

**PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON*
PILE PELABUHAN SOFYANIN, KABUPATEN
KEPULAUAN TANIMBAR, PROVINSI MALUKU**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Syarat Untuk Menempuh Program Sarjana Strata 1
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Perencanaan dan Arsitektur
Universitas Winaya Mukti

Disusun oleh:

Nama : Windi Febriani

NPM : 4122321110011



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PERENCANAAN DAN ARSITEKTUR
UNIVERSITAS WINAYA MUKTI**

2025

**FAKULTAS TEKNIK PERENCANAAN DAN ARSITEKTUR
UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
BANDUNG**



Nama : Windi Febriani
NPM : 4122321110011
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Perancangan Struktur Dermaga *Deck On Pile* Pelabuhan
Sofyanin, Kabupaten Kepulauan Tanimbar, Provinsi
Maluku

TANDA PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Bandung, Agustus 2025

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

NIDN. 0408058906

Pembimbing Pertama

Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

NIDN. 0408058906



Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Perencanaan Dan Arsitektur
Universitas Winaya Mukti

Pernyataan Tidak Mencontek atau Melakukan Tindakan Plagiat

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul :

**“PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON PILE*
PELABUHAN SOFYANIN, KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU”**

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya.

Bandung, Agustus 2025

(jangan lupa ditanda-tangani diatas materai)

Windi Febriani
4122321110011

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN, KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR, PROVINSI MALUKU

Windi Febriani

Program Studi Teknik Sipil

Universitas Winaya Mukti

Jalan Pahlawan No. 69 Bandung

windifbrn823@gmail.com

ABSTRAK

Pelabuhan Sofyanin merupakan salah satu pelabuhan pengumpan lokal yang terletak di Kabupaten Kepulauan Tanimbar, Provinsi Maluku. Meskipun tingkat transportasi penumpang dan barang menuju maupun dari Pulau Fordata cukup tinggi, ketiadaan fasilitas pelabuhan menyebabkan aktivitas masih dilakukan dengan kapal berlabuh di lepas pantai, sehingga menghambat kelancaran arus transportasi laut. Oleh karena itu, perencanaan pembangunan Pelabuhan Sofyanin menjadi penting untuk meningkatkan konektivitas antarwilayah, mendukung sektor pariwisata, serta mempercepat mobilitas barang dan penumpang di Kepulauan Tanimbar.

Tugas Akhir ini mencakup perencanaan *layout* dermaga, dimensi dan elemen struktural dermaga serta trestle, pemodelan struktur, desain penulangan, dan analisis daya dukung tanah. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan kapal terbesar KM Sabuk Nusantara 73 dengan bobot 2.077 GT. Hasil perencanaan menunjukkan dermaga berukuran 80 x 10 m (2 segmen) yang dihubungkan trestle 183 x 8 m (3 segmen). Hasil pemodelan menghasilkan nilai *unity check ratio* (UCR) optimum sebesar 0,446 untuk dermaga dan 0,443 untuk trestle dengan defleksi memenuhi batas izin. Gaya dalam elemen struktural dari keluaran SAP2000 digunakan untuk merancang penulangan elemen struktural dan reaksi perletakan digunakan untuk menentukan kedalaman tiang pancang.

Kata Kunci: Dermaga, *Deck On Pile*, Pemodelan Struktur, Daya Dukung.

PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN, KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR, PROVINSI MALUKU

Windi Febriani

Program Studi Teknik Sipil

Universitas Winaya Mukti

Jalan Pahlawan No. 69 Bandung

windifbrn823@gmail.com

ABSTRACT

Sofyanin Port is a local feeder port located in the Kepulauan Tanimbar, Province of Maluku. Although the level of passenger and cargo transportation to and from Fordata Island is relatively high, the absence of port facilities forces ships to anchor offshore, causing disruptions in the smooth flow of sea transportation. Therefore, the development of Sofyanin Port is essential to improve interregional connectivity, support tourism development, and accelerate the movement of goods and passengers in the Tanimbar Islands.

This Final Project covers the planning of wharf layout, structural dimensions and elements of wharf and trestle, structural modeling, reinforcement design, and soil bearing capacity analysis. Structural analysis was carried out using SAP2000 software with the largest design vessel being KM Sabuk Nusantara 73, weighing 2077 GT. The planning results indicate that the wharf has dimensions of 80×10 m (2 segments), connected to a trestle of 183×8 m (3 segments). Structural modeling produced optimum unity check ratio (UCR) values of 0.446 for the wharf and 0.443 for the trestle, with deflections within allowable limits. The internal forces obtained from SAP2000 were used to design the reinforcement of structural elements, while the support reactions were used to determine the pile foundation depth.

Key Word: *Wharf, Deck On Pile, Structure Modeling, Bearing Capacity.*

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, segala rahmat dan karunia-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas laporan tugas akhir **PERANCANGAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN, KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR, PROVINSI MALUKU** dengan baik. Laporan ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan tahap Pendidikan Sarjana di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Perencanaan dan Arsitektur Universitas Winaya Mukti.

Laporan Tugas Akhir ini berhasil disusun dengan tidak terlepas dari doa dan dukungan berbagai pihak. Penulis berterima kasih kepada :

1. **Tuhan Yang Maha Esa** yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta kelancaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studi tepat waktu di Program Studi Teknik Sipil Universitas Winaya Mukti ini.
2. Ibu **Titin Supriatin** dan Bapak **Dedih** sebagai orang tua penulis. Terima kasih atas segala doa serta dukungannya kepada penulis. Segala hal yang telah diberikan kepada penulis selama ini tidak akan tergantikan oleh apapun. Doakan agar selalu bisa membanggakan, membahagiakan dan mewujudkan harapan Ibu Bapak.
3. **Refan Dwi Afriansyah** sebagai adik kandung penulis. Sehat selalu dan cepat diberi Hidayah agar tidak menyebalkan.
4. **Edwar Hafudiansyah, S.Pd.,M.T.** selaku dosen pembimbing dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Winaya Mukti. Terima kasih atas segala bimbingan, ilmu, dan motivasi dari Bapak selama penulis kuliah di Program Studi Teknik Sipil, khususnya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
5. **Lucky Amperawan Schipper, S.T.,M.T.** selaku dosen wali. Terima kasih atas segala bantuan, arahan, ilmu, motivasi, dan dampingannya selama menjadi mahasiswa Teknik Sipil.

6. Seluruh dosen Teknik Sipil Universitas Winaya Mukti yang memberi ilmu dan membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini secara langsung maupun tidak langsung.
7. **Lucky Aditya SK.** Terima kasih sudah kebersamaan selama ini. Terima kasih atas kesabaran yang luar biasa, bantuan, semangat dan motivasinya selama mengerjakan Tugas Akhir ini. Maaf bila penulis sering merepotkan juga jika ada perkataan maupun perbuatan yang kurang berkenan. Semoga selalu sehat, bahagia dan selalu ada nama penulis di dalam hari-hari mu.
8. **Juang Bela Negara.** Terimakasih sudah membantu dalam memberikan saran dan arahan untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
9. **Gina Mulyani** dan **Zakiyatul Nupus** selaku *member of* gais. Terima kasih sudah menjadi *partner* segala cerita kisah perkuliahan, cinta dan perduniawian selama ini. Semoga sukses dan menjadi wanita-wanita tangguh.
10. **Nisrina Nadhifah** sipil 20. Terima kasih sudah membantu memberikan referensi-refensi tugas-tugas selama kuliah.
11. **Teman-teman SIPIL 2021.** Terima kasih sudah menemani, memberikan dukungan, motivasi secara langsung maupun tidak langsung, selama penulis kuliah hingga selesai mengerjakan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan. Selain itu, penulis juga menerima saran dan kritik yang membangun atas laporan ini. Akhir kata, penulis berharap agar Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pihak-pihak yang membaca, khususnya untuk kepentingan keilmuan di bidang Teknik Sipil.

Bandung, 22 Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Pelabuhan.....	5
2.1.1 Peran dan Fungsi Pelabuhan	5
2.1.2 Hierarki Pelabuhan	6
2.2 Dermaga.....	9
2.2.1 Tipe Dermaga	9
2.2.2 Jenis Struktur Dermaga.....	11
2.3 Karakteristik Kapal.....	12
2.4 Dimensi Dermaga	13
2.4.1 Panjang Dermaga.....	14
2.4.2 Lebar Dermaga	14
2.4.3 Elevasi Dermaga	14
2.4.4 Kedalaman Dermaga.....	15
2.5 Beban Vertikal.....	15
2.5.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	15
2.5.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	16

2.5.3	Beban <i>Uplift</i>	18
2.6	Beban Horizontal.....	18
2.6.1	Beban <i>Berthing</i>	18
2.6.2	Beban <i>Mooring</i>	24
2.7	Beban Lingkungan.....	28
2.7.1	Beban Gelombang.....	28
2.7.2	Beban Arus.....	30
2.7.3	Beban Gempa.....	31
2.8	Kombinasi Pembebanan.....	38
2.9	Pemodelan Analisa Struktur.....	39
2.9.1	Pendefinisian Struktur.....	39
2.9.2	Geometri Struktur.....	44
2.9.3	Pembebanan.....	44
2.9.4	Defleksi.....	45
2.9.5	<i>Unity Check Ratio</i>	45
2.9.6	Gaya Dalam.....	45
2.10	Penulangan Struktur.....	47
2.10.1	Tulangan Lentur.....	47
2.10.2	Tulangan Geser.....	52
2.10.3	<i>Punching Shear</i>	56
2.11	Daya Dukung Tanah.....	58
2.11.1	Daya Dukung Ujung Tiang.....	59
2.11.2	Daya Dukung Friksi Tiang.....	60
2.11.3	Daya Dukung Izin Tanah.....	63
2.11.4	Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang.....	63
2.11.5	<i>Negative Skin Friction</i>	64
2.11.6	<i>Fixity Point</i>	66
BAB III	METODOLOGI.....	68
3.1	Lokasi Perencanaan.....	68
3.2	Metode Pengumpulan Data.....	68
3.3	Metode Penelitian.....	69

3.3.1	Studi Literatur	69
3.3.2	Pengumpulan Data	70
3.3.3	Pemodelan Struktur.....	71
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		73
4.1	Penyajian Data	73
4.1.1	Data Pasang Surut	73
4.1.2	Data Arus	76
4.1.3	Data Angin.....	78
4.1.4	Data Gelombang	80
4.1.5	Data Bathimetri.....	83
4.1.6	Data Tanah.....	83
4.1.7	Data Karakteristik Kapal	84
4.2	Pembebanan.....	85
4.2.1	Beban Horizontal	85
4.2.2	Beban Vertikal	96
4.2.3	Beban Lingkungan.....	98
4.2.4	Kombinasi Beban.....	102
4.3	Perancangan Layout dan Dimensi Dermaga.....	102
4.3.1	Orientasi Dermaga	102
4.3.2	Dimensi Dermaga	103
4.3.3	Dimensi Trestle.....	105
4.3.4	Dimensi Fasilitas Perairan	106
4.3.5	Dimensi Elemen Stuktur Dermaga	106
4.4	Pemodelan dan Analisa Struktur	119
4.4.1	<i>Input</i> Pemodelan	119
4.4.2	Pemodelan Dermaga Segmen 1	121
4.4.3	Pemodelan Dermaga Segmen 2	127
4.4.4	Pemodelan Trestle Segmen 1.....	131
4.4.5	Pemodelan Trestle Segmen 2.....	135
4.4.6	Pemodelan Trestle Segmen 3.....	138
4.5	Desain Penulangan Elemen Struktur	142

4.5.1	Desain Penulangan Struktur Dermaga.....	142
4.5.2	Desain Penulangan Struktur Trestle	150
4.5.3	Perhitungan <i>Punching Shear</i>	157
4.6	Daya Dukung Tanah.....	158
4.6.1	Daya Dukung Tanah Trestle	158
4.6.2	Daya Dukung Tanah Dermaga	161
4.6.3	<i>Negative Skin Friction</i> (NSF)	163
BAB V PENUTUP.....		167
5.1	Kesimpulan.....	167
5.2	Saran	171
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Beban Hidup Merata.....	17
Tabel 2.2 Nilai Koefisien Blok	22
Tabel 2.3 Faktor Keamanan untuk Energi Labuh	23
Tabel 2.4 Koefisien Seret Angin.....	25
Tabel 2.5 Penentuan Jarak Antar <i>Bollard</i>	28
Tabel 2.6 Koefisien Seret.....	30
Tabel 2.7 Koefisien Inersia	30
Tabel 2.8 Klasifikasi Situs	32
Tabel 2.9 Faktor Amplifikasi Periode Pendek F_a	35
Tabel 2.10 Faktor Amplifikasi Periode 1 Detik F_v	35
Tabel 2.11 Faktor Keutamaan Gempa	38
Tabel 2.12 Periode Pendekatan C_t dan α	38
Tabel 2.13 Batas Defleksi Izin	45
Tabel 2.14 Geometri Kait Untuk Penyaluran Batang Ulir.....	55
Tabel 2.15 Geometri Kait Untuk Penyaluran Tulangan Sengkan.....	56
Tabel 2.16 Nilai K Berdasarkan Tipe <i>Pile</i>	61
Tabel 2.17 Nilai Faktor Adhesi.....	62
Tabel 4.1 Konstituen Harmonik Pasang Surut.....	74
Tabel 4.2 Nilai Elevasi Penting Pasang Surut.....	75
Tabel 4.3 Kecepatan Angin Maksimum di Pelabuhan Sofyanin	79
Tabel 4.4 Analisis Ekstrem Kecepatan Angin (2009 – 2023).....	80
Tabel 4.5 Tinggi Gelombang Maksimum di Pelabuhan Sofyanin.....	81
Tabel 4.6 Analisis Ekstrem Tinggi Gelombang (2009 – 2023)	81
Tabel 4.7 Tinggi Gelombang Maksimum Hasil Pemodelan.....	82
Tabel 4.8 Persentase Kejadian Gelombang di Pelabuhan Sofyanin	82
Tabel 4.9 Spesifikasi Kapal Rencana.....	85
Tabel 4.10 Dimensi dan Analisa Kapal Rencana.....	85
Tabel 4.11 Tipe Fender	88

Tabel 4.12 Nilai Koefisien Seret Angin.....	90
Tabel 4.13 Perhitungan <i>Mooring Force</i> Akibat Beban Angin.....	90
Tabel 4.14 Perhitungan <i>Mooring Force</i> Akibat Beban Arus.....	92
Tabel 4.15 Total <i>Mooring Force</i>	92
Tabel 4.16 Gaya Tambat Sesuai Bobot Kapal	94
Tabel 4.17 Dimensi <i>Bollard Tipe Straight</i> 35 Ton	95
Tabel 4.18 Perhitungan Rata-Rata N-SPT	98
Tabel 4.19 Lebar Bersih Jembatan.....	105
Tabel 4.20 Dimensi Fasilitas Perairan	106
Tabel 4.21 Koefisien Momen.....	108
Tabel 4.22 Tinggi Minimum Balok	110
Tabel 4.23 Beban Yang Bekerja Pada Balok	111
Tabel 4.24 Spesifikasi Tiang Pancang Dermaga.....	113
Tabel 4.25 Perhitungan <i>Fixity Point</i> Dermaga.....	114
Tabel 4.26 Faktor Panjang Efektif Elemen Baja.....	116
Tabel 4.27 Beban Yang Bekerja Pada <i>Pile Cap</i>	117
Tabel 4.28 Perhitungan <i>Punching Shear Pile Cap</i>	118
Tabel 4.29 Dimensi <i>Pile Cap</i> Dermaga	119
Tabel 4.30 Spesifikasi <i>Frame</i> Struktur	120
Tabel 4.31 Spesifikasi <i>Area</i> Struktur	120
Tabel 4.32 Rekapitulasi Beban	121
Tabel 4.33 Elemen Struktur Dermaga Segmen 1	121
Tabel 4.34 <i>Stress Ratio</i> Dermaga Segmen 1	125
Tabel 4.35 Defleksi Dermaga Segmen 1.....	126
Tabel 4.36 Elemen Struktur Dermaga Segmen 2.....	127
Tabel 4.37 <i>Stress Ratio</i> Dermaga Segmen 2.....	130
Tabel 4.38 Defleksi Dermaga Segmen 2.....	130
Tabel 4.39 Elemen Struktur Trestle Segmen 1	131
Tabel 4.40 <i>Stress Ratio</i> Trestle Segmen 1	133
Tabel 4.41 Defleksi Trestle Segmen 1	134
Tabel 4.42 Elemen Struktur Trestle Segmen 2	135

Tabel 4.43 <i>Stress Ratio</i> Trestle Segmen 2	137
Tabel 4.44 Defleksi Trestle Segmen 2	138
Tabel 4.45 Elemen Struktur Trestle Segmen 3	139
Tabel 4.46 <i>Stress Ratio</i> Trestle Segmen 3	141
Tabel 4.47 Defleksi Trestle Segmen 3	141
Tabel 4.48 Perhitungan Tulangan Pelat Dermaga Arah Sumbu-X.....	143
Tabel 4.49 Perhitungan Tulangan Pelat Dermaga Arah Sumbu-Y	144
Tabel 4.50 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Memanjang Dermaga	145
Tabel 4.51 Perhitungan Tulangan Geser Balok Memanjang Dermaga.....	146
Tabel 4.52 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Melintang Dermaga.....	146
Tabel 4.53 Perhitungan Tulangan Geser Balok Melintang Dermaga	147
Tabel 4.54 Perhitungan Tulangan <i>Pile Cap</i> Dermaga Sumbu-X.....	148
Tabel 4.55 Perhitungan Tulangan <i>Pile Cap</i> Dermaga Sumbu-Y.....	149
Tabel 4.56 Perhitungan Tulangan Pelat Trestle Arah Sumbu-X.....	150
Tabel 4.57 Perhitungan Tulangan Pelat Arah Sumbu-Y.....	151
Tabel 4.58 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Memanjang Trestle.....	152
Tabel 4.59 Perhitungan Tulangan Geser Balok Memanjang Trestle	153
Tabel 4.60 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Melintang Trestle	153
Tabel 4.61 Perhitungan Tulangan Geser Balok Melintang Trestle.....	154
Tabel 4.62 Perhitungan Tulangan <i>Pile Cap</i> Trestle Sumbu-X	155
Tabel 4.63 Perhitungan Tulangan <i>Pile Cap</i> Trestle Sumbu-Y	156
Tabel 4.64 Perhitungan <i>Punching Shear</i> Pelat.....	157
Tabel 4.65 Perhitungan Daya Dukung Tanah Trestle Segmen 1	158
Tabel 4.66 Perhitungan Daya Dukung Tanah Trestle Segmen 2.....	159
Tabel 4.67 Perhitungan Daya Dukung Tanah Trestle Segmen 3	160
Tabel 4.68 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Trestle.....	160
Tabel 4.69 Perhitungan Daya Dukung Tanah Dermaga Segmen 1	161
Tabel 4.70 Perhitungan Daya Dukung Tanah Dermaga Segmen 2	162
Tabel 4.71 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Dermaga	162
Tabel 4.72 Daya Dukung Tanah Kondisi Likuifaksi Trestle Segmen 3	164
Tabel 4.73 Daya Dukung Tanah Kondisi Likuifaksi Dermaga Segmen 1.....	165

Tabel 4.74 Daya Dukung Tanah Kondisi Likuifaksi Dermaga Segmen 2.....	166
---	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Dermaga Tipe <i>Wharf</i> atau <i>Quay</i>	10
Gambar 2.2 Dermaga Tipe <i>Pier</i>	10
Gambar 2.3 Dermaga Tipe <i>Jetty</i>	11
Gambar 2.4 Dermaga <i>Open Berth Structure</i>	12
Gambar 2.5 Dermaga <i>Solid Berth Structure</i>	12
Gambar 2.6 Dimensi Kapal.....	13
Gambar 2.7 Pembebanan Truk.....	18
Gambar 2.8 <i>Side Berthing</i>	19
Gambar 2.9 <i>Dolphin Berthing</i>	19
Gambar 2.10 <i>End Berthing</i>	19
Gambar 2.11 <i>Lock Entrances</i>	20
Gambar 2.12 <i>Ship to Ship Berthing</i>	20
Gambar 2.13 Jarak Antar Fender	23
Gambar 2.14 Koefisien Tekanan Arus.....	26
Gambar 2.15 Tata Letak <i>Mooring</i>	27
Gambar 2.16 Arah Kerja Beban <i>Mooring</i> Pada <i>Bollard</i>	28
Gambar 2.17 Peta Percepatan Tanah Periode 0,2 Detik	34
Gambar 2.18 Peta Percepatan Tanah Periode 1 Detik	34
Gambar 2.19 Grafik Spektrum Respons Desain	36
Gambar 2.20 <i>Define Grids</i>	40
Gambar 2.21 <i>Define Material</i>	41
Gambar 2.22 <i>Define Frame</i>	42
Gambar 2.23 <i>Define Area</i>	43
Gambar 2.24 <i>Define Area Pelat</i>	43
Gambar 2.25 Arah Gaya Dalam pada Balok.....	46
Gambar 2.26 Arah Momen Lentur Pada Pelat	47
Gambar 2.27 Distribusi Tegangan Tekan Pada Beton Bertulang	48
Gambar 2.28 Skema Grafik Nilai Faktor Reduksi	51
Gambar 2.29 Skema Penyaluran Beban pada Tiang Pancang	58

Gambar 2.30 Grafik Hubungan Antara N_q dan ϕ'	59
Gambar 2.31 Kedalaman Kritis Pada Daya Dukung Ujung Tiang	60
Gambar 2.32 Perubahan Nilai Koefisien Friksi Terhadap Kedalaman Tiang	62
Gambar 2.33 Penentuan Nilai β Untuk Perhitungan NSF Pada Tanah Lempung Kondisi <i>Longterm</i>	65
Gambar 2.34 Penentuan Nilai β Untuk Perhitungan NSF Pada Tanah Pasir	66
Gambar 2.35 <i>Fixity Point</i> Dari Tiang Pancang	67
Gambar 3.1 Lokasi Pelabuhan Sofyanin	68
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	72
Gambar 4.1 Lokasi Pengamatan Pasang Surut	73
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengamatan Pasang Surut	74
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Pengamatan dengan Hasil Analisis	76
Gambar 4.4 Lokasi Pengamatan Data Arus	76
Gambar 4.5 Overlay Survei Arus Pada Grafik Pasang Surut Saat Kondisi Neap. 77	
Gambar 4.6 Overlay Survei Arus Pada Grafik Pasang Surut Saat Kondisi Spring	77
Gambar 4.7 Pemodelan Arus Saat Kondisi Spring	78
Gambar 4.8 Pemodelan Arus Saat Kondisi Neap	78
Gambar 4.9 Kondisi Angin di Perairan Sekitar Pelabuhan	79
Gambar 4.10 Kondisi Gelombang di Perairan Sekitar Pelabuhan	81
Gambar 4.11 <i>Boring Log</i> Pelabuhan Sofyanin	84
Gambar 4.12 Kapal KM Sabuk Nusantara 73	85
Gambar 4.13 Hubungan antara Displacement (M_D) Terhadap Berthing Velocity 87	
Gambar 4.14 Dimensi Fender Tipe AN <i>Arch Fender</i>	89
Gambar 4.15 Nilai Koefisien Tekanan Arus	91
Gambar 4.16 Ilustrasi Beban <i>Mooring</i> Longitudinal ke Arah <i>Bow</i>	92
Gambar 4.17 Ilustrasi Beban <i>Mooring</i> Longitudinal ke Arah <i>Stern</i>	93
Gambar 4.18 Ilustrasi Beban <i>Mooring</i> Transversal	93
Gambar 4.19 Pembebanan Truk	97
Gambar 4.20 Peta Percepatan Tanah Periode 0,2 Detik	99
Gambar 4.21 Peta Percepatan Tanah Periode 1 Detik	100

Gambar 4.22 Grafik Spektrum Respons Desain	101
Gambar 4.23 Orientasi Dermaga.....	103
Gambar 4.24 Ilustrasi Posisi Kapal KM Sabuk Nusantara 73 Pada Dermaga....	104
Gambar 4.25 Denah Elemen Stuktural Dermaga	107
Gambar 4.26 Grafik Kedalaman Tanah Dengan Analisa <i>Fixity Point</i>	115
Gambar 4.27 <i>Define Area</i>	120
Gambar 4.28 Geometri Stuktur Dermaga Segmen 1	122
Gambar 4.29 Beban Fender Dermaga Segmen 1	123
Gambar 4.30 Beban <i>Bollard</i> Dermaga Segmen 1	123
Gambar 4.31 Beban SIDL Dermaga Segmen 1	123
Gambar 4.32 Beban Hidup Dermaga Segmen 1	123
Gambar 4.33 Beban Hidup Truk Dermaga Segmen 1	123
Gambar 4.34 Beban <i>Berthing</i> Dermaga Segmen 1	124
Gambar 4.35 Beban <i>Mooring</i> Dermaga Segmen 1	124
Gambar 4.36 Beban Arus dan Gelombang Dermaga Segmen 1	124
Gambar 4.37 Input Respons Spektrum	125
Gambar 4.38 <i>Stress Ratio</i> Dermaga Segmen 1	126
Gambar 4.39 Gaya Dalam Balok Dermaga Segmen 1	126
Gambar 4.40 Gaya Dalam Pelat Dermaga Segmen 1	127
Gambar 4.41 Geometri Stuktur Dermaga Segmen 2	128
Gambar 4.42 Beban Fender Dermaga Segmen 2	128
Gambar 4.43 Beban <i>Bollard</i> Dermaga Segmen 2	128
Gambar 4.44 Beban SIDL Dermaga Segmen 2	128
Gambar 4.45 Beban Hidup Dermaga Segmen 2	129
Gambar 4.46 Beban Hidup Truk Dermaga Segmen 2	129
Gambar 4.47 Beban <i>Berthing</i> Dermaga Segmen 2	129
Gambar 4.48 Beban <i>Mooring</i> Dermaga Segmen 2	129
Gambar 4.49 Beban Arus dan Gelombang Dermaga Segmen 2	129
Gambar 4.50 <i>Stress Ratio</i> Dermaga Segmen 2	130
Gambar 4.51 Gaya Dalam Balok Dermaga Segmen 2	131
Gambar 4.52 Gaya Dalam Pelat Dermaga Segmen 2	131

Gambar 4.53 Geometri Stuktur Trestle Segmen 1	132
Gambar 4.54 Beban SIDL Trestle Segmen 1	132
Gambar 4.55 Beban Hidup Trestle Segmen 1	133
Gambar 4.56 Beban Hidup Truk	133
Gambar 4.57 Beban Arus dan Gelombang Trestle Segmen 1	133
Gambar 4.58 <i>Stress Ratio</i> Trestle Segmen 1	134
Gambar 4.59 Gaya Dalam Balok Trestle Segmen 1	134
Gambar 4.60 Gaya Dalam Pelat Trestle Segmen 1	135
Gambar 4.61 Geometri Stuktur Trestle Segmen 2	136
Gambar 4.62 Beban SIDL Trestle Segmen 2	136
Gambar 4.63 Beban Hidup Trestle Segmen 2	136
Gambar 4.64 Beban Hidup Truk Trestle Segmen 2	136
Gambar 4.65 Beban Arus dan Gelombang Trestle Segmen 2	137
Gambar 4.66 <i>Stress Ratio</i> Trestle Segmen 2	137
Gambar 4.67 Gaya Dalam Balok Trestle Segmen 2	138
Gambar 4.68 Gaya Dalam Pelat Trestle Segmen 2	138
Gambar 4.69 Geometri Stuktur Trestle Segmen 3	139
Gambar 4.70 Beban SIDL Trestle Segmen 3	140
Gambar 4.71 Beban Hidup Trestle Segmen 3	140
Gambar 4.72 Beban Hidup Truk	140
Gambar 4.73 Beban Arus dan Gelombang Trestle Segmen 3	140
Gambar 4.74 <i>Stress Ratio</i> Trestle Segmen 3	141
Gambar 4.75 Gaya Dalam Balok Trestle Segmen 3	142
Gambar 4.76 Gaya Dalam Pelat Trestle Segmen 3	142

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN-A Data Topografi dan Bathimetri.....	A
LAMPIRAN-B Data Hidro-Oceanografi	B
LAMPIRAN-C Data Tanah dan Geoteknik	C
LAMPIRAN-D Album Gambar	D

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan sebagai prasarana transportasi yang mendukung kelancaran sistem transportasi laut memiliki fungsi yang erat kaitannya dengan faktor-faktor sosial dan ekonomi. Secara ekonomi, pelabuhan berfungsi sebagai salah satu penggerak roda perekonomian karena menjadi fasilitas yang memudahkan distribusi hasil-hasil produksi. Sedangkan secara sosial, pelabuhan menjadi fasilitas publik dimana di dalamnya berlangsung interaksi antar pengguna termasuk interaksi yang terjadi karena aktivitas perekonomian.

Secara lebih luas, pelabuhan merupakan titik simpul pusat hubungan dari suatu daerah pendukung (*hinterland*) dan penghubung dengan daerah di luarnya. Selain sebagai tempat bersandarnya kapal yang akan melakukan aktivitas bongkar muat barang dan naik turunnya penumpang, keberadaan pelabuhan sebagai terminal penghubung konektivitas antara daerah tertinggal, terpencil, terdepan, dan perbatasan (3TP) ke daerah yang lebih maju, sehingga dapat melancarkan arus perdagangan dan memajukan perekonomian daerah.

Pelabuhan Sofyanin berada di Desa Sofyanin, Kecamatan Fordata, Kabupaten Kepulauan Tanimbar, Provinsi Maluku. Pelabuhan Sofyanin terletak di wilayah yang strategis, penetapan lokasi ini telah dilakukan melalui Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 32 Tahun 2023. Berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP.432 Tahun 2017 tentang Penetapan Rencana Induk Pelabuhan Nasional sebagaimana telah diubah dengan KM 217 Tahun 2022, Pelabuhan Sofyanin merupakan Pelabuhan dengan hierarki sebagai Pelabuhan Pengumpan Lokal.

Berdasarkan data RIP Pelabuhan Sofyanin 2022 tingkat transportasi penumpang dan barang dari dan menuju pulau Fordata cukup tinggi, jumlah naik-turun penumpang pada tahun 2021 di Pelabuhan Sofyanin sebanyak 2.048 penumpang, dan volume kegiatan bongkar muat adalah 34.679 ton, namun kondisi

ini terkendala dengan tidak adanya Pelabuhan. Kegiatan kepelabuhanan seperti naik-turun penumpang, dan bongkar-muat barang dilaksanakan di lokasi rencana Pelabuhan Sofyanin dengan cara kapal berlabuh, kemudian memindahkan penumpang dan barang ke perahu-perahu yang lebih kecil untuk sampai ke pantai.

Dalam upaya peningkatan konektivitas antar wilayah, mendukung pertumbuhan sektor pariwisata, dan mempercepat mobilitas barang dan penumpang di wilayah Kepulauan Tanimbar, perencanaan fasilitas Pelabuhan Sofyanin dilakukan agar mampu melayani arus naik turun penumpang dan juga barang (*cargo*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada laporan Tugas Akhir ini yaitu:

1. Menentukan dimensi dan *layout design* dermaga.
2. Menentukan kekuatan struktur dermaga terhadap gaya-gaya eksternal yang bekerja pada dermaga.
3. Menentukan dimensi penulangan pada elemen struktural dermaga.
4. Menentukan daya dukung tanah terhadap struktur dermaga.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, karena keterbatasan waktu dan luasnya perencanaan dalam perancangan struktur dermaga, maka ada beberapa hal yang menjadi batasan masalah, antara lain sebagai berikut :

1. Menentukan dimensi dermaga berdasarkan ukuran kapal dan fasilitas dermaga sesuai standar perencanaan.
2. Tidak melakukan pengolahan data lingkungan yang meliputi *hindcasting* gelombang, analisis ekstrim angin dan gelombang, serta pemodelan transformasi gelombang untuk mendapatkan nilai parameter lingkungan. Nilai parameter lingkungan di dapatkan dari data sekunder.
3. Melakukan perhitungan pembebanan struktur dermaga yang terdiri atas beban vertikal dan beban horizontal, sesuai dengan kriteria desain perencanaan dermaga. Beban vertikal terdiri dari beban mati dan beban hidup, sedangkan

beban horizontal terdiri dari beban gelombang, beban arus, beban angin, beban gempa, beban *berthing*, dan beban *mooring*.

4. Menentukan dimensi elemen struktur dermaga dan *trestle*, yang terdiri dari tiang pancang, balok, *pile cap*, dan pelat.
5. Melakukan pemodelan struktur dermaga dengan perangkat lunak analisis struktur SAP2000.
6. Melakukan detail desain penulangan struktur dermaga berdasarkan gaya dalam pada balok dan lantai dermaga serta analisis *punching shear* untuk pelat dan desain *pile cap*.
7. Melakukan analisis daya dukung tanah.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penyusunan laporan Tugas Akhir ini yaitu :

1. Dapat menentukan dimensi dan *layout design* dermaga.
2. Dapat menentukan kekuatan struktur dermaga terhadap gaya-gaya eksternal yang bekerja pada dermaga.
3. Dapat menentukan dimensi penulangan pada elemen struktural dermaga.
4. Dapat menentukan daya dukung tanah terhadap struktur dermaga.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penyusunan Tugas Akhir ini yaitu :

1. Menghasilkan desain dermaga yang aman dan fungsional, serta memberikan informasi untuk pengembangan infrastruktur pelabuhan.
2. Sebagai bahan referensi bagi mahasiswa, instansi maupun pihak lainnya dalam perencanaan dermaga baru atau pengembangan dermaga yang sudah ada.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan dalam penulisan dan pemahaman isi laporan, sistematika laporan Tugas Akhir dibuat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

BAB Pendahuluan ini membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI PUSTAKA

BAB Studi Pustaka ini meguraikan kriteria dasar perancangan pelabuhan yang terdiri peran dan fungsi pelabuhan, hirarki pelabuhan, pengertian dan klasifikasi dermaga, karakteristik kapal serta penentuan dimensi dermaga. Selain itu, diuraikan pembebanan yang bekerja pada dermaga, pemodelan analisa struktur dan penulangan elemen struktur serta perhitungan daya dukung tanah pada dermaga.

BAB III METODOLOGI

BAB Metodologi ini menguraikan tentang lokasi penelitian dan metode yang akan digunakan mulai dari metode pengumpulan data dan metode penelitian.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB Analisa dan Pembahasan ini membahas tentang analisa data, perhitungan beban yang bekerja pada dermaga. Penentuan orientasi, dimensi, fasilitas, dan *layout* dermaga rencana. Pemodelan dan analisa struktur, desain penulangan serta perhitungan daya dukung tanah terhadap beban yang bekerja pada struktur dermaga.

BAB V PENUTUP

BAB Penutup ini membahas tentang kesimpulan secara keseluruhan disertai dengan rekomendasi saran.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Pelabuhan

Menurut UU No.17 Tahun 2008 Bab I Pasal 1 ayat 16 tentang Pelayaran, pelabuhan merupakan tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintah dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan/ atau moda transportasi.

Dengan demikian, pelabuhan pada umumnya berupa terminal dan tempat berlabuh kapal yang dilengkapi fasilitas keselamatan dan pelabuhan serta kegiatan penunjang pelabuhan lain. Fasilitas yang ada di pelabuhan mencakup alur pelabuhan, dermaga, gudang, lapangan penumpukan, gedung terminal penumpang dan fasilitas penunjang seperti gedung kantor, jalan, lapangan parkir. Selain fasilitas, terdapat pula peralatan konstruksi untuk kegiatan bongkar muat, dan utilitas pelabuhan yang termasuk jaringan air bersih, jaringan listrik dan sarana telekomunikasi, saluran pembuangan, instalasi limbah dan sampah.

2.1.1 Peran dan Fungsi Pelabuhan

Sebagai negara kepulauan, pelabuhan memiliki arti penting bagi Indonesia karena mendukung kelangsungan sistem transportasi laut yang merupakan sistem transportasi paling besar di Indonesia. Peran pelabuhan sangat penting bagi perkembangan sosial dan ekonomi suatu daerah mengingat pelabuhan merupakan pusat segala kegiatan pelayanan pelayaran yang meliputi pelayanan terhadap kapal dan muatannya. Peranan pelabuhan menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2009 Pasal 4 adalah sebagai berikut:

- a. Simpul dalam jaringan transportasi sesuai dengan hierarkinya
- b. Pintu gerbang kegiatan perekonomian
- c. Tempat kegiatan alih moda transportasi

- d. Penunjang kegiatan industri dan/atau perdagangan
- e. Tempat distribusi, produksi, dan konsolidasi muatan atau barang
- f. Mewujudkan wawasan nusantara dan kedaulatan negara

Pelabuhan sebagai prasarana transportasi yang mendukung kelancaran sistem transportasi laut memiliki fungsi yang erat kaitannya dengan faktor-faktor sosial dan ekonomi. Secara ekonomi, pelabuhan berfungsi sebagai salah satu penggerak perekonomian karena menjadi fasilitas yang memudahkan distribusi hasil-hasil produksi. Sedangkan secara sosial, pelabuhan menjadi fasilitas publik dimana di dalamnya berlangsung interaksi antar pengguna termasuk interaksi yang terjadi karena aktivitas perekonomian. Secara lebih luas, Pelabuhan merupakan titik simpul pusat hubungan dari suatu daerah pendukung (*hinterland*) dan penghubung dengan daerah di luarnya. Menurut D.A Lasse (2016) fungsi pelabuhan dibagi menjadi 4, yaitu :

1. **Gateway**, yaitu berfungsi sebagai pintu yang dilalui orang dan barang ke dalam maupun keluar pelabuhan yang bersangkutan. Disebut sebagai pintu karena pelabuhan adalah jalan atau resmi bagi lalu lintas barang perdagangan.aitu pelabuhan berfungsi sebagai pintu yang dilalui orang dan barang untuk masuk dan keluar pelabuhan yang bersangkutan.
2. **Link**, yaitu berfungsi sebagai mata rantai yang menjadi penghubung rangkaian transportasi yakni menyalurkan atau memindahkan barang muatan dari kapal ke truk, operasi pemindahan berlangsung cepat, dan efisien biaya.
3. **Interface**, yaitu barang muatan yang diangkut melalui *maritime transport* setidaknya dua kali melintasi area pelabuhan, yakni di pelabuhan muat dan satu kali di pelabuhan bongkar.
4. **Industrial Entity**, yaitu fungsi pelabuhan yang diselenggarakan secara baik akan bertumbuh dan akan menyuburkan bidang usaha lain sehingga area pelabuhan menjadi zona industri terkait dengan kepelabuhanan.

2.1.2 Hierarki Pelabuhan

Berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP.432 Tahun 2017 tentang Penetapan Rencana Induk Pelabuhan Nasional sebagaimana telah diubah dengan KM 217 Tahun 2022. Adapun pengertian Hirarki Peran dan Fungsi

Pelabuhan Laut Yang Melayani Angkutan Laut dalam penetapan Rencana Induk Pelabuhan Nasional sebagai berikut:

a. Pelabuhan Utama

Pelabuhan Utama adalah pelabuhan yang fungsi pokoknya melayani kegiatan angkutan laut dalam negeri dan internasional, alih muatan angkutan laut dalam negeri dan internasional dalam jumlah besar, dan sebagai tempat asal tujuan penumpang dan/atau barang serta angkutan penyeberangan dengan jangkauan pelayanan antar provinsi.

b. Pelabuhan Pengumpul

Pelabuhan Pengumpul adalah pelabuhan yang fungsi pokoknya melayani kegiatan angkutan laut dalam negeri, dalam jumlah menengah dan sebagai tempat asal tujuan penumpang dan/atau barang serta angkutan penyeberangan dengan jangkauan pelayanan dalam provinsi.

c. Pelabuhan Pengumpan Regional

Pelabuhan Pengumpan Regional adalah pelabuhan yang fungsi pokoknya melayani kegiatan angkutan laut dalam negeri, alih muat angkutan laut dalam negeri dalam jumlah terbatas, merupakan pengumpan bagi Pelabuhan Utama dan Pelabuhan Pengumpul, dan sebagai tempat asal tujuan penumpang dan/atau barang, serta angkutan penyeberangan dengan jangkauan pelayanan antar kabupaten /kota dalam provinsi.

d. Pelabuhan Pengumpan Lokal

Pelabuhan Pengumpan Lokal adalah pelabuhan yang fungsi pokoknya melayani kegiatan angkutan laut dalam negeri, alih muat angkutan laut dalam negeri dalam jumlah terbatas, merupakan pengumpan bagi Pelabuhan Utama dan Pelabuhan Pengumpul, dan sebagai tempat asal tujuan penumpang dan/atau barang, serta angkutan penyeberangan dengan jangkauan pelayanan dalam kabupaten /kota.

Persyaratan utama dalam penyusunan kriteria pelabuhan harus mengacu pada RIPN KP.432 Tahun 2017 dengan aspek sebagai berikut.

1. Pelabuhan Utama

Lokasi pelabuhan utama berpedoman pada kriteria teknis sebagai berikut:

- Kedekatan secara geografis dengan tujuan pasar internasional;

- Berada dekat dengan jalur pelayaran internasional kurang dari 500 mil dan jalur pelayaran nasional kurang dari 50 mil;
- Memiliki jarak dengan pelabuhan utama lainnya minimal 200 mil;
- Kedalaman kolam pelabuhan minimal -9 m LWS;
- Memiliki dermaga dengan kapasitas minimal 10.000 DWT;
- Panjang dermaga minimal 350 m ;
- Luas lahan pelabuhan minimal 50 Ha;
- Berperan sebagai tempat alih muat penumpang dan barang internasional;
- Diproyeksikan melayani angkutan peti kemas minimal 100.000 TEUs/tahun atau angkutan lain yang setara;
- Memiliki peralatan bongkar muat sesuai jenis angkutan barang

2. Pelabuhan Pengumpul

Lokasi pelabuhan pengumpul berpedoman pada kriteria teknis sebagai berikut:

- Berada dekat dengan jalur pelayaran nasional kurang dari 50 mil;
- Memiliki jarak dengan pelabuhan pengumpul lainnya minimal 50 mil;
- Kedalaman kolam pelabuhan mulai -7 sampai dengan -9 m LWS;
- Memiliki dermaga dengan kapasitas minimal 3.000 DWT;
- Panjang dermaga 120 - 350 m;
- Luas lahan pelabuhan sesuai kebutuhan;
- Memiliki peralatan bongkar muat sesuai jenis angkutan barang.

3. Pelabuhan Pengumpan Regional

Lokasi pelabuhan pengumpan regional berpedoman pada kriteria teknis sebagai berikut:

- Memiliki jarak dengan pelabuhan regional lainnya minimal 20- 50 mil;
- Kedalaman kolam pelabuhan mulai 5 sampai dengan -7 m LWS;
- Kapasitas dermaga maksimal 3.000 DWT;
- Panjang dermaga 80 - 120 m ;
- Luas lahan maksimal 5 Ha;
- Memiliki peralatan bongkar muat sesuai jenis angkutan barang.

4. Pelabuhan Pengumpan Lokal

Lokasi pelabuhan pengumpan lokal berpedoman pada kriteria teknis sebagai berikut:

- Memiliki jarak dengan pelabuhan lokal lainnya minimal 5-20 mil;
- Kedalaman kolam pelabuhan maksimal -5 m LWS;
- Kapasitas dermaga maksimal 1.000 DWT;
- Panjang dermaga maksimal 80 m;
- Luas lahan maksimal 1 Ha;
- Memiliki peralatan bongkar muat sesuai jenis angkutan barang.

2.2 Dermaga

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Selain itu, dermaga juga merupakan tempat melakukan kegiatan mengisi bahan bakar untuk kapal, air minum, air bersih dan saluran untuk air kotor/limbah yang akan diproses lebih lanjut di pelabuhan. Dimensi dermaga ditentukan berdasarkan jenis dan ukuran kapal yang akan merapat dan bertambat pada dermaga tersebut.

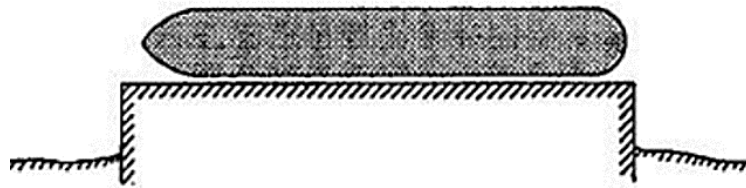
2.2.1 Tipe Dermaga

Berdasarkan denah lokasi terhadap garis pantai, dermaga terdiri dari tipe *wharf*, tipe *pier*, dan tipe *jetty*.

1. *Wharf* atau *Quay*

Wharf adalah dermaga yang paralel dengan pantai dan biasanya berimpit dengan garis pantai. *Wharf* juga dapat berfungsi sebagai penahan tanah yang ada dibelakangnya. *Wharf* biasanya digunakan untuk pelabuhan barang potongan atau peti kemas di mana dibutuhkan suatu halaman terbuka yang cukup luas untuk menjamin kelancaran angkutan barang.

Sedangkan *quay* adalah dermaga yang strukturnya sejajar dengan pantai yang relatif berimpit dan dibangun pada tanah timbunan yang cukup keras atau dapat berupa tempok berdiri di atas pantai dan biasanya dibangun dengan konstruksi *sheet pile* baja atau beton maupun *open filled structure*.

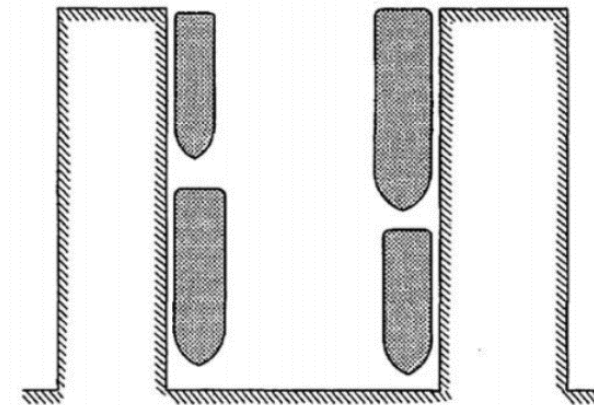


Gambar 2.1 Dermaga Tipe *Wharf* atau *Quay*

Sumber: Thoresen, Carl.A. 2014 *Port Designer's Handbook*

2. *Pier*

Pier adalah dermaga serupa *wharf* (berada di garis pantai) dan posisinya tegak lurus dengan garis pantai. Bentuk dermaga *pier* seperti jari yang dapat untuk merapat kapal pada kedua sisinya, sehingga bisa digunakan bersandar kapal dalam jumlah lebih banyak untuk satu satuan panjang pantai.



Gambar 2.2 Dermaga Tipe *Pier*

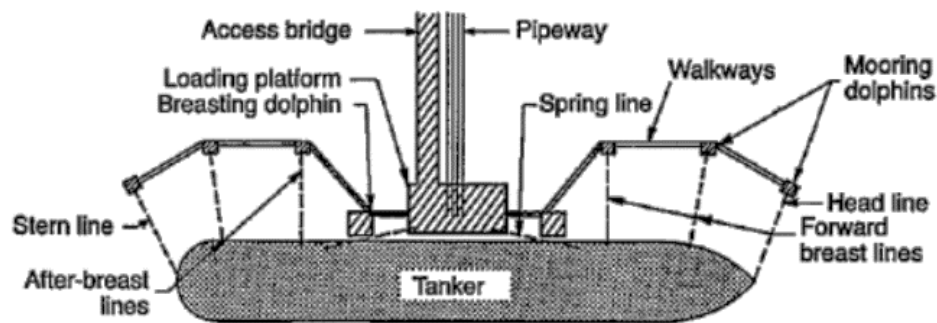
Sumber: Thoresen, Carl.A. 2014 *Port Designer's Handbook*

3. *Jetty*

Jetty adalah dermaga yang dibangun menjorok cukup jauh ke arah laut, dengan maksud agar ujung dermaga berada pada kedalaman yang cukup untuk merapat kapal. Pada umumnya *jetty* digunakan untuk merapat kapal tanker, kapal LNG, atau tongkang pengangkut batu bara.

Untuk menahan benturan kapal yang merapat dipasang *dolphin* penahan benturan (*breasting dolphin*) di depan *jetty*. Sedangkan untuk mengikat kapal digunakan *dolphin* penambat (*mooring dolphin*). *Dolphin-dolphin* tersebut dihubungkan dengan *catwalk* (semacam jembatan kecil), yang berfungsi

sebagai jalan petugas yang akan mengikat tali kapal ke *dolphin*.



Gambar 2.3 Dermaga Tipe *Jetty*

Sumber: Thoresen, Carl.A. 2014 *Port Designer's Handbook*

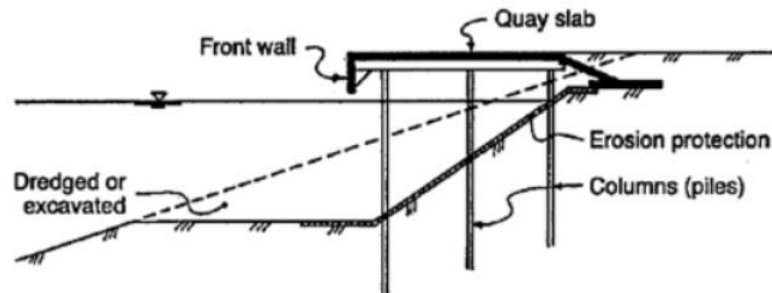
2.2.2 Jenis Struktur Dermaga

Struktur dermaga terdiri dari struktur terbuka (*open berth structure*) dan tertutup (*solid berth structure*).

1. Struktur Terbuka (*Open Berth Structure*)

Dermaga dengan struktur terbuka (*deck on pile*) memiliki struktur dengan tiang-tiang pancang (*piles*) atau kolom vertikal yang menahan gaya vertikal dan gaya horizontal ditahan oleh jangkar atau tiang penahan. Pemilihan struktur terbuka disebabkan kondisi tanah yang kurang baik dan memiliki kedalaman tanah keras yang cukup dalam sehingga hanya dapat tercapai apabila dengan menggunakan tiang pancang. Keuntungan menggunakan struktur dermaga *deck on pile* adalah sebagai berikut :

- 1) Karena dermaga dibangun pada kedalaman perairan yang cukup dalam lebih dari 10 m, dipilih dermaga jenis *deck on pile* untuk mengakomodasi dalamnya perairan yang mengakibatkan struktur jenis lain tidak efisien, karena struktur *solid berth* memiliki volume material yang besar dibandingkan dengan struktur *deck pile*, sehingga tidak efisien.
- 2) Struktur tipe *deck on pile* menyebabkan gelombang yang datang tidak tertahan dan bisa melewati struktur, sehingga tidak menyebabkan terjadinya gelombang vertikal.



Gambar 2.4 Dermaga *Open Berth Structure*

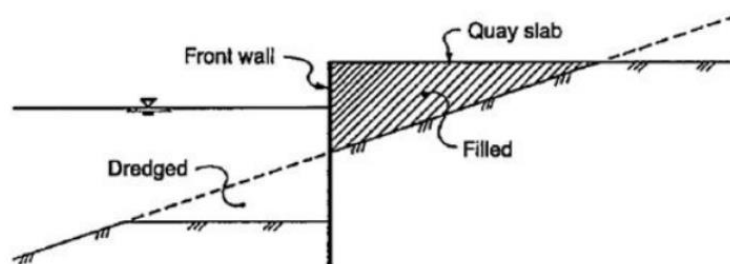
Sumber: Thoresen, Carl.A. 2014 *Port Designer's Handbook*

Adapun kekurangan menggunakan struktur dermaga *deck on pile* adalah sebagai berikut :

- 1) Diperlukan pekerjaan pengerukan dengan volume yang cukup besar.
- 2) Diperlukan proteksi pada kemiringan tanah di bawah lantai dermaga.
- 3) Diperlukan pemasangan tiang miring apabila gaya lateral cukup besar.

2. Struktur Tertutup (*Solid Berth Structure*)

Dermaga dengan struktur ini terdiri atas timbunan yang dibangun hingga sisi sandar dermaga dengan dilengkapi oleh dinding vertikal yang berfungsi untuk menahan gaya lateral dari timbunan.



Gambar 2.5 Dermaga *Solid Berth Structure*

Sumber: Thoresen, Carl.A. 2014 *Port Designer's Handbook*

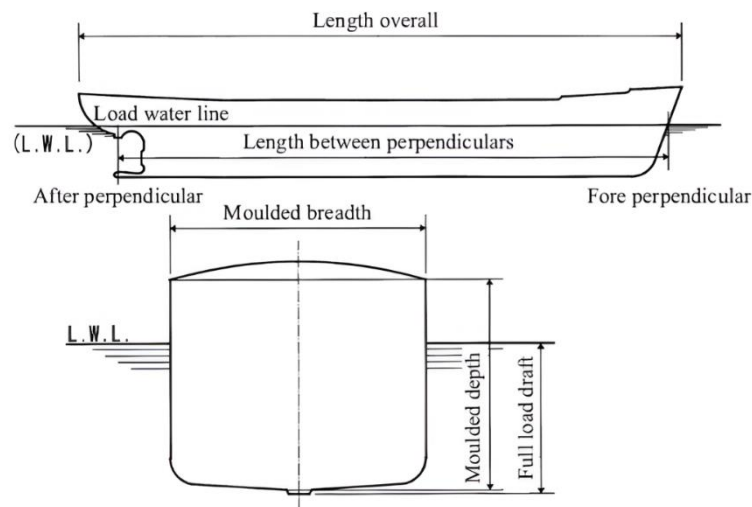
2.3 Karakteristik Kapal

Dalam perencanaan dermaga perlu diketahui spesifikasi kapal yang nantinya akan digunakan untuk merapat dan tambat di dermaga tersebut. Spesifikasi ini ditentukan dengan kapasitas angkut kapal DWT (*Dead Weight Tonnage*), panjang kapal, lebar dan *draft* maksimum kapal tersebut. Kapasitas kapal tidak boleh melebihi kapasitas rencana dermaga, agar kapal yang bersandar dapat beroperasi

dengan baik dalam ruang lingkup pelabuhan dan tidak merusak fasilitas dan struktur dermaga.

Secara umum, OCDI (*The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan*) mendefinisikan beberapa bagian dari kapal sebagai berikut.

- **Draft (D)**, adalah bagian kapal yang berada di bawah permukaan air pada keadaan muatan maksimum.
- **Freeboard (F)**, adalah bagian kapal yang berada di atas permukaan air pada keadaan muatan maksimum.
- **Beam (B)**, adalah jarak maksimum antara dua sisi kapal (lebar kapal).
- **Length Overall (LOA)**, adalah panjang total dari ujung depan sampai ujung belakang.
- **Length of Water Level (LWL)**, adalah panjang kapal pada permukaan air atau panjang diantara *perpendicular*.



Gambar 2.6 Dimensi Kapal

Sumber: *The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009*

2.4 Dimensi Dermaga

Dimensi dermaga terdiri dari panjang, lebar, dan elevasi dermaga. Adapun dimensi dermaga dan perairan untuk kapal bertambat yakni bergantung pada dimensi kapal dan jumlah kapal yang menggunakan dermaga. Tata letak dermaga juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran perairan pelabuhan, kemudahan kapal yang merapat dan meninggalkan dermaga, ketersediaan/

penggunaan kapal tunda untuk membantu kapal bertambat, arah dan besarnya angin, gelombang dan arus.

2.4.1 Panjang Dermaga

Ketentuan dimensi dermaga berdasarkan OCDI (2009) adalah sebagai berikut :

- 1) Panjang standar sebuah dermaga diperoleh dari total penjumlahan hasil proyeksi sudut *bow* dan *stern line* dari tali penambat (*mooring*) yang digunakan untuk menambatkan 1 kapal dengan panjang kapal terbesar yang bertambat atau berlabuh pada dermaga.
- 2) Ketika sebuah kapal ditambatkan sejajar dengan dermaga, tali penambat (*mooring*) biasanya dipasang pada sudut 30 sampai 45 terhadap permukaan dermaga, karena tali penambat tersebut digunakan untuk mencegah gerakan longitudinal dan gerakan lateral dari kapal.

Dengan demikian, panjang dermaga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$L_p = L_{OA} + (2 L_M)$$

$$\tan a = \frac{B_M}{L_M}$$

$$B_M = 0,5B$$

Keterangan :

L_p = Panjang dermaga (m)

L_{OA} = Panjang kapal dari ujung haluan hingga ujung buritan (m)

B = Lebar kapal (m)

L_M = Jarak dari ujung kapal ke titik *mooring* pada *bollard* terluar dermaga (m)

B_M = Jarak antara ujung lebar kapal ke titik tengah lebar kapal (m)

2.4.2 Lebar Dermaga

Tidak ada ketentuan khusus dalam penentuan lebar dermaga. Akan tetapi, lebar dermaga perlu disesuaikan dengan kebutuhan fasilitas yang akan digunakan pada masing-masing dermaga.

2.4.3 Elevasi Dermaga

Aspek-aspek yang menentukan elevasi dermaga terdiri dari tinggi gelombang rencana signifikan, *freeboard*, dan elevasi pasang surut. Adapun

persamaan untuk menentukan elevasi dermaga ditunjukkan pada persamaan.

$$EL = HWS + (0,5 H_S) + freeboard$$

Keterangan :

- EL = Elevasi lantai dermaga (m)
- HWS = *Highest Water Spring*, elevasi pasang surut tertinggi (m)
- H_S = Tinggi gelombang rencana signifikan (m)
- $freeboard$ = Ruang bebas untuk mengakomodasi fenomena yang tidak terhitung (*sea level rise*, penurunan muka tanah dll) (m)

2.4.4 Kedalaman Dermaga

Perhitungan kedalaman dermaga berdasarkan OCDI (2009), disebutkan bahwa:

- Kedalaman dermaga ditentukan dengan menambah jarak aman (*clearance*) dari ujung *draft* maksimum kapal.
- Jarak aman (*clearance*) ditentukan berdasarkan penambahan nilai *draft* maksimum dengan nilai 10% dari *draft* maksimum kapal.

Dengan demikian, kedalaman minimal dermaga (h) elevasi LWS, untuk kapal terbesar dengan *draft* tertentu ditentukan dengan menggunakan persamaan.

$$h = D + 0,1D$$

Keterangan :

- h = Kedalaman perairan dermaga (m)
- D = *Draft* kapal dalam keadaan penuh/*fully loaded* (m)

2.5 Beban Vertikal

Beban vertikal adalah gaya yang bekerja tegak lurus terhadap suatu struktur. Beban ini terdiri dari beban mati dan beban hidup. Beban mati adalah berat struktur itu sendiri dan semua bagian yang bersifat permanen, sedangkan beban hidup adalah berat dari penghuni atau barang-barang yang dapat berpindah-pindah.

2.5.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat yang mencakup seluruh bagian struktur yang bersifat tetap termasuk segala beban tambahan, mesin, dan peralatan tetap yang akan terdapat pada struktur dermaga. Beban mati posisinya tidak berubah atau tidak

bergerak selama masa layan struktur. Selain dari berat sendiri struktur yaitu tiang pancang, balok, pelat, dan *pile cap* beban mati juga termasuk segala fasilitas pada dermaga seperti *fender* dan *bollard*. Untuk berat struktur kecuali *pile cap* akan dihitung menggunakan perangkat lunak SAP2000 dan beban mati lainnya secara umum akan dihitung menggunakan persamaan.

$$W = V \times \rho \times g$$

Keterangan :

W = Berat (kN)

V = Volume (m³)

ρ = Massa jenis (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

2.5.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup terjadi karena adanya penggunaan suatu bangunan atau struktur, termasuk beban pada lantai yang disebabkan barang-barang yang berpindah serta beban akibat air hujan pada atap. Beban hidup dibedakan menjadi beban hidup merata karena adanya muatan yang dianggap merata pada dermaga dan beban hidup terpusat pada struktur dermaga karena adanya peralatan yang digunakan pada dermaga tersebut (beban operasional).

1. Beban Hidup Merata

Beban hidup merata adalah muatan yang bersifat merata yang bekerja pada pelat lantai dermaga. Berikut kriteria beban hidup merata berdasarkan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia* (1984).

Tabel 2.1 Kriteria Beban Hidup Merata

		PELABUHAN PENGUMPAN LOKAL							
		PELABUHAN PENGUMPAN REGIONAL							
		PELABUHAN PENGUMPUL							
		PELABUHAN UTAMA / INTERNASIONAL							
No	Beban	Peti Kemas		Samudera		Perairan Regional		Perintis/Lokal/Pelra	
		Dermaga	Terminal	Dermaga	Terminal	Dermaga	Terminal	Dermaga	Terminal
1	Beban Merata (T/m ²)	3	4	3	3	2	3	1-2	1-2
2	Gantry Crane	40'	-	-	-	-	-	-	-
3	Crane	-	-	15 t Kap (max kapasitas angkat)				-	-
	- Stradle carrier	40'	40'	-	-	-	-	-	-
	- Travel-lift for stacking	-	*)	-	-	-	-	-	-
4	- Loader	-	40 t Kap	-	-	-	-	-	-
	- Top loader	-	40 t Kap	-	-	-	-	-	-
	- Side loader	40 t Kap	40 t Kap	-	-	-	-	-	-
	- Fork lift	-	15 t Kap	10 t Kap	10 t Kap	3 t Kap	3 Kap	3 t Kap	3 t Cap
5	- Truck Head truck-chasis	Chasis 40* (2 x 20')	Chasis 40* (2 x 20')	12 t Kap (2 x 20')	12 t Kap (2 x 20')	6 t Kap 20'	6 t Kap 20'	1,5 t Kap	1,5 Kap

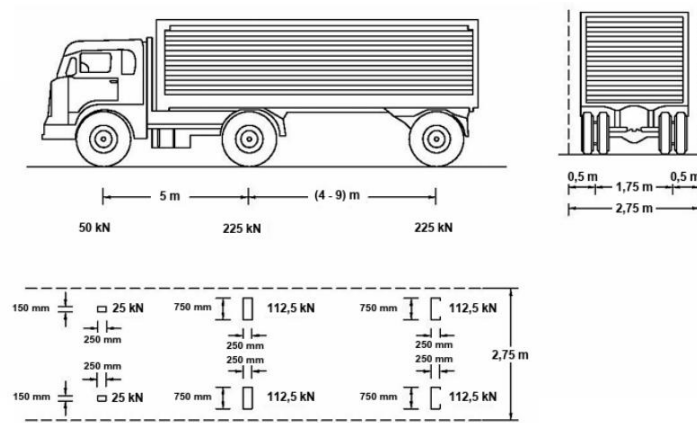
Sumber : *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia, 1984*

2. Beban Hidup Terpusat

Beban operasional adalah beban yang timbul akibat adanya kegiatan di atas struktur dermaga, dalam hal ini yaitu kegiatan bongkar muat. Kegiatan bongkar muat meliputi bongkar dan muat kargo dari/ke kapal (transportasi vertikal) dan pengangkutan kargo dari/ke lapangan penumpukan (transportasi horizontal). Beban operasional timbul akibat pengoperasian truk kargo dan kegiatan bongkar muat.

Beban *Truck Container*

Beban truk T adalah beban yang diakibatkan oleh kendaraan semitrailer yang mempunyai susunan berat as. Perhitungan lebar penyebaran beban kerja pada plat dengan anggapan bahwa plat dan ketebalan tertentu yang memikul beban satu arah dinyatakan sebagai lebar manfaat. Truk yang direncanakan memiliki berat total maksimum 32,5 ton dengan konfigurasi sumbu 1,22. Jenis truk yang dipakai dalam perhitungan adalah truk *container* dengan mengacu pada *AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges* (1993).



Gambar 2.7 Pembebanan Truk

Sumber: SNI 1725-2016

2.5.3 Beban *Uplift*

Lantai dermaga yang dekat dengan permukaan air di bawahnya, maka gaya gelombang dapat berdampak pada bagian bawah dermaga (gaya *uplift*) tergantung pada kondisi gelombang dan bentuk struktural lantai dermaga. Oleh sebab itu, kondisi ini perlu diperhitungkan terhadap gaya *uplift*. Berdasarkan OCDI (2009) besarnya gaya *uplift* akibat gelombang yang terjadi pada lantai dermaga dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$q = \rho_0 g (1,6H - 0,9S)$$

Keterangan :

q = Beban *uplift* (kN/m²)

$\rho_0 g$ = Berat jenis air laut (kN/m³)

H = Tinggi gelombang (m)

S = Jarak muka air dengan bagian dalam dermaga (m)

2.6 Beban Horizontal

Beban horizontal adalah beban yang bekerja pada dermaga karena adanya faktor eksternal seperti faktor lingkungan yang terdiri dari arus, gelombang dan gempa, serta faktor kapal yang berlabuh dan bertambat.

2.6.1 Beban *Berthing*

Kapal ketika berlabuh pada dermaga akan bertumbuk langsung dengan struktur dermaga dengan kecepatan dan arah tertentu. Tumbukan kapal dapat

memberikan beban impak terhadap dermaga meskipun dengan kecepatan rendah. Untuk mengurangi efek beban akibat tumbukan kapal, diperlukan suatu peredam yang disebut dengan *fender*. Terdapat beberapa metode untuk kapal berlabuh pada dermaga, yaitu :

a) *Side Berthing*

Metode ini paling umum digunakan dalam proses berlabuhnya kapal. Kecepatan sandar diantara 150-300 mm/s dan sudut sandar antara 5-15 derajat disesuaikan dengan besar kapal dan dermaga.



Gambar 2.8 *Side Berthing*

Sumber: Fentek Marine Fendering System, 2002

b) *Dolphin Berthing*

Metode ini paling sering ditemukan pada dermaga curah cair. Biasanya dalam proses bersandar diperlukan bantuan tugboat untuk mengarahkan kapal. Kecepatan sandar diantara 100-250 mm/s dan sudut sandar antara 5-15 derajat.



