Samping Bangunan.....	IV-18
Gambar 4.30	Pendefinisian Beban Mati Tambahan (SD)	IV-19
Gambar 4.31	Input Pembebanan Mati Tambahan (SD) Pada Rangka Atap.....	IV-20
Gambar 4.32	Pendefinisian Beban Hidup (LIVE)	IV-20
Gambar 4.33	Input Pembebanan Hidup (L) Pada Rangka Atap	IV-21
Gambar 4.34	Input Pembebanan Mati Tambahan (SD) Dinding Di Atas Sloof	IV-22
Gambar 4.35	Pembebanan Dinding Di Atas Sloof dan Balok	IV-22
Gambar 4.36	Jenis Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran.....	IV-23
Gambar 4.37	Denah Area Parkir Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran.....	IV-24
Gambar 4.38	Ilustrasi Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran Parkir	IV-24
Gambar 4.39	Penempatan Lajur Yang Diambil Dari Frame 243	IV-25
Gambar 4.40	Penempatan Lajur Yang Diambil Dari Frame 248	IV-25
Gambar 4.41	Penempatan Posisi Beban Lajur dari Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran	IV-26
Gambar 4.42	Penginputan Beban Kendaraan Berdasarkan As Roda Kendaraan	IV-26
Gambar 4.43	Penginputan Pola Beban Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran	IV-27
Gambar 4.44	Faktor Arah Angin Kd.....	IV-29
Gambar 4.45	Input Pola Pembebanan Angin Pada Bangunan	IV-30
Gambar 4.46	Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 [$h \leq 60$ ft. ($h \leq 18,3$ m)] : Koefisien Tekanan Eksternal, (GCpf), Bangunan Gedung Tertutup dan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap Bertingkat Rendah	IV-31
Gambar 4. 47	(Lanjutan) Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 [$h \leq 60$ ft. ($h \leq 18,3$ m)]: Koefisien Tekanan Eksternal, (GCpf), Bangunan Gedung Tertutup dan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap Bertingkat Rendah	IV-31
Gambar 4.48	Input Koefisien Pembebanan Angin Arah X Bangunan.....	IV-32
Gambar 4.49	Input Arah dan Beban Angin Arah X	IV-32
Gambar 4.50	Input Koefisien Pembebanan Angin Arah Y Bangunan	IV-33
Gambar 4.51	Input Arah dan Beban Angin Arah Y	IV-33
Gambar 4.52	Gambar Peta MCEG SNI 1726 : 2019	IV-34
Gambar 4.53	Nilai Spektral Percepatan Di Permukaan Dari Gempa Risk-Targeted Maximum Consider Earthquake Dengan Probabilitas Keruntuhan Bangunan 1 % dalam 50 Tahun.	IV-35
Gambar 4.54	Define Response Spectrum Functions.....	IV-37
Gambar 4.55	Response Spektrum Arah X	IV-41
Gambar 4.56	Response Spektrum Arah Y	IV-41
Gambar 4.57	Penginputan Kombinasi Pembebanan.....	IV-44
Gambar 4.58	Kotak Dialog Running	IV-44
Gambar 4.59	Kotak Dialog Show Tables Joint Reactions	IV-45
Gambar 4.60	Titik Pengujian SPT	IV-47
Gambar 4.61	Grafik Hasil Pengujian SPT	IV-50

Gambar 4.62 Area Pengujian CPTu	IV-53
Gambar 4.63 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang.....	IV-56
Gambar 4.64 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang.....	IV-62
Gambar 4.65 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang.....	IV-67
Gambar 4.66 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang.....	IV-73
Gambar 4.67 Perbandingan Daya Dukung Pondasi dari Data SPT untuk lapisan tanah pada kedalaman 8 m	IV-77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kerapatan Relatif Pasir	II-10
Tabel 2.2 Deskripsi Kualitatif Kerapatan Tanah Pasir (Terzagih dan Peck, 1967)	II-11
Tabel 2.3 Hubungan antara Parameter Tanah Pasir (Teng, 1962)	II-12
Tabel 2.4 Nilai-nilai Representatif Sudut Gesek Tanah, ϕ (Hardiyatmo, 2002)	II-13
Tabel 3.1 Nilai koefisien tergantung dari jenis tanah	III-7
Tabel 3.2 Koefisien Dasar Tiang α	III-7
Tabel 3.3 Koefisien Selimut Tiang β	III-8
Tabel 3.4 Faktor Adhesi Untuk Selimut Tiang Pada Tanah Lempung	III-8
Tabel 4.1 Jenis Pemanfaatan dan Kategori Risiko Bangunan Gedung	IV-36
Tabel 4.2 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa (Ie) Bangunan Gedung ..	IV-36
Tabel 4.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	IV-37
Tabel 4.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	IV-37
Tabel 4.5 Kategori Desain Seismik (KDS) dan Risiko Kegempaan	IV-38
Tabel 4.6 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung	IV-38
Tabel 4.7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	IV-39
Tabel 4.8 Nilai Koefisien Vertikal C_v	IV-42
Tabel 4.9 Nilai Koefisien Situs F_a	IV-42
Tabel 4.10 Kombinasi Pembebanan Dasar dan Seismik SNI 1726 – 2019	IV-43
Tabel 4.11 Tabel Joint Reaction Hasil Kombinasi Pembebanan Analisa SAP 2000 ..	IV-46
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Lapangan BH.04	IV-48
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Laboratorium BH.04	IV-49
Tabel 4.14 Hubungan antara Parameter Tanah untuk Tanah Pasir (Teng, 1962)	IV-51
Tabel 4.15 Rangkuman Data Tanah Titik BH.04	IV-52
Tabel 4.16 Hasil Pengujian CPTu area 3 titik 1	IV-53
Tabel 4.17 Katalog Tiang Pancang WKA Beton	IV-54
Tabel 4.18 Daya Dukung Izin Metode Meyerhof Titik BH.03	IV-58
Tabel 4.19 Daya Dukung Izin Metode Meyerhof Titik BH.04	IV-64
Tabel 4.20 Daya Dukung Izin Metode Luciano Decourt Titik BH.03	IV-69
Tabel 4.21 Daya Dukung Izin Metode Luciano Decourt Titik BH.04	IV-75
Tabel 4.22 Perbandingan Daya Dukung Pondasi dari Data SPT untuk lapisan tanah pada kedalaman 8 m	IV-77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Hasil Uji Boring dan SPT BH.03.....	L-1
Lampiran 2	Data Hasil Uji Boring dan SPT BH.04.....	L-2
Lampiran 3	Grafik Hasil Pengujian SPT	L-3
Lampiran 4	Hasil Pengujian Laboratorium BH.03	L-4
Lampiran 5	Hasil Pengujian Laboratorium BH.04.....	L-5
Lampiran 6	Hasil Pengujian Lapangan BH.03	L-6
Lampiran 7	Hasil Pengujian Lapangan BH.04	L-7
Lampiran 8	Tabel Data Uji CPT	L-8
Lampiran 9	Grafik Hasil Pengujian CPT.....	L-9
Lampiran 10	Data Perencanaan Pondasi Gedung Damkar.....	L-10
Lampiran 11	Spesifikasi Mobil Pemadam Kebakaran.....	L-12

DAFTAR NOTASI

Simbol / Singkatan	Arti / Keterangan
α	Koefisien dasar tiang
A_p	Luas penampang dasar tiang
A_s	Luas selimut
ASTM	<i>American Society for Testing Material</i>
β	Koefisien selimut tiang
Bor/Log	<i>Borehole logging</i>
c	Kohesi
C_d	Koefisien amplifikasi defleksi
CI	Indeks konsistensi
Cl	Hambatan geser selimut tiang
C_p	Koefisien empiris
CPT	<i>Cone Penetration Test</i>
C_u	Kohesi <i>undrained</i>
D, d	Diameter tiang
D_e	Beban mati
D_r	Kepadatan relatif
E	Modulus elastisitas
e	Angka pori
E_g	Efisiensi kelompok tiang
E_p	Modulus elastisitas tiang
E_{50}^{ref}	Kekakuan sekan dari uji triaksial terdrainase
E_{oed}^{ref}	Kekakuan tangensial untuk pembebanan primer
E_{ur}^{ref}	Kekakuan untuk pengurangan / pembebanan kembali
E_x	Beban gempa arah-x
E_y	Beban gempa arah-y
f	Tahanan friksi
F_a	Percepatan pada getaran periode pendek
f_c'	Kuat tekan beton
FS	Faktor keamanan

F_v	Percepatan pada getaran periode 1 detik
γ	Berat volume tanah
γ_b	Berat volume basah
γ_d	Berat volume kering
G_s	Berat jenis tanah
γ_{sat}	Berat volume jenuh
γ_w	Berat volume air
I_e	Faktor keutamaan gedung
ϕ	Sudut gesek dalam
k	Nilai permeabilitas
K	Koefisien karakteristik tanah
K_o	Tekanan tanah dalam keadaan diam
K_o^{NC}	Nilai K_o untuk tanah terkonsolidasi normal
L	Kedalaman pondasi
L	Beban hidup
LL	Batas cair
L_r	Beban hidup atap
m	Eksponen ketergantungan terhadap tegangan
n	Jumlah tiang dalam kelompok
N_c^*, N_q^*	Faktor daya dukung
N_{SPT}	Nilai SPT
p	Keliling penampang tiang
p_0	Tekanan <i>overburden</i> tanah
PI	Indeks plastis
PL	Batas plastis
p^{ref}	Tegangan referensi untuk modulus
q'	Tegangan vertikal efektif tanah
Q_g	Beban maksimum kelompok tiang
Q_p	Daya dukung ujung tiang
Q_s	Daya dukung selimut tiang
Q_u	Daya dukung ultimit tiang
Q_{wp}	Beban yang didukung ujung tiang

Q_{ws}	Beban yang didukung selimut tiang
R	Koefisien modifikasi respons
R	Beban Hujan
R_d	<i>Realtive density</i>
R_f	Rasio keruntuhan
S	Penurunan elastis total
S	Jarak minimum sumbu tiang
σ	Tegangan tanah
S_1	Penurunan akibat deformasi
S_2	Penurunan dari ujung tiang
S_3	Penurunan akibat beban yang dialihkan
S_a	Spektrum respons desain
S_c	Penurunan konsolidasi
SD_1	Percepatan spektral desain periode 1 detik
$SDOF$	Derajat kebebasan tunggal
SDS	Percepatan spektral desain periode pendek
SF	Angka Keamanan (<i>Safety factor</i>)
S_g	Penurunan tiang kelompok
SL	Batas susut
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
σ_v'	Tegangan vertikal efektif tanah
T	Periode
$USCS$	<i>Unified Soil Calssification System</i>
ν	Angka Poisson
ν_{ur}	Angka Poisson untuk pengurangan / pembebanan kembali
V_s	<i>Shear Wave Velocity</i>
w	Kadar air
W	Beban angin
Ω_0	Faktor kuat lebih sistem
δ	Sudut gesek tanah – tanah
Ψ	Sudut dilatasi

EVALUASI DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANGCANG BERDASARKAN DATA SPT PADA GEDUNG DAMKAR PROYEK REKONSTRUKSI PELABUHAN DONGGALA

Ilhan Aliyansyah Sandagang, Astri Rahayu, Gusti I Made Oka

ABSTRAK

Pondasi yang digunakan pada gedung damkar proyek rekonstruksi Pelabuhan Donggala adalah pondasi tiang pancang dengan diameter pondasi 0,3 meter dan kedalaman pondasi 8 meter. Pondasi tiang pancang berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberi keamanan pada struktur gedung damkar. Penyelidikan tanah di lapangan menggunakan *Standard Penetration Test* (SPT) pada kedalaman 20-22 meter. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data SPT menggunakan metode metode Meyerhof dan metode Luciano Decourt, serta untuk mengetahui penurunan yang terjadi pada pondasi tiang tunggal menggunakan metode empiris. Dengan bantuan aplikasi SAP2000 didapatkan nilai maksimum beban aksial (Q_v) sebesar 24,14 ton. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai daya dukung ijin tiang tunggal dari data SPT pada titik BH.03 menggunakan metode Meyerhof sebesar 30,81 ton dan metode Luciano Decourt sebesar 41,05 ton. Untuk daya dukung ijin tiang tunggal dari data SPT pada titik BH.04 menggunakan metode Meyerhof sebesar 21,68 ton dan metode Luciano Decourt sebesar 27,53 ton. Maka, Q_{ijin} yang digunakan adalah Q_{ijin} yang terkecil yaitu 21,68 ton pada data SPT metode Meyerhof pada titik bor BH.04 dengan kedalaman tiang 8 meter. Penurunan tiang tunggal menggunakan metode empiris sebesar 0,3 cm.

Kata Kunci: Pondasi Tiang Pancang, Penurunan, Daya Dukung, SAP 2000

EVALUATION OF PILE FOUNDATION BEARING CAPACITY BASED ON SPT DATA FOR THE FIRE DEPARTMENT BUILDING IN THE DONGGALA PORT RECONSTRUCTION PROJECT

Ilhan Aliyansyah Sandagang, Astri Rahayu, Gusti I Made Oka

ABSTRACT

The foundation used for the fire station building in the Donggala Port reconstruction project is a pile foundation with a diameter of 0.3 meters and a depth of 8 meters. The pile foundation interacts with the soil to generate bearing capacity capable of supporting and securing the structure of the fire station building. A soil investigation was conducted in the field using the Standard Penetration Test (SPT) at depths of 20–22 meters. The objective of this study is to compare the bearing capacity values of pile foundations based on SPT data using the Meyerhof and Luciano Decourt methods, as well as to determine the settlement of a single pile using empirical methods. Using the SAP2000 application, the maximum axial load (Q_v) was found to be 24.14 tons. Based on the analysis, the allowable bearing capacity of a single pile from SPT data at point BH.03 is 30.81 tons using the Meyerhof method and 41.05 tons using the Luciano Decourt method. For point BH.04, the allowable bearing capacity of a single pile is 21.68 tons using the Meyerhof method and 27.53 tons using the Luciano Decourt method. Therefore, the allowable bearing capacity (Q_{all}) used is the smallest value, which is 21.68 tons, based on the Meyerhof method at borehole BH.04 with a pile depth of 8 meters. The settlement of the single pile using the empirical method is 0.3 cm.

Keywords: Pile Foundation, Settlement, Bearing Capacity, SAP 2000

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Donggala merupakan salah satu kabupaten di provinsi Sulawesi Tengah yang beribukota di Banawa. Ibukota yang berjarak 34 km dari Kota palu ini dulunya dikenal sebagai kota pelabuhan dan perdagangan, lalu lintas barang dan jasa hanya bisa berlangsung melalui pelabuhan Donggala.

Pada 28 September 2018 Kota Palu dan Sekitarnya termasuk Kabupaten Donggala mengalami bencana gempa bumi, tsunami dan likuefaksi yang menyebabkan kerusakan pada tiga Pelabuhan, salah satunya yaitu pelabuhan Donggala. Dalam rangka menyiapkan Kabupaten Donggala sebagai daerah destinasi wisata bagi para turis yang berasal dari Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara di Kalimantan Timur, Kementerian Perhubungan melalui Ditjen Perhubungan Laut berkomitmen untuk segera memperbaiki kondisi pelabuhan tersebut.

Dalam rekonstruksi Pelabuhan Donggala, pekerjaan pondasi merupakan tahap krusial yang menentukan keamanan dan kelancaran proses konstruksi berikutnya. Pondasi berfungsi untuk menopang serta menahan beban di atasnya. Menentukan kapasitas daya dukung pondasi harus diawali dengan memahami karakteristik tanah melalui penyelidikan tanah, baik di lapangan maupun laboratorium, menggunakan sampel tanah yang telah diambil. Hasil penyelidikan ini digunakan untuk menentukan jenis, kedalaman, dan dimensi pondasi yang sesuai. Pada penelitian ini, penyelidikan tanah di lapangan dilakukan dengan *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Dalam konstruksi, terdapat dua jenis utama pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Penelitian ini berfokus pada pondasi dalam, yang digunakan untuk struktur dengan beban besar, kondisi tanah dengan daya dukung rendah, atau ketika lapisan tanah keras berada pada kedalaman yang signifikan.

Untuk itu, penulis akan menganalisis daya dukung pondasi tiang pancang yang digunakan sebagai pondasi pada Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala. Pondasi tiang pancang berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberi keamanan pada struktur pelabuhan. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat. Oleh sebab itu, dalam merencanakan suatu pondasi harus mengevaluasi daya dukung tanah dan penurunan yang terjadi pada pondasi tersebut dengan menggunakan data SPT. Latar belakang inilah yang akhirnya mendorong penulis untuk mengangkat judul Tugas Akhir

yaitu **“EVALUASI DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN DATA SPT PADA GEDUNG DAMKAR PROYEK REKONSTRUKSI PELABUHAN DONGGALA”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

1. Berapa besar nilai daya dukung pondasi tiang dari data *Standard Penetration Test* (SPT) Gedung Damkar pada Pelabuhan Donggala?
2. Bagaimana nilai perbandingan daya dukung pondasi dari data *Standard Penetration Test* (SPT)?
3. Berapa besar penurunan yang terjadi pada pondasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besar nilai daya dukung pondasi tiang dari data *Standard Penetration Test* (SPT) Gedung Damkar pada Pelabuhan Donggala.
2. Mengetahui nilai perbandingan daya dukung pondasi dari data *Standard Penetration Test* (SPT).
3. Mengetahui penurunan yang terjadi pada pondasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk memahami kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang.
2. Menjadi bahan acuan untuk meningkatkan wawasan.
3. Memberikan pengetahuan tentang penurunan yang terjadi pada pondasi.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini diberikan batasan-batasan masalah untuk memperjelas ruang lingkup pembahasannya, sebagai berikut :

1. Data yang digunakan berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lokasi proyek berupa data hasil *Standard Penetration Test* (SPT).
2. Pondasi yang ditinjau berdasarkan jenis pondasi yang digunakan pada salah satu bangunan yang ada di Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala yaitu Gedung Damkar.
3. Tidak mencakup analisis likuefaksi.

4. Analisa pembebanan struktur bangunan dan beban gempa pada bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala menggunakan aplikasi SAP 2000.
5. Metode yang digunakan untuk menghitung daya dukung tiang tunggal adalah metode Meyerhof dan metode Luciano Decourt. Metode yang digunakan untuk menghitung penurunan tiang tunggal adalah metode empiris.

1.6 Keaslian Penelitian

Evaluasi Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data SPT Pada Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, belum pernah diangkat oleh mahasiswa di Universitas Tadulako atau Universitas lainnya menjadi judul Tugas Akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang terdiri dari mineral, bahan organik, dan endapan yang saling terikat secara kimiawi, serta mengandung cairan dan gas di antara partikel-partikelnya. Tanah terbentuk akibat pelapukan batuan, menghasilkan partikel mineral dengan ikatan yang lemah. Kelemahan ikatan ini disebabkan oleh kandungan material organik atau senyawa karbonat dan oksida di antara partikel-partikel tersebut. Dalam teknik sipil, tanah didefinisikan sebagai kumpulan mineral, bahan organik, dan endapan yang relatif lepas, terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Sebagai material alami, tanah terdiri dari padatan, air, dan udara, di mana ruang yang terisi air dan udara disebut rongga atau pori.

2.2 Definisi Pondasi

Pondasi adalah elemen struktural yang berfungsi menyalurkan beban bangunan, termasuk beratnya sendiri, ke tanah atau batuan di bawahnya. Dalam perencanaannya, pondasi harus dirancang dengan cermat untuk memastikan kestabilan bangunan terhadap beban sendiri, beban tambahan, serta pengaruh gaya eksternal seperti angin dan gempa. Selain itu, pondasi harus mampu mencegah penurunan yang tidak merata atau melebihi batas yang diizinkan.

2.2.1 Jenis-Jenis Pondasi

Bentuk pondasi bergantung pada berat bangunan dan kondisi tanah di sekitarnya, sedangkan kedalaman pondasi ditentukan oleh keberadaan lapisan tanah padat yang dapat menopangnya. Menurut Gunawan (1991), pondasi secara umum dibagi menjadi dua jenis: pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal dirancang untuk menahan beban yang relatif kecil dan langsung menerima beban bangunan, sementara pondasi dalam mampu menopang beban yang lebih besar dengan menyalurkannya ke lapisan tanah keras atau batuan di kedalaman yang lebih jauh.

2.2.2 Pondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah elemen pondasi yang berfungsi menyalurkan beban konstruksi ke lapisan tanah yang lebih dalam, sehingga meningkatkan kekokohan dan ketahanan bangunan. Pondasi tiang pancang umumnya terbuat dari beton fabrikasi yang dipersiapkan terlebih dahulu, kemudian dipasang dengan cara dipancang hingga mencapai kedalaman yang telah direncanakan. Penggunaan tiang pancang memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

1. Pondasi tiang pancang dapat diproduksi secara precast agar sesuai dengan spesifikasi bangunan yang direncanakan.
2. Ukuran dan bentuk tiang pancang dapat disesuaikan, sehingga mempercepat proses konstruksi secara signifikan.
3. Tiang pancang mampu meningkatkan kekuatan struktur bangunan, terutama pada tanah yang labil.
4. Proses pemasangan tiang pancang mudah dilakukan dan tidak memerlukan pengawasan intensif, serta dapat memberikan tampilan yang estetik pada bangunan.
5. Tiang pancang sangat efektif untuk konstruksi di daerah pesisir, karena membuat struktur lebih kokoh dan tahan terhadap erosi air laut.

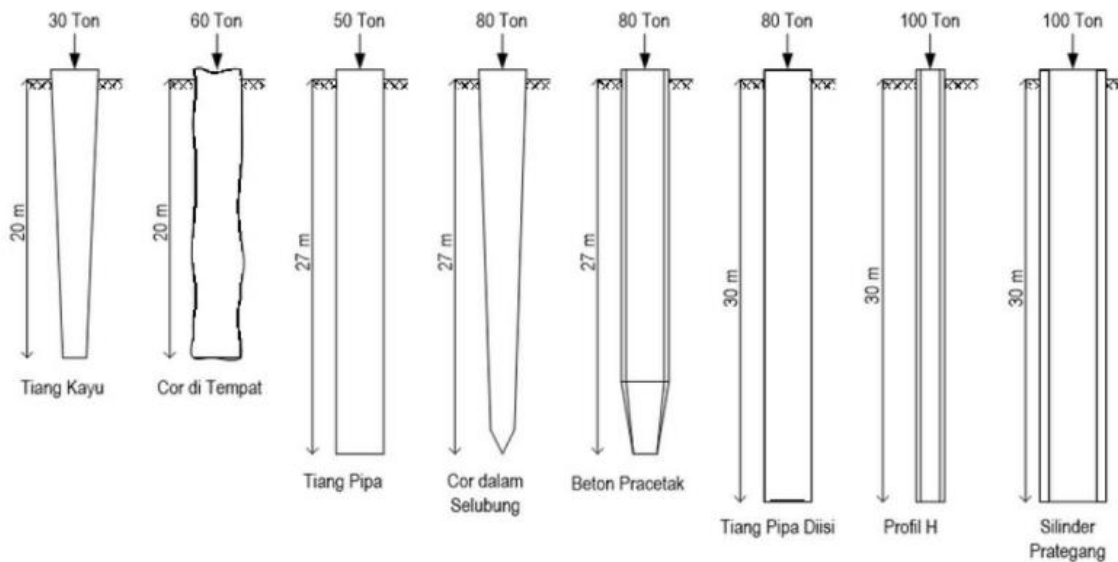
2.2.3 Fungsi Tiang Pancang

Menurut Hardiyatmo (2018), pondasi tiang digunakan untuk beberapa tujuan, antara lain:

1. Menyalurkan beban bangunan yang berada di atas air atau tanah lunak ke lapisan tanah yang lebih kuat.
2. Mendistribusikan beban ke kedalaman tertentu, sehingga pondasi dapat menopang struktur melalui gesekan antara sisi tiang dan tanah sekitarnya.
3. Menahan gaya angkat ke atas, yang disebabkan oleh tekanan hidrostatik atau momen penggulingan.
4. Menahan gaya horizontal dan beban dengan arah miring, sehingga meningkatkan stabilitas struktur.
5. Memadatkan tanah dasar, sehingga meningkatkan kapasitas daya dukungnya.
6. Menopang bangunan di area yang rentan terhadap erosi, terutama akibat aliran air.

2.2.4 Tipe-Tipe Pondasi Tiang Pancang

Penggunaan tiang pancang pada pelaksanaan di lapangan memiliki berbagai macam tipe :

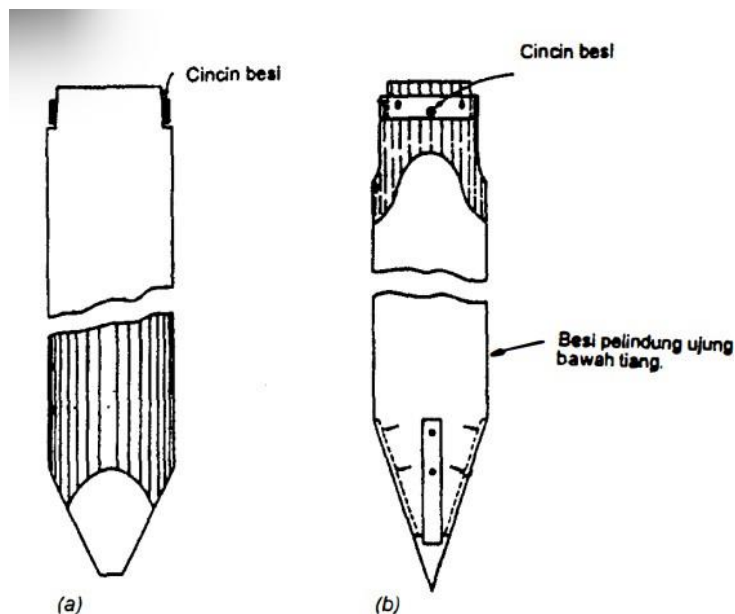


Gambar 2.1 Panjang dan beban maksimum untuk berbagai macam tipe tiang yang umum dipakai dalam praktek

Sumber : Hardiyatmo, 2008

1. Tiang Kayu

Tiang pancang kayu umumnya lebih murah dan mudah dalam penanganannya. Perlindungan pada permukaan tiang dapat disesuaikan dengan kondisi tanah di lokasi pemasangan. Namun, tiang kayu rentan mengalami pembusukan atau kerusakan akibat serangan serangga. Untuk mencegah kerusakan selama proses pemancangan, ujung tiang biasanya diperkuat dengan sepatu besi. Tiang pancang kayu tunggal mampu menahan beban maksimum sekitar 270–300 kN.

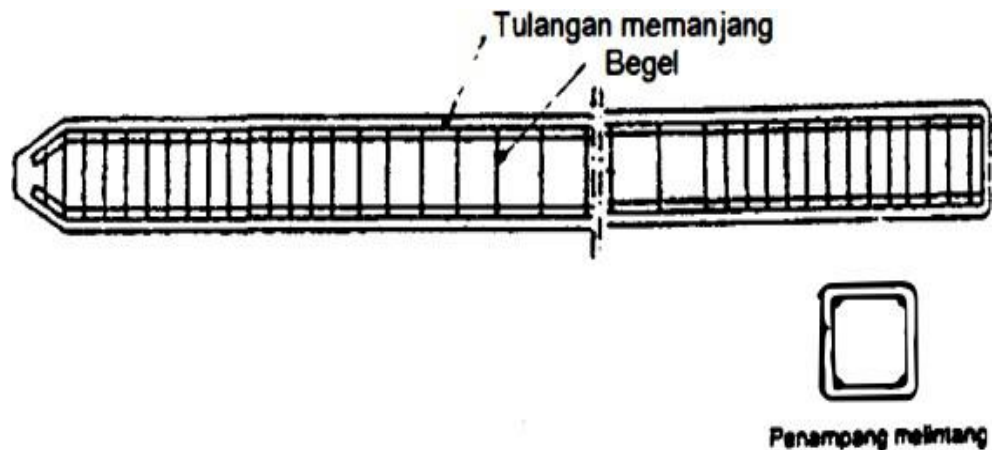


Gambar 2.2 Tiang Pancang Kayu

Sumber : Hardiyatmo, 2008

2. Tiang Beton Pracetak

Tiang beton pracetak umumnya memiliki bentuk prisma atau bulat. Tiang ini dicetak di lokasi tertentu sebelum diangkut ke lokasi konstruksi. Tiang tanpa lubang biasanya memiliki diameter antara 20 hingga 60 cm, sedangkan tiang berlubang dapat mencapai diameter 140 cm. Panjang tiang beton pracetak umumnya berkisar antara 20 hingga 40 meter, sedangkan tiang berlubang dapat mencapai 60 meter. Beban maksimum yang dapat ditopang oleh tiang pancang berukuran kecil berkisar antara 300 hingga 800 kN.



Gambar 2.3 Tiang Pancang Beton Pracetak

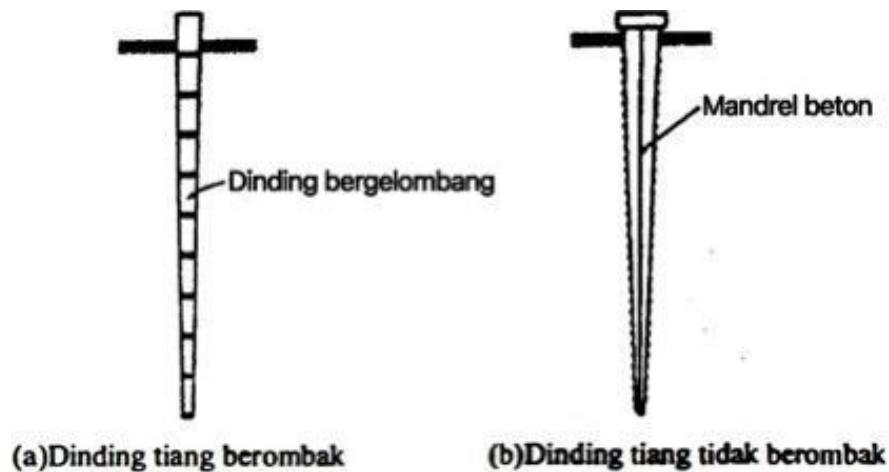
Sumber : Hardiyatmo, 2008

3. Tiang Beton Cetak di Tempat

Tiang beton cetak di tempat terdiri dari 2 tipe, yaitu :

a. Tiang yang berselubung pipa

Pada tiang yang menggunakan selubung pipa, pipa baja terlebih dahulu dipancang ke dalam tanah, kemudian diisi dengan adukan beton. Setelah proses ini selesai, pipa baja tetap berada di dalam tanah sebagai bagian dari struktur pondasi. Salah satu jenis tiang dalam kategori ini adalah tiang Standar *Raimond*.

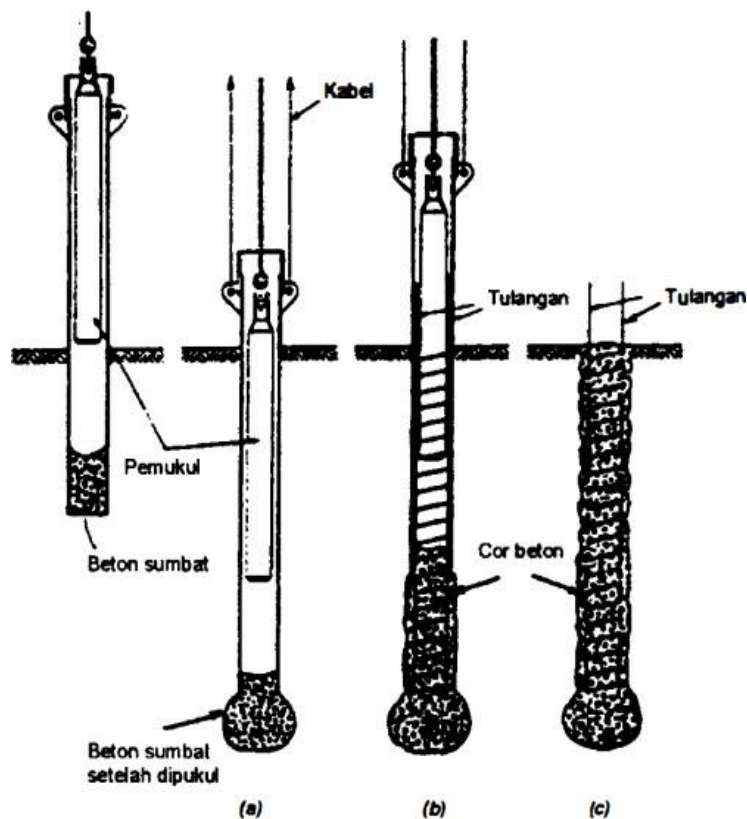


Gambar 2.4 Tiang Standar Raimond

Sumber : Hardiyatmo, 2008

b. Tiang yang tidak berselubung pipa

Pada tiang yang tidak berselubung pipa, pipa baja yang berlubang dipancang lebih dulu ke dalam tanah. Kemudian ke dalam lubangnya dimasukkan adukan beton dan pipa ditarik keluar. Ketika sesudah pengecoran. Termasuk jenis tiang ini adalah tiang *Franki*.