Gambar 2.9 *Dolphin Berthing*

Sumber: Fentek Marine Fendering System, 2002

c) *End Berthing*

Metode ini banyak digunakan untuk kapal jenis Ro-Ro dan sejenisnya yang memiliki pintu belakang untuk proses naik-turun kendaraan. Kecepatan sandar diantara 200-500 mm/s.



Gambar 2.10 *End Berthing*

Sumber: Fentek Marine Fendering System, 2002

d) *Lock Entrances*

Metode ini digunakan pada kecepatan kapal yang relatif lebih cepat untuk menjaga manuver dari kapal. Kecepatan sandar diantara 0.5-2 m/s dan sudut sandar kecil.



Gambar 2.11 *Lock Entrances*

Sumber: *Fentek Marine Fendering System, 2002*

e) *Ship to Ship Berthing*

Metode ini digunakan pada perairan terbuka. Kecepatan sandar diantara 150-300 mm/s dan sudut sandar antara 5-15 derajat.



Gambar 2.12 *Ship to Ship Berthing*

Sumber: *Fentek Marine Fendering System, 2002*

Dalam pemilihan jenis *fender* yang akan digunakan, diperlukan perhitungan energi kapal saat berlabuh dan energi tumbukan kapal (*berthing energy*). Perhitungan energi berlabuh berdasarkan OCDI (2009) dilakukan dengan menggunakan persamaan.

$$E_f = \left(\frac{M_S V^2}{2} \right) C_e C_m C_s C_c$$

Keterangan :

E_f = *Berthing energy* (kNm)

M_S = *Displacement tonnage* (ton)

V = Kecepatan tambat (m/s)

C_e = Koefisien eksentrisitas

C_m = Koefisien massa semu

C_s = Koefisien kekasaran (Nilai Standar = 1.0)

C_c = Koefisien konfigurasi tambat (Nilai Standar = 1.0)

Koefisien massa semu diartikan sebagai massa tambahan pada perhitungan energi *berthing* kapal ketika bertambat pada *fender*. Koefisien massa semu (C_M) ditentukan berdasarkan persamaan.

$$C_m = 1 + \left(\frac{\pi}{2C_B} \right) \frac{D}{b}$$

Keterangan :

C_m = Koefisien massa semu

D = *Draft* kapal (m)

B = Lebar kapal (m)

Koefisien eksentrisitas dihitung berdasarkan reduksi energi akibat terjadinya torsi kapal karena titik benturan yang tidak tegak lurus dengan pusat massa kapal. Saat suatu titik pada bagian kapal dekat *bow* atau *stern* membentur dermaga, maka akan terjadi gerakan rotasional yang akan mereduksi energi *berthing* kapal. Persamaan untuk menghitung koefisien eksentrisitas ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{\ell}{r} \right)^2}$$

Keterangan :

C_e = Koefisien eksentrisitas

ℓ = Jarak sepanjang permukaan air dermaga dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal

$\ell = \frac{1}{4} L_{OA}$ untuk dermaga (*continues fender system*)

$\ell = \frac{1}{6} L_{OA}$ untuk *dolphin* (*single fender system*)

r = Jari-jari putaran disekeliling pusat berat kapal pada permukaan air

$$r = (0,19C_B + 0,11)L_{PP}$$

dengan :

C_B = Koefisien blok kapal

L_{PP} = Panjang garis air pada lambung kapal (m)

Koefisien blok kapal dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{PP}BD}$$

Keterangan :

C_B = Koefisien blok kapal

∇ = Volume *Displacement* kapal (m³)

L_{BP} = *Length between perpendicular* (m)

B = Lebar kapal (m)

D = *Draft* kapal (m)

Apabila informasi pada kapal tidak lengkap sehingga sulit untuk melakukan perhitungan maka pada *Fentek Marine Fendering System* (2002) terdapat rentang nilai koefisien blok untuk setiap jenis kapal. Rentang nilai koefisien blok dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Nilai Koefisien Blok

Type Berthing	Nilai Koefisien Blok
<i>Tanker dan Bulk Cargo</i>	0,72 - 0,85
<i>Container</i>	0,65 – 0,75
<i>Ro-Ro</i>	0,65 – 0,75
<i>Penumpang</i>	0,65 – 0,75
<i>General Cargo</i>	0,60 – 0,65

Sumber: Fentek Marine Fendering System, 2002

Untuk kondisi lapangan yang tidak terkontrol seperti kegagalan mesin, perubahan cuaca, kesalahan manusia, dan faktor lainnya yang menyebabkan kapal berlabuh tidak pada kondisi ideal, untuk itu digunakan faktor keamanan pada energi labuh. Faktor keamanan untuk energi berlabuh kapal menurut *PIANC: Guidelines for the Design of Fender Systems* (2002) ditunjukkan pada tabel berikut.

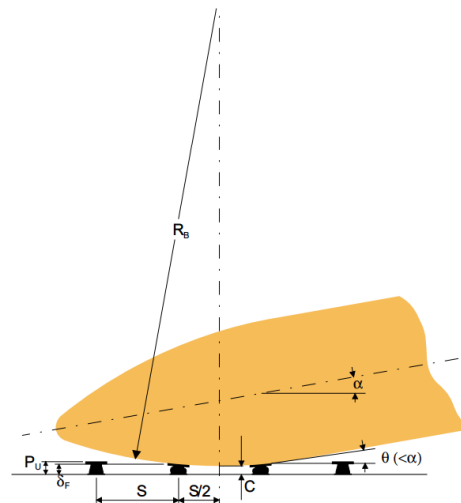
Tabel 2.3 Faktor Keamanan untuk Energi Labuh

Type Berthing	Ukuran Kapal	Safety Factor
<i>Tanker dan Bulk Cargo</i>	Besar	1,25
	Kecil	1,75
<i>Container</i>	Besar	1,50
	Kecil	2,00
<i>General Cargo</i>	-	1,75
<i>Ro-Ro dan Ferry</i>	-	> 2,00
<i>Kapal Tunda dan Jenis Kapal Lainnya</i>	-	2,00

Sumber : *PIANC: Guidelines for the Design of Fender Systems* (2002)

Konfigurasi Fender

Jenis *fender* yang digunakan dipilih dari katalog berdasarkan kemampuan *fender* untuk menyerap energi. Nilai acuan yang digunakan adalah nilai *abnormal berthing energy*. Selain pemilihan jenis *fender*, jarak antar *fender* juga harus diatur sedemikian rupa sehingga kemungkinan kapal menabrak langsung struktur dermaga dapat diminimalisir seperti gambar berikut.

Gambar 2.13 Jarak Antar *Fender*

Sumber: *Fentek Marine Fendering System*, 2002

Fentek (2002) menyarankan jarak antar titik pusat *fender* dihitung dengan persamaan.

$$S \leq 2 \sqrt{R_B^2 - (R_B - P_U + \delta_F + C)^2}$$

Keterangan :

S = Jarak antar titik pusat *fender* (m)

R_B = Radius *bow* kapal (m)

P_U = Proyeksi *fender* dalam keadaan tak tertekan (*uncompressed*) (m)

δ_F = Defleksi *fender* (m)

C = Jarak *clearance* (m)

Informasi mengenai proyeksi *fender*, defleksi *fender*, dan *clearance* terdapat pada spesifikasi *fender* yang dipilih. Sedangkan *radius bow* kapal, menurut Fentek (2002), dapat didekati dengan persamaan.

$$R_B = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{B}{2} \right) + \left(\frac{L_{OA}^2}{8B} \right) \right]$$

Keterangan :

L_{OA} = *Length overall* kapal (m)

B = Lebar kapal (m)

Proyeksi *fender* dalam keadaan tidak tertekan dapat dihitung dengan persamaan.

$$P_U = \text{Tinggi Cone (H)}$$

Defleksi *fender* ditentukan berdasarkan *fender* yang dipilih yang ditunjukkan pada persamaan.

$$\delta_F = \delta_{max} H$$

Dan untuk menentukan nilai *clearance*, dapat ditentukan dengan persamaan.

$$C = 0,25 P_U$$

2.6.2 Beban *Mooring*

Mooring merupakan sistem penambatan kapal dengan tali yang diikatkan pada *bollard* untuk mengurangi pergerakan kapal yang bertambat dan sedang melakukan kegiatan bongkar muat. Faktor utama yang menyebabkan adanya pergerakan kapal saat bertambat adalah faktor arus dan angin. Faktor-faktor tersebut menimbulkan adanya gaya pada *bollard* sebagai sistem penambatnya. Berdasarkan OCDI (2009) perhitungan beban *mooring* dibagi menjadi dua yaitu beban akibat angin dan beban akibat arus.

Perhitungan beban angin untuk arah transversal dan beban angin untuk arah longitudinal ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$R_{TW} = \frac{1}{2} \rho_A U^2 A_L C_y$$

$$R_{LW} = \frac{1}{2} \rho_A U^2 A_T C_x$$

Keterangan :

R_{TW} = Beban angin arah transversal (kN)

R_{LW} = Beban angin arah longitudinal (kN)

ρ_A = Massa jenis udara (1,23 kg/m³)

U = Kecepatan angin desain pada 10 m di atas permukaan air laut (m/s)

A_L = Luas proyeksi kapal dalam arah longitudinal di atas permukaan air (m²)

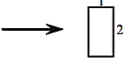
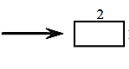
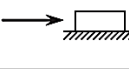
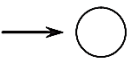
A_T = Luas proyeksi kapal dalam arah transversal di atas permukaan air (m²)

C_y = Koefisien seret angin arah transversal

C_x = Koefisien seret angin arah longitudinal

Nilai koefisien seret angin ditentukan berdasarkan bentuk proyeksi bidang kontak angin, baik dalam arah longitudinal maupun transversal. Berikut tabel nilai koefisien seret yang disarankan oleh OCDI (2009).

Tabel 2.4 Koefisien Seret Angin

	Square cross-section	2.0 [1.2] (0.6)
	Square cross-section	1.6 [1.4] (0.7)
	Rectangular cross-section (ratio of side lengths = 1:2)	2.3 [1.6] (0.6)
	Rectangular cross-section (ratio of side lengths = 1:2)	1.5 (0.6)
	Rectangular cross-section (when one face is in contact with the ground)	1.2
	Circular cross-section (smooth surface)	1.2 (0.7)

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009

Besar gaya yang ditimbulkan oleh arus menurut OCDI (2009), untuk arah transversal dan untuk arah longitudinal ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$R_{TC} = \frac{1}{2} \rho C V_y^2 B$$

$$R_{LC} = 0,0014 S V_x^2$$

Keterangan :

R_{TC} = Beban arus arah transversal (kN)

R_{LC} = Beban arus arah longitudinal (kN)

S = Luas permukaan basah (m²)

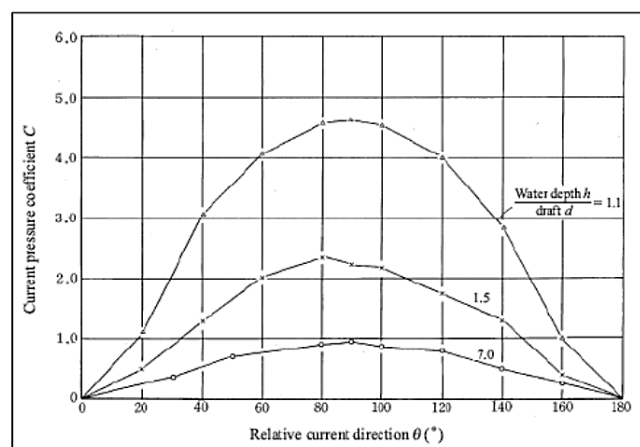
ρ = Massa jenis air laut (1.025 kg/m³)

C = Koefisien tekanan arus

V_y = Kecepatan arus dalam arah transversal (m/s)

V_x = Kecepatan arus dalam arah longitudinal (m/s)

B = Luas proyeksi sisi samping kapal yang terendam (m²)



Gambar 2.14 Koefisien Tekanan Arus

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009

Konfigusi Mooring

Kapal ditambatkan ke struktur dermaga pada beberapa titik, dan tiap titik memiliki orientasi masing-masing. Berdasarkan orientasinya, tali *mooring* dibagi ke dalam tiga jenis, yaitu sebagai berikut.

a) *Breast Lines*

Breast lines berfungsi untuk menahan gerakan transversal atau *sway* pada kapal perlu dipasang secara tegak lurus terhadap sumbu longitudinal kapal untuk

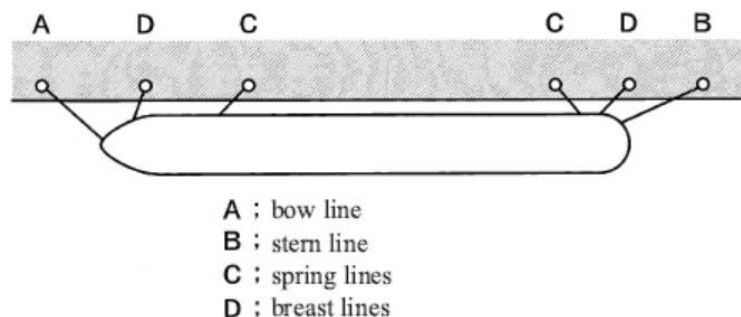
memperoleh tahanan maksimum. *Breast lines* normalnya dipasang pada sudut 90° terhadap sumbu longitudinal kapal agar dapat bekerja secara optimum. *Breast lines* masih dapat dipasang dengan simpangan hingga 15° dari sumbu transversal kapal.

b) *Spring Lines*

Spring lines berfungsi untuk menahan gerakan longitudinal pada kapal perlu dipasang secara paralel terhadap sumbu longitudinal kapal untuk memperoleh tahanan maksimum. *Spring lines* dipasang pada sudut 10° terhadap sumbu longitudinal kapal agar dapat bekerja secara optimum.

c) *Head & Stern Lines*

Head dan *stern lines* berfungsi memberikan tahanan tambahan kepada *spring lines* dan *breast lines*, juga berfungsi pada kondisi khusus seperti badai. *Head* dan *stern lines* normalnya dipasang pada sudut 45° terhadap sumbu longitudinal kapal, namun masih dapat bekerja dengan optimum ketika dipasang hingga sudut 75° .



Gambar 2.15 Tata Letak *Mooring*

Sumber: *The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009*

Ketentuan mengenai konfigurasi *bollard* dan tali *mooring* menurut OCDI (2009) adalah sebagai berikut.

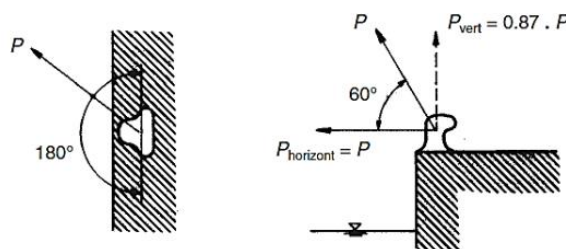
- *Stern* dan *bow lines* dipasang dengan sudut 30° - 45° terhadap sisi dermaga.
- Dalam perhitungan beban, *breast lines* diasumsikan terpasang dengan sudut 90° terhadap sisi dermaga.
- Jumlah dan jarak antar *bollard* diatur sesuai dengan ukuran kapal, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.

Tabel 2.5 Penentuan Jarak Antar *Bollard*

Gross tonnage of design ship (t)	Maximum interval between bollards (m)	Minimum number of installation per berth (unit)
Less than 2,000	10-15	4
2,000 or more and less than 5,000	20	6
5,000 or more and less than 20,000	25	6
20,000 or more and less than 50,000	35	8
50,000 or more and less than 100,000	45	8

Sumber: *The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009*

Dalam perhitungan beban *mooring* pada struktur dermaga, arah kerja gaya *mooring* diasumsikan jika dilihat dari atas, tali *mooring* dapat membentuk sudut $\pm 90^\circ$ terhadap *bollard* dan jika dilihat dari samping, tali *mooring* dapat membentuk sudut hingga 60° terhadap *bollard*.

Gambar 2.16 Arah Kerja Beban *Mooring* Pada *Bollard*

Sumber: *Thoresen, Carl.A. 2014 Port Designer's Handbook*

2.7 Beban Lingkungan

Faktor lingkungan memberikan beban terhadap struktur dermaga. Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi diantaranya gelombang, arus, dan gempa bumi. Maka desain struktur dermaga harus mampu menahan beban-beban tersebut.

2.7.1 Beban Gelombang

Perhitungan beban gelombang dipengaruhi hubungan antara diameter struktur yang terkena gelombang (D) dan panjang gelombang (L). Terdapat tiga persamaan untuk menentukan beban gelombang, yaitu sebagai berikut.

(1) Persamaan Morison :

$$\frac{D}{L} \leq 0,15$$

(2) Persamaan Froude-Krylov :

$$0,15 \leq \frac{D}{L} \leq 0,5$$

(3) Teori Difraksi :

$$\frac{D}{L} \geq 0,5$$

Pada struktur dermaga *open berth*, gelombang akan menabrak bagian tiang pancang. Umumnya, ukuran diameter tiang pancang kurang dari 1 m, sedangkan panjang gelombang yang terjadi dapat mencapai 10 m. Oleh karena itu, perhitungan beban gelombang pada struktur dermaga dapat menggunakan Persamaan Morison. Persamaan Morison dihitung sebagai penjumlahan gaya seret dan gaya inersia yang ditunjukkan pada persamaan.

$$F_w = F_D + F_1$$

$$F_w = \frac{1}{2} \rho C_D A |u|u + \rho C_M V \dot{u}$$

Keterangan :

F_w = Gaya gelombang (kN)

F_D = Gaya seret/drag (kN)

F_1 = Gaya inersia (kN)

A = Luas proyeksi struktur dalam arah arus (m²)

C_D = Koefisien seret

u = Kecepatan partikel air akibat gelombang (m/s)

C_M = Koefisien inersia

V = Volume struktur yang terkena gelombang dan terendam air (m³)

$\dot{u}$ = Percepatan partikel air akibat gelombang (m/s²)

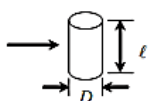
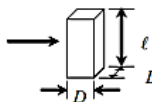
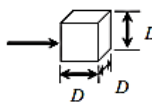
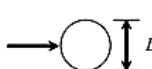
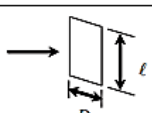
Nilai koefisien seret dan koefisien inersia ditentukan berdasarkan bentuk dari bagian struktur yang terkena gelombang. Nilai koefisien seret dan inersia ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.6 Koefisien Seret

Object shape	Standard area	Drag coefficient
Circular cylinder (rough surface) 	$D\ell$	$1.0(\ell > D)$
Rectangular cylinder 	$B\ell$	$2.0(\ell > B)$
Circular disk 	$\frac{\pi}{4} D^2$	1.2
Rectangular plate 	ab	When $a/b=1$ 1.12 " " 2 1.15 " " 4 1.19 " " 10 1.29 " " 18 1.40 " " ∞ 2.01
Sphere 	$\frac{\pi}{4} D^2$	0.5–0.2
Cube 	D^2	1.3–1.6

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009

Tabel 2.7 Koefisien Inersia

Shape of the object	Basic volume	Inertia coefficient
Cylinder 	$\frac{\pi}{4} D^2 \ell$	2.0 ($\ell > D$)
Regular prism 	$D^2 \ell$	2.19 ($\ell > D$)
Cube 	D^3	1.67
Sphere 	$\frac{\pi D^3}{6}$	1.5
Flat plate 	$\frac{\pi}{4} D^2 \ell$	When $D/\ell = 1$, 0.61 When $D/\ell = 2$, 0.85 When $D/\ell = \infty$, 1.00

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009

2.7.2 Beban Arus

Parameter yang dibutuhkan untuk menghitung beban arus adalah besar kecepatan arus yang mengenai struktur. OCDI (2009) menyatakan bahwa arus menyebabkan gaya seret pada struktur. Arus yang diperhitungkan dalam beban arus

struktur adalah nilai kecepatan arus terbesar di lokasi studi. Perhitungan beban arus ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A u^2$$

Keterangan :

F_D = Gaya seret/drag (kN)

ρ = Massa jenis air laut (=1,025 kg/m³)

C_D = Koefisien seret

A = Luas proyeksi struktur dalam arah arus (m²)

u = Kecepatan arus (m/s)

2.7.3 Beban Gempa

Perancangan struktur di Indonesia membutuhkan perhitungan beban gempa bumi terhadap struktur karena tingginya aktivitas tektonik dan vulkanik di Indonesia. Beban akibat gempa bumi dihitung secara otomatis menggunakan perangkat lunak analisis struktur. Perhitungan beban gempa tersebut dilakukan berdasarkan masukan respon spektra ke perangkat lunak tersebut. Respons spektra dibuat dengan mengacu kepada standar SNI 1726-2019 Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Spektrum respons gempa menjelaskan hubungan antara respons maksimum pada suatu sistem SDOF (*Single Degree of Freedom*) dengan periode getar struktur (T) berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respons maksimum dapat berupa Simpangan Maksimum (S_D), Kecepatan Maksimum (S_V), atau Percepatan Maksimum (S_A). Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya dalam masa layan tertentu. Penentuan grafik respons spektra menggunakan referensi zonasi SNI 1726-2019 dengan probabilitas terlampaui sebesar 2% dalam 50 tahun atau gempa dengan periode ulang 2500 tahun yang merupakan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget MCE_R (*Maximum Considered Earthquake Targeted Risk*). Tahapan penentuan respons spektra adalah sebagai berikut.

1. Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs dilakukan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Profil tanah di situs harus diklasifikasi sesuai Tabel berdasarkan profil tanah pada lapisan 30 m paling atas. Klasifikasi situs berdasarkan parameter kecepatan rata-rata gelombang geser ($\bar{v}_s$), nilai rata-rata tahanan penetrasi standar tanah ($\bar{N}$) dan kuat geser niralir rata-rata ($\bar{s}_u$).

Tabel 2.8 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (Batuan keras)	$\bar{v}_s \geq 1500$	N/A	N/A
SB (Batuan)	$750 < \bar{v}_s \leq 1500$	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	$350 < \bar{v}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 100$
SD (Tanah Sedang)	$175 < \bar{v}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{s}_u \leq 100$
SE (Tanah lunak)	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 50$
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (Tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersegmentasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

Catatan : N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: SNI 1726-2019

Nilai kecepatan rata-rata gelombang geser ($\bar{v}_s$) ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}}$$

Keterangan :

d_i = Tebal setiap lapisan pada kedalaman 0 – 30 m

v_{si} = Kecepatan gelombang geser lapisan i (m/s)

$\sum_{i=1}^n d_i = 30$ m

Nilai tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata ($\bar{N}$) dan tahanan penetrasi standar rata-rata untuk lapisan tanah non-kohefif ($\bar{N}_{ch}$) ditentukan dengan menggunakan persamaan.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

$$\bar{N}_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}}$$

Keterangan :

d_i = Tebal setiap lapisan pada kedalaman 0 – 30 m

d_s = Tebal total lapisan tanah non-kohefif pada 30 m lapisan paling atas

N_i = Tahanan penetrasi standar lapisan i

Nilai kuat geser nialir rata-rata ($\bar{s}_u$) ditentukan menggunakan persamaan.

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}}$$

Keterangan :

d_c = Tebal total lapisan tanah non-kohefif pada 30 m lapisan paling atas

PI = Indeks Plastisitas

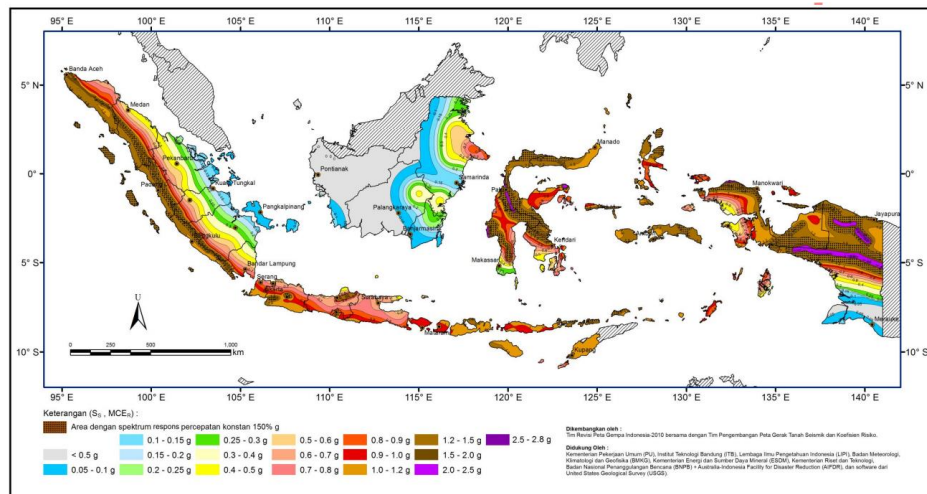
w = Kadar air(%)

s_{ui} = Kuat geser niralir (< 250 kPa)

2. Parameter Tanah

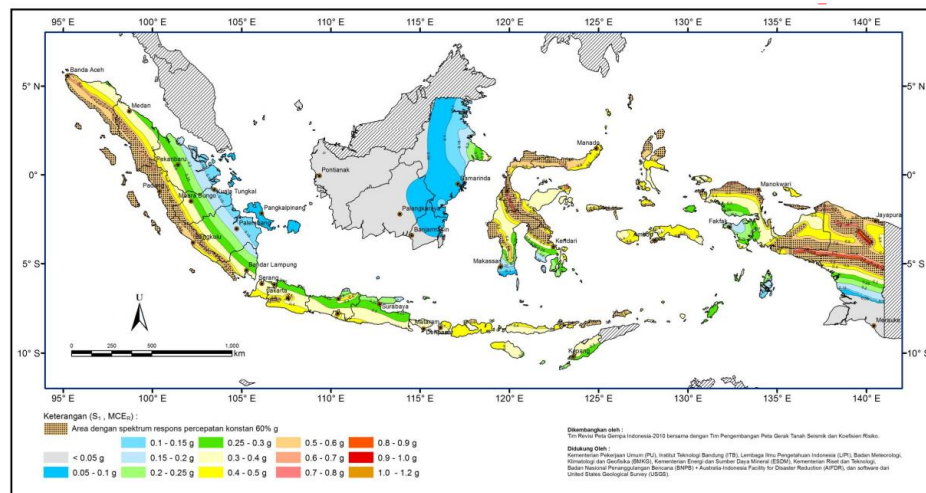
Parameter percepatan gempa batuan dasar terdiri dari percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik (S_5) dan percepatan batuan dasar periode 1 detik (S_1). Periode 0,2 detik menjelaskan perilaku struktur yang lebih kaku

dengan periode getar yang lebih pendek dan periode 1 menjelaskan perilaku struktur yang lebih lentur dengan periode getar yang lebih panjang saat terkena gempa. Berdasarkan SNI 1726-2019, parameter S_S dan S_1 ditentukan berdasarkan peta gempa yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.17 Peta Percepatan Tanah Periode 0,2 Detik

Sumber: SNI 1726-2019



Gambar 2.18 Peta Percepatan Tanah Periode 1 Detik

Sumber: SNI 1726-2019

3. Faktor Koefisien Situs

Faktor amplifikasi seismik diperlukan untuk penentuan respon spektral percepatan gempa di permukaan tanah (MCE_R). Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan getaran periode pendek (F_a) dan

faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v).

Nilai kedua koefisien dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.9 Faktor Amplifikasi Periode Pendek (F_a)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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)					

Sumber: SNI 1726-2019

Tabel 2.10 Faktor Amplifikasi Periode 1 Detik (F_v)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 1726-2019

4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan maksimum pada periode pendek (S_{MS}) dan parameter percepatan maksimum periode 1 detik (S_{M1}) dihitung pada persamaan berikut.

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

Dengan S_s dan S_1 adalah parameter respons spektral percepatan gempa bantuan dasar terpetakan. Sedangkan F_a dan F_v adalah koefisien situs.

5. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

6. Spektrum Respons Desain

Konsep desain respons spektrum berkaitan dengan penilaian bahaya seismik di Indonesia. Ketentuan pembuatan plot spektrum respons desain adalah sebagai berikut.

- Untuk $T \leq T_0$, spektrum respons percepatan desain S_a dihitung menggunakan persamaan.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, spektrum respons percepatan desain bernilai sama dengan S_{DS} .
- Untuk $T \geq T_s$, spektrum respons percepatan desain dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Nilai T_0 dan T_s ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_0 = 0,2 \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right)$$

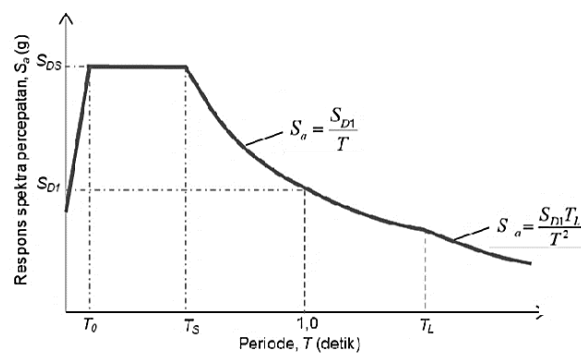
$$T_s = \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right)$$

Keterangan :

S_{DS} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 0.2 detik

S_{D1} = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

T = Periode getaran struktur



Gambar 2.19 Grafik Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726-2019

7. Faktor Skala Gaya Gempa

Sesuai ketentuan SNI 1726-2019 beban gempa perlu dikalikan dengan faktor skala gaya hingga dihasilkan gaya gempa yang memenuhi persamaan.

$$V_t \geq 0,85 V$$

Keterangan :

V_t = Gaya geser ekivalen akibat gempa

V = Gaya geser akibat gempa yang dihasilkan dari pemodelan struktur

Nilai gaya geser ekivalen dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$V = C_S W$$

Keterangan :

C_S = Koefisien respon seismik

W = Berat struktur

Koefisien respon seismik dihitung dengan nilai minimum yang ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \leq \frac{S_{D1}}{T \frac{R}{I_e}}$$

$$C_{S \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Keterangan :

R = Faktor modifikasi respons = 2

T = Faktor keutamaan gempa

I_e = Periode fundamental struktur

Faktor keutamaan gempa bergantung terhadap kategori risiko. Adapun kategori risiko untuk dermaga adalah kategori III, dimana bangunan dermaga merupakan bangunan gedung atau non gedung yang memiliki potensi menyebabkan gangguan ekonomi yang besar serta berdampak massal terhadap kehidupan masyarakat jika terjadi kegagalan, dengan faktor keutamaan gempa sesuai dengan ketentuan sebagai berikut.

Tabel 2.11 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber: SNI 1726-2019

Berat struktur diperoleh dari hasil perhitungan SAP2000. Nilai V_t juga diperoleh dari hasil perhitungan SAP2000 dengan faktor gempa bernilai 1. Sedangkan nilai periode fundamental struktur dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan pada persamaan.

$$T = C_t h_n^x$$

Keterangan :

C_t = Koefisien perioda fundamental

h = Tinggi struktur (m)

x = Koefisien perioda fundamental

Tabel 2.12 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

2.8 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk analisis struktur mengacu pada SNI 2847-2019. Seluruh komponen struktur dirancang agar memiliki kapasitas yang cukup dari efek faktor beban dengan kombinasi sebagai berikut.

1,4 DL

1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (B atau M)

1,2 DL + 1,6 (B atau M) + (1,0 LL atau 0,5 W)

1,2 DL + 1,0 W + 1,0 LL + 0,5 (B atau M)

$$1,2 DL + 1,0 E + 1,0 L$$

$$0,9 DL + 1,0 W$$

$$0,9 DL + 1,0 E$$

Keterangan :

DL = Beban mati (*dead load*)

LL = Beban hidup (*live load*)

B = Beban labuh (*berthing*)

M = Beban tambat (*mooring*)

W = Beban gelombang

E = Beban gempa

2.9 Pemodelan Analisa Struktur

Dalam mendesain struktur dermaga, analisis kekuatan struktur dermaga terhadap beban-beban yang bekerja dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Analisis struktur dilakukan untuk mengecek kekuatan struktur dan untuk menghasilkan desain struktur yang efisien. Analisis struktur dimulai dengan memasukkan desain awal struktur hasil *preliminary design* ke perangkat lunak analisis struktur yang sudah ditentukan pada bab sebelumnya. Kemudian setelah beban dimasukkan, model struktur dijalankan. Keluaran yang dihasilkan dari pemodelan lalu dicek terhadap parameter-parameter kekuatan dan efisiensi struktur yang meliputi defleksi, *unity check ratio* (UCR), dan rasio luas beton dengan tulangan. Hasil pengecekan dijadikan dasar untuk menentukan apakah desain perlu dioptimasi atau tidak.

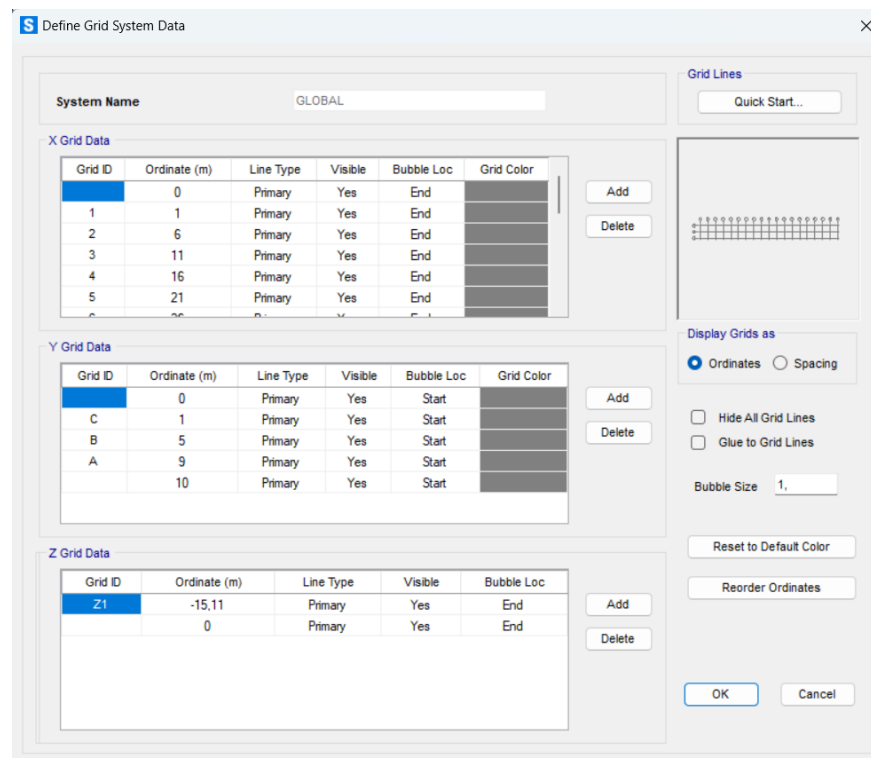
2.9.1 Pendefinisian Struktur

Tahap awal dalam pemodelan struktur dermaga dengan perangkat lunak SAP2000 adalah melakukan input pemodelan, dimana input pemodelan memiliki makna sebagai proses pendefinisian desain awal dermaga yang telah dibuat kedalam program. Yang dijadikan sebagai input pemodelan struktur adalah :

a. *Define Grids*

Secara umum, *grid* berfungsi sebagai kerangka acuan yang membantu dalam penempatan elemen-elemen struktur, pengaturan tata letak, serta memfasilitasi

perhitungan dan analisis yang lebih terstruktur. Grid X didefinisikan sebagai lebar dermaga, grid Y sebagai panjang dermaga dan grid Z sebagai panjang tiang pancang yang digunakan. Langkah *define grid* di SAP2000 adalah klik **Define** → **Coordinate System/Grids** → **Modify/Show System**. Setelah itu akan keluar *dialogue box Define Grid System Data*.

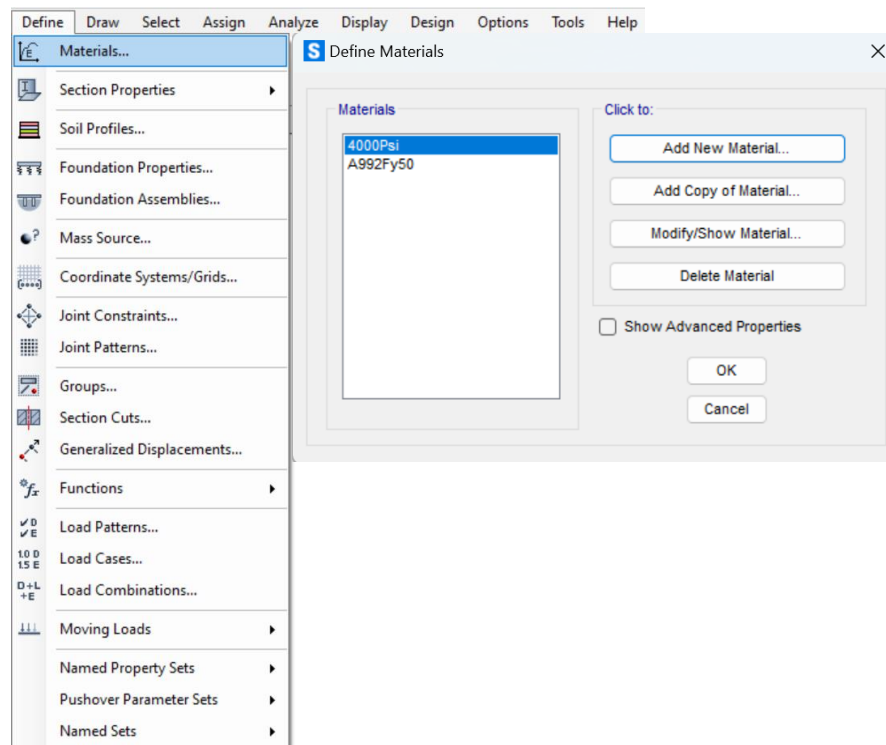


Gambar 2.20 *Define Grids*

Sumber : Software SAP2000

b. *Define Material*

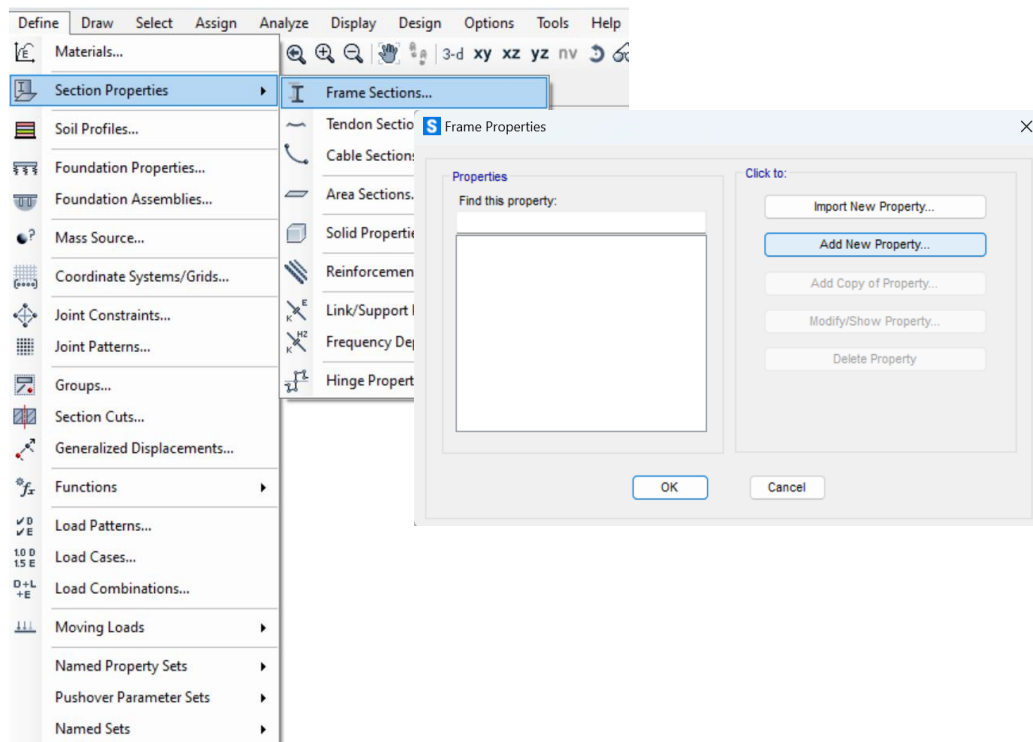
Salah satu input pemodelan adalah material yang dipilih sebagai penyusun struktur, dan material tersebut harus didefinisikan terlebih dahulu. Pendefinisian material merupakan tahap untuk mendefinisikan material yang digunakan pada pemodelan struktur. Secara umum, terdapat 6 jenis material yang dapat digunakan, yakni *steel*, *concrete*, *coldformed*, *aluminium*, *rebar*, dan *tendon*. Langkah *define material* di SAP2000 adalah klik **Define** → **Materials** → **Add New Material**.

Gambar 2.21 *Define Material*

Sumber : Software SAP2000

c. *Define Frame*

Setelah melakukan pendefinisian material sebagai input medeling, selanjutnya adalah melakukan pendefinisian *frame* struktur. Komponen penyusun struktur dermaga yang tergolong pendefinisian *frame* yaitu adalah tiang pancang (*pile*) dan rangka balok sedangkan untuk pelat lantai akan didefinisikan sebagai area (*area section*). Langkah *define frame* di dalam SAP2000 adalah klik **Define** → **Section Properties** → **Frame Sections** → **Frame Properties**. Kemudian dari menu **Frame Properties** dilakukan penambahan definisi *frame* baru dengan memilih pilihan **Add New Property**.



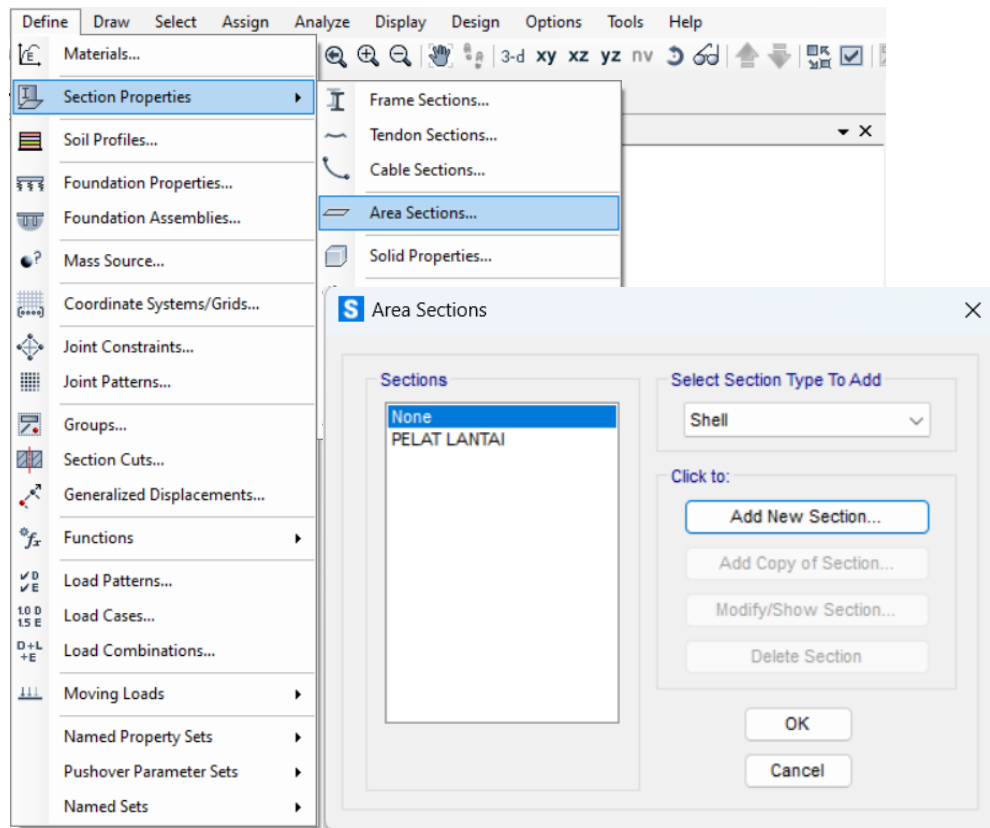
Gambar 2.22 Define Frame

Sumber : Software SAP2000

Untuk mendefinisikan *frame* yang berupa elemen struktur beton bertulang atau balok, maka **Frame Section Property Type** dipilih untuk tipe material yang biasa digunakan yaitu beton (**Concrete**) atau baja (**Steel**). Setelah menentukan **Frame Section Property Type** yang digunakan. Kemudian pilih bentuk *frame*.

d. Define Area

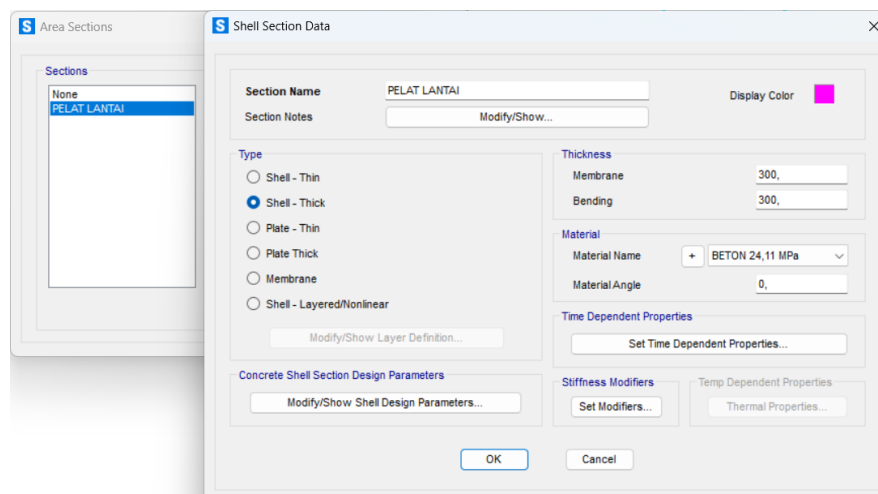
Area section merupakan elemen struktur yang dimodelkan dengan suatu area. Pada model ini, yang merupakan *area section* berupa pelat pada dermaga. Langkah dalam mendefinisikan *area* adalah dengan mengklik **Define → Section Properties → Area Sections → Add New Section**.



Gambar 2.23 Define Area

Sumber : Software SAP2000

Setelah itu akan muncul *dialogue box Shell Selection Data* yang berfungsi untuk memasukkan karakteristik data pelat yang berupa ketebalan pelat (*Thickness*), tipe pelat (*Type*) dan material pelat (*Material*).



Gambar 2.24 Define Area Pelat

Sumber : Software SAP2000

2.9.2 Geometri Struktur

Dalam model awal struktur terdapat tiga jenis elemen struktur, yaitu balok, pelat, dan tiang pancang. Pemodelan struktur dilanjutkan dengan penggambaran model struktur yang terdiri dari *draw frame*, *draw area* dan *assign joint* yang dijelaskan sebagai berikut.

a. *Draw Frame*

Langkah-langkah penggambaran *frame* adalah dengan mengklik menu **Draw → Quick Draw Frame**, lalu *select* pada *grid* yang telah dibuat dan tentukan material *frame* yang akan digunakan. Maka *frame* akan terbentuk otomatis sesuai dengan *grid* yang telah dibuat.

b. *Draw Area*

Langkah-langkah penggambaran area adalah **Draw → Quick Draw Area**, lalu *select* pada *grid* yang telah dibuat dan tentukan material area yang akan digunakan. Maka area akan terbentuk otomatis sesuai dengan *grid* yang telah dibuat.

c. *Assign Joint*

Langkah-langkah *assign joint* adalah **Assign → Joint → Restraints** lalu pilih *restraints* yang akan digunakan. Dan untuk *joint* pada ujung tiang pancang dilakukan **Assign → Joint → Constraints** lalu pilih *constraint* yang akan digunakan.

2.9.3 Pembebanan

Beban yang ditanggung oleh struktur dermaga terdiri atas beban horizontal dan beban vertikal. Beban vertikal terbagi menjadi 2, yaitu beban hidup (*live load*) atau beban yang besar dan posisinya dapat berubah-ubah, dan beban mati (*dead load*) yang terdiri dari berat sendiri komponen struktur serta berat struktur pendukung yang letaknya tetap. Untuk beban horizontal sendiri terdiri dari beban gelombang, arus, gempa, *berthing*, dan *mooring*.

Dalam pemodelan SAP2000, Pembeban diaplikasikan pada model melalui fitur yang tersedia, yaitu *assign load*. Jenis beban yang diaplikasikan pada model struktur terdiri dari :

1. **Frame load** = Beban terpusat atau merata yang bekerja pada *member/frame*
2. **Joint load** = Beban terpusat yang bekerja pada *joint*
3. **Area load** = Beban merata yang bekerja pada suatu daerah luasan

2.9.4 Defleksi

Defleksi adalah perubahan bentuk yang terjadi pada struktur akibat adanya pembebanan yang diberikan pada struktur tersebut. Pada struktur dermaga, defleksi izin dibagi menjadi dua ketentuan pembebanan, yakni defleksi izin terhadap beban gempa dan defleksi izin terhadap beban operasional. Berdasarkan Tata Cara Perhitungan Struktur Fasilitas Pelabuhan Laut, defleksi izin terhadap beban gempa dan beban operasional ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.13 Batas Defleksi Izin

Beban	Batas Defleksi Izin
	(mm)
Gempa	100
Operasional	50

Sumber: Tata Cara Perhitungan Struktur Fasilitas Pelabuhan Laut, 2015

2.9.5 Unity Check Ratio

Unity Check Ratio (UCR) adalah rasio antara tegangan yang terjadi pada struktur dengan kapasitas tegangan yang dimiliki suatu elemen struktur. Pengecekan nilai *UCR* dilakukan untuk elemen tiang pancang. Batas nilai *UCR* adalah satu ($UCR < 1$) karena jika suatu elemen struktur tiang pancang memiliki *UCR* lebih besar dari 1 ($UCR > 1$) maka artinya tegangan yang terjadi pada elemen tiang pancang lebih besar dari kapasitas tegangan yang dimiliki oleh elemen tiang pancang tersebut. Ketentuan yang digunakan untuk pengecekan *UCR* adalah:

- Kode/standar: AISC 360-16
- Ketentuan Desain: *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*

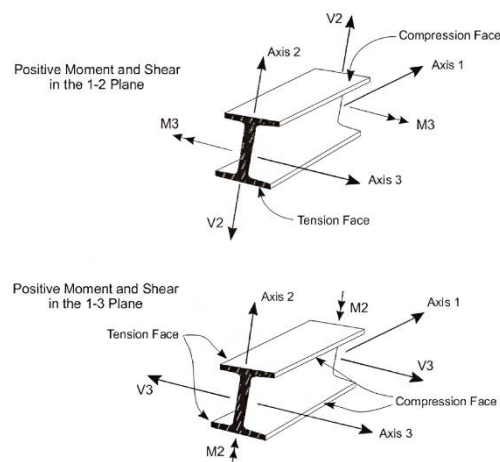
2.9.6 Gaya Dalam

Gaya dalam yang digunakan untuk keperluan perancangan penulangan pada elemen struktur adalah gaya dalam yang dihasilkan dari kombinasi pembebanan. Nilai gaya dalam juga akan digunakan untuk menentukan ukuran optimal dari elemen struktur. Gaya dalam yang digunakan adalah gaya dalam untuk elemen

balok dan elemen pelat. Pengecekan dilakukan untuk mengetahui ukuran penampang optimal yang diperlukan. Penampang yang optimal memiliki nilai ρ yaitu $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$.

1. Gaya Dalam Balok

Gaya dalam elemen balok yang ditinjau adalah momen lentur yang membuat balok berdefleksi dalam arah vertikal (M_3), gaya geser arah vertikal (V_2), dan gaya geser arah horizontal (V_3). Berikut adalah ilustrasi gaya dalam pada balok.

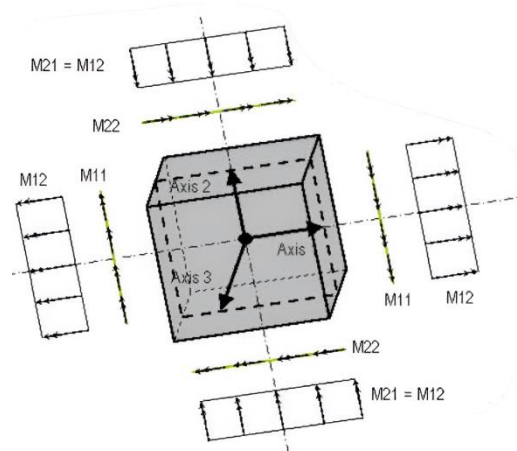


Gambar 2.25 Arah Gaya Dalam pada Balok

Sumber : *Practical Finite Element Analysis Linear Static and Dynamic Analysis, 2017*

2. Gaya Dalam Pelat

Gaya dalam yang diperhitungkan pada elemen pelat adalah momen lentur pelat. Terdapat dua momen lentur pada elemen pelat yaitu momen lentur yang memutar sumbu 1 (M_{22}) dan momen lentur yang memutar sumbu 2 (M_{11}). Berikut adalah ilustrasi momen lentur.



Gambar 2.26 Arah Momen Lentur Pada Pelat

Sumber : dennismecardosstructuralengineersblog.wordpress.com

2.10 Penulangan Struktur

Penulangan stuktur dilakukan setelah proses pemodelan struktur selesai. Hal tersebut dilakukan agar struktur dapat menahan gaya geser maupun momen lentur yang diakibatkan adanya beban-beban yang mengenai struktur.

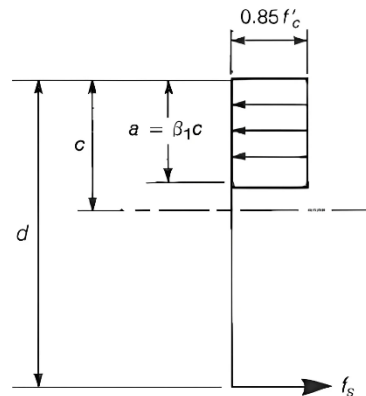
2.10.1 Tulangan Lentur

Beton merupakan material yang memiliki kemampuan yang baik dalam menahan beban tekan, namun lemah dalam menahan beban tarik yang akan mengakibatkan retak pada beton. Oleh karena itu digunakan tulangan lentur pada beton untuk menahan bagian yang mengalami tarik ketika elemen beton menerima momen lentur.

Berdasarkan SNI 2847-2019 asumsi desain untuk penulangan lentur yaitu:

1. Regangan pada tulangan dan beton diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral kecuali untuk balok tinggi .
2. Regangan maksimum pada serat tekan beton terluar yaitu 0,003.
3. Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kuat leleh (f_y) harus diambil sebesar E dikalikan dengan regangan baja. Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh, tegangan pada tulangan harus sama dengan f_y .
4. Dalam perhitungan aksial dan lentur untuk beton bertulang, kuat tarik beton diabaikan.

5. Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton dapat diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan hasil pengujian tekan.
6. Ketentuan pada poin 5 dapat dipenuhi oleh suatu distribusi tegangan beton persegi ekuivalen yang didefinisikan sebagai berikut:
 - a) Tegangan beton sebesar $0,85 f'_c$ diasumsikan terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral setara $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan maksimum.



Gambar 2.27 Distribusi Tegangan Tekan Pada Beton Bertulang

Sumber: Mac Gregor, Wight. *Reinforced Concrete Mechanics and Design 6th Edition*

- b) Jarak dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral (c) harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu netral.
- c) Untuk $17 \leq f'_c \leq 28$ MPa nilai β_1 harus diambil sebesar 0,85. Untuk $f'_c > 28$ MPa nilai β_1 direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \geq 0,65$$

Adapun tahapan desain tulangan lentur adalah sebagai berikut.

1. Keseimbangan Penampang

Dari gambar keseimbangan penampang balok, regangan dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\varepsilon_s = \frac{f_y}{E_s}$$

Keterangan :

ε_s = Regangan tarik baja (MPa)

f_y = Tegangan leleh baja (MPa)

E_s = Modulus elastisitas baja

Hubungan nilai c dan d pada gambar kesetimbangan penampang balok dihitung dengan menggunakan prinsip kesebangunan segitiga pada persamaan.

$$\frac{c}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \varepsilon_s}$$

Syarat kesetimbangan balok adalah ketika tegangan tekan (C_c) bernilai sama dengan tegangan tarik (T).

$$C_c = T$$

$$0,85 f'_c ab = A_s f_y$$

Dengan demikian, diperoleh tinggi daerah tekan ekivalen (α) dengan persamaan.

$$\alpha = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c ab}$$

Keterangan :

C_c = Tegangan tekan

T = Tegangan tarik

f'_c = Kkuat tekan beton (MPa)

a = Tinggi daerah tekan ekivalen (mm)

b = Lebar penampang beton (mm)

A_s = Luas total penampang tulangan (mm^2)

f_y = Tegangan leleh baja (MPa)

2. Perhitungan Rasio Tulangan yang Dibutuhkan

- Penentuan Parameter R_n

Perhitungan parameter R_n ditunjukkan pada persamaan.

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

- Penentuan Parameter ρ

Perhitungan parameter rasio tulangan yang dibutuhkan ditunjukkan pada persamaan.

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'_c}} \right)}$$

3. Penentuan Jumlah Tulangan

- Penentuan Luas Tulangan Total (A_s)

Perhitungan luas tulangan total ditunjukkan pada persamaan.

$$A_s = \rho b d$$

Keterangan :

A_s = Luas total penampang tulangan (mm^2)

ρ = Rasio tulangan aktual

b = Lebar penampang balok (mm)

d = Tinggi efektif balok (mm)

- Penentuan Jumlah Tulangan (n)

Perhitungan jumlah tulangan ditunjukkan pada persamaan.

$$n = \frac{A_s}{A}$$

Keterangan:

n = Jumlah tulangan

A = Luas tulangan satuan (mm^2)

4. Pengecekan Kondisi Tulangan

Konsep desain tulangan lentur adalah mencapai kondisi *under-reinforced* dimana besar rasio tulangan lebih besar dari rasio tulangan minimum dan lebih kecil dari rasio tulangan maksimum.

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

Dimana :

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \geq \frac{1,4}{f_y}$$

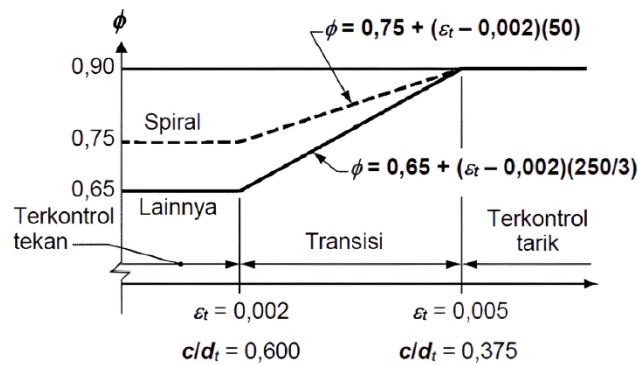
$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

Nilai ρ_b adalah perbandingan antara A_s dan bd pada kondisi setimbang dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\rho_b = \left(\frac{0,85\beta_1 f'_c}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

5. Perhitungan Kapasitas Lentur Tereduksi

Setelah nilai regangan pada baja tulangan diperoleh maka faktor reduksi kekuatan (ϕ) dapat ditentukan berdasarkan grafik pada gambar berikut.



Gambar 2.28 Skema Grafik Nilai Faktor Reduksi

Sumber: SNI 2847-2019

6. Perhitungan Kapasitas Lentur Nominal

Momen nominal dihitung sesuai syarat kesetimbangan, maka nilai M_n diperoleh dari persamaan.

$$M_n = T \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{2 \times 0,85 f'_c b} \right)$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c b} \right)$$

7. Pengecekan Kriteria Kekuatan Lentur

Perancangan tulangan lentur harus memenuhi kriteria yang sesuai dengan persamaan.

$$\phi M_n \geq M_u$$

8. Penentuan Spasi Antar Tulangan

Spasi antar tulangan lentur dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$s = \frac{b - 2d' - n \times D - n_s \times D_s}{n - 1}$$

Keterangan :

s = Jarak bersih antar tulangan (mm)

b = Lebar balok (mm)

d' = Tebal selimut beton (mm)

n = Jumlah tulangan

D = Diameter tulangan (mm)

n_s = Jumlah tulangan sengkang pada bentangan tulangan

D_s = Diameter tulangan sengkang (mm)

Berdasarkan SNI 2847-2019, jarak bersih antar tulangan sejajar dalam lapis yang sama tidak boleh kurang dari 25 mm ($s \geq 25$ mm) dan untuk tebal selimut beton untuk lingkungan korosif sebesar 50 mm ($d' = 50$ mm). Bila terdapat dua lapisan atau lebih tulangan, tulangan pada lapisan bagian atas harus diletakan tepat di atas tulangan lapisan bawahnya dengan jarak bersih sebesar 25 mm.

2.10.2 Tulangan Geser

Pada perancangan penampang beton akibat geser harus memenuhi syarat jika geser yang diterima penampang harus lebih kecil atau sama dengan kapasitas gaya geser (kuat geser nominal) setelah dikalikan dengan faktor reduksi. Sehingga harus memenuhi kriteria yang ditunjukkan pada persamaan.

$$V_u \leq \phi V_n$$

Keterangan :

V_u = Gaya geser *ultimate* (N)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan geser (= 0,75)

V_n = Kuat geser nominal (N)

Tulangan geser atau sengkang berfungsi memberikan kekuatan tambahan kepada balok beton agar dapat menahan gaya geser yang diterimanya. Sehingga gaya geser nominal balok beton bertulang adalah penjumlahan kuat geser beton dan baja tulangan yang ditunjukkan pada persamaan.

$$V_n = V_c + V_s$$

Keterangan :

V_n = Kuat geser nominal (N)

V_c = Kapasitas geser beton (N)

V_s = Kapasitas geser tulangan (N)

Adapun tahapan desain tulangan geser adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan Kapasitas Geser Beton

Kuat geser yang diberikan oleh beton dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} bd$$

Keterangan :

V_c = Kapasitas geser beton (N)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

b = Lebar penampang balok (mm)

d = Tinggi efektif balok (mm)

2. Periksa Kebutuhan Sengkang

Berdasarkan *American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-11) syarat dibutuhkannya sengkang pada suatu beton adalah sebagai berikut.

- Tidak butuh sengkang, jika nilai V_u memenuhi persamaan.

$$V_u \leq \frac{1}{2} V_c$$

- Butuh sengkang minimum, jika nilai V_u memenuhi persamaan.

$$\frac{1}{2} \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$$

- Butuh sengkang, jika nilai V_u memenuhi persamaan.

$$V_u > \phi V_c$$

3. Perhitungan Kapasitas Geser Sengkang yang Diperlukan

Kuat geser tulangan sengkang yang dibutuhkan dihitung dengan menggunakan persamaan.

4. Perhitungan Luas Tulangan Geser

Nilai luas tulangan geser tergantung pada jumlah sengkang yang digunakan dan dilakukan dengan menggunakan persamaan.

$$A_v = n \frac{\pi}{4} \times D_s^2$$

Keterangan :

A_v = Luas tulangan sengkang (mm^2)

n = Jumlah tulangan sengkang

D_s = Diameter sengkang (mm)

5. Perhitungan Spasi Tulangan Geser yang Dibutuhkan

Spasi antar tulangan geser dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$s_{req} = \frac{A_v f_y d}{V_s}$$

Spasi antar tulangan geser jika dibutuhkan tulangan geser minimum dihitung dengan persamaan.

$$s = \frac{3A_v f_y d}{b} \leq \frac{d}{2}$$

6. Perhitungan Spasi Maksimum Tulangan Geser

Spasi maksimum adalah $\frac{d}{2}$ jika nilai V_s memenuhi syarat pada persamaan.

$$V_s < \frac{\sqrt{f'_c} b d}{3}$$

Spasi maksimum adalah $\frac{d}{4}$ jika nilai V_s memenuhi syarat pada persamaan.

$$\frac{\sqrt{f'_c} b d}{3} \leq V_s < \frac{2 \times \sqrt{f'_c} b d}{3}$$

Spasi antar tulangan geser dipilih dengan mempertimbangkan nilai spasi maksimum (s_{max}). Apabila nilai spasi antar sengkang (s) yang telah dihitung lebih besar dari nilai s_{max} ($s > s_{max}$) maka nilai spasi antar tulangan geser yang digunakan adalah spasi maksimum.

7. Perhitungan Kuat Geser Aktual

Kuat geser aktual dihitung menggunakan persamaan.

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

Bengkokan dan Angkur Tulangan Sengkang

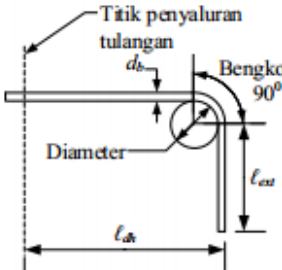
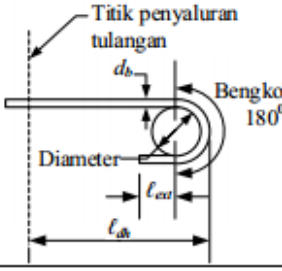
Aturan untuk bengkokan tulangan sengkang diatur dalam SNI 2847- 2019 sebagai berikut.

- a) Untuk tulangan D-16 dan lebih kecil, diameter dalam bengkokan $\geq 4d_b$

b) Untuk tulangan diatas D-16, diameter bengkokan diatur sebagai berikut.

- D-10 sampai D-25, diameter dalam bengkokan $\geq 6d_b$
- D-29 sampai D-36, diameter dalam bengkokan $\geq 8d_b$
- D-43 sampai D-57, diameter dalam bengkokan $\geq 10d_b$

Tabel 2.14 Geometri Kait Untuk Penyaluran Batang Ulir

Tipe kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D 25	$6d_b$	$12d_b$	
	D29 hingga D 36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D25	$6d_b$	terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D29 hingga D36	$8d_b$		
	D43 hingga D57	$10d_b$		

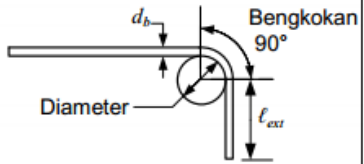
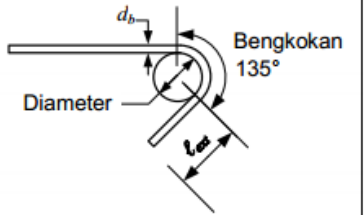
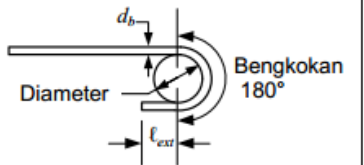
Sumber: SNI 2847-2019

Aturan untuk angkur tulangan sengkang diatur dalam SNI 2847-2019 sebagai berikut.

- Tulangan D-16 dan lebih kecil, bengkokan 90 derajat ditambah perpanjangan terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm pada ujung bebas batang tulangan
- Tulangan D-19 sampai D-25, bengkokan 90 derajat ditambah perpanjangan $12d_b$ pada ujung bebas batang tulangan
- Tulangan D-25 dan lebih kecil, bengkokan 135 derajat ditambah perpanjangan terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm pada ujung bebas batang tulangan
- Tulangan D-25 dan lebih kecil, bengkokan 180 derajat ditambah perpanjangan terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm pada ujung bebas batang tulangan

Untuk struktur tahan gempa, perpanjangan kait tidak kurang dari 75 mm.

Tabel 2.15 Geometri Kait Untuk Penyaluran Tulangan Sengkan

Tipe Kait standar	Ukuran batang	Diameter sisi dalam bengkokan minimum	Perpanjangan lurus ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipe kait standar
Kait 90 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$	$12d_b$	
Kait 135 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $6d_b$ dan 75 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		
Kait 180 derajat	D10 hingga D16	$4d_b$	Terbesar dari $4d_b$ dan 65 mm	
	D19 hingga D25	$6d_b$		

Sumber: SNI 2847-2019

Tulangan Kulit

Menurut SNI 2847-2019 untuk tinggi balok > 800 mm, diperlukan tulangan kulit longitudinal dengan spasi yang dihitung menggunakan persamaan.

$$s \leq 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$$

$$s \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Keterangan :

f_s = Tegangan *service* tulangan $\frac{2}{3}f_y$

c_c = Tebal selimut beton

2.10.3 *Punching Shear*

Punching shear merupakan salah satu jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada struktur beton yang terjadi akibat adanya beban terpusat. Beban terpusat dapat berupa hubungan antara ban kendaraan yang beroperasi di dermaga. Kegagalan

terjadi akibat hampir hilangnya kapasitas geser pada titik kontak. *Punching shear* perlu ditinjau untuk memastikan bahwa dimensi komponen beton dapat menahan beban terpusat yang terjadi. Syarat keamanan beton dalam menahan *punching shear* ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$V_u \leq \phi V_n$$

Keterangan :

V_u = Gaya geser *ultimate* (N)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan geser (= 0,75)

V_n = Kuat geser nominal (N)

Nilai dari kapasitas geser nominal (V_n) diperoleh dari persamaan.

$$V_n = V_c + V_s$$

Keterangan :

V_n = Kapasitas geser nominal penampang (kN)

V_c = Kapasitas geser nominal beton (kN)

V_s = Kapasitas geser nominal baja tulangan (kN)

Nilai kapasitas geser terpusat sepenuhnya ditahan oleh beton sehingga nilai kapasitas geser (V_s) dianggap tidak ada. Oleh karena itu, nilai $V_s = 0$ sehingga nilai $V_n = V_c$. Nilai kapasitas geser nominal beton adalah nilai terkecil diantara persamaan berikut.

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_0 d}{6}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{a_s d}{b_0} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_0 d}{12}$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_0 d$$

Keterangan :

β_c = Rasio antara sisi terpanjang dan terpendek pelat

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

b_0 = Keliling penampang kritis (mm)

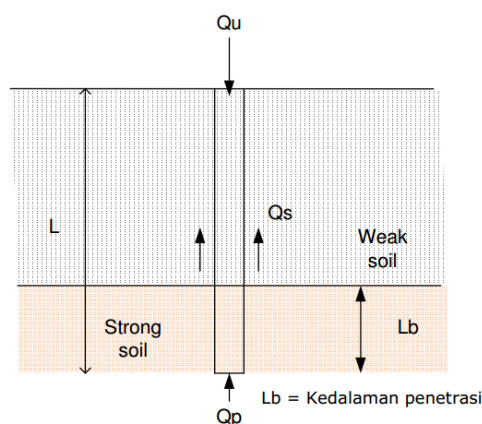
a_s = Faktor letak komponen struktur

d = Jarak antara serat tekan terluar dengan titik pusat tulangan (mm)

2.11 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja pada tanah tersebut. Beban yang bekerja pada tanah akan disalurkan melalui pondasi. Salah satu jenis pondasi dalam yang digunakan adalah pondasi tiang pancang. Tiang pancang berfungsi untuk menyalurkan beban-beban horizontal dan vertikal pada dermaga ke tanah. Panjang tiang pancang dirancang agar mencapai kedalaman tanah keras yang memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban tersebut.

Perhitungan daya dukung tanah diperlukan agar tiang pancang mampu menahan gaya akibat beban *berthing* dan beban *mooring* dari kapal serta gaya gempa. Daya dukung yang diizinkan untuk tiang pancang ditinjau berdasarkan kekuatan ijin tekan dan kekuatan ijin tanah yang dipengaruhi oleh kondisi tanah serta kekuatan material tiang pancang. Daya dukung tanah (Q_{ult}) adalah tekanan maksimum yang dapat diterima oleh tanah akibat beban yang bekerja tanpa menimbulkan kelongsoran geser pada tanah tersebut tepat di bawah dan sekeliling pondasi. Beban yang disalurkan pada tiang pancang dibagi menjadi daya dukung ujung tiang pancang (*end-bearing capacity*, Q_p) dan daya dukung friksi tiang pancang (*skin friction capacity*, Q_s).



Gambar 2.29 Skema Penyaluran Beban pada Tiang Pancang

Sumber: Ajiwibowo, Harman. 2811. Diktat Kuliah Perancangan Dermaga.

2.11.1 Daya Dukung Ujung Tiang

Berdasarkan jenis tanahnya, perhitungan daya dukung pada ujung tiang pancang (*end bearing capacity*) dibedakan menjadi perhitungan untuk tanah pasir (*sand*) dan tanah lempung (*clay*).

1. Daya Dukung Ujung pada Tanah Pasir (*Sand*)

Perhitungan *end bearing capacity* untuk tanah jenis pasir ditunjukkan pada persamaan.

$$Q_p = A_p q' N_q$$

Keterangan :

Q_p = Kapasitas ujung tanah *ultimate* (kN)

A_p = Luas permukaan ujung tiang pancang (m²)

q' = Tekanan *overburden* (kPa)

Nilai N_q bergantung pada nilai sudut geser friksi efektif (ϕ'). Nilai ϕ' dihitung berdasarkan hubungannya dengan N-SPT tanah pada persamaan.

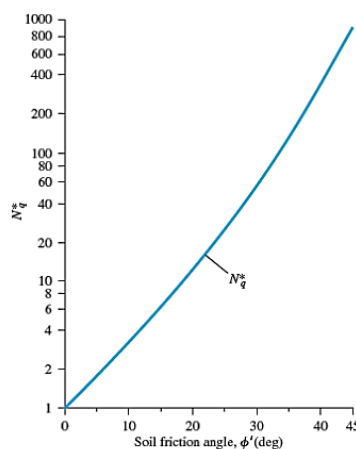
$$\phi' = 27,1 + 0,3(N_1)_{60} - 0,00054(N_1)_{60}^2$$

Keterangan :

ϕ' = Nilai sudut geser friksi efektif

$(N_1)_{60}$ = Nilai N-SPT tanah terkoreksi kondisi lapangan

Oleh karena itu, nilai N_q dapat diperoleh dari grafik hubungan antara N_q dan ϕ' pada gambar berikut.



Gambar 2.30 Grafik Hubungan Antara N_q dan ϕ'

Sumber : Das, Braja. *Principles of Foundation Engineering*, 2011

Pada jenis tanah pasir, terdapat kedalaman kritis (L') dimana nilai daya dukung tidak lagi meningkat (bernilai konstan). Daya tahanan tanah dibatasi oleh tegangan batas yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

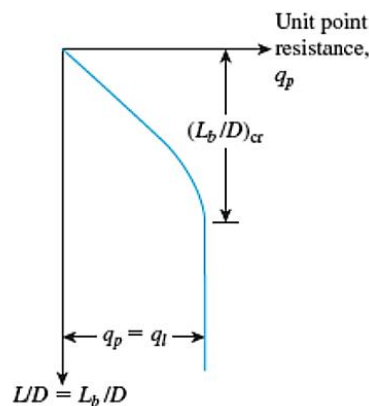
$$q_1 = 0,5 \times p_a \times N_q \times \tan \phi'$$

Keterangan :

p_a = Tekanan atmosfer (100 kN/m²)

Oleh karena itu, nilai daya dukung ujung tiang pancang harus memenuhi persamaan.

$$A_p q' N_q \leq A_p q_1$$



Gambar 2.31 Kedalaman Kritis Pada Daya Dukung Ujung Tiang

Sumber : Das, Braja. *Principles of Foundation Engineering*, 2011

2. Daya Dukung Ujung pada Tanah Lempung (Clay)

Perhitungan *end bearing capacity* untuk tanah jenis lempung ditunjukkan pada persamaan.

$$Q_p = 9C_u A_p$$

Keterangan :

Q_p = Kapasitas ujung tanah *ultimate* (kN)

C_u = Nilai kohesi tanah pada ujung tiang pancang (*undrained cohesion*)

A_p = Luas permukaan ujung tiang pancang (m²)

2.11.2 Daya Dukung Friksi Tiang

Daya dukung friksi tiang pancang adalah gaya gesek yang bekerja pada permukaan tiang pancang yang masuk ke dalam tanah. Gaya gesek ini terjadi

disebabkan adanya gerakan tanah di sekeliling tiang pancang. Perhitungan daya dukung friksi tanah ditunjukkan pada persamaan.

$$Q_s = \sum f_i L_i p$$

Keterangan :

Q_s = Daya dukung friksi tanah (kN)

f_i = Koefisien friksi tanah

L_i = Panjang segmen tiang pancang tinjauan (m)

p = Keliling penampang tiang pancang (m)

Perhitungan daya dukung friksi tiang dibedakan berdasarkan nilai koefisien tanah pada tanah pasir (*sand*) dan tanah lempung (*clay*).

1. Daya Dukung Friksi pada Tanah Pasir (*Sand*)

Nilai koefisien friksi pada tanah pasir dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$f = K \sigma_o' \tan (0,8\phi')$$

Keterangan :

K = Koefisien tekanan tanah efektif

σ_o = Tekanan efektif tanah pada segmen tinjauan

Nilai koefisien tekanan tanah efektif (K) berdasarkan jenis tiang pancang yang digunakan, ditunjukkan pada tabel berikut.

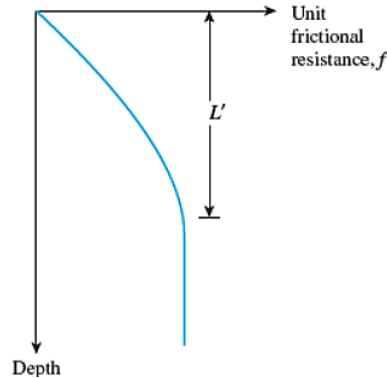
Tabel 2.16 Nilai K Berdasarkan Tipe *Pile*

Jenis <i>Pile</i>	Nilai K
H- <i>Piles</i>	1,65
<i>Steel Pipe Piles</i>	1,26
<i>Pre-Cast Concrete Piles</i>	1,50

Sumber: Das, Braja. *Principles of Foundation Engineering*, 2011

Nilai koefisien friksi tanah dipengaruhi oleh kedalaman dan terdapat kedalaman kritis (L') dimana pada kedalaman tersebut nilai koefisien friksi tidak berubah lagi terhadap kedalaman. Kedalaman kritis sama dengan 15D dimana D adalah diameter tiang pancang. Kedalaman yang lebih besar atau

sama dengan L' maka nilai koefisien friksi pada kedalaman tersebut adalah sama dengan nilai koefisien friksi pada kedalaman L' .



Gambar 2.32 Perubahan Nilai Koefisien Friksi Terhadap Kedalaman Tiang

Sumber : Das, Braja. *Principles of Foundation Engineering*, 2011

Dengan demikian, nilai daya dukung friksi untuk tanah pasir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$Q_s = \sum K \sigma_o' \tan (0,8\phi') L_i p$$

2. Daya Dukung Friksi pada Tanah Lempung (Clay)

Nilai koefisien friksi pada tanah lempung dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$f = a c_u$$

Keterangan :

a = Koefisien friksi tanah

c_u = *Undrained cohesion* di bawah ujung tiang pancang

Nilai a adalah faktor adhesi empiris yang nilainya ditunjukkan pada tabel dibawah berikut.

Tabel 2.17 Nilai Faktor Adhesi

c_u/p_a	a
$\leq 0,1$	1,00
0,2	0,92
0,3	0,82
0,4	0,74
0,6	0,62
0,8	0,54

1,0	0,48
1,2	0,42
1,4	0,40
1,6	0,38
1,8	0,36
2,0	0,35
2,4	0,34
2,8	0,34

Sumber: Das, Braja. *Principles of Foundation Engineering*, 2011

Maka dengan demikian, nilai daya dukung friksi tiang pancang untuk tanah lempung dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$Q_s = \sum ac_u L_i p$$

2.11.3 Daya Dukung Izin Tanah

Daya dukung tiang pancang ditentukan oleh daya dukung izin (Q_{all}). Daya dukung izin dihitung dengan menggunakan faktor keamanan pada daya dukung ujung dan daya dukung friksi. Perhitungan nilai daya dukung izin dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

Keterangan :

Q_{all} = Daya dukung izin tiang pancang

Q_u = Kapasitas aksial *ultimate* tiang pancang

FS = Faktor keamanan

Menurut Braja M. Das (2011) menyatakan bahwa nilai faktor keamanan yang umumnya digunakan dalam proses desain adalah 2,5 sampai dengan 4. Kedalaman yang cocok untuk tiang pancang ditentukan berdasarkan nilai daya dukung izin yang memenuhi reaksi maksimum yang dihasilkan tiang pancang.

2.11.4 Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang

Pondasi tiang dalam bentuk kelompok digunakan untuk menyesuaikan kapasitas pondasi untuk beban yang tidak bisa dipikul oleh satu tiang tinggal saja.

Dalam desain pondasi dengan kelompok tiang, hal penting yang perlu diperhatikan adalah efisiensi kelompok tiang yang akan mempengaruhi daya dukung pondasi tiang dan penurunan (*settlement*) yang terjadi. Untuk menentukan besarnya efisiensi grup tiang menggunakan persamaan berikut.

$$\eta = \frac{Q_g}{n \cdot Q_u}$$

Keterangan :

η = Efisiensi kelompok tiang

Q_g = Kapasitas gabungan kelompok tiang (kN)

Q_u = Kapasitas *ultimate* satu tiang (kN)

n = Jumlah tiang

Pada kondisi keruntuhan tiang tunggal, kapasitas daya dukung aksial total dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$Q_{ug} = n\eta Q_u$$

Keterangan :

Q_{ug} = Kapasitas ultimate kelompok tiang (kN)

n = Jumlah tiang

η = Efisiensi kelompok tiang

Q_u = Kapasitas *ultimate* satu tiang (kN)

2.11.5 Negative Skin Friction

Negative skin friction (NSF) adalah gaya gesek ke bawah yang timbul antara permukaan tiang dan tanah sekitarnya akibat pergerakan tanah yang lebih cepat atau lebih besar dibandingkan pergerakan tiang. Dalam konteks dermaga, fenomena ini biasanya terjadi ketika tanah lunak mengalami konsolidasi atau penurunan alami, seperti akibat timbunan baru di sekitar tiang atau karena pelepasan air pori pada lapisan tanah jenuh.

Perhitungan beban tahanan friksi negatif dilakukan berdasarkan NCHRP *Design and Constructions Guidelines for Downdrag on Uncoated and Bitument Coated Piles*, 1996. Besar NSF untuk tanah lempung dibagi menjadi dua kondisi

yaitu kondisi jangka pendek dan jangka panjang. Besar NSF untuk kondisi jangka pendek besarnya seperti tahanan friksi positif, sedangkan untuk kondisi jangka panjang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$Q_{NSF} = \beta \sigma'_v A_s$$

Keterangan :

Q_{NSF} = Beban NSF (kN)

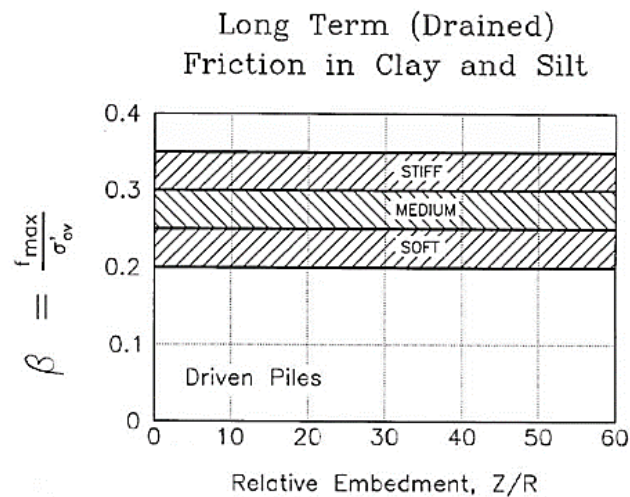
σ'_v = Tekanan vertikal efektif

β = Ratio tekanan vertikal efektif berdasarkan pengujian skala penuh kasus NSF pada fondasi.

A_s = Luas permukaan samping tiang (m^2)

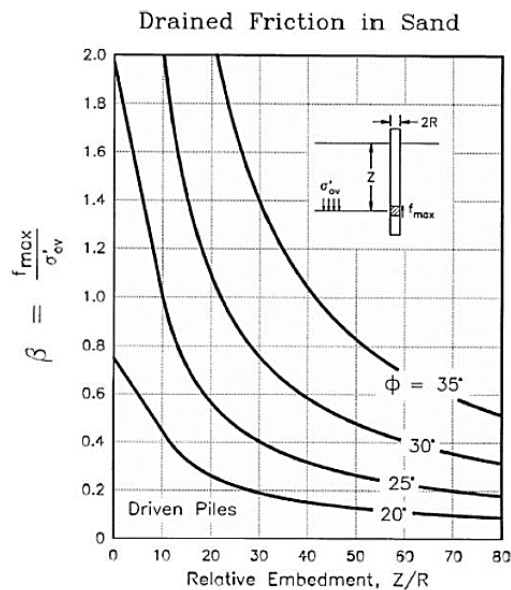
Untuk tanah pasir, perhitungan NSF sama seperti pada tanah lempung kondisi *long term*. Perbedaan hanya terjadi pada nilai p , selain itu penentuan NSF pada tanah pasir juga bisa dilakukan berdasarkan data NSPT dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{NSF} = 5 \times NSPT^{0,7}$$



Gambar 2.33 Penentuan Nilai β Untuk Perhitungan NSF Pada Tanah Lempung
Kondisi *Longterm*

Sumber : *Design and Constructions Guidelines for Downdrag on Uncoated and Bitument Coated Piles, 1996*



Gambar 2.34 Penentuan Nilai β Untuk Perhitungan NSF Pada Tanah Pasir

Sumber : *Design and Constructions Guidelines for Downdrag on Uncoated and Bitument Coated Piles*, 1996

2.11.6 Fixity Point

Fixity point kedalaman tertentu pada tiang pancang di mana tiang tersebut berhenti mengalami deformasi lateral dan dianggap memiliki tumpuan jepit (*fixed support*). Penentuan *fixity point* ditentukan berdasarkan kondisi tanah. Tanah yang diasumsikan memiliki pengaruh jepitan pada tiang adalah tanah dengan kondisi N-SPT sama dengan atau lebih besar dari 4. Dengan mengasumsikan kondisi tanah lapis atas sudah baik, maka *fixity point* diestimasi mulai dari permukaan tanah yang direncanakan yang dihitung menggunakan persamaan.

$$Z_f = \frac{SF}{\beta}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KhD}{4EI}}$$

Keterangan :

Z_f = Kedalaman *fixity point* (m)

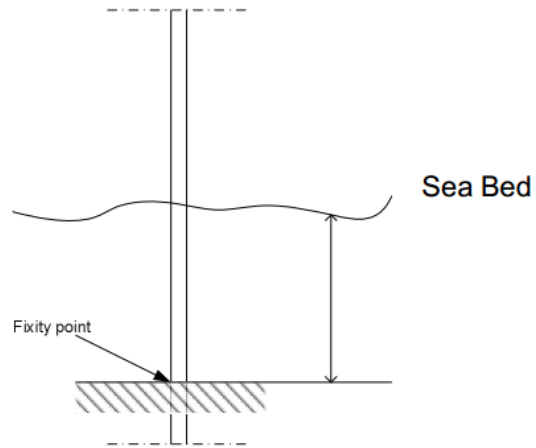
SF = *Safety Factor* = 1,5

Kh = Koefisien horizontal tanah = 0,15 x N-SPT

D = Diameter tiang (m)

E = Modulus elastisitas tiang (kN/m², Mpa)

I = Inersia tiang (m⁴)



Gambar 2.35 *Fixity Point* Dari Tiang Pancang

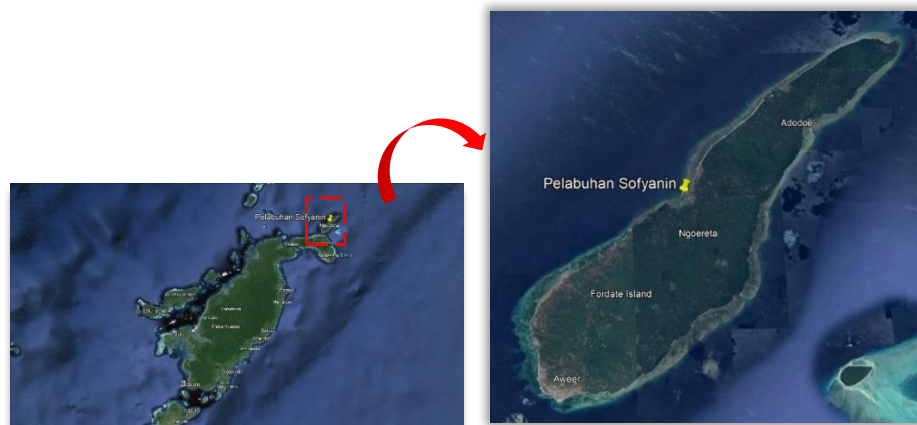
Sumber : *Tata Cara Perhitungan Struktur Fasilitas Pelabuhan Laut, 2015*

BAB III

METODOLOGI

3.1 Lokasi Perencanaan

Perencanaan Fasilitas Pelabuhan Laut Sofyanin terletak di Kecamatan Fordata, Kabupaten Kepulauan Tanimbar, Provinsi Maluku. Secara geografis Pelabuhan Laut Sofyanin terletak pada koordinat $7^{\circ}1'46.19''$ LS dan $131^{\circ}56'53.94''$ BT.



Gambar 3.1 Lokasi Pelabuhan Sofyanin

Sumber : Citra Satelit Google Earth, 2025

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam perencanaan. Dalam menghimpun kebutuhan data untuk perencanaan dapat diperoleh dari berbagai sumber. Metode pengumpulan data pada Tugas Akhir ini dilakukan melalui cara sebagai berikut :

1. Metode Literatur

Metode Literatur yaitu suatu metode yang digunakan untuk mengumpulkan data dengan cara mengumpulkan, mengidentifikasi, mengolah data tertulis dan metode kerja yang dilakukan.

2. Metode Wawancara

Metode Wawancara yaitu metode untuk mendapatkan data dengan cara wawancara langsung dengan instansi terkait/ pengelola atau nara sumber yang dianggap mengetahui permasalahan tersebut.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai dasar dalam perencanaan struktur dermaga yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman teoritis dan teknis mengenai berbagai aspek yang berkaitan dengan desain dan analisis struktur dermaga. Kegiatan ini meliputi pengumpulan, penelaahan, dan sintesis dari berbagai sumber seperti buku referensi teknik sipil, jurnal ilmiah, peraturan nasional dan internasional, serta hasil penelitian sebelumnya. Beberapa hal yang dikaji dalam studi literatur ini meliputi:

1. Peran dan Fungsi Pelabuhan

Studi ini untuk mengetahui berbagai fungsi dan peran pelabuhan. Perencanaan struktur dermaga dalam sebuah pelabuhan harus disesuaikan dengan karakteristik dan tujuan operasional pelabuhan itu sendiri. Hal ini agar struktur yang dibangun mampu melayani kebutuhan secara optimal, aman, dan berkelanjutan.

2. Jenis-jenis Struktur Dermaga

Studi mengenai jenis-jenis struktur dermaga berupa *open berth structure* dan *solid berth structure*. Serta tipe dermaga seperti dermaga *wharf* atau *quay*, *pier* dan *jetty*. Pemilihan tipe struktur tergantung pada kondisi perairan, jenis kapal serta fungsi dermaga itu sendiri.

3. Beban-beban yang Bekerja pada Struktur Dermaga

Studi ini mencakup analisis beban mati (*self weight*), beban hidup (operasional), beban dari kendaraan dan alat berat, beban lingkungan (angin, gelombang, arus, pasang surut), dan beban akibat tambatan serta benturan kapal.

4. Analisis Struktur

Digunakan untuk menentukan respons struktur terhadap beban yang bekerja. Literatur yang dikaji mencakup metode analisis struktur statis dan dinamis

dengan bantuan perangkat lunak seperti SAP2000. Peninjauan dilakukan terhadap metode pembebanan dan penentuan gaya dalam, momen, serta defleksi struktur.

5. Perencanaan Struktur

Struktur atas (*super structure*) seperti pelat lantai, balok, dan slab dianalisis untuk mengetahui dimensi serta penulangan beton yang aman dan efisien. Struktur bawah (*sub structure*) seperti *pile cap* dan tiang pancang dianalisis berdasarkan kapasitas dukung tanah dan kedalaman yang sesuai.

6. Kondisi Tanah dan Data Geoteknik

Dalam studi literatur ini juga dikaji hubungan antara karakteristik tanah dasar dengan jenis pondasi yang digunakan. Data seperti hasil uji sondir dan SPT (*Soil Penetration Test*) menjadi pertimbangan utama dalam desain pondasi dermaga.

3.3.2 Pengumpulan Data

Dalam melakukan perencanaan struktur dermaga diperlukan data yang akan digunakan *preliminary design*. Berdasarkan metode pengumpulan data yang dilakukan, data-data yang diperoleh merupakan data sekunder, yaitu suatu data yang diperoleh dengan cara menghubungi instansi yang terkait dengan perencanaan. Data sekunder yang digunakan dalam perancangan dermaga pada Tugas Akhir ini diperoleh dari PT. Karya Cipta Madani. Data sekunder yang didapat yaitu sebagai berikut.

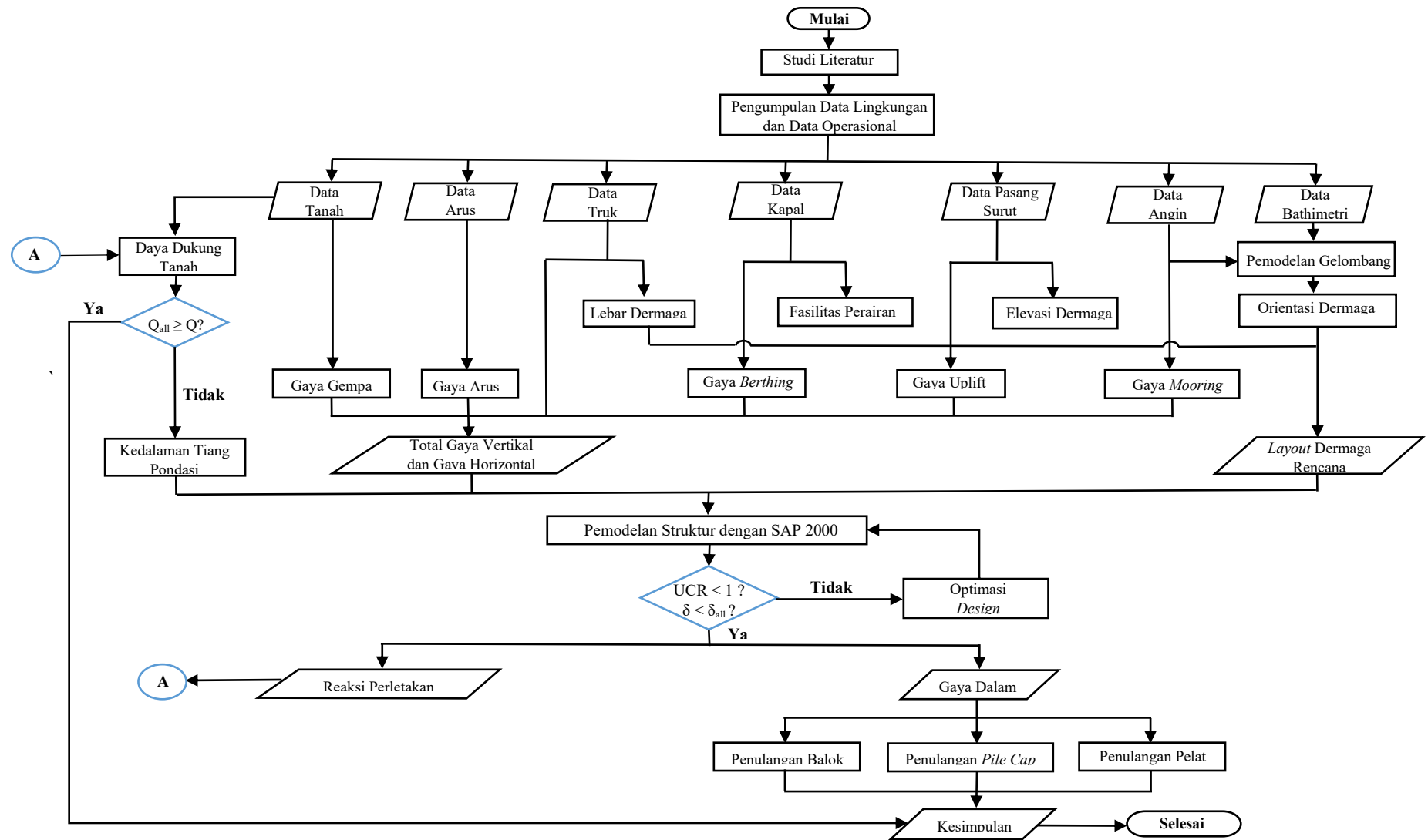
1. Data Topografi dan Bathimetri
2. Data Hidro-Oceanografi
 - a. Data Pasang Surut
 - b. Data Arus
 - c. Data Angin
 - d. Data Gelombang
3. Data Operasional
4. Data Tanah dan Geoteknik
 - a. *Boring Log*
 - b. Sondir

3.3.3 Pemodelan Struktur

Analisis struktur dilakukan untuk mengecek kekuatan struktur dan untuk menghasilkan desain struktur yang efisien. Analisis struktur dimulai dengan memasukkan desain awal struktur hasil *preliminary design* ke perangkat lunak analisis struktur yang sudah ditentukan pada bab sebelumnya. Kemudian setelah beban dimasukkan, model struktur dijalankan. *Output* yang dihasilkan dari pemodelan lalu dicek terhadap parameter-parameter kekuatan dan efisiensi struktur yang meliputi defleksi, *unity check ratio* (UCR), dan rasio luas beton dengan tulangan. Hasil pengecekan dijadikan dasar untuk menentukan apakah desain perlu dioptimasi atau tidak. Analisis struktur dilakukan dengan model 3 dimensi dengan menggunakan program SAP 2000 dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Tiang-tiang pancang dimodelkan sebagai *frame element* dengan kondisi batas roll di ujung bawah tiang rencana. Dengan tiang pancang dianggap sebagai kolom.
2. Kekangan tanah terhadap tiang pancang direpresentasikan menggunakan pendekatan *fixity point*, yaitu asumsi bahwa momen dan gaya lateral sepenuhnya tertransfer pada suatu kedalaman tertentu (*fixity depth*) dari kepala tiang.
3. *Pile cap* merupakan *frame element* yang menghubungkan *top pile* dengan dasar balok.
4. Balok-balok beton, yang terdiri dari balok-balok memanjang dan melintang dimodelkan sebagai *frame element*.
5. Lantai beton dimodelkan sebagai elemen pelat dengan mesh 1m x 1m.

Metodologi pengerjaan Tugas Akhir ini ditunjukkan dalam bentuk bagan diagram alir berikut.



Gambar 3.2 Flowchart Metodologi Penelitian

Sumber : Penyusun

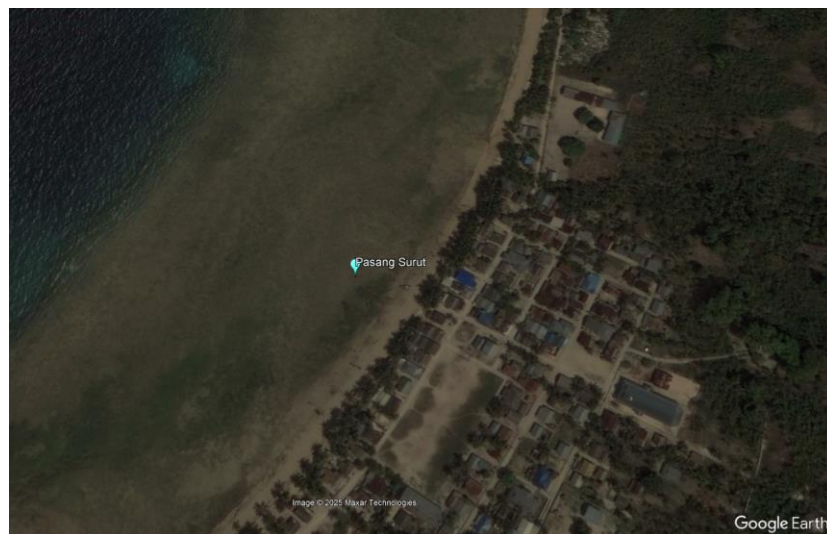
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

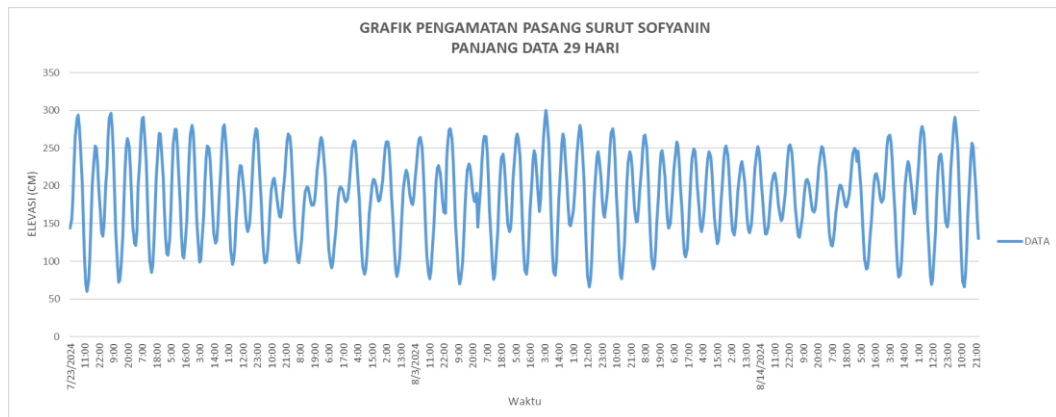
4.1.1 Data Pasang Surut

Pasang surut adalah peristiwa naik turunnya permukaan air laut akibat naik turunnya permukaan air laut akibat adanya gravitasi bumi, bulan dan matahari. Data pasang surut yang digunakan untuk menentukan elevasi dermaga adalah HHWS (*Highest High Water Spring*). Pengamatan pasang surut dilakukan dengan menggunakan perangkat *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Pengukuran menggunakan AWLR dilakukan selama 29 hari terhitung dari tanggal 23 Juli 2024 sampai dengan 20 Agustus 2024. Lokasi pengamatan pasang surut berada di area Pelabuhan Sofyanin seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.1 Lokasi Pengamatan Pasang Surut

Sumber : Citra Satelit Google Earth, 2025



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengamatan Pasang Surut

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Komponen pasang surut air laut yang dihasilkan oleh faktor-faktor astronomis merupakan gelombang harmonik (periodik), sedangkan pengaruh meteorologis tidak periodik (hanya sesaat). Hasil analisis komponen harmonik pasang surut ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Konstituen Harmonik Pasang Surut

METODE <i>ADMIRALTY</i>			METODE <i>LEAST SQUARE</i>		
Konstituen	Amplitudo (cm)	Fasa	Konstituen	Amplitudo (cm)	Fasa
S ₀	186.5	-	S ₀	186.6	0
M ₂	57.9	129.4	M ₂	58.0	31.9
S ₂	31.2	206.6	S ₂	29.1	208.0
N ₂	14.5	155.8	N ₂	16.7	202.2
K ₁	12.1	401.1	K ₁	7.0	106.2
O ₁	16.8	160.4	O ₁	21.9	114.1
M ₄	0.6	241.6	M ₄	0.5	247.5
MS ₄	1.1	120.1	MS ₄	0.6	50.8
K ₂	9.8	206.6	K ₂	17.5	-67.1
P ₁	7.3	401.1	P ₁	29.1	218.3

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Dari tabel konstituen harmonik pasang surut, karakteristik pasang surut yang terjadi di Pelabuhan Sofyanin dapat ditentukan dengan menggunakan bilangan *Formzhal* yang dihitung dengan persamaan.

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2}$$

Dengan klasifikasi:

$$\begin{aligned}
 0 < F < 0,25 &= \text{Semi diurnal} \\
 0,25 < F < 1,5 &= \text{Mixed type (semi diurnal dominant)} \\
 1,5 < F < 3 &= \text{Mixed type (diurnal dominant)} \\
 F > 3 &= \text{Diurnal}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan diperoleh bilangan *Formzhal* untuk metode *admiralty* sebesar 0,32 dan untuk metode *least square* sebesar 0,33 sehingga tipe pasang surut di perairan Pelabuhan Sofyanin dapat diklasifikasikan sebagai pasang surut *mixed type (semi diurnal dominant)* yang berarti dalam 1 hari terjadi 2 kali air pasang dan 2 kali air surut dengan ketinggian dan periode yang berbeda.

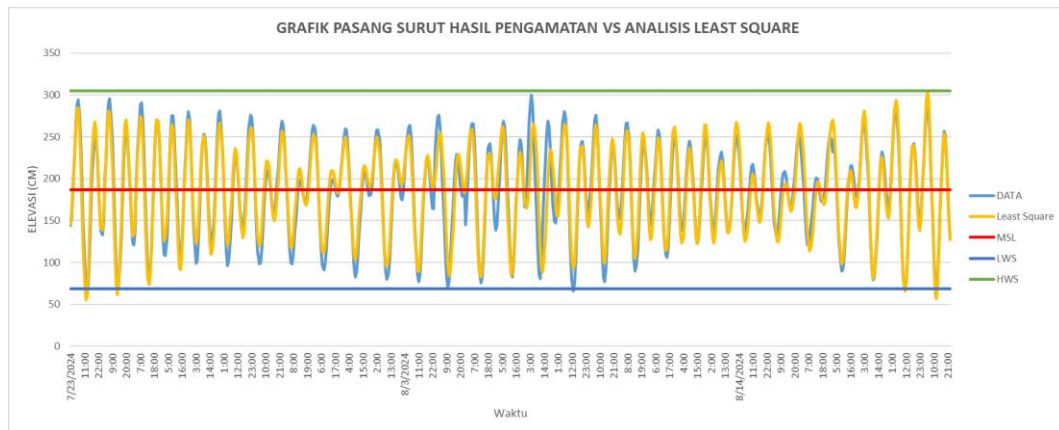
Hasil dari analisis harmonik pasang surut dijadikan dasar peramalan pasang surut untuk 18,6 tahun atau 6.789 hari. Hasil analisis elevasi pasang surut berupa konstituen dan elevasi penting pasang surut dari metode *admiralty* dan *least square*. Elevasi penting pasang surut ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Nilai Elevasi Penting Pasang Surut

Elevasi Penting Pasang Surut				
Parameter	Skala Palembang		Skala m.LWS	
	<i>Admiralty</i>	<i>Least Square</i>	<i>Admiralty</i>	<i>Least Square</i>
<i>Highest Water Spring</i> (HWS)	304,6	302,6	236,1	232,1
<i>Mean Sea Level</i> (MSL)	186,5	186,6	118,0	116,0
<i>Lowest Water Spring</i> (LWS)	68,5	70,6	0	0

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Selain itu juga didapat hasil elevasi pasang surut hasil peramalan kedua metode analisis tersebut yang akan divalidasi kemudian. Perbandingan hasil peramalan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Hasil Pengamatan dengan Hasil Analisis
Least Square

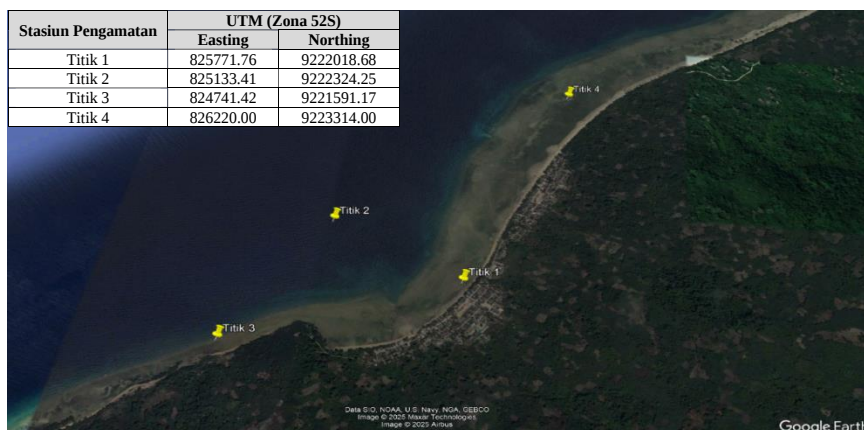
Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Berdasarkan perbandingan hasil analisis antara metode *admiralty* dengan metode *least square* kemudian dihitung nilai error untuk menentukan nilai elevasi mana yang diambil. Didapat nilai error (RMSE) untuk metode *admiralty* sebesar 0,2 m dan untuk metode *least square* sebesar 0,18 m. Sehingga ditentukan bahwa nilai yang diambil adalah nilai dari metode *least square*.

4.1.2 Data Arus

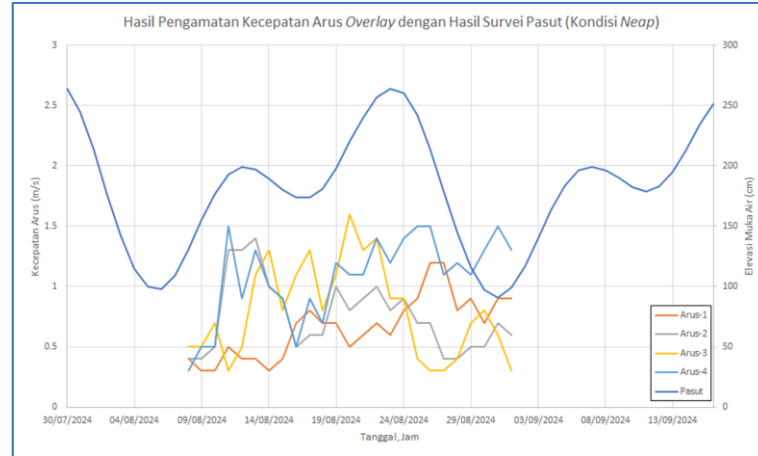
Pengukuran dilakukan terhadap 4 titik di lokasi pada kedalaman 0.8 d, 0.6 d, 0.2 d sebagai perwakilan kondisi arus di dalam kolom air. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *Seba Current Meter*. Lokasi titik pengamatan arus untuk ditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 4.4 Lokasi Pengamatan Data Arus



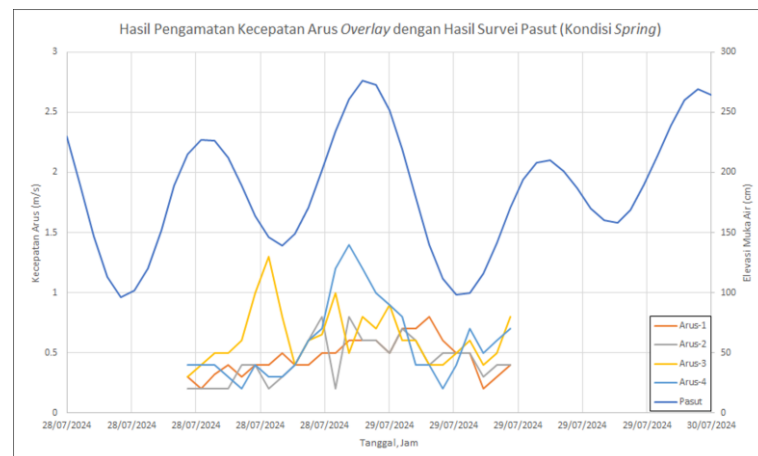
Sumber : Citra Satelit Google Earth, 2025

Kecepatan arus pada grafik pasang surut hasil survei di Pelabuhan Sofyanin ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.5 *Overlay* Survei Arus Pada Grafik Pasang Surut Saat Kondisi *Neap*

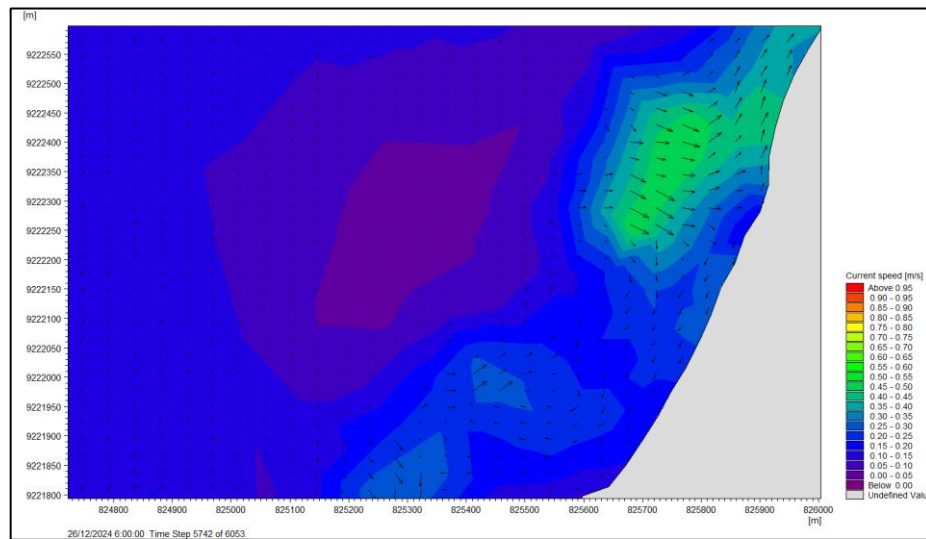
Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024



Gambar 4.6 *Overlay* Survei Arus Pada Grafik Pasang Surut Saat Kondisi *Spring*

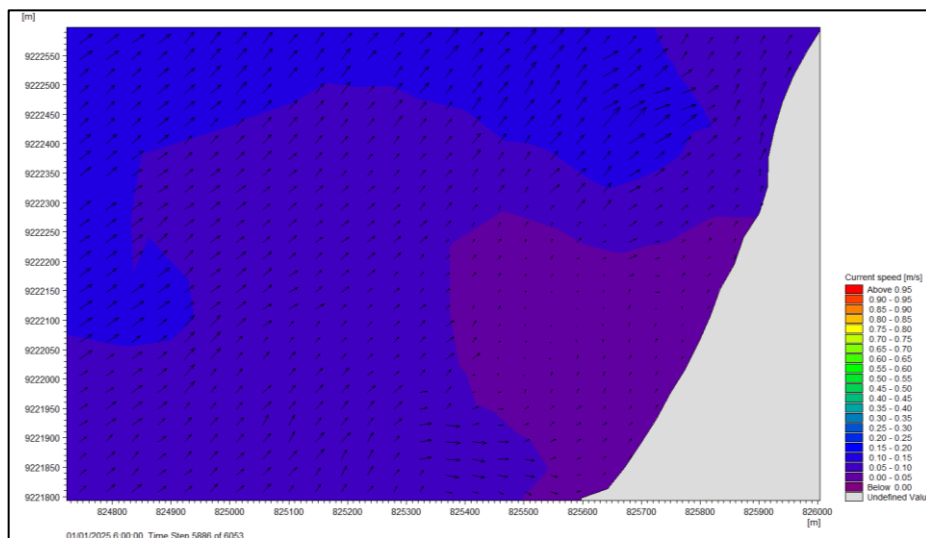
Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Dari hasil *current rose*, kecepatan arus saat kondisi *Neap* berkisar 1,2 – 1,6 m/s dan saat kondisi *Spring* berkisar 0,8 – 1,4 m/s. Arah arus dominan menuju Tenggara, Selatan, dan Barat Daya. Dilakukan juga pengolahan data arus untuk mendapatkan kecepatan arus rencana yang digunakan sebagai parameter desain dermaga. Berikut pemodelan arus Pelabuhan Sofyanin.



Gambar 4.7 Pemodelan Arus Saat Kondisi Spring

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024



Gambar 4.8 Pemodelan Arus Saat Kondisi Neap

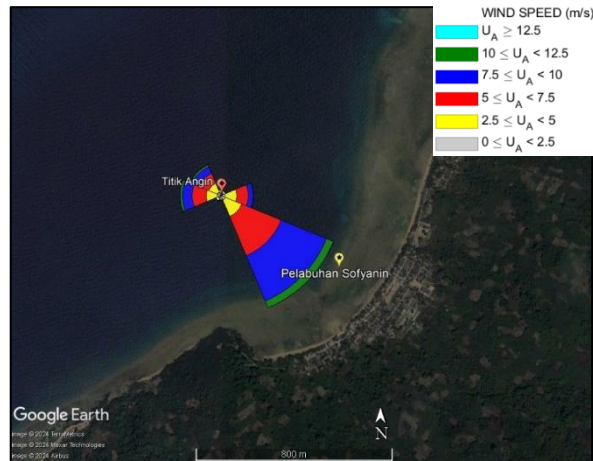
Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Dari hasil pemodelan arus menunjukkan kecepatan arus di Pelabuhan Sofyanin saat kondisi *spring* adalah 0,3-0,5 m/s, sedangkan kondisi *neap* 0,0-0,1 m/s. Arah dominan arus adalah ke arah **Tenggara**.

4.1.3 Data Angin

Data angin diperoleh dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) mulai dari tahun 2009 sampai dengan 2023. Diambil sebanyak satu titik untuk memetakan kondisi angin di Pelabuhan yakni pada 7°1'40.03"LS

dan $131^{\circ}56'30.00''\text{BT}$. Jarak titik angin ke Pelabuhan Sofyanin adalah ± 600 m. Kondisi angin di sekitar perairan Pelabuhan Sofyanin ditunjukkan dengan *windrose* pada gambar berikut.



Gambar 4.9 Kondisi Angin di Perairan Sekitar Pelabuhan

Sumber : Citra Satelit Google Earth, 2025

Dari hasil *windrose* diperoleh data kecepatan angin maksimum selama sepuluh tahun untuk setiap arah mata angin dan setiap tahun di perairan sekitar Pelabuhan Sofyanin ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Kecepatan Angin Maksimum di Pelabuhan Sofyanin

Tahun	Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut
2009	6.73	5.90	9.25	10.90	7.89	7.98	12.19	11.52
2010	8.89	7.71	10.18	11.60	4.81	8.24	11.65	11.80
2011	5.99	5.07	10.40	11.34	7.66	5.89	12.85	12.36
2012	7.24	7.25	10.04	12.69	9.27	5.51	13.75	11.72
2013	5.54	5.07	11.61	12.90	5.26	7.62	12.58	12.53
2014	9.90	5.68	10.24	12.11	4.98	8.12	12.64	12.36
2015	8.47	4.81	11.32	12.58	5.41	5.60	12.17	12.75
2016	5.11	6.12	10.08	11.54	8.14	6.67	11.59	11.24
2017	8.39	5.63	11.54	12.08	7.25	9.30	12.15	11.74
2018	5.86	4.03	13.12	11.50	5.07	9.76	12.35	11.23
2019	6.05	7.68	9.41	13.58	8.07	11.31	12.70	12.19
2020	7.98	6.67	11.51	11.59	7.42	8.43	11.65	11.44
2021	9.86	5.42	12.88	12.07	7.02	8.25	13.41	15.46
2022	8.14	6.01	10.29	11.64	9.28	6.14	12.24	12.67
2023	7.41	7.47	9.40	11.79	8.24	8.61	13.55	13.00

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Dari tabel diatas, kondisi angin di perairan sekitar Pelabuhan Sofyanin adalah dominasi angin yang berasal dari arah Barat dan Barat Laut (musim Barat) yang terjadi pada bulan Desember hingga Maret dengan kejadian terbanyak pada bulan

Februari (54%). Dominasi angin yang berasal dari arah Tenggara (musim Timur) terjadi pada bulan April hingga November dengan kejadian terbanyak pada bulan Agustus (95%).

Pengolahan data angin dilakukan juga untuk mendapatkan kecepatan angin rencana yang digunakan sebagai parameter desain dermaga. Pengolahan data angin yang dilakukan adalah melakukan analisis ekstrim untuk mengetahui kecepatan angin yang mungkin terjadi dalam periode ulang tertentu di masa mendatang. Analisis ekstrim dilakukan dengan menggunakan 4 jenis distribusi yaitu Distribusi Normal, Log Normal, Log Pearson III, dan Gumbel. Selanjutnya akan dibandingkan nilai error relatif untuk masing-masing distribusi, dan distribusi dengan nilai error relatif terkecil akan dipilih untuk digunakan dalam prediksi kecepatan angin maksimum untuk periode ulang 50 tahun.

Tabel 4.4 Analisis Ekstrem Kecepatan Angin (2009 – 2023)

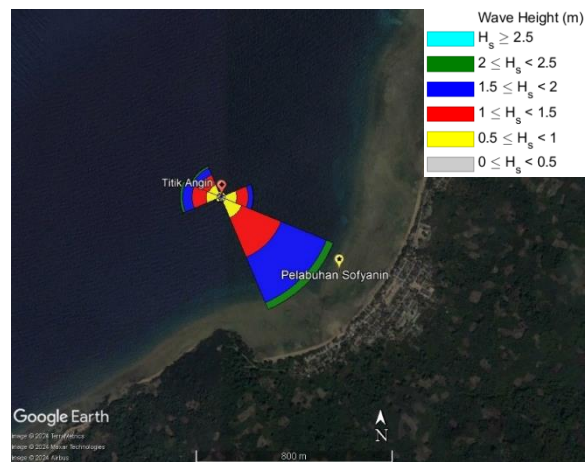
Periode Ulang	Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut
50	10.92	8.59	13.67	13.67	10.57	11.51	14.49	16.17
25	10.30	8.14	13.11	13.36	10.02	10.87	14.14	15.26
10	9.79	7.76	12.67	13.12	9.53	10.34	13.86	14.61
5	9.54	7.57	12.46	13.00	9.29	10.09	13.72	14.30

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Berdasarkan tabel analisis ekstrem, diperoleh kecepatan angin ekstrem 50 tahunan maksimum berasal dari arah **Barat Laut** dengan kecepatan angin **16,17 m/s**.

4.1.4 Data Gelombang

Gelombang laut dibangkitkan oleh angin di laut dalam. Dalam studi ini, titik pembangkitan gelombang yang digunakan, sama dengan titik angin yakni pada koordinat $7^{\circ} 1'40.03''\text{LS}$ dan $131^{\circ}56'30.00''\text{BT}$. Tinggi gelombang di laut dalam diperoleh dengan analisis *hindcasting* dari data angin. Kondisi gelombang di sekitar perairan sekitar Pelabuhan Sofyanin ditunjukkan dengan *waverose* pada gambar berikut.



Gambar 4.10 Kondisi Gelombang di Perairan Sekitar Pelabuhan

Sumber : Citra Satelit Google Earth, 2025

Tabel 4.5 Tinggi Gelombang Maksimum di Pelabuhan Sofyanin

Tahun	Utara	Timur Laut	Barat Daya	Barat	Barat Laut
2009	1.51	0.85	1.91	4.15	3.74
2010	1.74	0.93	1.54	4.02	3.72
2011	2.03	0.64	1.12	3.74	4.22
2012	2.16	1.59	1.62	4.65	4.05
2013	1.42	1.11	1.25	4.31	3.84
2014	1.91	0.67	1.26	4.34	4.09
2015	2.14	0.65	1.35	3.77	4.28
2016	1.68	0.96	2.14	3.99	3.34
2017	2.17	1.51	2.06	4.06	3.79
2018	2.32	0.56	2.28	3.79	3.84
2019	1.42	1.89	3.29	4.36	3.76
2020	1.84	1.68	1.04	3.94	3.43
2021	1.91	1.31	2.47	4.51	5.01
2022	3.01	1.43	1.54	3.47	4.35
2023	2.21	1.87	1.81	4.61	3.77

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Dari tabel diatas dominasi gelombang yang berasal dari arah Barat dan Barat Laut (musim Barat) terjadi pada bulan Oktober hingga April dengan kejadian terbanyak terjadi pada bulan Februari (53%). Dominasi gelombang yang berasal dari arah Timur Laut (musim Timur) terjadi pada bulan Mei hingga September dengan kejadian terbanyak terjadi pada bulan Mei (3%).

Tabel 4.6 Analisis Ekstrem Tinggi Gelombang (2009 – 2023)

Periode Ulang	Utara	Timur Laut	Barat Daya	Barat	Barat Laut
50	3.00	2.45	3.47	4.94	5.35
25	2.79	2.18	3.06	4.82	5.06

10	2.62	1.96	2.76	4.72	4.85
5	2.54	1.86	2.62	4.67	4.74

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Berdasarkan tabel analisis ekstrem, diperoleh tinggi gelombang ekstrem 50 tahunan maksimum berasal dari arah Barat Laut dengan tinggi gelombang 5,35 m. Berdasarkan 5 arah datang gelombang, tinggi gelombang hasil pemodelan di depan dermaga rencana Pelabuhan Sofyanin (OBS1) adalah sebagai berikut.

Tabel 4.7 Tinggi Gelombang Maksimum Hasil Pemodelan

No	Arah Datang Gelombang	Gelombang Laut Dalam	Hasil Pemodelan di OBS1		
		Tinggi Gelombang Periode Ulang 50 Tahunan (m)	Tinggi Gelombang (m)	Periode Gelombang (s)	Timestep Pemodelan
1	Utara	3.00	0.84	5.2	5668
2	Timur Laut	2.45	0.64	5.7	7956
3	Barat Daya	3.47	0.92	5.3	5362
4	Barat	4.94	1.95	7.0	6719
5	Barat Laut	5.35	2.87	8.6	5729

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Berdasarkan analisis hasil pemodelan gelombang, tinggi gelombang maksimum adalah **2,87 m** yang berasal dari arah **Barat Laut**. Tinggi gelombang tersebut akan menjadi tinggi gelombang desain untuk proses penentuan elevasi dermaga. Selain itu, arah Barat Laut sebagai gelombang dominan akan menjadi pertimbangan dalam penentuan orientasi *layout* dermaga.

Persentase kejadian gelombang di Pelabuhan Sofyanin dibagi menjadi kejadian gelombang 0-0.5 meter dan kejadian gelombang >0.5 meter seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.8 Persentase Kejadian Gelombang di Pelabuhan Sofyanin

No	Bulan	0 - 0.5 m	0.5 - 1.0 m	>1.0 m
1	Januari	56%	31%	13%
2	Februari	51%	32%	17%
3	Maret	68%	25%	7%
4	April	89%	8%	3%
5	Mei	100%	0%	0%
6	Juni	100%	0%	0%
7	Juli	100%	0%	0%
8	Agustus	100%	0%	0%

9	September	100%	0%	0%
10	Oktober	95%	3%	2%
11	November	83%	10%	7%
12	Desember	68%	19%	13%

Sumber : PT. Karya Cipta Madani, 2024

Berdasarkan OCDI 2009, rekomendasi tinggi gelombang maksimum untuk operasional kapal penumpang adalah 0,5 m. Kejadian tinggi gelombang 0-0,5 m di Perairan Pelabuhan Sofyanin terjadi pada bulan April-November dengan probabilitas 83-100%. Hal tersebut disebabkan pada bulan-bulan tersebut, sesuai dengan hasil *waverose* tiap bulan, arah gelombang datang berasal dari Timur. Lokasi rencana Pelabuhan Sofyanin yang memiliki garis Pantai menghadap Barat Laut tidak terkena gelombang secara langsung dari arah tersebut. Dengan demikian, Pelabuhan Sofyanin dapat beroperasi dengan aman selama 8 bulan.

Sementara itu, pada bulan Desember-Maret, terdapat kejadian tinggi gelombang $>0,5$ m dengan probabilitas 11-49%. Berdasarkan hasil analisis *hindcating*, arah datang gelombang bulan-bulan tersebut berasal dari Barat dan Barat Laut. Dengan demikian, lokasi rencana Pelabuhan Sofyanin pada bulan Desember-Maret terdapat potensi terjadinya gelombang tinggi dari arah Barat dan Barat Laut.

4.1.5 Data Bathimetri

Data bathimetri digunakan untuk perencanaan *layout* dermaga berdasarkan kedalaman. Hal ini dilakukan agar tidak diperlukan pekerjaan pengerukan dalam proses desain dermaga. Hasil survei bathimetri yang dilakukan PT. Karya Cipta Madani terdapat pada bagian **Lampiran-A**.

4.1.6 Data Tanah

Data tanah yang digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir ini merupakan data *bore log* yang menunjukkan data SPT (*Soil Penetration Test*). Data SPT diperoleh dari pengujian di lapangan dengan prinsip pemukulan sebuah tabung standar ke dalam lubang bor menggunakan palu. Nilai N-SPT diperoleh dari jumlah pukulan yang diperlukan untuk melakukan penetrasi tabung ke dalam tanah hingga kedalaman 30 m. Selain itu juga dilakukan *undisturbed soil sampling* untuk

memperoleh profil tanah. Berikut ditampilkan simplifikasi *boring log* masing-masing titik bor.



Gambar 4.11 *Boring Log* Pelabuhan Sofyanin

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

4.1.7 Data Karakteristik Kapal

Berdasarkan RIP Larat-Sofyanin Tahun 2022 kapal terbesar yang direncanakan untuk dilayani di Pelabuhan Sofyanin adalah Kapal Sabuk Nusantara 73. Maka kapal Sabuk Nusantara 73 adalah kapal rencana yang digunakan sebagai parameter desain dermaga dengan spesifikasi kapal sebagai berikut.

Tabel 4.9 Spesifikasi Kapal Rencana

Nama Kapal Desain		Detail
KM. Sabuk Nusantara 73		
1	<i>Tonase</i>	2077 GT
2	LoA	68,5 m
3	<i>Draught</i>	4 m
4	<i>Beam</i>	14 m
5	IMO	9853292

Sumber: Dokumen RIP Larat-Sofyanin, 2022



Gambar 4.12 Kapal KM Sabuk Nusantara 73

Sumber : Source Youtube Bang Jago, 2022

4.2 Pembebanan

4.2.1 Beban Horizontal

1. Beban *Berthing*

Perhitungan energi berlabuh dilakukan berdasarkan kapal rencana yakni Kapal KM Sabuk Nusantara dengan spesifikasi pada tabel berikut.

Tabel 4.10 Dimensi dan Analisa Kapal Rencana

<i>Ship Category</i>		<i>General Cargo</i>	
<i>Gross Tonnage</i>	GT	2077	
<i>Dead Weight</i>	DWT	3115,5	t
<i>Displacement Tonnage</i>	M_D	4530,3	t
<i>Overall Length</i>	L_{OA}	68,50	m
<i>Beam</i>	B	14	m
<i>Laden Draft</i>	D	6,20	m
<i>Length Between Perpendicular</i>	L_{PP}	63,00	m
<i>Freeboard</i>	F	2,00	m
<i>Volume of Displaced Water</i>	V	4419,82	m ³
<i>Radius of Gyration</i>	r	16,63	m
<i>Length between centre of vessel and berthing point</i>	l	16,00	m
<i>Berthing Angle</i>	α	10	degree

Block Coeff.	C_B	0,81	
Added Mass Coeff.	C_m	1,86	
Eccentricity Coeff.	C_e	0,48	
Berth Configuration Coeff.	C_c	1,00	
Softness Coeff.	C_s	1,00	

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Adapun perhitungan gaya *berthing* dengan nilai koefisien-koefisien sebagai berikut.

- Koefisien massa blok (C_B), dihitung dengan persamaan.

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{PP}BD} = \frac{4419,82}{63(14 \times 6,2)} = 0,81$$

dengan ∇ adalah *volume displacement* (m^3), L_{PP} adalah *length between perpendicular* (m), B adalah lebar kapal (m), dan D adalah draft kapal (m).

- Koefisien massa semu (C_m), dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$C_m = 1 + \left(\frac{\pi}{2C_B} \right) \frac{D}{B} = 1 + \left(\frac{\pi}{2(0,81)} \right) \frac{6,2}{14} = 1,86$$

dengan D adalah draft kapal (m) dan b adalah lebar kapal (m).