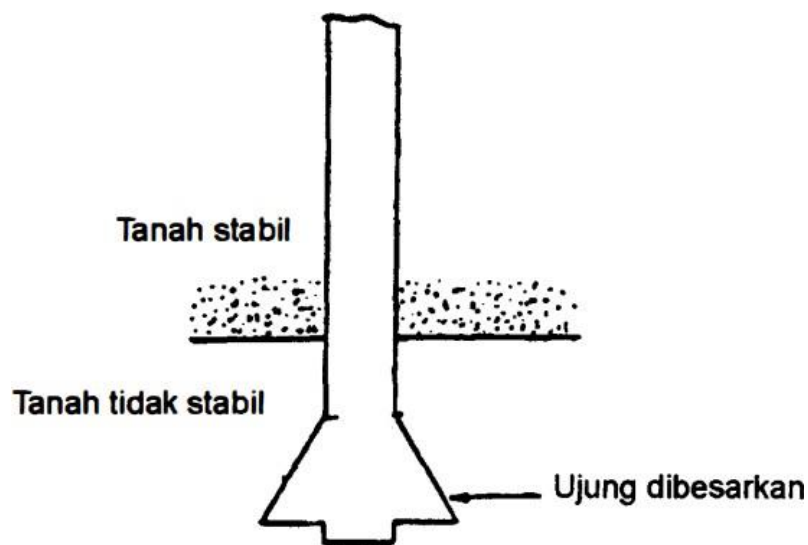


Gambar 2.5 Tiang Franki

Sumber : Hardiyatmo, 2008

4. Tiang Bor

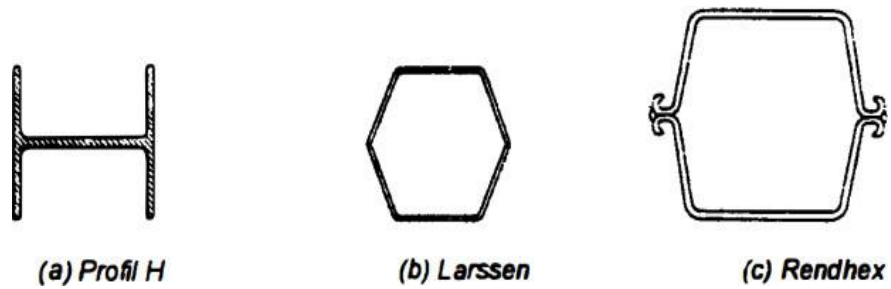
Tiang bor dipasang dengan terlebih dahulu mengebor tanah, kemudian mengisi lubang dengan tulangan dan mencor beton. Tiang ini umumnya digunakan pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan pembentukan lubang yang tetap stabil saat pengeboran. Jika tanah mengandung air, pipa besi digunakan untuk menahan dinding lubang dan akan ditarik ke atas saat pengecoran beton berlangsung. Pada tanah keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat diperbesar untuk meningkatkan daya dukung ujung tiang.



Gambar 2.6 Tiang Bor
Sumber : Hardiyatmo, 2008

5. Tiang Baja Profil

Tiang baja profil merupakan jenis tiang pancang yang terbuat dari material baja dengan berbagai bentuk, seperti profil H, persegi panjang, segi enam, dan lainnya. Tiang ini mudah dalam penanganannya dan mampu menahan beban besar saat dipancang ke lapisan tanah yang keras. Keunggulan utama tiang baja profil adalah daya tahan dan kemampuannya menembus lapisan tanah yang padat dengan efisien.



Gambar 2.7 Tampang melintang tiang baja profil

Sumber : Hardiyatmo, 2008

6. Tiang Komposit

Beberapa kombinasi bahan tiang pancang atau tiang bor dengan tiang pancang dapat digunakan untuk mengatasi masalah-masalah pada kondisi tanah tertentu. Problem pembusukan tiang kayu di atas muka air tanah misalnya, dapat diatasi dengan memancang tiang komposit yang terdiri tiang beton di atas dan tiang kayu di bagian baya *zone* muka air tanah.

2.3 Penyelidikan Geoteknik

Penyelidikan tanah adalah proses dalam bidang geoteknik yang bertujuan untuk memahami sifat dan karakteristik tanah guna mendukung perencanaan rekayasa teknik. Penyelidikan ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu penyelidikan lapangan (*in situ test*) dan penyelidikan laboratorium (*laboratory test*). Tujuan utama penyelidikan tanah adalah memperoleh data teknis yang diperlukan untuk merancang pondasi, perkerasan jalan, serta perkuatan tebing yang aman dan ekonomis.

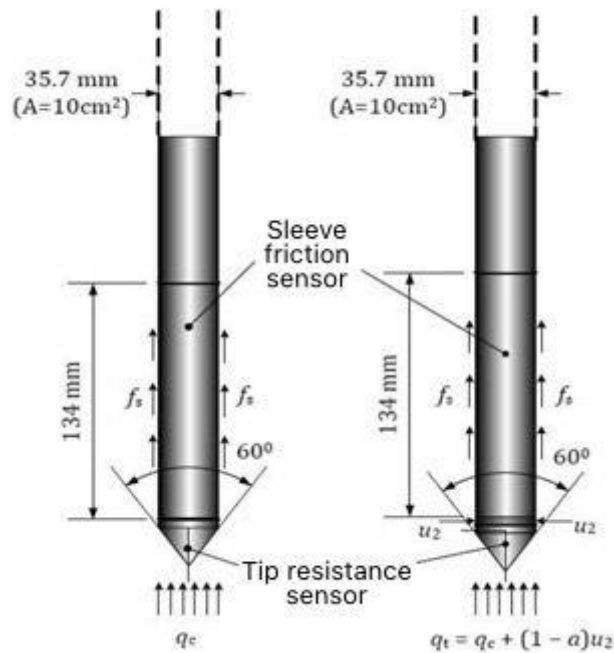
Penyelidikan lapangan dilakukan untuk menentukan kekuatan tanah, sementara penyelidikan laboratorium menganalisis sampel tanah yang diambil dari berbagai kedalaman guna mengetahui sifat fisik dan deformasinya. Contoh metode penyelidikan lapangan meliputi *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT).

2.3.1 Cone Penetration Test (CPT)

Cone Penetration Test (CPT) adalah metode pengujian tanah yang digunakan untuk menentukan sifat-sifat tanah secara in-situ, dengan cara menekan kerucut baja (cone) ke dalam tanah pada laju konstan sambil mencatat hambatan yang dialami kerucut tersebut. Pengujian ini dilakukan menggunakan peralatan mekanik atau elektronik yang memungkinkan pengukuran langsung tahanan ujung kerucut (*tip resistance*), tahanan selubung (*sleeve friction*), dan tekanan air pori (*pore water pressure*). Hasil CPT memberikan data penting tentang kepadatan, kekuatan geser, dan jenis tanah di lokasi uji (Das, 2011).

Prosedur CPT biasanya melibatkan penekanan kerucut dengan ujung sudut 60 derajat ke dalam tanah pada laju 2 cm per detik. Alat ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai jenis tanah dan memprediksi sifat-sifat mekanis tanah tanpa perlu mengambil sampel. Karena itu, CPT sering digunakan dalam studi geoteknik untuk mendesain pondasi, terutama untuk tanah lunak atau berbutir halus (Robertson and Cabal, 2010).

Keunggulan CPT dibandingkan dengan metode lain, seperti *Standard Penetration Test* (SPT), adalah kemampuannya memberikan data yang lebih kontinu dan rinci mengenai kondisi tanah pada berbagai kedalaman, serta lebih andal untuk tanah lempung atau pasir halus. CPT juga dapat diintegrasikan dengan sensor untuk mengukur tekanan air pori secara real-time, yang memberikan gambaran lebih lengkap mengenai kondisi tanah jenuh (Lunne et al., 1997).



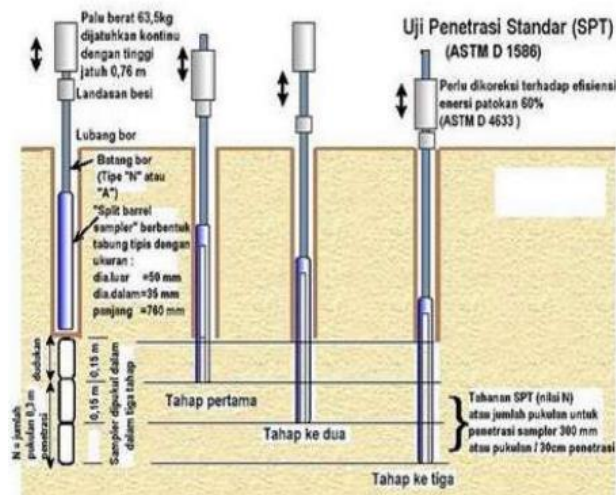
Gambar 2.8 Pengujian penetrasi probe CPT (kiri) dan CPTu (kanan)

sumber : <https://www.geotech.hr/en/cone-penetration-test-with-pore-water-pressure-measurement-cptu/>

2.3.2 Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) digunakan untuk mengestimasi kerapatan relatif lapisan tanah yang diuji. Pengujian ini memerlukan alat utama bernama *Standard Split Barrel Sampler* atau tabung belah standar. Alat ini dimasukkan ke dalam *borehole*, yang sebelumnya telah dibuat menggunakan bor, lalu diturunkan bersama pipa bor hingga ujungnya menyentuh tanah dasar.

Setelah mencapai tanah dasar, tabung belah standar dipukul menggunakan pemukul seberat 63,5 kg. Pemukulan pertama dilakukan hingga kedalaman 15 cm, kemudian dilanjutkan dengan pemukulan kedua hingga 30 cm. Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk mencapai kedalaman 30 cm pada pemukulan kedua disebut nilai "N", yang mencerminkan kekuatan dan kepadatan tanah di lokasi uji.



Gambar 2.9 Skema Pengujian Standard Penetration test
Sumber : SNI 4153:2008, 2008

Dalam perancangan pondasi, nilai **N** dari *Standard Penetration Test* (SPT) dapat digunakan sebagai indikator kemungkinan jenis keruntuhan pondasi yang mungkin terjadi (Terzaghi dan Peck, 1948). Jika $N < 5$, maka tanah cenderung mengalami keruntuhan geser lokal (*local shear failure*). Sementara itu, jika $N > 30$, tanah lebih berpotensi mengalami keruntuhan geser umum (*general shear failure*).

Tabel 2.1 Kerapatan Relatif Pasir

Nilai N	Klasifikasi
0 – 4	Sangat Lepas
4 – 10	Lepas
10 – 30	Sedang
30 – 50	Padat
> 50	Sangat Padat

Sumber : Terzaghi dan Peck, 1948

Meyerhof mengemukakan bahwa tahanan penetrasi dari uji statis, uji dinamis, dan *Standard Penetration Test* (SPT) menunjukkan pola perubahan serupa seiring bertambahnya kedalaman. Hubungan antara nilai q_c dari uji sondir dan nilai N dari SPT dinyatakan melalui persamaan korelasi sebagai berikut:

Untuk tanah lempung :

$$q_c = 2,5 \times N \quad (2.1)$$

Untuk tanah pasir :

$$q_c = 4 \times N \quad (2.2)$$

Dimana :

q_c = Tahanan konus statis (kg/cm^2)

N = Jumlah pukulan

Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian lapangan tidak dapat langsung digunakan dalam perencanaan pondasi. Nilai ini harus dikoreksi terlebih dahulu terhadap muka air tanah dan tegangan overburden untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Koreksi terhadap muka air tanah dilakukan khusus pada pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah, serta hanya jika $N > 15$. Koreksi ini penting untuk mempertimbangkan efek pelemahan tanah akibat tekanan air pori, sehingga nilai N yang digunakan dalam analisis lebih mencerminkan kondisi tanah yang sebenarnya.

$$(\text{Terzaghi and Peck, 1960}) N_1 = 15 + 1/2 (N - 15) \quad (2.3)$$

$$(\text{Bazara, 1967}) N_1 = 0,6 N \quad (2.4)$$

Sedangkan untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar serta tanah yang memiliki nilai $N \leq 15$ tidak ada koreksi. Jadi nilai $N_1 = N$.

Hasil dari koreksi 1 (N_1) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif (overburden pressure) pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan. Harga N_2 harus $\leq 2N_1$. Bila dari koreksi didapat $N_2 > 2N_1$ maka nilai $N_2 = 2N_1$.

Bila $P_0 \leq 7,5 \text{ ton/m}^2$, maka :

$$N_2 = \frac{4N_1}{1+0,4p_0} \quad (2.5)$$

Bila $P_0 > 7,5 \text{ ton/m}^2$, maka :

$$N_2 = \frac{4N_1}{3,25+0,1p_0} \quad (2.6)$$

1. Korelasi N-SPT dengan Kepadatan Relatif (D_r) Tanah Pasir

Terzaghi dan Peck (1967) memberikan deskripsi kualitatif hubungan antara nilai N-SPT dengan kerapatan relatif pada tanah pasir pada Tabel 2.2. Bowles (1997) juga mengusulkan nilai Empiris antara nilai N-SPT terkoreksi dengan kerapatan relatif, sudut geser dalam serta berat volume pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Deskripsi Kualitatif Kerapatan Tanah Pasir (Terzaghi dan Peck, 1967)

Nilai N	Klasifikasi
0 – 4	Sangat Lepas
4 – 10	Lepas
10 – 30	Sedang
30 – 50	Padat
> 50	Sangat Padat

Sumber : Terzaghi dan Peck, 1948

Tabel 2. 3 Hubungan antara Parameter Tanah Pasir (Teng, 1962)

Kondisi Kepadatan	<i>Relative Density</i> (Kepadatan Relatif) R_d	Perkiraan Harga N_{SPT}	Perkiraan Harga ϕ (°)	Perkiraan Berat Volume Jenuh, γ_{sat} (ton/m ³)
<i>Very Loose</i> (Sangat Renggang)	0% - 15%	0 - 4	0 - 28	< 1,60
<i>Loose</i> (Renggang)	15% - 35%	4 - 10	28 - 30	1,50 – 2,0
<i>Medium</i> (Menengah)	35% - 65%	10 - 30	30 - 36	1,75 – 2,10
<i>Dense</i> (Rapat)	65% - 85%	30 - 50	36 – 41	1,75 – 2,25
<i>Very Dense</i> (sangat Rapat)	85% - 100%	>50	41*	

Sumber: Mochtar, 2009

2.4 Berat Isi (γ)

Berat isi adalah nilai dari perbandingan berat sampel dengan volume, biasanya dalam satuan kN/m³. Menurut Hardiyatmo (2006) untuk menentukan nilai berat isi jenuh (γ_{sat}) dan berat isi basah (γ_b) dapat menggunakan persamaan :

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e} \quad (2.7)$$

$$\gamma_b = \frac{G_s \cdot \gamma_w (1 + w)}{1 + e} \quad (2.8)$$

Dimana :

γ_{sat} = Berat isi jenuh (kN/m³)

γ_w = Berat isi air (kN/m³)

γ_b = Berat isi basah (kN/m³)

G_s = Berat jenis

w = Kadar air (%)

e = Angka pori

2.5 Sudut Gesek (ϕ)

Sudut geser dalam merupakan nilai sudut yang diperoleh jika suatu material menerima tegangan atau gaya melebihi tegangan gesernya. Semakin besarnya nilai sudut geser dalam maka material tersebut lebih tahan dalam menerima tegangan luar. Meyerhof

(1956) mengusulkan sudut geser dalam didasarkan pada pengamatan dilapangan, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 2.4 Nilai-nilai Representatif Sudut Gesek Tanah, ϕ (Hardiyatmo, 2002)

Kondisi	Kerapatan Relatif (Dr)	Nilai SPT (N-SPT)	Nilai tahanan ujung konus (qc) (kg/cm ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Sangat tidak padat	< 0,2	< 4	< 20	< 30°
Tidak padat	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30° – 35°
Agak padat	0,4 – 0,6	10 – 30	40 – 120	35° – 40°
Padat	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40° – 45°
Sangat Padat	> 0,8	> 50	> 200	> 45°

Sumber: Hardiyatmo, 2002

2.6 Kohesi (c)

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar partikel tanah yang diukur dalam satuan gaya per satuan luas. Semakin tinggi nilai kohesi tanah, semakin besar pula kekuatan geser tanah. Nilai kohesi (c) didapatkan melalui pengujian laboratorium, seperti Pengujian Kuat Geser Langsung (*Direct Shear Test*) dan Pengujian Triaxial (*Triaxial Test*). Kohesi merupakan salah satu parameter kuat geser tanah yang berperan dalam menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan, terutama dalam menahan gerakan lateral tanah.

2.7 Pembebanan Pada Bangunan

Secara umum Pembebanan untuk bangunan adalah kumpulan gaya atau tekanan yang bekerja pada suatu struktur bangunan yang harus diperhitungkan dalam proses perancangan dan konstruksi. Beban ini harus dianalisis dengan hati-hati untuk memastikan bahwa bangunan dapat menahan semua gaya yang bekerja padanya tanpa mengalami kegagalan struktural. Pembebanan bangunan diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, yaitu beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan beban lainnya yang berpotensi mempengaruhi stabilitas bangunan (McCormac and BROWN, 2015).

2.7.1 Beban Mati

Beban mati (*dead load*) adalah beban permanen yang berasal dari berat elemen-elemen bangunan itu sendiri, seperti dinding, lantai, kolom, dan atap. Beban ini tidak berubah seiring waktu dan bersifat konstan selama umur bangunan. Beban mati harus diperhitungkan sejak awal desain karena memberikan kontribusi terbesar terhadap tekanan pada elemen struktur (Taranath, 2010).

2.7.2 Beban Hidup

Beban hidup (*live load*) adalah beban yang berubah-ubah atau tidak tetap, seperti orang, perabotan, kendaraan, atau barang-barang yang ada di dalam bangunan. Beban ini dipengaruhi oleh penggunaan bangunan dan bisa berbeda-beda tergantung fungsi ruang di dalam bangunan. Beban hidup penting untuk dianalisis karena variabilitasnya, dan desain struktur harus mempertimbangkan kondisi pembebanan maksimum (McCormac and BROWN, 2015).

2.7.3 Beban Angin

Beban angin (*wind load*) adalah gaya horizontal yang dihasilkan oleh tekanan angin pada permukaan bangunan. Beban angin mempengaruhi stabilitas bangunan, terutama bangunan tinggi atau struktur yang luas permukaannya, seperti dinding luar dan atap. Desain struktur harus mampu menahan tekanan angin agar bangunan tidak mengalami deformasi atau kerusakan (Holmes, 2001).

2.7.4 Beban Gempa

Beban gempa (*seismic load*) adalah gaya dinamis yang bekerja pada bangunan selama terjadinya gempa bumi. Beban ini berasal dari gerakan tanah yang menyebabkan getaran pada struktur bangunan. Dalam desain bangunan tahan gempa, perhitungan beban gempa sangat penting untuk memastikan bahwa bangunan dapat menahan guncangan tanpa runtuh (Chopra, 2007).

2.7.5 Beban Khusus

Selain beban-beban utama di atas, ada juga beban khusus seperti beban salju, beban air, beban ledakan, dan beban temperatur. Beban ini mungkin relevan di daerah atau kondisi lingkungan tertentu dan harus dipertimbangkan sesuai dengan lokasi dan penggunaan bangunan.

2.8 Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang Tunggal

Kapasitas daya dukung pondasi adalah kemampuan tanah dalam mendukung beban dan struktur di atasnya yang dinyatakan dengan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat beban. Analisis kapasitas dukung pondasi dilakukan dengan pendekatan tertentu untuk menyederhanakan perhitungan. Pendekatan ini dapat didasarkan pada data laboratorium maupun data lapangan, seperti hasil *Cone Penetration Test* (CPT) dan *Standard Penetration Test* (SPT). Pekerjaan pengujian tanah dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah di lokasi proyek sebagai dasar pendukung pembangunan, dimana akan didapatkan data-data tanah di lapangan. Daya dukung tanah harus diketahui untuk

memastikan perhitungan dan perencanaan dimensi beban struktur yang akan dibangun. Jika daya dukung tanah tidak mencukupi untuk menahan beban struktur yang direncanakan, data daya dukung yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan perlakuan atau perbaikan tanah guna meningkatkan kapasitas daya dukungnya hingga mencapai nilai yang diinginkan. Metode perbaikan ini dapat mencakup pemadatan, penggunaan material tambahan, atau teknik perbaikan tanah lainnya.

2.8.1 Metode Meyerhof

Metode Meyerhof adalah salah satu metode empiris yang digunakan untuk menghitung daya dukung tanah yang menopang pondasi dangkal. Metode ini diperkenalkan oleh George G. Meyerhof pada tahun 1950-an dan didasarkan pada konsep keseimbangan batas (*limit equilibrium*) untuk menentukan kapasitas daya dukung ultimate (*ultimate bearing capacity*) dari tanah yang mendukung pondasi. Meyerhof memperhitungkan berbagai faktor yang memengaruhi daya dukung, termasuk dimensi pondasi, kedalaman pondasi, kekuatan geser tanah, serta kondisi drainase dan beban eksternal (Meyerhof, 1956).

Metode ini memformulasikan daya dukung ultimate berdasarkan persamaan daya dukung terpisah menjadi komponen-komponen terkait seperti daya dukung tanah terhadap gaya vertikal, gesekan internal tanah, serta beban akibat kondisi lingkungan. Metode Schmertmann and Nottingham

2.8.2 Metode Luciano Decourt

Metode Luciano Decourt adalah metode empiris yang digunakan untuk memperkirakan daya dukung tanah berdasarkan hasil uji *Standard Penetration Test* (SPT). Metode ini dikembangkan oleh insinyur geoteknik asal Brasil, Luciano Decourt, yang secara khusus menyesuaikan perhitungan daya dukung tanah untuk tanah tropis dan tanah residual, di mana tanah seringkali heterogen dan memiliki karakteristik fisik yang berbeda dibandingkan dengan tanah di daerah beriklim sedang (Decourt, 1996). Metode ini sering digunakan di Brasil dan Amerika Selatan untuk mendesain pondasi dangkal dan memperkirakan daya dukung tanah menggunakan korelasi dengan nilai N dari SPT.

Metode ini mengandalkan hasil uji SPT untuk memperkirakan daya dukung ultimate dari tanah. Uji SPT dilakukan dengan menghitung jumlah pukulan yang diperlukan untuk menembus tanah sedalam 30 cm dengan menggunakan tabung yang ditumbuk oleh palu standar. Nilai N yang dihasilkan kemudian dikorelasikan dengan daya dukung tanah melalui persamaan empiris yang diusulkan oleh Decourt.

Decourt memberikan persamaan empiris untuk menghitung daya dukung tanah yang didasarkan pada nilai N dari SPT dan faktor-faktor koreksi untuk kedalaman dan lebar pondasi.

2.9 Penurunan Pondasi Tiang

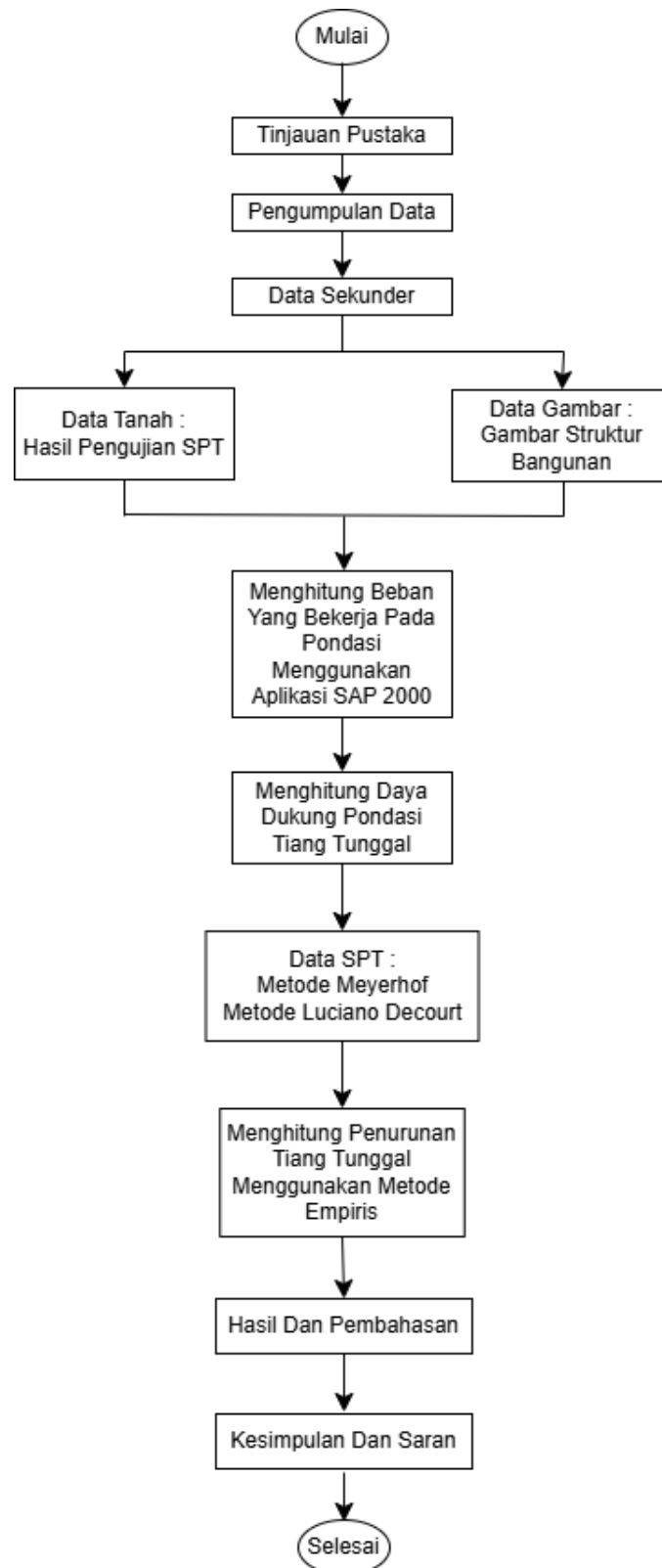
Saat tiang menerima beban, pondasi tiang akan mengalami perpendekan dan tanah di sekitarnya akan berkurang. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan kegagalan akibat beban yang bekerja pada tanah antara lain:

1. Terjadinya geseran atau keruntuhan karena tanah melebihi kapasitas dukungnya.
2. Kerusakan atau deviasi besar pada pondasi.
3. Perubahan bentuk geseran pada tanah penyangga (shear distortion).
4. Penurunan permukaan tanah akibat perubahan rasio rongga (void ratio).

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, pencegahan terhadap penurunan pondasi yang berlebihan menjadi penting, dengan cara menghitung penurunan pondasi agar tidak menyebabkan keruntuhan pada struktur bangunan. Penurunan pondasi pada tiang kelompok cenderung lebih besar dibandingkan penurunan pada pondasi tiang tunggal. Beberapa faktor yang memengaruhi penurunan yang diizinkan meliputi tinggi, jenis, kekakuan, dan fungsi bangunan, serta ukuran dan perencanaannya. Jika penurunan terjadi secara perlahan, struktur lebih mampu menahan penurunan tersebut tanpa merusak bangunan. Mengingat penurunan terbesar dapat diprediksi dengan akurat, hubungan antara penurunan yang diizinkan dan penurunan maksimum seringkali dapat ditentukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Pengerjaan Analisis Pondasi



Gambar 3.1 Bagan Alir Pengerjaan Analisis Pondasi Tiang Pancang

Penjelasan bagan alir pengerjaan analisis Pondasi:

1. Tinjauan pustaka

Proses ini dilakukan untuk memperoleh teori yang relevan dengan permasalahan yang diteliti. Peneliti mengumpulkan berbagai penelitian terkait yang kemudian dijadikan dasar untuk memperkuat penelitian yang sedang dilakukan.

2. Pengumpulan data

Pada proses pengumpulan data, data dibagi menjadi data primer dan data sekunder. Data primer adalah data asli yang dikumpulkan langsung oleh peneliti. Sedangkan data sekunder merupakan data yang telah dikumpulkan oleh pihak lain sebelumnya. Pada penelitian ini, penulis memperoleh data dari pihak Kontraktor PT Wijaya Karya yang mencakup laporan hasil penyelidikan tanah, seperti data *Standard Penetration Test* (SPT), serta data gambar yaitu gambar struktur bangunan Damkar.

3. Menghitung beban yang bekerja pada pondasi.

Menghitung beban bertujuan untuk menghitung daya dukung yang bekerja pada pondasi tiang pancang yang ditinjau dan sebagai kontrol pada perhitungan daya dukung tiang dan digunakan untuk menghitung penurunan pada pondasi. Beban ini dihitung dari data gambar berupa gambar struktur bangunan menggunakan aplikasi SAP2000.

4. Menghitung Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Menghitung daya dukung aksial tiang tunggal menggunakan laporan hasil penyelidikan tanah berupa data *Standard Penetration Test* (SPT) untuk nanti dibuatkan perbandingan. Jumlah titik yang di analisis adalah 2 titik, yaitu BH.03 dan BH.04 untuk pengujian SPT. Dihitung menggunakan 2 metode yaitu metode Meyerhof, metode Luciano Decourt.

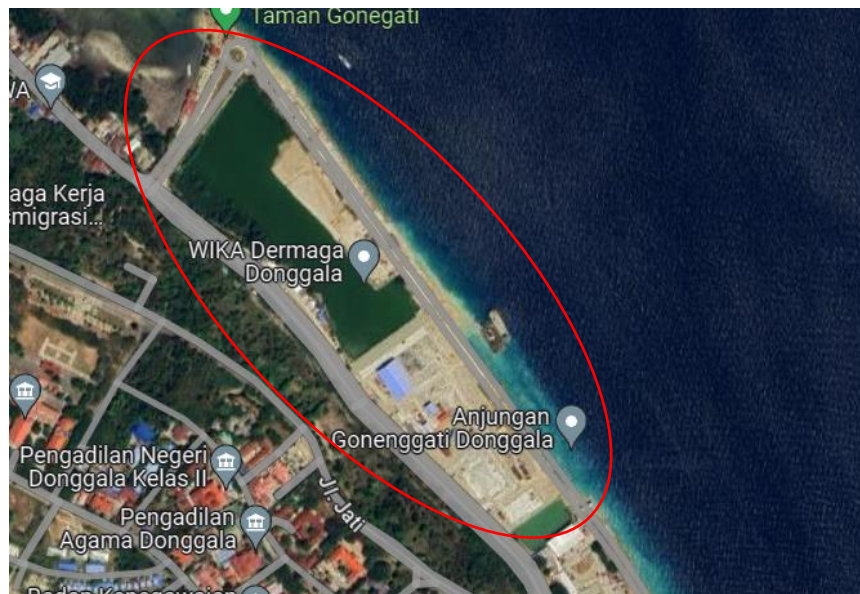
5. Menghitung penurunan tiang tunggal menggunakan metode empiris.

6. Menghitung hasil dan pembahasan.

7. Membuat kesimpulan dan saran.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, berlokasi di Jalan Poros Palu - Mamuju, Sulawesi Tengah. Adapun gambaran geografis dari atas lokasi proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala yang diambil dari Google Maps. Berikut ini gambaran geografis dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Proyek
Sumber : Google Maps, 2024

3.3 Jenis Data dan Sumber Data

Untuk mendukung penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh data dari pihak Kontraktor PT Wijaya Karya yang meliputi data hasil:

1. Laporan hasil penyelidikan tanah berupa Data *Standard Penetration Test* (SPT).
2. Gambar struktur bangunan Damkar pada Rekonstruksi Pelabuhan Donggala.

3.3.1 Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tanah hasil penyelidikan tanah yang diperlukan dalam penelitian. Kondisi tanah ditinjau berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan pada area Rekonstruksi Pelabuhan Donggala. Berdasarkan hasil pengujian SPT diketahui terdapat beberapa lapisan hingga kedalaman 20 m. Data penyelidikan tanah akan memberikan informasi karakteristik lapisan tanah sekitar dan digunakan dalam menentukan profil tanah. Data tanah yang digunakan pada penelitian ini yaitu BH-03 dan BH-04. Berikut peta lokasi pengujian lapangan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3



Gambar 3.3 Lokasi Pengujian Bor Inti dan N.SPT

Sumber : Draft Final Report Soil Investigation, Package Civil Works (CW) Sea Port 1: Works for Reconstruction of Donggala Port

3.3.2 Data Struktur Bangunan dan Pondasi

1. Data Struktur Gedung Damkar

Struktur Gedung Damkar menggunakan struktur baja. Perencanaan struktur gedung damkar terdiri dari struktur atas dan struktur bawah.

2. Pondasi Gedung Damkar

Dengan melihat profil tanah yang ada di lokasi proyek, jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang dengan kedalaman 8 meter. Adapun ukuran pondasi tiang pancang yang digunakan adalah diameter 0,3 meter.

3.4 Analisa Data

Data yang sudah ada kemudian dianalisis untuk keperluan:

a) Pembebanan

Analisis Pembebanan menggunakan aplikasi SAP2000 dengan Data Gambar struktur Bangunan Damkar Pada Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala sebagai acuan untuk menghitung beban maksimum yang bekerja pada pondasi berupa nilai momen, gaya geser dan aksial. Untuk mendapatkan beban maksimum yang bekerja pada pondasi maka digunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1725 2016 sebagai acuan pembebanan untuk bangunan.

b) Analisis Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian SPT yang telah dilaksanakan pada area Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala.

c) Perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal

Menghitung kapasitas daya dukung aksial tiang tunggal berdasarkan data hasil pengujian SPT menggunakan metode Meyerhof dan metode Luciano Decourt. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung daya dukung tiang tunggal aksial:

Perhitungan untuk data SPT :

Nilai N-SPT yang diperoleh dari pengujian lapangan tidak dapat langsung digunakan dalam perencanaan pondasi. Sebelum digunakan, nilai ini harus dikoreksi terhadap muka air tanah dan tegangan overburden untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Koreksi muka air tanah dilakukan secara khusus pada tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah, serta hanya jika $N > 15$. (menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4).

Sedangkan untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar serta tanah yang memiliki nilai $N \leq 15$ tidak ada koreksi. Jadi nilai $N_1 = N$.

Hasil dari koreksi 1 (N_1) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif (*overburden pressure*) pada lapisan tanah dimana harga N tersebut didapatkan. Harga N_2 harus $\leq 2N_1$. Bila dari koreksi didapat $N_2 > 2N_1$ maka nilai $N_2 = 2N_1$.

Setelah dilakukan koreksi terhadap nilai N-SPT, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan daya dukung tanah untuk tiang pancang.

1. Metode Meyerhof

Untuk menghitung daya dukung ujung tiang (Q_b) menggunakan persamaan berikut:

Untuk tanah kohesif

$$Q_b = q_b \times A_b \quad (3.1)$$

$$q_b = 9 \times C_u \quad (3.2)$$

$$C_u = 2/3 \times N_{\text{Rata-rata}} \quad (3.3)$$

Untuk tanah non kohesif

$$Q_b = 40 \times N_b \times A_b \quad (3.4)$$

Dimana :

Q_b = Daya dukung ujung tiang (ton)

q_b = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2)

C_u = Kohesi tanah (ton/m^2)

A_b = Luas penampang tiang (m^2)

$N_{\text{Rata-rata}}$ = Nilai rata-rata N-SPT dari 8D sampai 4D di ujung tiang

Untuk menghitung daya dukung selimut tiang (Q_s) menggunakan persamaan berikut:

Untuk tanah kohesif

$$Q_s = \alpha \times C_u \times K \times L_i \quad (3.5)$$

Untuk tanah non kohesif

$$Q_s = 0,2 \times N_{\text{rata-rata}} \times A_s \quad (3.6)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

L_i = Kedalaman lapisan tanah (m)

A_s = Luas penampang tiang (m^2)

K = Keliling tiang (m)

α = Faktor adhesi

α = 0,55

Untuk menghitung daya dukung ultimit tiang (Q_u) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (3.7)$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

Untuk menghitung daya dukung ijin tiang (Q_{ijin}) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\text{ijin}} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.8)$$

Dimana :

Q_{ijin} = Daya dukung ijin tiang (ton)

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

SF = Faktor keamanan

2. Metode Luciano Decourt

Untuk menghitung daya dukung ujung tiang (Q_b) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_b = \alpha \times N_b \times K \times A_b \quad (3.9)$$

Dimana :

Q_b = Daya dukung ujung tiang (ton)

N_b = Rata-rata nilai N 4D di bawah sampai 4D di atas ujung tiang

K = Nilai koefisien tergantung dari jenis tanah (ton/m^2)

α = Koefisien dasar tiang

A_b = Luas penampang ujung tiang (m^2)

Tabel 3.1 Nilai koefisien tergantung dari jenis tanah

Jenis Tanah	K (ton/m^2)
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir	40

Sumber : Santoso dan Hartono, 2020

Tabel 3.2 Koefisien Dasar Tiang α

Soil/Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Piles	Injected Piles (High Pressure)
Clay	1,00	0,85	0,85	0,30	0,85	1,00
Intermediate Soils	1,00	0,60	0,60	0,30	0,60	1,00
Sands	1,00	0,50	0,50	0,30	0,50	1,00

Sumber : Decourt and Quaresma, 1978; Decourt dkk, 1996

Untuk menghitung daya dukung selimut tiang (Q_s) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1\right) \times A_s \quad (3.10)$$

Dimana :

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

N_s = Harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam dengan batasan

$$3 < N < 50$$

A_s = Luas selimut tiang (keliling . panjang tiang yang terbenam) (m^2)

Tabel 3.3 Koefisien Selimut Tiang β

Soil/Pile	Driven Pile	Bored Pile	Bored Pile (Bentonite)	Continuous Hollow Auger	Root Piles	Injected Piles (High Pressure)
Clay	1,00	0,80	0,90	1,00	1,50	3,00
Intermediate Soils	1,00	0,65	0,75	1,00	1,50	3,00
Sands	1,00	0,50	0,65	1,00	1,50	3,00

Sumber : Decourt and Quaresma, 1978; Decourt dkk, 1996

Tabel 3.4 Faktor Adhesi Untuk Selimut Tiang Pada Tanah Lempung

Adhesion Faktor, α (dimensionless)	Undrained Shear Strength, C_u (tsf)	Undrained Shear Strength, C_u (t/m ²)
0,55	< 0,2	< 21,5
0,49	2,0 – 3,0	21,5 – 32,25
0,42	3,0 – 4,0	32,25 – 43,0
0,38	4,0 – 5,0	43,0 – 53,75
0,35	5,0 – 6,0	53,75 – 64,5
0,33	6,0 – 7,0	64,5 – 72,25
0,32	7,0 – 8,0	72,25 – 86,0
0,31	8,0 – 9,0	86,0 – 96,75
Treat as Rock	> 9	> 96,75

Sumber : Kulhawy dan Mayne, 1990

Untuk menghitung daya dukung ultimit tiang (Q_u) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (3.11)$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

Untuk menghitung daya dukung ijin tiang (Q_{ijin}) menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.12)$$

Dimana :

Q_{ijin} = Daya dukung ijin tiang (ton)

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

SF = Faktor keamanan

d) Perhitungan penurunan tiang tunggal

(Fadilah dan Tunafiah, 2018) Penurunan pondasi tiang tunggal dengan metode empiris dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{d}{100} + \frac{q \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (3.13)$$

Dimana :

S = Penurunan total di kepala tiang (m)

d = Diameter tiang (m)

q = Beban yang bekerja (ton)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

L = Panjang tiang (m)

E_p = Modulus elastisitas tiang (ton/m^2)

Menurut Reese and Wright (1997) kontrol nilai penurunan yang aman adalah $S_{total} \leq S_{izin}$.

Penurunan izin pada tiang tunggal dapat menggunakan persamaan berikut :

$$S_{izin} = 10\% \times D \quad (3.14)$$

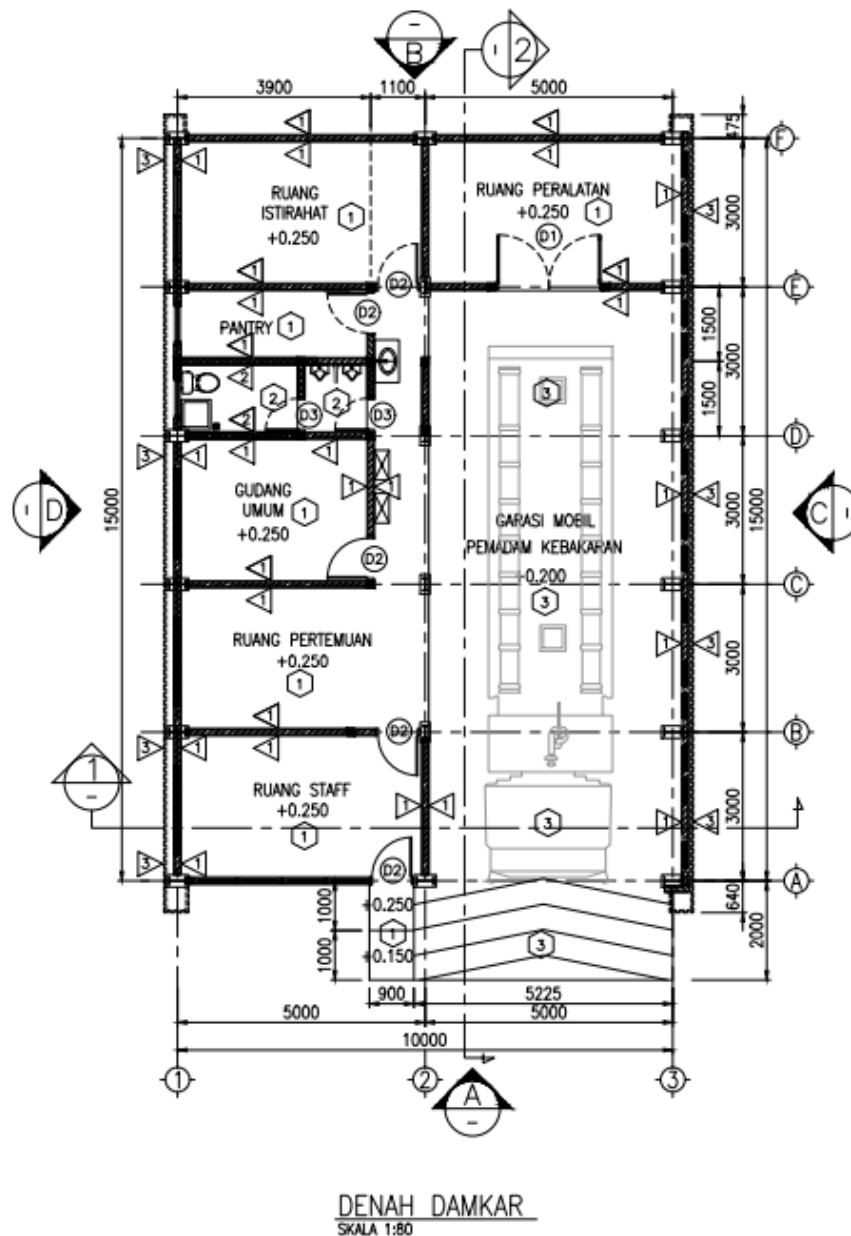
Dimana :

D = Diameter tiang (m)

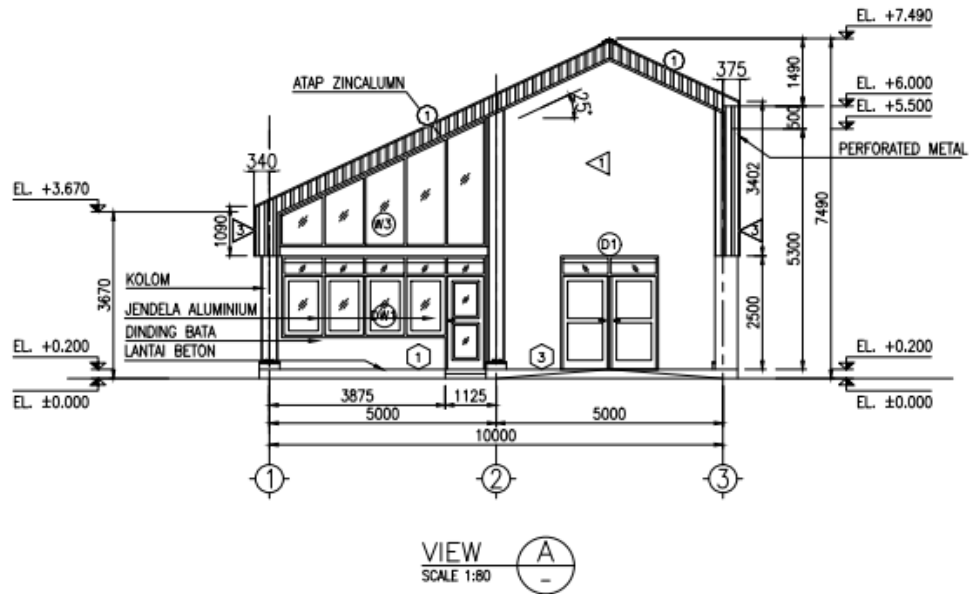
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan Gedung Damkar

Gedung damkar yang ditinjau memiliki dimensi 10 m x 15 m. Tinggi bangunan 7,49 m dengan tinggi kolom yang bervariasi, untuk kolom bagian tengah dan bagian kiri 6 m dan kolom bagian kanan 3,67 m.



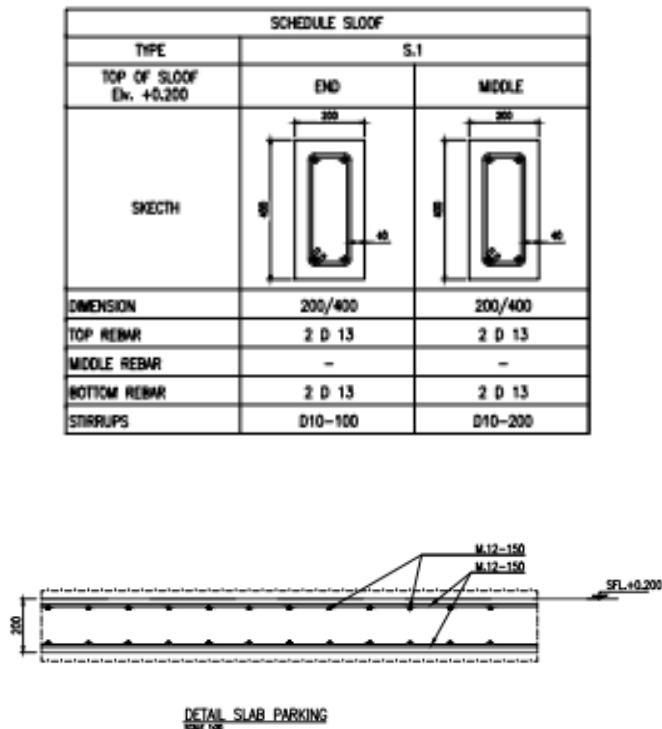
Gambar 4.1 Denah Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala
Sumber : Gambar Struktur Bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, 2024



Gambar 4.2 Potongan A-A Melintang Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Sumber : Gambar Struktur Bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, 2024

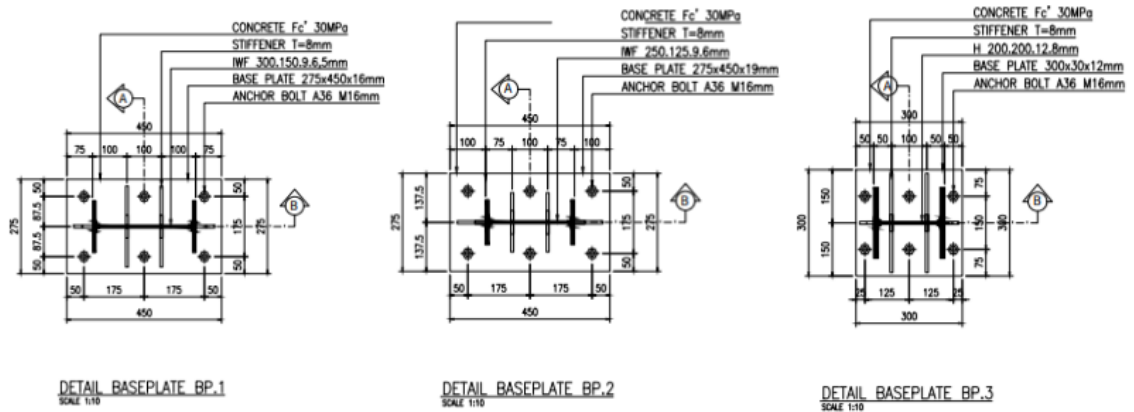
Berikut adalah gambar *sloof* dan *slab* yang digunakan pada gedung damkar.



Gambar 4.3 Detail *Sloof* dan *Slab* Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Sumber : Gambar Struktur Bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, 2024

Struktur *baseplate* pada gedung damkar ini memiliki beberapa tipe, dengan ukuran penampang yang berbeda. Jenis penampang yang ditinjau pada penelitian ini adalah tipe BP.1 , BP.2, BP.3. Berikut adalah gambar tipe penampang yang digunakan dalam penelitian ini.



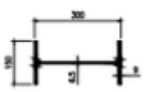
SCHEDULE BASEPLATE	
TYPE	BP.1 & BP.2
ELEVATION	BOTTOM OF COLUMN +0.000 ~ +0.600
SKETCH	
DIMENSION	275/450
TOTAL REBAR	4 Ø 13
STIRRUPS END REBAR	Ø10-100
STIRRUPS MID. REBAR	Ø10-100

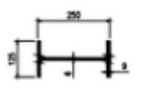
SCHEDULE BASEPLATE	
TYPE	BP.3
ELEVATION	BOTTOM OF COLUMN +0.000 ~ +0.600
SKETCH	
DIMENSION	300/300
TOTAL REBAR	4 Ø 13
STIRRUPS END REBAR	Ø10-100
STIRRUPS MID. REBAR	Ø10-100

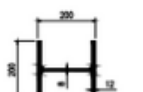
Gambar 4.4 Detail *Baseplate* Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Sumber : Gambar Struktur Bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, 2024

Struktur kolom dan balok pada gedung damkar menggunakan struktur baja yang terdiri dari beberapa tipe, dengan ukuran penampang yang berbeda. Jenis penampang yang ditinjau pada penelitian ini adalah tipe C.1, C.2, C.3, H.1, B.1, B.2, dan B.C. Berikut adalah gambar tipe penampang yang digunakan dalam penelitian ini.

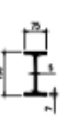
SCHEDULE STEEL COLUMN	
TYPE	C.1
SKECTH	
DIMENSION	IWF 300.150.9.6.5mm

SCHEDULE STEEL COLUMN	
TYPE	C.2
SKECTH	
DIMENSION	IWF 250.125.9.6mm

SCHEDULE STEEL COLUMN	
TYPE	H.1
SKECTH	
DIMENSION	H 200.200.12.8mm

SCHEDULE STEEL BEAM	
TYPE	B.1
SKECTH	
DIMENSION	IWF 200.100.8.6mm

SCHEDULE STEEL BEAM	
TYPE	B.2
SKECTH	
DIMENSION	IWF 150.75.7.5mm

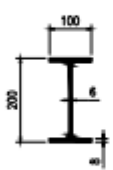
SCHEDULE STEEL BEAM	
TYPE	B.2
SKECTH	
DIMENSION	IWF 150.75.7.5mm

SCHEDULE STEEL BEAM	
TYPE	B.C
SKECTH	
DIMENSION	BRACING 90.90.13

Gambar 4.5 Detail Kolom dan Balok Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Sumber : Gambar Struktur Bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, 2024

Berikut adalah gambar balok atap dan kanal atap yang digunakan pada gedung damkar.

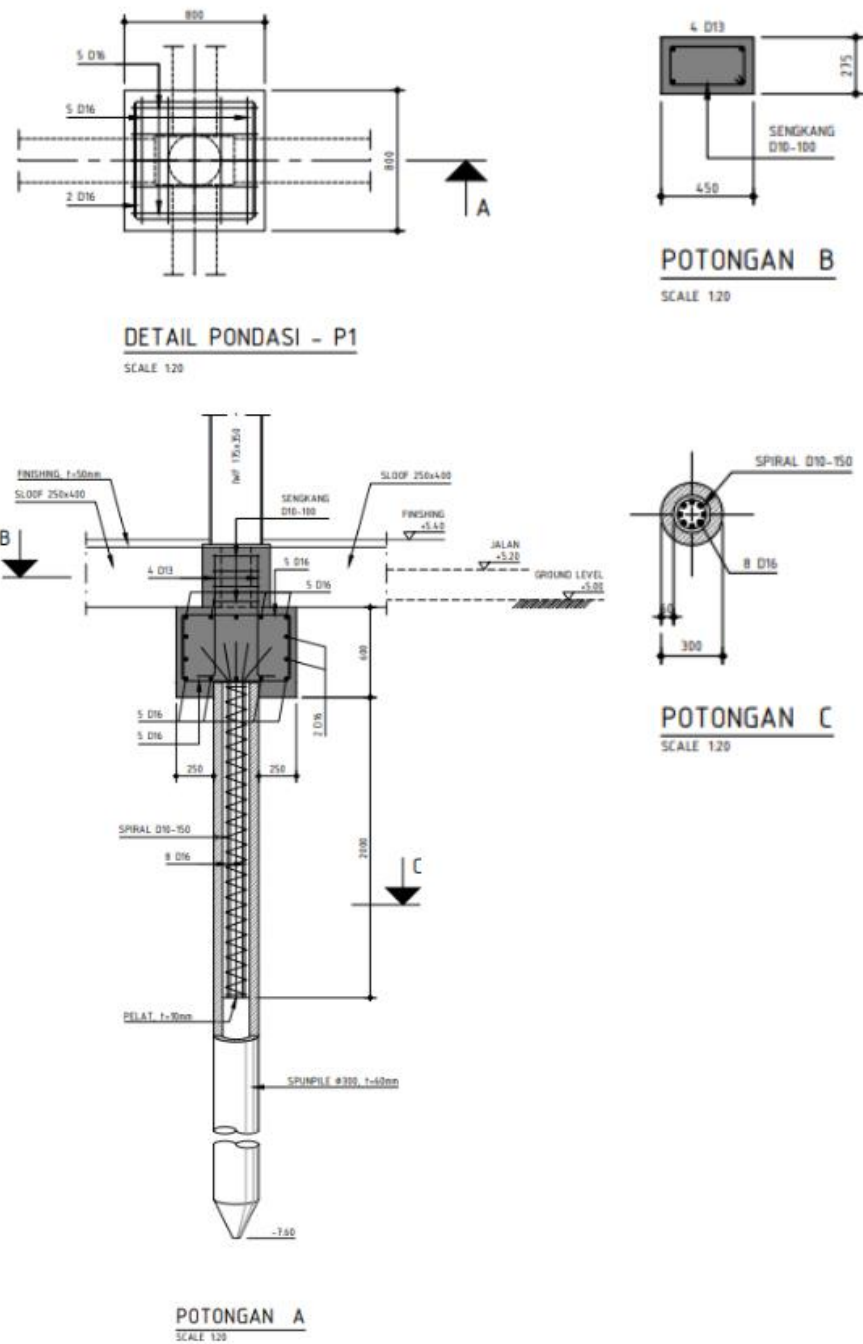
SCHEDULE STEEL BEAM	
TYPE	B.1
SKECTH	
DIMENSION	IWF 200.100.8.6mm

SCHEDULE STEEL ROOF	
TYPE	C.1
SKECTH	
DIMENSION	CHANNEL 125.50.20.3

Gambar 4.6 Detail Balok Atap dan Kanal Atap Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Sumber : Gambar Struktur Bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, 2024

Perencanaan gedung damkar ini menggunakan jenis pondasi tiang pancang dengan diameter 300 mm dengan panjang 8 m.

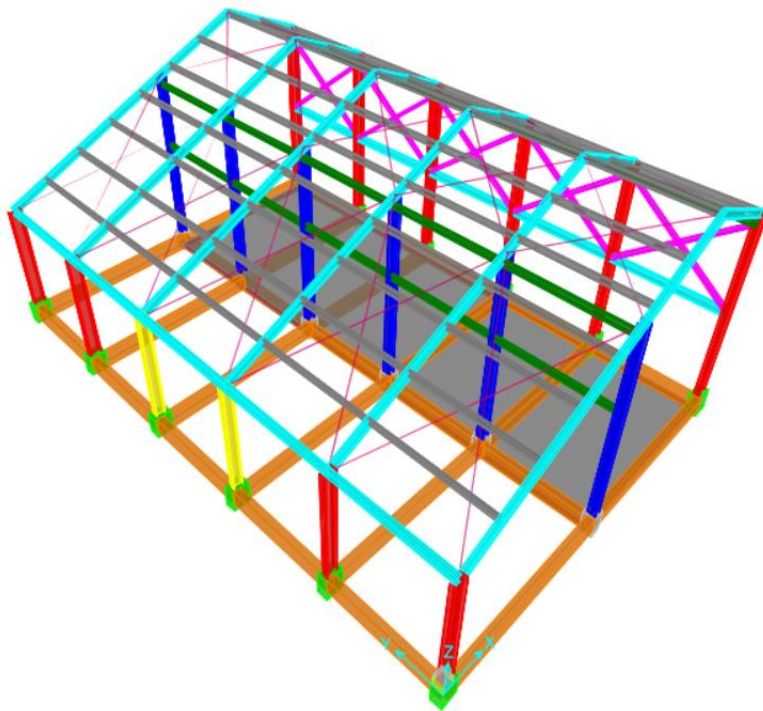


Gambar 4.7 Detail Pondasi Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Sumber : Gambar Struktur Bangunan Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala, 2024

4.2 Analisis Pembebanan

Perhitungan pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727-2020, sedangkan perhitungan terhadap gaya gempa berdasarkan SNI 1726-2019 dengan metode Respon Spektrum, dan dianalisis dengan menggunakan program SAP2000 v.22.0.0. Faktor-faktor yang diperhitungkan dalam pembebanan adalah beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Beban yang bekerja pada pondasi diasumsikan sebagai beban titik (P). Beban titik yang bekerja pada pondasi tiang pancang merupakan beban dari atap, pelat lantai dan balok yang kemudian disalurkan ke kolom lalu ke pondasi.



Gambar 4.8 Model 3D Gedung Damkar Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

Analisis struktur dilakukan untuk memperoleh gaya-gaya dalam elemen struktur dengan memperhitungkan beban-beban sebagai berikut :

1. Beban Angin (W)
 - Beban angin tekan
 - Beban angin hisap
2. Beban gempa (E)
 - Beban gempa sumbu X bangunan
 - Beban gempa sumbu Y bangunan

3. Beban Mati (*DL*)

- Beban ceiling/ plafon
- Beban M/E dan Plumbing
- Beban dinding bata merah
- Berat sendiri komponen struktur

4. Beban hidup (*LL*)

Beban yang bekerja pada lantai bangunan berdasarkan fungsi dari bangunan tersebut.

4.2.1 Perhitungan Struktur Atas

Balok induk dan balok anak dianalisis dalam model 3 dimensi untuk mempertimbangkan beban vertikal maupun beban lateral (termasuk beban gempa) menggunakan program SAP2000. Untuk penulangan lentur, digunakan fitur *Concrete Design* dalam SAP2000, yang memperhitungkan faktor reduksi kekuatan serta kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2019. Program ini secara otomatis mengolah gaya-gaya dalam elemen struktur untuk menentukan kebutuhan luas tulangan lentur, geser, dan torsi, serta mengidentifikasi kombinasi beban yang paling dominan. Faktor reduksi kekuatan yang dimaksud adalah :

1. $\Phi_{\text{bending}} = 0,8$.
2. $\Phi_{\text{tension}} = 0,8$.
3. $\Phi_{\text{compression (Tied)}} = 0,65$.
4. $\Phi_{\text{compression(Spiral)}} = 0,7$.
5. $\Phi_{\text{shear}} = 0,6$.

4.2.2 Kombinasi Pembebanan

1. Kombinasi Pembebanan Untuk Metode Ultimit Struktur, komponen-komponen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut :

- $U = 1.4 \text{ DL}$ (4.1)

- $U = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$ (4.2)

- $U = 1.2 \text{ DL} + 1.6 \text{ R} + 1 \text{ L}$ (4.3)

- $U = 1.2 \text{ DL} + 1 \text{ W} + 1 \text{ LL} + 0.5 \text{ R}$ (4.4)

- $U = 1.2 DL + 1 E + 1 L$ (4.5)

- $U = 0.9 D + 1 W$ (4.6)

- $U = 0.9 DL + 1 E$ (4.7)

2. Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik (SNI 1726 : 2019) Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Pengaruh beban seismik yang paling menentukan harus ditinjau sebagai berikut :

- $U = 1,2 D + EV + EH + L$ (4.8)

- $U = 0,9 D - EV + EH$ (4.9)

Pengaruh beban gempa (E) ditentukan sebagai berikut :

Pengaruh beban gempa horizontal (Eh) harus ditentukan sebagai berikut :

- $Eh = \rho QE$ (4.10)

Dimana :

QE = Pengaruh gaya gempa horizontal V atau FP

ρ = Faktor redundansi

Faktor redundansi harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah orthogonal untuk semua struktur. Nilai ρ diijinkan sama dengan 1,0 untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik B atau C. Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E atau F. ρ harus sama dengan 1,3.

Pengaruh beban gempa vertikal EV, harus ditentukan sebagai berikut :

- $EV = 0,2 SDS . D$ (4.11)

SDS = Parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

D = Pengaruh beban mati

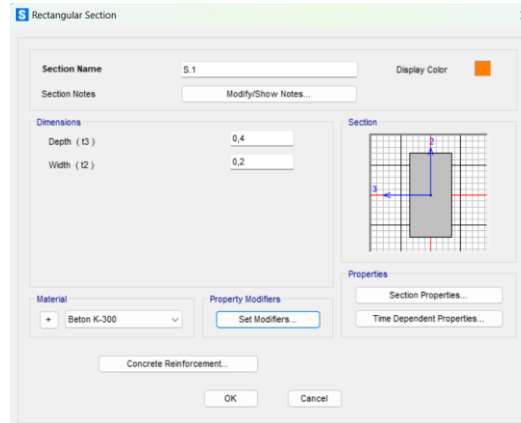
4.2.3 Pemodelan Struktur

1. Pendefinisian Penampang Beton Bertulang

Pendefinisian penampang struktur pada *software* SAP 2000 dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Untuk penampang komponen struktur *Sloof* (S.1) menggunakan dimensi panjang dikali lebar 200 x 400 mm.

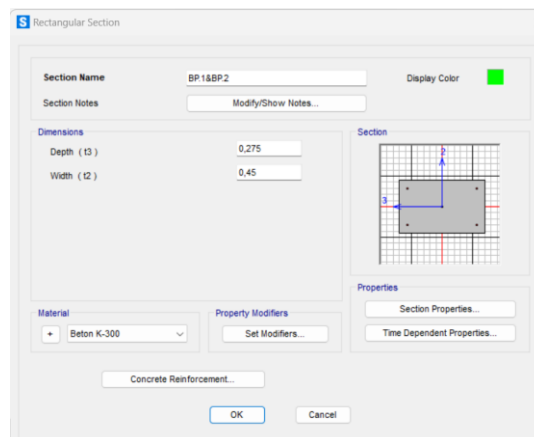
Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property > Concrete > Rectangular



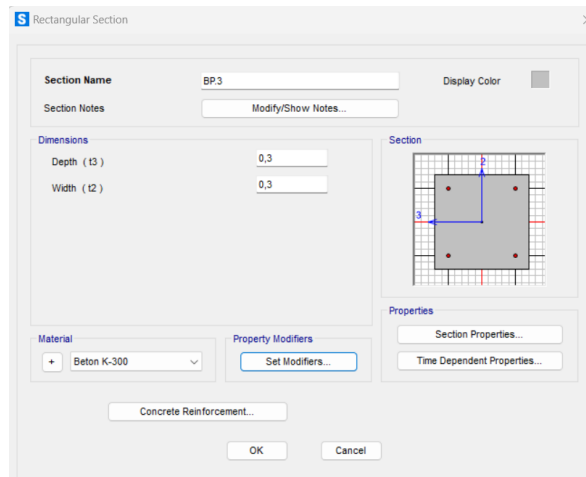
Gambar 4.9 Kotak *Define Sloof* (S.1) 200 x 400 mm

Untuk penampang komponen struktur Kolom Pedestal 1 (BP.1 dan BP.2) menggunakan dimensi panjang dikali lebar 275 x 450 mm dan Kolom Pedestal 2 (BP.3) menggunakan dimensi panjang dikali lebar 300 x 300 mm.

Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property > Concrete > Rectangular



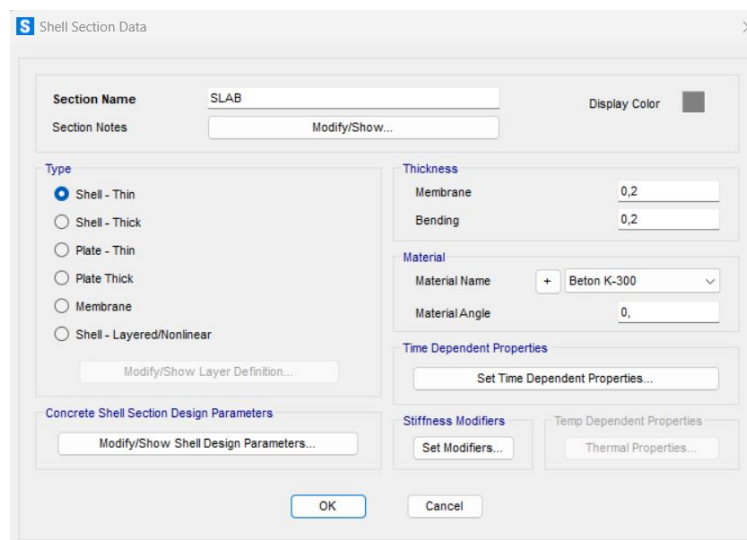
Gambar 4.10 Kotak *Define Kolom Pedestal* (BP. 1 dan BP. 2) 275 x 400 mm



Gambar 4.11 Kotak *Define* Kolom Pedestal (BP. 3) 300 x 300 mm

Untuk penampang komponen struktur Pelat lantai tempat parkir kendaraan pemadam kebakaran menggunakan dimensi ketebalan pelat 200 mm.

Define > Section Properties > Area Sections > Add New Section

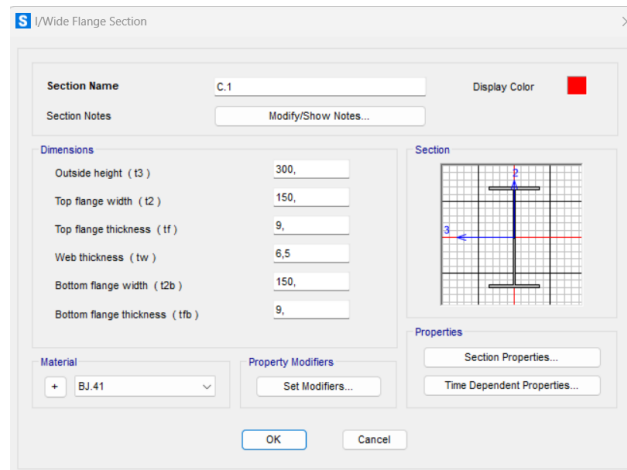


Gambar 4.12 Kotak *Define* Penampang Pelat Lantai Parkir 200 mm

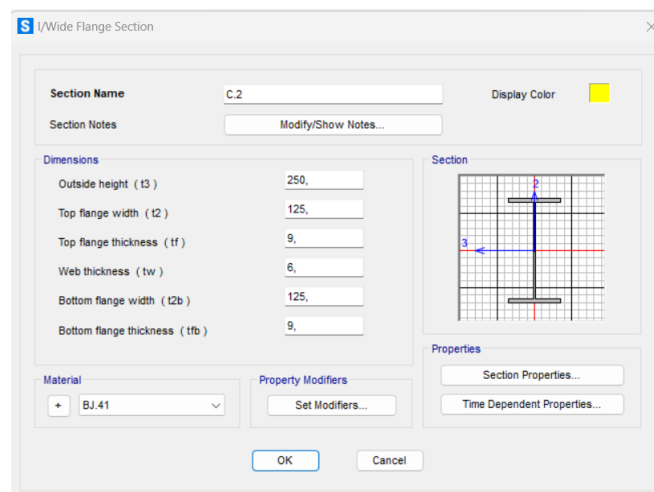
2. Pendefinisian Penampang Baja

Untuk penampang komponen struktur kolom baja WF (C.1) menggunakan IWF 300.150.9.6,5, (C.2) menggunakan IWF 250.125.9.6 dan (H.1) menggunakan HB 200.200.12.8 mm.