- Koefisien eksentrisitas (C_e), dihitung dengan persamaan:

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{\ell}{r} \right)^2}$$

dengan ℓ adalah jarak sepanjang permukaan air dermaga dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal yakni $\frac{1}{4} L_{OA}$, dan r adalah jari-jari putaran di sekeliling pusat berat kapal pada permukaan air.

$$r = (0,19C_B + 0,11)L_{PP} = 16,63$$

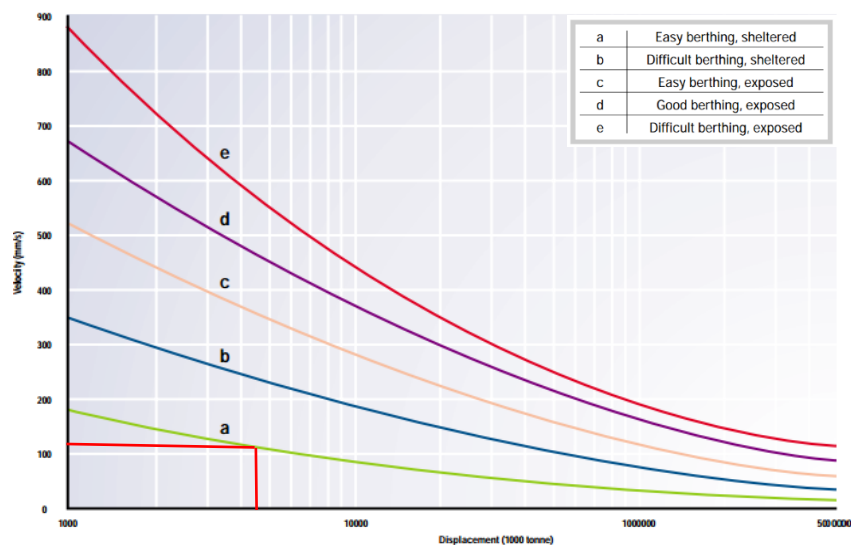
Maka nilai koefisien eksentrisitas adalah:

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{\frac{1}{4} \cdot 68,5}{16,63} \right)^2} = 0,48$$

- Koefisien Kekasaran (C_s), nilai standar koefisien kekasaran adalah 1 ($C_s = 1$).

- Koefisien Konfigurasi Tambat (C_c), nilai standar koefisien tambat adalah 1 ($C_c = 1$).

Kondisi berlabuh diasumsikan *easy berthing* untuk struktur dermaga tipe *sheltered*. Hal tersebut disebabkan dermaga rencana berhadapan langsung dengan perairan terbuka. Penentuan kecepatan berlabuh menggunakan grafik hubungan kecepatan berlabuh dengan *displacement* kapal.



Gambar 4.13 Hubungan antara *Displacement* (M_D) Terhadap *Berthing Velocity*

Sumber : Fentek, 2002

Untuk kapal rencana dengan nilai *displacement* kapal 4.530,3 ton dan pada kondisi *berthing* (a) didapatkan kecepatan berlabuh sebesar 0,12 m/s. Maka energi tumbukan kapal (*berthing energy*) untuk Kapal Rencana Pelabuhan Sofyanin berdasarkan OCDI (2009) adalah sebagai berikut.

$$E_f = \left(\frac{M_s V^2}{2} \right) C_e C_m C_s C_c$$

$$= \left(\frac{4530,3 \times 0,12^2}{2} \right) 0,48 \times 1,86 \times 1 \times 1 = 29,12 \text{ kN.m}$$

Faktor keamanan abnormal diambil berdasarkan Tabel 2.3 untuk tipe kapal *general cargo* didapat nilai faktor keamanan 1,75. Sehingga nilai energi *berthing* abnormal yang terjadi adalah sebagai berikut.

$$E_A = E_f \times 1,75$$

$$= 50,96 \text{ kNm}$$

Fender yang digunakan pada Tugas Akhir ini berjenis *Arch Fender* dari katalog *Fentek Marine Fendering System*. Dengan energi abnormal sebesar 50,96 kNm.

Tabel 4.11 Tipe Fender

AN ARCH FENDER PERFORMANCE							
AN	E1		E2		E3		Efficiency Ratio (ε)
	E _R	R _R	E _R	R _R	E _R	R _R	
150	4.3	74	5.6	96	7.4	127	0.058
200	7.6	99	10.0	128	13.1	169	0.078
250	11.9	123	15.6	160	20.5	211	0.097
300	17.1	148	22.5	192	29.5	253	0.117
400	30.5	197	40.0	256	52.5	338	0.155
500	47.6	247	62.4	321	82.0	422	0.194
600	68.6	296	89.9	385	116	507	0.231
800	122	394	160	513	210	675	0.311
1000	191	493	250	641	328	844	0.389

Energies (E_R) are in kNm. Reactions (R_R) are in kN.
 Rated deflection is 51.5%.
 Standard tolerances apply.

Sumber: *Fentek Marine Fendering System*, 2002

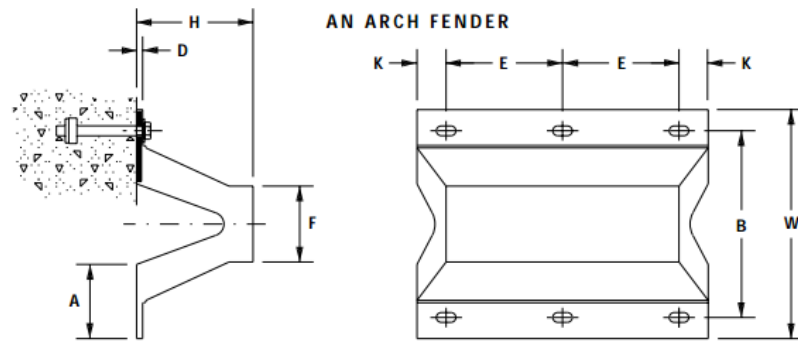
Fender tipe AN 400 E1 akan meneruskan energi sebesar 30,5 kNm untuk panjang fender 1000 mm atau 1 meter. Dengan menggunakan panjang fender 2000 mm atau 2 meter, diperoleh energi sebesar 61 kNm (energi fender desain > energi abnormal kapal). Oleh karena itu, perhitungan reaksi fender AN 400 E1 dengan panjang 2 meter adalah sebagai berikut.

$$R_{R,2meter} = 197 \text{ kNm/m} \times 2 \text{ m} = 394 \text{ kN}$$

Dengan demikian, beban *berthing* kapal yang akan diteruskan oleh fender kepada struktur dermaga adalah sebesar **394 kN**.

AN & ANP ARCH FENDERS BODY DIMENSIONS											
Body Dimensions		H	A	B	W	F	D	K	E	P x Q	Weight (kg/m)
AN 400	ANP 400	400	266	640	808	260	20	100	500	35 x 70	185

All dimensions in millimetres.



Gambar 4.14 Dimensi Fender Tipe *AN Arch Fender*

Sumber : *Fentek Marine Fendering System, 2002*

2. Beban *Mooring*

Berdasarkan OCDI (2009) perhitungan beban *mooring* dibagi menjadi dua yaitu beban akibat angin dan beban akibat arus.

a. Beban Angin

Beban angin terdiri dari dua arah, yaitu arah transversal dan arah longitudinal. Paramater perhitungan beban angin adalah dengan menggunakan kecepatan angin desain (U) sebesar 16,17 m/s. Perhitungan beban angin untuk arah transversal dan beban angin untuk arah longitudinal ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$R_{TW} = \frac{1}{2} \rho_A U^2 A_L C_y$$

$$R_{LW} = \frac{1}{2} \rho_A U^2 A_T C_x$$

Keterangan :

R_{TW} = Beban angin arah transversal (kN)

R_{LW} = Beban angin arah longitudinal (kN)

ρ_A = Massa jenis udara (1,23 kg/m³)

U = Kecepatan angin desain pada 10 m di atas permukaan air laut (m/s)

A_L = Luas proyeksi kapal dalam arah longitudinal di atas permukaan air (m²)

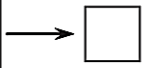
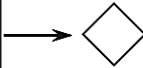
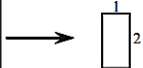
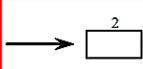
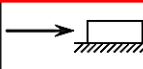
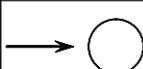
A_T = Luas proyeksi kapal dalam arah transversal di atas permukaan air (m²)

C_y = Koefisien seret angin arah transversal

C_x = Koefisien seret angin arah longitudinal

Nilai koefisien seret angin ditentukan berdasarkan bentuk proyeksi bidang kontak angin, potongan melintang kapal yang berada di atas air berbentuk persegi panjang dengan lebarnya lebih panjang daripada tingginya. Berdasarkan daftar koefisien seret angin yang ditunjukkan pada tabel dibawah, koefisien seret angin dalam arah transversal dan longitudinal diambil sebesar 1,5 ($C_y, C_x = 1,5$).

Tabel 4.12 Nilai Koefisien Seret Angin

	Square cross-section	2.0 [1.2] (0.6)
	Square cross-section	1.6 [1.4] (0.7)
	Rectangular cross-section (ratio of side lengths = 1:2)	2.3 [1.6] (0.6)
	Rectangular cross-section (ratio of side lengths = 1:2)	1.5 (0.6)
	Rectangular cross-section (when one face is in contact with the ground)	1.2
	Circular cross-section (smooth surface)	1.2 (0.7)

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009

Berikut hasil perhitungan beban tumbukan kapal (*mooring force*) akibat beban angin.

Tabel 4.13 Perhitungan *Mooring Force* Akibat Beban Angin

d	Symbol	Value	Unit
Wind Force Acting on Vessel			
Wind Velocity	U	16,17	m/s
Density of Air	ρ_A	1,23	kg/m ³
Side Projection Area	A_L	424,7	m ²
Front Projection Area	A_T	86,8	m ²
Drag Coeff. In X Direction	C_x	1,50	
Drag Coeff. In Y Direction	C_y	1,50	
Wind Force Longitudinal	R_{LW}	20,94	kN
Wind Force Transversal	R_{TW}	102,44	kN

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

b. Beban Arus

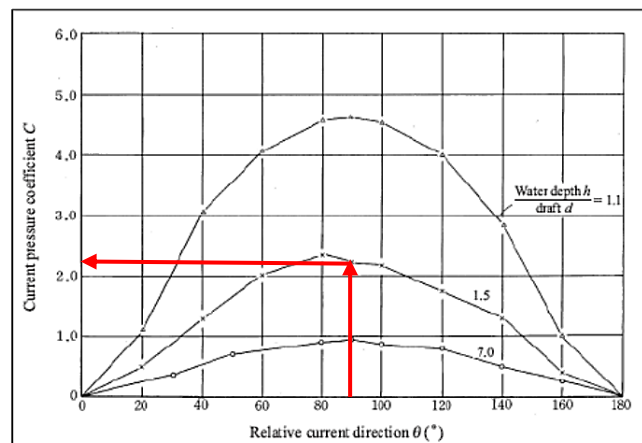
Beban arus juga terdiri dari dua arah, yakni arah longitudinal dan arah transversal. Paramater perhitungan beban arus adalah dengan menggunakan kecepatan arus sebesar 1,6 m/s. Besar gaya yang ditimbulkan oleh arus menurut OCDI (2009), untuk arah transversal dan untuk arah longitudinal ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$R_{TC} = \frac{1}{2} \rho C V_y^2 B$$

$$R_{LC} = 0,0014 S V_x^2$$

Keterangan :

- R_{TC} = Beban arus arah transversal (kN)
- R_{LC} = Beban arus arah longitudinal (kN)
- S = Luas permukaan basah (m^2)
- ρ = Massa jenis air laut (1.025 kg/m^3)
- C = Koefisien tekanan arus
- V_y = Kecepatan arus dalam arah transversal (m/s)
- V_x = Kecepatan arus dalam arah longitudinal (m/s)
- B = Luas proyeksi sisi samping kapal yang terendam (m^2)



Gambar 4.15 Nilai Koefisien Tekanan Arus

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009

Berikut hasil perhitungan beban tumbukan kapal (*mooring force*) akibat beban arus.

Tabel 4.14 Perhitungan *Mooring Force* Akibat Beban Arus

d	Symbol	Value	Unit
Current Force Acting on Vessel			
Current Velocity	V_c	0,5	m/s
Wetted Surface Area	S	815,15	m ²
Density of Seawater	ρ_0	1,025	t/m ³
Water Depth	h	7,00	m
Ratio of Draft and Water Depth	h/D	1,67	
Current Pressure Coeff	C	2,55	
Current Force Longitudinal	R_{LC}	0,28	kN
Current Force Transversal	R_{TC}	82,33	kN

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

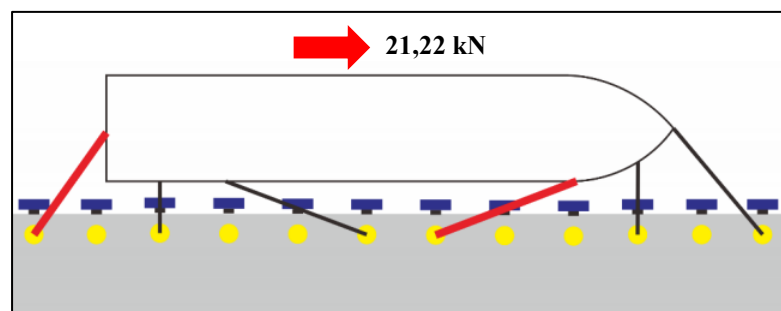
Maka total beban tumbukan kapal (*mooring force*) akibat beban angin dan arus sebagai berikut.

Tabel 4.15 Total *Mooring Force*

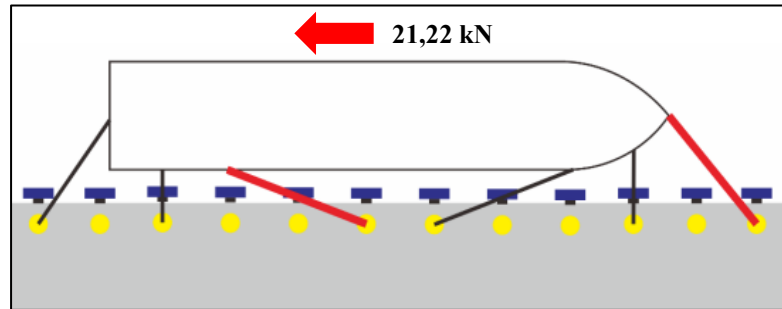
Total Mooring Load			
Longitudinal Mooring Load	R_L	21,22	kN
Transversal Mooring Load	R_T	184,77	kN

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Beban *mooring* yang bekerja diaplikasikan pada pola tambatan sesuai susunan *bollard* di dermaga untuk mendapatkan beban maksimum yang diterima oleh satu *bollard*. Beban *mooring* longitudinal akan ditahan oleh *spring lines* dan *head/stern lines*, sedangkan beban *mooring* transversal akan ditahan oleh *breast lines* dan *head/stern lines*. Ilustrasi penambatan ditunjukkan pada gambar berikut.

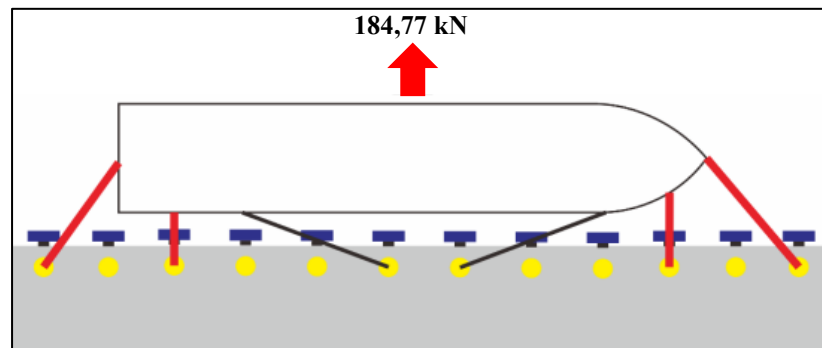
Gambar 4.16 Ilustrasi Beban *Mooring* Longitudinal ke Arah Bow

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025



Gambar 4.17 Ilustrasi Beban *Mooring* Longitudinal ke Arah Stern

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025



Gambar 4.18 Ilustrasi Beban *Mooring* Transversal

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Beban *mooring* longitudinal ditahan oleh dua tali *mooring*, sedangkan beban *mooring* transversal ditahan oleh empat tali *mooring*. Maka beban pada *bollard* untuk tiap arah adalah sebagai berikut.

$$B_T = \frac{R_T}{4} = \frac{184,77}{4} = 46,19 \text{ kN} = 4,71 \text{ ton}$$

$$B_L = \frac{R_L}{2} = \frac{21,22}{2} = 10,61 \text{ kN} = 1,08 \text{ ton}$$

Tali *mooring* juga membentuk sudut terhadap bidang horizontal. Semakin besar sudut terhadap bidang horizontal, maka beban yang diberikan kepada *bollard* sangat besar. Perhitungan beban pada *bollard* untuk masing-masing jenis tali *mooring* yang ditahan adalah sebagai berikut.

a) *Breast Lines*

Breast lines menahan beban transversal yang membentuk sudut 0° terhadap sudut horizontal dan sudut maksimum 60° terhadap sumbu vertikal, sehingga perhitungan beban *bollard* pada *breast line* adalah sebagai berikut.

$$B_{BL} = \frac{B_T}{\cos 0^\circ \cos 60^\circ} = \frac{4,71}{\cos 0^\circ \cos 60^\circ} = 9,42 \text{ ton}$$

b) *Spring Lines*

Spring lines menahan beban longitudinal membentuk sudut 10° terhadap sumbu horizontal dan sudut maksimum 60° terhadap sumbu vertikal, sehingga perhitungan beban *bollard* pada *spring line* adalah sebagai berikut.

$$B_{SL} = \frac{B_L}{\cos 10^\circ \cos 60^\circ} = \frac{1,08}{\cos 10^\circ \cos 60^\circ} = 2,20 \text{ ton}$$

c) *Head/Stern Lines*

Head/stern lines menahan beban transversal yang membentuk sudut 45° terhadap sumbu horizontal dan menahan beban longitudinal yang membentuk sudut 45° terhadap sumbu horizontal serta masing-masing membentuk sudut maksimum 60° terhadap sumbu vertikal, sehingga perhitungan beban pada *bollard head/stern line* adalah sebagai berikut.

$$B_{HS} = \frac{B_T}{\cos 45^\circ \cos 60^\circ} + \frac{B_L}{\cos 45^\circ \cos 60^\circ}$$

$$B_{HS} = \frac{4,71}{\cos 45^\circ \cos 60^\circ} + \frac{1,08}{\cos 45^\circ \cos 60^\circ} = 16,38 \text{ ton}$$

Kemudian dilakukan pemilihan *bollard* yang memiliki kapasitas lebih besar dari beban *bollard* maksimum hasil perhitungan. Berdasarkan OCDI (2009), pemilihan tipe *bollard* dilakukan berdasarkan gaya tambat sesuai bobot kapal.

Tabel 4.16 Gaya Tambat Sesuai Bobot Kapal

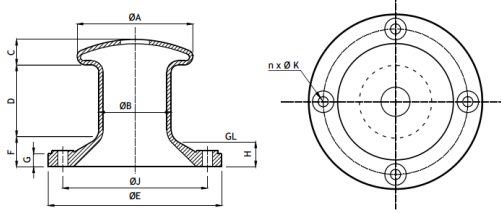
Gross Tonnage (GT) Kapal (tons)	Gaya Tarik Pada Mooring Post (kN)	Gaya Tarik Pada Bollard (kN)
200<GT<500	150	150
500<GT<1.000	250	250
1.000<GT<2.000	350	250
2.000<GT<3.000	350	350
3.000<GT<5.000	500	350

5.000<GT<10.000	700	500
10.000<GT<20.000	1.000	700
20.000<GT<50.000	1.500	1.000
50.000<GT<100.000	2.000	1.000

Sumber: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI), 2009

Kapal KM Sabuk Nusantara 73 memiliki bobot 2077 GT, dari tabel diatas memiliki gaya *mooring* adalah 350 kN. Spesifikasi *bollard* tipe *Straight* 35 ton di tunjukkan sebagai berikut.

Tabel 4.17 Dimensi *Bollard* Tipe *Straight* 35 Ton

												
Type	S.W.L Ton	Body				Base						n
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K			
SR-25	25	400	250	88	250	600	123	45	100	500	43	4
SR-35	35	480	300	105	290	720	150	60	130	800	56	4
SR-50	50	480	300	105	290	720	150	60	130	600	56	6
SR-70	70	560	350	123	330	840	175	70	160	700	66	6
SR-100	100	640	400	140	370	960	200	80	190	800	74	6
SR-150	150	720	450	158	405	1,180	270	80	270	1,000	74	8
SR-200	200	880	550	193	485	1,440	330	100	340	1,220	91	8
SR-250	250	1,040	650	228	565	1,700	390	110	410	1,440	101	8

Sumber : SLP Bollard Catalog, 2022

Dalam perencanaan dermaga ini, pembebanan *mooring* dilakukan sesuai rekomendasi Thoresen (2014) seperti pada Gambar 2.16 Arah Kerja Beban Mooring Pada Bollard. Jika arah longitudinal atau sejajar kapal adalah sumbu x dan arah tegak lurus kapal adalah sumbu y, perhitungan beban *mooring* pada konfigurasi kapal rencana terbesar untuk setiap fungsi tali *mooring* diuraikan sebagai berikut :

1. Breast Line

Breast lines berfungsi menahan beban transversal. Perhitungan beban *mooring* untuk fungsi tali *breast lines* adalah sebagai berikut:

$$F_x = 350. \cos(3) \cos(90) = 0 \text{ kN}$$

$$F_y = 350. \cos(3) \sin(90) = 349,520 \text{ kN}$$

$$F_z = 350. \sin(60) = 303,109 \text{ kN}$$

2. Spring Line

Spring lines berfungsi menahan beban longitudinal. Perhitungan beban *mooring* untuk fungsi tali *spring lines* adalah sebagai berikut:

$$F_x = 350. \cos(3) \cos(10) = 344,210 \text{ kN}$$

$$F_y = 350. \cos(3) \sin(10) = 60,694 \text{ kN}$$

$$F_z = 350. \sin(60) = 303,109 \text{ kN}$$

3. Head/Stren Line

Head/strean lines berfungsi menahan beban transversal dan longitudinal. Perhitungan beban *mooring* untuk fungsi tali *head/strean lines* adalah sebagai berikut:

$$F_x = 350. \cos(3) \cos(45) = 247,148 \text{ kN}$$

$$F_y = 350. \cos(3) \sin(45) = 247,148 \text{ kN}$$

$$F_z = 350. \sin(60) = 303,109 \text{ kN}$$

4.2.2 Beban Vertikal

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah adalah beban dengan besar yang konstan dan berada pada posisi yang sama setiap saat, dalam hal ini beban sendiri dari elemen struktural dermaga yaitu berat pelat, balok, *pile cap*, dan tiang pancang. Dalam Tugas Akhir ini, beban mati dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak berdasarkan input dimensi elemen struktur.

2. Beban Mati Tambahan (*SIDL*)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada dermaga yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur dermaga. Dalam hal ini mencakup berat fender dan *bollard*, beban tersebut dimodelkan sebagai beban terpusat pada dermaga dengan berat sebagai berikut.

1) Berat Fender

Berat sendiri fender 185 kg/m, sehingga berat sendiri fender adalah sebagai berikut.

$$W_F = \frac{185(2) \times 9,81}{1000} = 3,63 \text{ kN}$$

2) Berat *Bollard*

Berat *bollard* dihitung berdasarkan volume dan massa jenis besi. Volume *bollard* dihitung dengan menyederhanakan bentuk *bollard* menjadi dua bagian, yakni *footing bollard* dan badan *bollard*.

$$V = \left(\frac{\pi}{4} E^2 G\right) + \left(\frac{\pi}{4} A^2 D\right)$$

$$V = \left(\frac{\pi}{4} 0,72^2 0,06\right) + \left(\frac{\pi}{4} 0,48^2 0,29\right) = 0,077 \text{ m}^3$$

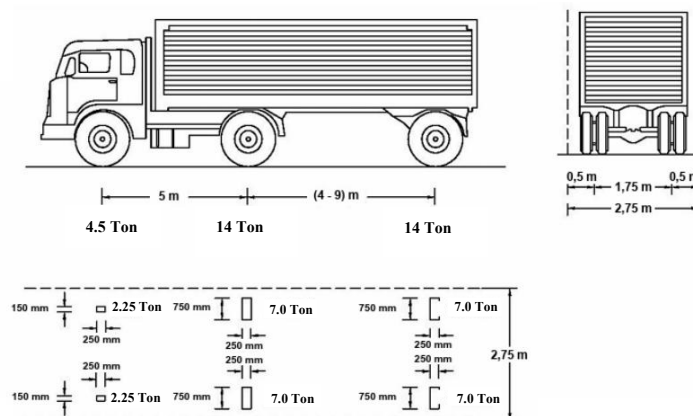
Sehingga berat *bollard* dihitung sebagai berikut.

$$W_B = \rho_s g V = (7850)(9,81)(0,077) = 5929,65 \text{ N} = 5,92 \text{ kN}$$

Kemudian untuk mengakomodasi perubahan dan tambahan struktur di atas pelat dermaga, ditambahkan beban merata sebesar $1,5 \text{ kN/m}^2$.

3. Beban Hidup (*Live Load*)

Pada trestle dan dermaga yang direncanakan untuk beban merata 2 t/m^2 berdasarkan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia* (1984). Beban ini diletakkan merata pada pelat struktur. Selain beban hidup merata, struktur trestle dan dermaga direncanakan untuk dilintasi beban truk sebagai beban terpusat. Truk yang direncanakan merupakan truk *container* yang memiliki berat total maksimum 32,5 ton dengan konfigurasi sumbu 1,22 sebagai berikut.



Gambar 4.19 Pembebanan Truk

Sumber: SNI 1725-2016

4.2.3 Beban Lingkungan

1. Beban Gelombang

Beban gelombang akan dihitung secara otomatis oleh perangkat lunak SAP2000. Adapun parameter-parameter gelombang yang akan digunakan untuk *input* pada SAP2000 adalah sebagai berikut.

- 1) Tinggi gelombang signifikan adalah tinggi gelombang yang diperoleh dari analisis ekstrim untuk periode ulang 50 tahun yakni 2,87 meter.
- 2) Periode gelombang signifikan adalah 8,6 detik.

2. Beban Arus

Parameter yang dibutuhkan untuk menghitung beban arus adalah kecepatan arus yang mengenai struktur. Pada **Subbab 4.1.2**, diperoleh kecepatan arus desain pada kondisi *spring* adalah 0,3-0,5 m/s, sedangkan kondisi *neap* 0,0-0,1 m/s.

3. Beban Gempa

a. Kelas Situs

Penentuan kelas situs tanah dilakukan berdasarkan data N-SPT dari titik bor yang sudah dilaksanakan.

Tabel 4.18 Perhitungan Rata-Rata N-SPT

BH-01				BH-02				BH-03			
Kedalaman	N-SPT	Ketebalan (d _i)	d _i /N-SPT	Kedalaman	N-SPT	Ketebalan (d _i)	d _i /N-SPT	Kedalaman	N-SPT	Ketebalan (d _i)	d _i /N-SPT
m		m		m		m		m		m	
0 - 2	3	2	0.67	0 - 2	3	2	0.67	0 - 2	3	2	0.67
2 - 4	3	2	0.67	2 - 4	3	2	0.67	2 - 4	3	2	0.67
4 - 6	5	2	0.40	4 - 6	3	2	0.67	4 - 6	28	2	0.07
6 - 8	7	2	0.29	6 - 8	12	2	0.17	6 - 8	32	2	0.06
8 - 10	13	2	0.15	8 - 10	18	2	0.11	8 - 10	25	2	0.08
10 - 12	26	2	0.08	10 - 12	25	2	0.08	10 - 12	35	2	0.06
12 - 14	35	2	0.06	12 - 14	33	2	0.06	12 - 14	37	2	0.05
14 - 16	39	2	0.05	14 - 16	38	2	0.05	14 - 16	36	2	0.06
16 - 18	47	2	0.04	16 - 18	42	2	0.05	16 - 18	48	2	0.04
18 - 20	51	2	0.04	18 - 20	42	2	0.05	18 - 20	55	2	0.04
20 - 22	59	2	0.03	20 - 22	48	2	0.04	20 - 22	60	2	0.03
22 - 24	60	2	0.03	22 - 24	52	2	0.04	22 - 24	60	2	0.03
24 - 26	60	2	0.03	24 - 26	60	2	0.03	24 - 26	60	2	0.03
26 - 28	60	2	0.03	26 - 28	60	2	0.03	26 - 28	60	2	0.03
28 - 30	60	2	0.03	28 - 30	60	2	0.03	28 - 30	60	2	0.03
Jumlah		30	2.61	Jumlah		30	2.75	Jumlah		30	1.96
N = Σd/Σ(d _i /N-SPT)		11.506		N = Σd/Σ(d _i /N-SPT)		10.923		N = Σd/Σ(d _i /N-SPT)		15.316	
Kelas Situs		SE (Tanah Lunak)		Kelas Situs		SE (Tanah Lunak)		Kelas Situs		SD (Tanah Sedang)	

BH-04						BH-05					
Kedalaman			N-SPT	Ketebalan (d _i)	d _i /N-SPT	Kedalaman			N-SPT	Ketebalan (d _i)	d _i /N-SPT
m				m		m				m	
0	-	2	3	2	0.67	0	-	2	3	2	0.67
2	-	4	5	2	0.40	2	-	4	12	2	0.17
4	-	6	8	2	0.25	4	-	6	28	2	0.07
6	-	8	35	2	0.06	6	-	8	39	2	0.05
8	-	10	25	2	0.08	8	-	10	37	2	0.05
10	-	12	27	2	0.07	10	-	12	43	2	0.05
12	-	14	27	2	0.07	12	-	14	35	2	0.06
14	-	16	35	2	0.06	14	-	16	24	2	0.08
16	-	18	47	2	0.04	16	-	18	52	2	0.04
18	-	20	56	2	0.04	18	-	20	52	2	0.04
20	-	22	57	2	0.04	20	-	22	55	2	0.04
22	-	24	56	2	0.04	22	-	24	60	2	0.03
24	-	26	60	2	0.03	24	-	26	60	2	0.03
26	-	28	60	2	0.03	26	-	28	60	2	0.03
28	-	30	60	2	0.03	28	-	30	60	2	0.03
Jumlah				30	1.91	Jumlah				30	1.44
N = $\Sigma d_i / \Sigma (d_i / N-SPT)$				15.722		N = $\Sigma d_i / \Sigma (d_i / N-SPT)$				20.780	
Kelas Situs				SD (Tanah Sedang)		Kelas Situs				SD (Tanah Sedang)	

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

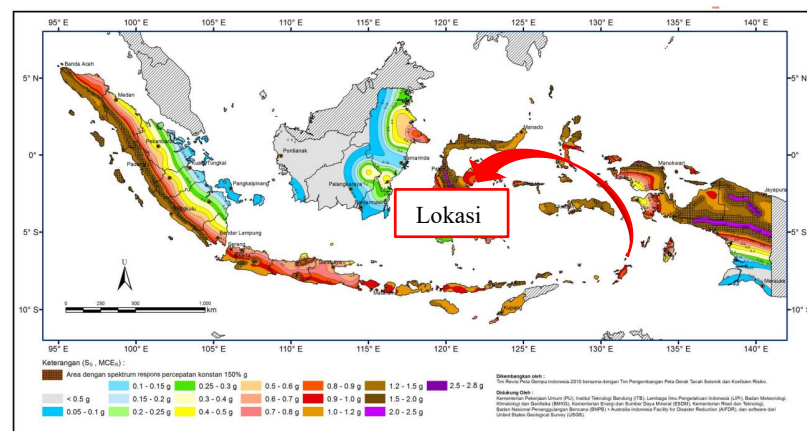
Berdasarkan hasil perhitungan yang ditampilkan pada diatas, Nilai N-SPT rata-rata yang dihasilkan adalah 14,850 ($N-SPT_{rata-rata} < 15$). Maka, berdasarkan SNI 1726-2019, jika ditemukan dua jenis kelas situs tanah pada satu lokasi maka kelas situs yang paling rendah yang direkomendasikan, sehingga kelas situs di Pelabuhan Sofyanin adalah kelas situs lunak (SE).

b. Parameter Tanah

Nilai paramater percepatan tanah (S_S dan S_1) diperoleh dari Peta Gempa SNI 1762-2019. Untuk daerah Kabupaten Kepulauan Tanimbar, nilai parameter percepatan tanah adalah sebagai berikut.

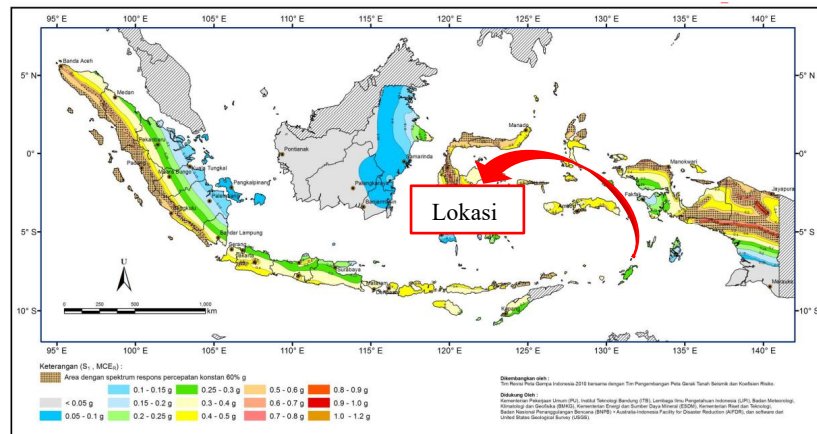
$$S_S = 1,029 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,391 \text{ g}$$



Gambar 4.20 Peta Percepatan Tanah Periode 0,2 Detik

Sumber: SNI 1726-2019



Gambar 4.21 Peta Percepatan Tanah Periode 1 Detik

Sumber: SNI 1726-2019

c. Faktor Koefisien Situs

Nilai koefisien situs F_a dan F_v diperoleh dari Tabel 2.10 dan Tabel 2.10. Pada kelas situs SE dengan parameter percepatan gempa periode pendek sama dengan 1,029 ($S_S = 1,029$ g), maka diperoleh nilai $F_a = 1$. Sedangkan pada kelas situs SE dengan parameter percepatan gempa periode 1 detik sama dengan 0,391 ($S_1 = 0,391$ g), maka diperoleh nilai $F_v = 2,4$.

d. Parameter Percepatan Maksimum

Parameter percepatan maksimum pada periode pendek (S_{MS}) dan parameter percepatan maksimum periode 1 detik (S_{M1}) disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs. Berikut perhitungan parameter percepatan maksimum berikut.

$$S_{MS} = F_a \times S_S = 1,0768 \times 1,029 = 1,107 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,436 \times 0,391 = 0,952 \text{ g}$$

e. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} 1,107 = 0,738 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} 0,952 = 0,634 \text{ g}$$

f. Spektrum Respons Desain

Nilai T_0 dan T_S ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$T_0 = 0,2 \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) = 0,2 \left(\frac{0,634}{0,738} \right) = 0,172$$

$$T_s = \left(\frac{0,634}{0,738} \right) = 0,859$$

- Untuk periode $T \leq T_0$, spektrum respons percepatan desain S_a dihitung menggunakan persamaan.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) = 0,738 \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{0,172} \right)$$

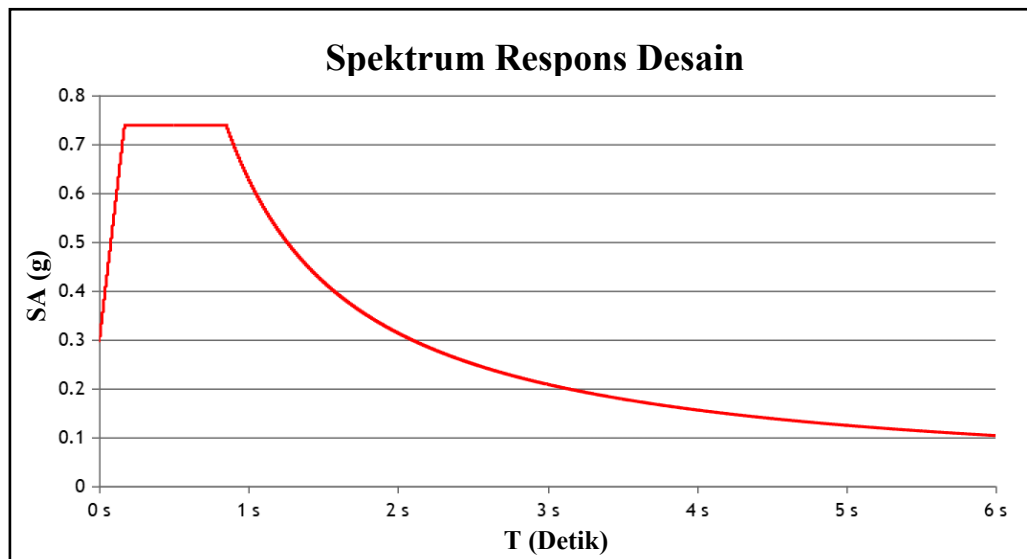
$$S_a = 0,295 + 2,574T$$

- Untuk periode $T_0 \leq T \leq T_s$, spektrum respons percepatan desain bernilai sama dengan S_{DS} .

$$S_a = S_{DS} = 0,738$$

- Untuk periode $T \geq T_s$, spektrum respons percepatan desain dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,634}{T}$$



Gambar 4.22 Grafik Spektrum Respons Desain

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

4.2.4 Kombinasi Beban

Kombinasi pembebanan untuk analisis struktur mengacu pada SNI 2847-2019. Seluruh komponen struktur dirancang agar memiliki kapasitas yang cukup dari efek faktor beban dengan kombinasi sebagai berikut.

$1,4 DL$

$1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (B \text{ atau } M)$

$1,2 DL + 1,6 (B \text{ atau } M) + (1,0 LL \text{ atau } 0,5 W)$

$1,2 DL + 1,0 W + 1,0 LL + 0,5 (B \text{ atau } M)$

$1,2 DL + 1,0 E + 1,0 L$

$0,9 DL + 1,0 W$

$0,9 DL + 1,0 E$

Keterangan :

DL = Beban mati (*dead load*)

LL = Beban hidup (*live load*)

B = Beban labuh (*berthing*)

M = Beban tambat (*mooring*)

W = Beban gelombang

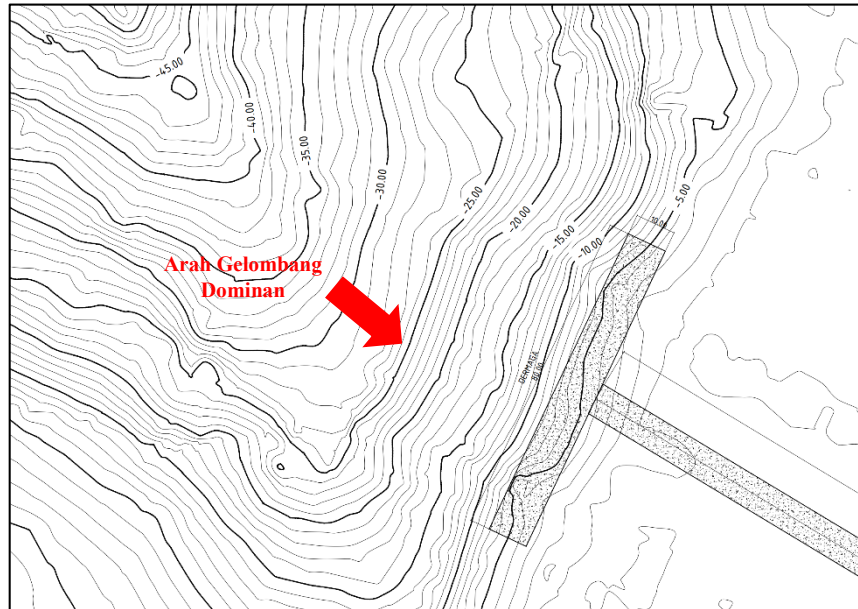
E = Beban gempa

4.3 Perancangan Layout dan Dimensi Dermaga

4.3.1 Orientasi Dermaga

Arah gelombang akan mempengaruhi tipe dermaga yang akan digunakan. Berdasarkan hasil pemodelan transformasi gelombang, tinggi gelombang laut dalam yang tiba di Pelabuhan Sofyanin secara umum mengalami penurunan. Gelombang maksimum di Pelabuhan Sofyanin berasal dari **Barat Laut** dengan tinggi **2,87 m**. Idealnya, dermaga tidak menghadap 90° terhadap arah gelombang maksimum (tegak lurus). Hal tersebut disebabkan, dermaga yang tegak lurus terhadap arah gelombang maksimum akan menghasilkan gaya gelombang dan gaya *berthing* yang besar sehingga mempengaruhi kekuatan struktur dermaga. Selain pada kondisi lingkungan, pemilihan orientasi dermaga juga mempertimbangkan kondisi batimetri dan operasional di lokasi studi. Oleh karena itu, pada Tugas Akhir

ini, ditetapkan orientasi dermaga membentuk sudut $>45^\circ$ dengan arah gelombang dominan seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.23 Orientasi Dermaga

Sumber : Hasil Gambar Autocad, 2025

4.3.2 Dimensi Dermaga

Perhitungan dimensi dermaga terdiri dari panjang, lebar, kedalaman perairan, dan elevasi dermaga.

1. Panjang Dermaga

Panjang dermaga ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tali *mooring* kapal yang digunakan untuk bertambat berada pada *midlength* kapal serta sudut *bow* dan *stern* dibuat sama besar. Oleh karena itu, diambil sudut *berthing* untuk penentuan panjang dermaga yaitu sebesar 45° ($\alpha = 45^\circ$). Perhitungan panjang dermaga rencana dilakukan dengan menggunakan Persamaan.

$$L_p = L_{OA} + (2 L_M)$$

Keterangan :

- L_p = Panjang dermaga (m)
- L_{OA} = Panjang kapal dari ujung haluan hingga ujung buritan (m)
- L_M = Jarak dari ujung kapal ke titik *mooring* pada *bollard* terluar dermaga (m)

$$L_M = \frac{B_M}{\tan a} = \frac{0,5B}{\tan 45^\circ} = \frac{0,5(14)}{\tan 45^\circ} = 4,322 \text{ m}$$

$$L_p = L_{OA} + (2 L_M) = 68,5 + 2(4,322) = 77,144 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan panjang dermaga yang telah dilakukan, diperoleh panjang dermaga yaitu 77,144 m. Akan tetapi, dengan pertimbangan akan ditambahkan balok kantilever di samping kiri dan kanan sebesar masing-masing 1 m, maka panjang dermaga rencana adalah 80 m. Dengan demikian, panjang dermaga desain pada Tugas Akhir ini adalah **80 m**.

2. Lebar Dermaga

Lebar dermaga didesain agar truk dapat bermanuver di atas dermaga. Lalu lalang untuk truk dibuat dua lajur dengan lebar masing-masing lajur adalah 3 meter. Selain itu, diberikan jarak untuk bongkar muat sebesar 2 meter di dua sisi. Sehingga lebar dermaga adalah **10 m**.

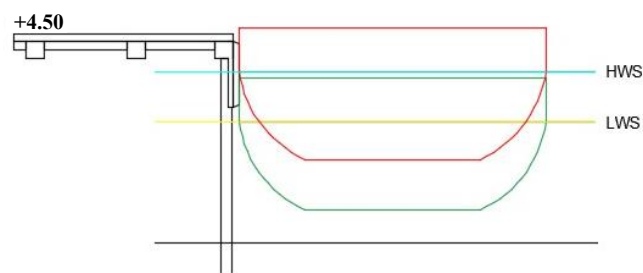
3. Elevasi Dermaga

Elevasi lantai dermaga didesain untuk menghindari masuknya air laut ke struktur. Perhitungan elevasi dermaga menggunakan Persamaan.

$$EL = HWS + (0,5 H_S) + Freeboard$$

$$EL = 2,32 + 0,5 (2,87) + 0,5 = 4,255 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, elevasi struktur adalah +4.255 mLWS. Untuk kebutuhan desain, elevasi yang digunakan adalah **+4.5 mLWS**. Ilustrasi posisi kapal KM Sabuk Nusantara 73 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.24 Ilustrasi Posisi Kapal KM Sabuk Nusantara 73 Pada Dermaga

Sumber : Hasil Gambar Autocad, 2025

4. Kedalaman Perairan Dermaga

Kedalaman perairan dermaga ditentukan dengan menambah *under keel clearance* dengan draft maksimum kapal rencana. Nilai *under keel clearance* bernilai 10% dari draft maksimum, sehingga kedalaman minimum perairan dermaga dihitung sebagai berikut.

$$h = D + 0,1D = 4 + 0,1(4) = 4,4 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan, kebutuhan minimum kedalaman perairan dermaga di Pelabuhan Sofyanin adalah -4.4 mLWS. Untuk kebutuhan desain, *faceline* dermaga ditempatkan di kedalaman minimum -5.0 mLWS.

4.3.3 Dimensi Trestle

Perhitungan dimensi trestle terdiri dari panjang, lebar dan elevasi trestle.

1. Panjang Trestle

Trestle didesain agar dapat mengakomodasi dermaga pada kedalaman rencana. Ditentukan panjang trestle dimulai dari ujung struktur yakni **183 m**.

2. Lebar Trestle

Lebar *trestle* didesain untuk dapat mengakomodasi lajur truk. Lebar *trestle* dapat ditentukan dengan menggunakan SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.19 Lebar Bersih Jembatan

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.		
Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.		

Sumber : SNI 1725-2016

Trestle didesain untuk dua arah tanpa median, sehingga lebar *trestle* ditentukan sebesar 8.000 mm atau **8 m**.

3. Elevasi Trestle

Elevasi lantai *trestle* disesuaikan dengan elevasi lantai dermaga, yakni bernilai **4,5 m**.

4.3.4 Dimensi Fasilitas Perairan

Fasilitas perairan terdiri dari alur pelayaran dan kolam pelabuhan. Dimensi alur pelayaran terdiri lebar alur pelayaran. Sedangkan untuk dimensi kolam pelabuhan terdiri dari area tempat sandar dan diameter kolam putar.

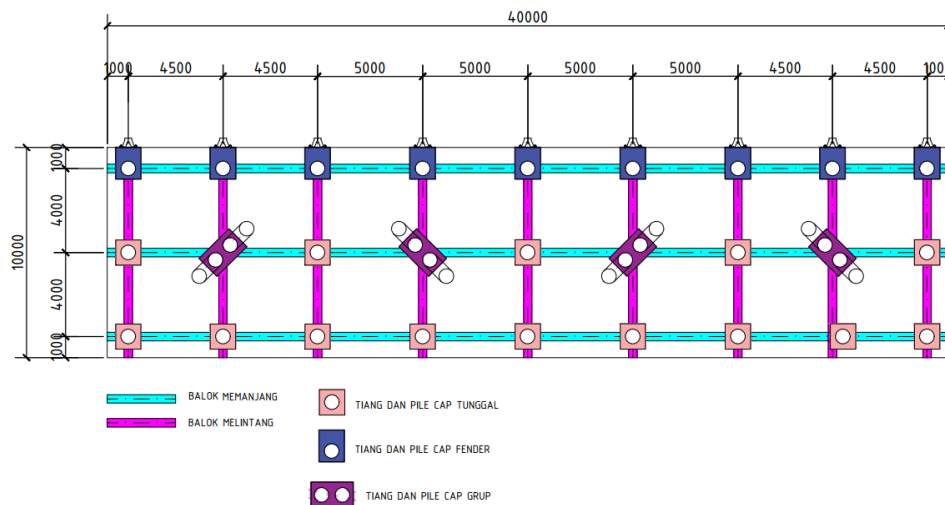
Tabel 4.20 Dimensi Fasilitas Perairan

No	Uraian	Satuan	Formula	
1	Karakteristik Kapal Desain			
	a. Ukuran	DWT		3115,5
	b. L_{OA}	m		68,5
	c. <i>Beam</i> , B	m		14
2	d. Draft	m		4
	Jumlah Kapal Dilayani			
	a. Kedatangan	Unit		1
	b. Sandar	Unit		1
3	c. Labuh	Unit		1
	Dimensi Alur			
	Lebar Alur Ukuran Kapal			
	a. <i>One Way</i>	m	5B	70
4	Area Tempat Sandar			
	Lebar	m	$1,5L_{OA}$	102,75
	Panjang	m	$1,8L_{OA}$	123,3
	Area Kolam Putar			
5	Diameter (Tanpa Tunda)	m	$3L_{OA}$	205,5

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

4.3.5 Dimensi Elemen Struktur Dermaga

Elemen struktur dermaga terdiri atas pelat, balok, tiang pancang, dan *pile cap*. Masing-masing elemen dirancang berdasarkan beban yang dipikul serta kriteria kegagalan yang mungkin terjadi pada elemen yang kemudian akan digunakan sebagai input awal dalam analisis struktur. Denah elemen struktural dermaga dibagi menjadi 2 segmen. Berikut gambar denah struktural dermaga.



Gambar 4.25 Denah Elemen Struktural Dermaga

Sumber : Hasil Gambar Autocad, 2025

Dalam Tugas Akhir ini, spesifikasi material struktur dermaga yang digunakan yaitu beton bertulang dan baja. Beton bertulang terdapat pada *pile cap*, balok, tiang pancang dan pelat sedangkan baja pada struktur tiang pancang. Berikut spesifikasi material struktur dermaga.

- Baja tulangan : BJTP-24 ($f_y = 240$ MPa) untuk Diameter < 12 mm
BJTS-40 ($f_y = 400$ MPa) untuk Diameter ≥ 12 mm
- Tiang pancang baja : $f_y = 240$ MPa (ASTM A252 Grade 2)
 $E = 200000$ Mpa
- Mutu Beton : $f'_c = 35$ Mpa

1. Pelat

Tebal pelat minimum dihitung berdasarkan SNI 2847-2019. Selanjutnya momen *ultimate* yang bekerja pada pelat dihitung berdasarkan metode koefisien momen PBI 1971. Langkah perhitungan tebal pelat rencana adalah sebagai berikut.

a. Perhitungan Tebal Minimum Pelat

Bedasarkan diatas ukuran pelat dermaga terbesar adalah $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$. Rasio sisi pelat bernilai kurang dari 2, sehingga pelat termasuk dalam kategori pelat dua arah. Dengan mengasumsikan rasio kekakuan rata-rata balok dan pelat lebih besar dari dua (karena tinggi balok jauh lebih besar dari pelat), maka nilai tebal pelat minimum dihitung menggunakan persamaan.

$$h_{min} = \frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$$

Keterangan :

ln = Bentang bersih terpanjang pelat (mm)

f_y = Tegangan leleh tulangan (MPa)

β = Rasio bentang terpanjang dengan bentang terpendek pelat

Sehingga diperoleh tebal minimum pelat sebagai berikut.

$$h_{min} = \frac{5.000(0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + 9(\frac{5000}{4000})} = 114,890 \text{ mm}$$

b. Perhitungan Momen *Ultimate* Pelat

Koefisien momen untuk pelat ditentukan berdasarkan kondisi tumpuan pelat dan rasio antara sisi-sisi pelat. Dalam Tugas Akhir ini, momen *ultimate* dihitung dengan mengasumsikan kondisi tumpuan adalah jepit pada keempat sisinya. Momen *ultimate* pada pelat dihitung menggunakan persamaan.

$$M = 0,001 \times x \times q_u \times l_x^2$$

Keterangan :

M = Momen *ultimate* pada pelat (kN.m)

x = Koefisien momen (lihat pada Tabel)

q_u = Beban merata terfaktor (kN/m²)

l_x = Panjang sisi terpendek pelat (m)

Tabel 4.21 Koefisien Momen

	l_x/l_y															
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	> 2,5
Ml_x	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	42	42	42	42
Ml_y	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	11	11	11	10	10	8
Mt_x	52	59	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83
Mt_y	52	54	56	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

Sumber : PBI,1971

Beban merata yang bekerja pada pelat :

Beban Hidup = 20 kN/m²

Berat Pelat Sendiri = 2,32 kN/m²

Sehingga beban merata terfaktor menjadi :

$$q_u = 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL}$$

$$q_u = 1,2 (2,32) + 1,6 (20) = 34,78 \text{ kN/m}^2$$

Pada perancangan desain dermaga ini, rasio panjang dan lebar dari pelat dermaga adalah 1,25 berdasarkan PBI 1971 koefisien momen $x = 69$, perhitungan momen ultimit pelat menjadi.

$$M = 0,001 \times 69 \times 34,78 \times 5^2 = 60 \text{ kN.m}$$

c. Perhitungan Tebal Pelat Yang Dibutuhkan

Tebal beton efektif pada pelat dihitung dengan Persamaan berikut.

$$bd^2 = \frac{M_u}{\phi [f'_c \omega (1 - 0,59\omega)]}$$

Keterangan :

b = Lebar pelat (m)

d = Tebal pelat (m)

M_u = Momen *Ultimate* (kN.m)

ϕ = Faktor reduksi (=0,9 untuk kapasitas lentur)

ω = Rasio kuat tekan beton dengan tegangan leleh baja tulangan

$$\omega = \rho \frac{f_y}{f'_c} \text{ (asumsi } \rho = 0,01 \text{)}$$

Maka tebal pelat yang dibutuhkan dalam tinjauan per 1 meter lebar pelat, adalah sebagai berikut.

$$d^2 = \frac{60}{0,9 \left[35 \left(0,01 \times \frac{400}{35} \right) \left(1 - 0,59 \left(0,01 \times \frac{400}{35} \right) \right) \right]}$$

$$d^2 = 0,0178 \text{ m}$$

$$d = 0,134 \text{ m}$$

Diperoleh tebal pelat $d = 0,134 \text{ m}$. Pada desain ini direncanakan tebal selimut beton sebesar 50 mm, sehingga didapatkan tebal pelat total yang dibutuhkan (h) sebesar 0,184 m. Menurut tata cara perhitungan struktur fasilitas laut, tebal minimal lantai dermaga adalah 250 mm, maka untuk faktor

keamanan dan kemudahan dalam membentuk pelat, nilai ketebalan pelat yang digunakan sebesar 0,3 m atau **300 mm**.

2. Balok

a. Perhitungan Tinggi Minimum Balok

Berdasarkan SNI 2847-2019 nilai minimum tinggi balok dihitung berdasarkan ketentuan pada tabel dibawah, dengan dengan mengasumsikan kondisi tumpuan adalah tumpuan sederhana.

Tabel 4.22 Tinggi Minimum Balok

Kondisi perlekatan	Minimum $h^{[1]}$
Perlekatan sederhana	$l/16$
Menerus satu sisi	$l/18,5$
Menerus dua sisi	$l/21$
Kantilever	$l/8$
^[1] Rumusan dapat diaplikasikan untuk beton mutu normal dan tulangan mutu 420. Untuk kasus lain, minimum h harus dimodifikasi sesuai dengan 9.3.1.1.1 hingga 9.3.1.1.3, sebagaimana mestinya.	

Sumber : SNI 2847-2019

Balok memanjang memiliki betang sepanjang 5 m dan balok melintang memiliki bentang 4 m. Dengan demikian, tinggi minimum balok adalah sebagai berikut.

$$d = \frac{5000}{16} = 312,5 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Lebar awal balok dihitung 2/3 dari tinggi balok minimum sebagai berikut.

$$b = 300 \cdot \frac{2}{3} = 200 \text{ mm}$$

Diperoleh untuk tinggi minimum balok memanjang $d = 300 \text{ mm}$ dan lebar awal $b = 200 \text{ mm}$. Dan untuk tinggi minimum balok melintang $d = 250 \text{ mm}$ dan lebar awal $b = 150 \text{ mm}$.

b. Perhitungan Momen *Ultimate* Balok

Beban-beban yang bekerja pada balok dapat berupa beban merata maupun beban terpusat. Nilai momen *ultimate* adalah penjumlahan dari momen yang dihasilkan dari kedua jenis beban (merata dan terpusat). Berat sendiri balok memanjang dihitung sebagai berikut.

$$w_{balok} = (0,3 \times 0,2)23,5 = 1,41 \text{ kN}$$

Pada balok, terdapat beban terpusat yakni beban truk. Beban area dari pelat diperlakukan sebagai beban merata di sepanjang bentang balok. Beban yang bekerja pada balok memanjang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.23 Beban Yang Bekerja Pada Balok

Jenis Beban	Intensitas	Beban
Beban Operasional	20 kN/m	20 kN/m
Beban Truk	70 kN	70 kN
Berat Pelat	23,5 kN/m ²	10,34 kN/m

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Perhitungan beban terfaktor *ultimate* merata untuk balok memanjang dan melintang adalah sebagai berikut.

$$q_u = 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL}$$

$$q_u = 1,2 (10,34) + 1,6 (20 + 36) = 102,01 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan momen *ultimate* pada bentang balok memanjang dan melintang berdasarkan persamaan berikut.

$$M_u = M_{PL} + M_{DL}$$

$$M_{PL} = \frac{q_{up} \times l}{4}$$

$$M_{DL} = \frac{q_{ud} \times l^2}{8}$$

Keterangan :

M_u = Momen *ultimate* (kN.m)

M_{PL} = Momen *ultimate* akibat beban merata (kN.m)

M_{DL} = Momen *ultimate* akibat beban terpusat (kN.m)

Sehingga momen *ultimate* pada bentang balok memanjang dan melintang adalah sebagai berikut.

$$M_{u \text{ Memanjang}} = \frac{70 \times 5}{4} + \frac{102,01 \times 5^2}{8} = 406,281 \text{ kNm}$$

$$M_{u \text{ Melintang}} = \frac{70 \times 4}{4} + \frac{102,01 \times 4^2}{8} = 291,520 \text{ kNm}$$

c. Perhitungan Lebar dan Tinggi Balok Efektif

Dengan menggunakan rasio d/b sebesar 1,5, maka perhitungan lebar dan tinggi balok efektif yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

$$b(1,5b)^2 = \frac{406,281}{0,9 \left[35 \left(0,01 \times \frac{400}{35} \right) \left(1 - 0,59 \left(0,01 \times \frac{400}{35} \right) \right) \right]}$$

$$b = 377 \text{ mm}$$

$$d = 565,5 \text{ mm}$$

Dengan mempertimbangkan selimut beton sesuai dengan SNI 2847-2019 untuk beton yang berhubungan dengan cuaca sebesar 50 mm, maka lebar beton untuk balok adalah ***b* = 400 mm** dan tinggi balok ***d* = 700 mm**.

3. Tiang Pancang

Tiang pancang berdasarkan materialnya, terdiri dari tiang pancang beton dan tiang pancang baja. Tiang pancang beton memiliki kelebihan yakni mampu memikul beban pondasi yang berat, memungkinkan pemancangan keras dilakukan, serta tahan terhadap pengaruh air dan bahan kimia yang bersifat korosif. Akan tetapi, tiang pancang beton memiliki kelemahan yakni sangat berat dan berpotensi patah saat pemancangan, memerlukan waktu produksi yang lama, dan penyambungan antar tiang cukup sukar dilakukan. Sedangkan tiang pancang baja memiliki kelebihan ringan, kuat, fleksibel terhadap beban lateral, dapat dipancang pada kedalaman yang lebih besar terutama pada kondisi tanah lunak serta lebih fleksibel dan kuat dalam menghadapi *negative skin friction* dan penyambungan antar tiang yang mudah dilakukan. Sedangkan kelemahan tiang pancang baja adalah rentan terhadap korosi terutama di lingkungan laut yang memerlukan lapisan pelindung.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka jenis tiang pancang yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah tiang pancang baja. Pada struktur dermaga dengan *trial and error* dipilih tiang pancang baja *spiral welded* dengan mutu baja ASTM A252 Grade 2 ukuran diameter 711 mm dan tebal 16 mm. Spesifikasi tiang pancang baja yang digunakan pada struktur dermaga sebagai berikut.

Tabel 4.24 Spesifikasi Tiang Pancang Dermaga

Properti	Dimensi
Diameter Luar (D_o)	711 mm
Tebal Tiang (t)	16 mm
Diameter Dalam (D_i)	679 mm
Inersia (I)	$2,11 \times 10^9 \text{ mm}^4$

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

SNI 1729-2020 menjelaskan bahwa kuat lentur nominal baja penampang struktur berongga bulat (M_n) merupakan nilai terendah yang diperoleh dari kondisi batas leleh baja dan kegagalan tekuk lokal baja. Moda kegagalan tekuk lokal baja bergantung pada penampang baja bulat yang diklasifikasikan berdasarkan batas rasio tebal-terhadap-lebar sebagai berikut.

- Penampang diklasifikasikan sebagai penampang kompak jika $\frac{D}{t} < \lambda_p$
- Penampang diklasifikasikan sebagai penampang non-kompak jika $\lambda_p \leq \frac{D}{t} \leq \lambda_r$
- Penampang diklasifikasikan sebagai penampang langsing jika $\frac{D}{t} \geq \lambda_r$

a. Pengecekan Klasifikasi Penampang

Nilai batas rasio tebal-terhadap-lebar penampang dihitung dengan menggunakan persamaan.

$$\lambda_p = 0,07 \frac{E}{F_y} = 0,07 \frac{200.000}{240} = 58,33$$

$$\lambda_r = 0,31 \frac{E}{F_y} = 0,31 \frac{200.000}{240} = 258,33$$

Nilai perbandingan diameter dan tebal tiang adalah $\frac{D}{t} = \frac{711}{16} = 44,43$. Dengan demikian, penampang tiang pancang baja yang dipilih termasuk dalam kategori kompak.

b. Penentuan *Fixity Point*

Perhitungan *fixity point* dengan menggunakan persamaan.

$$Z_f = \frac{SF}{\beta}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KhD}{4EI}}$$

Keterangan :

Z_f = Kedalaman *fixity point* (m)

SF = *Safety Factor* = 1,5

Kh = Koefisien horizontal tanah = 0,15 x N-SPT

D = Diameter tiang (m)

E = Modulus elastisitas tiang (Mpa)

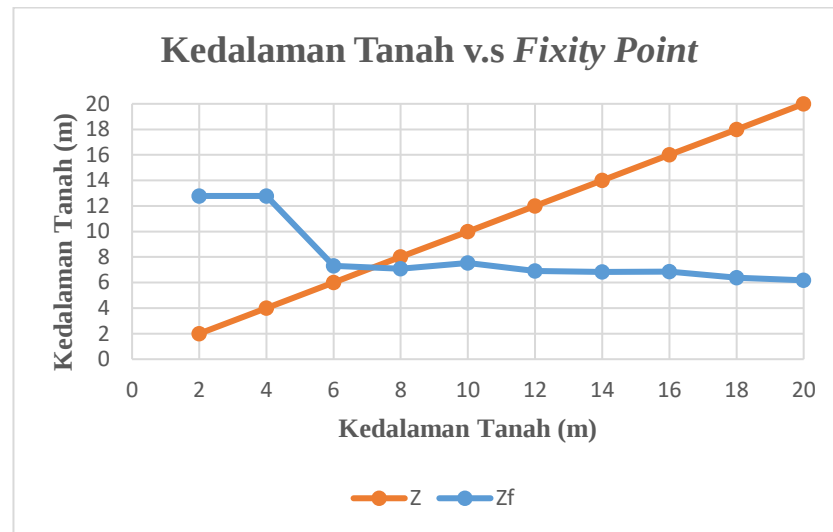
I = Inersia tiang (m⁴)

Dengan referensi *boring* BH-3, perhitungan *fixity point* pada dermaga sebagai berikut.

Tabel 4.25 Perhitungan *Fixity Point* Dermaga

$N - SPT$	k_h	β	Z_f
3	0,45	0,11733	12,784
3	0,45	0,11733	12,784
28	4,20	0,20509	7,314
32	4,80	0,21205	7,074
25	3,75	0,19936	7,524
35	5,25	0,21685	6,917
37	5,55	0,21989	6,822
36	5,40	0,21838	6,869
48	7,20	0,23467	6,392
55	8,25	0,24279	6,178
60	9,00	0,24813	6,045
60	9,00	0,24813	6,045
60	9,00	0,24813	6,045
60	9,00	0,24813	6,045
60	9,00	0,24813	6,045

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025



Gambar 4.26 Grafik Kedalaman Tanah Dengan Analisa *Fixity Point*

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada grafik diatas, diperoleh *fixity point* sebesar $Z_f = 7$ meter.

c. Pengecekan Kelangsingan Elemen Baja

Pemeriksaan kelangsingan elemen untuk mencegah tiang pancang mengalami kegagalan tekuk lentur. Berdasarkan AISC, rasio kelangsingan elemen baja dihitung menggunakan persamaan.

$$\frac{KL}{r} < 200$$

Keterangan :

K = Faktor panjang efektif (lihat pada Tabel)

L = Panjang elemen tanpa pengaku (m)

r = Radius girasi penampang (m)

Tabel 4.26 Faktor Panjang Efektif Elemen Baja

Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended K value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code		Rotation fixed, Translation fixed Rotation free, Translation fixed Rotation fixed, Translation free Rotation free, Translation free				

Sumber : AISC 360-16 Comm

Adapun panjang elemen tiang pancang dari *fixity point* hingga elevasi lantai dermaga adalah sebagai berikut.

$$L_p = 7 + 5 + 4,5 = 16,5 \text{ m}$$

Radius girasi penampang dihitung sebagai berikut.

$$r = \frac{\pi}{4} \left(\sqrt{D_o^2 - D_i^2} \right) = \frac{\pi}{4} \left(\sqrt{0,711^2 - 0,679^2} \right) = 0,166 \text{ m}$$

Nilai berdasarkan gambar dengan kategori elemen (c) atau jepit-ujung bebas bernilai = 1,2. Pengecekan kelangsingan elemen dihitung sebagai berikut.

$$\frac{KL}{r} = \frac{1,2(16,5)}{0,166} = 119,28 < 200 \rightarrow \text{OK}$$

d. Perhitungan Kapasitas Lentur

Pada penampang kompak, kapasitas lentur dihitung berdasarkan momen plastis. Nilai modulus plastis penampang dihitung sebagai berikut.

$$Z = \frac{D}{2} \left[\frac{\pi}{8} (D_o^2 - D_i^2) \right] = \frac{711}{2} \left[\frac{\pi}{8} (711^2 - 679^2) \right] = 6.209.609,21 \text{ mm}^3$$

Kapasitas lentur penampang dihitung menggunakan persamaan.

$$M_n = M_p = F_y Z = 240 \times 6.209.609,21 = 1.490,306 \text{ kN.m}$$

e. Perhitungan Momen *Ultimate*

Momen *ultimate* diperoleh dari beban *berthing* yang bekerja pada struktur dermaga, diasumsikan ditanggung oleh seluruh *pile* yang berada pada baris lokasi *fender* yang menahan kapal. Besar momen yang ditahan oleh 4 *pile* dihitung sebagai berikut.

$$M_u = \frac{Fs}{4} = \frac{197 (16,5)}{4} = 812,625 \text{ kN.m}$$

f. Pengecekan Momen Nominal

Momen nominal diperiksa terhadap momen *ultimate* dengan faktor reduksi momen $\phi = 0,9$ sebagai berikut.

$$\phi M_n = 0,9 (1.490.306) = 1.341,28 \text{ kN.m}$$

Dengan demikian, $\phi M_n > M_u$ sehingga penampang dengan diameter 711 mm dan tebal 16 mm memenuhi kekuatan tiang pancang.