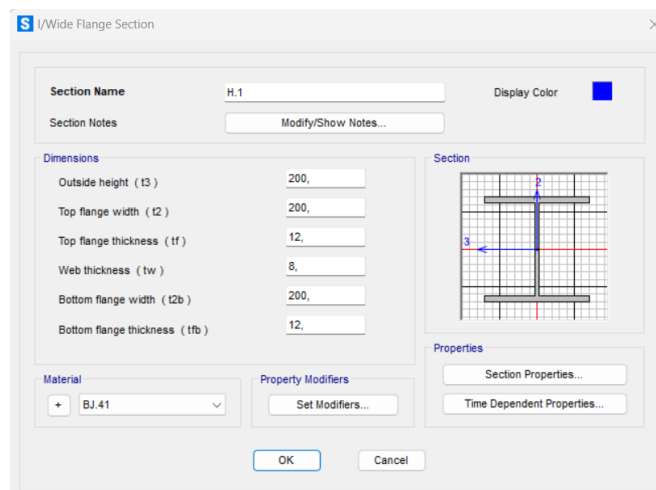
Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property > Steel > I/ Wide Flange



Gambar 4.13 Kotak *Define* Kolom Baja WF 300.150.9.6,5 mm (C.1)



Gambar 4.14 Kotak *Define* Kolom Baja WF 250.125.9.6 mm (C.2)

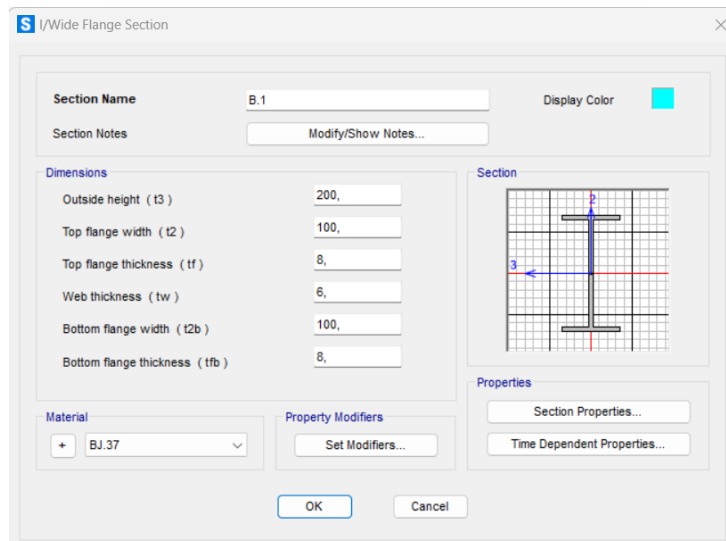


Gambar 4.15 Kotak *Define* Kolom Baja HB 200.200.12.8 mm (H.1)

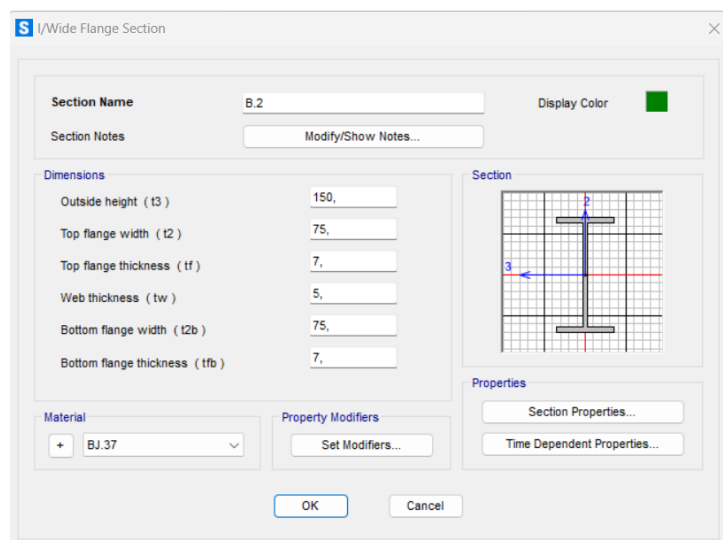
Untuk penampang komponen struktur balok baja WF (B.1) menggunakan IWF 200.100.8.6, (B.2) menggunakan IWF 150.75.7.5, (B.C) menggunakan

profil L 90.90.13 mm dan untuk gording (CN.1) menggunakan profil Channel 125.50.20.3 mm.

Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property > Steel > I/ Wide Flange



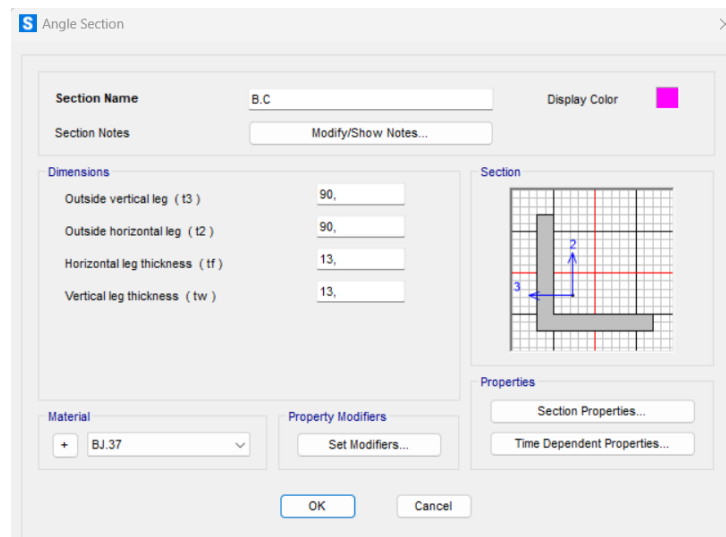
Gambar 4.16 Kotak *Define* Balok Baja IWF 200.100.8.6 mm (B.1)



Gambar 4.17 Kotak *Define* Balok Baja IWF 150.75.7.5 mm (B.2)

Untuk baja dengan penampang profil siku, pengisiannya dapat dilakukan dengan cara :

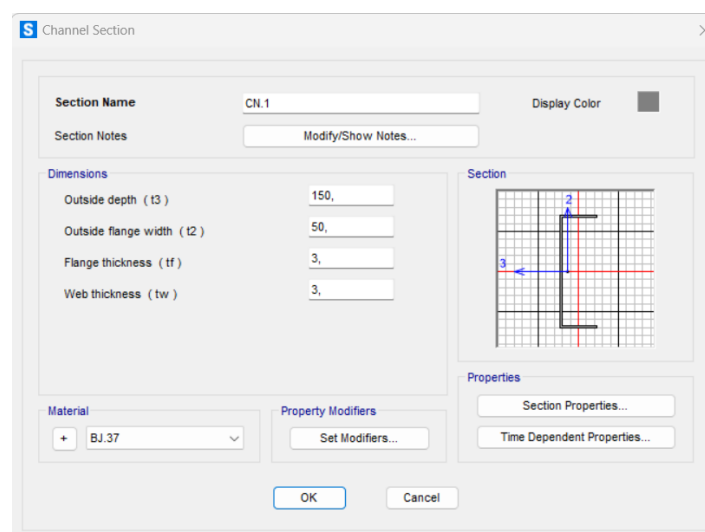
Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property > Steel > Angle



Gambar 4.18 Kotak *Define* Balok Baja L 90.90.13 mm (B.C)

Untuk baja dengan penampang profil “C”, pengisiannya dapat dilakukan dengan cara :

Define > Section Properties > Frame Sections > Add New Property > Steel > Channel

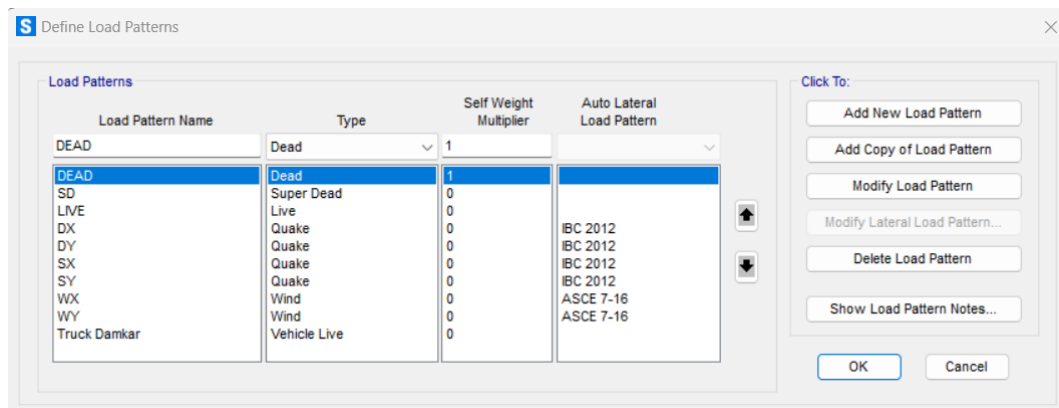


Gambar 4.19 Kotak *Define* Gording Channel Baja 125.50.20.3 mm (CN.1)

4.2.4 Pendefinisian Beban

Menentukan jenis beban yang bekerja, terdiri dari beban Mati, beban Mati Tambahan (SD), beban Hidup, beban Angin, beban Gempa dan beban Kendaraan pemadam kebakaran yang akan diparkirkan di dalam bangunan, pendefinisian beban dapat dilakukan sebagai berikut :

Define > Load Patterns



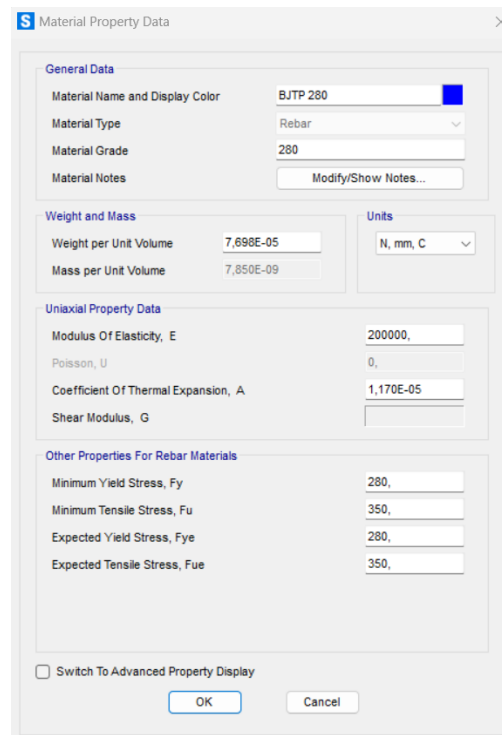
Gambar 4.20 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Beban Struktur

4.2.5 Pendefinisian Material

Pada tahap ini dilaksanakan penginputan karakteristik dari suatu bahan material yang digunakan sebagai komponen struktur bangunan yang ditinjau, terdiri dari material baja, beton beserta tulangnya.

Untuk material baja tulangan dapat dilakukan pendefinisian sebagai berikut :

Define > Materials > Add New Material > Material Type : Rebar



Gambar 4.21 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja Tulangan Polos (BJTP 280)

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: BJTS 420

Material Type: Rebar

Material Grade: 420

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,698E-05

Mass per Unit Volume: 7,850E-09

Units

N, mm, C

Uniaxial Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 200000

Poisson, U: 0

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G:

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 420

Minimum Tensile Stress, Fu: 525

Expected Yield Stress, Fye: 420

Expected Tensile Stress, Fue: 525

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Gambar 4.22 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja Tulangan Sirip (BJTS 420)

Untuk material beton dapat dilakukan pendefinisian sebagai berikut :

Define > Materials > Add New Material > Material Type : Concrete

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Beton K-300

Material Type: Concrete

Material Grade: F'c 26,40 MPa

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,354E-05

Mass per Unit Volume: 2,400E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 24149,04

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9,900E-06

Shear Modulus, G: 10062,1

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 26,4

Expected Concrete Compressive Strength: 26,4

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Gambar 4.23 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Beton K-300

Untuk material baja berat dapat dilakukan pendefinisian sebagai berikut :

Define > Materials > Add New Material > Material Type : Steel

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: BJ.37

Material Type: Steel

Material Grade: BJ.37

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,698E-05

Mass per Unit Volume: 7,850E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 200000,

Poisson, U: 0,3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 76923,08

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 240,

Minimum Tensile Stress, Fu: 370,

Expected Yield Stress, Fye: 240,

Expected Tensile Stress, Fue: 370,

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Gambar 4.24 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja BJ-37

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: BJ.41

Material Type: Steel

Material Grade: BJ.41

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,698E-05

Mass per Unit Volume: 7,850E-09

Units

N, mm, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 200000,

Poisson, U: 0,3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 76923,08

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 250,

Minimum Tensile Stress, Fu: 410,

Expected Yield Stress, Fye: 250,

Expected Tensile Stress, Fue: 410,

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Gambar 4.25 Tampilan Pengisian Data Pendefinisian Material Baja BJ-41

4.2.6 Penetapan Pendefinisian Pada Model Struktur

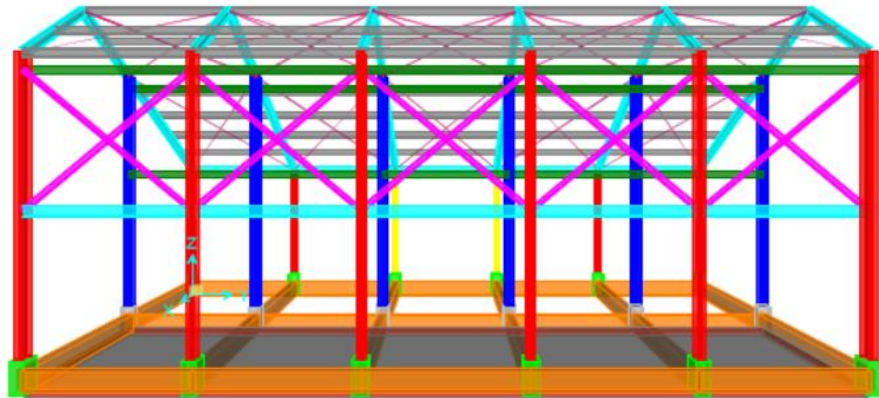
Penggambaran elemen struktur yang sudah didefinisikan sebelumnya dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Untuk penggambaran elemen struktur rangka batang dilakukan sebagai berikut :

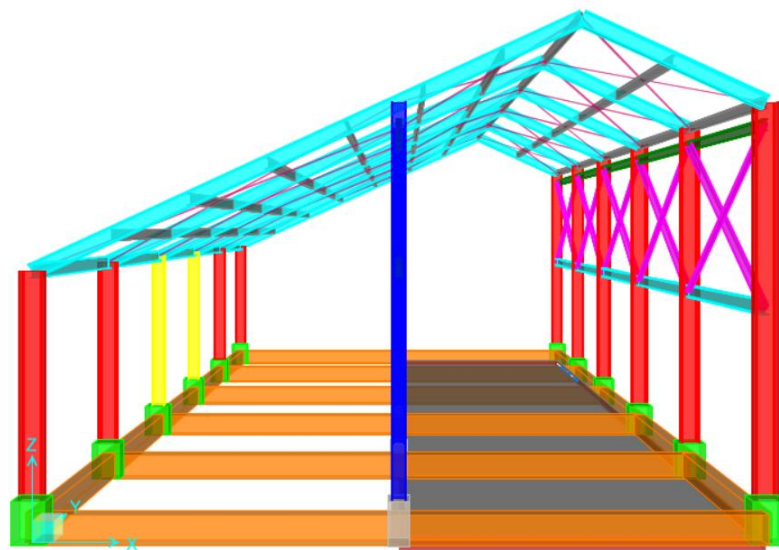
Draw > Draw Frame/ Cable/ Tendon

2. Untuk penggambaran elemen struktur bidang/pelat dilakukan sebagai berikut :

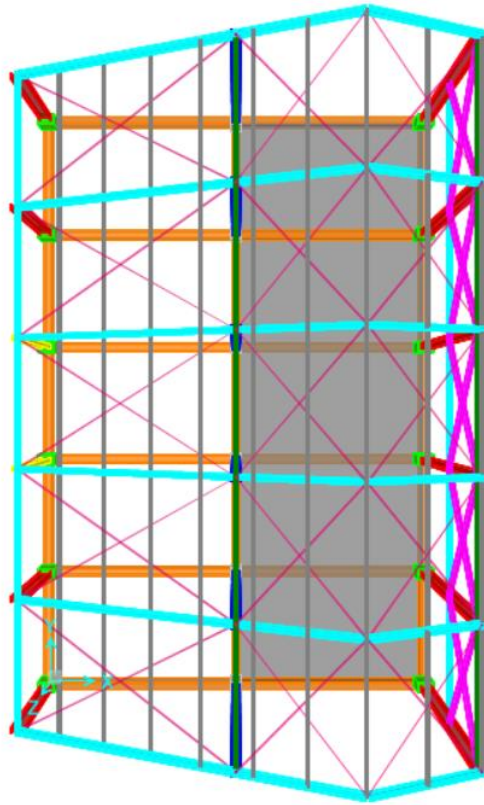
Draw > Draw Poly Area



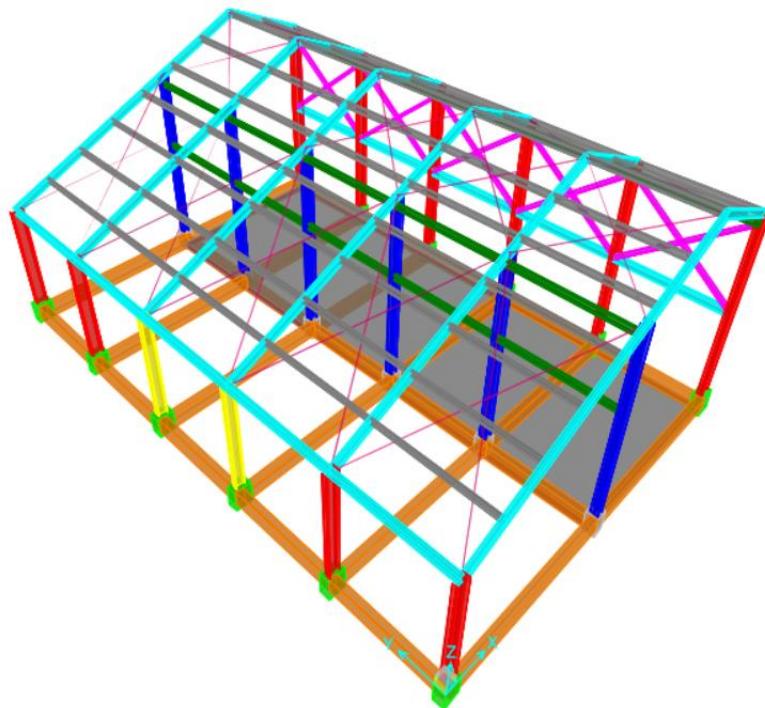
Gambar 4.26 Tampilan Sumbu Y – Z Rangka Struktur



Gambar 4.27 Tampilan Sumbu X – Z Rangka Struktur



Gambar 4.28 Tampilan Sumbu X – Y Rangka Struktur



Gambar 4.29 Perspektif 3D Tampak Samping Bangunan

4.2.7 Perhitungan Pembebanan

1. Perhitungan Pembebanan Struktur Rangka Kuda-Kuda Baja (*Rafter*)

Pembebanan pada rangka kuda-kuda (*rafter*) bangunan yang bekerja adalah sebagai berikut :

Berat sendiri komponen struktur rangka kuda-kuda (*rafter*).

Dimana berat komponen tersebut sudah diperhitungkan secara otomatis pada saat penginputan pemodelan struktur pada software SAP 2000.

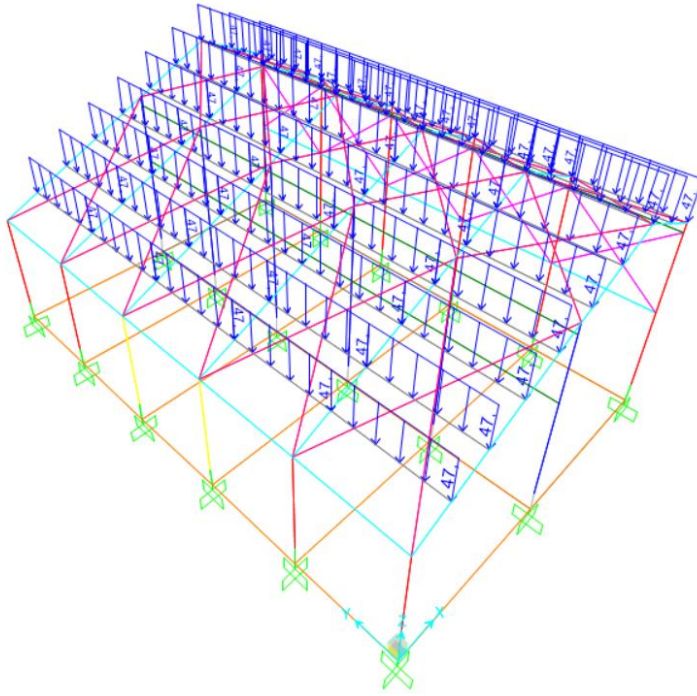
- Beban mati tambahan pada komponen struktur rangka kuda-kuda *rafter* (SD)
 - a. Berat plafond dan penggantung $= 18,00 \text{ Kg/m}^2$
 - b. Berat instalasi Mekanikal dan Elektrikal (ME) $= 15,00 \text{ Kg/m}^2$
 - c. Beban air hujan pada atap $= 10,00 \text{ Kg/m}^2$
 - d. Berat penutup atap (Zincalume) $= 4,00 \text{ Kg/m}^2$ +
 - Total berat mati tambahan (SD) $= 47,00 \text{ Kg/m}^2$

Beban mati tambahan (SD) ditempatkan terbagi rata sepanjang bentang gording, pendefinisian bebannya dapat dilakukan sebagai berikut :

Assign > Frame Loads > Distributed > Load Pattern : SD

The screenshot shows the 'Assign Frame Distributed Loads' dialog box. In the 'General' section, 'Load Pattern' is set to 'SD', 'Coordinate System' is 'GLOBAL', 'Load Direction' is 'Gravity', and 'Load Type' is 'Force'. In the 'Options' section, 'Replace Existing Loads' is selected. The 'Uniform Load' section shows a value of '47' kgf/m. The 'Trapezoidal Loads' section is empty, with 'Relative Distance from End-I' selected. Buttons for 'Reset Form to Default Values', 'OK', 'Close', and 'Apply' are at the bottom.

Gambar 4.30 Pendefinisian Beban Mati Tambahan (SD)



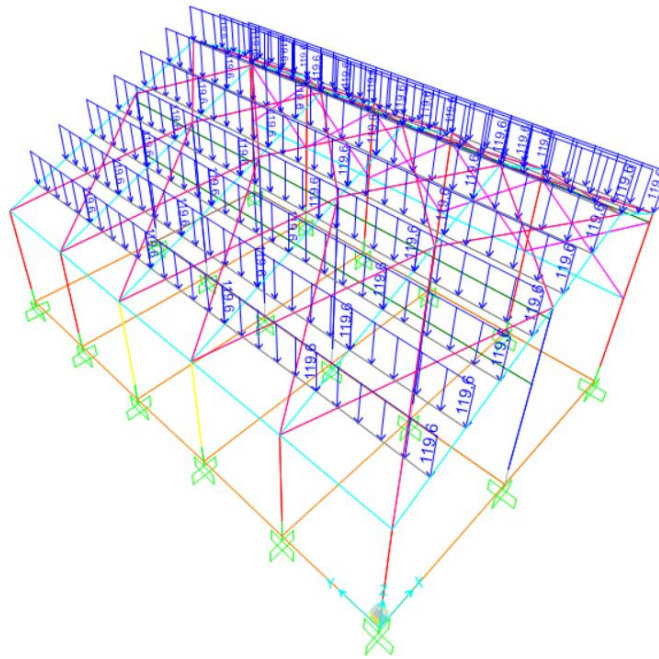
Gambar 4.31 Input Pembebanan Mati Tambahan (SD) Pada Rangka Atap

- Beban hidup pada komponen struktur rangka kuda-kuda *rafter* (L)
 - a. Beban orang dan perlengkapan $= 100,00 \text{ Kg/m}^2$
 - b. Beban air hujan $= 19,60 \text{ Kg/m}^2$ +
 - Total beban hidup (L) $= 119,60 \text{ Kg/m}^2$

Beban Hidup (*LIVE*) ditempatkan terbagi rata sepanjang bentang gording, pendefinisian bebannya dapat dilakukan sebagai berikut :

Assign > Frame Loads > Distributed > Load Pattern : LIVE

Gambar 4.32 Pendefinisian Beban Hidup (*LIVE*)



Gambar 4.33 Input Pembebanan Hidup (L) Pada Rangka Atap

2. Perhitungan Pembebanan Dinding

- Beban mati pada struktur

1. Berat sendiri elemen struktur dinding bata setinggi 3,00 meter di atas struktur sloof sebelah kanan bangunan:

$$3,00 \text{ m} \times 250 \text{ Kg/m}^2 = 750,00 \text{ Kg/m}^2$$

2. Berat sendiri elemen struktur dinding bata setinggi 5,30 meter di atas struktur sloof sekat tengah bangunan:

$$5,30 \text{ m} \times 250 \text{ Kg/m}^2 = 1325,00 \text{ Kg/m}^2$$

3. Berat sendiri elemen struktur dinding bata setinggi 2,50 meter di atas struktur sloof sekat tengah bangunan:

$$2,50 \text{ m} \times 250 \text{ Kg/m}^2 = 625,00 \text{ Kg/m}^2$$

Beban Mati tambahan (SD) ditempatkan terbagi rata sepanjang bentang sloof, pendefinisian bebannya dapat dilakukan sebagai berikut :

Assign > Frame Loads > Distributed > Load Pattern : SD

S Assign Frame Distributed Loads

General

Load Pattern: SD

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Type: Force

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Uniform Load

750 kgf/m

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Relative Distance	0	0,25	0,75	1
Loads	0	0	0	0

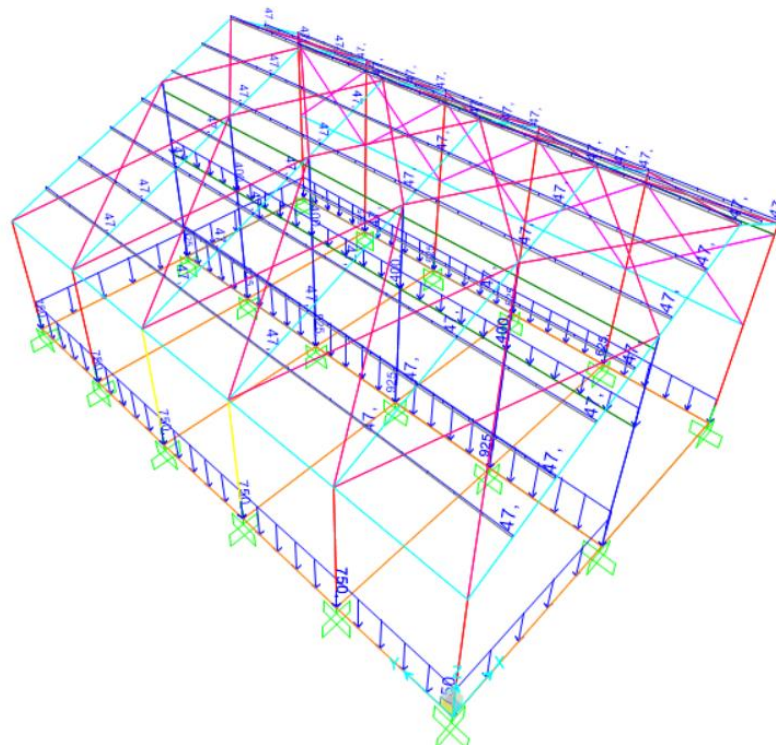
kgf/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Gambar 4.34 Input Pembebanan Mati Tambahan (SD) Dinding Di Atas Sloof



Gambar 4.35 Pembebanan Dinding Di Atas Sloof dan Balok

3. Perhitungan Pembebanan Kendaraan

Pada bangunan fasilitas pemadam kebakaran ini terdapat area parkir yang dikhususkan untuk penyimpanan kendaraan mobil pemadam kebakaran. Maka pembebanannya perlu diperhitungkan dan diinput pula ke dalam sistem pembebanan struktur bangunan yang sudah direncanakan.

Spesifikasi kendaraan yang diperhitungkan untuk pembebanan pada area parkir kendaraan pemadam kebakaran ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.36 Jenis Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran
Sumber : FUSO FN 517 ML2 SUPER LONG - Dealer Mitsubishi, 2024

Uraian spesifikasi singkat kendaraan mobil pemadam kebakaran :

Fire Truck Water Tender JA 10.000 W

1. *Chassis* :

Standar chassis = *Single cabin*

Merek/ Tipe = FN 517 ML2

Dimensi :

Jarak sumbu roda = 7190 mm

Panjang keseluruhan = 11135 mm

Lebar keseluruhan = 2425 mm

Tinggi keseluruhan = 2740 mm

Jarak roda depan kiri kanan = 1885 mm

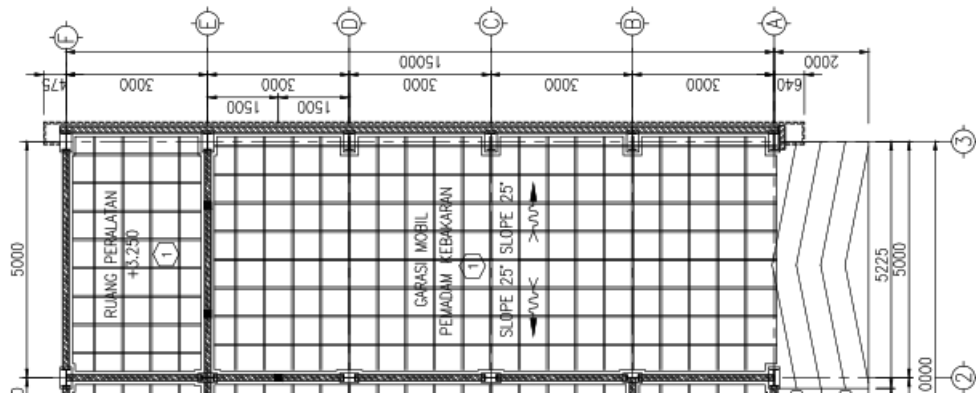
Jarak roda belakang kiri kanan = 1815 mm

Spesifikasi teknis :

GVW = 21000 Kgs

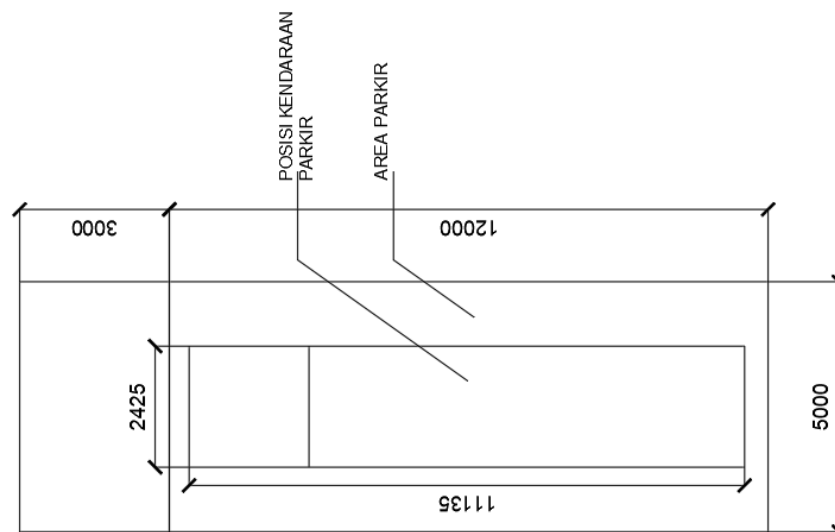
Drive = 6 X 2

Denah dan area pembebanan untuk kendaraan mobil pemadam kebakaran adalah sebagai berikut :



Gambar 4.37 Denah Area Parkir Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran

Lebar tempat parkir kendaraan mobil pemadam kebakaran yang ada adalah sebesar 5,00 m dari as ujung satu ke as ujung sebelahnya. Posisi parkir kendaraan mobil pemadam kebakaran tepat di tengah area parkir tersebut.



Gambar 4.38 Ilustrasi Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran Parkir

Pembebanan dari satu kendaraan tersebut digambarkan dalam *software* SAP 2000 sebagai beban lajur kendaraan. Penginputan bebannya dapat digambarkan sebagai berikut :

Define > Moving Loads > Paths > Add New Path Defined From Frames

Jadi untuk penempatan beban lajur kendaraannya ditentukan pengambilan posisinya dari frame samping ke arah tengah area parkir kendaraan. Untuk penempatan lajur dari frame 243 dan 248 adalah sebagai berikut :

The screenshot shows the 'Path Data' dialog box for a path named 'Lajur_1Kanan'. The 'Display Color' is set to yellow. The table below shows the data for frame 243:

Frame	Centerline Offset
243	1,5575

Buttons for 'Add', 'Insert', 'Modify', and 'Delete' are available. Below the table are buttons for 'Reverse Order', 'Reverse Sign', and 'Move Path...'. The 'Discretization' section shows 'Maximum Discretization Length' as 3, and a checked option for 'Discretization Length Not Greater Than 1/ 10, of Path Length'. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

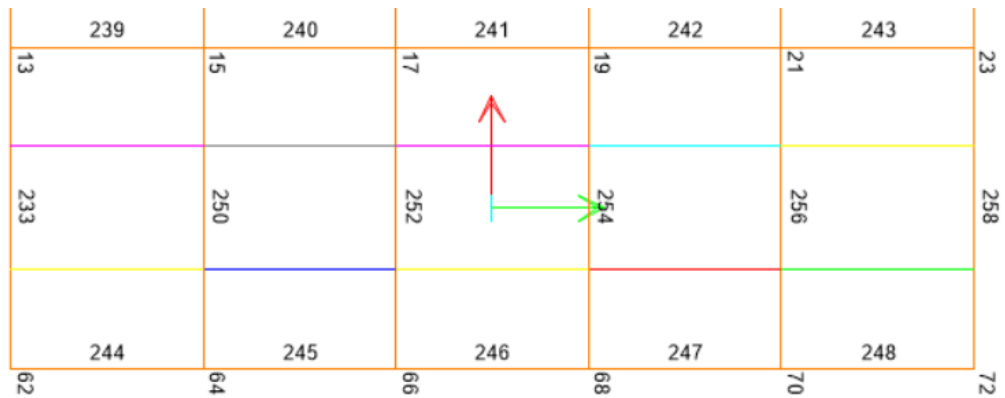
Gambar 4.39 Penempatan Lajur Yang Diambil Dari Frame 243

The screenshot shows the 'Path Data' dialog box for a path named 'Lajur_1Kiri'. The 'Display Color' is set to green. The table below shows the data for frame 248:

Frame	Centerline Offset
248	-1,5575

Buttons for 'Add', 'Insert', 'Modify', and 'Delete' are available. Below the table are buttons for 'Reverse Order', 'Reverse Sign', and 'Move Path...'. The 'Discretization' section shows 'Maximum Discretization Length' as 3, and a checked option for 'Discretization Length Not Greater Than 1/ 10, of Path Length'. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Gambar 4.40 Penempatan Lajur Yang Diambil Dari Frame 248



Gambar 4.41 Penempatan Posisi Beban Lajur dari Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran

Dari penginputan sebelumnya, maka didapatlah spasi sebesar jarak roda kiri dan kanan kendaraan mobil pemadam kebakaran sebesar $= 5,00 - 1,5575 - 1,5575 = 1,885$ m, yang nantinya lajur yang sudah ditempatkan akan dimasukan pembebanan kendaraan.