4. *Pile Cap*

Desain awal panjang dan lebar *pile cap* ditentukan berdasarkan diameter tiang pancang dan tinggi *pile cap* didasarkan pada kriteria kegagalan *punching shear*. Berdasarkan Gambar 4.25 Denah Elemen Stuktural Dermaga, terdapat tiga jenis *pile cap* tiang tunggal, *pile cap* tiang grup dan *pile cap* fender.

a. *Pile Cap* Tiang Tunggal

Pile cap tiang tunggal adalah *pile cap* yang berlokasi di tiang pancang tunggal. Panjang dan lebar *pile cap* bernilai sama, sehingga berbentuk persegi. Sisi *pile cap* ditentukan minimal 2 kali diameter tiang pancang. Adapun diameter tiang pancang adalah 711 mm, sehingga panjang dan lebar *pile cap* digunakan masing-masing sebesar 1400 mm. Dan perhitungan *punching shear* untuk *pile cap* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.27 Beban Yang Bekerja Pada *Pile Cap*

Jenis Beban	Intensitas	Area	Beban
Operasional	20 kN/m ²		20 kN
Truk	70 kN		70 kN
Pelat	23,5 kN/m ²	1,5 m ³	35,25 kN
Balok Memanjang	23,5 kN/m ²	1,4 m ³	32,90 kN

Balok Melintang	23,5 kN/m ²	1,4 m ³	32,90 kN
<i>Pile Cap</i>	23,5 kN/m ²	0,490 m ³	11,52 kN
(Asumsi $h=250$ mm)			
$V_u = 1,2 V_{DL} + 1,6 V_{LL}$			279,084 kN

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.28 Perhitungan *Punching Shear Pile Cap*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Mutu beton	f'_c	35	Mpa
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton	d'	50	mm
Faktor reduksi kekuatan geser	ϕ	0,75	
Rasio Panjang/Pendek	β_c	1	
Rasio diagonal	a_s	1	
Tinggi beton efektif	d_o	200	mm
Keliling penampang kritis	b_o	1650	mm
Gaya geser ultimit terfaktor	V_u	279,084	kN
Kuat geser beton,	V_{c1}	995,676	kN
	V_{c2}	343,724	kN
	V_{c3}	644,261	kN
Kuat geser nominal	ϕV_{c3}	746,757	kN
Cek keamanan beton	$V_u \leq \phi V_{c1}$	OK	

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Berdasarkan perhitungan pada tabel di atas, dibutuhkan tinggi *pile cap* untuk balok biasa sebesar 250 mm (dengan asumsi selimut beton 50 mm). Akan tetapi, karena balok memiliki tinggi 700 mm, maka tinggi *pile cap* yang digunakan diambil sebesar 1000 mm.

b. *Pile Cap* Tiang Grup

Pile cap tiang grup adalah *pile cap* yang berlokasi pada tiang pancang grup. Panjang *pile cap* memiliki 2 kali lebar *pile cap*, sehingga berbentuk persegi panjang. Dengan sisi *pile cap* tunggal 1400 mm, maka panjang *pile cap* yang digunakan adalah 2800 mm dan lebar *pile cap* 1400 mm.

c. *Pile Cap Fender*

Pile cap fender memiliki fungsi tambahan sebagaiudukan fender. Dengan demikian, tinggi janggutan *pile cap* fender disesuaikan dengan tinggi *fender* yang digunakan. Adapun tinggi janggutan *pile cap* fender digunakan adalah 3 meter.

Tabel 4.29 Dimensi *Pile Cap* Dermaga

Tipe	Dimensi (mm)	Tiang	Ketetapan
PC1	1400 x 1400 x 1000	1	Tegak
PC2	2800 x 1400 x 1000	2	Miring
PC3	1800 x 1400 x 1000	1	Tegak

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

4.4 Pemodelan dan Analisa Struktur

4.4.1 Input Pemodelan

Input pemodelan pada perangkat lunak SAP2000 ini terdiri dari pendefinisian material yang digunakan pada struktur (*define material*), pendefinisian rangka atau komponen penyusun struktur (*define frame*), dan pendefinisian komponen struktur yang berupa *area* (*define area*) dan penggambaran geometri model struktur.

1. *Define Material*

Spesifikasi material struktur dermaga yang digunakan yaitu beton bertulang dan baja. Beton bertulang terdapat pada *pile cap*, balok, tiang pancang dan pelat sedangkan baja pada struktur tiang pancang. Berikut spesifikasi material struktur dermaga.

- Baja tulangan : BJTP-24 ($f_y = 240$ MPa) untuk Diameter < 12 mm
BJTS-40 ($f_y = 400$ MPa) untuk Diameter ≥ 12 mm
- Tiang pancang baja : $f_y = 240$ MPa (ASTM A252 Grade 2)
 $E = 200000$ Mpa
- Mutu Beton : $f'_c = 35$ Mpa

2. *Define Frame*

Elemen struktural dermaga yang didefinisikan sebagai *frame* (rangka) terdiri dari tiang pancang, *pile cap* dan rangka balok. Parameter pendefinisian *frame* ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.30 Spesifikasi *Frame* Struktur

<i>Frame</i>	<i>Property</i>	<i>Material Code</i>
Balok	<i>Rectangular</i>	Beton 35 Mpa
<i>Pile Cap</i>	<i>Rectangular</i>	Beton 35 Mpa
<i>Pile</i>	<i>Pipe</i>	ASTM A252 Grade 2

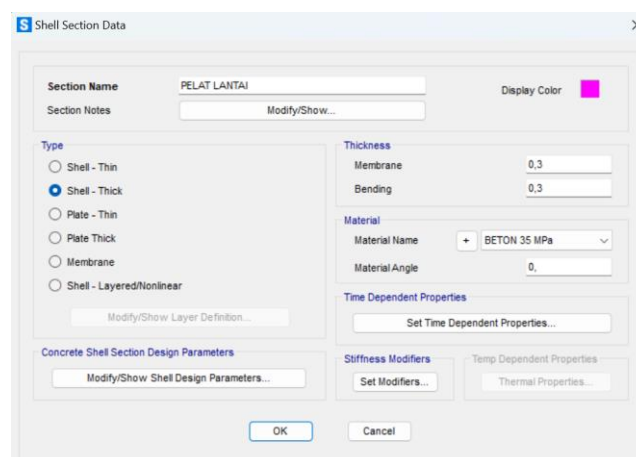
3. *Define Area*

Elemen struktural dermaga yang didefinisikan sebagai *area* adalah pelat lantai.

Parameter pendefinisian *area* ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.31 Spesifikasi *Area* Struktur

<i>Frame</i>	<i>Property</i>	<i>Material Code</i>	Dimensi (mm)
Pelat	<i>Shell-Thick</i>	Beton 35 Mpa	t =300

Gambar 4.27 *Define Area*

Sumber : Software SAP2000, 2025

4. *Define Load*

Beban-beban pada struktur dermaga diaplikasikan pada model melalui fitur *assign load*. Beban yang diaplikasikan terdiri dari beban vertikal dan beban horizontal. Beban vertikal terdiri atas beban mati (*dead load*) dan beban hidup (*live load*). Beban horizontal terdiri dari beban *berthing*, *mooring*, gelombang, arus, dan gempa.

Tabel 4.32 Rekapitulasi Beban

No	Beban	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Beban Mati (<i>Dead Load</i>)			
	a. Beton bertulang	24	kN/m ³	Beban gravitasi
	b. Baja	78	kN/m ³	Beban gravitasi
2	Beban Mati Tambahan (<i>Superimposed Dead Load</i>)			
	a. Beban <i>Fender</i>	3,63	kN	Beban terpusat
	b. Beban <i>Bollard</i>	5,92	kN	Beban merata
	c. Beban Tambahan di Atas Pelat	1,5	kN/m ²	Beban merata
3	Beban Hidup Rencana (<i>Live Load</i>)			
	a. Beban Hidup	2	ton/m ²	Beban merata
	b. Beban Truk	32,5	ton	Beban terpusat
4	Beban Kapal (<i>Berthing Load</i>)			
	a. Beban <i>Berthing</i>	394	kN	Beban terpusat
	b. Beban <i>Mooring</i>	350	kN	Beban terpusat
5	Beban Lingkungan (<i>Environmental Load</i>)			
	a. Beban Arus			
	Kecepatan Arus	0,5	m/s ²	
	b. Beban Gelombang			
	Tinggi Gelombang	2,87	m	
	Periode Gelombang	8,6		
	c. Beban Gempa			MCEr Spectrum 2% dalam 2500 tahun

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

4.4.2 Pemodelan Dermaga Segmen 1

Dermaga segmen 1 memiliki dimensi sebesar 40 m x 10 m dengan dimensi elemen struktur yang digunakan sebagai berikut.

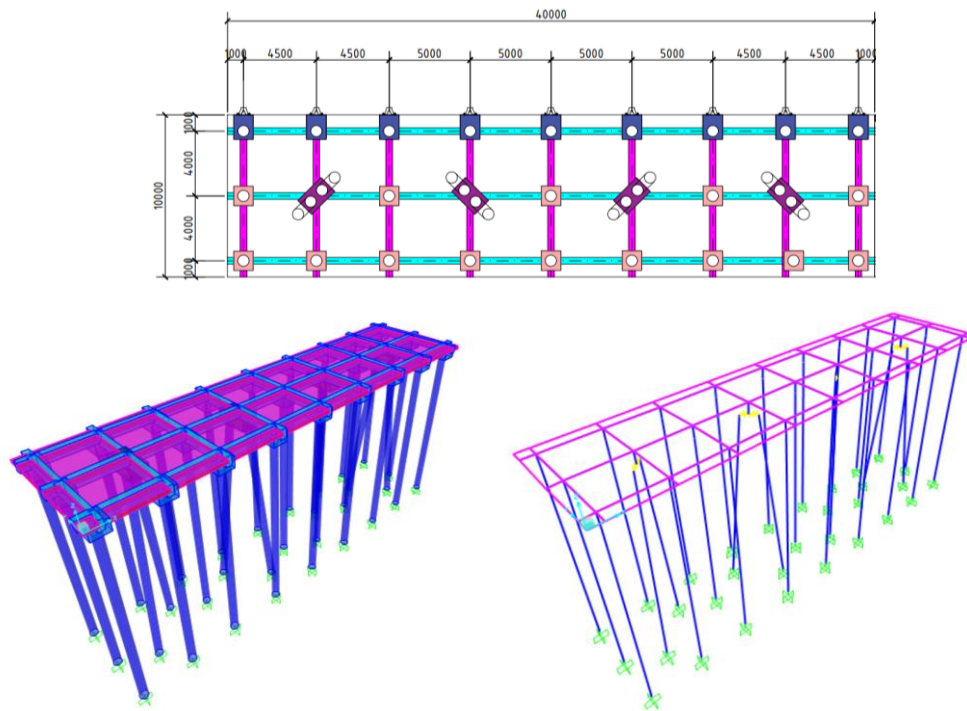
Tabel 4.33 Elemen Struktur Dermaga Segmen 1

Elemen	Dermaga Segmen 1
	40 m x 10 m
Dimensi Tiang Pancang	SPP Ø 711 mm
	t = 16 mm
Dimensi Penampang Balok Memanjang	400 mm x 700 mm
Dimensi Penampang Balok Melintang	400 mm x 700 mm

Dimensi Pelat	$t = 300 \text{ mm}$
Dimensi <i>Pile Cap</i>	PC1 = $1,4 \times 1,4 \times 1$
	PC2 = $2,8 \times 1,4 \times 1$
	PC3 = $1,8 \times 1,4 \times 1$

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Geometri struktur dermaga segmen 1 ditunjukkan pada gambar berikut.



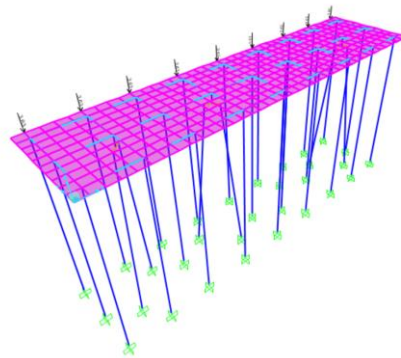
Gambar 4.28 Geometri Stuktur Dermaga Segmen 1

Sumber : Pemodelan SAP2000, 2025

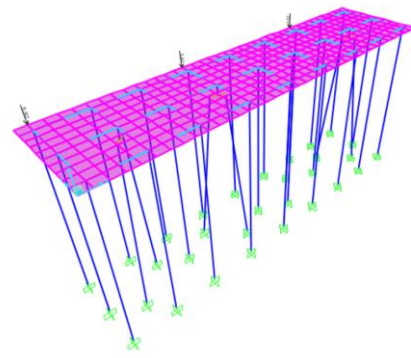
1. Pembebanan Pada Model

a. Beban Mati (*Dead Load*)

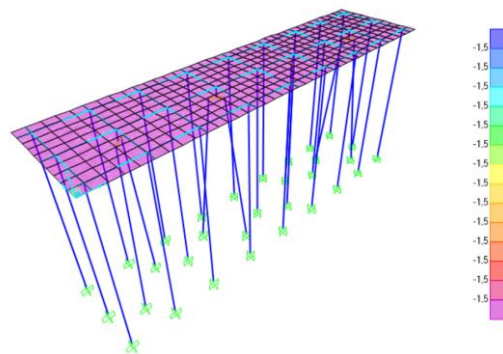
Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)



Gambar 4.29 Beban Fender
Dermaga Segmen 1

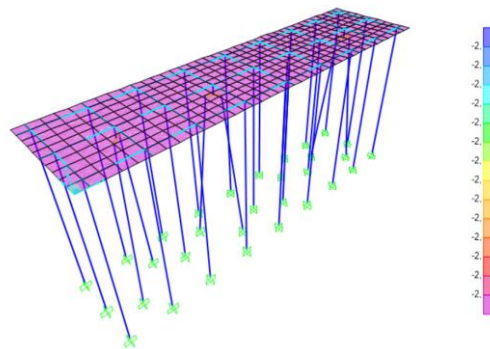


Gambar 4.30 Beban *Bollard*
Dermaga Segmen 1

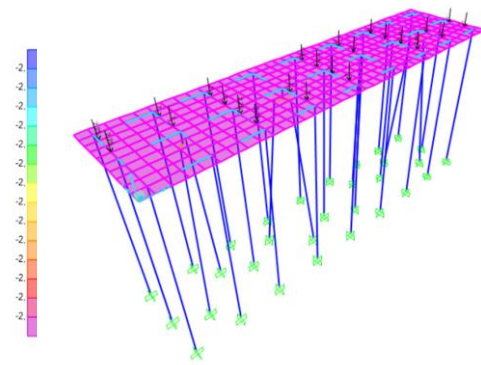


Gambar 4.31 Beban SIDL Dermaga Segmen 1

b. Beban Hidup (*Live Load*)

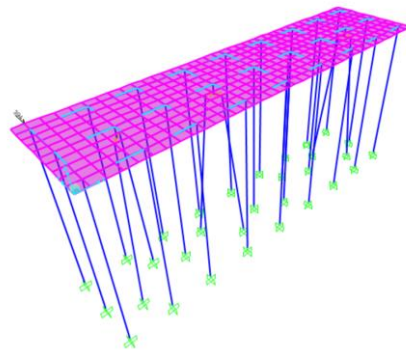


Gambar 4.32 Beban Hidup Dermaga
Segmen 1



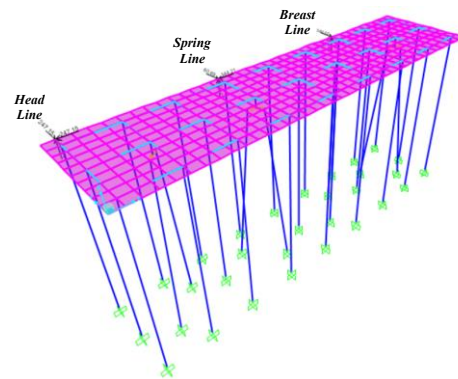
Gambar 4.33 Beban Hidup Truk
Dermaga Segmen 1

c. Beban *Berthing* dan *Mooring*



Gambar 4.34 Beban *Berthing*

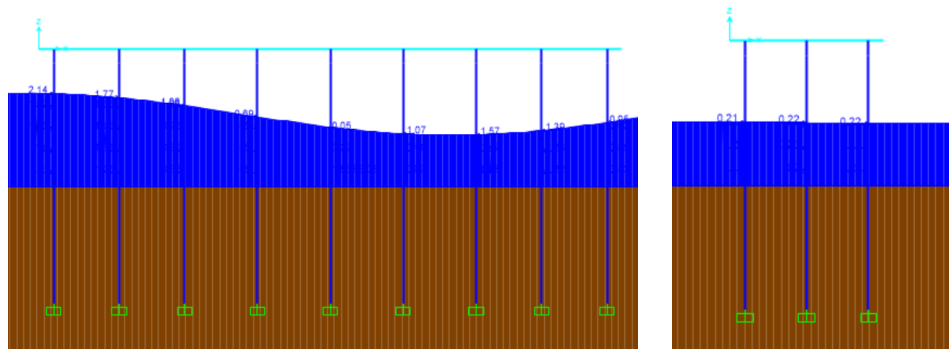
Dermaga Segmen 1



Gambar 4.35 Beban *Mooring*

Dermaga Segmen 1

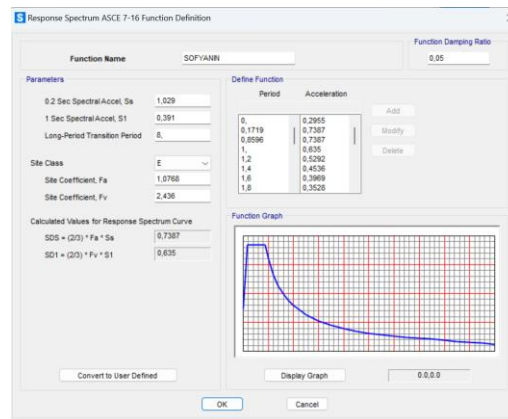
d. Beban Arus dan Gelombang



Gambar 4.36 Beban Arus dan Gelombang Dermaga Segmen 1

e. Beban Gempa

Beban gempa diaplikasikan pada struktur secara otomatis dengan input berupa spektrum respon gempa yang telah dihitung. Input spektrum gempa pada program SAP2000 ditampilkan sebagai berikut.



Gambar 4.37 Input Respons Spektrum

Sumber : Pemodelan SAP2000, 2025

2. Output Pemodelan

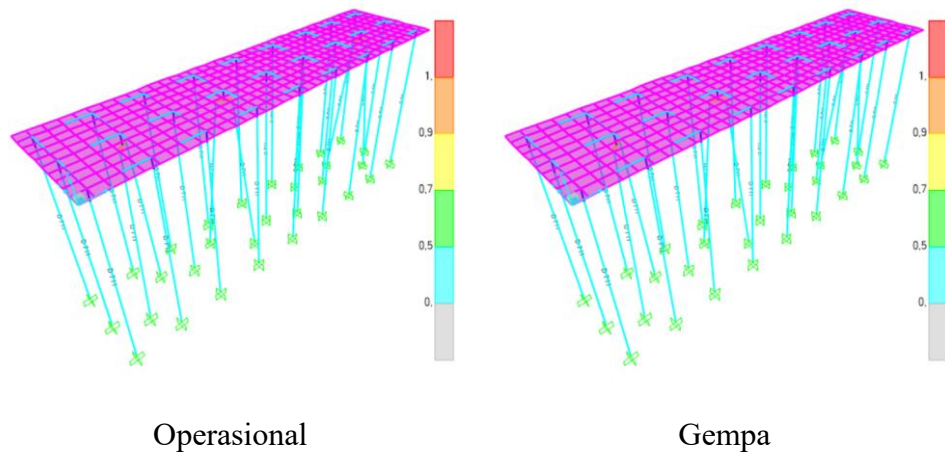
a. Unity Check Ratio (UCR)

Pengecekan *unity check ratio* hanya dilakukan pada elemen baja yaitu tiang pancang menggunakan kriteria desain AISC360-16. *Output* dari hasil analisis *steel structure* diurutkan dari yang terbesar sehingga didapat nilai UCR terbesar untuk tiang pancang sesuai desain awal. UCR untuk *steel structure* dermaga segmen 1 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.34 *Stress Ratio* Dermaga Segmen 1

No	Load Case Type	Stress Ratio	Stress Ratio Limit	Keterangan
1	Operasional	0,232	0,95	OK
2	Gempa	0,446	0,95	OK

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025

Gambar 4.38 *Stress Ratio* Dermaga Segmen 1

b. Defleksi

Defleksi maksimum pada dermaga segmen 1 adalah sebagai berikut.

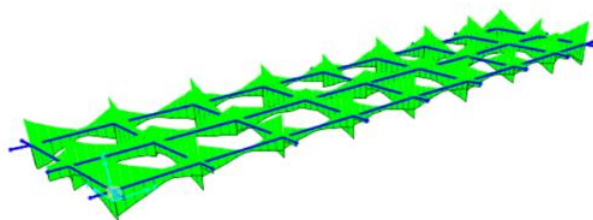
Tabel 4.35 Defleksi Dermaga Segmen 1

No	Load Case Type	Arah	Defleksi Maksimum (mm)	Defleksi Izin (mm)	Keterangan
1	Operasional	X	34,821	50,00	OK
		Y	48,194	50,00	OK
2	Gempa	X	56,422	100,00	OK
		Y	71,895	100,00	OK

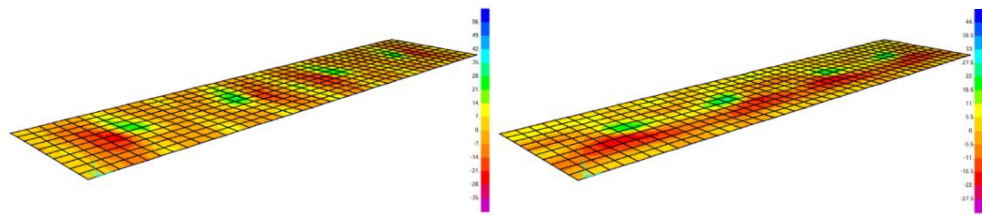
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025

c. Gaya Dalam

Hasil pemodelan gaya dalam struktur dermaga segemen 1 ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4.39 Gaya Dalam Balok Dermaga Segmen 1



Gambar 4.40 Gaya Dalam Pelat Dermaga Segmen 1

4.4.3 Pemodelan Dermaga Segmen 2

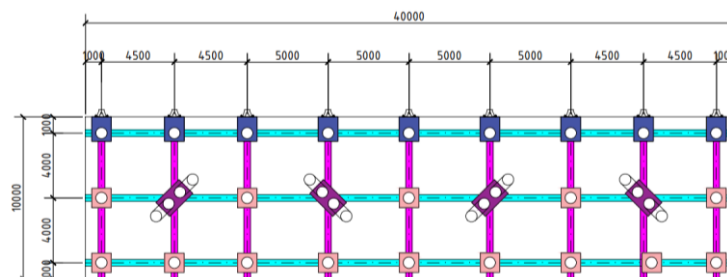
Dermaga segmen 2 memiliki dimensi sebesar 40 m x 10 m dengan dimensi elemen struktur yang digunakan sebagai berikut.

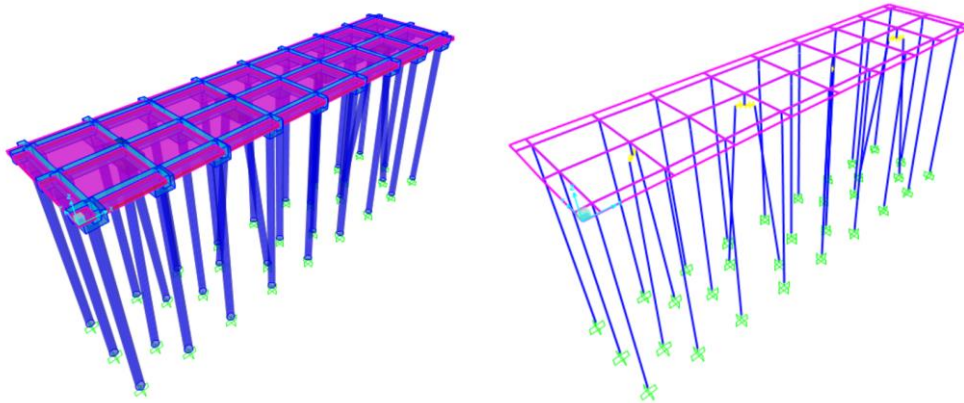
Tabel 4.36 Elemen Struktur Dermaga Segmen 2

Elemen	Dermaga Segmen 2
	40 m x 10 m
Dimensi Tiang Pancang	SPP Ø 711 mm
	t = 16 mm
Dimensi Penampang Balok Memanjang	400 mm x 700 mm
Dimensi Penampang Balok Melintang	400 mm x 700 mm
Dimensi Pelat	t = 300 mm
Dimensi <i>Pile Cap</i>	PC1 = 1,4 x 1,4 x 1
	PC2 = 2,8 x 1,4 x 1
	PC3 = 1,8 x 1,4 x 1

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Geometri struktur dermaga segmen 2 ditunjukkan pada gambar berikut.



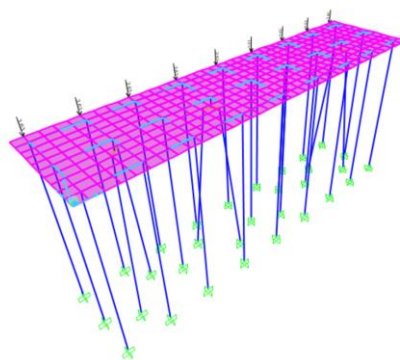
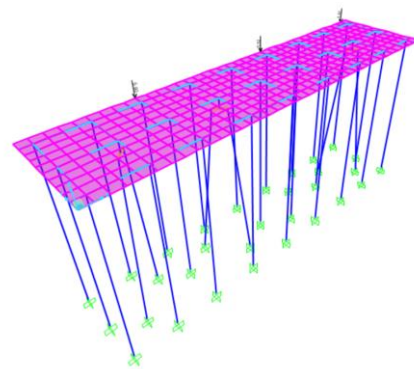
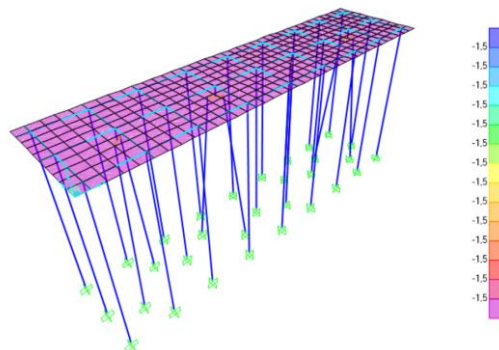


Gambar 4.41 Geometri Stuktur Dermaga Segmen 2

1. Pembebanan Pada Model

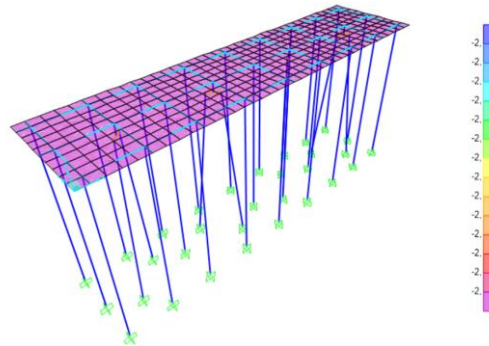
a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

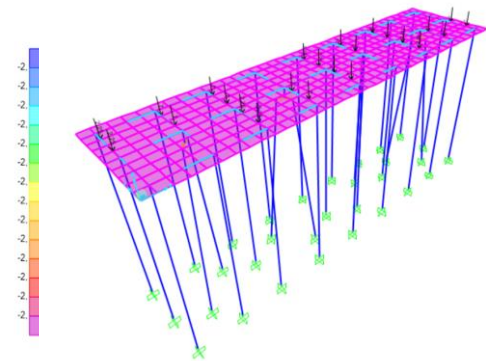
Gambar 4.42 Beban Fender
Dermaga Segmen 2Gambar 4.43 Beban *Bollard*
Dermaga Segmen 2

Gambar 4.44 Beban SIDL Dermaga Segmen 2

b. Beban Hidup (*Live Load*)

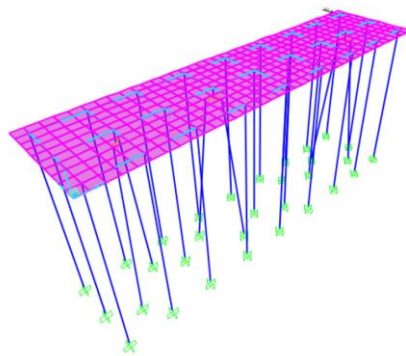


Gambar 4.45 Beban Hidup Dermaga
Segmen 2

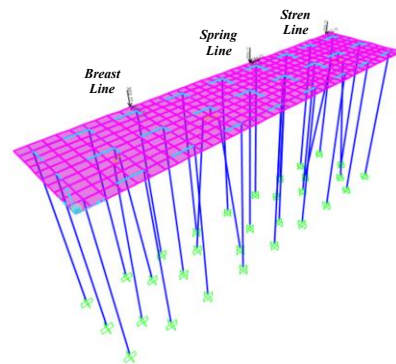


Gambar 4.46 Beban Hidup Truk
Dermaga Segmen 2

c. Beban *Berthing* dan *Mooring*

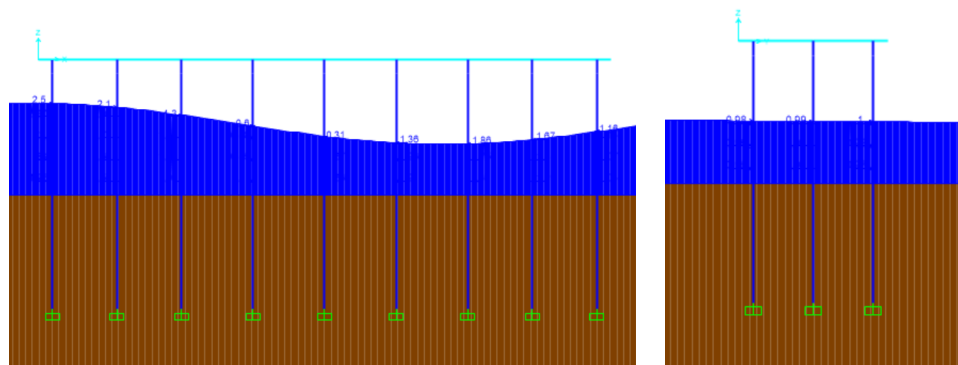


Gambar 4.47 Beban *Berthing*
Dermaga Segmen 2



Gambar 4.48 Beban *Mooring*
Dermaga Segmen 2

d. Beban Arus dan Gelombang



Gambar 4.49 Beban Arus dan Gelombang Dermaga Segmen 2

2. Output Pemodelan

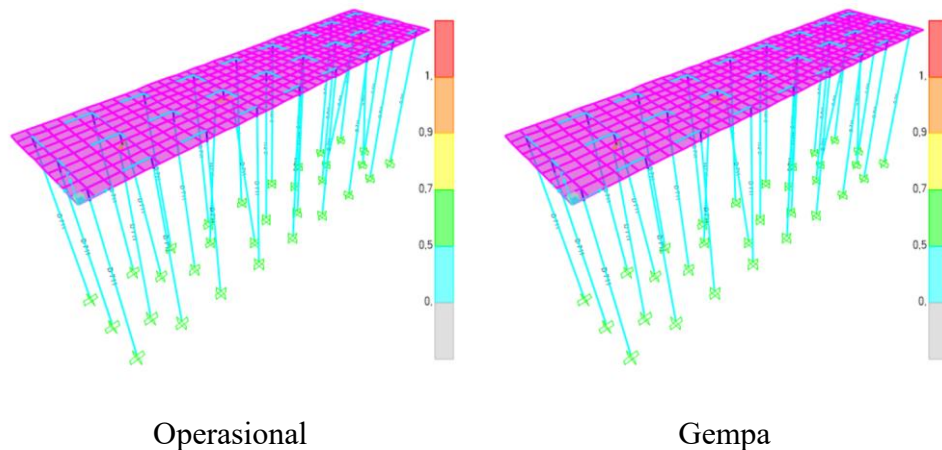
a. Unity Check Ratio (UCR)

UCR untuk *steel structure* dermaga segmen 2 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.37 *Stress Ratio* Dermaga Segmen 2

No	Load Case Type	Stress Ratio	Stress Ratio Limit	Keterangan
1	Operasional	0,213	0,95	OK
2	Gempa	0,443	0,95	OK

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025



Gambar 4.50 *Stress Ratio* Dermaga Segmen 2

b. Defleksi

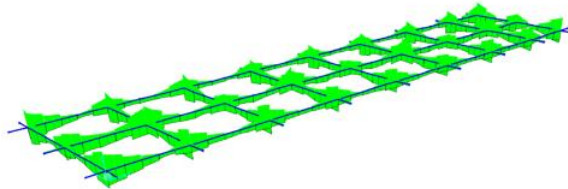
Defleksi maksimum pada dermaga segmen 2 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.38 Defleksi Dermaga Segmen 2

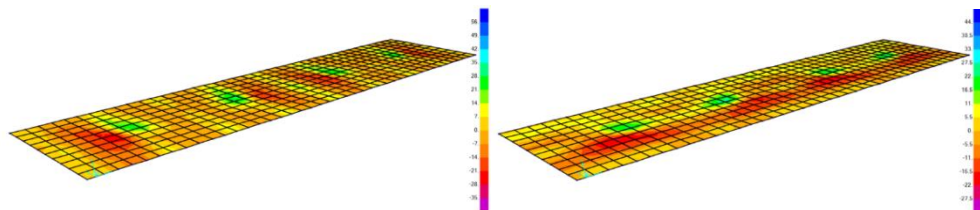
No	Load Case Type	Arah	Defleksi Maksimum (mm)	Defleksi Izin (mm)	Keterangan
1	Operasional	X	29,523	50,00	OK
		Y	44,766	50,00	OK
2	Gempa	X	53,588	100,00	OK
		Y	66,724	100,00	OK

c. **Gaya Dalam**

Hasil pemodelan gaya dalam struktur Dermaga segmen 2 ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4.51 Gaya Dalam Balok Dermaga Segmen 2



Gambar 4.52 Gaya Dalam Pelat Dermaga Segmen 2

4.4.4 Pemodelan Trestle Segmen 1

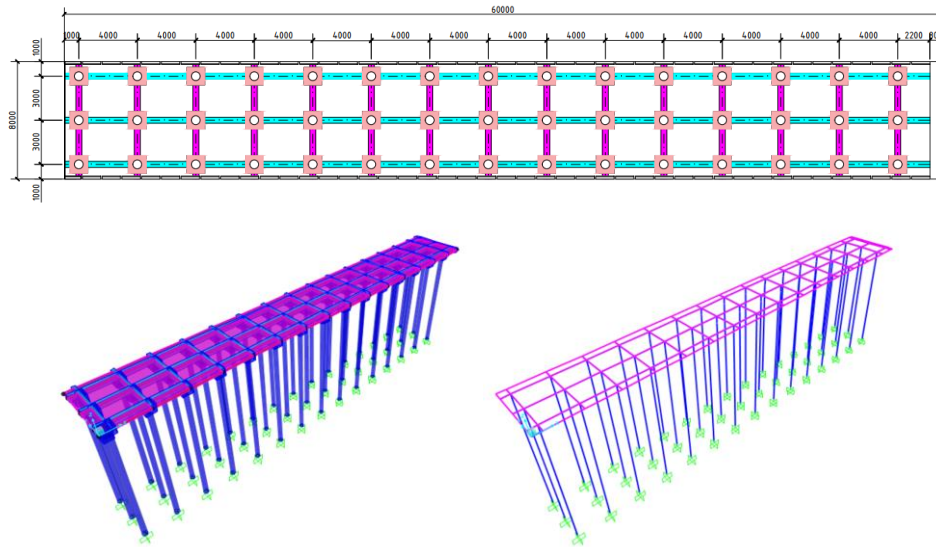
Trestle segmen 1 memiliki dimensi sebesar 60 m x 8 m dengan dimensi elemen struktur yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 4.39 Elemen Struktur Trestle Segmen 1

Elemen	Trestle Segmen 1
	60 m x 8 m
Dimensi Tiang Pancang	SPP Ø 609,6 mm
	t = 12 mm
Dimensi Penampang Balok Memanjang	400 mm x 700 mm
Dimensi Penampang Balok Melintang	400 mm x 700 mm
Dimensi Pelat	t = 300 mm
Dimensi <i>Pile Cap</i>	PC1 = 1,2 x 1,2 x 1

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Geometri struktur trestle segmen 1 ditunjukkan pada gambar berikut.



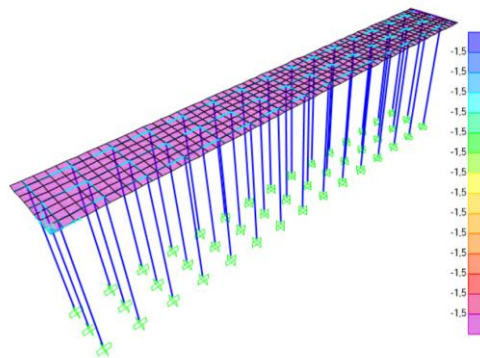
Gambar 4.53 Geometri Stuktur Trestle Segmen 1

Sumber : Pemodelan SAP2000, 2025

1. Pembebanan Pada Model

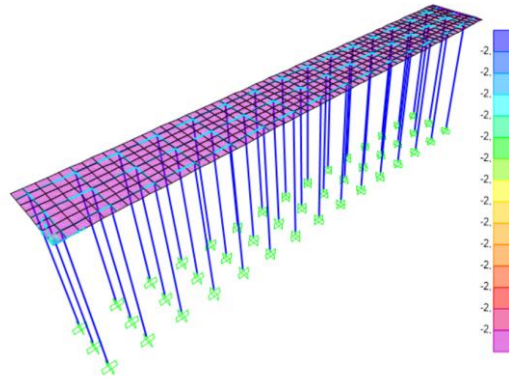
a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

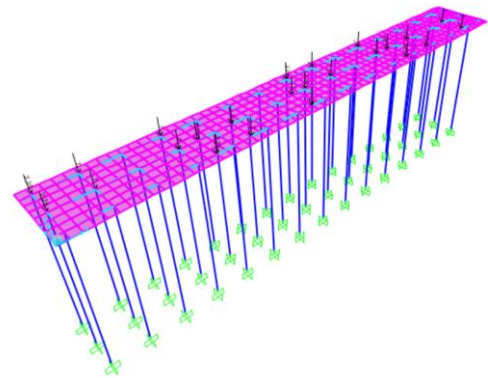


Gambar 4.54 Beban SIDL Trestle Segmen 1

b. Beban Hidup (*Live Load*)

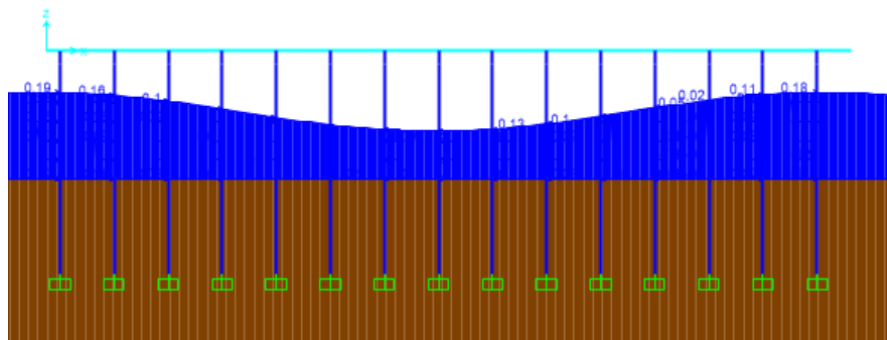


Gambar 4.55 Beban Hidup Trestle
Segmen 1



Gambar 4.56 Beban Hidup Truk
Trestle Segmen 1

c. Beban Arus dan Gelombang



Gambar 4.57 Beban Arus dan Gelombang Trestle Segmen 1

2. Output Pemodelan

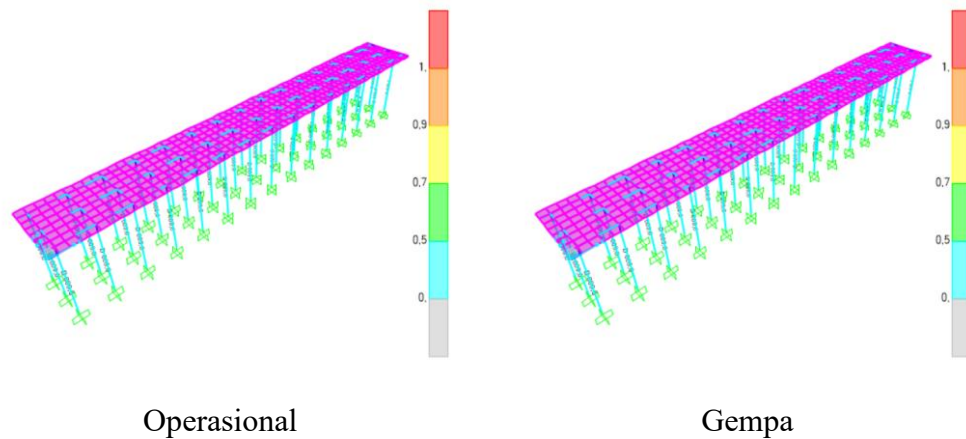
a. *Unity Check Ratio* (UCR)

Unity check ratio untuk *steel structure* trestle segmen 1 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.40 *Stress Ratio* Trestle Segmen 1

No	<i>Load Case Type</i>	<i>Stress Ratio</i>	<i>Stress Ratio Limit</i>	Keterangan
1	Operasional	0,122	0,95	OK
2	Gempa	0,418	0,95	OK

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025

Gambar 4.58 *Stress Ratio* Trestle Segmen 1

b. Defleksi

Defleksi maksimum pada trestle segmen 1 adalah sebagai berikut.

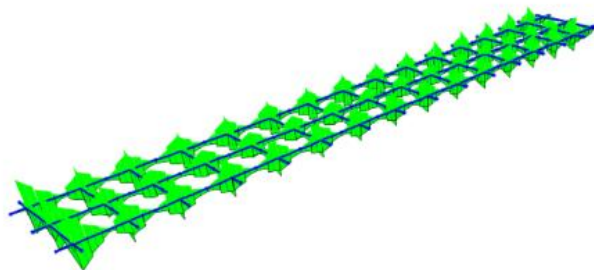
Tabel 4.41 Defleksi Trestle Segmen 1

No	Load Case Type	Arah	Defleksi Maksimum (mm)	Defleksi Izin (mm)	Keterangan
1	Operasional	X	14,87	50,00	OK
		Y	24,73	50,00	OK
2	Gempa	X	76,92	100,00	OK
		Y	88,43	100,00	OK

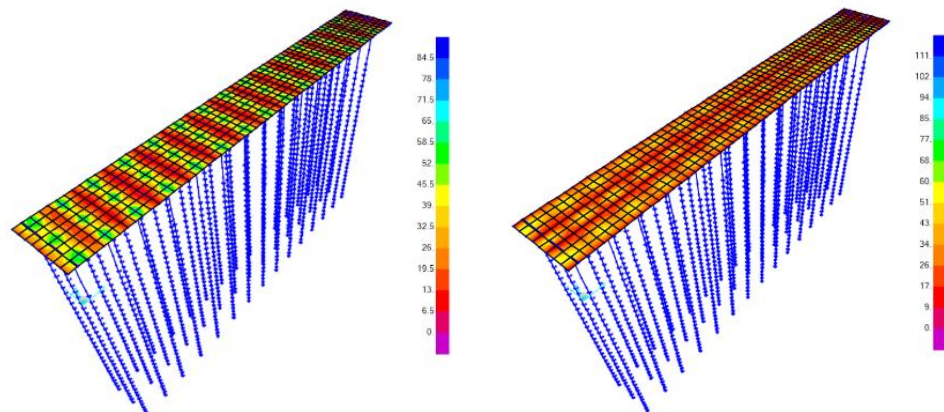
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025

c. Gaya Dalam

Hasil pemodelan gaya dalam struktur trestle segmen 1 ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4.59 Gaya Dalam Balok Trestle Segmen 1



Gambar 4.60 Gaya Dalam Pelat Trestle Segmen 1

4.4.5 Pemodelan Trestle Segmen 2

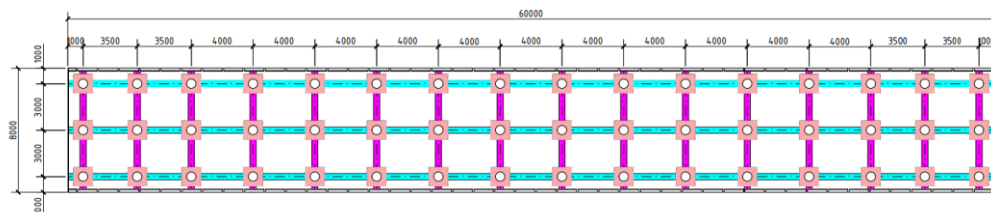
Trestle segmen 2 memiliki dimensi sebesar 60 m x 8 m dengan dimensi elemen struktur yang digunakan sebagai berikut.

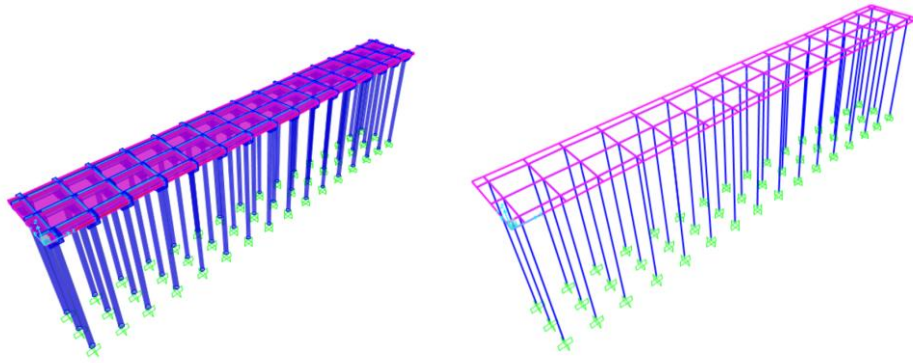
Tabel 4.42 Elemen Struktur Trestle Segmen 2

Elemen	Trestle Segmen 2
	60 m x 8 m
Dimensi Tiang Pancang	SPP Ø 609,6 mm
	t = 12 mm
Dimensi Penampang Balok Memanjang	400 mm x 700 mm
Dimensi Penampang Balok Melintang	400 mm x 700 mm
Dimensi Pelat	t = 300 mm
Dimensi <i>Pile Cap</i>	PC1 = 1,2 x 1,2 x 1

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Geometri struktur trestle segmen 2 ditunjukkan pada gambar berikut.



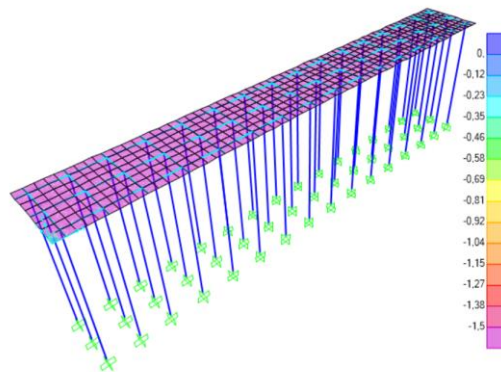


Gambar 4.61 Geometri Stuktur Trestle Segmen 2

1. Pembebanan Pada Model

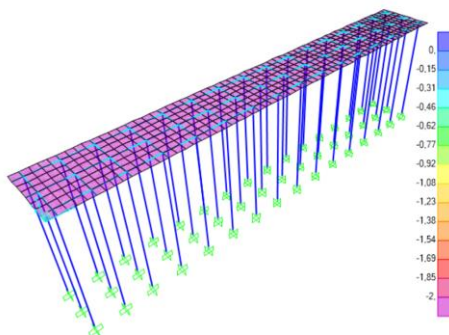
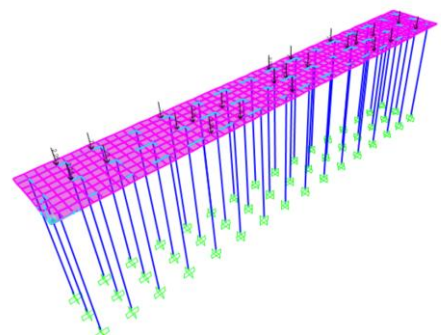
a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

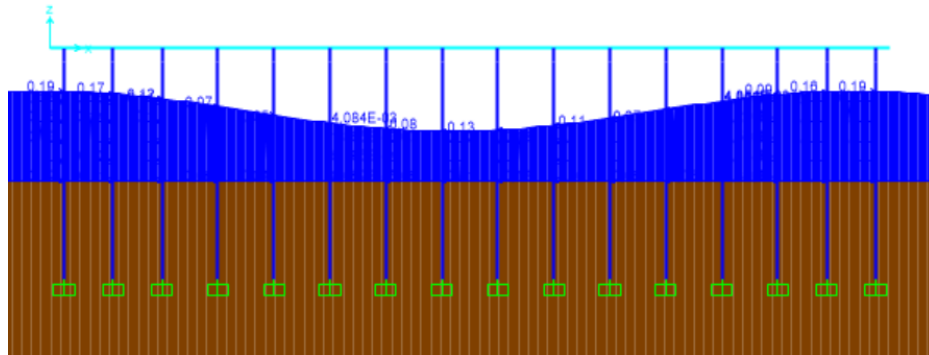


Gambar 4.62 Beban SIDL Trestle Segmen 2

b. Beban Hidup (*Live Load*)

Gambar 4.63 Beban Hidup Trestle
Segmen 2Gambar 4.64 Beban Hidup Truk Trestle
Segmen 2

c. Beban Arus dan Gelombang



Gambar 4.65 Beban Arus dan Gelombang Trestle Segmen 2

2. Output Pemodelan

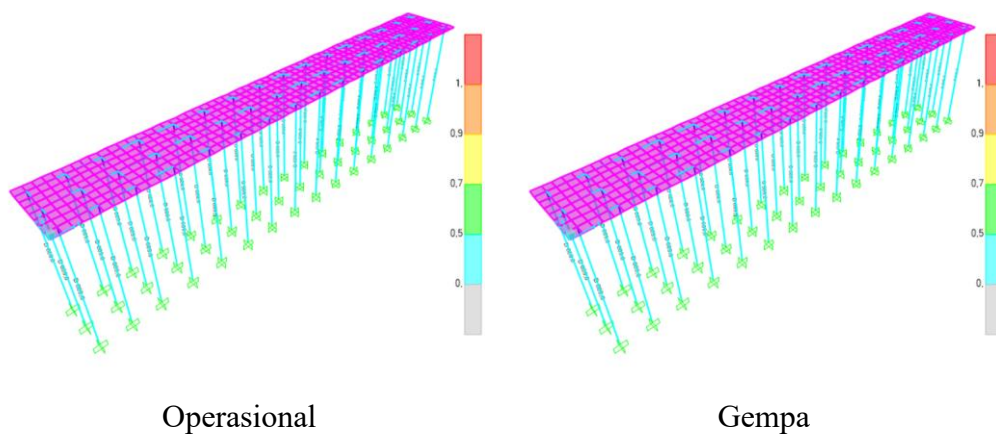
a. *Unity Check Ratio (UCR)*

Unity check ratio untuk *steel structure* trestle segmen 2 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.43 *Stress Ratio* Trestle Segmen 2

No	Load Case Type	Stress Ratio	Stress Ratio Limit	Keterangan
1	Operasional	0,110	0,95	OK
2	Gempa	0,381	0,95	OK

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025



Gambar 4.66 *Stress Ratio* Trestle Segmen 2

b. Defleksi

Defleksi maksimum pada trestle segmen 2 adalah sebagai berikut.

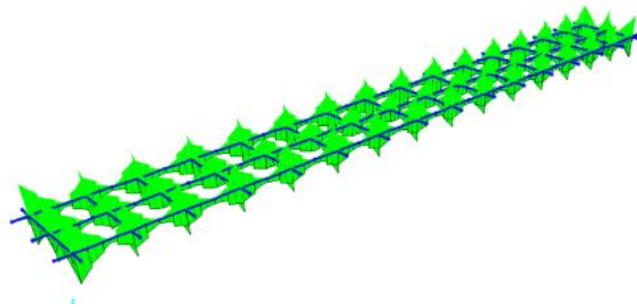
Tabel 4.44 Defleksi Trestle Segmen 2

No	Load Case Type	Arah	Defleksi Maksimum (mm)	Defleksi Izin (mm)	Keterangan
1	Operasional	X	8,84	50,00	OK
		Y	16,19	50,00	OK
2	Gempa	X	43,46	100,00	OK
		Y	56,10	100,00	OK

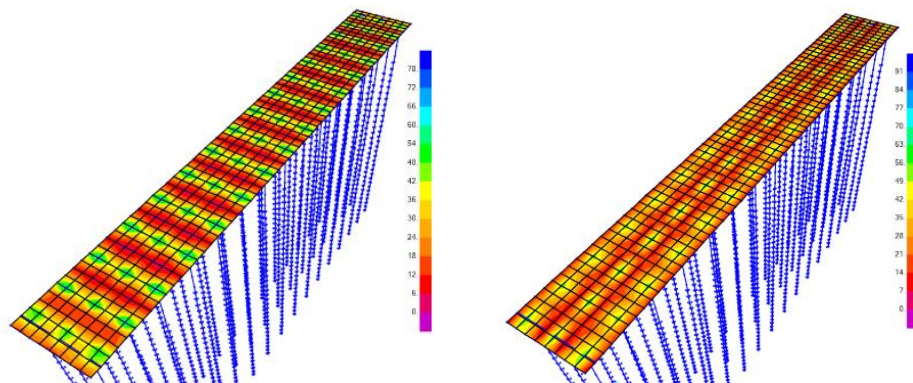
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025

c. Gaya Dalam

Hasil pemodelan gaya dalam struktur trestle segmen 2 ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4.67 Gaya Dalam Balok Trestle Segmen 2



Gambar 4.68 Gaya Dalam Pelat Trestle Segmen 2

4.4.6 Pemodelan Trestle Segmen 3

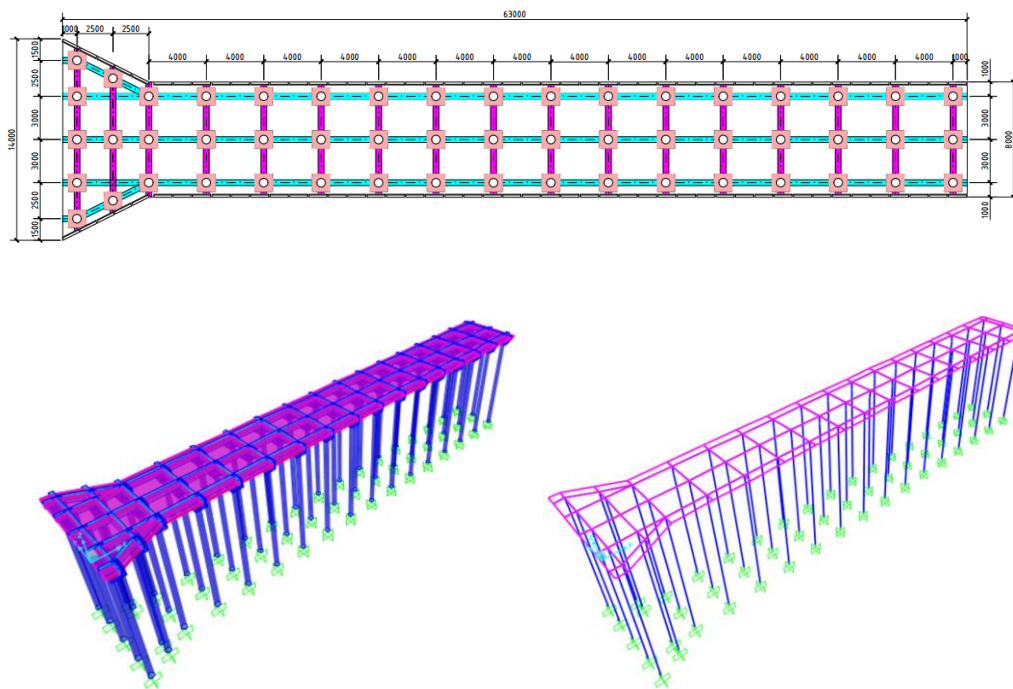
Trestle segmen 3 memiliki dimensi sebesar 63 m x 8 m dengan dimensi elemen struktur yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 4.45 Elemen Struktur Trestle Segmen 3

Elemen	Trestle Segmen 3
	63 m x 8 m
Dimensi Tiang Pancang	SPP Ø 609,6 mm
	t = 12 mm
Dimensi Penampang Balok Memanjang	400 mm x 700 mm
Dimensi Penampang Balok Melintang	400 mm x 700 mm
Dimensi Pelat	t = 300 mm
Dimensi <i>Pile Cap</i>	PC1 = 1,2 x 1,2 x 1

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Geometri struktur trestle segmen 3 ditunjukkan pada gambar berikut.

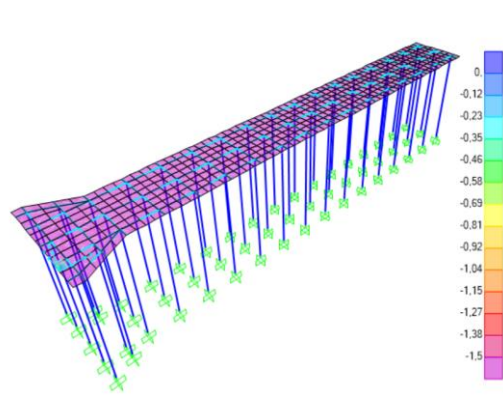


Gambar 4.69 Geometri Stuktur Trestle Segmen 3

1. Pembebanan Pada Model

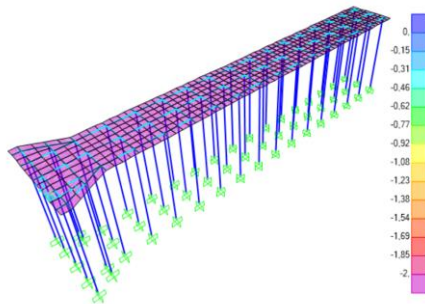
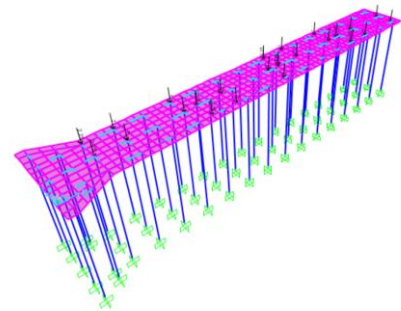
a. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban Mati Tambahan (*Superimposed Dead Load*)

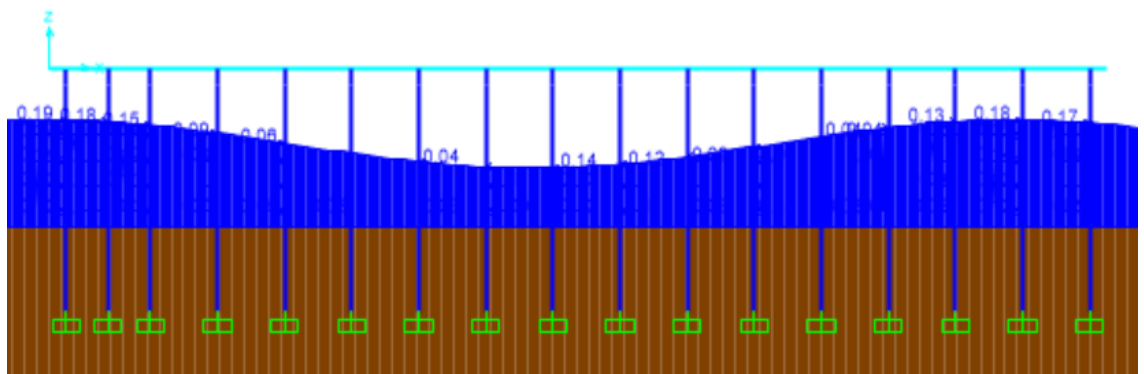


Gambar 4.70 Beban SIDL Trestle Segmen 3

b. Beban Hidup (*Live Load*)

Gambar 4.71 Beban Hidup Trestle
Segmen 3Gambar 4.72 Beban Hidup Truk
Trestle Segmen 3

c. Beban Arus dan Gelombang



Gambar 4.73 Beban Arus dan Gelombang Trestle Segmen 3

2. Output Pemodelan

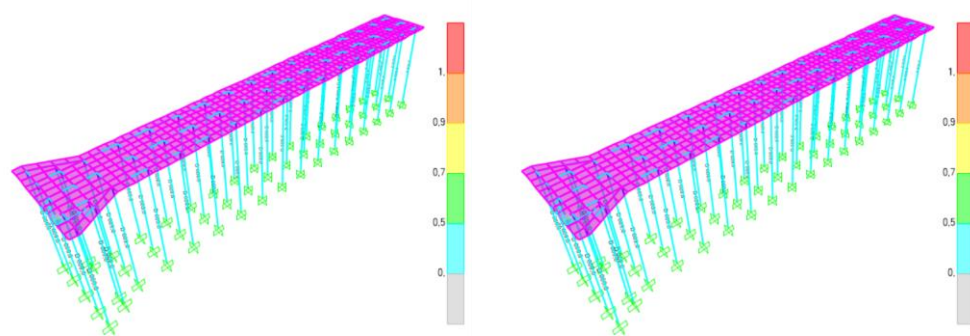
a. Unity Check Ratio (UCR)

Unity check ratio untuk *steel structure* trestle segmen 3 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.46 *Stress Ratio* Trestle Segmen 3

No	Load Case Type	Stress Ratio	Stress Ratio Limit	Keterangan
1	Operasional	0.107	0,95	OK
2	Gempa	0.113	0,95	OK

Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025



Operasional

Gempa

Gambar 4.74 *Stress Ratio* Trestle Segmen 3

b. Defleksi

Defleksi maksimum pada dermaga segmen 3 adalah sebagai berikut.

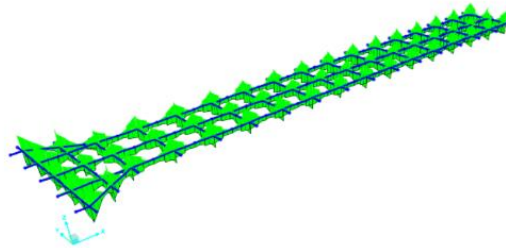
Tabel 4.47 Defleksi Trestle Segmen 3

No	Load Case Type	Arah	Defleksi Maksimum (mm)	Defleksi Izin (mm)	Keterangan
1	Operasional	X	13,03	50,00	OK
		Y	16,84	50,00	OK
2	Gempa	X	34,72	100,00	OK
		Y	54,88	100,00	OK

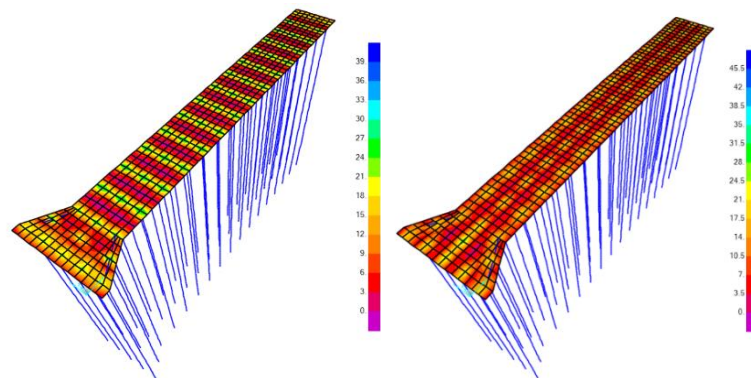
Sumber : Hasil Pemodelan SAP2000, 2025

c. Gaya Dalam

Hasil pemodelan gaya dalam struktur trestle segmen 3 ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 4.75 Gaya Dalam Balok Trestle Segmen 3



Gambar 4.76 Gaya Dalam Pelat Trestle Segmen 3

4.5 Desain Penulangan Elemen Struktur

Desain penulangan elemen struktural dermaga dan trestle dilakukan untuk menentukan dimensi dan konfigurasi tulangan agar mampu menahan gaya yang bekerja pada elemen beton yakni gaya geser dan momen. Desain penulangan ini diambil dari nilai momen absolut terbesar pada segmen struktur. Adapun elemen struktural dermaga yang didesain penulangannya adalah elemen balok, pelat, dan *pile cap*.

4.5.1 Desain Penulangan Struktur Dermaga

1. Desain Penulangan Pelat

Tulangan pada pelat hanya terdiri dari tulangan lentur yang dipasang dalam dua arah, yaitu searah sumbu X dan searah sumbu Y. Untuk mempermudah pemasangan tulangan di lapangan, tulangan lentur dirancang seragam untuk semua jenis pelat

baik pelat tengah, pelat tepi, maupun pelat sudut. Sehingga tulangan lentur atas dan bawah baik untuk arah sumbu X dan sumbu Y dirancang berdasarkan momen terbesar antara pelat tengah, pelat tepi, dan pelat sudut. Berikut perhitungan tulangan pelat.

Tabel 4.48 Perhitungan Tulangan Pelat Dermaga Arah Sumbu-X

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-X		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f_c'	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tebal slab,	h	300	300	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	50	50	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,03	
	R_{maks}	8,732	8,73	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	115,645	111,154	kN.m
Tebal efektif slab beton,	d	250	250	mm
Lebar slab beton ditinjau 1 m,	b	1000	1000	mm
Momen nominal rencana,	M_n	134,804	123,50	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	2,157	1,976	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,005336	0,004873	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min}	0,000833	0,000833	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,005336	0,004873	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	1334,106	1218,129	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	16	16	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	150,770	165,1244	mm
Jarak tulangan yang digunakan,		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	1340,952	1340,952	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.49 Perhitungan Tulangan Pelat Dermaga Arah Sumbu-Y

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-Y		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f'_c	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tebal slab,	h	300	300	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	50	50	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,03	
	R_{maks}	8,732	8,73	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	121,345	110,463	kN.m
Tebal efektif slab beton,	d	250	250	mm
Lebar slab beton ditinjau 1 m,	b	1000	1000	mm
Momen nominal rencana,	M_n	134,828	122,74	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	2,157	1,964	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan :	ρ	0,005337	0,004841	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min}	0,000833	0,000833	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,005337	0,004841	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	1334,346	1210,279	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	16	16	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	150,743	166,1954	mm
Jarak tulangan yang digunakan		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	1340,952	1340,952	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

2. Desain Penulangan Balok

Desain penulangan balok terdiri dari perancangan tulangan lentur dan tulangan geser. Desain penulangan elemen balok dilakukan dengan mengikuti ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

- M3 positif dan negatif selalu ada pada seluruh bentang balok, baik di lapangan maupun tumpuan. Oleh karena itu, tulangan lentur dirancang seragam di

sepanjang bentang balok dengan menggunakan momen lentur positif dan negatif terbesar untuk masing-masing jenis balok.

- Tulangan geser dirancang seragam di sepanjang bentang balok dengan menggunakan gaya geser V_2 absolut terbesar.

a. Penulangan Balok Memanjang

Perhitungan tulangan lentur dan tulangan geser balok memanjang dermaga ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.50 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Memanjang Dermaga

Parameter	Simbol	Tulangan Memanjang		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f'_c	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi balok,	h	700	700	mm
Lebar balok,	b	400	400	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	Mpa
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	639,521	551,745	kN.m
Tebal efektif balok,	d	620	620	mm
Momen nominal rencana,	M_n	710,579	613,050	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	4,621	3,987	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,012024	0,010232	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,012024	0,010232	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	2981,8793	2537,5389	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jumlah tulangan yang diperlukan,	n	6,075	5,169	bh
Digunakan tulangan,		5D	5D	bh

Luas tulangan yang digunakan	A_s	2454,369	2454,369	mm ²
------------------------------	-------	----------	----------	-----------------

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.51 Perhitungan Tulangan Geser Balok Memanjang Dermaga

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tinggi balok,	h	700	mm
Lebar balok,	b	400	mm
Gaya geser ultimit rencana,	V_u	257,829	kN
	V_u	257829	N
Faktor reduksi kekuatan geser,	ϕ	0,75	
Kapasitas geser ultimit,	$V_{u maks}$	376913,59	N
Cek kapasitas geser ultimit,	$V_u < V_{u maks}$	AMAN	
Kuat geser beton,	V_c	167517	N
Cek keperluan tulangan geser	$V_u \geq \phi V_c$	PERLU	
Gaya geser yang ditahan oleh beton,	V_s	176255	N
Digunakan diameter tulangan,	n	3	bh
	D	13	mm
Luas tulangan geser sengkang,	A_v	398,197	mm ²
Jarak tulangan geser yang diperlukan,	s	588,299	mm
Jarak tulangan geser daerah :	Tumpuan	100	mm
	Lapangan	150	mm

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

b. Penulangan Balok Melintang

Perhitungan tulangan lentur dan tulangan geser balok melintang dermaga ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.52 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Melintang Dermaga

Parameter	Simbol	Tulangan Melintang		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f'_c	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi balok,	h	700	700	mm
Lebar balok,	b	400	400	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	Mpa
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	

	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	596,792	528,478	kN.m
Tebal efektif balok,	d	620	620	mm
Momen nominal rencana,	M_n	663,102	587,198	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	4,313	3,819	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,011145	0,009766	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,011145	0,009766	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	2763,9100	2421,9421	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jumlah tulangan yang diperlukan,	n	5,631	4,934	bh
Digunakan tulangan,		5D	5D	bh
Luas tulangan yang digunakan	A_s	2454,369	2454,369	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.53 Perhitungan Tulangan Geser Balok Melintang Dermaga

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tinggi balok,	h	700	mm
Lebar balok,	b	400	mm
Gaya geser ultimit rencana,	V_u	327,214	kN
	V_u	327214	N
Faktor reduksi kekuatan geser,	ϕ	0,75	
Kapasitas geser ultimit,	$V_{u maks}$	361019,20	N
Cek kapasitas geser ultimit,	$V_u < V_{u maks}$	AMAN	
Kuat geser beton,	V_c	160453	N
Cek keperluan tulangan geser	$V_u \geq \phi V_c$	PERLU	
Gaya geser yang ditahan oleh beton,	V_s	275832	N
Digunakan diameter tulangan,	n	3	bh
	D	13	mm
Luas tulangan geser sengkang,	A_v	398,197	mm ²
Jarak tulangan geser yang diperlukan,	s	375,918	mm
Jarak tulangan geser daerah :	Tumpuan	100	mm

	Lapangan	150	mm
--	----------	-----	----

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

3. Desain Penulangan *Pile Cap*

Perhitungan penulangan lentur *pile cap* dermaga ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.54 Perhitungan Tulangan *Pile Cap* Dermaga Sumbu-X

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-X		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f_c'	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi <i>pile cap</i> ,	h	1000	1000	mm
Lebar <i>pile cap</i> ,	b	1400	1400	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	356,345	309,343	kN.m
Tebal efektif beton,	d	920	920	mm
Momen nominal rencana,	M_n	395,939	343,714	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	0,334	0,290	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,000800	0,000694	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,003521	0,003521	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	4535,6612	4535,6612	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	151,577	151,577	mm
Digunakan tulangan,		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	3011,905	3011,905	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.55 Perhitungan Tulangan *Pile Cap* Dermaga Sumbu-Y

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-Y		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f'_c	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi <i>pile cap</i> ,	h	1000	1000	mm
Lebar <i>pile cap</i> ,	b	2800	2800	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	334,513	287,125	kN.m
Tebal efektif beton,	d	920	920	mm
Momen nominal rencana,	M_n	371,681	319,028	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	0,157	0,135	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,000374	0,000321	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,003521	0,003521	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	9071,3223	9071,3223	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	151,577	151,577	mm
Digunakan tulangan,		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	3011,905	3011,905	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Karena tinggi *pile cap* melebihi 800 mm, maka diperlukan tulangan pinggang dengan kebutuhan spasi yang dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S \leq 380 \left(\frac{280}{\frac{2}{3} 420} \right) - 2,5(80) \leq 300 \left(\frac{280}{\frac{2}{3} 420} \right)$$

$$S \leq 180 \leq 300$$

Jarak antar tulangan lentur atas dan bawah adalah 840 mm dan kebutuhan spasi tulangan pinggang adalah 180 mm, maka diperlukan 5 tulangan pinggang. Diameter tulangan diambil sebesar 16 mm.

4.5.2 Desain Penulangan Struktur Trestle

1. Desain Penulangan Pelat

Berikut perhitungan tulangan pelat pada pelat lantai trestle.

Tabel 4.56 Perhitungan Tulangan Pelat Trestle Arah Sumbu-X

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-X		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f'_c	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tebal slab,	h	300	300	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	50	50	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,03	
	R_{maks}	8,732	8,73	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	115,645	108,730	kN.m
Tebal efektif slab beton,	d	250	250	mm
Lebar slab beton ditinjau 1 m,	b	1000	1000	mm
Momen nominal rencana,	M_n	128,494	120,81	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	2,056	1,933	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,005077	0,004762	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min}	0,000833	0,000833	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,005077	0,004762	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	1269,243	1190,607	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	16	16	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	158,475	168,9415	mm
Jarak tulangan yang digunakan,		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	1340,952	1340,952	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.57 Perhitungan Tulangan Pelat Arah Sumbu-Y

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-Y		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f'_c	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tebal slab,	h	300	300	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	50	50	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,03	
	R_{maks}	8,732	8,73	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	118,635	101,730	kN.m
Tebal efektif slab beton,	d	250	250	mm
Lebar slab beton ditinjau 1 m,	b	1000	1000	mm
Momen nominal rencana,	M_n	131,817	113,03	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	2,109	1,809	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan :	ρ	0,005213	0,004446	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min}	0,000833	0,000833	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,005213	0,004446	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	1303,362	1111,383	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	16	16	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	154,326	180,9842	mm
Jarak tulangan yang digunakan		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	1340,952	1340,952	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

2. Desain Penulangan Balok

Desain penulangan balok terdiri dari perancangan tulangan lentur dan tulangan geser. Berikut perhitungan balok memanjang dan melintang trestle.

a. Penulangan Balok Memanjang

Perhitungan tulangan lentur dan tulangan geser balok memanjang trestle ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.58 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Memanjang Trestle

Parameter	Simbol	Tulangan Memanjang		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f_c'	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi balok,	h	700	700	mm
Lebar balok,	b	400	400	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	Mpa
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	542,141	521,615	kN.m
Tebal efektif balok,	d	620	620	mm
Momen nominal rencana,	M_n	602,379	579,572	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	3,918	3,769	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,010039	0,009629	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,010039	0,009629	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	2489,7162	2388,0131	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jumlah tulangan yang diperlukan,	n	5,072	4,865	bh
Digunakan tulangan,		5D	5D	bh
Luas tulangan yang digunakan	A_s	2454,369	2454,369	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.59 Perhitungan Tulangan Geser Balok Memanjang Trestle

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tinggi balok,	h	700	mm
Lebar balok,	b	400	mm
Gaya geser ultimit rencana,	V_u	224,536	kN
	V_u	224536	N
Faktor reduksi kekuatan geser,	ϕ	0,75	
Kapasitas geser ultimit,	$V_{u maks}$	356330,88	N
Cek kapasitas geser ultimit,	$V_u < V_{u maks}$	AMAN	
Kuat geser beton,	V_c	158369	N
Cek keperluan tulangan geser	$V_u \geq \phi V_c$	PERLU	
Gaya geser yang ditahan oleh beton,	V_s	141012	N
Digunakan diameter tulangan,	n	3	bh
	D	13	mm
Luas tulangan geser sengkang,	A_v	398,197	mm ²
Jarak tulangan geser yang diperlukan,	s	735,331	mm
Jarak tulangan geser daerah :	Tumpuan	100	mm
	Lapangan	150	mm

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

b. Penulangan Balok Melintang

Perhitungan tulangan lentur dan tulangan geser balok melintang trestle ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.60 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Melintang Trestle

Parameter	Simbol	Tulangan Melintang		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f_c'	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi balok,	h	700	700	mm
Lebar balok,	b	400	400	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	Mpa
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	

Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	538,423	518,762	kN.m
Tebal efektif balok,	d	620	620	mm
Momen nominal rencana,	M_n	598,248	576,402	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	3,891	3,749	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,009965	0,009572	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,009965	0,009572	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	2471,2433	2373,9308	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jumlah tulangan yang diperlukan,	n	5,034	4,836	bh
Digunakan tulangan,		5D	5D	bh
Luas tulangan yang digunakan	A_s	2454,369	2454,369	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.61 Perhitungan Tulangan Geser Balok Melintang Trestle

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Tinggi balok,	h	700	mm
Lebar balok,	b	400	mm
Gaya geser ultimit rencana,	V_u	291,348	kN
	V_u	291348	N
Faktor reduksi kekuatan geser,	ϕ	0,75	
Kapasitas geser ultimit,	$V_{u maks}$	354381,91	N
Cek kapasitas geser ultimit,	$V_u < V_{u maks}$	AMAN	
Kuat geser beton,	V_c	157503	N
Cek keperluan tulangan geser	$V_u \geq \phi V_c$	PERLU	
Gaya geser yang ditahan oleh beton,	V_s	230961	N
Digunakan diameter tulangan,	n	3	bh
	D	13	mm
Luas tulangan geser sengkang,	A_v	398,197	mm ²
Jarak tulangan geser yang diperlukan,	s	448,952	mm
Jarak tulangan geser daerah :	Tumpuan	100	mm
	Lapangan	150	mm

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

3. Desain Penulangan *Pile Cap*

Perhitungan penulangan lentur *pile cap* trestle ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.62 Perhitungan Tulangan *Pile Cap* Trestle Sumbu-X

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-X		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f_c'	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi <i>pile cap</i> ,	h	1000	1000	mm
Lebar <i>pile cap</i> ,	b	1200	1400	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	289,572	255,342	kN.m
Tebal efektif beton,	d	920	920	mm
Momen nominal rencana,	M_n	321,747	283,713	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	0,317	0,239	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,000758	0,000572	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,003521	0,003521	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	3887,7096	4535,6612	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	151,577	151,577	mm
Digunakan tulangan,		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	3011,905	3011,905	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.63 Perhitungan Tulangan *Pile Cap* Trestle Sumbu-Y

Parameter	Simbol	Tulangan Arah Sumbu-Y		Satuan
		Tulangan Bawah (M+)	Tulangan Atas (M-)	
Mutu beton :	f_c'	35	35	Mpa
Mutu baja :	f_y	420	420	Mpa
Tinggi <i>pile cap</i> ,	h	1000	1000	mm
Lebar <i>pile cap</i> ,	b	1200	2800	mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	d'	80	80	mm
Modulus elastisitas baja,	E_s	200000	200000	Mpa
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	β_1	0,81	0,81	
	ρ_b	0,034	0,034	
	R_{maks}	8,732	8,732	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	ϕ	0,90	0,90	
Momen rencana ultimit,	M_u	308,522	262,157	kN.m
Tebal efektif beton,	d	920	920	mm
Momen nominal rencana,	M_n	342,802	291,286	kN.m
Faktor tahanan momen,	R_n	0,338	0,123	
Cek kapasitas momen	$R_n > R_{maks}$	OK	OK	
Rasio tulangan yang diperlukan,	ρ	0,000808	0,000293	
Rasio tulangan minimum,	ρ_{min1}	0,003521	0,003521	
	ρ_{min2}	0,003333	0,003333	
Rasio tulangan yang digunakan,	ρ	0,003521	0,003521	
Luas tulangan yang diperlukan,	A_s	3887,7096	9071,3223	mm ²
Diameter tulangan yang digunakan,	D	25	25	mm
Jarak tulangan yang diperlukan,	s	151,577	151,577	mm
Digunakan tulangan,		150	150	mm
Luas tulangan yang digunakan	A_s	3011,905	3011,905	mm ²

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Karena tinggi *pile cap* melebihi 800 mm, maka diperlukan tulangan pinggang dengan kebutuhan spasi yang dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S \leq 380 \left(\frac{280}{\frac{2}{3} 420} \right) - 2,5(80) \leq 300 \left(\frac{280}{\frac{2}{3} 420} \right)$$

$$S \leq 180 \leq 300$$

Jarak antar tulangan lentur atas dan bawah adalah 840 mm dan kebutuhan spasi tulangan pinggang adalah 180 mm, maka diperlukan 5 tulangan pinggang. Diameter tulangan diambil sebesar 16 mm.

4.5.3 Perhitungan *Punching Shear*

Punching shear merupakan jenis keruntuhan yang disebabkan adanya beban terpusat pada pelat. Kegagalan ini terjadi akibat hampir hilangnya kapasitas geser pada titik kontak. *Punching Shear* pada pelat disebabkan adanya kontak antara roda kendaraan dengan pelat beton. Adapun tebal pelat, $h = 300$ mm, dengan tebal selimut $d' = 50$ mm maka tinggi efektif penampang pelat, $d = 250$ mm. Berikut parameter beban roda truk untuk analisis *punching shear*.

- Beban terpusat truk = 7 ton = 68,647 kN
- Beban terpusat terfaktor = 109,835 kN
- Area kontak beban = 650 mm x 175 mm

Perhitungan kapasitas gaya geser pelat terhadap *punching shear* roda truk ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.64 Perhitungan *Punching Shear* Pelat

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Mutu beton	f_c'	35	Mpa
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton	d'	50	mm
Faktor reduksi kekuatan geser	ϕ	0,75	
Rasio Sisi Panjang dan Pendek	β_c	1	
Rasio diagonal	α_s	1	
Kedalaman <i>centroind</i> bidang geser	d_o	250	mm
Keliling bidang geser	b_o	2650	mm
Beban truk	LL	68,647	kN
Gaya geser ultimit terfaktor	V_u	155,802	kN
Kuat geser beton,	V_{c1}	1998,895	kN
	V_{c2}	656,759	kN
	V_{c3}	24,404	kN
Kuat geser nominal	ϕV_{c1}	1499,172	kN
Cek keamanan beton	$V_u \leq \phi V_{c1}$	OK	

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Berdasarkan tabel diatas diperoleh bahwa kekuatan geser nominal balok lebih besar dari kekuatan geser *ultimate*. Dengan demikian, pelat dengan tebal 300 mm mampu menahan gaya geser akibat *punching shear* oleh beban truk.

4.6 Daya Dukung Tanah

Perhitungan daya dukung izin tanah dilakukan dengan menggunakan *safety factor* sebesar 2,5.

4.6.1 Daya Dukung Tanah Trestle

Perhitungan daya dukung tanah pada trestle ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.65 Perhitungan Daya Dukung Tanah Trestle Segmen 1

Structure Ref Pile Properties Type Diameter Thick Perimeter Area _{out} Area _{pile} Unit weight	:	Trestle Segmen 1																
	:	BH-01																
											Calc. Method	:	Based on N-SPT					
											Cu	=	5,00 *N-SPT					
											Compression							
											Skin Friction (Q _s)	=	α*Cu*perimeter*I (C-Soil)					
												=	1-2*N-SPT*perime (φ-soil)					
											End Bearing (Q _b)	=	9*Cu*Area (C-Soil)					
												=	40*N-SPT*I/D (φ-soil)					
												=	≤400*N-SPT					
											Ultimate (Q _u)	=	Q _s + Q _b					
											Pull out							
											Skin Friction (Q _s)	=	0,7 *Q _s (Compression)					
											Pile weight (W _p)	=	Areapile * Unit Weight of pile * I					
											Ultimate (Q _u)	=	Q _s + W _p					
Allowable Capacity																		
Q _{allowable} = Q _u /SF																		
Depth	Soil Properties				Compression Capacity (kN)							Pull Out Capacity (kN)						
(m)	Layer	N-SPT	C _u (kN/m²)	α	Outer Friction		Inner Friction		End	Plug Q _b	Unplug Q _b	Friction*		W _p	Plug Q _{pu}	Unplug Q _p		
					Local	Cum m	Local	Cum m				Plug	Unplug					
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
-1,0	S1	3	-	-	11,5	11,5	7,7	7,7	57,4	68,9	23,6	8,0	13,4	1,8	9,8	15,2		
-2,0	S1	3	-	-	11,5	23,0	7,7	15,4	114,8	137,8	47,3	16,1	26,9	3,5	19,6	30,4		
-3,0	S1	3	-	-	11,5	34,4	7,7	23,2	172,2	206,6	70,9	24,1	40,3	5,3	29,4	45,6		
-4,0	S1	3	-	-	11,5	45,9	7,7	30,9	229,6	275,5	94,5	32,1	53,8	7,1	39,2	60,8		
-5,0	S1	3	-	-	11,5	57,4	7,7	38,6	287,0	344,4	118,2	40,2	67,2	8,8	49,0	76,0		
-6,0	S1	5	-	-	19,1	76,5	12,9	51,5	574,0	650,5	172,3	53,6	89,6	10,6	64,2	100,2		
-7,0	S1	5	-	-	19,1	95,7	12,9	64,3	669,6	765,3	211,7	67,0	112,0	12,4	79,3	124,4		
-8,0	S1	7	-	-	26,8	122,4	18,0	82,3	1071,4	1193,9	287,6	85,7	143,3	14,1	99,8	157,5		
-9,0	S1	7	-	-	26,8	149,2	18,0	100,3	1205,3	1354,6	342,7	104,5	174,7	15,9	120,4	190,6		
-10,0	S1	13	-	-	49,7	199,0	33,4	133,8	2487,2	2686,2	524,9	139,3	232,9	17,7	157,0	250,6		
-11,0	S1	13	-	-	49,7	248,7	33,4	167,2	2735,9	2984,6	627,4	174,1	291,2	19,4	193,5	310,6		
-12,0	S1	26	-	-	99,5	348,2	66,9	234,1	5969,3	6317,5	1043,6	243,7	407,6	21,2	264,9	428,8		
-13,0	S1	26	-	-	99,5	447,7	66,9	301,0	6466,7	6914,4	1248,4	313,4	524,1	23,0	336,4	547,1		
-14,0	S1	35	-	-	133,9	581,6	90,1	391,1	3495,5	4077,1	1242,8	407,1	680,9	24,7	431,9	705,6		
-15,0	S1	35	-	-	133,9	715,5	90,1	481,1	3495,5	4211,0	1466,8	500,9	837,7	26,5	527,4	864,2		
-16,0	S1	39	-	-	149,2	864,8	100,3	581,5	3495,5	4360,3	1716,3	605,3	1012,4	28,3	633,6	1040,7		
-17,0	S1	39	-	-	149,2	1014,0	100,3	681,8	3495,5	4509,5	1965,9	709,8	1187,1	30,0	739,8	1217,1		
-18,0	S1	47	-	-	179,8	1193,9	120,9	802,8	3495,5	4689,3	2266,7	835,7	1397,6	31,8	867,5	1429,4		
-19,0	S1	47	-	-	179,8	1373,7	120,9	923,7	3495,5	4869,2	2567,5	961,6	1608,2	33,6	995,2	1641,7		
-20,0	S1	51	-	-	195,1	1568,8	131,2	1054,9	3495,5	5064,3	2893,8	1098,2	1836,6	35,3	1133,5	1872,0		
-21,0	S1	51	-	-	195,1	1764,0	131,2	1186,1	3495,5	5259,5	3220,2	1234,8	2065,1	37,1	1271,9	2102,2		
-22,0	S1	59	-	-	225,8	1989,8	151,8	1337,9	3495,5	5485,2	3597,8	1392,8	2329,4	38,9	1431,7	2368,3		
-23,0	S1	59	-	-	225,8	2215,5	151,8	1489,7	3495,5	5711,0	3975,3	1550,9	2593,7	40,6	1591,5	2634,3		
-24,0	S1	60	-	-	229,6	2445,1	154,4	1644,1	3495,5	5940,6	4359,3	1711,6	2862,5	42,4	1754,0	2904,9		
-25,0	S1	60	-	-	229,6	2674,7	154,4	1798,5	3495,5	6170,2	4743,3	1872,3	3131,2	44,2	1916,5	3175,4		
-26,0	S1	60	-	-	229,6	2904,3	154,4	1952,9	3495,5	6399,8	5127,2	2033,0	3400,0	45,9	2078,9	3445,9		
-27,0	S1	60	-	-	229,6	3133,9	154,4	2107,3	3495,5	6629,3	5511,2	2193,7	3668,8	47,7	2241,4	3716,5		
-28,0	S1	60	-	-	229,6	3363,5	154,4	2261,6	3495,5	6858,9	5895,2	2354,4	3937,6	49,5	2403,9	3987,0		
-29,0	S1	60	-	-	229,6	3593,0	154,4	2416,0	3495,5	7088,5	6279,1	2515,1	4206,3	51,2	2566,4	4257,6		
-30,0	S1	60	-	-	229,6	3822,6	154,4	2570,4	3495,5	7318,1	6663,1	2675,8	4475,1	53,0	2728,8	4528,1		
Gaya Tekan		=	431,5 kN															
Q _{ultimate}		=	1242,8 kN															
SF		=	2,5															
Q _{allowable}		=	497,116 kN															

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.66 Perhitungan Daya Dukung Tanah Trestle Segmen 2

Structure	:	Trestle Segmen 2				Calc. Method	:	Based on N-SPT									
Ref	:	BH-02				Cu	=	5,00 *N-SPT									
Pile Properties										Compression							
Type	:	Steel Pile				Skin Friction (Q _s)	=	α*Cu*perimeter*I (C-Soil)									
Diameter	:	0,609 m		(O.D)		End Bearing (Q _b)	=	1-2*N-SPT*perime (φ-soil)									
	:	0,585 m		(I.D)			=	9*Cu*Area (C-Soil)									
Thick	:	0,012 m					=	40*N-SPT*I/D (φ-soil)									
Perimeter	:	1,913 m		(Outer)			=	≤400*N-SPT									
	:	1,838 m		(Inner)		Ultimate (Q _u)	=	Q _s + Q _b									
Area _{out}	:	0,291 m²				Pull out											
Area _{pile}	:	0,023 m²															
Unit weight	:	78,5 kN/m³															
										Skin Friction (Q _s)	=	0,7 *Q _s (Compression)					
										Pile weight (W _p)	=	Areapile * Unit Weight of pile * I					
										Ultimate (Q _{su})	=	Q _s + W _p					
										Allowable Capacity							
										Q _{allowable} = Q _u /SF							
Depth	Soil Properties				Compression Capacity (kN)						Pull Out Capacity (kN)						
(m)	Layer	N-SPT	C _u (kN/m²)	α	Outer Friction		Inner Friction		End	Plug Q _u	Unplug Q _u	Friction*		W _p	Plug Q _{pu}	Unplug Q _{pu}	
					Local	Cum m	Local	Cum m				Plug	Unplug				
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
-1,0	S1	3	-	-	11,5	11,5	7,7	7,7	57,4	68,9	23,6	8,0	13,4	1,8	9,8	15,2	
-2,0	S1	3	-	-	11,5	23,0	7,7	15,4	114,8	137,8	47,3	16,1	26,9	3,5	19,6	30,4	
-3,0	S1	3	-	-	11,5	34,4	7,7	23,2	172,2	206,6	70,9	24,1	40,3	5,3	29,4	45,6	
-4,0	S1	3	-	-	11,5	45,9	7,7	30,9	229,6	275,5	94,5	32,1	53,8	7,1	39,2	60,8	
-5,0	S1	3	-	-	11,5	57,4	7,7	38,6	287,0	344,4	118,2	40,2	67,2	8,8	49,0	76,0	
-6,0	S1	3	-	-	11,5	68,9	7,7	46,3	344,4	413,3	141,8	48,2	80,6	10,6	58,8	91,2	
-7,0	S1	3	-	-	11,5	80,4	7,7	54,0	401,8	482,1	165,4	56,2	94,1	12,4	68,6	106,4	
-8,0	S1	12	-	-	45,9	126,3	30,9	84,9	1836,7	1963,0	353,1	88,4	147,8	14,1	102,5	162,0	
-9,0	S1	12	-	-	45,9	172,2	30,9	115,8	2066,3	2238,5	447,6	120,5	201,6	15,9	136,4	217,5	
-10,0	S1	18	-	-	68,9	241,1	46,3	162,1	3443,8	3684,9	669,2	168,7	282,2	17,7	186,4	299,9	
-11,0	S1	18	-	-	68,9	309,9	46,3	208,4	3788,2	4098,1	811,0	217,0	362,8	19,4	236,4	382,3	
-12,0	S1	25	-	-	95,7	405,6	64,3	272,7	5739,7	6145,3	1121,8	283,9	474,8	21,2	305,1	496,0	
-13,0	S1	25	-	-	95,7	501,3	64,3	337,1	6218,0	6719,3	1318,8	350,9	586,8	23,0	373,9	609,8	
-14,0	S1	33	-	-	126,3	627,5	84,9	422,0	3495,5	4123,0	1319,6	439,3	734,7	24,7	464,0	759,4	
-15,0	S1	33	-	-	126,3	753,8	84,9	506,9	3495,5	4249,3	1530,8	527,7	882,5	26,5	554,2	909,0	
-16,0	S1	38	-	-	145,4	899,2	97,8	604,6	3495,5	4394,7	1773,9	629,5	1052,7	28,3	657,7	1081,0	
-17,0	S1	38	-	-	145,4	1044,6	97,8	702,4	3495,5	4540,1	2017,1	731,2	1222,9	30,0	761,3	1253,0	
-18,0	S1	42	-	-	160,7	1205,3	108,1	810,5	3495,5	4700,8	2285,9	843,7	1411,1	31,8	875,5	1442,9	
-19,0	S1	42	-	-	160,7	1366,0	108,1	918,5	3495,5	4861,5	2554,7	956,2	1599,2	33,6	989,8	1632,8	
-20,0	S1	42	-	-	160,7	1526,8	108,1	1026,6	3495,5	5022,2	2823,4	1068,7	1787,4	35,3	1104,1	1822,7	
-21,0	S1	42	-	-	160,7	1687,5	108,1	1134,7	3495,5	5182,9	3092,2	1181,2	1975,5	37,1	1218,3	2012,6	
-22,0	S1	48	-	-	183,7	1871,1	123,5	1258,2	3495,5	5366,6	3399,4	1309,8	2190,5	38,9	1348,7	2229,4	
-23,0	S1	48	-	-	183,7	2054,8	123,5	1381,7	3495,5	5550,3	3706,6	1438,4	2405,5	40,6	1479,0	2446,2	
-24,0	S1	52	-	-	199,0	2253,8	133,8	1515,5	3495,5	5749,3	4039,3	1577,6	2638,5	42,4	1620,1	2680,9	
-25,0	S1	52	-	-	199,0	2452,8	133,8	1649,3	3495,5	5948,2	4372,1	1716,9	2871,4	44,2	1761,1	2915,6	
-26,0	S1	60	-	-	229,6	2682,3	154,4	1803,6	3495,5	6177,8	4756,1	1877,6	3140,2	45,9	1923,6	3186,1	
-27,0	S1	60	-	-	229,6	2911,9	154,4	1958,0	3495,5	6407,4	5140,0	2038,4	3409,0	47,7	2086,1	3456,7	
-28,0	S1	60	-	-	229,6	3141,5	154,4	2112,4	3495,5	6637,0	5524,0	2199,1	3677,7	49,5	2248,5	3727,2	
-29,0	S1	60	-	-	229,6	3371,1	154,4	2266,8	3495,5	6866,6	5908,0	2359,8	3946,5	51,2	2411,0	3997,8	
-30,0	S1	60	-	-	229,6	3600,7	154,4	2421,2	3495,5	7096,2	6291,9	2520,5	4215,3	53,0	2573,5	4268,3	
Gaya Tekan	=	429,5 kN										Gaya Tekan	≤	Q _{allowable}			
Q _{ultimate}	=	1319,6 kN										429,5	≤	527,833 kN			
SF	=	2,5											OK				
Q _{allowable}	=	527,833 kN															

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.67 Perhitungan Daya Dukung Tanah Trestle Segmen 3

Structure	:	Trestle Segmen 3	Calc. Method	:	Based on N-SPT
Ref	:	BH-03	Cu	=	5,00 *N-SPT
Pile Properties			Compression		
Type	:	Steel Pile	Skin Friction (Q_s)	=	$\alpha \cdot Cu \cdot \text{perimeter} \cdot I$ (C-Soil)
Diameter	:	0,609 m (O.D)	End Bearing (Q_b)	=	$1-2 \cdot N-SPT \cdot \text{perime}$ (ϕ -soil)
	:	0,585 m (I.D)		=	$9 \cdot Cu \cdot \text{Area}$ (C-Soil)
Thick	:	0,012 m		=	$40 \cdot N-SPT \cdot I/D$ (ϕ -soil)
Perimeter	:	1,913 m (Outer)	Ultimate (Q_u)	=	$Q_s + Q_p$
	:	1,838 m (Inner)			
Area _{out}	:	0,291 m ²			
Area _{pile}	:	0,023 m ²			
Unit weight	:	78,5 kN/m ³			
			Pull out		
			Skin Friction (Q_s)	=	0,7 * Q_s (Compression)
			Pile weight (W_p)	=	Area _{pile} * Unit Weight of pile * I
			Ultimate (Q_{pu})	=	$Q_s + W_p$
			Allowable Capacity		
			$Q_{allowable} = Q_u / SF$		

Depth	Soil Properties				Compression Capacity (kN)							Pull Out Capacity (kN)				
(m)	Layer	N-SPT	C_u (kN/m ²)	α	Outer Friction		Inner Friction		End	Plug Q_u	Unplug Q_u	Friction*		W_p	Plug Q_{pu}	Unplug Q_{pu}
					Local	Cum m	Local	Cum m				Plug	Unplug			
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,0	S1	3	-	-	11,5	11,5	7,7	7,7	57,4	68,9	23,6	8,0	13,4	1,8	9,8	15,2
-2,0	S1	3	-	-	11,5	23,0	7,7	15,4	114,8	137,8	47,3	16,1	26,9	3,5	19,6	30,4
-3,0	S1	3	-	-	11,5	34,4	7,7	23,2	172,2	206,6	70,9	24,1	40,3	5,3	29,4	45,6
-4,0	S1	3	-	-	11,5	45,9	7,7	30,9	229,6	275,5	94,5	32,1	53,8	7,1	39,2	60,8
-5,0	S1	3	-	-	11,5	57,4	7,7	38,6	287,0	344,4	118,2	40,2	67,2	8,8	49,0	76,0
-6,0	S1	28	-	-	107,1	164,5	72,0	110,6	3214,2	3378,8	523,5	115,2	192,6	10,6	125,8	203,2
-7,0	S1	28	-	-	107,1	271,7	72,0	182,7	3749,9	4021,6	744,1	190,2	318,1	12,4	202,5	330,4
-8,0	S1	32	-	-	122,4	394,1	82,3	265,0	3495,5	3889,6	929,2	275,9	461,4	14,1	290,0	475,5
-9,0	S1	32	-	-	122,4	516,6	82,3	347,4	3495,5	4012,0	1134,0	361,6	604,7	15,9	377,5	620,6
-10,0	S1	25	-	-	95,7	612,2	64,3	411,7	2912,9	3525,1	1249,0	428,6	716,7	17,7	446,2	734,4
-11,0	S1	25	-	-	95,7	707,9	64,3	476,0	2912,9	3620,8	1409,0	495,5	828,7	19,4	515,0	848,2
-12,0	S1	35	-	-	133,9	841,8	90,1	566,1	3495,5	4337,3	1677,9	589,3	985,5	21,2	610,5	1006,7
-13,0	S1	35	-	-	133,9	975,7	90,1	656,1	3495,5	4471,2	1901,9	683,0	1142,3	23,0	706,0	1165,3
-14,0	S1	37	-	-	141,6	1117,3	95,2	751,3	3495,5	4612,8	2138,7	782,1	1308,0	24,7	806,9	1332,8
-15,0	S1	37	-	-	141,6	1258,9	95,2	846,5	3495,5	4754,4	2375,5	881,2	1473,8	26,5	907,7	1500,3
-16,0	S1	36	-	-	137,8	1396,7	92,6	939,1	3495,5	4892,1	2605,9	977,7	1635,1	28,3	1005,9	1663,3
-17,0	S1	36	-	-	137,8	1534,4	92,6	1031,8	3495,5	5029,9	2836,2	1074,1	1796,3	30,0	1104,1	1826,4
-18,0	S1	48	-	-	183,7	1718,1	123,5	1155,3	3495,5	5213,6	3143,4	1202,7	2011,3	31,8	1234,5	2043,1
-19,0	S1	48	-	-	183,7	1901,8	123,5	1278,8	3495,5	5397,2	3450,6	1331,2	2226,4	33,6	1364,8	2259,9
-20,0	S1	55	-	-	210,5	2112,2	141,5	1420,3	3495,5	5607,7	3802,6	1478,5	2472,7	35,3	1513,9	2508,1
-21,0	S1	55	-	-	210,5	2322,7	141,5	1561,8	3495,5	5818,1	4154,5	1625,9	2719,1	37,1	1663,0	2756,2
-22,0	S1	60	-	-	229,6	2552,2	154,4	1716,2	3495,5	6047,7	4538,5	1786,6	2987,9	38,9	1825,4	3026,8
-23,0	S1	60	-	-	229,6	2781,8	154,4	1870,5	3495,5	6277,3	4922,5	1947,3	3256,7	40,6	1987,9	3297,3
-24,0	S1	60	-	-	229,6	3011,4	154,4	2024,9	3495,5	6506,9	5306,4	2108,0	3525,4	42,4	2150,4	3567,8
-25,0	S1	60	-	-	229,6	3241,0	154,4	2179,3	3495,5	6736,5	5690,4	2268,7	3794,2	44,2	2312,9	3838,4
-26,0	S1	60	-	-	229,6	3470,6	154,4	2333,7	3495,5	6966,1	6074,4	2429,4	4063,0	45,9	2475,4	4108,9
-27,0	S1	60	-	-	229,6	3700,2	154,4	2488,1	3495,5	7195,7	6458,3	2590,1	4331,8	47,7	2637,8	4379,5
-28,0	S1	60	-	-	229,6	3929,8	154,4	2642,4	3495,5	7425,2	6842,3	2750,8	4600,5	49,5	2800,3	4650,0
-29,0	S1	60	-	-	229,6	4159,4	154,4	2796,8	3495,5	7654,8	7226,3	2911,6	4869,3	51,2	2962,8	4920,6
-30,0	S1	60	-	-	229,6	4388,9	154,4	2951,2	3495,5	7884,4	7610,2	3072,3	5138,1	53,0	3125,3	5191,1
Gaya Tekan	=	408,9 kN										Gaya Tekan	≤	$Q_{allowable}$		
$Q_{ultimate}$	=	1249,0 kN										408,9	≤	499,589 kN		
SF	=	2,5												OK		
$Q_{allowable}$	=	499,589 kN														

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.68 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Trestle

Trestle Segmen 1								
Kondisi	Beban Pada 1 Tiang		Panjang Tiang Tertanam (m)	Kapasitas Pada 1 Tiang				Keterangan
				Plug		Unplug		
	Tekan (kN)	Tarik (kN)		Tekan (kN)	Tarik (kN)	Tekan (kN)	Tarik (kN)	
Operasional	431,5		14	1630,837	172,748	497,116	282,253	OK
Gempa	440,6	81,9	14	1630,837	172,748	497,116	282,253	OK
Trestle Segmen 2								
Kondisi	Beban Pada 1 Tiang		Panjang Tiang Tertanam (m)	Kapasitas Pada 1 Tiang				Keterangan
				Plug		Unplug		
	Tekan (kN)	Tarik (kN)		Tekan (kN)	Tarik (kN)	Tekan (kN)	Tarik (kN)	
Operasional	429,5		14	1649,204	185,605	527,833	303,755	OK
Gempa	432	95.4	14	1649,204	185,605	527,833	303,755	OK

Trestle Segmen 3								
Kondisi	Beban Pada 1 Tiang		Panjang Tiang Tertanam (m)	Kapasitas Pada 1 Tiang				Keterangan
	Tekan (kN)	Tarik (kN)		Plug		Unplug		
Tekan (kN)			Tarik (kN)	Tekan (kN)	Tarik (kN)			
Operasional	408,9		10	1410,050	178,492	499,589	303,755	OK
Gempa	298,4		10	1410,050	178,492	499,589	303,755	OK

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

4.6.2 Daya Dukung Tanah Dermaga

Perhitungan daya dukung tanah pada dermaga ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.69 Perhitungan Daya Dukung Tanah Dermaga Segmen 1

Structure	:	Dermaga Segmen 1														
Ref	:	BH-03														
Pile Properties																
Type	:	Steel Pile														
Diameter	:	0,711 m (O.D)														
	:	0,679 m (I.D)														
Thick	:	0,016 m														
Perimeter	:	2,234 m (Outter)														
	:	2,133 m (Inner)														
Area _{out}	:	0,397 m ²														
Area _{pile}	:	0,035 m ²														
Unit weight	:	78,5 kN/m ³														
Calc. Method : Based on N-SPT																
Cu = 5,00 *N-SPT																
Compresion																
Skin Friction (Q _s) = α*Cu*perimeter*I (C-Soil)																
= 1-2*N-SPT*perime (φ-soil)																
End Bearing (Q _b) = 9*Cu*Area (C-Soil)																
= 40*N-SPT*I/D (φ-soil)																
= ≤400*N-SPT																
Ultimate (Q _u) = Q _s + Q _p																
Pull out																
Skin Friction (Q _s) = 0,7 *Q _s (Compression)																
Pile weight (W _p) = Areapile * Unit Weight of pile * I																
Ultimate (Q _u) = Q _s + W _p																
Allowable Capacity																
Q _{allowable} = Q _u /SF																
Depth	Soil Properties				Compression Capacity (kN)						Pull Out Capacity (kN)					
(m)	Layer	N-SPT	C _u (kN/m ²)	α	Outer Friction		Inner Friction		End	Plug Q _u	Unplug Q _u	Friction*		W _p	Plug Q _{ps}	Unplug Q _{ps}
					Local	Cum m	Local	Cum m				Plug	Unplug			
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,0	S1	3	-	-	13,4	13,4	9,0	9,0	67,0	80,4	28,3	9,4	15,7	2,7	12,1	18,4
-2,0	S1	3	-	-	13,4	26,8	9,0	17,9	134,0	160,8	56,5	18,8	31,3	5,5	24,2	36,8
-3,0	S1	3	-	-	13,4	40,2	9,0	26,9	201,0	241,2	84,8	28,1	47,0	8,2	36,4	55,2
-4,0	S1	3	-	-	13,4	53,6	9,0	35,8	268,0	321,6	113,0	37,5	62,6	11,0	48,5	73,6
-5,0	S1	3	-	-	13,4	67,0	9,0	44,8	335,1	402,1	141,3	46,9	78,3	13,7	60,6	92,0
-6,0	S1	28	-	-	125,1	192,1	83,6	128,4	3752,6	3944,7	650,7	134,5	224,4	16,5	150,9	240,8
-7,0	S1	28	-	-	125,1	317,2	83,6	212,0	4378,0	4695,2	914,4	222,0	370,5	19,2	241,2	389,6
-8,0	S1	32	-	-	143,0	460,1	95,6	307,6	4764,4	5224,6	1186,9	322,1	537,4	21,9	344,0	559,4
-9,0	S1	32	-	-	143,0	603,1	95,6	403,2	4764,4	5367,5	1425,5	422,2	704,4	24,7	446,8	729,1
-10,0	S1	25	-	-	111,7	714,8	74,7	477,8	3970,4	4685,1	1541,9	500,3	834,8	27,4	527,8	862,2
-11,0	S1	25	-	-	111,7	826,5	74,7	552,5	3970,4	4796,8	1728,3	578,5	965,3	30,2	608,7	995,4
-12,0	S1	35	-	-	156,4	982,8	104,5	657,0	4764,4	5747,2	2059,0	688,0	1147,9	32,9	720,9	1180,8
-13,0	S1	35	-	-	156,4	1139,2	104,5	761,5	4764,4	5903,6	2319,9	797,4	1330,5	35,7	833,1	1366,1
-14,0	S1	37	-	-	165,3	1304,5	110,5	872,0	4764,4	6068,9	2595,7	913,1	1523,5	38,4	951,5	1561,9
-15,0	S1	37	-	-	165,3	1469,8	110,5	982,5	4764,4	6234,2	2871,5	1028,8	1716,6	41,1	1070,0	1757,7
-16,0	S1	36	-	-	160,8	1630,6	107,5	1090,0	4764,4	6395,0	3139,8	1141,4	1904,4	43,9	1185,3	1948,3
-17,0	S1	36	-	-	160,8	1791,4	107,5	1197,5	4764,4	6555,8	3408,2	1254,0	2092,3	46,6	1300,6	2138,9
-18,0	S1	48	-	-	214,4	2005,8	143,3	1340,9	4764,4	6770,3	3765,9	1404,1	2342,7	49,4	1453,4	2392,1
-19,0	S1	48	-	-	214,4	2220,3	143,3	1484,2	4764,4	6984,7	4123,7	1554,2	2593,2	52,1	1606,3	2645,3
-20,0	S1	55	-	-	245,7	2466,0	164,3	1648,5	4764,4	7230,4	4533,7	1726,2	2880,1	54,8	1781,0	2935,0
-21,0	S1	55	-	-	245,7	2711,7	164,3	1812,7	4764,4	7476,1	4943,6	1898,2	3167,1	57,6	1955,8	3224,7
-22,0	S1	60	-	-	268,0	2979,7	179,2	1991,9	4764,4	7744,1	5390,9	2085,8	3480,2	60,3	2146,1	3540,5
-23,0	S1	60	-	-	268,0	3247,8	179,2	2171,1	4764,4	8012,2	5838,1	2273,4	3793,2	63,1	2336,5	3856,3
-24,0	S1	60	-	-	268,0	3515,8	179,2	2350,3	4764,4	8280,2	6285,3	2461,1	4106,3	65,8	2526,9	4172,1
-25,0	S1	60	-	-	268,0	3783,8	179,2	2529,5	4764,4	8548,3	6732,5	2648,7	4419,3	68,6	2717,2	4487,9
-26,0	S1	60	-	-	268,0	4051,9	179,2	2708,7	4764,4	8816,3	7179,8	2836,3	4732,4	71,3	2907,6	4803,7
-27,0	S1	60	-	-	268,0	4319,9	179,2	2887,8	4764,4	9084,3	7627,0	3023,9	5045,4	74,0	3098,0	5119,5
-28,0	S1	60	-	-	268,0	4588,0	179,2	3067,0	4764,4	9352,4	8074,2	3211,6	5358,5	76,8	3288,4	5435,3
-29,0	S1	60	-	-	268,0	4856,0	179,2	3246,2	4764,4	9620,4	8521,4	3399,2	5671,6	79,5	3478,7	5751,1
-30,0	S1	60	-	-	268,0	5124,0	179,2	3425,4	4764,4	9888,5	8968,7	3586,8	5984,6	82,3	3669,1	6066,9
Gaya Tekan												Gaya Tekan ≤ Q _{allowable}				
Tiang Tegak = 645,6 kN												645,6 ≤ 823,615 kN				
Tiang Miring = 681,2 kN												681,2 ≤ 823,615 kN				
Q _{ultimate} = 2059,0 kN																
SF = 2,5												OK				
Q _{allowable} = 823,615 kN																

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.70 Perhitungan Daya Dukung Tanah Dermaga Segmen 2

Structure	:	Dermaga Segmen 2	Calc. Method	:	Based on N-SPT
Ref	:	BH-04	Cu	=	5,00 *N-SPT
Pile Properties			Compresion		
Type	:	Steel Pile	Skin Friction (Q _s)	=	α*Cu*perimeter*I (C-Soil)
Diameter	:	0,711 m (O.D)	End Bearing (Q _b)	=	1-2*N-SPT*perime (φ-soil)
	:	0,679 m (I.D)		=	9*Cu*Area (C-Soil)
Thick	:	0,016 m		=	40*N-SPT*I/D (φ-soil)
Perimeter	:	2,234 m (Outer)		=	≤400*N-SPT
	:	2,133 m (Inner)	Ultimate (Q _u)	=	Q _s + Q _p
Area _{out}	:	0,397 m ²			
Area _{pile}	:	0,035 m ²			
Unit weight	:	78,5 kN/m ³			
			Pull out		
			Skin Friction (Q _s)	=	0,7 *Qs (Compression)
			Pile weight (W _p)	=	Areapile * Unit Weight of pile * I
			Ultimate (Q _{pu})	=	Q _s + W _p
			Allowable Capacity		
			Q _{allowable}	=	Q _u /SF

Depth	Soil Properties				Compression Capacity (kN)							Pull Out Capacity (kN)				
(m)	Layer	N-SPT	C _u (kN/m ²)	α	Outer Friction		Inner Friction		End	Plug Q _u	Unplug Q _u	Friction*		W _p	Plug Q _{pu}	Unplug Q _{pu}
					Local	Cum m	Local	Cum m				Plug	Unplug			
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,0	S1	3	-	-	13,4	13,4	9,0	9,0	67,0	80,4	28,3	9,4	15,7	2,7	12,1	18,4
-2,0	S1	3	-	-	13,4	26,8	9,0	17,9	134,0	160,8	56,5	18,8	31,3	5,5	24,2	36,8
-3,0	S1	3	-	-	13,4	40,2	9,0	26,9	201,0	241,2	84,8	28,1	47,0	8,2	36,4	55,2
-4,0	S1	5	-	-	22,3	62,5	14,9	41,8	446,7	509,3	143,7	43,8	73,0	11,0	54,7	84,0
-5,0	S1	5	-	-	22,3	84,9	14,9	56,7	558,4	643,3	190,8	59,4	99,1	13,7	73,1	112,8
-6,0	S1	8	-	-	35,7	120,6	23,9	80,6	1072,2	1192,8	295,6	84,4	140,9	16,5	100,9	157,3
-7,0	S1	8	-	-	35,7	156,4	23,9	104,5	1250,9	1407,2	370,9	109,4	182,6	19,2	128,6	201,8
-8,0	S1	35	-	-	156,4	312,7	104,5	209,0	4764,4	5077,1	941,0	218,9	365,2	21,9	240,8	387,2
-9,0	S1	35	-	-	156,4	469,1	104,5	313,6	4764,4	5233,5	1201,9	328,3	547,9	24,7	353,0	572,5
-10,0	S1	25	-	-	111,7	580,8	74,7	388,2	3970,4	4551,1	1318,3	406,5	678,3	27,4	434,0	705,7
-11,0	S1	25	-	-	111,7	692,4	74,7	462,9	3970,4	4662,8	1504,7	484,7	808,7	30,2	514,9	838,9
-12,0	S1	27	-	-	120,6	813,1	80,6	543,5	4764,4	5577,5	1775,8	569,1	949,6	32,9	602,0	982,5
-13,0	S1	27	-	-	120,6	933,7	80,6	624,2	4764,4	5698,1	1977,0	653,6	1090,5	35,7	689,2	1126,1
-14,0	S1	27	-	-	120,6	1054,3	80,6	704,8	4764,4	5818,7	2178,3	738,0	1231,4	38,4	776,4	1269,8
-15,0	S1	27	-	-	120,6	1174,9	80,6	785,4	4764,4	5939,3	2379,5	822,4	1372,2	41,1	863,6	1413,4
-16,0	S1	35	-	-	156,4	1331,3	104,5	889,9	4764,4	6095,7	2640,4	931,9	1554,9	43,9	975,8	1598,7
-17,0	S1	35	-	-	156,4	1487,6	104,5	994,5	4764,4	6252,0	2901,3	1041,3	1737,5	46,6	1088,0	1784,1
-18,0	S1	47	-	-	210,0	1697,6	140,4	1134,8	4764,4	6462,0	3251,6	1188,3	1982,7	49,4	1237,7	2032,1
-19,0	S1	47	-	-	210,0	1907,6	140,4	1275,2	4764,4	6672,0	3602,0	1335,3	2227,9	52,1	1387,4	2280,0
-20,0	S1	56	-	-	250,2	2157,7	167,2	1442,4	4764,4	6922,2	4019,4	1510,4	2520,1	54,8	1565,3	2575,0
-21,0	S1	56	-	-	250,2	2407,9	167,2	1609,7	4764,4	7172,3	4436,8	1685,5	2812,3	57,6	1743,1	2869,9
-22,0	S1	57	-	-	254,6	2662,5	170,2	1779,9	4764,4	7427,0	4861,6	1863,8	3109,7	60,3	1924,1	3170,0
-23,0	S1	57	-	-	254,6	2917,2	170,2	1950,1	4764,4	7681,6	5286,5	2042,0	3407,1	63,1	2105,1	3470,2
-24,0	S1	56	-	-	250,2	3167,3	167,2	2117,4	4764,4	7931,8	5703,9	2217,1	3699,3	65,8	2283,0	3765,1
-25,0	S1	56	-	-	250,2	3417,5	167,2	2284,6	4764,4	8181,9	6121,3	2392,3	3991,5	68,6	2460,8	4060,0
-26,0	S1	60	-	-	268,0	3685,6	179,2	2463,8	4764,4	8450,0	6568,6	2579,9	4304,5	71,3	2651,2	4375,8
-27,0	S1	60	-	-	268,0	3953,6	179,2	2643,0	4764,4	8718,0	7015,8	2767,5	4617,6	74,0	2841,6	4691,6
-28,0	S1	60	-	-	268,0	4221,6	179,2	2822,1	4764,4	8986,1	7463,0	2955,1	4930,7	76,8	3031,9	5007,4
-29,0	S1	60	-	-	268,0	4489,7	179,2	3001,3	4764,4	9254,1	7910,2	3142,8	5243,7	79,5	3222,3	5323,2
-30,0	S1	60	-	-	268,0	4757,7	179,2	3180,5	4764,4	9522,1	8357,5	3330,4	5556,8	82,3	3412,7	5639,0

Gaya Tekan	=	631,4 kN	Gaya Tekan	≤	Q _{allowable}
Tiang Tegak	=	596,3 kN	631,4	≤	710,318 kN
Tiang Miring	=	1775,8 kN	596,3	≤	710,318 kN
Q _{ultimate}	=	2,5			OK
SF	=				
Q _{allowable}	=	710,318 kN			

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.71 Rekapitulasi Daya Dukung Tiang Dermaga

Dermaga Segmen 1 (Tiang Tegak)								
Kondisi	Beban Pada 1 Tiang		Panjang Tiang Tertanam (m)	Kapasitas Pada 1 Tiang				Keterangan
	Tekan (kN)	Tarik (kN)		Plug		Unplug		
				Tekan (kN)	Tarik (kN)	Tekan (kN)	Tarik (kN)	
Operasional	645,6		12	2298,896	288,352	823,615	472,314	OK
Gempa	479.3	46.8	12	2298,896	288,352	823,615	472,314	OK

Dermaga Segmen 1 (Tiang Miring)								
Kondisi	Beban Pada 1 Tiang		Panjang Tiang Tertanam (m)	Kapasitas Pada 1 Tiang				Keterangan
				Plug		Unplug		
	Tekan (kN)	Tarik (kN)		Tekan (kN)	Tarik (kN)	Tekan (kN)	Tarik (kN)	
Operasional	681,2	117,6	12	2298,896	288,352	823,615	472,314	OK
Gempa	813,6	360,6	12	2298,896	288,352	823,615	472,314	OK
Dermaga Segmen 2 (Tiang Tegak)								
Kondisi	Beban Pada 1 Tiang		Panjang Tiang Tertanam (m)	Kapasitas Pada 1 Tiang				Keterangan
				Plug		Unplug		
	Tekan (kN)	Tarik (kN)		Tekan (kN)	Tarik (kN)	Tekan (kN)	Tarik (kN)	
Operasional	631,4		12	2230,992	240,819	710,318	393,006	OK
Gempa	489,4	38,8	12	2230,992	240,819	710,318	393,006	OK
Dermaga Segmen 2 (Tiang Miring)								
Kondisi	Beban Pada 1 Tiang		Panjang Tiang Tertanam (m)	Kapasitas Pada 1 Tiang				Keterangan
				Plug		Unplug		
	Tekan (kN)	Tarik (kN)		Tekan (kN)	Tarik (kN)	Tekan (kN)	Tarik (kN)	
Operasional	596,3		12	2230,992	240,819	710,318	393,006	OK
Gempa	750,4	298,34	12	2230,992	240,819	710,318	393,006	OK

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

4.6.3 Negative Skin Friction (NSF)

Negative skin friction (NSF) adalah gaya gesek ke bawah yang timbul antara permukaan tiang dan tanah sekitarnya akibat pergerakan tanah yang lebih cepat atau lebih besar dibandingkan pergerakan tiang. Biasanya terjadi ketika tanah lunak mengalami konsolidasi atau penurunan alami, maka untuk mencegah terjadinya hal tersebut pada Tugas Akhir ini dilakukan perhitungan NSF pada struktur dermaga dengan persamaan berikut.

$$Q_{NSF} = \eta \beta \sigma'_v A_S$$

Keterangan :

Q_{NSF} = Beban NSF (kN)

σ'_v = Tekanan vertikal efektif

η = Faktor mobilisasi *downdrag*

β = Ratio tekanan vertikal efektif berdasarkan pengujian skala penuh kasus NSF pada fondasi.

A_S = Luas permukaan samping tiang (m²)

Tekanan tanah vertikal efektif pada kedalaman 6 m :

$$\sigma'_v = \gamma' \cdot z$$

$$\sigma'_v = 7.6 = 42 \text{ kPa}$$

Luas permukaan samping tiang Dermaga = 2,234 m³

Ratio tekanan vertikal efektif (β) = 1

Faktor mobilisasi *downdrag* (η) = 0,2

Maka beban NSF pada struktur Dermaga sebagai berikut.

$$Q_{NSF} = \eta \beta \sigma'_v A_s$$

$$Q_{NSF} = 0,2 \cdot 1 \cdot 42 \cdot 2,234 = 18,766 \text{ kN}$$

Maka daya dukung tanah akibat adanya NSF pada struktur Dermaga sebagai berikut.

Tabel 4.72 Daya Dukung Tanah Kondisi Likuifaksi Trestle Segmen 3

Structure :		Dermaga Segmen 1				Calc. Method :		Based on N-SPT								
Ref :		BH-03				Cu =		5,00 *N-SPT								
Pile Properties						Compression										
Type :	Steel Pile					Skin Friction (Q _s) =		α*Cu*perimeter*I (C-Soil)								
Diameter :	0,711 m		(O.D)		End Bearing (Q _b) =		1-2*N-SPT*perimeter (φ-soil)									
:	0,679 m		(I.D)		=		9*Cu*Area (C-Soil)									
Thick :	0,016 m				=		40*N-SPT*I/D (φ-soil)									
Perimeter :	2,234 m		(Outer)		Ultimate (Q _u) =		≤400*N-SPT									
:	2,133 m		(Inner)				Q _s + Q _p									
Area _{out} :	0,397 m²					Negative Skin Friction										
Area _{pile} :	0,035 m²					η =		0,2								
Unit weight :	78,5 kN/m³					Q _{NSF} =		α*Cu*perimeter*I (C-Soil)								
						Q _{NSF} =		η*β*σ _v '*perimeter*I (φ-soil)								
								5*NSPT^0.7 (φ-soil)								
						Allow able Capacity										
						Q _{allowable} = (Q _u -Q _{NSF})/SF										
Depth	Soil Properties				Compression Capacity (kN)						Dragload (kN)					
(m)	Layer	N-SPT	C _u	α	PSF		Inner Friction		End	Plug Q _u	Unplug Q _u	y'	σ _v '	β	NSF	
			(kN/m²)		Local	Cum m	Local	Cum m				kN/m³	kPa		Local	Cum m
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	67,0	67,0	5,9				18,77	18,77
-2,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	134,0	134,0	11,8				18,77	37,53
-3,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	201,0	201,0	17,7				18,77	56,30
-4,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	268,0	268,0	23,6				18,77	75,06
-5,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	335,1	335,1	29,5				18,77	93,83
-6,0	S1	28	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	3752,6	3752,6	330,2				18,77	112,60
-7,0	S1	28	-	-	125,1	125,1	83,6	83,6	4378,0	4503,1	593,9					
-8,0	S1	32	-	-	143,0	268,0	95,6	179,2	4764,4	5032,5	866,4					
-9,0	S1	32	-	-	143,0	411,0	95,6	274,7	4764,4	5175,4	1105,0					
-10,0	S1	25	-	-	111,7	522,7	74,7	349,4	3970,4	4493,0	1221,4					
-11,0	S1	25	-	-	111,7	634,4	74,7	424,1	3970,4	4604,7	1407,8					
-12,0	S1	35	-	-	156,4	790,7	104,5	528,6	4764,4	5555,1	1738,5					
-13,0	S1	35	-	-	156,4	947,1	104,5	633,1	4764,4	5711,5	1999,4					
-14,0	S1	37	-	-	165,3	1112,4	110,5	743,6	4764,4	5876,8	2275,2					
-15,0	S1	37	-	-	165,3	1277,7	110,5	854,1	4764,4	6042,1	2551,0					
-16,0	S1	36	-	-	160,8	1438,5	107,5	961,6	4764,4	6202,9	2819,3					
-17,0	S1	36	-	-	160,8	1599,3	107,5	1069,1	4764,4	6363,7	3087,7					
-18,0	S1	48	-	-	214,4	1813,7	143,3	1212,5	4764,4	6578,2	3445,4					
-19,0	S1	48	-	-	214,4	2028,2	143,3	1355,8	4764,4	6792,6	3803,2					
-20,0	S1	55	-	-	245,7	2273,9	164,3	1520,1	4764,4	7038,3	4213,2					
-21,0	S1	55	-	-	245,7	2519,6	164,3	1684,3	4764,4	7284,0	4623,1					
-22,0	S1	60	-	-	268,0	2787,6	179,2	1863,5	4764,4	7552,0	5070,3					
-23,0	S1	60	-	-	268,0	3055,7	179,2	2042,7	4764,4	7820,1	5517,6					
-24,0	S1	60	-	-	268,0	3323,7	179,2	2221,9	4764,4	8088,1	5964,8					
-25,0	S1	60	-	-	268,0	3591,7	179,2	2401,1	4764,4	8356,2	6412,0					
-26,0	S1	60	-	-	268,0	3859,8	179,2	2580,2	4764,4	8624,2	6859,2					
-27,0	S1	60	-	-	268,0	4127,8	179,2	2759,4	4764,4	8892,2	7306,5					
-28,0	S1	60	-	-	268,0	4395,9	179,2	2938,6	4764,4	9160,3	7753,7					
-29,0	S1	60	-	-	268,0	4663,9	179,2	3117,8	4764,4	9428,3	8200,9					
-30,0	S1	60	-	-	268,0	4931,9	179,2	3297,0	4764,4	9696,4	8648,1					
Gaya Tekan																
Tiang Tegak		=		645,6 kN								Gaya Tekan		≤		Q _{allowable}
Tiang Miring		=		681,2 kN								645,6		≤		865,040 kN
Q _{NSF}		=		112,6 kN								681,2		≤		865,040 kN
Q _{ultimate}		=		2275,2 kN												
SF		=		2,5												OK
Q _{allowable}		=		865,040 kN												

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.73 Daya Dukung Tanah Kondisi Likuifaksi Dermaga Segmen 1

Structure :		Dermaga Segmen 1										Calc. Method :		Based on N-SPT			
Ref :		BH-03										Cu =		5,00 *N-SPT			
Pile Properties												Compresion					
Type :	Steel Pile										Skin Friction (Q _s)		= α*Cu*perimeter*I (C-Soil)				
Diameter :	0,711 m		(O.D)								=		1-2*N-SPT*perimeter (φ-soil)				
	0,679 m		(I.D)								End Bearing (Q _b)		= 9*Cu*Area (C-Soil)				
Thick :	0,016 m										=		40*N-SPT*I/D (φ-soil)				
Perimeter :	2,234 m		(Outter)								=		≤400*N-SPT				
	2,133 m		(Inner)								Ultimate (Q _u)		= Q _s + Q _p				
Area _{out} :	0,397 m ²										Negative Skin Friction						
Area _{pile} :	0,035 m ²										η		= 0,2				
Unit weight :	78,5 kN/m ³										Q _{NSF}		= α*Cu*perimeter*I (C-Soil)				
											Q _{NSF}		= η*β*σ _v *perimeter*I (φ-soil)				
													5*NSPT*0.7 (φ-soil)				
											Allow able Capacity						
											Q _{allowable} = (Q _u -Q _{NSF})/SF						
Depth	Soil Properties				Compression Capacity (kN)								Dragload (kN)				
(m)	Layer	N-SPT	C _u	α	PSF		Inner Friction		End	Plug Q _u	Unplug Q _u	y'	σ _v	β	NSF		
			(kN/m²)		Local	Cum m	Local	Cum m				kN/m³	kPa		Local	Cum m	
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
-1,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	67,0	67,0	5,9				18,77	18,77	
-2,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	134,0	134,0	11,8				18,77	37,53	
-3,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	201,0	201,0	17,7				18,77	56,30	
-4,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	268,0	268,0	23,6				18,77	75,06	
-5,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	335,1	335,1	29,5				18,77	93,83	
-6,0	S1	28	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	3752,6	3752,6	330,2				18,77	112,60	
-7,0	S1	28	-	-	87,6	87,6	58,5	58,5	4378,0	4465,6	531,3						
-8,0	S1	32	-	-	100,1	187,6	66,9	125,4	4764,4	4952,1	732,3						
-9,0	S1	32	-	-	100,1	287,7	66,9	192,3	4764,4	5052,1	899,2						
-10,0	S1	25	-	-	78,2	365,9	52,3	244,6	3970,4	4336,2	959,8						
-11,0	S1	25	-	-	78,2	444,1	52,3	296,8	3970,4	4414,4	1090,2						
-12,0	S1	35	-	-	109,4	553,5	73,2	370,0	4764,4	5317,9	1342,7						
-13,0	S1	35	-	-	109,4	663,0	73,2	443,2	4764,4	5427,4	1525,3						
-14,0	S1	37	-	-	115,7	778,7	77,3	520,5	4764,4	5543,1	1718,4						
-15,0	S1	37	-	-	115,7	894,4	77,3	597,9	4764,4	5658,8	1911,5						
-16,0	S1	36	-	-	112,6	1006,9	75,3	673,1	4764,4	5771,4	2099,3						
-17,0	S1	36	-	-	112,6	1119,5	75,3	748,4	4764,4	5883,9	2287,1						
-18,0	S1	48	-	-	150,1	1269,6	100,3	848,7	4764,4	6034,0	2537,6						
-19,0	S1	48	-	-	150,1	1419,7	100,3	949,1	4764,4	6184,1	2788,0						
-20,0	S1	55	-	-	172,0	1591,7	115,0	1064,1	4764,4	6356,1	3075,0						
-21,0	S1	55	-	-	172,0	1763,7	115,0	1179,0	4764,4	6528,1	3362,0						
-22,0	S1	60	-	-	187,6	1951,3	125,4	1304,5	4764,4	6715,8	3675,0						
-23,0	S1	60	-	-	187,6	2139,0	125,4	1429,9	4764,4	6903,4	3988,1						
-24,0	S1	60	-	-	187,6	2326,6	125,4	1555,3	4764,4	7091,0	4301,1						
-25,0	S1	60	-	-	187,6	2514,2	125,4	1680,7	4764,4	7278,6	4614,2						
-26,0	S1	60	-	-	187,6	2701,9	125,4	1806,2	4764,4	7466,3	4927,2						
-27,0	S1	60	-	-	187,6	2889,5	125,4	1931,6	4764,4	7653,9	5240,3						
-28,0	S1	60	-	-	187,6	3077,1	125,4	2057,0	4764,4	7841,5	5553,4						
-29,0	S1	60	-	-	187,6	3264,7	125,4	2182,5	4764,4	8029,2	5866,4						
-30,0	S1	60	-	-	187,6	3452,4	125,4	2307,9	4764,4	8216,8	6179,5						
Gaya Tekan		=	645,6 kN														
Tiang Tegak		=	681,2 kN														
Tiang Miring		=	112,6 kN														
Q _{NSF}		=	2099,3 kN														
Q _{ultimate}		=	2,5														
SF		=	794,677 kN														
Q _{allowable}		=															

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Tabel 4.74 Daya Dukung Tanah Kondisi Likuifaksi Dermaga Segmen 2

Structure	:	Dermaga Segmen 2	Calc. Method	:	Based on N-SPT
Ref	:	BH-04	Cu	=	5,00 *N-SPT
Pile Properties			Compresion		
Type	:	Steel Pile	Skin Friction (Q_s)	=	$\alpha * Cu * \text{perimeter} * I$ (C-Soil)
Diameter	:	0,711 m (O.D)		=	$1-2 * N-SPT * \text{perimeter} (\phi\text{-soil})$
	:	0,679 m (I.D)	End Bearing (Q_b)	=	$9 * Cu * \text{Area}$ (C-Soil)
Thick	:	0,016 m		=	$40 * N-SPT * I/D$ ($\phi\text{-soil}$)
Perimeter	:	2,234 m (Outer)		=	$\leq 400 * N-SPT$
	:	2,133 m (Inner)	Ultimate (Q_u)	=	$Q_s + Q_p$
Area _{out}	:	0,397 m ²	Negative Skin Friction		
Area _{pile}	:	0,035 m ²	η	=	0,2
Unit weight	:	78,5 kN/m ³	Q_{NSF}	=	$\alpha * Cu * \text{perimeter} * I$ (C-Soil)
			Q_{NSF}	=	$\eta * \beta * \sigma_v * \text{perimeter} * I$ ($\phi\text{-soil}$)
				=	$5 * NSPT * 0.7$ ($\phi\text{-soil}$)
			Allow able Capacity		
			$Q_{allowable} = (Q_u - Q_{NSF}) / SF$		

Depth (m)	Soil Properties				Compression Capacity (kN)						Dragload (kN)					
	Layer	N-SPT	C_u (kN/m ²)	α	Outer Friction		Inner Friction		End	Plug Q_u	Unplug Q_u	y' kN/m ³	σ_v kPa	β	NSF	
					Local	Cum m	Local	Cum m							Local	Cum m
0,0	S1	0	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	67,0	67,0	5,9				18,77	18,77
-2,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	134,0	134,0	11,8				18,77	37,53
-3,0	S1	3	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	201,0	201,0	17,7				18,77	56,30
-4,0	S1	5	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	446,7	446,7	39,3				18,77	75,06
-5,0	S1	5	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	558,4	558,4	49,1				18,77	93,83
-6,0	S1	8	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	1072,2	1072,2	94,3				18,77	112,60
-7,0	S1	8	-	-	25,0	25,0	16,7	16,7	1250,9	1275,9	151,8					
-8,0	S1	35	-	-	109,4	134,5	73,2	89,9	4764,4	4898,9	643,6					
-9,0	S1	35	-	-	109,4	243,9	73,2	163,1	4764,4	5008,3	826,2					
-10,0	S1	25	-	-	78,2	322,1	52,3	215,3	3970,4	4292,4	886,8					
-11,0	S1	25	-	-	78,2	400,3	52,3	267,6	3970,4	4370,6	1017,2					
-12,0	S1	27	-	-	84,4	484,7	56,4	324,0	4764,4	5249,1	1227,9					
-13,0	S1	27	-	-	84,4	569,1	56,4	380,5	4764,4	5333,6	1368,8					
-14,0	S1	27	-	-	84,4	653,6	56,4	436,9	4764,4	5418,0	1509,7					
-15,0	S1	27	-	-	84,4	738,0	56,4	493,4	4764,4	5502,4	1650,6					
-16,0	S1	35	-	-	109,4	847,5	73,2	566,5	4764,4	5611,9	1833,2					
-17,0	S1	35	-	-	109,4	956,9	73,2	639,7	4764,4	5721,3	2015,8					
-18,0	S1	47	-	-	147,0	1103,9	98,3	737,9	4764,4	5868,3	2261,0					
-19,0	S1	47	-	-	147,0	1250,9	98,3	836,2	4764,4	6015,3	2506,3					
-20,0	S1	56	-	-	175,1	1426,0	117,1	953,3	4764,4	6190,4	2798,4					
-21,0	S1	56	-	-	175,1	1601,1	117,1	1070,3	4764,4	6365,5	3090,6					
-22,0	S1	57	-	-	178,2	1779,3	119,2	1189,5	4764,4	6543,8	3388,0					
-23,0	S1	57	-	-	178,2	1957,6	119,2	1308,6	4764,4	6722,0	3685,4					
-24,0	S1	56	-	-	175,1	2132,7	117,1	1425,7	4764,4	6897,1	3977,6					
-25,0	S1	56	-	-	175,1	2307,8	117,1	1542,8	4764,4	7072,3	4269,8					
-26,0	S1	60	-	-	187,6	2495,5	125,4	1668,2	4764,4	7259,9	4582,9					
-27,0	S1	60	-	-	187,6	2683,1	125,4	1793,6	4764,4	7447,5	4895,9					
-28,0	S1	60	-	-	187,6	2870,7	125,4	1919,1	4764,4	7635,1	5209,0					
-29,0	S1	60	-	-	187,6	3058,3	125,4	2044,5	4764,4	7822,8	5522,0					
-30,0	S1	60	-	-	187,6	3246,0	125,4	2169,9	4764,4	8010,4	5835,1					

Gaya Tekan	=	631,4 kN	
Tiang Tegak	=	596,3 kN	
Tiang Miring	=	112,6 kN	
Q_{NSF}	=	1833,2 kN	
$Q_{ultimate}$	=	2,5	
SF	=	688,237 kN	
$Q_{allowable}$	=		

Gaya Tekan	≤	$Q_{allowable}$
631,4	≤	688,237 kN
596,3	≤	688,237 kN
		OK

Sumber : Hasil Analisa Data, 2025

Berdasarkan perhitungan kapasitas daya dukung tanah akibat adanya NSF yang memenuhi kebutuhan reaksi trestle berada pada kedalaman 14 meter dari dasar laut. Sedangkan kapasitas daya dukung tanah akibat NSF yang memenuhi kebutuhan reaksi struktur dermaga berada pada kedalaman 16 meter dari dasar laut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari tugas akhir perencanaan struktur dermaga *deck on pile* Pelabuhan Sofyanin adalah sebagai berikut.