Setelah garis roda untuk beban kendaraan mobil pemadam kebakaran sudah ditentukan, maka dilanjut dengan penginputan beban kendaraan berdasarkan posisi as roda kendaraannya. Pembebanannya dapat dilakukan dengan penginputan sebagai berikut :

Define > Moving Loads > Vehicles > Add Vehicle

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Axle Load
Fixed Length	1,	0,	2625,	
Fixed Length	1,	0,	2625,	
Fixed Length	7,19	0,	6825,	

Gambar 4.42 Penginputan Beban Kendaraan Berdasarkan As Roda Kendaraan

Dari Gambar 4.42 dapat disimpulkan keterangan sebagai berikut :

- *Vehicle Name* = Truck Damkar (Pemadam kebakaran)
- *Load length type* = *Fixed length* (Panjang beban tetap)
- *Minimum distance* (roda depan) = 1,00 m
- *Minimum distance* (roda belakang) = 7,19 m (Jarak roda depan ke roda belakang)

Untuk beban gandar penentuannya adalah 25 % dari *GVW* kendaraan untuk gandar roda depan dan 75 % dari *GVW* Kendaraan untuk gandar roda belakang, dan dibagi dua lajur kanan dan kiri.

- Axle load (Beban gandar) = 2625 Kg (Roda depan)
- Axle load (Beban gandar) = 6825 Kg (Roda belakang)

Setelah beban gandar sudah terinput, maka selanjutnya dilakukan penginputan pola beban kendaraan yang nantinya akan dikombinasikan dengan jenis pembebanan yang lainnya.

Define > Load Patterns > Modify Vehicle Live Load

Vehicle	Path	Start Dist	Start Time	Direction	Speed	Location
Truck Damkar	Lajur_1Kanan	0,	0,	Forward	1,	
Truck Damkar	Lajur_1Kiri	0,	0,	Forward	1,	
Truck Damkar	Lajur1_Kanan	0,	0,	Forward	1,	
Truck Damkar	Lajur1_Kiri	0,	0,	Forward	1,	
Truck Damkar	Lajur1_Kanan	0,	0,	Forward	1,	
Truck Damkar	Lajur1_Kiri.c	0,	0,	Forward	1,	
Truck Damkar	Lajur1_Kanan.D	0,	0,	Forward	1,	

Note: Vehicles that are defined using a uniform load will not be included in the program generated multi-step load case. Click this note to see a list of vehicles defined using uniform loads.

Load Pattern Discretization Information
 Duration of Loading is 1 seconds
 Discretize Load every 0.1 seconds

Units
 Kgf, m, C

OK Cancel

Gambar 4.43 Penginputan Pola Beban Kendaraan Mobil Pemadam Kebakaran

Dari Gambar 4.43 dapat disimpulkan keterangan sebagai berikut :

- *Vehicle* (Kendaraan) = Truck Damkar (Gambar 4.36)
- *Path* (Jalur) = Lajur_1 Kanan (Gambar 4.37 dan Gambar 4.38)

- *Direction* (Arah) = Forward (Maju)
- *Speed* (Kecepatan) = 1 (Diambil angka terkecil, karena dianggap truck diam atau berhenti).

4. Perhitungan Pembebanan Angin

Pada kasus penganalisaan beban angin yang bekerja di bangunan ini, perlu diperhatikan acuan-acuan pembebanan yang berada dalam SNI 1727 : 2020. Di kasus ini, bangunan satu lantai yang diperuntukan sebagai kantor pemadam kebakaran berada di wilayah kecamatan Banawa, kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah merupakan kriteria bangunan yang termasuk dalam jenis bangunan sebagai penahan gaya angin utama (SPGAU) berdasarkan Tabel 26. 6-1 SNI 1727 : 2020.

- Mendefinisikan beban angin

Beban angin yang digunakan pada desain SPGAU untuk bangunan tertutup atau tertutup sebagian tidak boleh lebih kecil dari 16 lb/ft (0,77 kN/m²) dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan 8 lb/ft (0,38 kN/m²) dikalikan dengan luas bangunan atap terproyeksi ke bidang vertikal tegak lurus terhadap angin yang diasumsikan.

Beban angina 0,77 kN/m² – 0,8 kN/m² atau = 81,58 Kg/m² Kecepatan angin = $\sqrt{(beban\ angin \times 16)} = 36,13\ m/det = 80,82\ mph = 130,06\ km/h$.

- Penentuan arah angin (Kd)

Menyesuaikan dengan bentuk bangunan yang tidak seluruh bagian permukaannya ditutupi oleh dinding, maka faktor arah angin (Kd) memperhatikan ketentuan yang tertulis pada Tabel 26. 6-1 SNI 1727 : 2020. Maka bangunan satu lantai yang dipergunakan untuk kantor pemadam kebakaran ini termasuk pada ketentuan sistem penahan gaya angin utama (SPGAU), Kd = 0,85.

Tipe struktur	Faktor arah angin K_d
Bangunan gedung	
Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap lengkung	0,85
Kubah berbentuk bundar	1,0 ^a
Cerobong, tangki, dan struktur serupa	0,90
Persegi	0,95
Segi enam	1,0 ^a
Segi delapan	1,0 ^a
Bundar	
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap, dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka batang menara	
Segitiga, persegi, atau persegi panjang	0,85
Semua penampang lainnya	0,95

^aFaktor arah angin $K_d = 0,95$ diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris.

Gambar 4.44 Faktor Arah Angin K_d

Sumber : SNI 1727 : 2020

- Penentuan exposure angin

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur arah lawanan angin didasarkan pada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi dan fasilitas yang telah dibangun. Untuk menentukan kategori tersebut, diambil acuan berdasarkan Pasal 26.7.2 - SNI 1727 : 2020.

Dimana dari beberapa ketentuan yang ada pada Pasal 26.7.2 – SNI 1727 : 2020, topografi lokasi bangunan satu lantai yang diperuntukan sebagai kantor pemadam kebakaran ini masuk pada kategori eksposur angin “B”, yaitu daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga tunggal atau lebih besar dalam jumlah banyak.

- Penentuan faktor topografi (kzt)

Melihat kondisi topografi di lingkungan bangunan yang ditinjau cenderung datar dan tidak berdiri di atas lahan berbukit, maka dapat ditentukan faktor topografi (kzt) sebesar = 1, berdasarkan ketentuan Pasal 26.8.2 – SNI 1727 : 2020.

- Penentuan faktor pengaruh hembusan angin

Faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

- Penentuan koefisien tekanan eksternal (c_p)

Tekanan eksternal dari angin dapat dibagi ke dalam beberapa pola kasus yang ditentukan dalam Gambar 28. 3-1 SNI 1727 : 2020. Dengan melihat ketinggian bangunan yang ditinjau tidak melebihi angka 18,3

m, yang telah ditentukan dalam Gambar 28. 3-1 SNI 1727 : 2020 dengan bentuk gedung tertutup dan tertutup sebagian dengan dinding dan atap rendah maka acuan tersebut dapat digunakan untuk dilakukan peninjauan.

Untuk penginputan data pembebanan angin yang sudah didefinisikan sebelumnya adalah sebagai berikut :

Define > Load Patterns > Modify Lateral Load Pattern

ASCE 7-16 Wind Load Pattern

Exposure and Pressure Coefficients

☐ Exposure from Extents of Rigid Diaphragms

☒ Exposure from Frame and Area Objects

☒ Include Area Objects

☐ Include Frame Objects (Open Structure)

Wind Exposure Parameters

Wind Direction Angle

Windward Coeff, Cp

Leeward Coeff, Cp

Case (ASCE 7-16 Fig. 27.3-8)

e1 Ratio (ASCE 7-16 Fig. 27.3-8)

e2 Ratio (ASCE 7-16 Fig. 27.3-8)

Modify/Show Exposure Widths...

Wind Coefficients

Wind Speed (mph) 80.82

Exposure Type B

Topographical Factor, Kzt 1

Gust Factor 1

Directionality Factor, Kd 0.85

Solid / Gross Area Ratio

Exposure Height

☒ Program Calculated

☐ User Specified

Reset Defaults

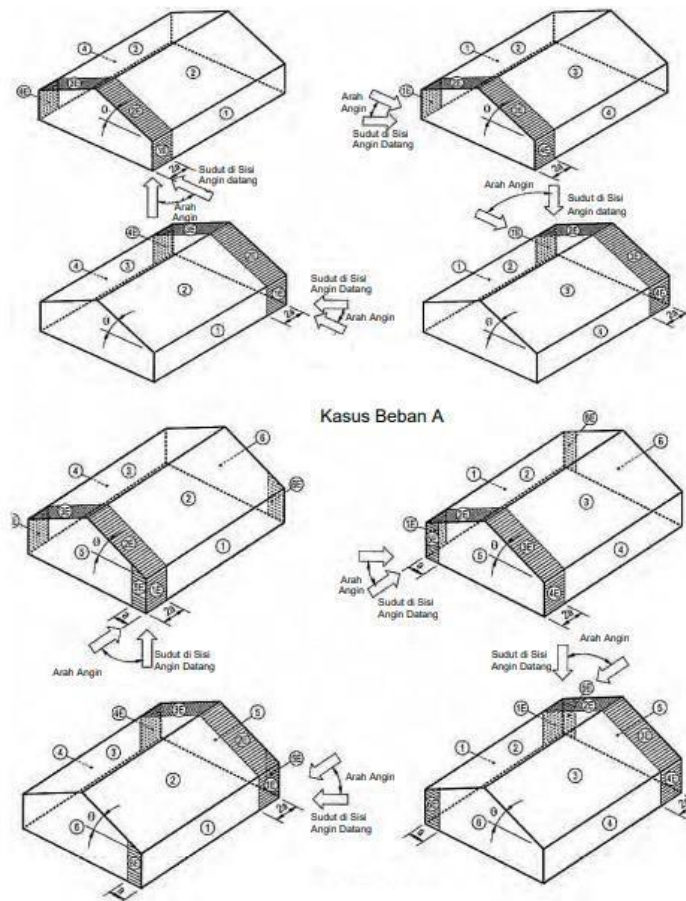
Maximum Global Z

Minimum Global Z

OK

Cancel

Gambar 4.45 Input Pola Pembebanan Angin Pada Bangunan



Gambar 4.46 Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 [$h \leq 60$ ft. ($h \leq 18,3$ m)]: Koefisien Tekanan Eksternal, (GC_{pf}), Bangunan Gedung Tertutup dan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap Bertingkat Rendah
Sumber : SNI 1727 : 2020

KASUS BEBAN A								
Sudut atap θ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung							
	1	2	3	4	1E	2E	3E	4E
0-5	0,40	-0,69	-0,37	-0,29	0,61	-1,07	-0,53	-0,43
20	0,53	-0,69	-0,48	-0,43	0,80	-1,07	-0,69	-0,64
30-45	0,56	0,21	-0,43	-0,37	0,69	0,27	-0,53	-0,48
90	0,56	0,56	-0,37	-0,37	0,69	0,69	-0,48	-0,48

KASUS BEBAN B												
Sudut Atap θ (derajat)	Permukaan Bangunan Gedung											
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E	5E	6E
0-90	-0,45	-0,69	-0,37	-0,45	0,40	-0,29	-0,48	-1,07	-0,53	-0,48	0,61	-0,43

Gambar 4. 47 (Lanjutan) Sistem Penahan Gaya Angin Utama, Bagian 1 [$h \leq 60$ ft. ($h \leq 18,3$ m)]: Koefisien Tekanan Eksternal, (GC_{pf}), Bangunan Gedung Tertutup dan Tertutup Sebagian Dinding dan Atap Bertingkat Rendah
Sumber : SNI 1727 : 2020

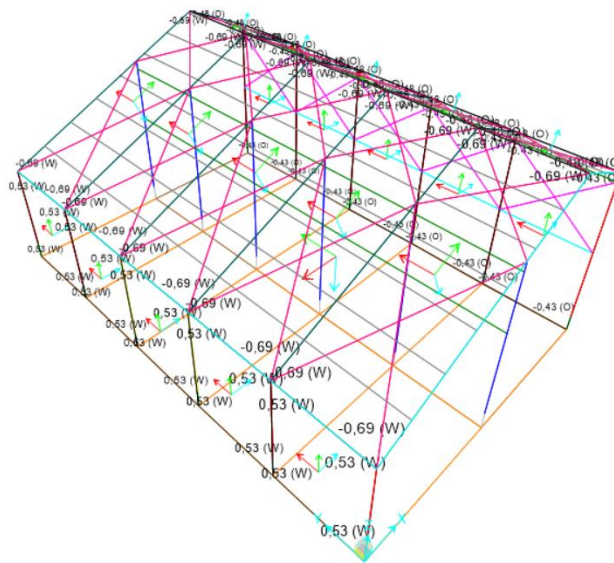
Keterangan : tanda [+] positif merupakan notasi angin tekan, sebaliknya [-] negatif adalah angin hisap.

Untuk penginputan beban angin berdasarkan pembebanan SNI 1727 : 2020 dengan memberikan koefisien beban angin yang sudah ditentukan sebelumnya adalah sebagai berikut :

- Beban angin arah X :

Assign > Area Loads > Wind Pressure Coefficients (Shell)

Gambar 4.48 Input Koefisien Pembebanan Angin Arah X Bangunan



Gambar 4.49 Input Arah dan Beban Angin Arah X

- Beban angin arah Y :

Assign > Area Loads > Wind Pressure Coefficients (Shell)

S Assign Area Wind Pressure Coefficient Loads

Load Pattern
Load Pattern: WY

Pressure Type
☒ Windward (pressure varies over height)
☐ Other (pressure constant over height)

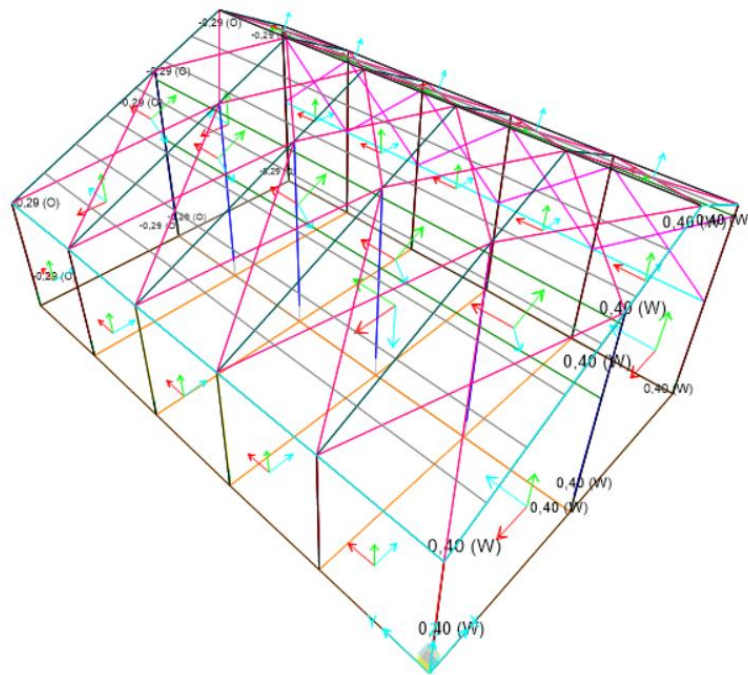
Load Value
Pressure Coefficient, C_p : 0,40

Options
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Reset Form to Default Values

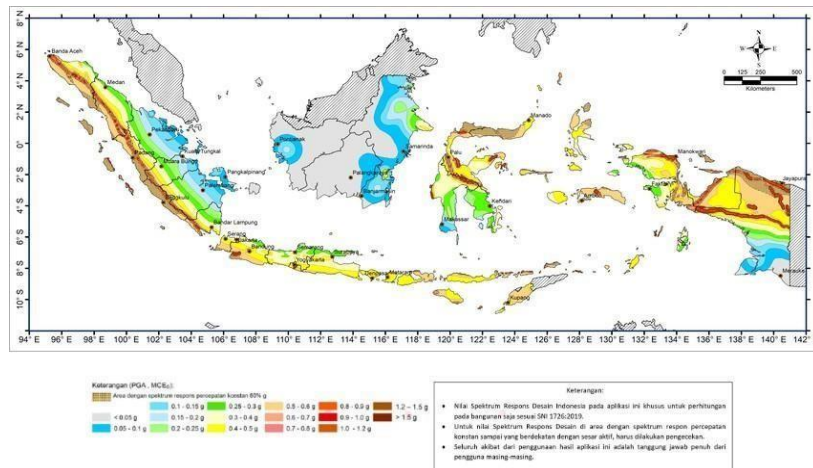
OK Close Apply

Gambar 4.50 Input Koefisien Pembebanan Angin Arah Y Bangunan



Gambar 4.51 Input Arah dan Beban Angin Arah Y

5. Perhitungan Pembebanan Gempa (SNI 1726 : 2019)



PGA MCEG	0.5684
(g) bedrock	
SS MCEr	1.4775
(g) bedrock	
S1 MCEr	0.5557
(g) bedrock	
TL	6
Detik	

Gambar 4.53 Nilai Spektral Percepatan Di Permukaan Dari Gempa Risk-Targeted Maximum Consider Earthquake Dengan Probabilitas Keruntuhan Bangunan 1 % dalam 50 Tahun.

Data singkat seismik :

- Lokasi bangunan = Kabonga Kecil, Kec. Banawa, Kabupaten Donggala
- Kelas situs = D (Tanah Sedang)
- Jenis bangunan = Rumah Tinggal

Tabel 4.1 Jenis Pemanfaatan dan Kategori Risiko Bangunan Gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Sumber : SNI 1726 : 2019

Tabel 4.2 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I_e) Bangunan Gedung

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726 : 2019

- Kategori Risiko bangunan = IV
- Faktor Keutamaan = 1,50
- $SS = 1.4775 g$
- $S1 = 0.5557 g$
- TL (Periode transisi jangka panjang) = 6 Detik
- Faktor Respon modifikasi (R) = 8
- Faktor System Overstrength, Omega = 3
- Faktor Deflection Amplification, Cd = 5,5

1. Penentuan Beban Sementara Gempa Dinamik

Define > Function > Response Spectrum > Add New Function

Response Spectrum AASHTO 2012 Function Definition

Function Name RSA, Donggala **Function Damping Ratio** 0,05

Parameters

☐ Ss, S1 and PGA from USGS - by Lat/Long
☐ Ss, S1 and PGA from USGS - by Zip Code
☒ Ss, S1 and PGA User Specified

Site Latitude (degrees) ?
 Site Longitude (degrees) ?
 Site Zip Code (5-Digits) ?

0.2 Sec Spectral Accel, Ss 1,4775
 1 Sec Spectral Accel, S1 0,5557
 Peak Ground Accel., PGA 0,5684

Site Class D
 Site Coefficient, Fa 1,
 Site Coefficient, Fv 1,5
 Site Coefficient, Fpga 1,

Calculated Values for Response Spectrum Curve
 SDS = Fa * Ss 1,4775
 SD1 = Fv * S1 0,8336

Convert to User Defined

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,5684
0,0376	0,8714
0,0752	1,1745
0,1128	1,4775
0,5642	1,4775
0,8	1,0419
1,	0,8336
1,2	0,6946

Add
Modify
Delete

Function Graph

Display Graph (2,7247 , 0,2056)

OK Cancel

Gambar 4.54 Define Response Spectrum Functions

Tabel 4.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726 : 2019

Tabel 4.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726 : 2019

Tabel 4.5 Kategori Desain Seismik (KDS) dan Resiko Kegempaan

Tinggi Resiko Kegempaan		
Rendah	Menengah	Tinggi
KDS : A , B	KDS : C	KDS : D, E, F
SRPMB / M / K	SRPMM / K	SRPMK

Keterangan :

SRPMB : Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

SRPMM : Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

SRPMK : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sumber : SNI 1726 : 2019

Berdasarkan nilai SDS dan SD1 yang sudah ditentukan sebelumnya, melihat dari ketiga tabel kriteria di atas, dapat disimpulkan bahwa :

- KDS (Kategori Dasar Seismik) = D
- R (Faktor Reduksi Gempa) = 8
- Faktor kuat lebih, Ω = 3
- Faktor pembesaran defleksi, Cd = 5.5

2. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental struktur (T), dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (C_U) dan periode fundamental pendekatan T_a , yang sudah ditentukan dalam SNI 1726 : 2019.

Tabel 4.6 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726 : 2019

Tabel 4.7 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726 : 2019

Perhitungan periode pendekatan :

Periode Fundamental Pendekatan (T_a)

$$T_a = C_t \cdot H^x \quad (4.12)$$

$$T_a = 0,0724 \times 7,15^{0,8} = 0,349 \text{ Detik}$$

Periode Fundamental Struktur

$$T = C_u \times T_a \quad (4.13)$$

$$T = 1,4 \times 0,349 = 0,489 \text{ Detik}$$

Berdasarkan hasil analisa *SAP 2000*, periode fundamental maksimal pada struktur adalah :

a. Untuk arah x, $T_{cx} = 0,150$

b. Untuk arah y, $T_{cy} = 0,215$

Jadi dipakai periode arah x, $T_x = 0,150$

Jadi dipakai periode arah y, $T_y = 0,215$

3. Analisis Linear Dinamik

Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100 % dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

Pengecualian sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa actual dari masing-masing arah horizontal, orthogonal dari respons yang ditinjau oleh modal.

Tabel 4.8 *Modal Participating Mass Ratios*

TABLE: Modal Participating Mass Ratios															
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0,215502	1,065E-18	0,724	3,188E-20	1,065E-18	0,724	3,188E-20	0,352	3,925E-19	0,00341	0,352	3,925E-19	0,00341
MODAL	Mode	2	0,149652	1,753E-20	0,0006537	3,736E-18	1,083E-18	0,724	3,767E-18	0,0006909	7,606E-19	0,632	0,352	1,153E-18	0,635
MODAL	Mode	3	0,141767	0,686	6,534E-19	0,0003152	0,686	0,724	0,0003152	2,242E-17	0,465	2,283E-17	0,352	0,465	0,635
MODAL	Mode	4	0,090992	9,336E-17	0,007586	3,283E-15	0,686	0,732	0,0003152	0,004258	1,282E-15	0,022	0,356	0,465	0,657
MODAL	Mode	5	0,059085	0,007569	1,588E-17	0,007342	0,693	0,732	0,007658	9,957E-14	0,026	7,135E-15	0,356	0,491	0,657
MODAL	Mode	6	0,056921	2,615E-15	0,0005303	8,675E-19	0,693	0,732	0,007658	0,007558	6,357E-16	0,003471	0,364	0,491	0,66
MODAL	Mode	7	0,050648	1,562E-16	0,01	5,515E-16	0,693	0,742	0,007658	0,0001724	5,676E-17	0,0001246	0,364	0,491	0,66
MODAL	Mode	8	0,044801	0,00004531	2,54E-15	0,0006834	0,693	0,742	0,008341	2,335E-13	0,0001693	7,258E-14	0,364	0,491	0,66
MODAL	Mode	9	0,044131	1,035E-16	0,000003242	2,3E-14	0,693	0,742	0,008341	0,001627	8,354E-16	0,001417	0,366	0,491	0,662
MODAL	Mode	10	0,041435	3,762E-16	0,00001318	2,823E-14	0,693	0,742	0,008341	0,001567	1,214E-15	0,0001933	0,367	0,491	0,662
MODAL	Mode	11	0,039748	0,00001916	1,875E-17	0,000003858	0,693	0,742	0,008345	6,778E-14	0,0001659	1,095E-14	0,367	0,491	0,662
MODAL	Mode	12	0,038857	0,001735	2,944E-17	0,001591	0,695	0,742	0,009936	6,297E-14	0,0009135	2,672E-15	0,367	0,492	0,662
MODAL	Mode	13	0,038717	3,233E-16	0,000004059	1,382E-14	0,695	0,742	0,009936	0,0009325	1,838E-15	0,001551	0,368	0,492	0,663
MODAL	Mode	14	0,038448	1,25E-17	0,000003389	3,549E-16	0,695	0,742	0,009936	0,00005236	1,207E-16	0,0003229	0,368	0,492	0,664
MODAL	Mode	15	0,037644	3,853E-17	0,00005132	1,388E-14	0,695	0,743	0,009936	0,0002064	2,289E-15	0,003933	0,369	0,492	0,668

Maka case spektrum gempanya adalah sebesar :

Redaman struktur beton (dumping)

Merupakan perbandingan redaman struktur beton dengan redaman kritis = 0,05

Input response spectra

Faktor keutamaan I = 1,50 (Untuk bangunan fasilitas pemadam kebakaran)

Faktor reduksi gempa (R) = 8 (untuk daktilitas penuh)

Faktor skala gempa arah X = $(G \times I) / R = (9,81 \times 1,50) / 8 = 1,839$

Faktor skala gempa arah Y = X = 1,839

Penginputannya dapat dilakukan sebagai berikut :

Define > Load Cases > Add New Load Cases

Load Case Name: DX

Modal Combination: ☒ SRSS, ☐ CQC, ☐ Absolute, ☐ GMC, ☐ NRC 10 Percent, ☐ Double Sum

Modal Load Case: ☒ Standard - Acceleration Loading, ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RSA, Dongg	1,839

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0,05

Gambar 4.55 Response Spektrum Arah X

Load Case Name: DY

Modal Combination: ☒ SRSS, ☐ CQC, ☐ Absolute, ☐ GMC, ☐ NRC 10 Percent, ☐ Double Sum

Modal Load Case: ☒ Standard - Acceleration Loading, ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	RSA, Dongg	1,839

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0,05

Gambar 4.56 Response Spektrum Arah Y

4. Spektrum Respons Vertikal MCER

Respons spektrum vertikal dan percepatan spektral respons vertikal , $SaMv$, ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$SaMv = 0,8CvSMS(0,15/Tv)^{0,75} \quad (4.14)$$

Diketahui :

Tabel 4.8 Nilai Koefisien Vertikal CV

Parameter spektral respons MCE_R terpetakan pada periode pendek	Kelas situs A, B	Kelas situs C	Kelas situs D, E, F
$S_S \geq 2,0$	0,9	1,3	1,5
$S_S = 1,0$	0,9	1,1	1,3
$S_S = 0,6$	0,9	1,0	1,1
$S_S = 0,3$	0,8	0,8	0,9
$S_S \leq 0,2$	0,7	0,7	0,7

Sumber : SNI 1726 : 2019

Tabel 4.9 Nilai Koefisien Situs Fa

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_z					
	$S_z \leq 0,25$	$S_z = 0,5$	$S_z = 0,75$	$S_z = 1,0$	$S_z = 1,25$	$S_z \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber : SNI 1726 : 2019

Dengan cara interpolasi untuk menentukan nilai yang tepat untuk koefisien situs F_a dan F_v :

Nilai S_s yang diperoleh dari data = 1,4775 g

Tabel interpolasi untuk nilai S_s =

1,25	1,5
1,0	1

Nilai kelas situs =

1,0	1
-----	---

Maka nilai, F_a = 1,000 g

Nilai S_1 yang diperoleh dari data = 0,5557 g

Tabel interpolasi untuk nilai S_1 =

0,5	0,6
1,8	1,7

Nilai kelas situs =

1,8	1,7
-----	-----

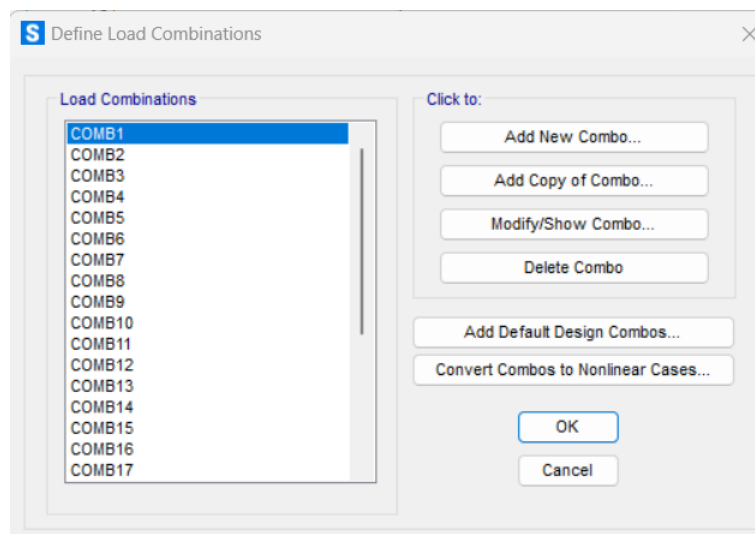
Maka nilai, F_v = 1,744 g

Tabel 4.10 Kombinasi Pembebanan Dasar dan Seismik SNI 1726 – 2019

Kombinasi		D	SD	LIVE	WX	WY	EX	EY
1	Comb.1	1,40	1,40					
2	Comb.2	1,20	1,20	1,60				
3	Comb.3	1,20	1,20	1,60	0,50			
	Comb.4	1,20	1,20		-0,50			
	Comb.5	1,20	1,20			0,50		
	Comb.6	1,20	1,20			-0,50		
	Comb.7	1,20	1,20		0,38	0,38		
	Comb.8	1,20	1,20		-0,38	-0,38		
4	Comb.9	1,20	1,20	1	1			
	Comb.10	1,20	1,20	1	-1			
	Comb.11	1,20	1,20	1		1		
	Comb.12	1,20	1,20	1		-1		
6	Comb.13	1,40	1,40	1			1,30	0,39
	Comb.14	1,40	1,40	1			1,30	-0,39
	Comb.15	1,40	1,40	1			-1,30	0,39
	Comb.16	1,40	1,40	1			-1,30	-0,39
	Comb.17	1,40	1,40	1			0,39	1,30
	Comb.18	1,40	1,40	1			-0,39	1,30
	Comb.19	1,40	1,40	1			0,39	-1,30
	Comb.20	1,40	1,40	1			-0,39	-1,30
7	Comb.21	0,70	0,70				1,30	0,39
	Comb.22	0,70	0,70				1,30	-0,39
	Comb.23	0,70	0,70				-1,30	0,39
	Comb.24	0,70	0,70				-1,30	-0,39
	Comb.25	0,70	0,70				0,39	1,30
	Comb.26	0,70	0,70				-0,39	1,30
	Comb.27	0,70	0,70				0,39	-1,30
	Comb.28	0,70	0,70				-0,39	-1,30

Untuk penginputan kombinasi pembebanan pada SAP 2000 dapat dilakukan sebagai berikut :

Define > Load Combinations > Add New Combo

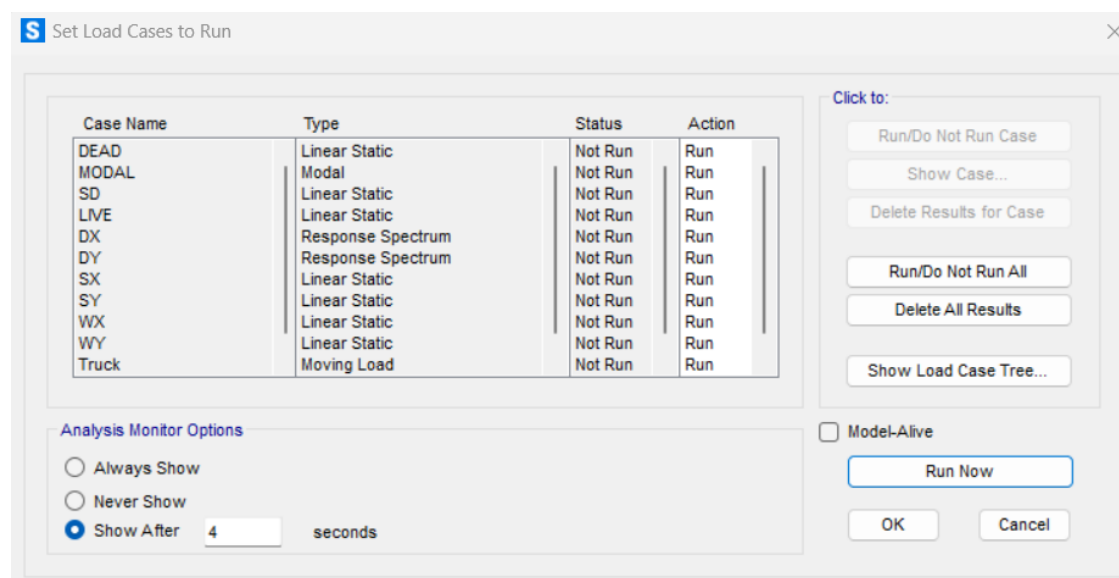


Gambar 4.57 Penginputan Kombinasi Pembebanan

5. Running hasil Analisa struktur

Running dilakukan dengan cara :

Analyze > Run Analysis

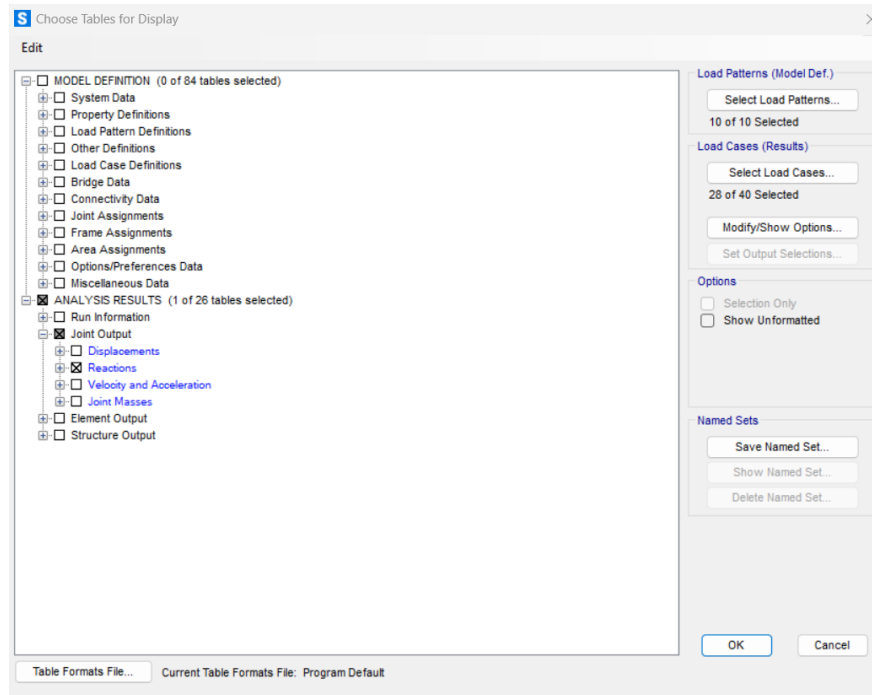


Gambar 4.58 Kotak Dialog Running

6. Menampilkan output hasil Analisa struktur

Untuk menampilkan output Joint Reaction pada element struktur dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

Display > Show Tables > Ok



Gambar 4.59 Kotak Dialog Show Tables Joint Reactions

Dari hasil analisis pembebanan menggunakan SAP 2000 didapatkan beban maksimal yang terjadi pada bangunan yaitu 236,721 kN.