1. Dermaga Sofyanin di desain mampu melayani bongkar muat kargo untuk kapal rencana KM Sabuk Nusantara 73 (2077 GT) dengan dimensi struktur sebagai berikut.

- a. Dermaga Segmen 1 (40 m x 10 m)
- b. Dermaga Segmen 2 (40 m x 10 m)
- c. Trestle Segmen 1 (60 m x 8 m)
- d. Trestle Segmen 2 (60 m x 8 m)
- e. Trestle Segmen 3 (60 m x 8 m)
- f. Elevasi dermaga +4.5 meter dari LWS
- g. Kedalaman perairan dermaga -5.0 meter dari LWS

Fasilitas struktur dermaga yang digunakan untuk menahan beban *mooring* akibat gaya lingkungan dan beban *berthing* kapal terdiri dari:

- Jenis *fender* : *Arc Fender* AN 400
- Jenis *bollard* : *Straight Bollard* 35 ton

2. Hasil analisis pemodelan, struktur mampu menahan gaya-gaya eksternal yang bekerja, meliputi beban mati, beban hidup, beban *berthing*, beban *mooring*, beban gelombang, arus, serta beban gempa. Nilai UCR < 1,0 dan defleksi < batas izin, sehingga struktur aman secara kekuatan (*strength*).

- a. Dermaga Segmen 1

- Defleksi Maksimum

Kondisi Operasional (Batas Izin = 50 mm)

- Arah X = 34,821 mm
- Arah Y = 48,194 mm

Kondisi Gempa (Batas Izin = 100 mm)

- Arah X = 56,422 mm
 - Arah Y = 71,895 mm
 - *Stress Ratio* Maksimum
 - Kondisi Operasional = 0,232
 - Kondisi Gempa = 0,446
- b. Dermaga Segmen 2
- Defleksi Maksimum
Kondisi Operasional (Batas Izin = 50 mm)
 - Arah X = 29,523 mm
 - Arah Y = 44,766 mm
 Kondisi Gempa (Batas Izin = 100 mm)
 - Arah X = 53,588 mm
 - Arah Y = 66,724 mm
 - *Stress Ratio* Maksimum
 - Kondisi Operasional = 0,213
 - Kondisi Gempa = 0,443
- c. Trestle Segmen 1
- Defleksi Maksimum
Kondisi Operasional (Batas Izin = 50 mm)
 - Arah X = 14,87 mm
 - Arah Y = 24,73 mm
 Kondisi Gempa (Batas Izin = 100 mm)
 - Arah X = 76,92 mm
 - Arah Y = 88,43 mm
 - *Stress Ratio* Maksimum
 - Kondisi Operasional = 0,122
 - Kondisi Gempa = 0,418
- d. Trestle Segmen 2
- Defleksi Maksimum
Kondisi Operasional (Batas Izin = 50 mm)
 - Arah X = 8,84 mm

- Arah Y = 16,19 mm

Kondisi Gempa (Batas Izin = 100 mm)

- Arah X = 43,46 mm
- Arah Y = 56,10 mm

- *Stress Ratio* Maksimum

- Kondisi Operasional = 0,110
- Kondisi Gempa = 0,381

e. Trestle Segmen 3

- Defleksi Maksimum

Kondisi Operasional (Batas Izin = 50 mm)

- Arah X = 13,03 mm
- Arah Y = 16,84 mm

Kondisi Gempa (Batas Izin = 100 mm)

- Arah X = 34,72 mm
- Arah Y = 54,88 mm

- *Stress Ratio* Maksimum

- Kondisi Operasional = 0,107
- Kondisi Gempa = 0,113

3. Dimensi elemen struktur yang telah direncanakan adalah sebagai berikut.

a. Dermaga

- Tiang Pancang : 711 mm t = 16 mm
- *Pile Cap* 1 : 1400 x 1400 x 1000 mm

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = D25-150
- Tulangan Lentur Bawah = D25-150

Tulangan Pinggang = 5 D16

- *Pile Cap* 2 : 2800 x 1400 x 1000 mm

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = D25-150
- Tulangan Lentur Bawah = D25-150

Tulangan Pinggang = 5 D16

- *Pile Cap* 3 : 1800 x 1400 x 1000 mm

Tinggi Janggutan : 3000 mm

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = D25-150
- Tulangan Lentur Bawah = D25-150

Tulangan Pinggang = 5 D16

- Balok : 700 x 400 mm

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = 5 D25
- Tulangan Lentur Bawah = 5 D25

Tulangan Geser/Sengkang

- Tumpuan = 3 D13-100
- Lapangan = 3 D13-150

- Pelat : t = 300 mm

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = D16-150
- Tulangan Lentur Bawah = D16-150

b. Trestle

- Tiang Pancang : 609,6 mm t = 12 mm

- *Pile Cap* : 1200 x 1200 x 1000 mm

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = D25-150
- Tulangan Lentur Bawah = D25-150

Tulangan Pinggang = 5 D16

- Balok : 700 x 400 mm

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = 5 D25
- Tulangan Lentur Bawah = 5 D25

Tulangan Geser/Sengkang

- Tumpuan = 3 D13-100
- Lapangan = 2 D13-150

- Pelat : $t = 300 \text{ mm}$

Tulangan Lentur

- Tulangan Lentur Atas = D16-150
- Tulangan Lentur Bawah = D16-150

4. Berdasarkan hasil analisa kapasitas daya dukung tanah, diperoleh kedalaman rencana pondasi tiang pancang yang memenuhi kapasitas izin akibat kondisi *negative skin friction* sebagai berikut:

- a. Dermaga Segmen 1 = 16 m dari *Seabed*
- b. Dermaga Segmen 2 = 16 m dari *Seabed*
- c. Trestle Segmen 1 = 14 m dari *Seabed*
- d. Trestle Segmen 2 = 14 m dari *Seabed*
- e. Trestle Segmen 3 = 14 m dari *Seabed*

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis tugas akhir ini dilalukan yaitu :

1. Untuk analisis gempa, disarankan menggunakan data berdasarkan data seismik lokasi proyek, seperti data dari pengujian *downhole seismic* sehingga respon struktur terhadap gempa dapat diestimasi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan. (2009). *Technical Standards And Commentaries For Port And Harbour Facilities in Japan*. 3rd. Disunting oleh Y. Goda, T. Tabata dan S. Yamamoto. Tokyo: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.
- American Institute of Steel Construction Inc. (2016). AISC 360-16, *Spesification for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction Inc.
- International Navigation Association (PIANC). (2002). *Guidlines for the Design of Fender Systems*: 2002. Brussels: PIANC.
- Thoresen, Carl A. (2014). *Port Designer's Handbook*. London: ICE Publishing.
- Fentek Marine Fendering Systems. (2002). *Fender Catalogue*. Hamburg: Fentek Marine Fendering Systems.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). *SNI 1729-2020: Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 1725-2016: Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Triatmodjo, Bambang. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Das, Braja M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: Cengage Learning.
- Transportation Research Board. (1996). *Design and construction guidelines for downdrag on uncoated and bitumen-coated piles* (NCHRP Report No. 343). Washington, D.C.: National Research Council.
- Direktur Jenderal Perhubungan Laut. (2015). *Tata Cara Perhitungan Struktur Fasilitas Pelabuhan Laut*.
- Undang – Undang Republik Indonesia No.17 Tahun 2008 tentang Pelayaran.
- Hafudiansyah, E., & An, A. A. (2021). *Analisis Struktur Mooring Dolphin*

Kapasitas 2000 GT (Studi Kasus Pelabuhan Munse Sulawesi Tenggara).
Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik Perencanaan dan Arsitektur,
Universitas Winaya Mukti.

Fadhilah, A. T., & Paramashanti. (2021). *Perancangan Struktur Dermaga Kargo Tipe Deck On Pile di Pelabuhan Soasio, Kota Tidore Kepulauan, Provinsi Maluku Utara.* Jurnal Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.

Saudale, C. E. D., & Adiyastuti, S. M. (2022). *Perancangan Struktur Dermaga Kargo Tipe Deck On Pile di Pelabuhan Bula, Kabupaten Seram Bagian Timur, Provinsi Maluku.* Jurnal Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.

Fitriani, A., & Ridolva. (2019). *Perancangan Struktur Dermaga Kargo Tipe Deck On Pile di Pelabuhan Ippi-Ende, Kabupaten Ende, Provinsi Nusa Tenggara Timur.* Jurnal Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.

Batubara, Y. F. (2024). *Perancangan Struktur Dermaga Curah Cair Tioe Dolphin Pada Terminal Bahan Bakar Minyak (TBBM) Kota Baru, Kalimantan Selatan.* Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.

Zahra, H. (2018). *Perencanaan Struktur Atas Dermaga General Cargo Tipe Pier Berkapasitas 10.000 DWT.* Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

LAMPIRAN-A
DATA TOPOGRAFI DAN BATHIMETRI

LAMPIRAN-B
DATA HIDRO-OCEANOGRAFI

B.1 DATA PASANG SURUT

HITUNGAN PENGAMATAN PASANG SURUT																								
SOFYANIN 29 PIANTAN																								
Long Series (29 days/ a lunar cycle)				Location		:	SOFYANIN				Latitude : 7° 1'45.64"				Mid date :				6-Aug-24					
											Longitude 131°56'53.18"				Time GMT :				+ 09.00					
Skema 1 (Data Pengamatan dalam cm)																								
Hour Date	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7/23/2024	144	155	184	228	266	289	294	279	250	203	149	101	69	60	75	108	155	201	235	253	250	230	197	164
7/24/2024	138	133	148	202	222	265	290	296	277	242	193	140	95	72	75	92	133	180	223	253	263	252	223	184
7/25/2024	148	124	121	138	197	233	267	289	291	269	232	183	135	100	85	94	123	166	211	249	270	269	247	210
7/26/2024	167	130	110	108	129	167	215	256	275	275	253	219	174	135	108	104	120	152	195	236	267	280	271	241
7/27/2024	199	155	119	99	102	128	163	205	237	253	250	233	202	167	137	124	127	148	182	220	255	277	281	264
7/28/2024	230	189	147	113	96	102	120	152	189	215	227	226	212	189	164	146	139	149	171	202	234	261	276	273
7/29/2024	252	219	179	140	112	98	100	116	141	171	194	208	210	201	187	170	160	158	169	190	214	239	260	269
7/30/2024	264	245	214	176	142	115	100	98	109	131	155	177	193	199	197	189	180	174	174	181	198	220	240	257
7/31/2024	264	260	242	214	179	145	116	97	91	99	117	141	164	184	196	199	196	190	182	179	183	195	213	234
8/1/2024	251	260	258	241	216	183	146	115	92	83	89	107	134	163	186	202	209	208	199	187	180	181	190	208
8/2/2024	231	249	258	258	246	220	186	148	114	90	80	87	105	136	167	196	214	221	216	204	189	177	175	186
8/3/2024	208	232	252	262	264	251	222	186	144	108	84	77	86	110	145	179	207	223	227	217	200	179	165	164
8/4/2024	236	259	274	276	262	234	194	150	111	82	70	77	98	131	168	199	221	229	224	210	193	180	179	190
8/5/2024	145	169	202	232	256	266	265	245	210	166	124	92	76	82	106	140	180	213	237	242	230	205	175	149
8/6/2024	139	144	170	209	240	262	269	262	238	197	152	114	88	83	98	129	168	203	234	247	241	220	185	166
8/7/2024	182	219	264	286	300	288	255	209	159	114	86	81	100	142	181	224	255	269	262	237	202	171	149	147
8/8/2024	159	168	190	218	243	269	280	272	248	207	159	114	80	66	75	101	142	181	217	239	245	234	210	182
8/9/2024	163	158	172	194	221	249	270	276	263	233	190	145	106	81	77	93	125	165	203	231	245	240	222	195
8/10/2024	169	152	153	171	195	222	248	266	267	250	218	176	136	104	90	95	117	152	189	221	243	247	235	211
8/11/2024	181	157	144	150	171	194	221	244	258	253	233	201	166	132	110	106	117	145	180	212	237	249	246	227
8/12/2024	199	171	148	139	147	169	196	220	237	245	238	218	189	159	136	123	127	145	174	206	233	249	253	241
8/13/2024	217	187	160	141	135	146	167	193	214	227	232	222	203	179	156	142	138	148	168	196	222	243	252	247
8/14/2024	230	205	175	152	136	136	145	165	185	203	215	217	209	195	176	161	154	157	170	191	216	237	252	254
8/15/2024	245	225	198	171	147	134	132	142	158	178	195	206	209	203	192	179	168	165	170	184	205	225	243	252
8/16/2024	250	238	218	190	162	137	122	120	129	144	164	182	194	201	200	192	183	174	172	177	189	206	227	243
8/17/2024	250	247	232	246	225	195	162	129	103	90	91	105	129	157	183	204	215	216	207	195	183	178	183	200
8/18/2024	225	251	264	267	258	235	202	162	123	94	79	82	101	132	168	200	222	232	227	212	191	172	163	171
8/19/2024	194	226	253	272	279	269	244	203	157	113	82	69	76	102	141	184	218	238	242	230	205	176	152	145
8/20/2024	156	188	223	257	280	291	278	247	201	150	104	74	66	82	116	162	207	239	257	252	227	192	156	130

B.2 DATA ARUS

Titik Arus-1

DATA PENGAMATAN ARUS SPRINGTIDE						DATA PENGAMATAN ARUS NEAPTIDE					
HARI / TANGGAL : 28/07/2024						HARI / TANGGAL : 30/07/2024					
LOKASI I : Pantai Sofyanin						LOKASI I : Pantai Sofyanin					
DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku						DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku					
KOORDINAT : X = 825771.760 Y = 9222018.68						KOORDINAT : X = 825771.760 Y = 9222018.68					
KEDALAMAN (D) : 0,90 m						KEDALAMAN (D) : 1,67 m					
NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)	NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)
1	28/07/24	9:00:00	0.2 D	212	N 47° E	1	30/07/24	9:00:00	0.2 D	105	N 105° E
			0.6 D	78					0.6 D	40	
			0.8 D	62					0.8 D	25	
2	28/07/24	10:00:00	0.2 D	240	N 55° E	2	30/07/24	10:00:00	0.2 D	113	N 25° E
			0.6 D	115					0.6 D	321	
			0.8 D	45					0.8 D	53	
3	28/07/24	11:00:00	0.2 D	150	N 55° E	3	30/07/24	11:00:00	0.2 D	291	N 165° E
			0.6 D	122					0.6 D	122	
			0.8 D	56					0.8 D	56	
4	28/07/24	12:00:00	0.2 D	143	N 112° E	4	30/07/24	12:00:00	0.2 D	265	N 255° E
			0.6 D	126					0.6 D	126	
			0.8 D	47					0.8 D	47	
5	28/07/24	13:00:00	0.2 D	160	N 39° E	5	30/07/24	13:00:00	0.2 D	218	N 122° E
			0.6 D	74					0.6 D	74	
			0.8 D	93					0.8 D	93	
6	28/07/24	14:00:00	0.2 D	218	N 122° E	6	30/07/24	14:00:00	0.2 D	167	N 215° E
			0.6 D	85					0.6 D	85	
			0.8 D	112					0.8 D	112	
7	28/07/24	15:00:00	0.2 D	156	N 108° E	7	30/07/24	15:00:00	0.2 D	184	N 209° E
			0.6 D	121					0.6 D	154	
			0.8 D	127					0.8 D	127	
8	28/07/24	16:00:00	0.2 D	166	N 137° E	8	30/07/24	16:00:00	0.2 D	149	N 234° E
			0.6 D	108					0.6 D	198	
			0.8 D	143					0.8 D	143	
9	28/07/24	17:00:00	0.2 D	86	N 115° E	9	30/07/24	17:00:00	0.2 D	197	N 245° E
			0.6 D	124					0.6 D	145	
			0.8 D	154					0.8 D	154	

Titik Arus-2

DATA PENGAMATAN ARUS SPRINGTIDE						DATA PENGAMATAN ARUS NEAPTIDE					
HARI / TANGGAL : 28/07/2024						HARI / TANGGAL : 30/07/2024					
LOKASI I : Pantai Sofyanin						LOKASI I : Pantai Sofyanin					
DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku						DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku					
KOORDINAT : X = 825133.410 Y = 9222324.250						KOORDINAT : X = 825133.410 Y = 9222324.250					
KEDALAMAN (D) : 15,5 m						KEDALAMAN (D) : 16,2 m					
NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)	NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)
1	28/07/24	9:00:00	0.2 D	225	N 65° E	1	30/07/24	9:00:00	0.2 D	116	N 297° E
			0.6 D	116					0.6 D	88	
			0.8 D	75					0.8 D	64	
2	28/07/24	10:00:00	0.2 D	213	N 80° E	2	30/07/24	10:00:00	0.2 D	256	N 110° E
			0.6 D	104					0.6 D	174	
			0.8 D	86					0.8 D	73	
3	28/07/24	11:00:00	0.2 D	225	N 80° E	3	30/07/24	11:00:00	0.2 D	290	N 150° E
			0.6 D	116					0.6 D	119	
			0.8 D	75					0.8 D	89	
4	28/07/24	12:00:00	0.2 D	252	N 136° E	4	30/07/24	12:00:00	0.2 D	280	N 217° E
			0.6 D	134					0.6 D	134	
			0.8 D	148					0.8 D	148	
5	28/07/24	13:00:00	0.2 D	134	N 225° E	5	30/07/24	13:00:00	0.2 D	196	N 225° E
			0.6 D	213					0.6 D	185	
			0.8 D	165					0.8 D	165	
6	28/07/24	14:00:00	0.2 D	165	N 94° E	6	30/07/24	14:00:00	0.2 D	195	N 227° E
			0.6 D	49					0.6 D	49	
			0.8 D	159					0.8 D	159	
7	28/07/24	15:00:00	0.2 D	176	N 60° E	7	30/07/24	15:00:00	0.2 D	194	N 218° E
			0.6 D	111					0.6 D	122	
			0.8 D	135					0.8 D	135	
8	28/07/24	16:00:00	0.2 D	123	N 17° E	8	30/07/24	16:00:00	0.2 D	165	N 265° E
			0.6 D	232					0.6 D	211	
			0.8 D	152					0.8 D	152	
9	28/07/24	17:00:00	0.2 D	114	N 55° E	9	30/07/24	17:00:00	0.2 D	156	N 318° E
			0.6 D	210					0.6 D	274	
			0.8 D	133					0.8 D	133	

Titik Arus-3

DATA PENGAMATAN ARUS SPRINGTIDE

HARI / TANGGAL : 29/07/2024
 LOKASI I : Pantai Sofyanin
 DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku
 KOORDINAT : X = 824741.420 Y = 9221591.170
 KEDALAMAN (D) : 2 m

DATA PENGAMATAN ARUS NEAPTIDE

HARI / TANGGAL : 31/07/2024
 LOKASI I : Pantai Sofyanin
 DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku
 KOORDINAT : X = 824741.420 Y = 9221591.170
 KEDALAMAN (D) : 2,4 m

NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)	NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)
1	29/07/24	9:00:00	0.2 D	267	N 88° E	1	31/07/24	9:00:00	0.2 D	89	N 143° E
			0.6 D	108					0.6 D	58	
			0.8 D	86					0.8 D	115	
2	29/07/24	10:00:00	0.2 D	256	N 94° E	2	31/07/24	10:00:00	0.2 D	135	N 172° E
			0.6 D	219					0.6 D	232	
			0.8 D	75					0.8 D	53	
3	29/07/24	11:00:00	0.2 D	132	N 173° E	3	31/07/24	11:00:00	0.2 D	76	N 103° E
			0.6 D	189					0.6 D	90	
			0.8 D	134					0.8 D	118	
4	29/07/24	12:00:00	0.2 D	142	N 244° E	4	31/07/24	12:00:00	0.2 D	211	N 244° E
			0.6 D	179					0.6 D	147	
			0.8 D	109					0.8 D	89	
5	29/07/24	13:00:00	0.2 D	223	N185° E	5	31/07/24	13:00:00	0.2 D	205	N185° E
			0.6 D	154					0.6 D	257	
			0.8 D	154					0.8 D	156	
6	29/07/24	14:00:00	0.2 D	218	N 165° E	6	31/07/24	14:00:00	0.2 D	269	N 165° E
			0.6 D	85					0.6 D	325	
			0.8 D	112					0.8 D	221	
7	29/07/24	15:00:00	0.2 D	213	N 117° E	7	31/07/24	15:00:00	0.2 D	177	N 117° E
			0.6 D	314					0.6 D	189	
			0.8 D	147					0.8 D	54	
8	29/07/24	16:00:00	0.2 D	203	N 168° E	8	31/07/24	16:00:00	0.2 D	342	N 168° E
			0.6 D	128					0.6 D	198	
			0.8 D	79					0.8 D	65	
9	29/07/24	17:00:00	0.2 D	86	N 260° E	9	31/07/24	17:00:00	0.2 D	55	N 217° E
			0.6 D	124					0.6 D	65	
			0.8 D	96					0.8 D	78	

Titik Arus-4

DATA PENGAMATAN ARUS SPRINGTIDE

HARI / TANGGAL : 29/07/2024
 LOKASI I : Pantai Sofyanin
 DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku
 KOORDINAT : X = 826220.000 Y = 9223314.000
 KEDALAMAN (D) : 2,1 m

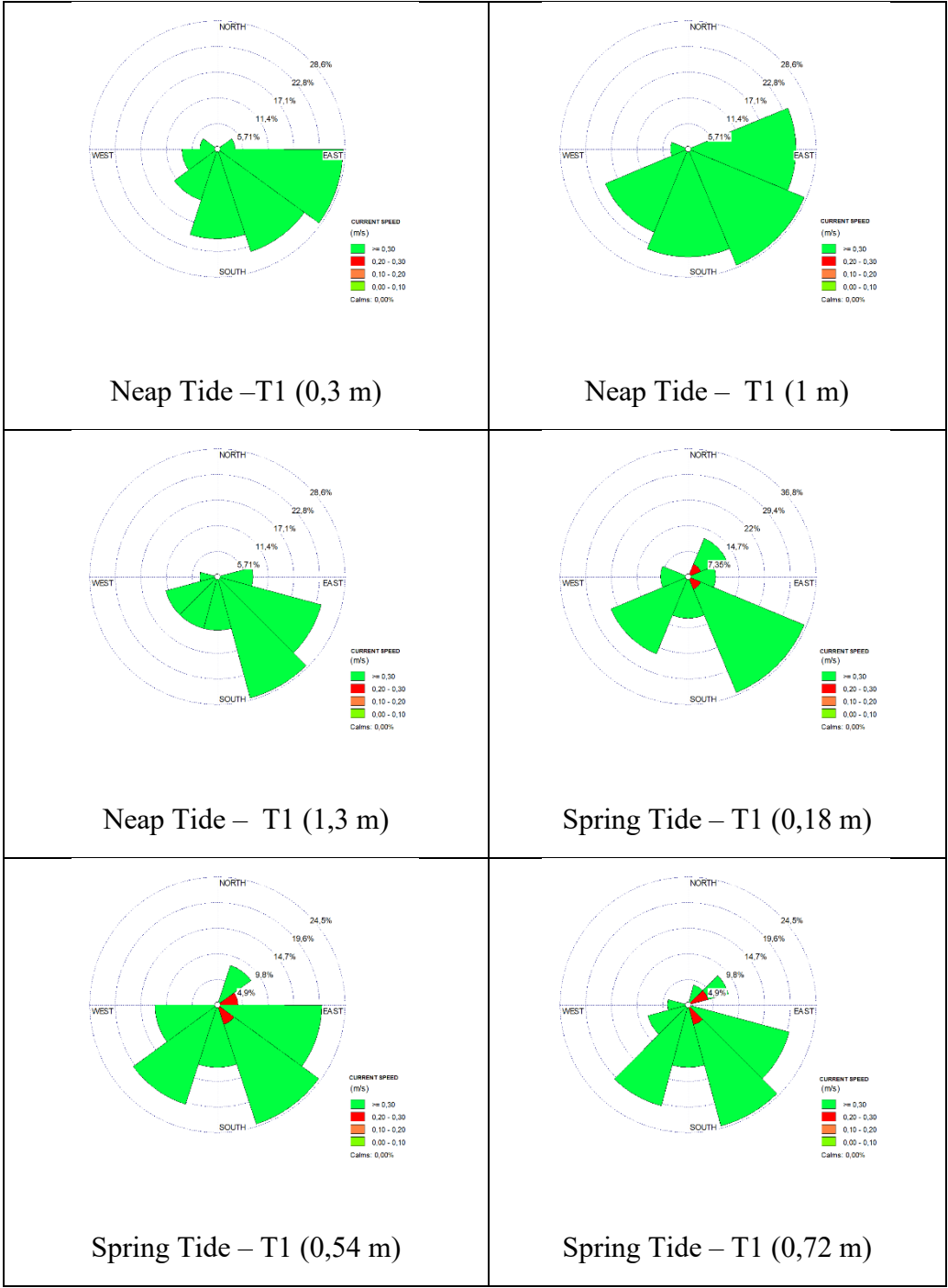
DATA PENGAMATAN ARUS NEAPTIDE

HARI / TANGGAL : 29/07/2024
 LOKASI I : Pantai Sofyanin
 DAERAH : Kepulauan Tanimbar, Maluku
 KOORDINAT : X = 826220.000 Y = 9223314.000
 KEDALAMAN (D) : 2,75 m

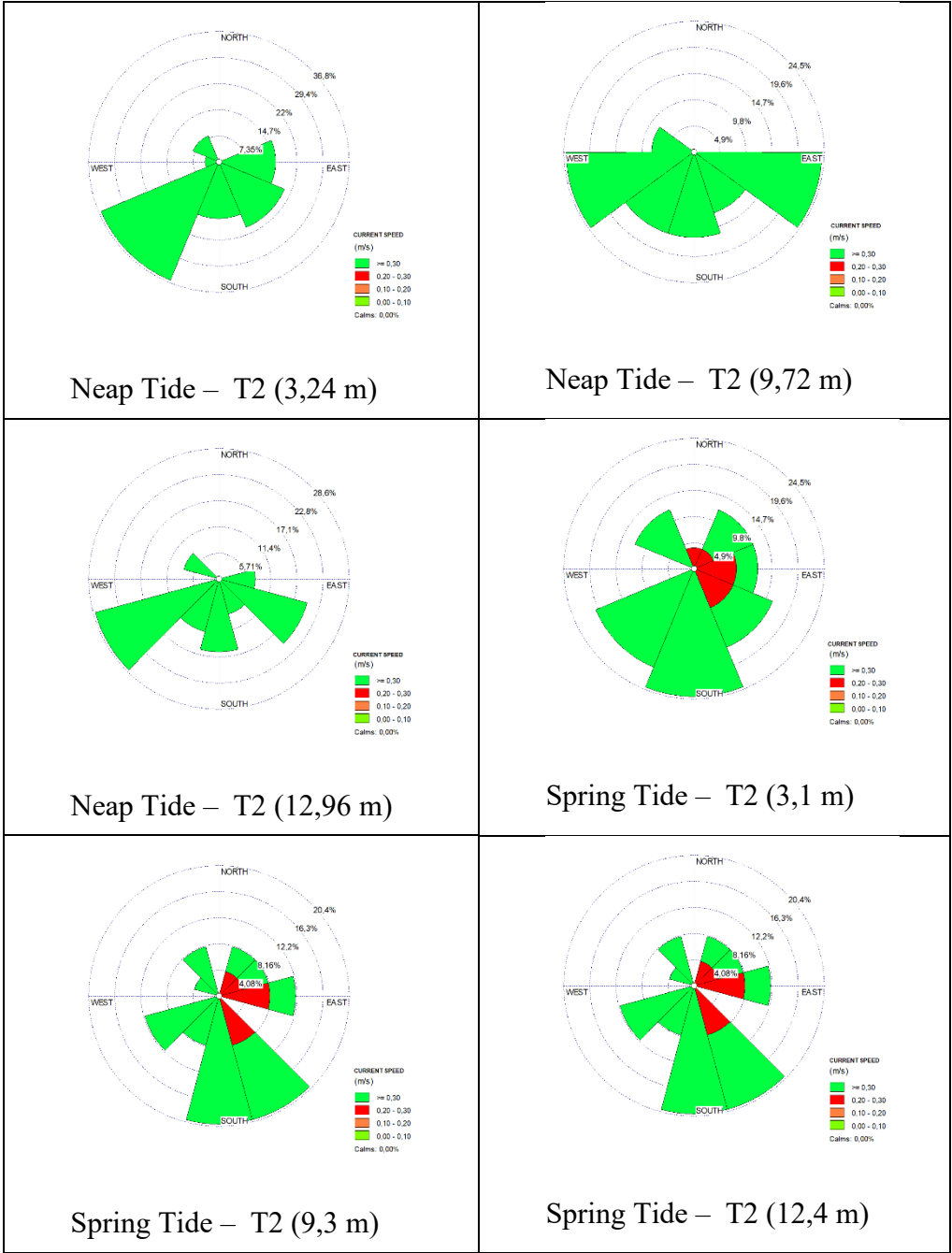
NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)	NO	TANGGAL	JAM	KEDALAMAN (m)	PUTARAN BALING2	ARAH / AZIMUTH (derajat)
1	29/07/24	9:00:00	0.2 D	320	N 65° E	1	31/07/24	9:00:00	0.2 D	111	N 160° E
			0.6 D	166					0.6 D	154	
			0.8 D	117					0.8 D	171	
2	29/07/24	10:00:00	0.2 D	242	N 124° E	2	31/07/24	10:00:00	0.2 D	274	N 255° E
			0.6 D	198					0.6 D	192	
			0.8 D	127					0.8 D	97	
3	29/07/24	11:00:00	0.2 D	100	N 145° E	3	31/07/24	11:00:00	0.2 D	222	N 129° E
			0.6 D	214					0.6 D	215	
			0.8 D	60					0.8 D	208	
4	29/07/24	12:00:00	0.2 D	275	N 210° E	4	31/07/24	12:00:00	0.2 D	216	N 210° E
			0.6 D	145					0.6 D	356	
			0.8 D	332					0.8 D	242	
5	29/07/24	13:00:00	0.2 D	95	N144° E	5	31/07/24	13:00:00	0.2 D	314	N144° E
			0.6 D	342					0.6 D	233	
			0.8 D	135					0.8 D	321	
6	29/07/24	14:00:00	0.2 D	135	N 219° E	6	31/07/24	14:00:00	0.2 D	198	N 219° E
			0.6 D	134					0.6 D	165	
			0.8 D	154					0.8 D	86	
7	29/07/24	15:00:00	0.2 D	157	N 135° E	7	31/07/24	15:00:00	0.2 D	231	N 135° E
			0.6 D	243					0.6 D	236	
			0.8 D	216					0.8 D	98	
8	29/07/24	16:00:00	0.2 D	167	N 175° E	8	31/07/24	16:00:00	0.2 D	45	N 175° E
			0.6 D	232					0.6 D	54	
			0.8 D	106					0.8 D	91	
9	29/07/24	17:00:00	0.2 D	157	N 136° E	9	31/07/24	17:00:00	0.2 D	112	N 20° E
			0.6 D	126					0.6 D	148	
			0.8 D	228					0.8 D	104	

Current rose pengamatan arus untuk 4 titik di Pelabuhan Sofyanin ditunjukkan pada gambar-gambar berikut.

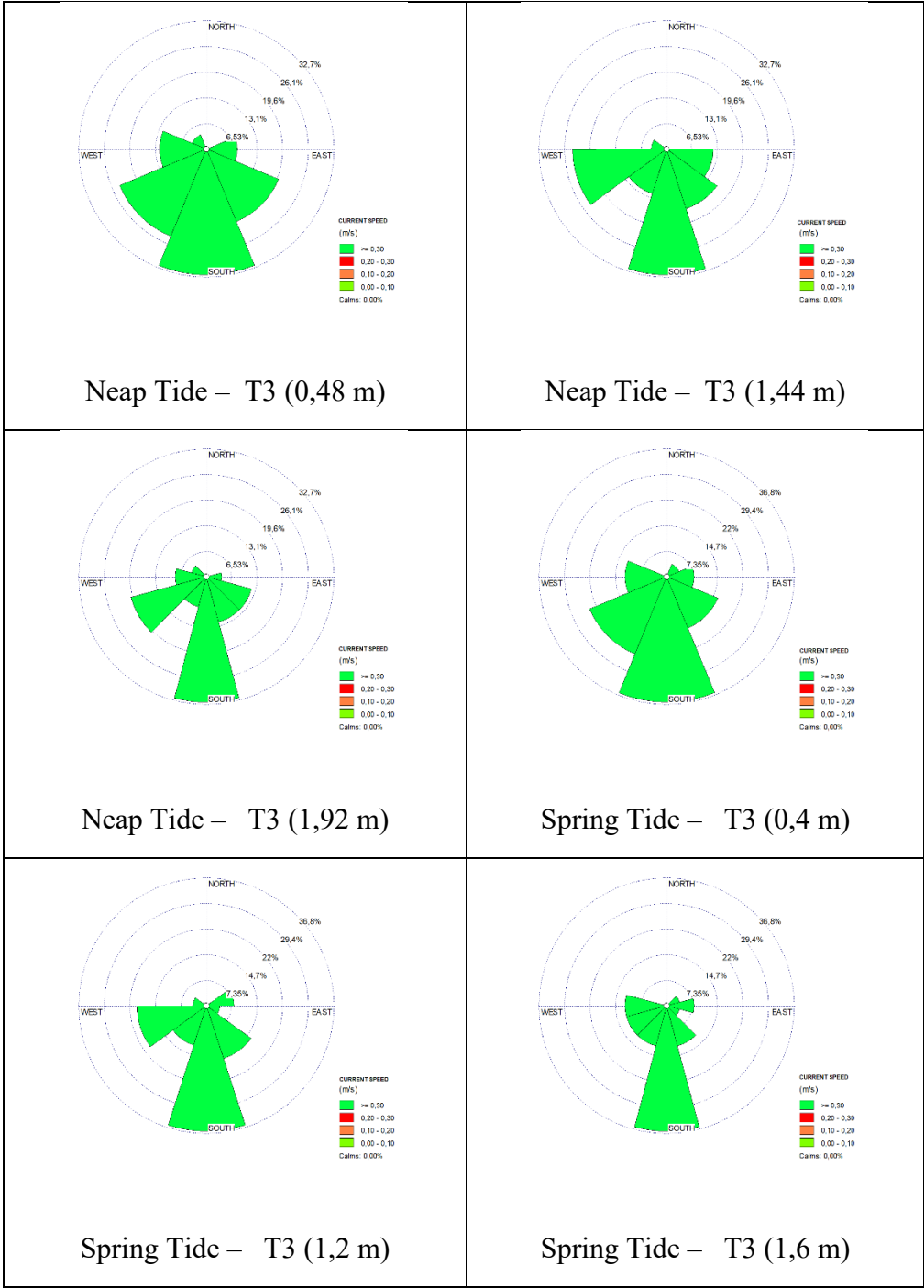
Current Rose Titik 1



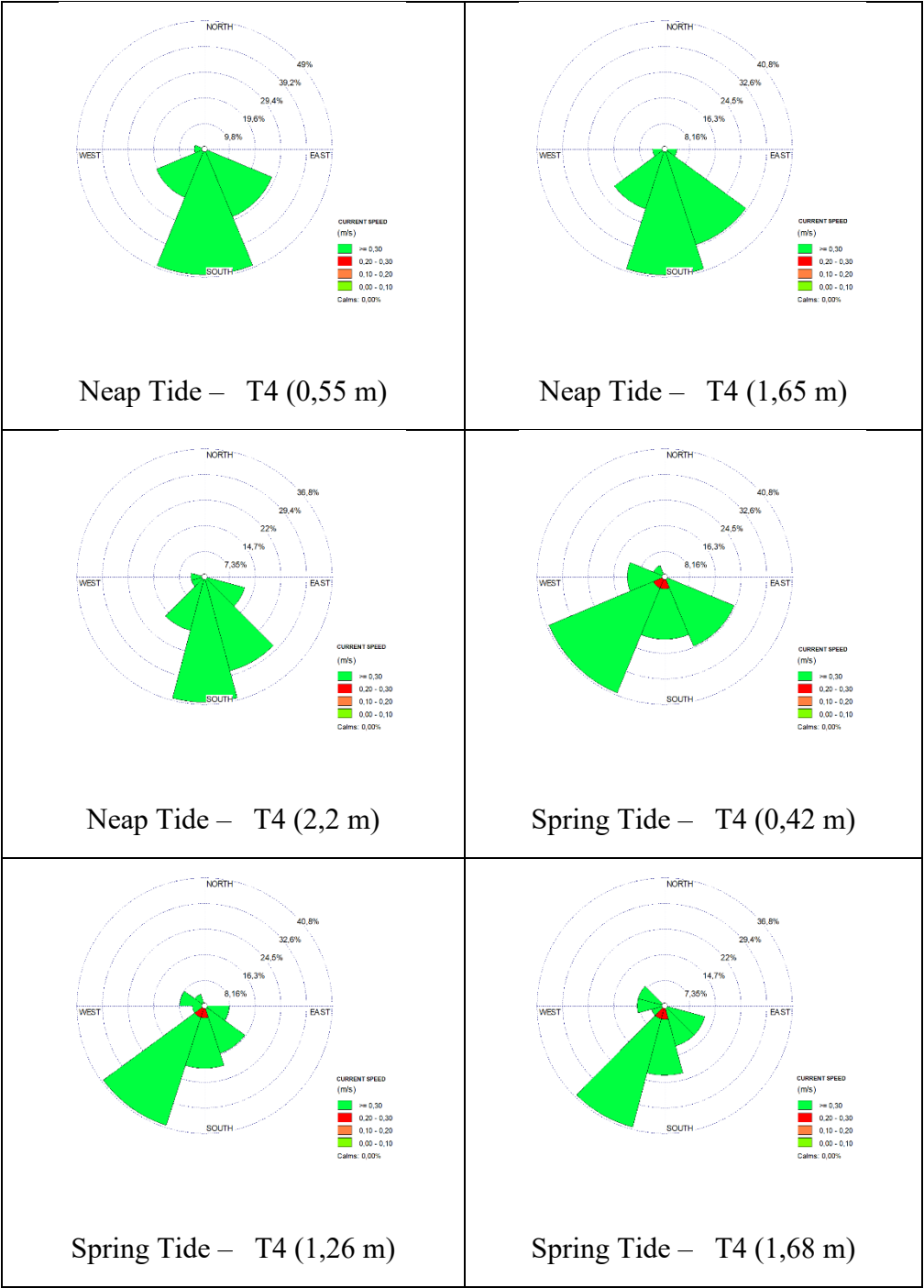
Current Rose Titik 2



Current Rose Titik 3

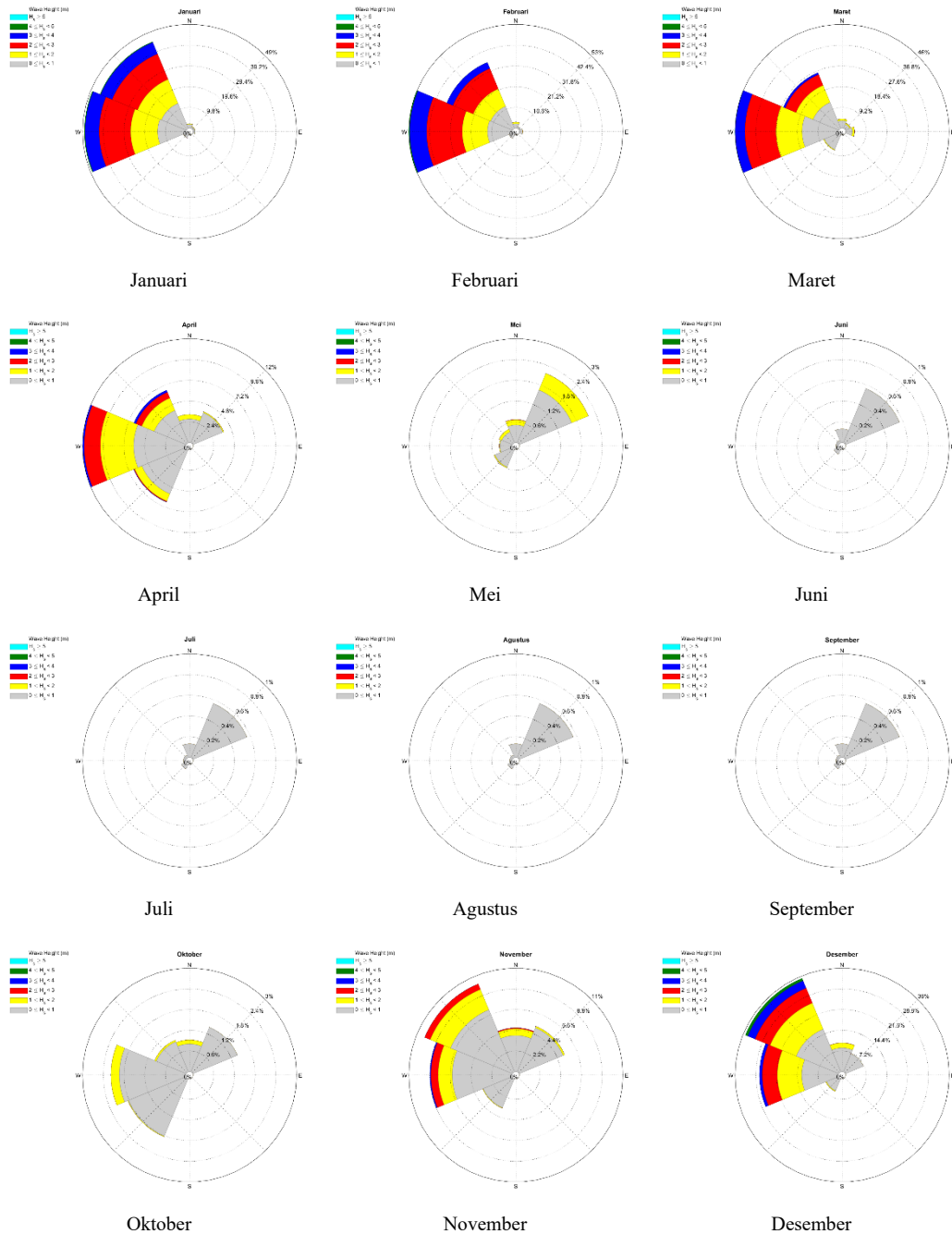


Current Rose Titik 4



B.3 DATA GELOMBANG

Waverose setiap bulan untuk data gelombang di Perairan Sekitar Pelabuhan Sofyanin ditunjukkan pada berikut.

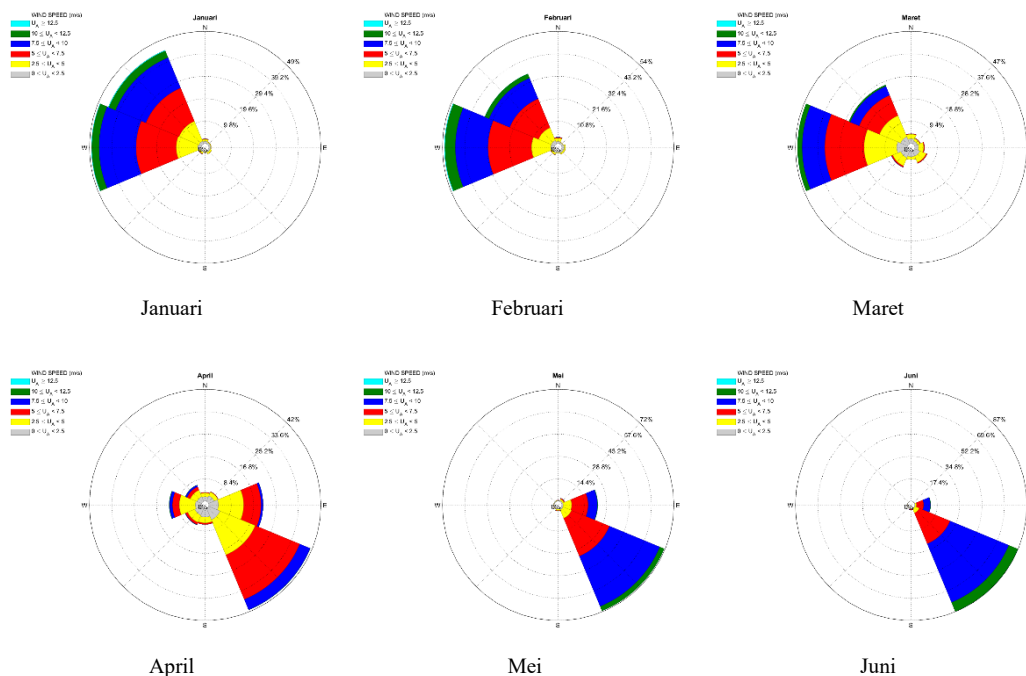


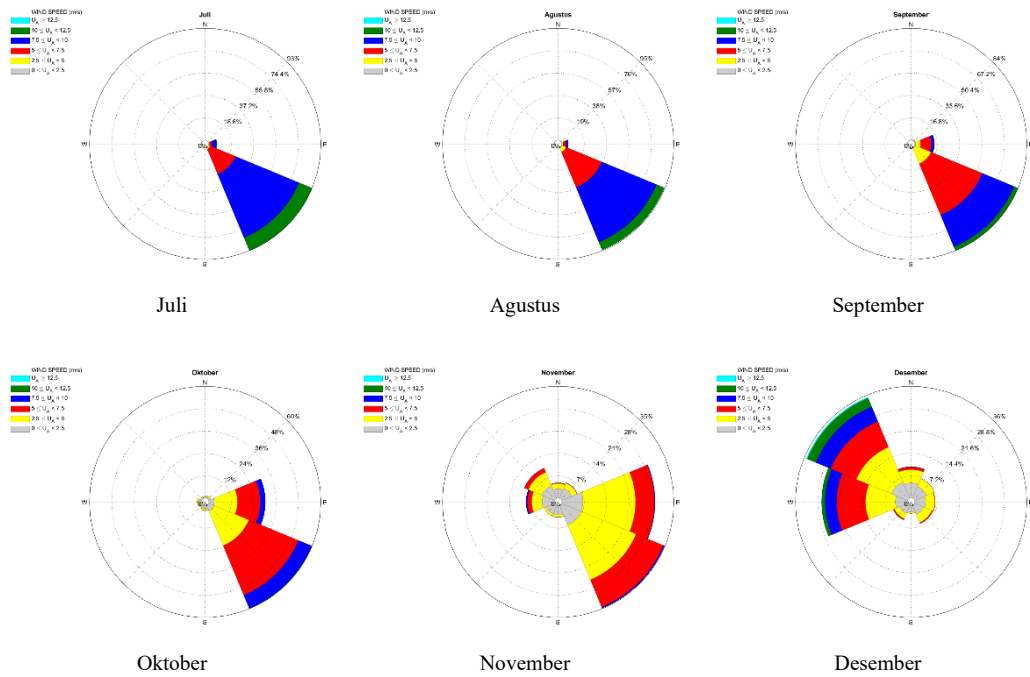
Tinggi Gelombang Maksimum di Perairan Sekitar Pelabuhan Sofyanin

Tahun	Utara	Timur Laut	Barat Daya	Barat	Barat Laut
2009	1.51	0.85	1.91	4.15	3.74
2010	1.74	0.93	1.54	4.02	3.72
2011	2.03	0.64	1.12	3.74	4.22
2012	2.16	1.59	1.62	4.65	4.05
2013	1.42	1.11	1.25	4.31	3.84
2014	1.91	0.67	1.26	4.34	4.09
2015	2.14	0.65	1.35	3.77	4.28
2016	1.68	0.96	2.14	3.99	3.34
2017	2.17	1.51	2.06	4.06	3.79
2018	2.32	0.56	2.28	3.79	3.84
2019	1.42	1.89	3.29	4.36	3.76
2020	1.84	1.68	1.04	3.94	3.43
2021	1.91	1.31	2.47	4.51	5.01
2022	3.01	1.43	1.54	3.47	4.35
2023	2.21	1.87	1.81	4.61	3.77

B.4 DATA ANGIN

Windrose data angin total pada tahun 2009 sampai dengan tahun 2023 ditunjukkan pada gambar berikut.