Tabel 4.11 Tabel *Joint Reaction* Hasil Kombinasi Pembebanan Analisa SAP 2000

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
23	COMB5	Combination		-0.083	0.236	194.977	-8.9036	2.7717	-0.00028
23	COMB6	Combination		-0.081	-1.388	194.936	-9.0478	2.7757	-0.00028
23	COMB7	Combination		0.053	0.041	194.382	-8.9209	3.3189	-0.00032
23	COMB8	Combination		-0.216	-1.193	195.531	-9.0306	2.2285	-0.00025
23	COMB9	Combination	Max	0.161	-0.58	200.64	-8.9698	3.7928	-0.00088
23	COMB9	Combination	Min	0.161	-0.58	200.64	-8.9698	3.7928	-0.00088
23	COMB10	Combination	Max	-0.55	-0.579	203.746	-8.9701	0.9153	-0.0007
23	COMB10	Combination	Min	-0.55	-0.579	203.746	-8.9701	0.9153	-0.0007
23	COMB11	Combination	Max	-0.196	1.045	202.234	-8.8258	2.35	-0.00079
23	COMB11	Combination	Min	-0.196	1.045	202.234	-8.8258	2.35	-0.00079
23	COMB12	Combination	Max	-0.193	-2.204	202.151	-9.1142	2.3581	-0.00079
23	COMB12	Combination	Min	-0.193	-2.204	202.151	-9.1142	2.3581	-0.00079
23	COMB13	Combination	Max	0.254	-0.042	232.683	-10.4095	4.6851	-0.00096
23	COMB13	Combination	Min	0.254	-0.042	232.683	-10.4095	4.6851	-0.00096
23	COMB14	Combination	Max	0.255	-1.309	232.65	-10.522	4.6883	-0.00096
23	COMB14	Combination	Min	0.255	-1.309	232.65	-10.522	4.6883	-0.00096
23	COMB15	Combination	Max	-0.671	-0.042	236.721	-10.4099	0.9444	-0.00072
23	COMB15	Combination	Min	-0.671	-0.042	236.721	-10.4099	0.9444	-0.00072
23	COMB16	Combination	Max	-0.67	-1.309	236.688	-10.5224	0.9476	-0.00072
23	COMB16	Combination	Min	-0.67	-1.309	236.688	-10.5224	0.9476	-0.00072
23	COMB17	Combination	Max	-0.071	1.436	234.134	-10.2784	3.3722	-0.00088

Setelah mendapatkan nilai hasil output perencanaan pembebanan nilai $F3 = Q_v$ per kolom maka di lanjutkan dengan perhitungan pondasi.

4.3 Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah data dari PT.NUSANTARA TERMINAL ENERGI dari hasil penyelidikan tanah berupa Standard Penetration Test (SPT) dan pengujian Laboratorium pada tahun 2022. Lokasi penyelidikan berada di proyek pembangunan Pelabuhan Donggala baru, terletak di Jl. Trans Palu Donggala, Tanjung Batu, Banawa Kabupaten Donggala, Provinsi Sulawesi Tengah.

A. Data *Standard Penetration Test* (SPT)

Berdasarkan hasil bor inti SPT yang telah dilakukan, terdapat 4 titik pengujian SPT dapat di lihat pada **Gambar 4.60**.

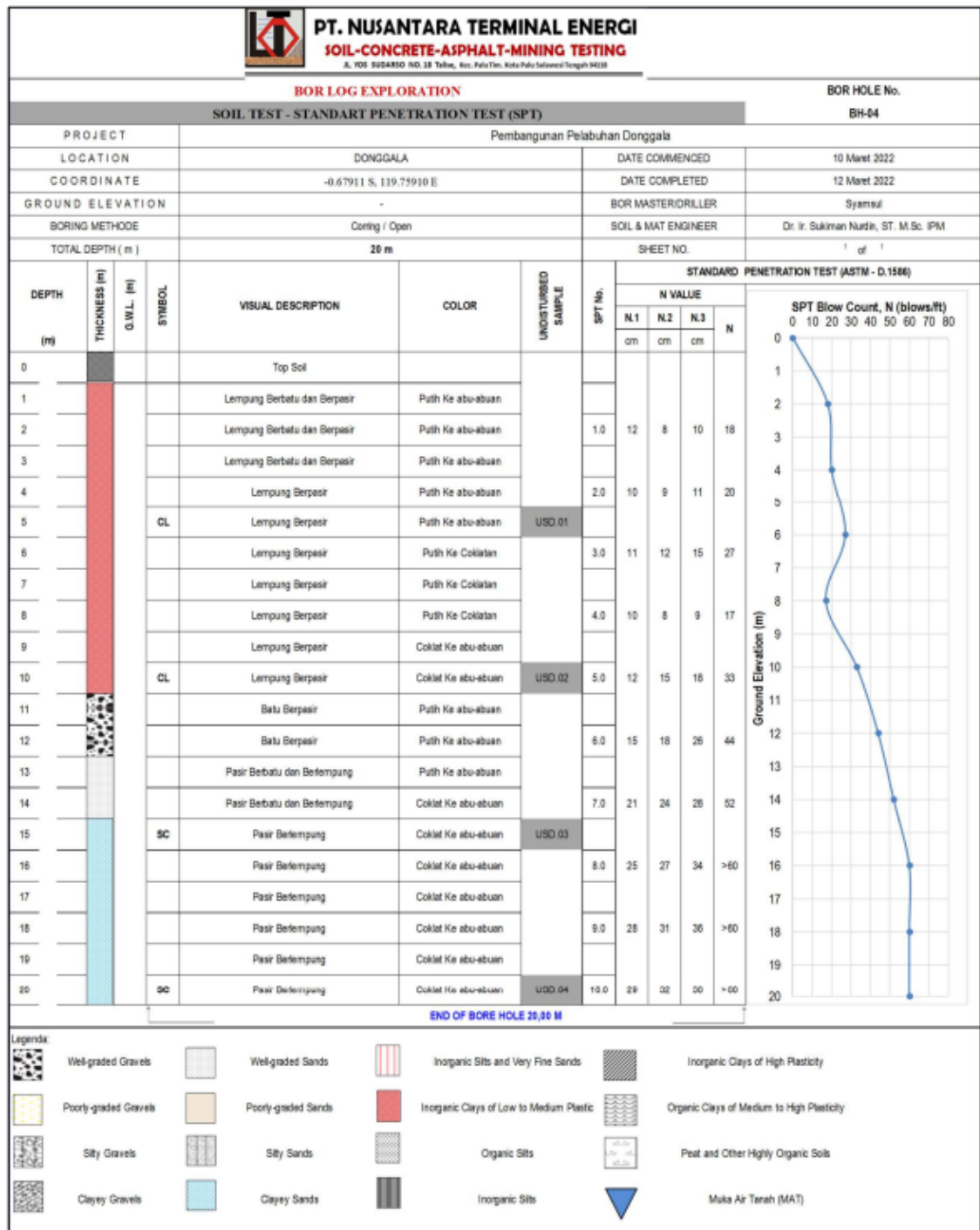


Gambar 4.60 Titik Pengujian SPT

Sumber : Draft Final Report Soil Investigation, Package Civil Works (CW) Sea Port 1: Works for Reconstruction of Donggala Port

Adapun hasil pengujian dapat di lihat pada tabel lampiran-1 sampai Lampiran-4` BH.01, BH.02, BH.03, BH.04. Adapun rangkuman dari data N-SPT dan deskripsi tanah seperti dalam **Tabel 4.12**

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Lapangan BH.04



Sumber: PT.NUSANTARA TERMINAL ENERGI

Hasil pengujian laboratorium oleh PT. Nusantara Terminal Energi

Data hasil pengujian labortorium dapat dilihat pada lampiran-11 sampai lampiran 14. Adapun rangkuman hasil pengujian laboratorium dapat di lihat pada **Tabel 4.13** berikut:

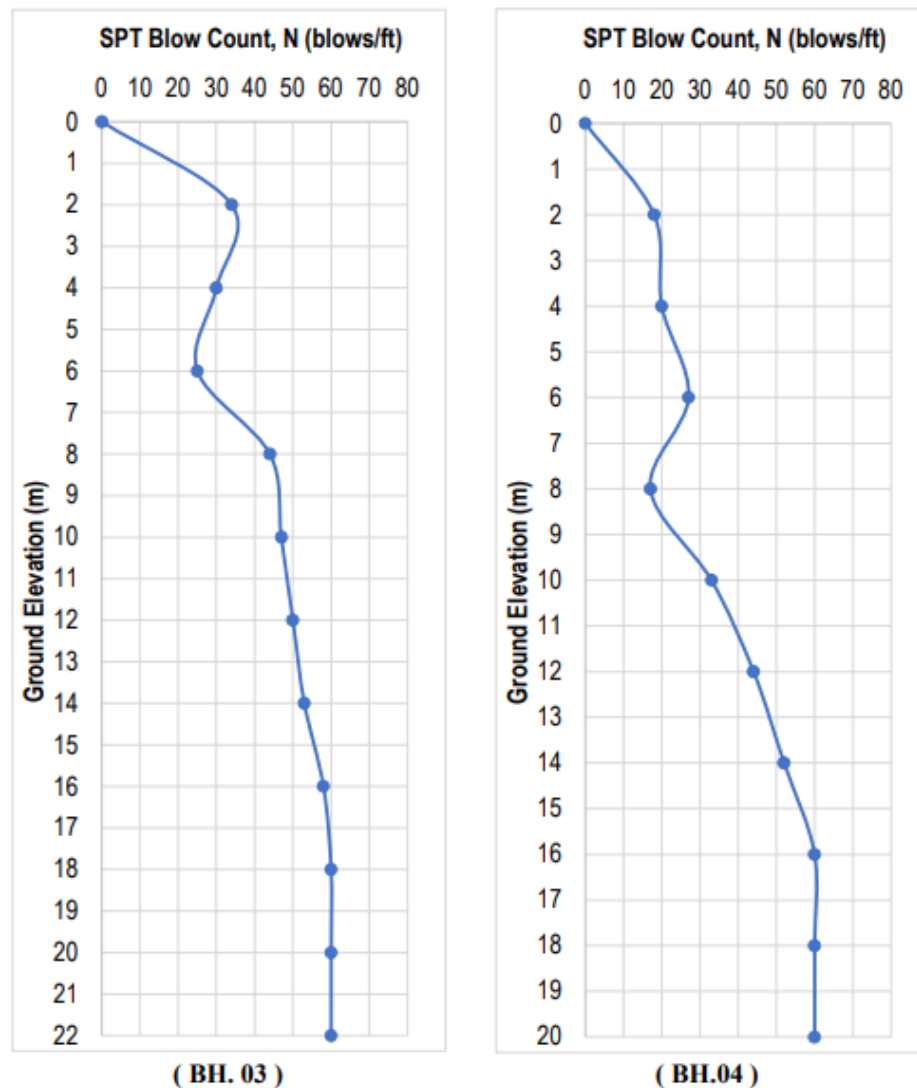
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Laboratorium BH.04

Hasil Pengujian Lab Proyek Pembangunan Pelabuhan Donggala							
No	Jenis Pengujian	Parameter/ Simbol	Satuan	Hasil	Kedalaman Sampel (m)	Kode Sampel	
1	Borehole 4						
	1. Kadar Air						
	Kadar air	w	%	13.220	04.45-05.00 m	BH.04 UDS-1	
	Kadar air	w	%	13.370	09.00-09.55 m	BH.04 UDS-2	
	Kadar air	w	%	15.040	14.45-15.00 m	BH.04 UDS-3	
	Kadar air	w	%	19.170	19.00-19.55 m	BH.04 UDS-4	
	2. Berat Jenis						
	Berat Jenis	Gs		2.663	04.45-05.00 m	BH.04 UDS-1	
	Berat Jenis	Gs		2.665	09.00-09.55 m	BH.04 UDS-2	
	Berat Jenis	Gs		2.665	14.45-15.00 m	BH.04 UDS-3	
	Berat Jenis	Gs		2.663	19.00-19.55 m	BH.04 UDS-4	
	3. Analisa Saringan						
	Persentase Tertahan	#200	%	95.80	04.45-05.00 m	BH.04 UDS-1	
		Persentase Lolos	#200	%			4.20
	Persentase Tertahan	#200	%	98.20	09.00-09.55 m	BH.04 UDS-2	
		Persentase Lolos	#200	%			1.80
	Persentase Tertahan	#200	%	99.80	14.45-15.00 m	BH.04 UDS-3	
		Persentase Lolos	#200	%			0.20
	Persentase Tertahan	#200	%	98.40	19.00-19.55 m	BH.04 UDS-4	
		Persentase Lolos	#200	%			1.60
	4. Batas Batas Atterberg						
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	04.45-05.00 m	BH.01 UDS-1	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	09.00-09.55 m	BH.01 UDS-2	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	14.45-15.00 m	BH.01 UDS-3	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	19.00-19.55 m	BH.01 UDS-4	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	5. Geser Langsung						
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.047	04.45-05.00 m	BH.01 UDS-1	
		Sudut Geser	φ	°			44.468
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.035	09.00-09.55 m	BH.01 UDS-2	
		Sudut Geser	φ	°			39.818
	Kohesi	c	kg/cm ³	0.021	14.45-15.00 m	BH.01 UDS-3	
		Sudut Geser	φ	°			43.268
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.037	19.00-19.55 m	BH.01 UDS-4	
		Sudut Geser	φ	°			39.359

Sumber: PT.NUSANTARA TERMINAL ENERGI

Dari 4 titik data hasil pengujian Bor Inti SPT untuk analisa data tanah digunakan titik BH.03 dan BH.04 yang mana lokasinya berada pada area paling dekat dengan pembangunan bangunan damkar yang berada di Pelabuhan Donggala. Perhitungan daya dukung memerlukan nilai N-SPT serta parameter tanah lainnya,

seperti berat volume jenuh (γ_{sat}). Data tanah harus tersedia pada setiap kedalaman dengan interval 0,5 meter. Namun, jika data belum lengkap, diperlukan korelasi berdasarkan teori yang sesuai untuk melengkapinya.



Gambar 4.61 Grafik Hasil Pengujian SPT

B. Korelasi Data Tanah

Korelasi ini bertujuan untuk memperkirakan karakteristik tanah yang belum diperoleh saat pengujian dan pengambilan sampel di lapangan. Proses ini dilakukan dengan menghubungkan nilai N-SPT menggunakan teori yang relevan. Beberapa parameter tanah yang diperlukan dalam perhitungan, antara lain N-SPT dan berat volume jenuh (γ_{sat}). Contoh perhitungan korelasi data tanah sebagai berikut. Misalnya, diambil data tanah dari BH.04 pada kedalaman 10 meter, dengan nilai N-SPT = 33, digunakan Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hubungan antara Parameter Tanah untuk Tanah Pasir (Teng, 1962)

Kondisi Kepadatan	<i>Relative Density</i> (Kepadatan Relatif) R_d	Perkiraan Harga N_{SPT}	Perkiraan Harga ϕ (°)	Perkiraan Berat Volume Jenuh, γ_{sat} (ton/m ³)
<i>Very Loose</i> (Sangat Renggang)	0% – 15%	0 – 4	0 – 28	< 1,60
<i>Loose</i> (Renggang)	15% – 35%	4 – 10	28 – 30	1,50 – 2,0
<i>Medium</i> (Menengah)	35% – 65%	10 – 30	30 – 36	1,75 – 2,10
<i>Dense</i> (Rapat)	65% – 85%	30 – 50	36 – 41	1,75 – 2,25
<i>Very Dense</i> (sangat Rapat)	85% – 100%	>50	41*	

Sumber: Mochtar, 2009

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$\frac{33 - 30}{50 - 30} = \frac{y - 1,75}{2,25 - 1,75}$$

$$\frac{3}{20} = \frac{y - 1,75}{0,5}$$

$$y = 1,825 \text{ (Jadi, } \gamma_{sat} = 1,83 \text{ ton/m}^3\text{)}$$

Dimana :

x = Harga N-SPT di kedalaman 10 m

x₁ = Harga N-SPT terendah pada rangex₂ = Harga N-SPT tinggi pada rangey = Nilai γ_{sat} yang dicariy₁ = Harga γ_{sat} terendah pada rangey₂ = Harga γ_{sat} tinggi pada range

Hasil korelasi antar hubungan parameter tanah, diperoleh hasil seperti terangkum dalam **Tabel 4.15** sebagai berikut :

Tabel 4.15 Rangkuman Data Tanah Titik BH.04

Boring	<i>Soil Unit Number</i>	N-SPT	
NO	(m)	(blows/30 cm)	γ_{sat}
BH.04	1	-	-
	2	18	1,89
	3	20	1,93
	4	20	1,93
	5	27	2,05
	6	27	2,05
	7	17	1,87
	8	17	1,87
	9	33	1,83
	10	33	1,83
	11	44	2,10
	12	44	2,10
	13	52	2,25
	14	52	2,25
	15	60	2,25
	16	60	2,25
	17	60	2,25
	18	60	2,25
	19	60	2,25
	20	60	2,25

C. Data Cone Penetration Test

Berdasarkan hasil pengujian CPTu yang telah dilakukan terdapat 13 titik pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.8



Gambar 4.62 Area Pengujian CPTu

Adapun salah satu hasil pengujian CPTu pada area 3 titik 1 yang hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.16**

Tabel 4.16 Hasil Pengujian CPTu area 3 titik 1

<i>Depth (m)</i>	<i>qc (MPa)</i>	<i>fs (kg/cm²)</i>	<i>fs (kPa)</i>	<i>Rf (%)</i>	<i>lc</i>	<i>Soil Behaviour Type</i>
0	0.0	0.000	0.000			
0.2	5.0	1.298	129.808	2.60	1.67	Very stiff sand to clayey sand
0.4	5.0	1.471	147.115	2.94	1.81	Very stiff sand to clayey sand
0.6	6.0	0.865	86.538	1.44	1.57	Clean sand to silty sand
0.8	9.0	0.865	86.538	0.96	1.39	Clean sand to silty sand
1	11.0	0.865	86.538	0.79	1.32	Clean sand to silty sand
1.2	13.0	0.865	86.538	0.67	1.27	Clean sand to silty sand
1.4	14.0	0.865	86.538	0.62	1.26	Clean sand to silty sand
1.6	13.0	0.865	86.538	0.67	1.33	Clean sand to silty sand
1.8	13.0	1.038	103.846	0.80	1.41	Clean sand to silty sand
2	15.0	0.865	86.538	0.58	1.28	Clean sand to silty sand
2.2	12.0	1.038	103.846	0.87	1.49	Clean sand to silty sand
2.4	11.0	0.865	86.538	0.79	1.50	Clean sand to silty sand
2.6	10.5	0.952	95.192	0.91	1.57	Clean sand to silty sand
2.8	10.0	0.865	86.538	0.87	1.59	Clean sand to silty sand
3	12.0	0.865	86.538	0.72	1.49	Clean sand to silty sand
3.2	9.0	0.865	86.538	0.96	1.68	Clean sand to silty sand
3.4	9.5	0.865	86.538	0.91	1.66	Clean sand to silty sand

4.4 Kriteria Desain Tiang Pancang

Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *spun pile* produk dari PT. WIKA (Wijaya Karya) Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (precast concrete pile) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang K600 = 49,8 Mpa

Tabel 4.17 Katalog Tiang Pancang WIKA Beton

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack * (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17
					C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18
500	90	1,159.25	255,324.30	290	A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17
					B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19
600	100	1,570.80	510,508.81	393	A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17
					A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20
					A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24
					C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24
					B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24

Sumber : <https://www.wika-beton.co.id/uploads/2-PC-PILES.pdf>, 2020

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan (**Tabel 4.17**).

- Diameter Luar (D) = 300 mm
- Tebal Dinding = 60 mm
- Kedalaman Tiang = 8 meter

4.5 Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dari Data *Standard Penetration Test* (SPT)

Contoh perhitungan mengacu pada beban axial maksimum yang di dapatkan dari analisis SAP2000. Adapun data data perencanaan tiang pancang adalah sebagai berikut:

- ✓ Diameter tiang pancang = 300 mm
- ✓ Faktor keamanan diambil, FS = 2,5
- ✓ Nilai kapasitas dukung ijin, Q_v = 236,721 kN
= 24,14 ton

4.5.1 Perhitungan Metode *Meyerhof*

1) Perhitungan daya dukung tiang tunggal pada titik BH.03.

Analisis daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan *single pile* misal perhitungan pondasi tiang pancang pada kedalaman 8 meter.

$$\text{Diameter tiang (D)} = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Luas penampang (A}_b\text{)} = \frac{1}{4}\pi D^2 = 706,5 \text{ cm}^2 = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas selimut penampang (A}_s\text{)} = 3,14 \times 0,30 \times 8 = 7,54 \text{ m}^2$$

$$\text{Kedalaman (L)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Nilai N-SPT} = 44 \text{ (Lempung berpasir)}$$

Koreksi nilai N-SPT terhadap pengaruh muka air tanah dan jenis tanah (N_1)

$$N_1 = 15 + 0,5 (N-15) = 15 + 0,5 (44-15) = 30$$

$$N_1 = N \times 0,6 = 44 \times 0,6 = 26,4 \approx 26$$

karena tanah berpasir maka ada koreksi terhadap muka air tanah. Diambil nilai paling kecil yaitu 26.

$$\text{Berat jenuh tanah } (\gamma_{\text{sat}}) = 2,10 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1,87 - 1 = 1,10 \text{ t/m}^3$$

Tekanan vertikal efektif lapisan tanah (P_0)

$$P_0 = \sum P_0 (\text{di atasnya}) + (\gamma' \cdot h) = 7,02 + (1,10 \cdot 1) = 8,12 \text{ t/m}^2 (> 7,5 \text{ t/m}^2)$$

Koreksi nilai N terhadap pengaruh tekanan vertikal efektif tanah (N_2)

$$N_2 = \frac{4N_1}{3,25 + 0,1 \cdot p_0} = \frac{4 \cdot 26}{3,25 + 0,1 \cdot 8,12} = 26$$

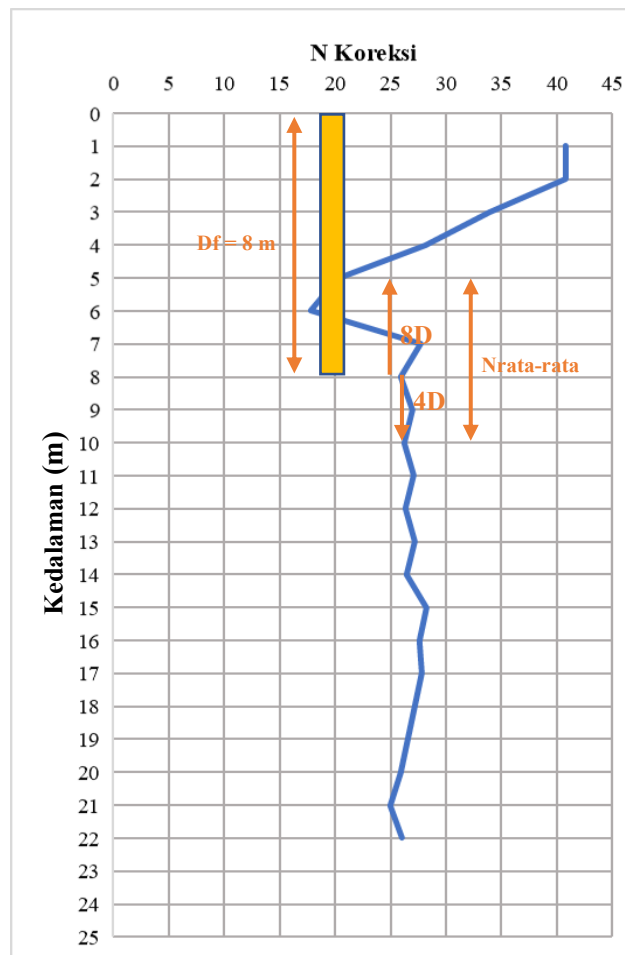
$$N_{\text{corr}} = 26$$

N = Rata-rata nilai N 4D di bawah sampai 8D di atas ujung tiang

$$\checkmark 4D = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ m } (8 + 1,2 = 9,2 \text{ m})$$

$$\checkmark 8D = 8 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ m } (8 - 2,4 = 5,6 \text{ m})$$

$$N_{\text{Rata-rata}} = (20 + 18 + 28 + 26 + 27 + 26) / 5 = 24$$



Gambar 4.63 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang

- Menghitung daya dukung ujung tiang (Q_b)

Untuk tanah kohesif :

$$C_u = 2/3 \times N_{rata-rata} = 2/3 \times 24 = 16,11 \text{ ton/m}^2$$

$$q_b = 9 \times C_u = 9 \times 16,11 = 145,03 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_b = q_p \times A_b$$

$$Q_b = 145,03 \times 0,071$$

$$Q_b = 10,25 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$Q_s = \alpha \times C_u \times K \times L_i$$

$$Q_s = 0,55 \times 16,11 \times (3,14 \times 0,30) \times 8$$

$$Q_s = 66,79 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ultimit tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$Q_u = 10,25 + 66,79 = 77,04 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ijin tiang (Q_{ijin})

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{ijin} = \frac{77,04}{2,5}$$

$$Q_{ijin} = 30,81 \text{ ton} < 24,14 \text{ ton} \dots \text{MEMENUHI}$$

Hasil perhitungan daya dukung izin pondasi tiang pancang pada titik BH.03 dengan beban maksimum 24,14 ton menggunakan analisis *single pile* dapat dilihat pada **Tabel 4.18**

Tabel 4.18 Daya Dukung Izin Metode Meyerhof Titik BH.03

Kedalaman (m)	Diameter Tiang Pancang (cm)	N- SPT	Jenis Tanah	P ₀ (t/m ²)	N _{corr}	N diujung tiang (m)		N _{rata- rata}	Q _b (ton)	Q _s (ton)	Q _u (ton)	Q _{ijin} (ton)	Q _v (ton)	Kontrol Q _{ijin} > Q _v
						Dibawah 4D	Diatas 8D							
1	30	34	Lempung Berbatu dan Berpasir	0.85	41	3	0	41	17.30	14.09	31.39	12.55	24.14	Belum Memenuhi
2	30	34	Lempung Berbatu dan Berpasir	1.70	41	4	0	41	17.30	28.18	45.48	18.19	24.14	Belum Memenuhi
3	30	30	Lempung Berbatu dan Berpasir	2.80	34	5	0	34	14.40	35.19	49.59	19.84	24.14	Belum Memenuhi
4	30	30	Lempung Berbatu dan Berpasir	3.90	28	6	1	30	12.84	41.85	54.69	21.88	24.14	Belum Memenuhi
5	30	25	Lempung Berpasir	4.91	20	7	2	28	11.92	48.55	60.47	24.19	24.14	Memenuhi
6	30	25	Lempung Berpasir	5.92	18	8	3	26	10.87	53.15	64.02	25.61	24.14	Memenuhi
7	30	44	Lempung Berpasir	7.02	28	9	4	24	10.38	59.20	69.57	27.83	24.14	Memenuhi
8	30	44	Lempung Berpasir	8.12	26	10	5	24	10.25	66.79	77.04	30.81	24.14	Memenuhi
9	30	47	Lempung Berpasir	9.30	27	11	6	25	10.73	78.71	89.44	35.78	24.14	Memenuhi

10	30	47	Lempung Berpasir	10.47	26	12	7	27	11.34	92.39	103.73	41.49	24.14	Memenuhi
11	30	50	Lempung Berpasir dan Berbatu	11.72	27	13	8	27	75.36	55.26	130.62	52.25	24.14	Memenuhi
12	30	50	Lempung Berpasir dan Berbatu	12.97	26	14	9	27	75.60	60.48	136.08	54.43	24.14	Memenuhi
13	30	53	Lempung Berpasir dan Berbatu	14.22	27	15	10	27	76.21	66.05	142.26	56.90	24.14	Memenuhi
14	30	53	Lempung Berpasir dan Berbatu	15.47	27	16	11	27	76.84	71.71	148.55	59.42	24.14	Memenuhi
15	30	58	Lempung Berpasir dan Berbatu	16.72	28	17	12	27	77.17	77.17	154.34	61.73	24.14	Memenuhi
16	30	58	Lempung Berpasir dan Berbatu	17.97	28	18	13	27	77.54	82.71	160.25	64.10	24.14	Memenuhi
17	30	60	Lempung Berpasir	19.22	28	19	14	27	77.23	87.52	164.75	65.90	24.14	Memenuhi
18	30	60	Lempung Berpasir	20.47	27	20	15	27	76.97	92.36	169.32	67.73	24.14	Memenuhi
19	30	60	Lempung Berpasir	21.72	27	21	16	21	59.61	75.51	135.13	54.05	24.14	Memenuhi
20	30	60	Lempung Berpasir	22.97	26	22	17	22	62.09	82.78	144.87	57.95	24.14	Memenuhi
21	30	60	Lempung Berpasir	24.22	25	23	18	23	63.64	89.10	152.74	61.10	24.14	Memenuhi

22	30	60	Lempung Berpasir	23.22	26	24	19	23	65.09	95.47	160.55	64.22	24.14	Memenuhi
----	----	----	---------------------	-------	----	----	----	----	-------	-------	--------	-------	-------	----------

2) Perhitungan daya dukung tiang tunggal pada titik BH.04.

Analisis daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan *single pile* misal perhitungan pondasi tiang pancang pada kedalaman 8 meter.

$$\text{Diameter tiang (D)} = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Luas penampang (A}_b\text{)} = \frac{1}{4}\pi D^2 = 706,5 \text{ cm}^2 = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas selimut penampang (A}_s\text{)} = 3,14 \times 0,30 \times 8 = 7,54 \text{ m}^2$$

$$\text{Kedalaman (L)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Nilai N-SPT} = 17 \text{ (Lempung berpasir)}$$

Koreksi nilai N-SPT terhadap pengaruh muka air tanah dan jenis tanah (N_1)

$$N_1 = 15 + 0,5 (N-15) = 15 + 0,5 (17-15) = 16$$

$$N_1 = N \times 0,6 = 17 \times 0,6 = 10,2 \approx 10$$

karena tanah berpasir maka ada koreksi terhadap muka air tanah. Diambil nilai paling kecil yaitu 10.

$$\text{Berat jenuh tanah } (\gamma_{\text{sat}}) = 1,87 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1,87 - 1 = 0,87 \text{ t/m}^3$$

Tekanan vertikal efektif lapisan tanah (P_0)

$$\begin{aligned} P_0 &= \sum P_0 \text{ (di atasnya)} + (\gamma' \cdot h) = 6,61 + (0,87 \cdot 1) \\ &= 7,48 \text{ t/m}^2 (< 7,5 \text{ t/m}^2) \end{aligned}$$

Koreksi nilai N terhadap pengaruh tekanan vertikal efektif tanah (N_2)

$$N_2 = \frac{4N_1}{1+0,4 \cdot p_0} = \frac{4 \cdot 10,2}{1+0,4 \cdot 7,48} = 10,22 \approx 10$$

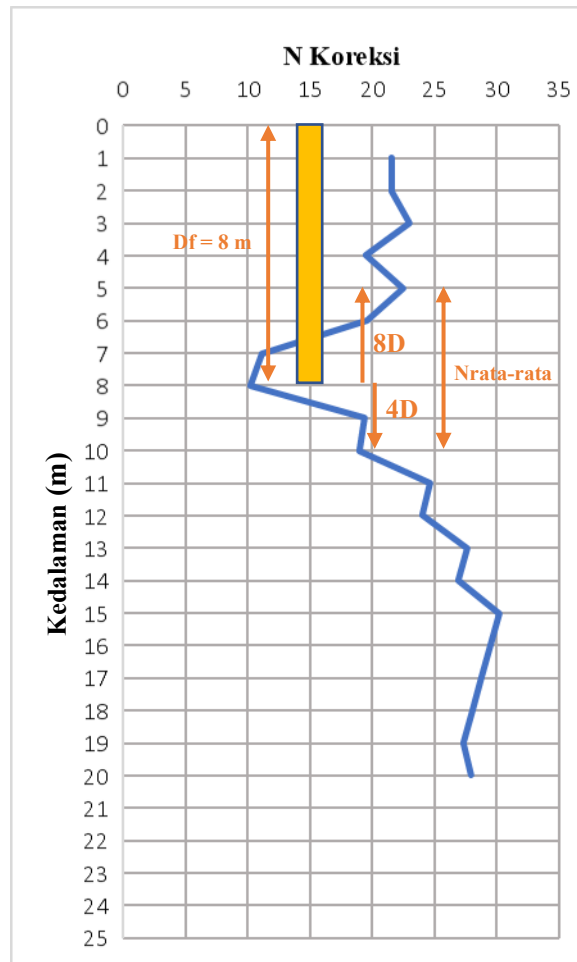
$$N_{\text{corr}} = 10$$

N = Rata-rata nilai N 4D di bawah sampai
8D di atas ujung tiang

$$\checkmark 4D = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ m } (8 + 1,2 = 9,2 \text{ m})$$

$$\checkmark 8D = 8 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ m } (8 - 2,4 = 5,6 \text{ m})$$

$$N_{\text{Rata-rata}} = (23 + 20 + 11 + 10 + 19 + 19) / 5 = 17$$



Gambar 4.64 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang

- Menghitung daya dukung ujung tiang (Q_b)

Untuk tanah kohesif :

$$C_u = 2/3 \times N_{rata-rata} = 2/3 \times 17 = 11,34 \text{ ton/m}^2$$

$$q_b = 9 \times C_u = 9 \times 11,34 = 102,04 \text{ ton/m}^2$$

$$Q_b = q_p \times A_b$$

$$Q_b = 102,04 \times 0,071$$

$$Q_b = 7,21 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$Q_s = \alpha \times C_u \times K \times L_i$$

$$Q_s = 0,55 \times 11,34 \times (3,14 \times 0,30) \times 8$$

$$Q_s = 46,99 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ultimit tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$Q_u = 7,21 + 46,99 = 54,20 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ijin tiang (Q_{ijin})

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{ijin} = \frac{54,20}{2,5}$$

$$Q_{ijin} = 21,68 \text{ ton} < 24,14 \text{ ton} \dots \text{BELUM MEMENUHI}$$

Jika menggunakan nilai $SF = 2$ maka didapatkan nilai

$$Q_{ijin} = 27,10 \text{ ton} > 24,14 \text{ ton} \dots \text{MEMENUHI}$$

Hasil perhitungan daya dukung izin pondasi tiang pancang pada titik BH.04 dengan beban maksimum 24,14 ton menggunakan analisis *single pile* dapat dilihat pada **Tabel 4.19**

Tabel 4.19 Daya Dukung Izin Metode Meyerhof Titik BH.04

Kedalaman (m)	Diameter Tiang Pancang (cm)	N- SPT	Jenis Tanah	P ₀ (t/m ²)	N _{corr}	N diujung tiang (m)		N _{rata- rata}	Q _b (ton)	Q _s (ton)	Q _u (ton)	Q _{ijin} (ton)	Q _v (ton)	Kontrol
						Dibawah 4D	Diatas 8D							Q _{ijin} > Q _v
1	30	18	Lempung Berbatu dan Berpasir	0,89	22	3	0	22	9,16	7,46	16.62	6.65	24.14	Belum Memenuhi
2	30	18	Lempung Berbatu dan Berpasir	1,78	22	4	0	22	9,16	14,92	24.08	9.63	24.14	Belum Memenuhi
3	30	20	Lempung Berbatu dan Berpasir	2,71	23	5	0	23	9,76	23,87	33.63	13.45	24.14	Belum Memenuhi
4	30	20	Lempung Berpasir	3,64	20	6	1	21	9,04	29,47	38.51	15.40	24.14	Belum Memenuhi
5	30	27	Lempung Berpasir	4,69	23	7	2	20	8,31	33,84	42.14	16.86	24.14	Belum Memenuhi
6	30	27	Lempung Berpasir	5,74	20	8	3	18	7,50	36,68	44.18	17.67	24.14	Belum Memenuhi
7	30	17	Lempung Berpasir	6,61	11	9	4	17	7,25	41,33	48.57	19.43	24.14	Belum Memenuhi
8	30	17	Lempung Berpasir	7,48	10	10	5	17	7,21	46,99	54.20	21.68	24.14	Belum Memenuhi
9	30	33	Lempung Berpasir	8,31	19	11	6	17	7,36	53,99	61.35	24.54	24.14	Memenuhi
10	30	33	Lempung Berpasir	9,14	19	12	7	18	7,68	62,54	70.22	28.09	24.14	Memenuhi

11	30	44	Batu Berpasir	10,24	25	13	8	21	58,93	43,22	102.15	40.86	24.14	Memenuhi
12	30	44	Batu Berpasir	11,34	24	14	9	24	66,80	53,44	120.24	48.10	24.14	Memenuhi
13	30	52	Pasir Berbatu dan Berlempung	12,59	28	15	10	25	71,91	62,33	134.24	53.70	24.14	Memenuhi
14	30	52	Pasir Berbatu dan Berlempung	13,84	27	16	11	27	76,84	71,72	148.56	59.42	24.14	Memenuhi
15	30	60	Pasir Berlempung	15,09	30	17	12	28	78,75	78,75	157.49	63.00	24.14	Memenuhi
16	30	60	Pasir Berlempung	16,34	29	18	13	29	80,61	85,98	166.60	66.64	24.14	Memenuhi
17	30	60	Pasir Berlempung	17,59	29	19	14	28	80,47	91,20	171.67	68.67	24.14	Memenuhi
18	30	60	Pasir Berlempung	18,84	28	20	15	29	80,93	97,12	178.05	71.22	24.14	Memenuhi
19	30	60	Pasir Berlempung	20,09	27	21	16	18	51,97	65,83	117.80	47.12	24.14	Memenuhi
20	30	60	Pasir Berlempung	19,09	28	22	17	19	53,42	71,22	124.64	49.86	24.14	Memenuhi

4.5.2 Perhitungan Metode *Luciano Decourt*

1) Perhitungan daya dukung tiang tunggal pada titik BH.03.

Analisis daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan *single pile* misal perhitungan pondasi tiang pancang pada kedalaman 8 meter.

$$\text{Diameter tiang (D)} = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Luas penampang (A}_b\text{)} = \frac{1}{4}\pi D^2 = 706,5 \text{ cm}^2 = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas selimut penampang (A}_s\text{)} = 3,14 \times 0,30 \times 8 = 7,54 \text{ m}^2$$

$$\text{Kedalaman (L)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Nilai N-SPT} = 44 \text{ (Lempung berpasir)}$$

$$N_{\text{corr}} = 26$$

$$N_b = \text{Rata-rata nilai N 4D di bawah sampai} \\ 4D \text{ di atas ujung tiang}$$

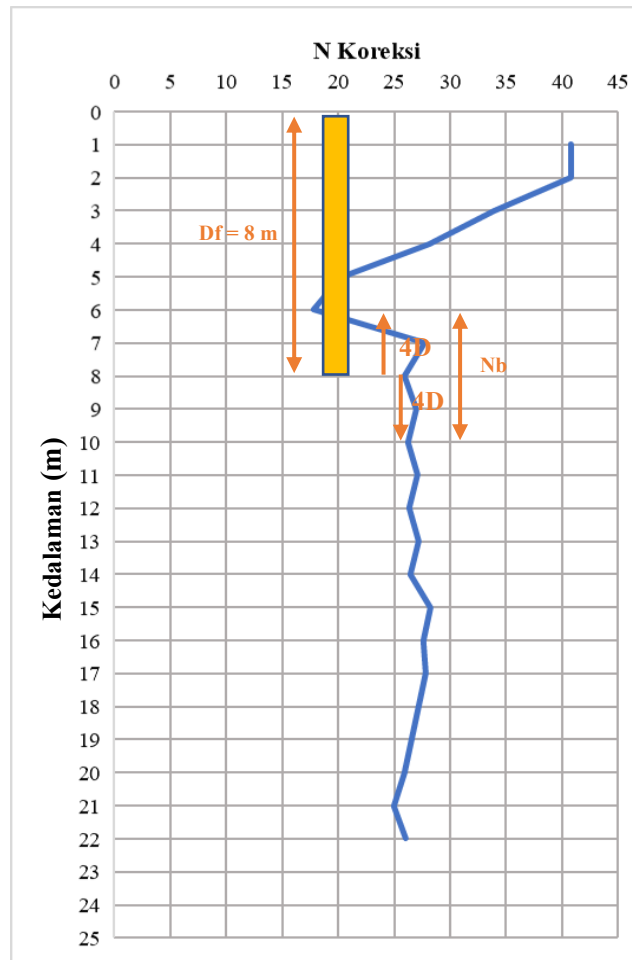
$$\checkmark 4D = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ m } (8 + 1,2 = 9,2 \text{ m})$$

$$\checkmark 4D = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ m } (8 - 1,2 = 6,8 \text{ m})$$

$$N_b = (18 + 28 + 26 + 27 + 26) / 5 = 25$$

$$N_s = \text{Rata-rata nilai N sepanjang tiang yang tertanam} \\ \text{dengan batasan } 3 < N < 50$$

$$N_b = \frac{41+41+34+28+20+18+28+26}{8} = 29,43 \approx 29$$



Gambar 4.65 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang

- Menghitung daya dukung ujung tiang (Q_b)

Untuk tanah kohesif :

$$\alpha = 1 \text{ (Dilihat dari Tabel 3.2)}$$

$$N_b = 25$$

$$K = 12 \text{ (Dilihat dari Tabel 3.1)}$$

$$Q_b = \alpha \times N_b \times K \times A_b$$

$$= 1 \times 25 \times 12 \times 0,071$$

$$Q_b = 21,16 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$N_s = 29$$

$$Q_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s$$

$$Q_s = \left(\frac{29}{3} + 1 \right) \times 7,54$$

$$Q_s = 81,47 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ultimit tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$Q_u = 21,16 + 81,47 = 102,63 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ijin tiang (Q_{ijin})

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{ijin} = \frac{102,63}{2,5}$$

$$Q_{ijin} = 41,05 \text{ ton} > 24,14 \text{ ton} \dots \text{MEMENUHI}$$

Hasil perhitungan daya dukung izin pondasi tiang pancang pada titik BH.03 dengan beban maksimum 24,14 ton menggunakan analisis *single pile* dapat dilihat pada **Tabel 4.20**

Tabel 4.20 Daya Dukung Izin Metode Luciano Decourt Titik BH.03

Kedalaman (m)	Diameter Tiang Pancang (cm)	N- SPT	Jenis Tanah	Ncorr	N diujung tiang (m)		N _b	N _s	Q _b (ton)	Q _s (ton)	Q _u (ton)	Q _{ijin} (ton)	Q _v (ton)	Kontrol Q _{ijin} > Q _v
					Dibawah 4D	Diatas 4D								
1	30	34	Lempung Berbatu dan Berpasir	41	3	0	22	41	18.65	13.75	32.40	12.96	24.14	Belum Memenuhi
2	30	34	Lempung Berbatu dan Berpasir	41	4	0	22	41	18.65	27.51	46.16	18.46	24.14	Belum Memenuhi
3	30	30	Lempung Berbatu dan Berpasir	34	5	1	33	39	27.80	39.11	66.91	26.76	24.14	Memenuhi
4	30	30	Lempung Berbatu dan Berpasir	28	6	2	28	36	23.90	48.89	72.78	29.11	24.14	Memenuhi
5	30	25	Lempung Berpasir	20	7	3	26	33	21.68	56.18	77.87	31.15	24.14	Memenuhi
6	30	25	Lempung Berpasir	18	8	4	24	30	20.33	62.72	83.05	33.22	24.14	Memenuhi
7	30	44	Lempung Berpasir	28	9	5	24	30	20.14	72.37	92.51	37.00	24.14	Memenuhi
8	30	44	Lempung Berpasir	26	10	6	25	29	21.16	81.47	102.63	41.05	24.14	Memenuhi
9	30	47	Lempung Berpasir	27	11	7	27	29	22.74	90.89	113.63	45.45	24.14	Memenuhi

10	30	47	Lempung Berpasir	26	12	8	27	29	22.51	100.08	122.59	49.03	24.14	Memenuhi
11	30	50	Lempung Berpasir dan Berbatu	27	13	9	27	29	22.72	109.54	132.26	52.90	24.14	Memenuhi
12	30	50	Lempung Berpasir dan Berbatu	26	14	10	27	29	22.64	118.77	141.41	56.56	24.14	Memenuhi
13	30	53	Lempung Berpasir dan Berbatu	27	15	11	27	28	22.98	128.26	151.24	60.50	24.14	Memenuhi
14	30	53	Lempung Berpasir dan Berbatu	27	16	12	27	28	23.06	137.53	160.59	64.23	24.14	Memenuhi
15	30	58	Lempung Berpasir dan Berbatu	28	17	13	27	28	23.31	147.35	170.65	68.26	24.14	Memenuhi
16	30	58	Lempung Berpasir dan Berbatu	28	18	14	27	28	23.30	156.95	180.25	72.10	24.14	Memenuhi
17	30	60	Lempung Berpasir	28	19	15	27	28	23.31	166.64	189.94	75.98	24.14	Memenuhi
18	30	60	Lempung Berpasir	27	20	16	27	28	22.91	176.11	199.03	79.61	24.14	Memenuhi
19	30	60	Lempung Berpasir	27	21	17	27	28	22.54	185.40	207.94	83.17	24.14	Memenuhi
20	30	60	Lempung Berpasir	26	22	18	26	28	22.20	194.49	216.69	86.68	24.14	Memenuhi
21	30	60	Lempung Berpasir	25	23	19	26	28	21.99	203.40	225.39	90.16	24.14	Memenuhi

22	30	60	Lempung Berpasir	26	24	20	26	28	21.81	212.46	234.27	93.71	24.14	Memenuhi
----	----	----	---------------------	----	----	----	----	----	-------	--------	--------	-------	-------	----------

2) Perhitungan daya dukung tiang tunggal pada titik BH.04.

Analisis daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan *single pile* misal perhitungan pondasi tiang pancang pada kedalaman 8 meter.

$$\text{Diameter tiang (D)} = 300 \text{ mm} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Luas penampang (A}_b\text{)} = \frac{1}{4}\pi D^2 = 706,5 \text{ cm}^2 = 0,071 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas selimut penampang (A}_s\text{)} = 3,14 \times 0,30 \times 8 = 7,54 \text{ m}^2$$

$$\text{Kedalaman (L)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Nilai N-SPT} = 17 \text{ (Lempung berpasir)}$$

$$N_{\text{corr}} = 10$$

$$N_b = \text{Rata-rata nilai N 4D di bawah sampai} \\ 4D \text{ di atas ujung tiang}$$

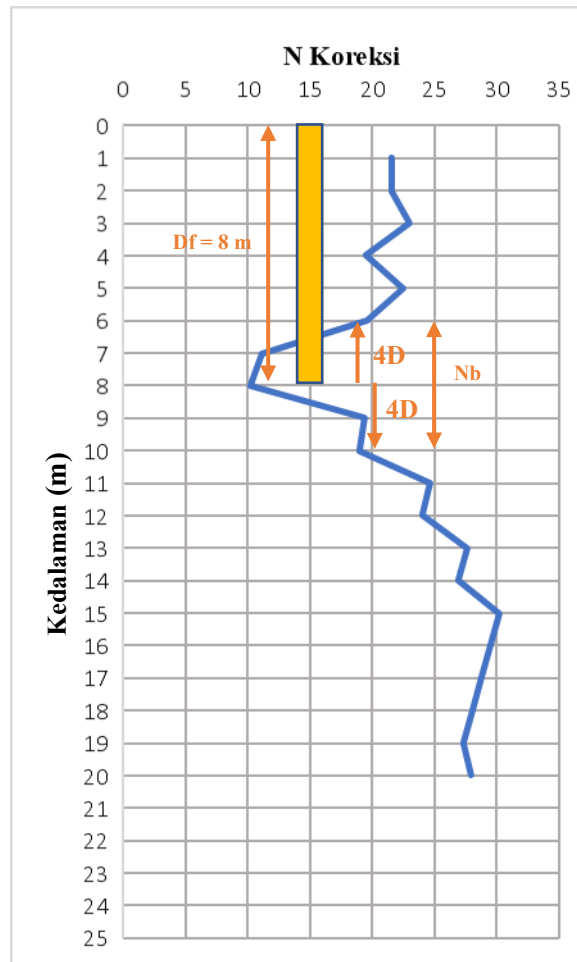
$$\checkmark 4D = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ m } (8 + 1,2 = 9,2 \text{ m})$$

$$\checkmark 4D = 4 \cdot 0,3 = 1,2 \text{ m } (8 - 1,2 = 6,8 \text{ m})$$

$$N_b = (20 + 11 + 10 + 19 + 19) / 5 = 16$$

$$N_s = \text{Rata-rata nilai N sepanjang tiang yang tertanam} \\ \text{dengan batasan } 3 < N < 50$$

$$N_b = \frac{22+22+23+20+23+20+11+10}{8} = 18,87 \approx 19$$



Gambar 4.66 Sketsa Nilai N Koreksi pondasi Tiang Pancang

- Menghitung daya dukung ujung tiang (Q_b)

Untuk tanah kohesif :

$$\alpha = 1 \text{ (Dilihat dari Tabel 3.4)}$$

$$N_b = 16$$

$$K = 12 \text{ (Dilihat dari Tabel 3.3)}$$

$$Q_b = \alpha \times N_b \times K \times A_b$$

$$= 1 \times 16 \times 12 \times 0,071$$

$$Q_b = 13,56 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$N_s = 19$$

$$Q_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s$$

$$Q_s = \left(\frac{19}{3} + 1 \right) \times 7,54$$

$$Q_s = 55,26 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ultimit tiang (Q_u)

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$Q_u = 13,56 + 55,26 = 68,83 \text{ ton}$$

- Menghitung daya dukung ijin tiang (Q_{ijin})

$$Q_{ijin} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{ijin} = \frac{68,83}{2,5}$$

$$Q_{ijin} = 27,53 \text{ ton} > 24,14 \text{ ton} \dots \text{MEMENUHI}$$

Hasil perhitungan daya dukung izin pondasi tiang pancang pada titik BH.04 dengan beban maksimum 24,14 ton menggunakan analisis *single pile* dapat dilihat pada **Tabel 4.21**

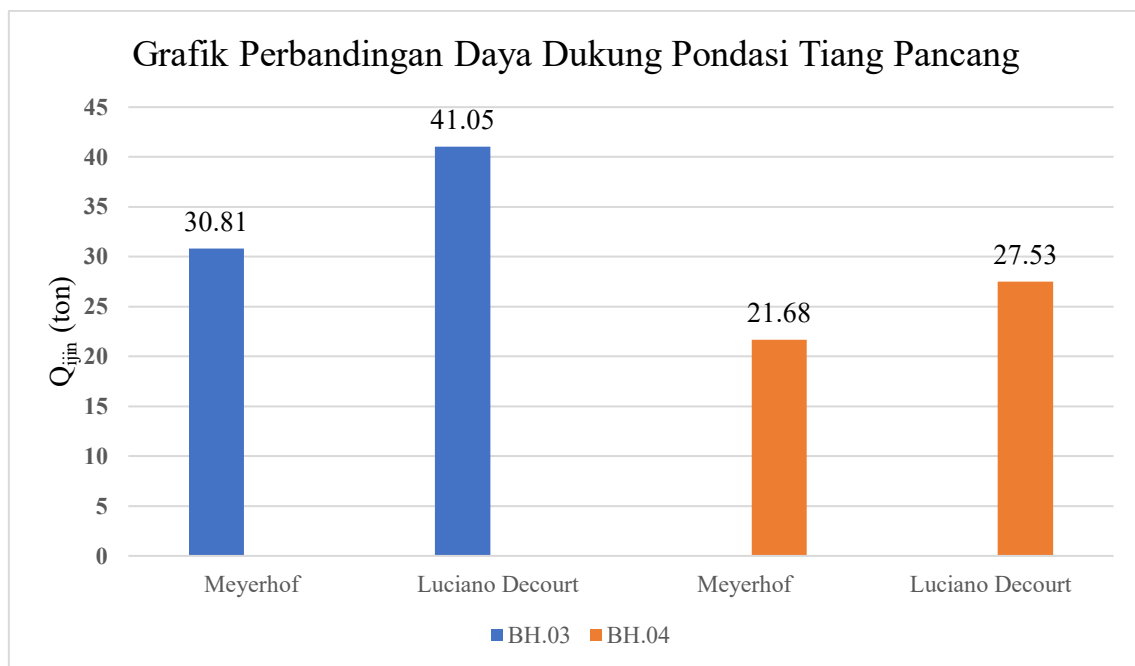
Tabel 4.21 Daya Dukung Izin Metode Luciano Decourt Titik BH.04

Kedalaman (m)	Diameter Tiang Pancang (cm)	N- SPT	Jenis Tanah	Ncorr	N diujung tiang (m)		N _b	N _s	Q _b (ton)	Q _s (ton)	Q _u (ton)	Q _{ijin} (ton)	Q _v (ton)	Kontrol Q _{ijin} > Q _v
					Dibawah 4D	Diatas 4D								
1	30	18	Lempung Berbatu dan Berpasir	22	3	0	22	22	18.65	7.85	26.50	10.60	24.14	Belum Memenuhi
2	30	18	Lempung Berbatu dan Berpasir	22	4	0	22	22	18.65	15.70	34.35	13.74	24.14	Belum Memenuhi
3	30	20	Lempung Berbatu dan Berpasir	23	5	1	22	22	18.65	23.55	42.20	16.88	24.14	Belum Memenuhi
4	30	20	Lempung Berpasir	20	6	2	21	21	17.80	30.14	47.95	19.18	24.14	Belum Memenuhi
5	30	27	Lempung Berpasir	23	7	3	19	22	16.11	39.25	55.36	22.14	24.14	Belum Memenuhi
6	30	27	Lempung Berpasir	20	8	4	17	21	14.41	45.22	59.63	23.85	24.14	Belum Memenuhi
7	30	17	Lempung Berpasir	11	9	5	17	20	14.41	50.55	64.97	25.99	24.14	Memenuhi
8	30	17	Lempung Berpasir	10	10	6	16	19	13.56	55.26	68.83	27.53	24.14	Memenuhi
9	30	33	Lempung Berpasir	19	11	7	17	19	14.41	62.17	76.58	30.63	24.14	Memenuhi
10	30	33	Lempung Berpasir	19	12	8	19	19	16.11	69.08	85.19	34.08	24.14	Memenuhi

11	30	44	Batu Berpasir	25	13	9	23	19	65.00	75.99	140.99	56.39	24.14	Memenuhi
12	30	44	Batu Berpasir	24	14	10	24	20	67.82	86.66	154.49	61.80	24.14	Memenuhi
13	30	52	Pasir Berbatu dan Berlempung	28	15	11	27	20	76.30	93.89	170.19	68.08	24.14	Memenuhi
14	30	52	Pasir Berbatu dan Berlempung	27	16	12	28	21	79.13	105.50	184.63	73.85	24.14	Memenuhi
15	30	60	Pasir Berlempung	30	17	13	29	21	81.95	113.04	194.99	78.00	24.14	Memenuhi
16	30	60	Pasir Berlempung	29	18	14	29	22	81.95	125.60	207.55	83.02	24.14	Memenuhi
17	30	60	Pasir Berlempung	29	19	15	29	22	81.95	133.45	215.40	86.16	24.14	Memenuhi
18	30	60	Pasir Berlempung	28	20	16	28	23	79.13	146.95	226.08	90.43	24.14	Memenuhi
19	30	60	Pasir Berlempung	27	21	17	28	23	79.13	155.12	234.24	93.70	24.14	Memenuhi
20	30	60	Pasir Berlempung	28	22	18	28	23	79.13	163.28	242.41	96.96	24.14	Memenuhi

Tabel 4.22 Perbandingan Daya Dukung Pondasi dari Data SPT untuk lapisan tanah pada kedalaman 8 m

Data	Titik	Metode	Q_b (ton)	Q_s (ton)	Q_u (ton)	Q_{ijin} (ton)
SPT	BH.03	Meyerhof	10,25	66,79	77,04	30,81
		Luciano Decourt	21,16	81,47	102,63	41,05
	BH.04	Meyerhof	7.21	46.99	54.20	21.68
		Luciano Decourt	13.56	55.26	68.83	27.53



Gambar 4.67 Perbandingan Daya Dukung Pondasi dari Data SPT untuk lapisan tanah pada kedalaman 8 m

Perbandingan antara Q_{ijin} yang didapatkan dari data SPT titik BH.03 metode *Meyerhof* sebesar 25,45%, metode *Luciano Decourt* sebesar 33,91%, dari data SPT titik BH.04 metode *Meyerhof* sebesar 17,91%, dari metode *Luciano Decourt* 22,74%. Maka, Q_{ijin} yang digunakan adalah Q_{ijin} yang terkecil yaitu 21,68 ton pada Metode *Meyerhof* pada titik bor BH.04 dengan nilai perbandingan sebesar 17,91%.

Untuk menghitung daya dukung tiang tunggal menggunakan daya dukung ijin (Q_{ijin}) yaitu sebagai berikut:

$$Q_{ijin} = 21,68 \text{ ton}$$

$$\text{Beban aksial gedung damkar (p}_u\text{)} = 236,721 \text{ kN} = 24138,82 \text{ kg}$$

Daya dukung tiang yang terjadi

Q_{ytd} = beban yang bekerja pada tiang tunggal + beban sendiri tiang tunggal

$$Q_{ytd} = \frac{P_u}{\text{Jumlah tiang}} + (A_b \times L \times \gamma_{\text{beton}})$$

$$Q_{ytd} = \frac{24138,82}{18} + (0,071 \times 8 \times 2400)$$

$$Q_{ytd} = 2704,245 \text{ kg}$$

$$Q_{ytd} = 2,70 \text{ ton}$$

Kontrol :

Daya dukung tiang tunggal > daya dukung tiang tunggal yang terjadi

$$21,68 \text{ ton} > 2,70 \text{ ton} \quad (\text{Memenuhi})$$

4.6 Perhitungan Penurunan Pondasi

4.6.1 Perhitungan Penurunan Pondasi Tiang Tunggal

Menghitung Penurunan pondasi tiang tunggal dengan metode empiris dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Diketahui data tiang pancang :

$$\text{Diameter tiang pancang (d)} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Panjang tiang (L)} = 8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang tiang (A}_b\text{)} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 0,3^2 \\ &= 0,071 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban aksial dari gedung damkar (P}_u\text{)} &= 236,721 \text{ kN} \\ &= 24,14 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban yang bekerja (q)} &= \frac{P_u}{\text{Jumlah tiang}} \\ &= \frac{24,14}{18} \\ &= 1,34 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus elastisitas tiang (E}_p\text{)} &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{49,8} \\ &= 33167,48 \text{ N/mm}^2 \\ &= 3316748 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{d}{100} + \frac{q \cdot L}{A_b \cdot E_p} \\ &= \frac{0,3}{100} + \frac{1,34 \cdot 8}{0,071 \cdot 3316748} \\ &= 0,003 \text{ m} \\ &= 0,3 \text{ cm}\end{aligned}$$

Penurunan yang terjadi pada pondasi tiang tunggal sebesar 0,3 cm.

4.6.2 Kontrol Penurunan

Kontrol nilai penurunan yang aman adalah $S_{total} \leq S_{izin}$ yang dapat dilihat pada persamaan berikut :

Kontrol penurunan tiang tunggal menggunakan persamaan 3.14

$$S_{total} = 0,003 \text{ m}$$

$$S_{izin} = 10\% \times D$$

$$= 10\% \times 0,3$$

$$= 0,03 \text{ m}$$

$$S_{total} \leq S_{izin}$$

$$0,003 \text{ m} \leq 0,03 \text{ m} \quad (\text{Memenuhi})$$

4.7 Pembahasan

Analisis daya dukung pondasi pada gedung damkar proyek rekonstruksi pelabuhan Donggala menggunakan pondasi tiang pancang yang mengacu pada pengujian SPT (*Standard Penetration Test*). Dari hasil pengujian SPT dapat dilihat bahwa karakteristik tanah pada lokasi tersebut bervariasi, pengujian dilakukan hingga kedalaman 22 meter. Pondasi gedung damkar berdiameter 0,3 meter dan kedalaman pondasi 8 meter berjumlah 18 buah tiang pancang.

Dalam menghitung daya dukung pondasi tiang pancang, selain mempunyai data hasil penyelidikan tanah, harus juga mempunyai data gambar struktur gedung damkar sebagai acuan untuk perhitungan beban yang bekerja pada pondasi. Beban yang bekerja pada pondasi adalah beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan pada SNI 1725 2016. Dihasilkan berupa beban aksial 236,721 kN. Kemudian digunakan beban maksimum yang bekerja pada pondasi sebagai perhitungan daya dukung pondasi.

Perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal dari data SPT menggunakan metode Meyerhof dan metode Luciano Decourt pada titik bor BH.03 dan titik bor BH.04. Kemudian Q_{ijin} yang digunakan adalah Q_{ijin} yang terkecil yaitu 21,68 ton pada Metode Meyerhof pada titik bor BH.04. Daya dukung tiang tunggal yang terjadi sebesar 2,70 ton. Syarat : daya dukung tiang tunggal > daya dukung tiang tunggal yang terjadi, maka disebut memenuhi.

Hasil dari perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode empiris diperoleh S_{total} sebesar 0,003 cm kemudian dikontrol menggunakan persamaan 3.14 yang diperoleh nilai S_{izin} sebesar 0,3 cm, syarat $S_{\text{total}} \leq S_{\text{izin}}$ dan hasilnya memenuhi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal dari data SPT diperoleh nilai daya dukung ijin pada titik BH.03 untuk metode Meyerhof sebesar 30,81 ton dan metode Luciano Decourt sebesar 41,05 ton, sedangkan pada titik BH.04 untuk metode Meyerhof sebesar 21,68 ton dan metode Luciano Decourt sebesar 27,53 ton.
2. Perbandingan nilai daya dukung aksial tiang tunggal dari data SPT pada titik BH.03 metode Meyerhof diperoleh sebesar 25,45% dan metode Luciano Decourt sebesar 33,91%, sedangkan pada titik BH.04 metode Meyerhof diperoleh sebesar 17,91% dan metode Luciano Decourt sebesar 22,74% Maka, Q_{ijin} yang digunakan adalah Q_{ijin} yang terkecil yaitu 21,68 ton pada data SPT metode Meyerhof pada titik bor BH.04 dengan nilai perbandingan sebesar 17,91%.
3. Hasil dari perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode empiris diperoleh S_{total} sebesar 0,003 cm kemudian dikontrol menggunakan persamaan 3.14 yang diperoleh nilai S_{izin} sebesar 0,3 cm, syarat $S_{total} \leq S_{izin}$ dan hasilnya memenuhi.

5.2 Saran

Dalam melakukan analisis daya dukung pondasi tiang pancang atau jenis pondasi tipe lainnya, sebaiknya harus memiliki data yang lengkap, terutama data hasil penyelidikan tanah di lapangan dan data gambar perencanaan bangunan yang lengkap, sehingga dapat memudahkan dalam proses menganalisis. Untuk menganalisis pembebanan, harus menguasai mata kuliah Analisis Struktur 1, Analisis Struktur 2 dan juga paham mengoperasikan *software* SAP2000.

Untuk menghitung daya dukung pondasi, harus menguasai mata kuliah Mekanika Tanah dan Rekayasa Pondasi dan tugas besar Rekayasa Pondasi 2 dapat dijadikan referensi untuk menghitung daya dukung pondasi khususnya pondasi dalam seperti tiang pancang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2021). Pondasi Tiang Pancang. (<https://www.beritakonstruksi.com/2021/02/pengertian-pondasi-tiang-pancang.html>). Diakses 15 Agustus 2024.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2008). Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT, SNI 4153:2008.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2016). Pembebanan Untuk Jembatan, SNI 1725:2016.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, SNI 1726:2019.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2019). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, SNI 2847:2019.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2020). Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain, SNI 1727:2020.
- Bowles, J.E. (1996). *Foundation Analysis and Design*, 5th Edition. McGraw-Hill.
- Chopra, A.K. (2019). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 5th Edition. Pearson.
- Cintra, J.C.A., and Aoki, N. (2003). *Fundações: Teoria e Prática*. Oficina de Textos.
- Coduto, D.P. (2001). *Foundation Design: Principles and Practices*, 2nd Edition. Prentice Hall.
- Das, B.M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*, 7th Edition. Cengage Learning.
- Decourt, L. (1996). "Prediction of Load-Settlement Relationships for Foundations on the Basis of the SPT." *Proceedings of the 2nd International Symposium on Penetration Testing (ISOPT-2)*, Amsterdam.
- Gunawan, I. (1991). *Teknik Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C., 1996. Teknik Pondasi I, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2002. Mekanika Tanah I, Yogyakarta: Gajah Mada Universitas Press.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). Analisis dan Perancangan Pondasi Bagian I, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2015). Analisis dan Perancangan Pondasi II, Gramedia Pustaka Utama. Yogyakarta.
- Holmes, J.D. (2001). *Wind Loading of Structures*, 2nd Edition. Taylor and Francis.
- Hutomo, M. S. (2020). Pelabuhan: Pengertian dan Fungsinya. (<https://indomaritim.id/pelabuhan-pengertian-dan-fungsinya/#:~:text=Pelabuhan%2C%20menurut%20Peraturan%20Pemerintah%20Republik%20Indonesia%20No.69%20Tahun,sebagai%20tempat%20perpindahan%20intra%20dan%20antar%20moda%20transportasi>). Diakses 15 Agustus 2024.

- Lunne, T., Robertson, P. K., and Powell, J. J. M. (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Partice. Blackie Academic and Professional, 312.
- Luthfiani, Fachridia, Ilham Nurhuda, Indrastono Dwi Atmanto. 2017. Analisis Penurunan Bangunan Pondasi Tiang Pancang dan Rakit pada Proyek Pembangunan Apartemen Surabaya Central Business District. Jurnal Karya Teknik Sipil, 6(2), pp. 166-179.
- McCormac, J. C., and BROWN, R. H. (2015). Design of reinforced concrete by Jack C. McCormac, Clemson University, Russell H. Brown, Clemson University.
- Meyerhof, G.G. (1956). "Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 82(1), 1-19.
- Philipponnat, G. 1980. Methode pratique de calcul d'un pieu isole a l'aide du penetrometre statique. Rev Fr Ge'otech10:55-64.
- Poulos, H. G. and Davis, E.H. 1980. Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons, New York.
- Riadi, Muchlisin. (2021). Definisi, Jenis dan Klasifikasi Tanah. (<https://www.kajianpustaka.com/2021/04/definisi-jenis-dan-klasifikasi-tanah.html>). Diakses 15 Agustus 2024.
- Riadi, Muchlisin. (2020). Pondasi (Pengertian, Aspek, Jenis-jenis dan Pembebanan). (<https://www.kajianpustaka.com/2020/11/pondasi.html#:~:text=1.%20Sardjono,%20H.S.%201988>). Diakses 16 Agustus 2024.
- Robertson, P. K., and Cabal (Robertson), K. L. (2010). Guide To Cone Penetration. 138.
- Sardjono, H.S. (1988). Pondasi Tiang Pancang, Sinar Wijaya. Surabaya.
- Schmertmann, J.H., and Nottingham, L.C. (1975). "The Mechanical Behavior of Sands Under Foundations," Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, 2, 119-134.
- Simorangkir, Simon Petrus. (2021). Analisis Penyelidikan Tanah Perencanaan Pembangunan Pasar Baru Di Penyabungan Kabupaten Mandailing Natal Sumatera Utara. Buletin Utama Teknik, Vol. 16, No. 3: 186-194. Kisaran Timur.
- Syukri, M., Amiruddin, F., dan Siregar, C.A. (2022). Analisa Daya Dukung Tanah Untuk Pondasi Bored Pile Di Titik ABT 1+573 Dan ABT 1+838 Dalam Proyek Jembatan Kereta Api Layang Medan-Binjai. Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS), Vol.2: No.1: 50-73. Bandung.
- Taranath, B. S. (2010). *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*. CRC Press.
- Titi, H, et al, 1999. Evaluation Of Bearing Capacity Of Piles From Cone Penetartion Test, Lousina Trasnportation Research Center.
- Tobing, D.L. (2019). Analisis Daya Dukung Pondasi Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Gedung Wahid Hasyim Apartmen Medan. Tugas Akhir, Universitas Medan Area. Medan.
- Vidayanti, D., Simatupang, P.T., dan Silalahi, S. (2013). Sebaran Nilai N-SPT Dengan Parameter Kuat Geser Tanah Terhadap Grafik Korelasi Yang Ada. Seminar Nasional III Teknik Sipil, Jakarta Barat.

Wismantaraharjo, M. Toha, Suradji Gandi, Fatma Sarie. 2020. Analisis Daya Dukung dan Penurunan Tiang Pancang Kelompok pada Proyek Pembangunan Gedung DPRD di Kota Palangka Raya. Jurnal Teknik, 3(2), pp. 198-207.

LAMPIRAN

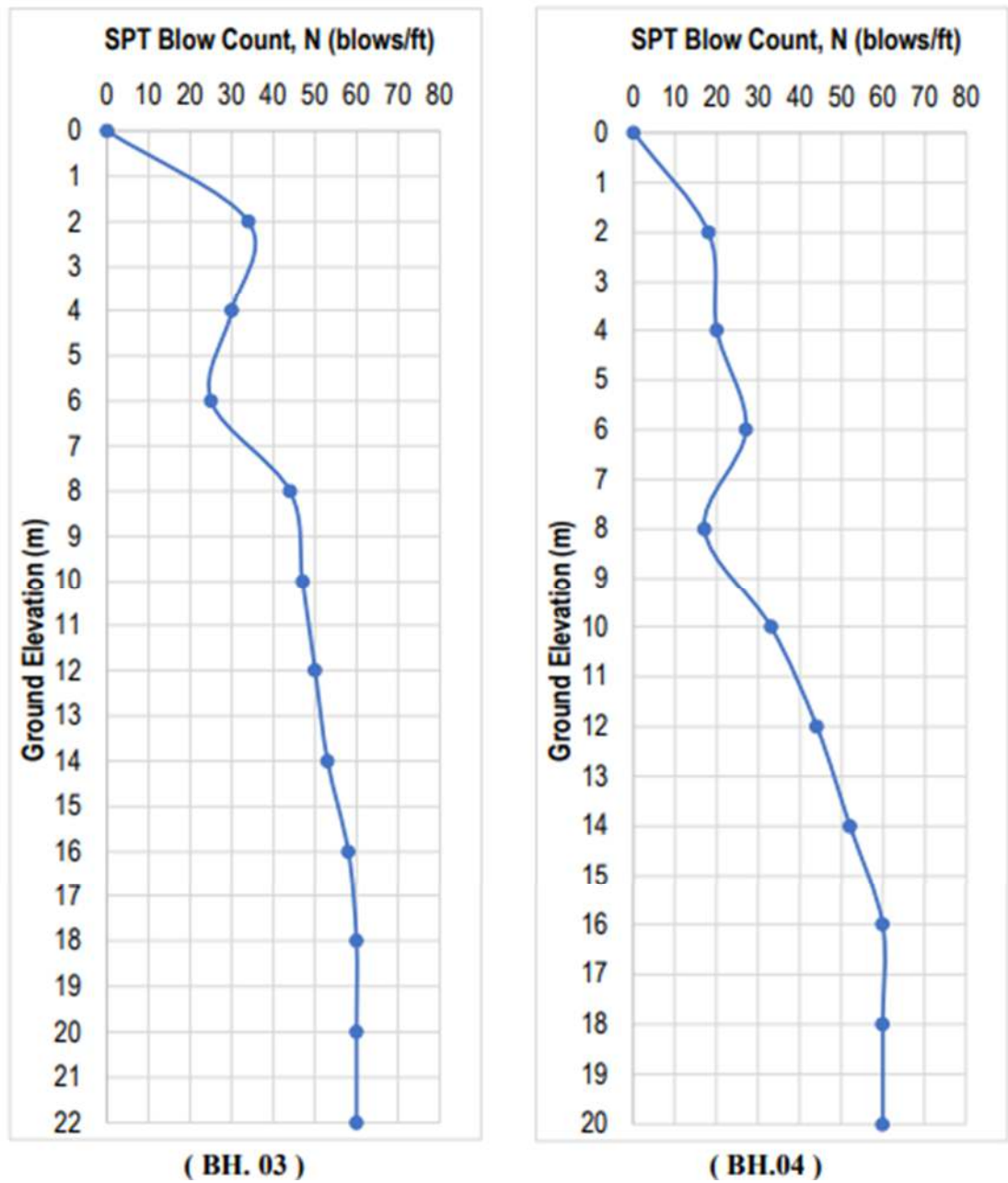
Lampiran 1 Data Hasil Uji Boring dan SPT BH.03

Boring No.	Soil Unit Number (meter)		Description	SPT No	Sub Soil Unit Number (meter)	Consistency / Density	N-SPT (Blows/30 cm)
BH-03	1.0	0.00 - 1.00	Lempung Berbatu dan Berpasir	0	0.00 - 1.00	-	-
	2.0	1.00 - 2.00	Lempung Berbatu dan Berpasir	1	2.0	Padat	34
	4.0	2.00 - 4.00	Lempung Berbatu dan Berpasir	2	4.0	Kepadatan Sedang	30
	6.0	4.00 - 6.00	Lempung Berpasir	3	6.0	Kepadatan Sedang	25
	8.0	6.00 - 8.00	Lempung Berpasir	4	8.0	Padat	44
	10.0	8.00 - 10.00	Lempung Berpasir	5	10.0	Padat	47
	12.0	10.00 - 12.00	Lempung Berpasir dan Berbatu	6	12.0	Padat	50
	14.0	12.00 - 14.00	Lempung Berpasir dan Berbatu	7	14.0	Sangat Padat	53
	16.0	14.00 - 16.00	Lempung Berpasir dan Berbatu	8	16.0	Sangat Padat	58
	18.0	16.00 - 18.00	Lempung Berpasir	9	18.0	Sangat Padat	60
	20.0	18.00 - 20.00	Lempung Berpasir	10	20.0	Sangat Padat	60
	22.0	20.00 - 22.00	Lempung Berpasir	11	22.0	Sangat Padat	60

Lampiran 2 Data Hasil Uji Boring dan SPT BH.04

Boring No.	Soil Unit Number (meter)		Description	SPT No	Sub Soil Unit Number (meter)	Consistency / Density	N-SPT (Blows/30 cm)
BH-04	1.0	0.00 - 1.00	Lempung Berbatu dan Berpasir	0	0.00 - 1.00	-	-
	2.0	1.00 - 2.00	Lempung Berbatu dan Berpasir	1	2.0	Kepadatan Sedang	18
	4.0	2.00 - 4.00	Lempung Berpasir	2	4.0	Kepadatan Sedang	20
	6.0	4.00 - 6.00	Lempung Berpasir	3	6.0	Kepadatan Sedang	27
	8.0	6.00 - 8.00	Lempung Berpasir	4	8.0	Kepadatan Sedang	17
	10.0	8.00 - 10.00	Lempung Berpasir	5	10.0	Padat	33
	12.0	10.00 - 12.00	Batu Berpasir	6	12.0	Padat	44
	14.0	12.00 - 14.00	Pasir Berlempung	7	14.0	Sangat Padat	52
	16.0	14.00 - 16.00	Pasir Berlempung	8	16.0	Sangat Padat	60
	18.0	16.00 - 18.00	Pasir Berlempung	9	18.0	Sangat Padat	60
	20.0	18.00 - 20.00	Pasir Berlempung	10	20.0	Sangat Padat	60

Lampiran 3 Grafik Hasil Pengujian SPT



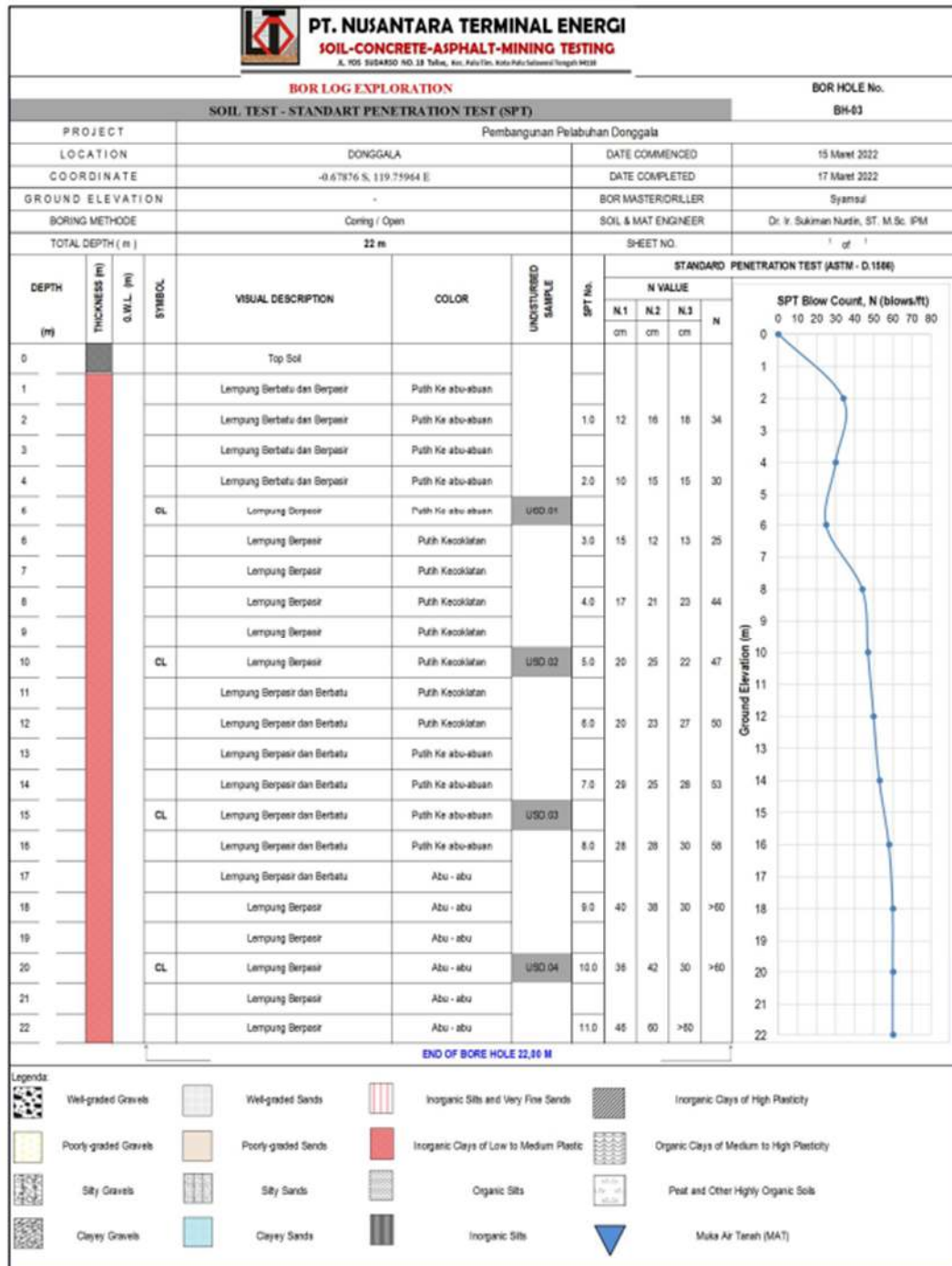
Lampiran 4 Hasil Pengujian Laboratorium BH.03

Hasil Pengujian Lab Proyek Pembangunan Pelabuhan Donggala						
No	Jenis Pengujian	Parameter/ Simbol	Satuan	Hasil	Kedalaman Sampel (m)	Kode Sampel
1	Borehole 3					
	1. Kadar Air					
	Kadar air	w	%	11.890	04.45-05.00 m	BH.03 UDS-1
	Kadar air	w	%	14.530	09.00-09.55 m	BH.03 UDS-2
	Kadar air	w	%	16.190	14.45-15.00 m	BH.03 UDS-3
	Kadar air	w	%	18.290	19.00-19.55 m	BH.03 UDS-4
	2. Berat Jenis					
	Berat Jenis	G _s		2.664	04.45-05.00 m	BH.03 UDS-1
	Berat Jenis	G _s		2.613	09.00-09.55 m	BH.03 UDS-2
	Berat Jenis	G _s		2.678	14.45-15.00 m	BH.03 UDS-3
	Berat Jenis	G _s		2.698	19.00-19.55 m	BH.03 UDS-4
	3. Analisa Saringan					
	Persentase Tertahan	#200	%	99.60	04.45-05.00 m	BH.03 UDS-1
	Persentase Lolos	#200	%	0.40		
	Persentase Tertahan	#200	%	97.80	09.00-09.55 m	BH.03 UDS-2
	Persentase Lolos	#200	%	2.20		
	Persentase Tertahan	#200	%	98.20	14.45-15.00 m	BH.03 UDS-3
	Persentase Lolos	#200	%	1.80		
	Persentase Tertahan	#200	%	98.20	19.00-19.55 m	BH.03 UDS-4
	Persentase Lolos	#200	%	1.80		
	4. Batas Batas Atterberg					
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	04.45-05.00 m	BH.01 UDS-1
	Batas Plastis	PL	%			
	Indeks Plastis	IP	%			
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	09.00-09.55 m	BH.01 UDS-2
	Batas Plastis	PL	%			
	Indeks Plastis	IP	%			
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	14.45-15.00 m	BH.01 UDS-3
	Batas Plastis	PL	%			
	Indeks Plastis	IP	%			
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	19.00-19.55 m	BH.01 UDS-4
	Batas Plastis	PL	%			
	Indeks Plastis	IP	%			
	5. Geser Langsung					
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.046	04.45-05.00 m	BH.01 UDS-1
	Sudut Geser	φ	°	35.477		
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.049	09.00-09.55 m	BH.01 UDS-2
	Sudut Geser	φ	°	37.470		
	Kohesi	c	kg/cm ³	0.100	14.45-15.00 m	BH.01 UDS-3
	Sudut Geser	φ	°	32.293		
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.099	19.00-19.55 m	BH.01 UDS-4
	Sudut Geser	φ	°	32.838		

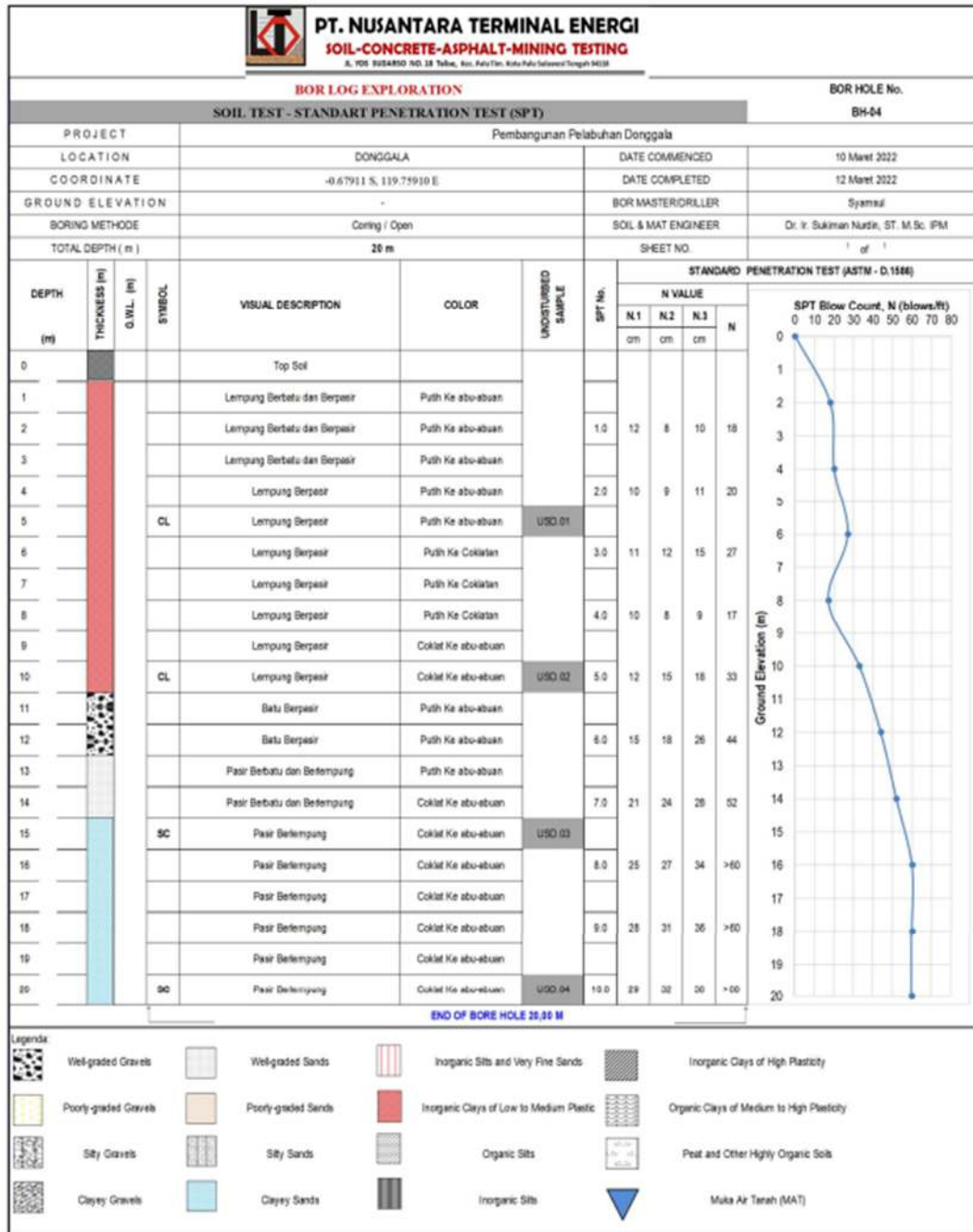
Lampiran 5 Hasil Pengujian Laboratorium BH.04

Hasil Pengujian Lab Proyek Pembangunan Pelabuhan Donggala							
No	Jenis Pengujian	Parameter/ Simbol	Satuan	Hasil	Kedalaman Sampel (m)	Kode Sampel	
1	Borehole 4						
	1. Kadar Air						
	Kadar air	w	%	13.220	04.45-05.00 m	BH.04 UDS-1	
	Kadar air	w	%	13.370	09.00-09.55 m	BH.04 UDS-2	
	Kadar air	w	%	15.040	14.45-15.00 m	BH.04 UDS-3	
	Kadar air	w	%	19.170	19.00-19.55 m	BH.04 UDS-4	
	2. Berat Jenis						
	Berat Jenis	Gs		2.663	04.45-05.00 m	BH.04 UDS-1	
	Berat Jenis	Gs		2.665	09.00-09.55 m	BH.04 UDS-2	
	Berat Jenis	Gs		2.665	14.45-15.00 m	BH.04 UDS-3	
	Berat Jenis	Gs		2.663	19.00-19.55 m	BH.04 UDS-4	
	3. Analisa Saringan						
	Persentase Tertahan	#200	%	95.80	04.45-05.00 m	BH.04 UDS-1	
		Persentase Lolos	#200	%			4.20
	Persentase Tertahan	#200	%	98.20	09.00-09.55 m	BH.04 UDS-2	
		Persentase Lolos	#200	%			1.80
	Persentase Tertahan	#200	%	99.80	14.45-15.00 m	BH.04 UDS-3	
		Persentase Lolos	#200	%			0.20
	Persentase Tertahan	#200	%	98.40	19.00-19.55 m	BH.04 UDS-4	
		Persentase Lolos	#200	%			1.60
	4. Batas Batas Atterberg						
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	04.45-05.00 m	BH.01 UDS-1	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	09.00-09.55 m	BH.01 UDS-2	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	14.45-15.00 m	BH.01 UDS-3	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	Batas Cair	LL	%	Non Plastis (NP)	19.00-19.55 m	BH.01 UDS-4	
		Batas Plastis	PL				%
		Indeks Plastis	IP				%
	5. Geser Langsung						
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.047	04.45-05.00 m	BH.01 UDS-1	
		Sudut Geser	φ	°			44.468
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.035	09.00-09.55 m	BH.01 UDS-2	
		Sudut Geser	φ	°			39.818
	Kohesi	c	kg/cm ³	0.021	14.45-15.00 m	BH.01 UDS-3	
		Sudut Geser	φ	°			43.268
	Kohesi	c	kg/cm ²	0.037	19.00-19.55 m	BH.01 UDS-4	
		Sudut Geser	φ	°			39.359

Lampiran 6 Hasil Pengujian Lapangan BH.03



Lampiran 7 Hasil Pengujian Lapangan BH.04



Lampiran 8 Tabel Data Uji CPT



QUALITY CONTROL FOR
CDC/ RAPID IMPACT COMPACTION WORK

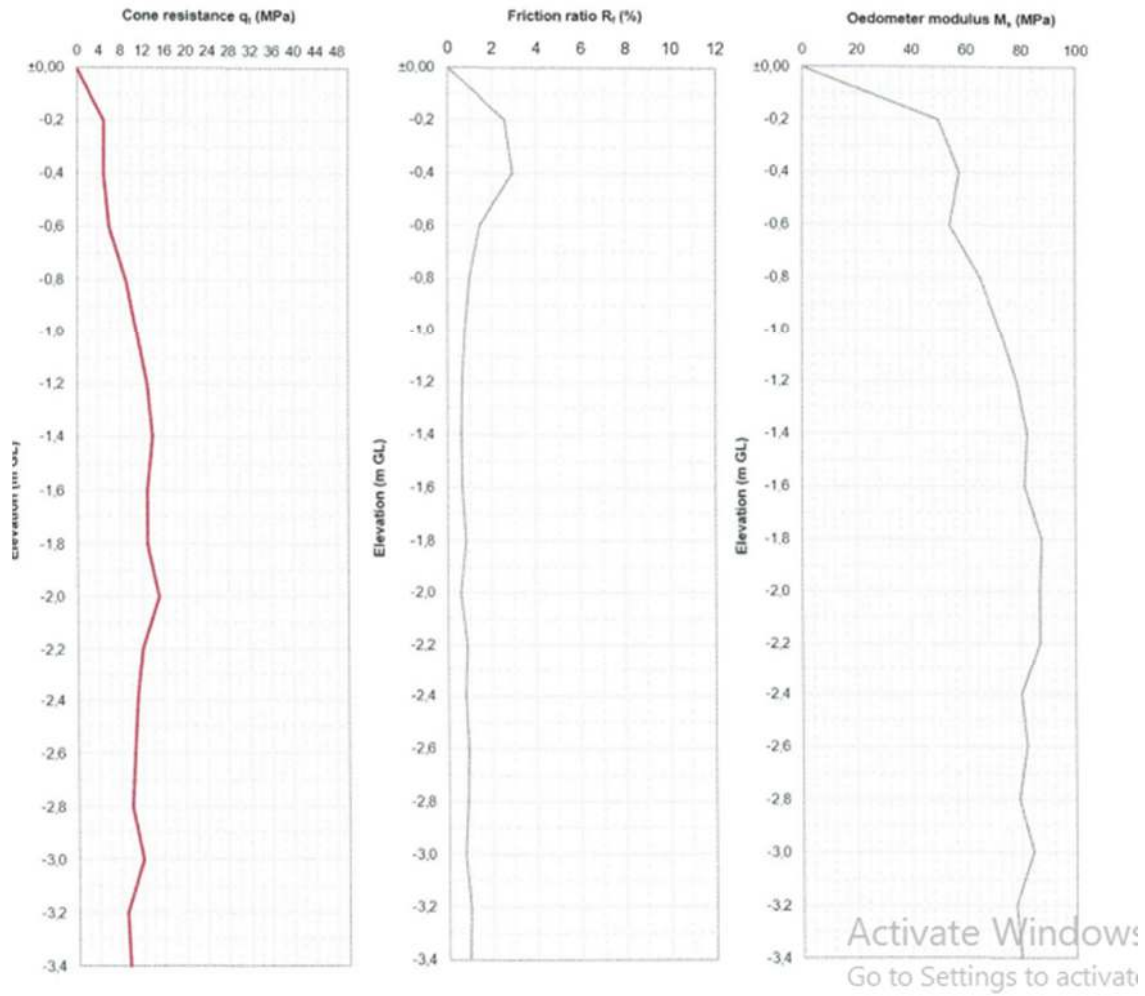


Tabel 1 Data Uji CPT

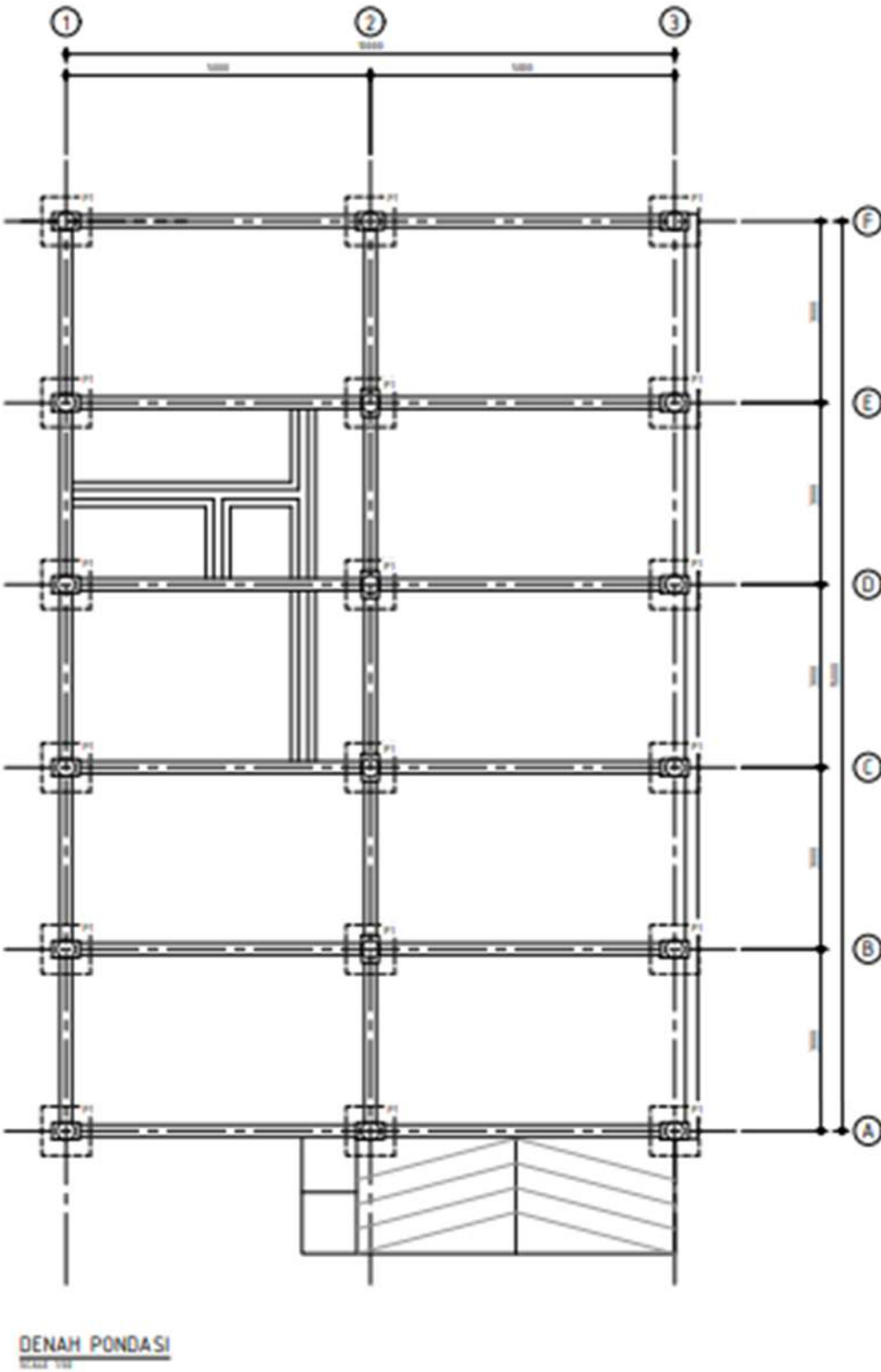
Depth (m)	qc (MPa)	fs (kg/cm ²)	fs (kPa)	Rf (%)	Ic	Soil Behaviour Type
0	0,0	0,000	0,000			
0.2	5,0	1,298	129,808	2,60	1,67	Very stiff sand to clayey sand
0.4	5,0	1,471	147,115	2,94	1,81	Very stiff sand to clayey sand
0.6	6,0	0,865	86,538	1,44	1,57	Clean sand to silty sand
0.8	9,0	0,865	86,538	0,96	1,39	Clean sand to silty sand
1	11,0	0,865	86,538	0,79	1,32	Clean sand to silty sand
1.2	13,0	0,865	86,538	0,67	1,27	Clean sand to silty sand
1.4	14,0	0,865	86,538	0,62	1,26	Clean sand to silty sand
1.6	13,0	0,865	86,538	0,67	1,33	Clean sand to silty sand
1.8	13,0	1,038	103,846	0,80	1,41	Clean sand to silty sand
2	15,0	0,865	86,538	0,58	1,28	Clean sand to silty sand
2.2	12,0	1,038	103,846	0,87	1,49	Clean sand to silty sand
2.4	11,0	0,865	86,538	0,79	1,50	Clean sand to silty sand
2.6	10,5	0,952	95,192	0,91	1,57	Clean sand to silty sand
2.8	10,0	0,865	86,538	0,87	1,59	Clean sand to silty sand
3	12,0	0,865	86,538	0,72	1,49	Clean sand to silty sand
3.2	9,0	0,865	86,538	0,96	1,68	Clean sand to silty sand
3.4	9,5	0,865	86,538	0,91	1,66	Clean sand to silty sand

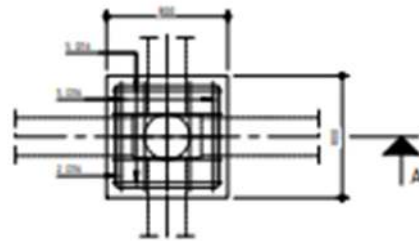
Activate Windows

Lampiran 9 Grafik Hasil Pengujian CPT



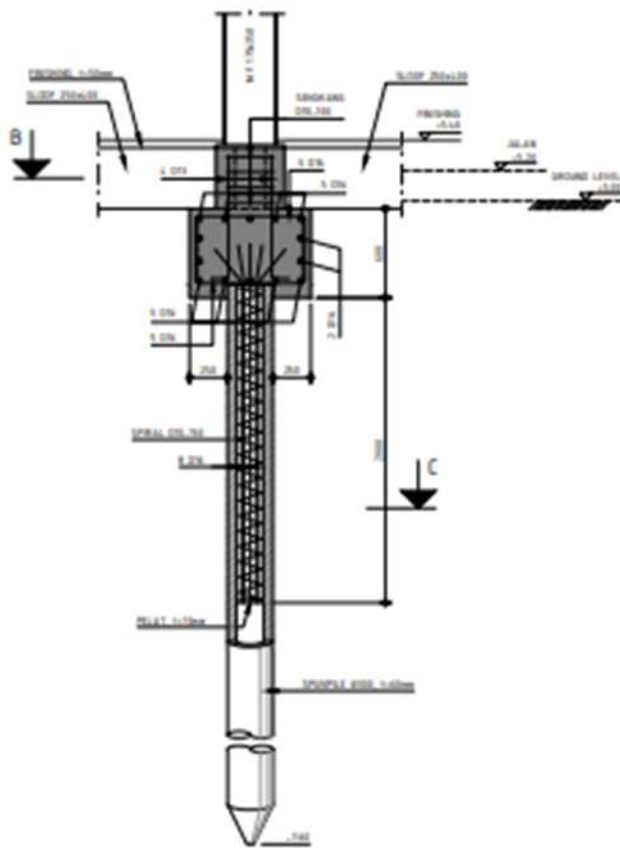
Lampiran 10 Data Perencanaan Pondasi Gedung Damkar





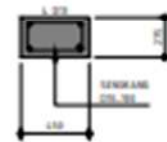
DETAIL PONDASI - P1

SCALE 1:20



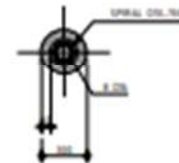
POTONGAN A

SCALE 1:20



POTONGAN B

SCALE 1:20



POTONGAN C

SCALE 1:20

Lampiran 11 Spesifikasi Mobil Pemadam Kebakaran

NO	Uraian	Keterangan / Gambar
	FIRE TRUCK WATER TENDER JA 10.000 W 1. CHASSIS : Standar Chassis : Single cabin Merk/Type : FN 517 ML2 Dimensi : Jarak Sumbu Roda : 5450 mm Tinggi Keseluruhan : 2725 mm lebar total : 2410 mm Spesifikasi teknis : GVW : 21.000 kgs Drive : 6 X 2 Engine : Engine model : 6D16-3AT2 cylinder : Diesel 4 langkah segaris,direc Injection Diesel;Turbo intercooler displacement : 7.545 cc net out put : 220 PS at 2.800 rpm max torque : 65 kgm at 1400 rpm Transmisi : model : Manual (M8S2x5)	
	KABIN AWAK / SINGLE CABIN • Dibelakang Cabin utama dibuat satu kompartement terbuka yang difungsikan sebagai jok untuk crew. • Di kompartement terbuka jok dapat diisi petugas pemadam dan dilengkapi dengan sabuk pengaman / safety belt.	

Lampiran 12 Gedung Damkar pada Proyek Rekonstruksi Pelabuhan Donggala