Kecepatan Angin Maksimum di Pelabuhan Sofyanin

Tahun	Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut
2009	6.73	5.90	9.25	10.90	7.89	7.98	12.19	11.52
2010	8.89	7.71	10.18	11.60	4.81	8.24	11.65	11.80
2011	5.99	5.07	10.40	11.34	7.66	5.89	12.85	12.36
2012	7.24	7.25	10.04	12.69	9.27	5.51	13.75	11.72
2013	5.54	5.07	11.61	12.90	5.26	7.62	12.58	12.53
2014	9.90	5.68	10.24	12.11	4.98	8.12	12.64	12.36
2015	8.47	4.81	11.32	12.58	5.41	5.60	12.17	12.75
2016	5.11	6.12	10.08	11.54	8.14	6.67	11.59	11.24
2017	8.39	5.63	11.54	12.08	7.25	9.30	12.15	11.74
2018	5.86	4.03	13.12	11.50	5.07	9.76	12.35	11.23
2019	6.05	7.68	9.41	13.58	8.07	11.31	12.70	12.19
2020	7.98	6.67	11.51	11.59	7.42	8.43	11.65	11.44
2021	9.86	5.42	12.88	12.07	7.02	8.25	13.41	15.46
2022	8.14	6.01	10.29	11.64	9.28	6.14	12.24	12.67
2023	7.41	7.47	9.40	11.79	8.24	8.61	13.55	13.00

LAMPIRAN-C
DATA TANAH DAN GEOTEKNIK

C.1 DATA BORING LOG

PT. KARYA CIPTA MADANI										BORING LOG											
PROJECT : Penyusunan Studi Survei Investigasi dan Desain (SID) Fasilitas Pelabuhan Laut Sofyanin Provinsi Maluku LOCATION : Pelabuhan Sofyanin BOREHOLE NUMBER : BH-01 COORDINATE X : 7°1' 45,18" S (UTM WGS 84) Y : 131° 56' 52,91" E GROUND ELEVATION : 3 Meter METHOD OF SAMPLE : Rotary Drill TOTAL DEPTH : 30 Meter										DRILLING TYPE MACHINE : YBM D2 CORE TYPE : Single CORE DIAMETER (UDS) : 6,35 Cm CASING DIAMETER : 8,90 Cm WEIGHT OF HAMMER : 63,9 Kg HEIGHT POS. OF HAMMER : 75,0 Cm											
										DATE COMMENCED : 18--10-2024 DATE COMPLETED : 21--10-2024 GEOLOGIST : GEOTECHNICAL ENGINEER : DRILLING MASTER : Dudi WEATHER : Panas											
BORING MACHINE																					
DATE	DEPTH (m)	CASING	G.W.L (m)	UNIT	CORE RECOVERY (%)	BORE PROFILE	CORE DESCRIPTIONS	SPT TEST	SAMPLE	SPT & N' VALUE (15 15 15) cm				STANDARD PENETRATION TEST NUMBER OF BLOWS						REMARKS	
										N1	N2	N3	N2+N3	UNCONFINE COMP. TEST COMPRESSION STRENGTH							
										15	15	15									
18/10/2024	0													10	20	30	40	50	60		
	1																				
	2							SPT 1		1	1	2	3								
	3						Lanau Pasir Halus Kulit Kerang Warna Coklat ke Abu-abuan Sipat Rendah														
	4							SPT 2		1	1	2	3								
	5																				
19/10/2024	6							SPT 3		1	2	3	5								
	7																				
	8							SPT 4		3	2	5	7								
	9																				
	10						Pasir Kasar sedikit Lempungan Batu Karang Warna Abu- abu Sipat Sedang sampai Rendah	SPT 5		5	5	8	13								
	11																				
20/10/2024	12							SPT 6		5	10	16	26								
	13																				
	14							SPT 7		7	15	20	35								
	15																				
	16							SPT 8		10	14	25	39								
	17																				
21/10/2024	18						Pasir Kasar Batu Karang Warna Abu- abu Sipat Lepas	SPT 9		10	20	27	47								
	19																				
	20							SPT 10		12	22	29	51								

PT. KARYA CIPTA MADANI		BORING LOG																		
PROJECT : Penyusunan Studi Survei Investigasi dan Desain (SID) Fasilitas Pelabuhan Laut Sofyanin Provinsi Maluku LOCATION : Pelabuhan Sofyanin BOREHOLE NUMBER : BH-05 DRILLING TYPE MACHINE : YBM 02 DATE COMMENCED : 22 - 11 - 24 COORDINATE X : 7° 1' 45.86" S CORE TYPE : Single DATE COMPLETED : 26 - 11 - 24 (UTM WGS 84) Y : 131° 56' 54.05" E CORE DIAMETER (UDS) : 6,35 Cm GEOLOGIST : GROUND ELEVATION : 3 Meter CASING DIAMETER : 8,90 Cm GEOTECHNICAL ENGINEER : METHOD OF SAMPLE : Rotary Drill WEIGHT OF HAMMER : 63,5 Kg DRILLING MASTER : Agus TOTAL DEPTH : 30 Meter HEIGHT POS. OF HAMMER : 60 < 69 WEATHER : Panas																				
BORING MACHINE																				
DATE	DEPTH (m)	CASING	G.W.L (m)	UNIT	CORE RECOVERY (%)	BORE PROFILE	CORE DESCRIPTIONS	SPT TEST	SAMPLE	SPT & N' VALUE (15 15 15) cm			STANDARD PENETRATION TEST NUMBER OF BLOWS						REMARKS	
										N1	N2	N3	N2+N3	UNCONFINED COMP. TEST COMPRESSIVE STRENGTH						
										15	15	15		10	20	30	40	50	60	
22 / 11 / 2024	0																			
	1																			
	2							SPT		1	1	2	3							
	3																			
	4							SPT		1	4	8	12							
	5																			
	6							SPT		5	10	18	28							
	7																			
23 / 11 / 2024	8							SPT		5	12	27	39							
	9																			
	10							SPT		7	10	27	37							
	11																			
	12							SPT		9	18	25	43							
	13																			
	14							SPT		10	15	20	35							
	15							SPT		9	11	13	24							
25 / 11 / 2024	16																			
	17																			
	18							SPT		15	23	29	52							
	19																			
	20							SPT		18	20	32	52							
	21																			
	22							SPT		15	25	30	55							
	23																			
26 / 11 / 2024	24							SPT		15	29	35	>60							
	25																			
	26							SPT		23	38	55	>60							
	27																			
	28							SPT		20	45	55	>60							
	29																			
	30							SPT		32	55	55	>60							

C.2 DATA SONDİR

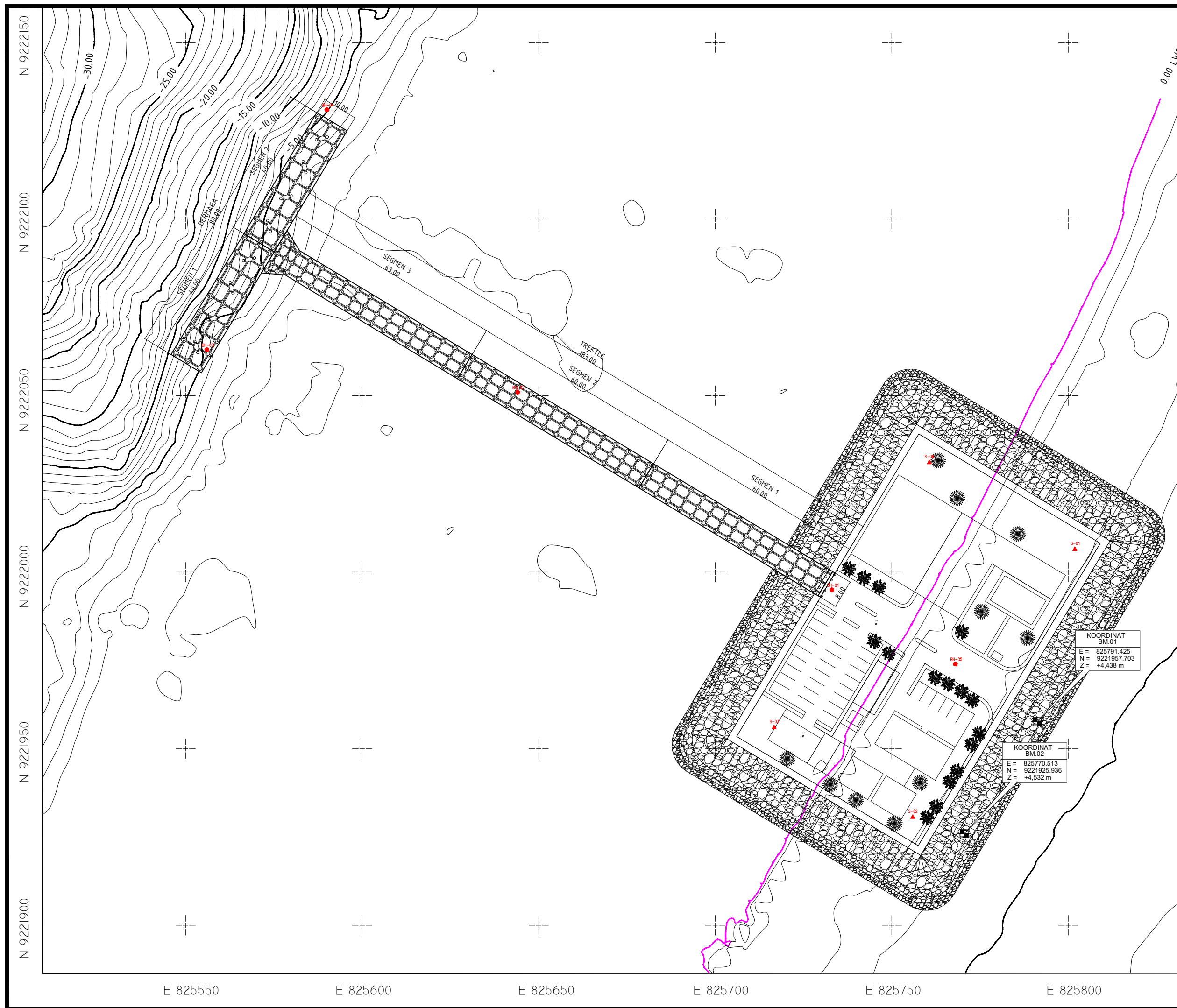
[illegible]

[illegible]

LAMPIRAN-D
ALBUM GAMBAR

ALBUM GAMBAR

PERENCANAAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN



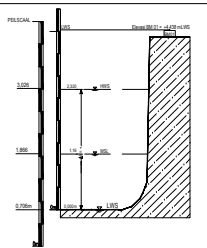
KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

LEGENDA



DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

LAYOUT
PELABUHAN SOFYANIN

Digambar : Windi Febriani

NPM	: 4122321110011
-----	-----------------

Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

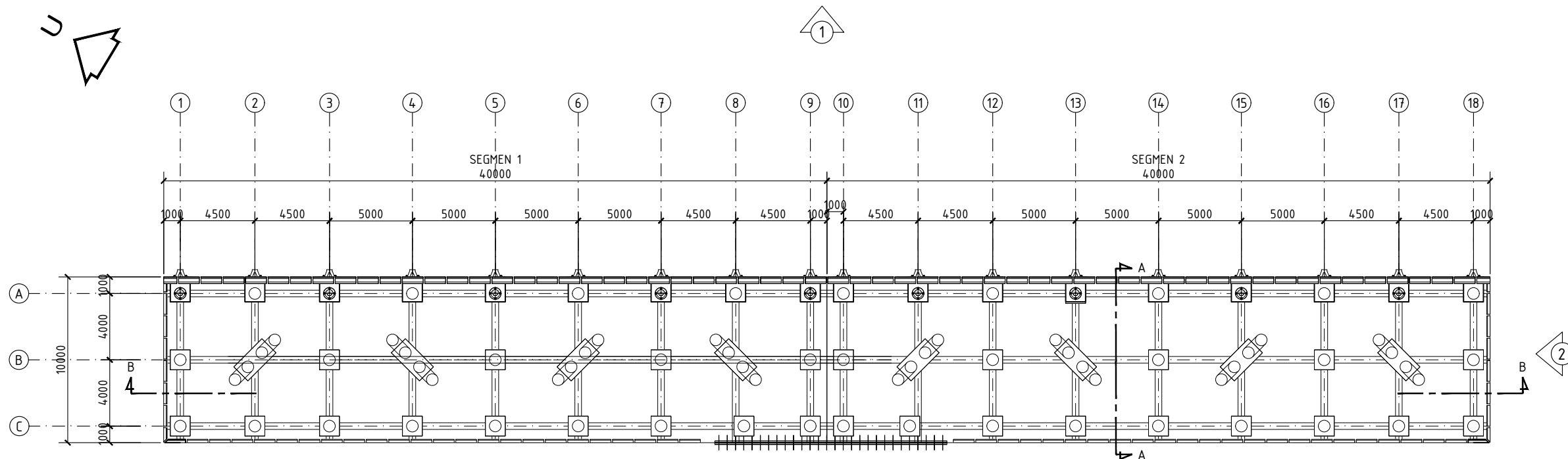
SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
-------	------------	-----------

1 : 1000 (A3)		01
---------------	--	----

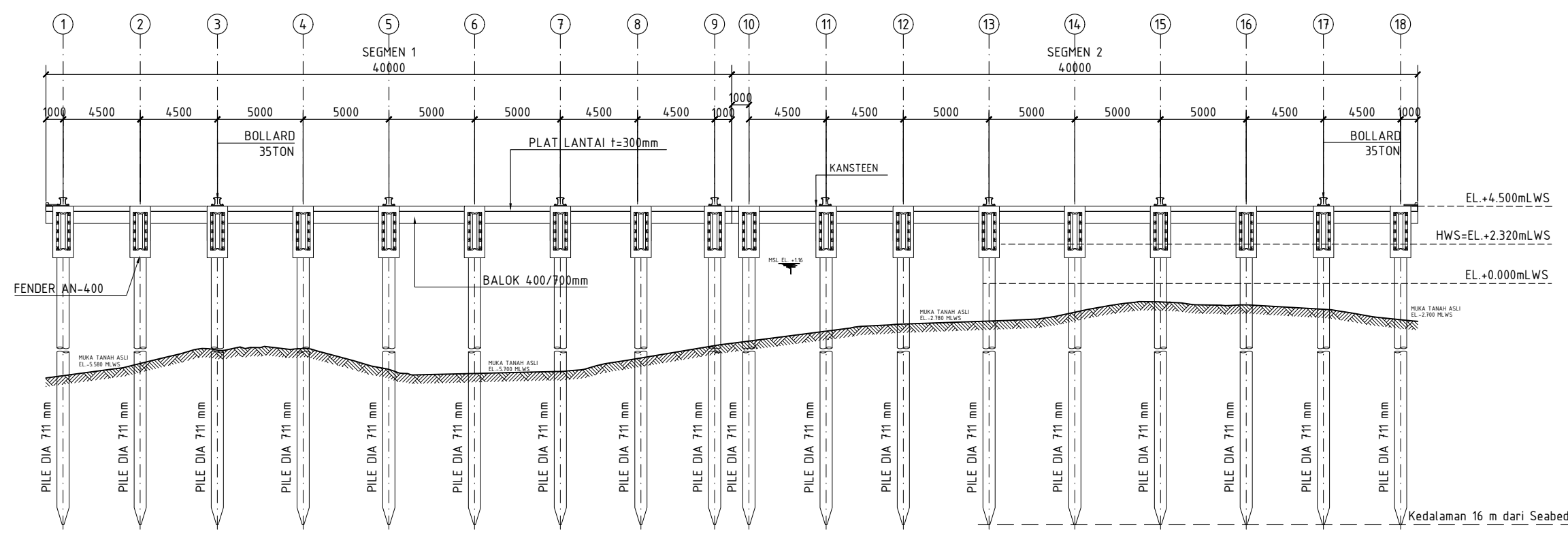
TGL:	GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN- 01
------	-------------------------------

DERMAGA

PERENCANAAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN



DENAH DERMAGA
SKALA 1 : 300

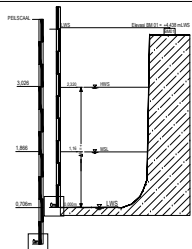


TAMPAK DEPAN DERMAGA (TAMPAK-1)
SKALA 1 : 300

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

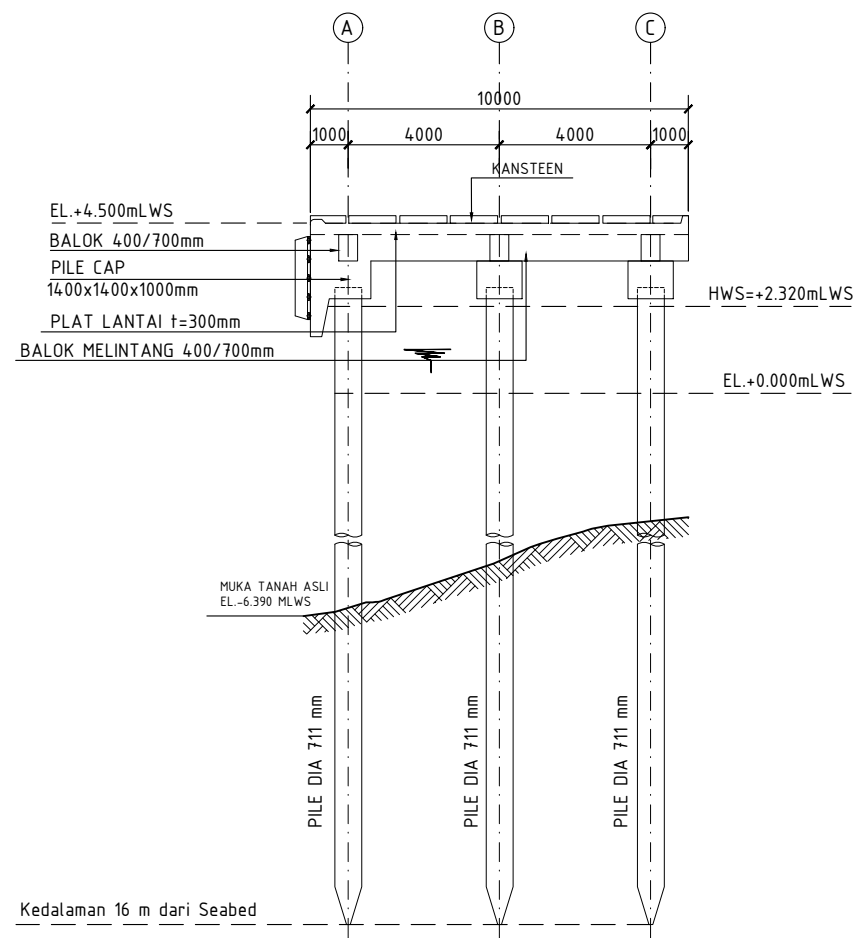
LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

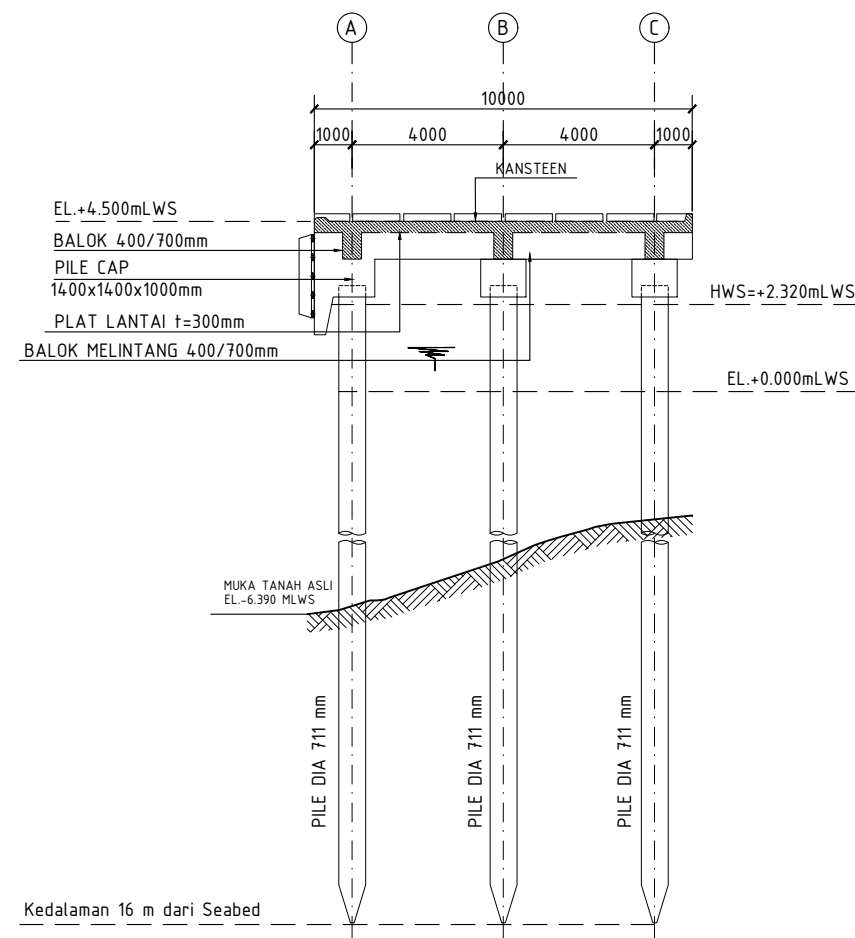
GAMBAR :

DENAH DAN TAMPAK
DERMAGA

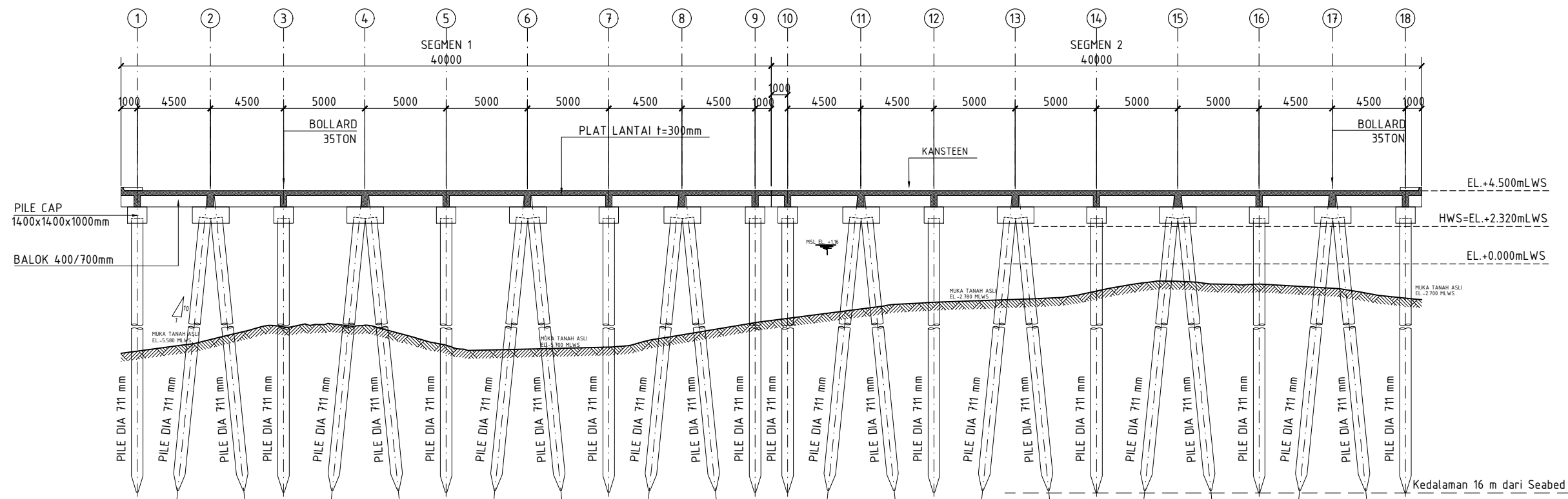
Digambar	: Windi Febriani	
NPM	: 4122321110011	
Prodi	: Teknik Sipil	
Dosen Pembimbing	: Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.	
SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 300 (A3)		02
TGL:	GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-02	



TAMPAK SAMPING DERMAGA (2)
SKALA 1 : 200



POTONGAN A - A
SKALA 1 : 200

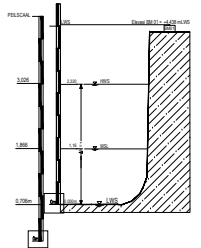


POTONGAN B - B
SKALA 1 : 200

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

TAMPAK DAN POTONGAN
DERMAGA

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

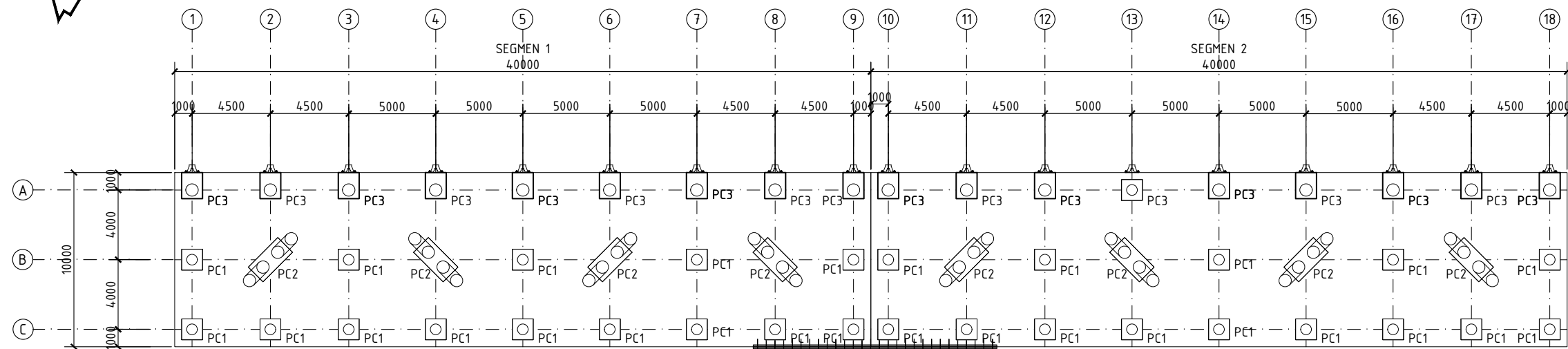
Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

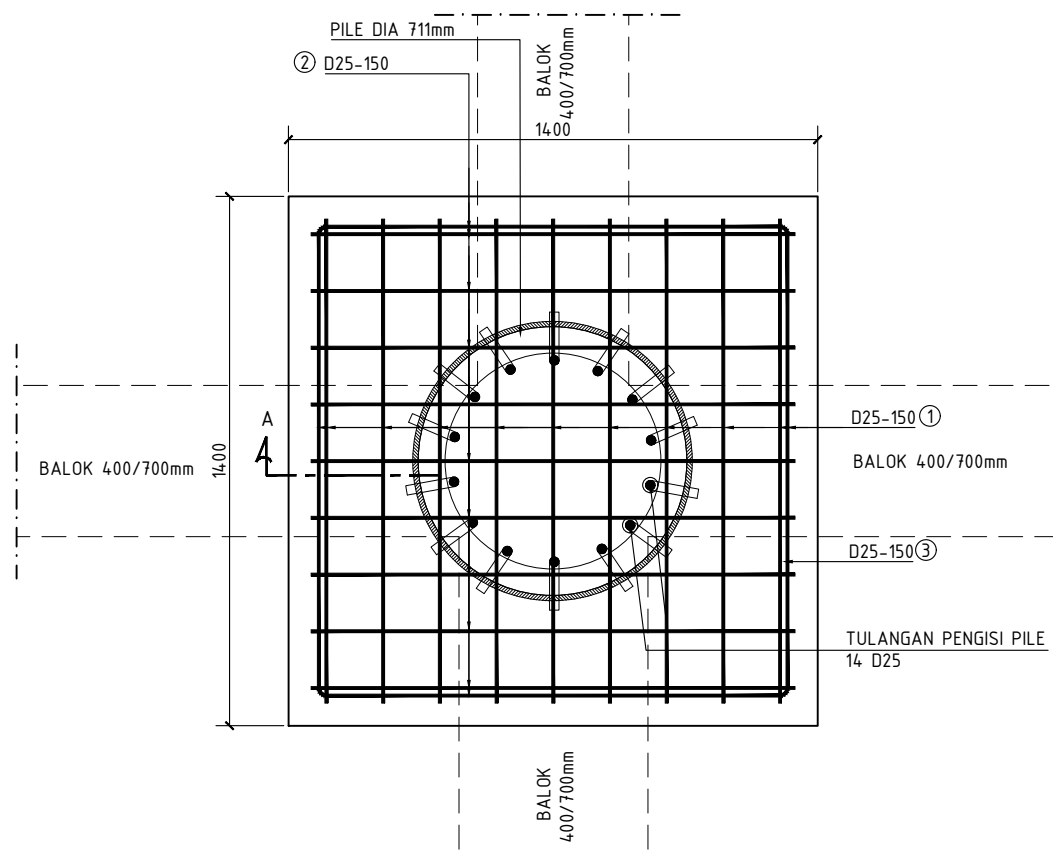
SKALA JML LEMBAR NO LEMBAR

1 : 200 (A3) 03

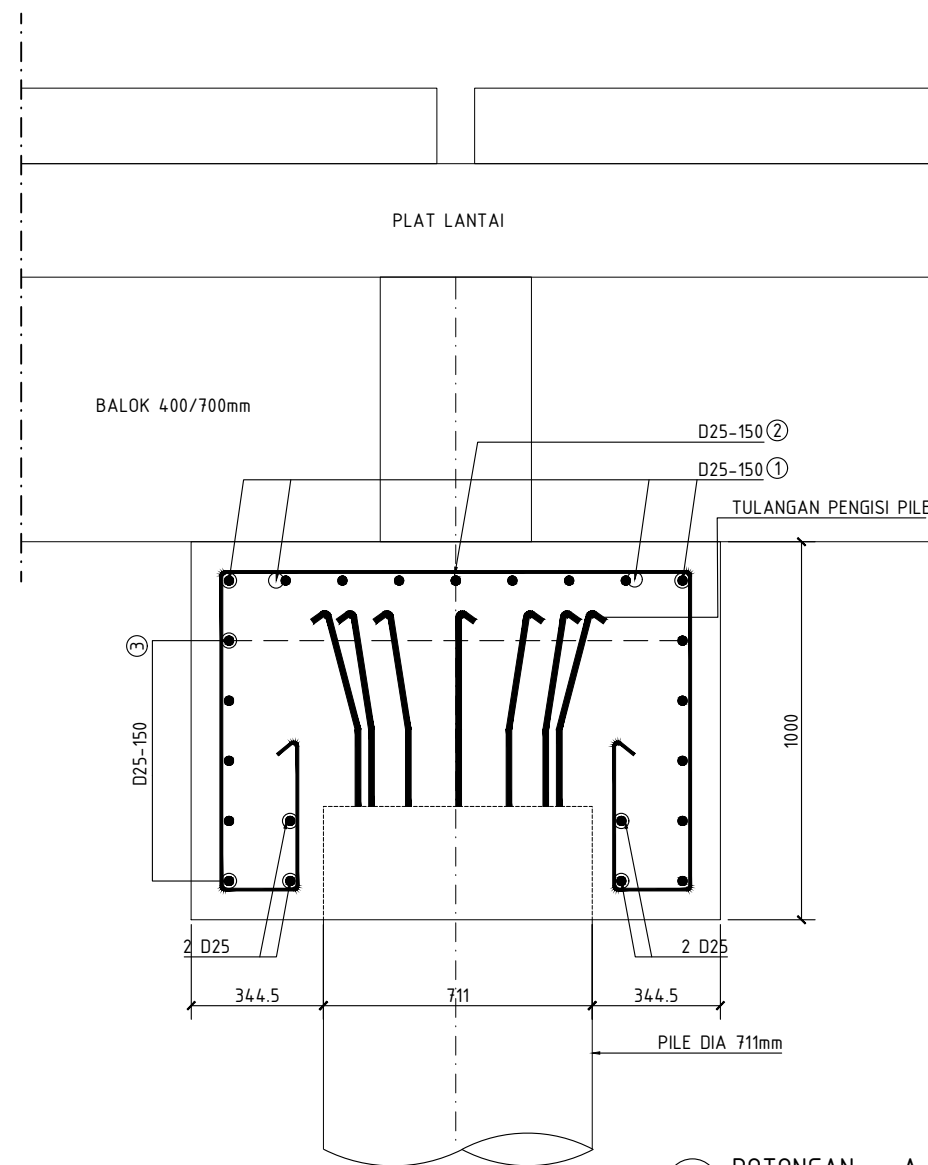
TGL: GAMBAR NO:
TA-DWG-SFYN-03



DENAH PILE CAP DERMAGA
SKALA 1 : 300



DETAIL PILECAP 1 (PC1)
SKALA 1 : 20

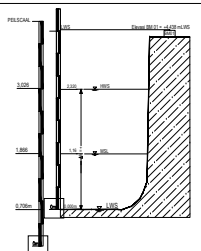


POTONGAN - A
SKALA 1 : 20

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DENAH DAN DETAIL PILE CAP (PC1)
DERMAGA

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

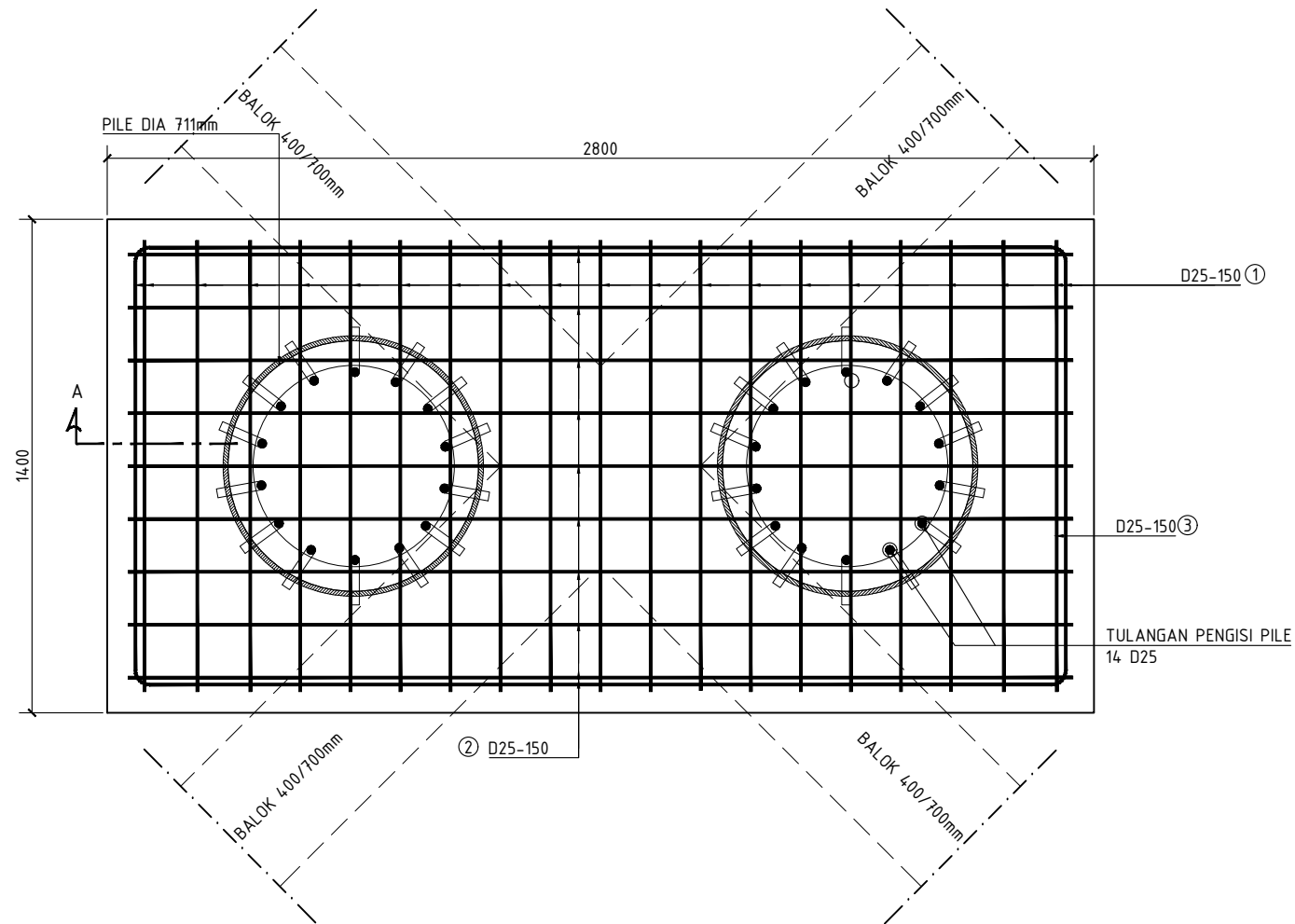
Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

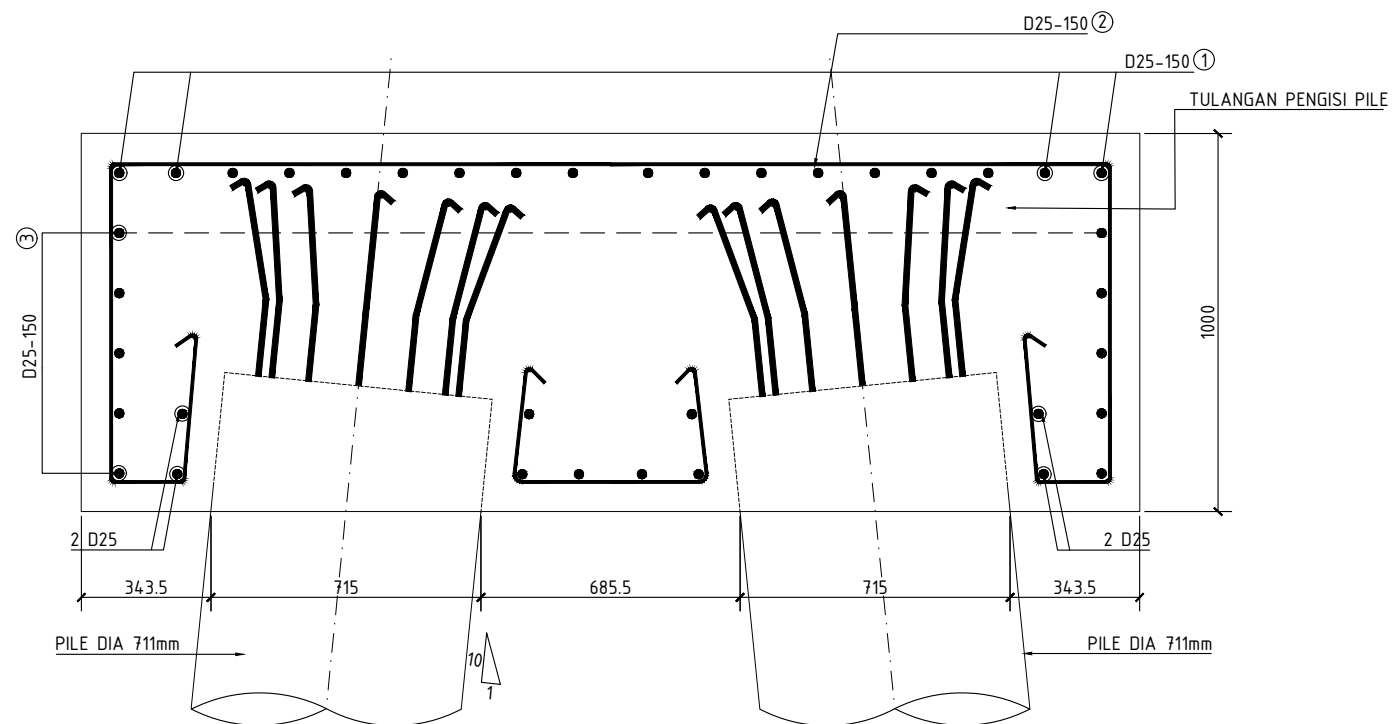
SKALA JML LEMBAR NO LEMBAR

1 : 300, 1 : 20 (A3) 04

TGL: GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN- 04



DETAIL PILECAP 2 (PC2)
SKALA 1 : 20

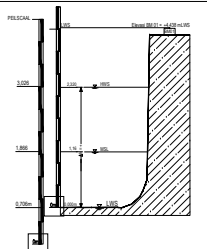


POTONGAN - A
SKALA 1 : 20

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

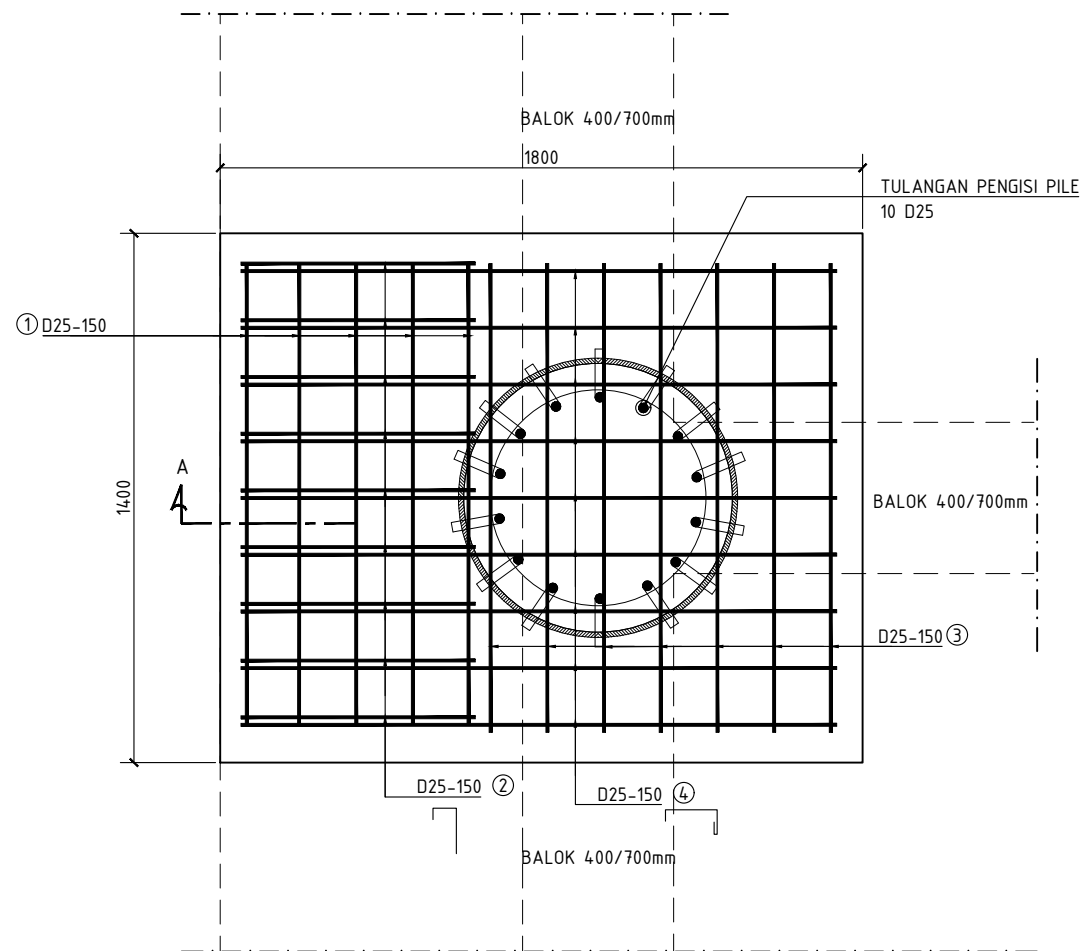
GAMBAR :

DETAIL PILE CAP (PC2)
DERMAGA

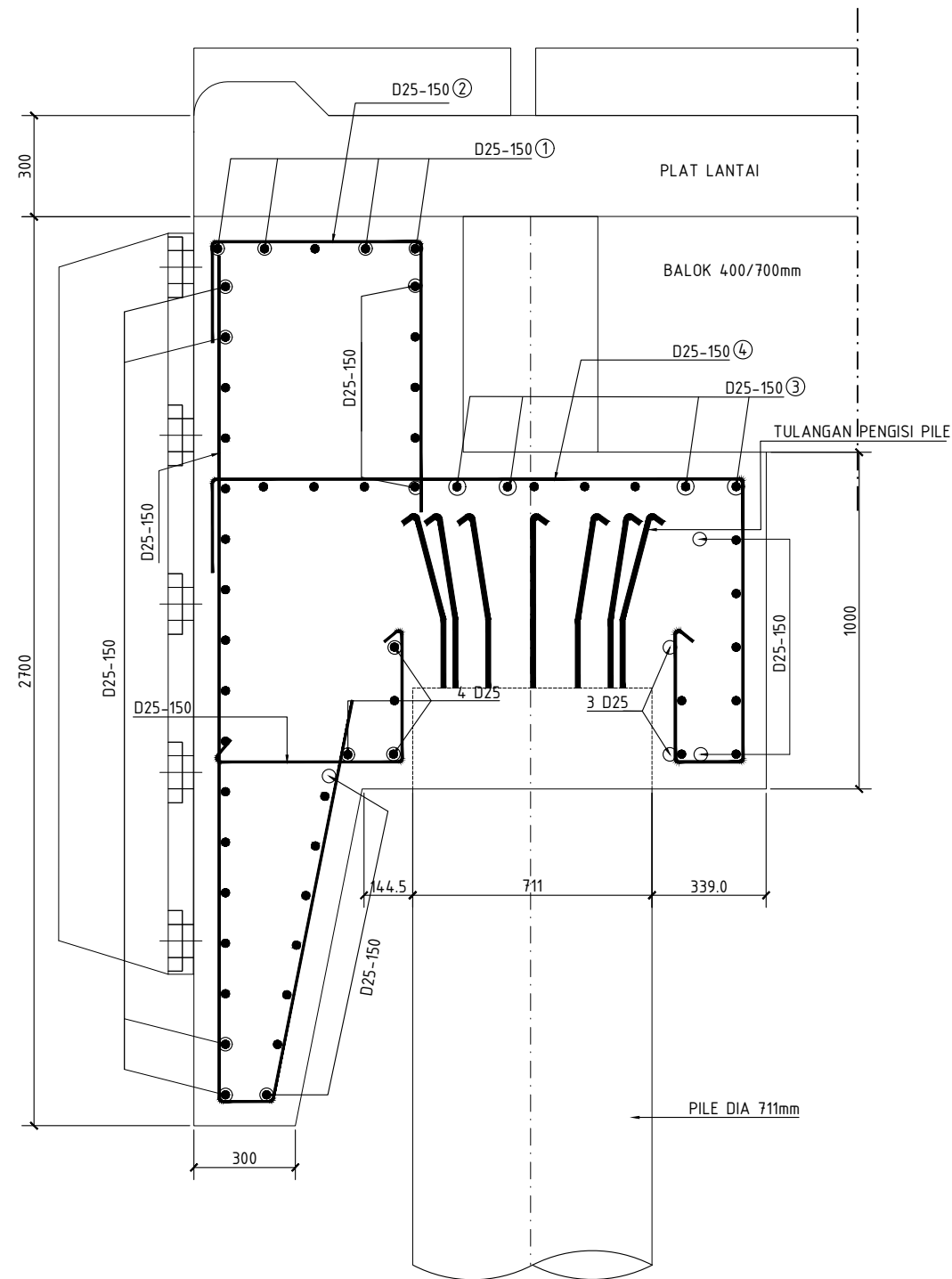
Digambar : Windi Febriani
NPM : 4122321110011
Prodi : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 20 (A3)		05

TGL:	GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-05
------	------------------------------



DETAIL PILECAP 3 (PC3)
SKALA 1 : 20

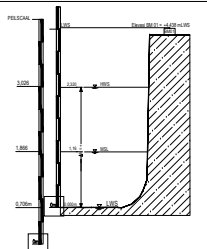


POTONGAN - A
SKALA 1 : 20

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DETAIL PILE CAP (PC3)
DERMAGA

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA

JML LEMBAR

NO LEMBAR

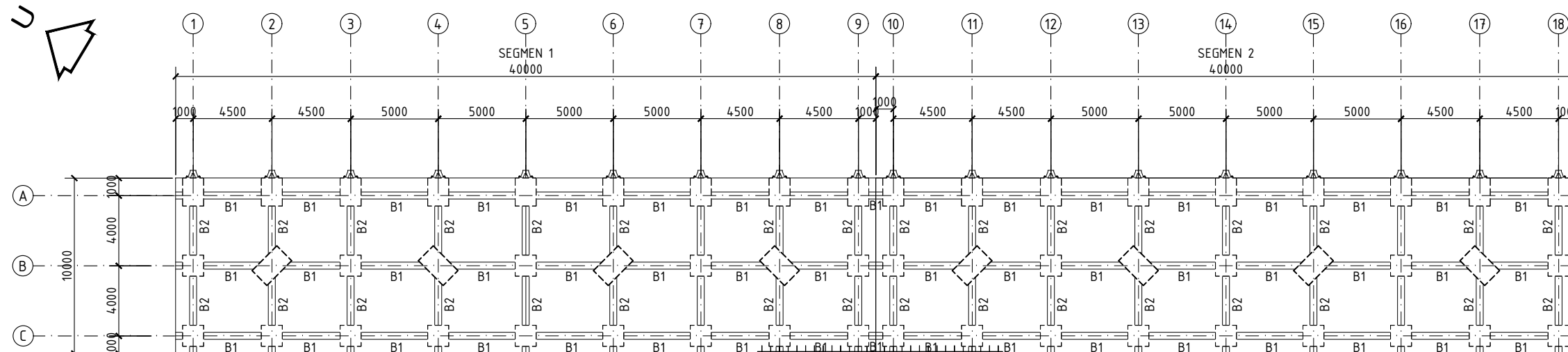
1 : 20 (A3)

06

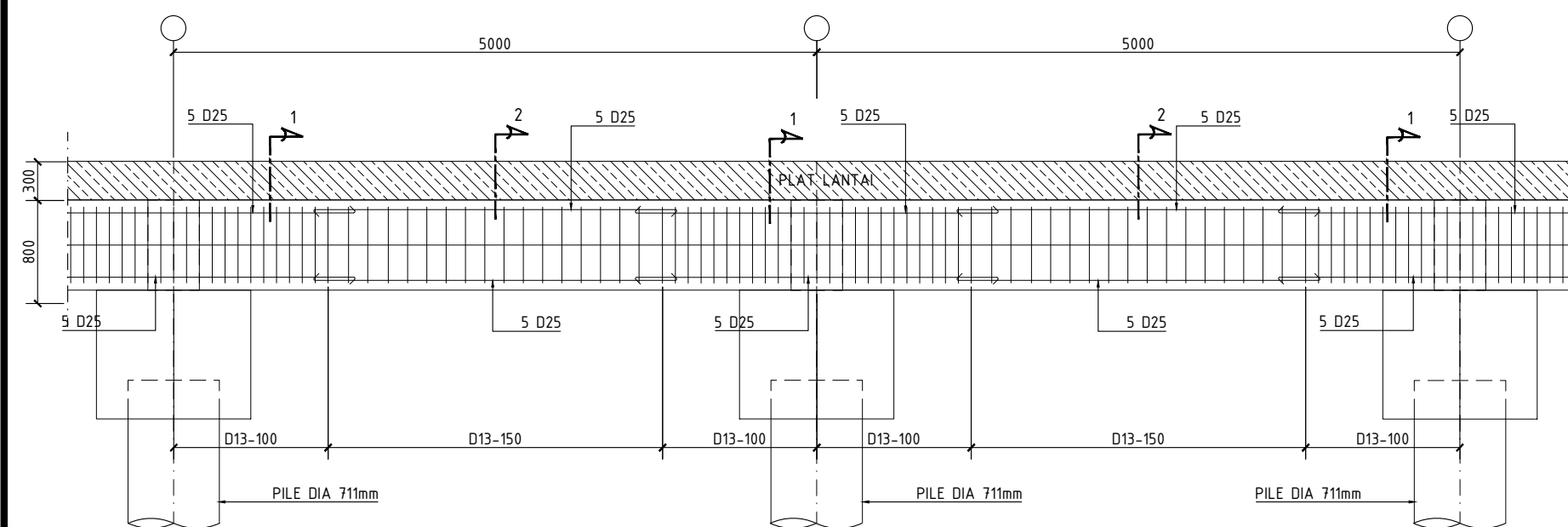
TGL:

GAMBAR NO:

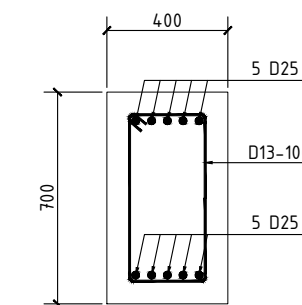
TA-DWG-SFYN-06



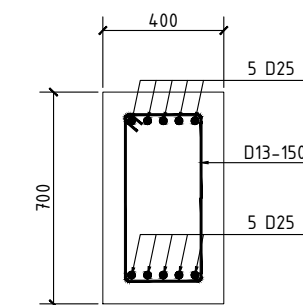
DENAH BALOK DERMAGA
SKALA 1 : 300



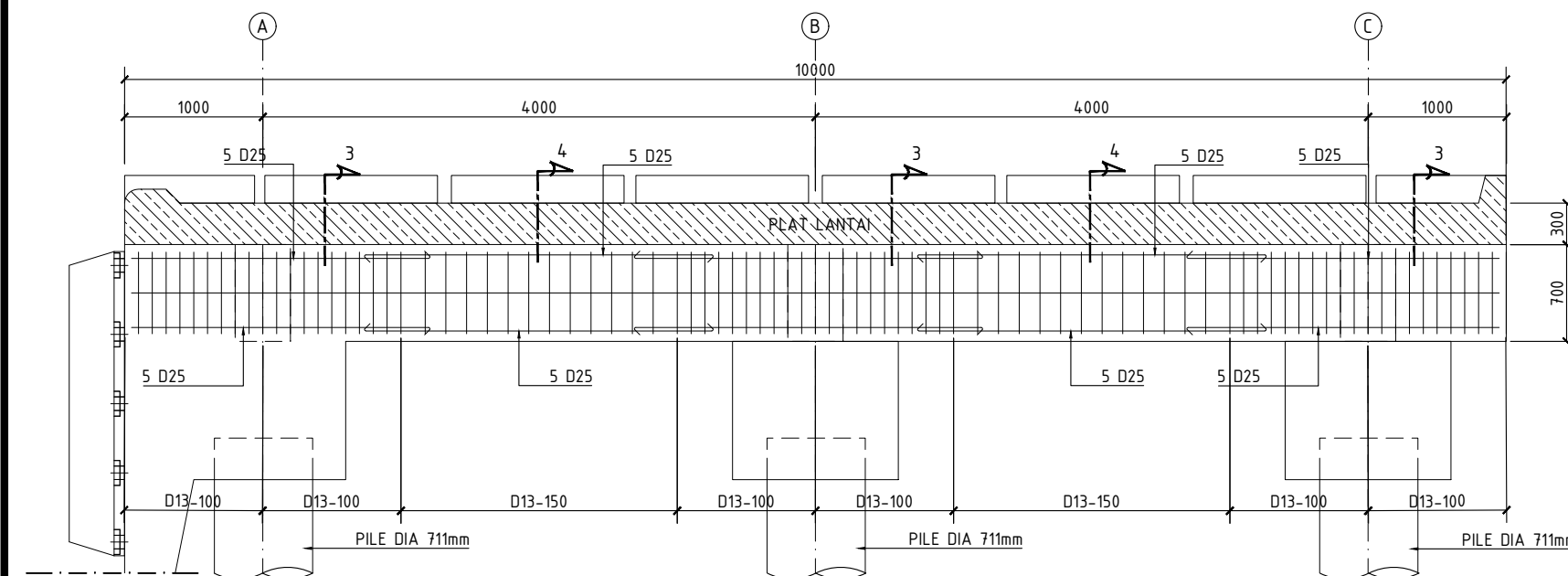
DETAIL BALOK MEMANJANG DERMAGA (B1)
SKALA 1 : 50



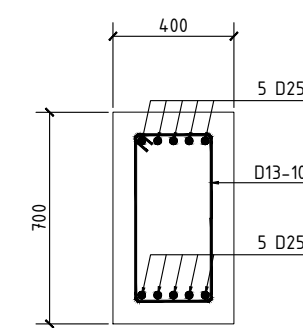
POTONGAN - 1
SKALA 1 : 25



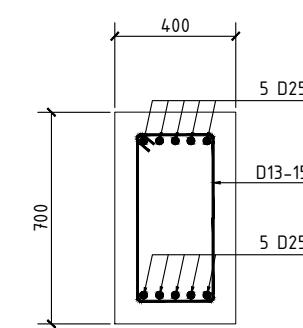
POTONGAN - 2
SKALA 1 : 25



DETAIL BALOK MELINTANG DERMAGA (B2)
SKALA 1 : 50



POTONGAN - 3
SKALA 1 : 25

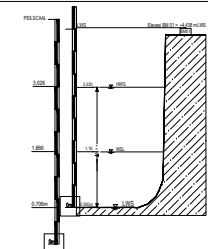


POTONGAN - 4
SKALA 1 : 25

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

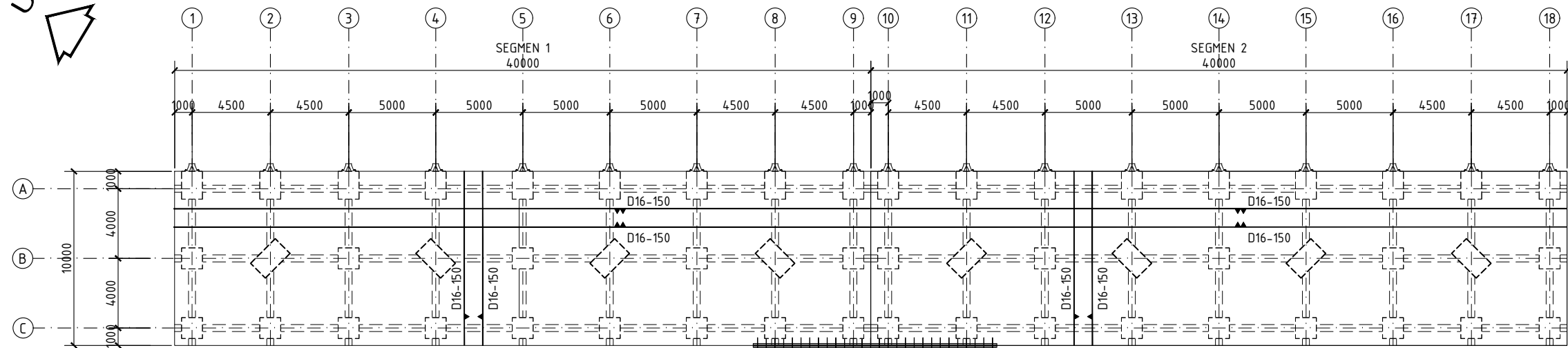
LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

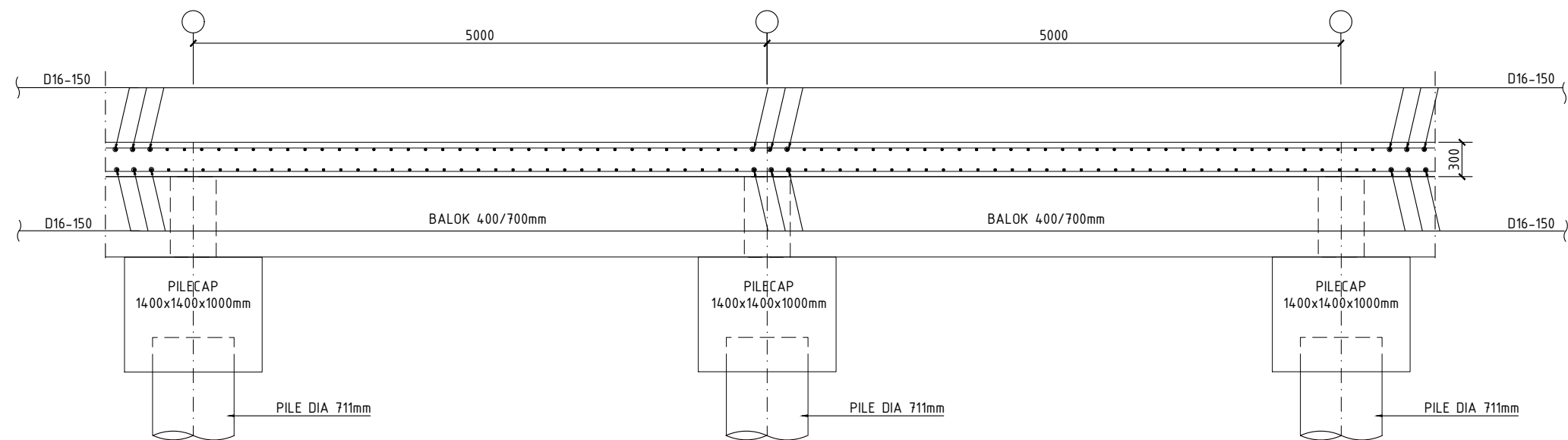
GAMBAR :

DENAH DAN DETAIL BALOK
DERMAGA

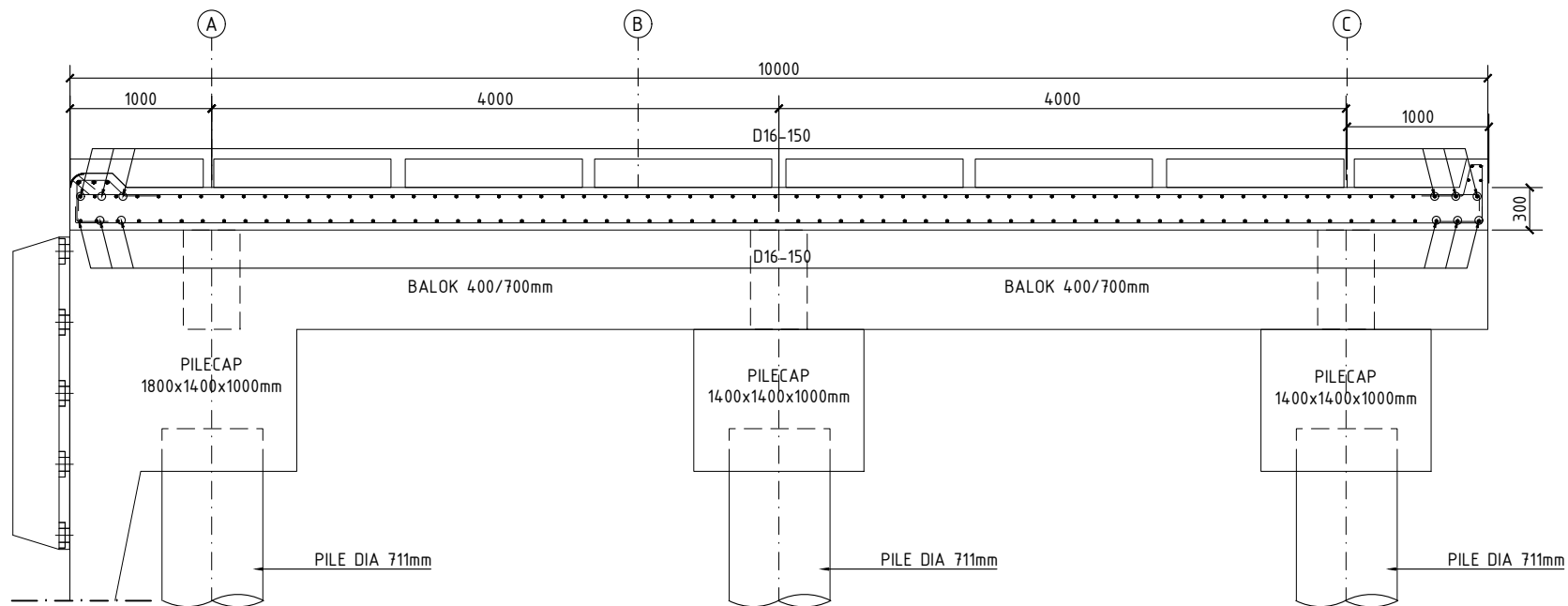
Digambar :	Windi Febriani	
NPM :	4122321110011	
Prodi :	Teknik Sipil	
Dosen Pembimbing :	Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.	
SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 300, 1 : 50, 1 : 25 (A3)		07
TGL:	GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-07	



DENAH PLAT LANTAI DERMAGA
SKALA 1 : 300



PENULANGAN MEMANJANG PLAT LANTAI DERMAGA
SKALA 1 : 50

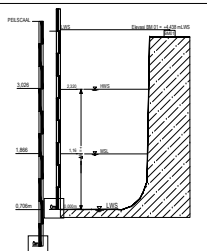


PENULANGAN MELINTANG PLAT LANTAI DERMAGA
SKALA 1 : 50

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DENAH DAN DETAIL PLAT LANTAI
DERMAGA

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

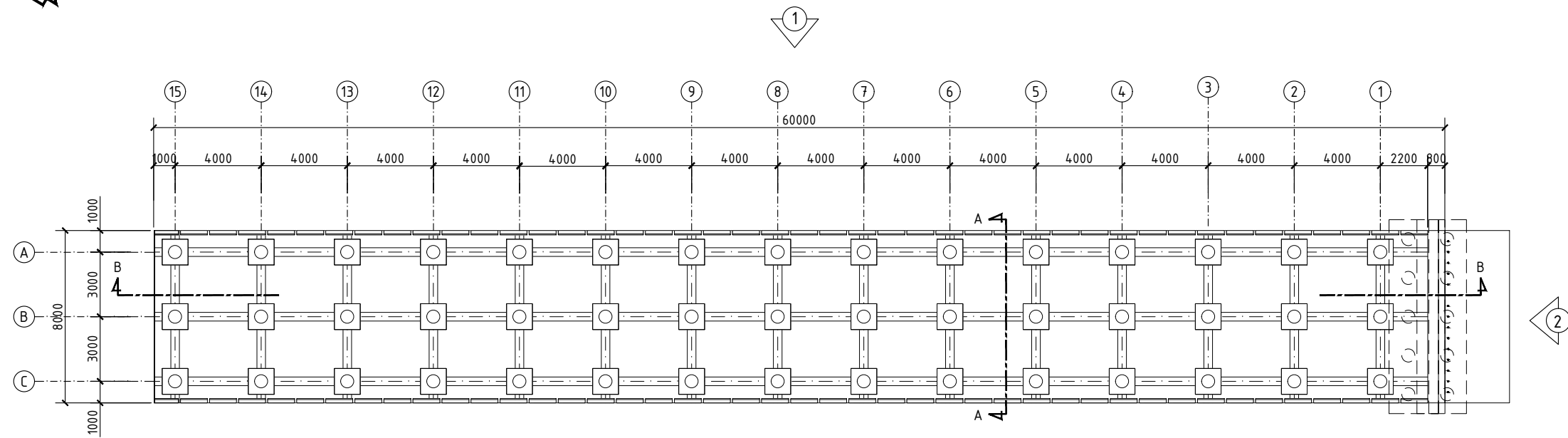
SKALA JML LEMBAR NO LEMBAR

1 : 300, 1 : 50 (A3) 08

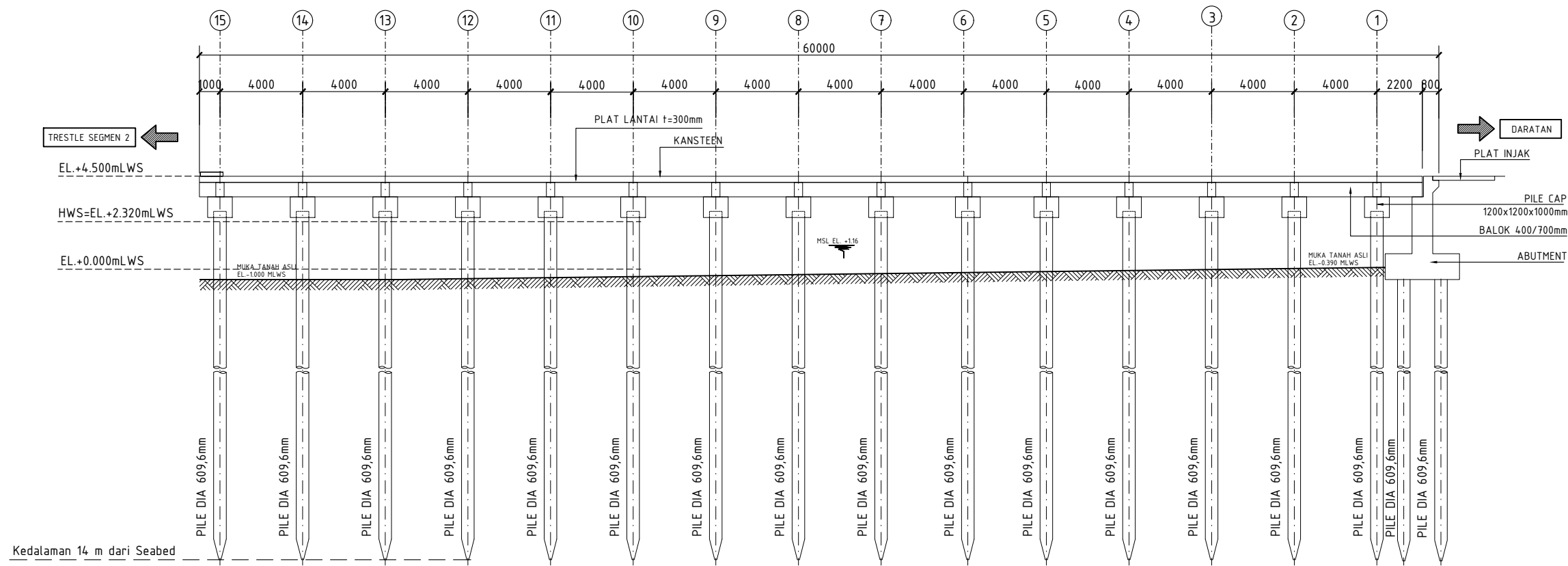
TGL: GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-08

TRESTLE

PERENCANAAN STRUKTUR DERMAGA *DECK ON PILE* PELABUHAN SOFYANIN



DENAH TRESTLE SEGMENT 1
SKALA 1 : 250

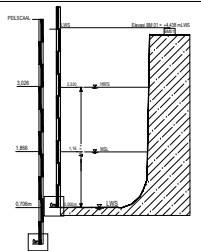


TAMPAK SAMPING TRESTLE (1)
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuanya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DENAH DAN TAMPAK TRESTLE
SEGMENT 1

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA

JML LEMBAR

NO LEMBAR

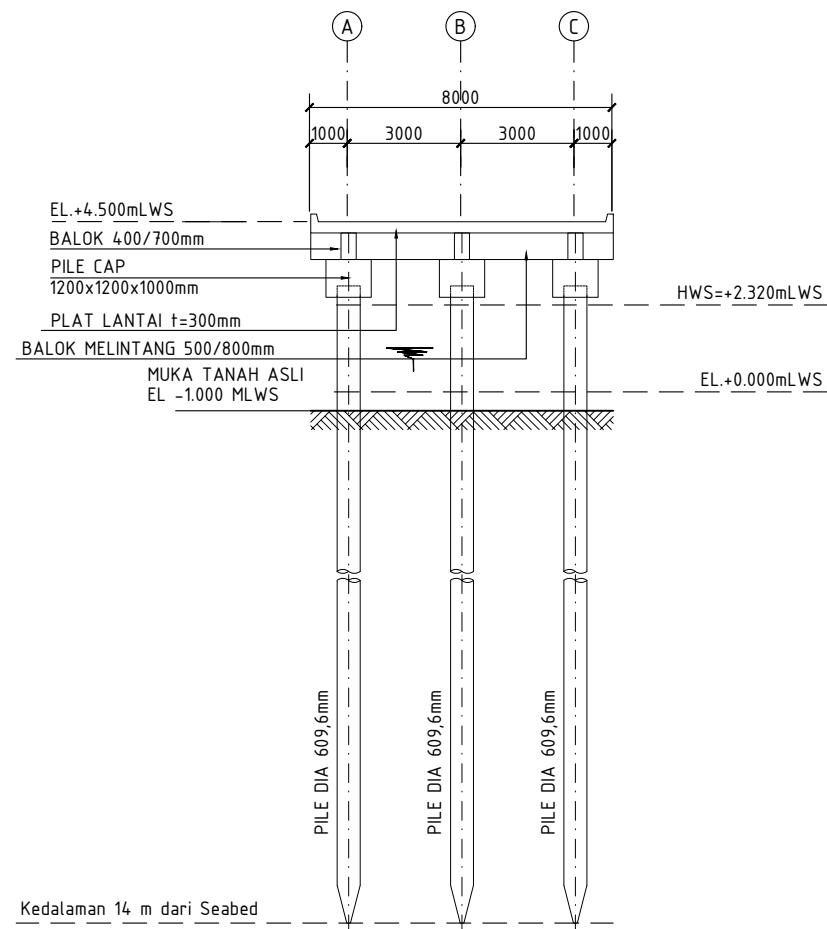
1 : 250 (A3)

09

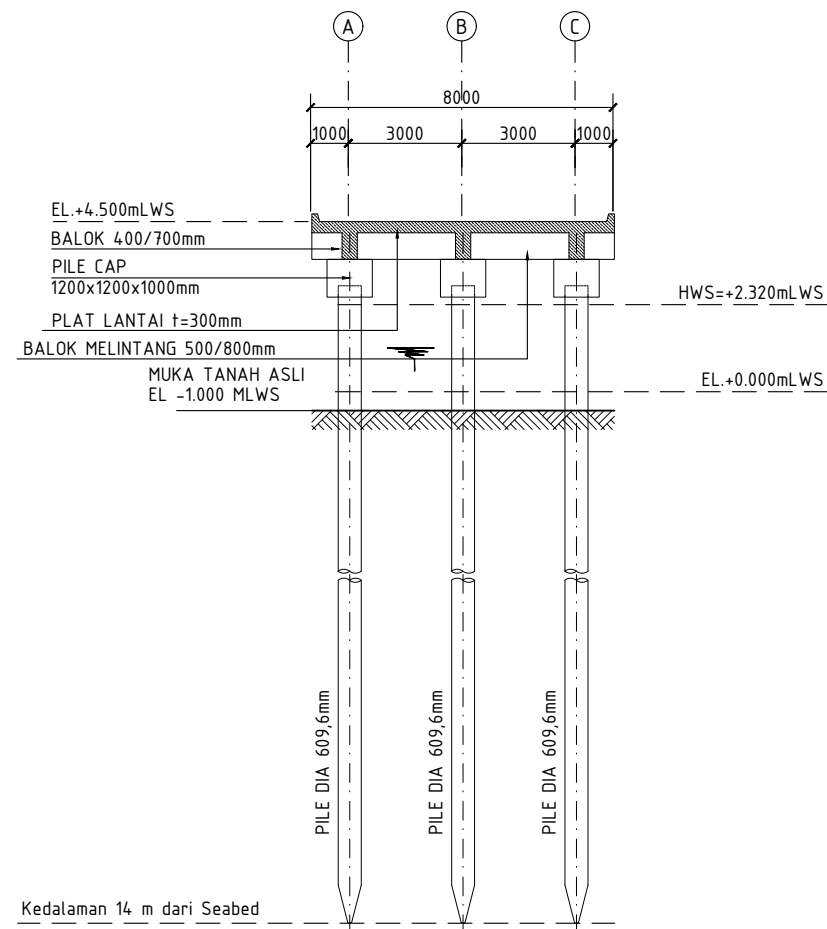
TGL:

GAMBAR NO:

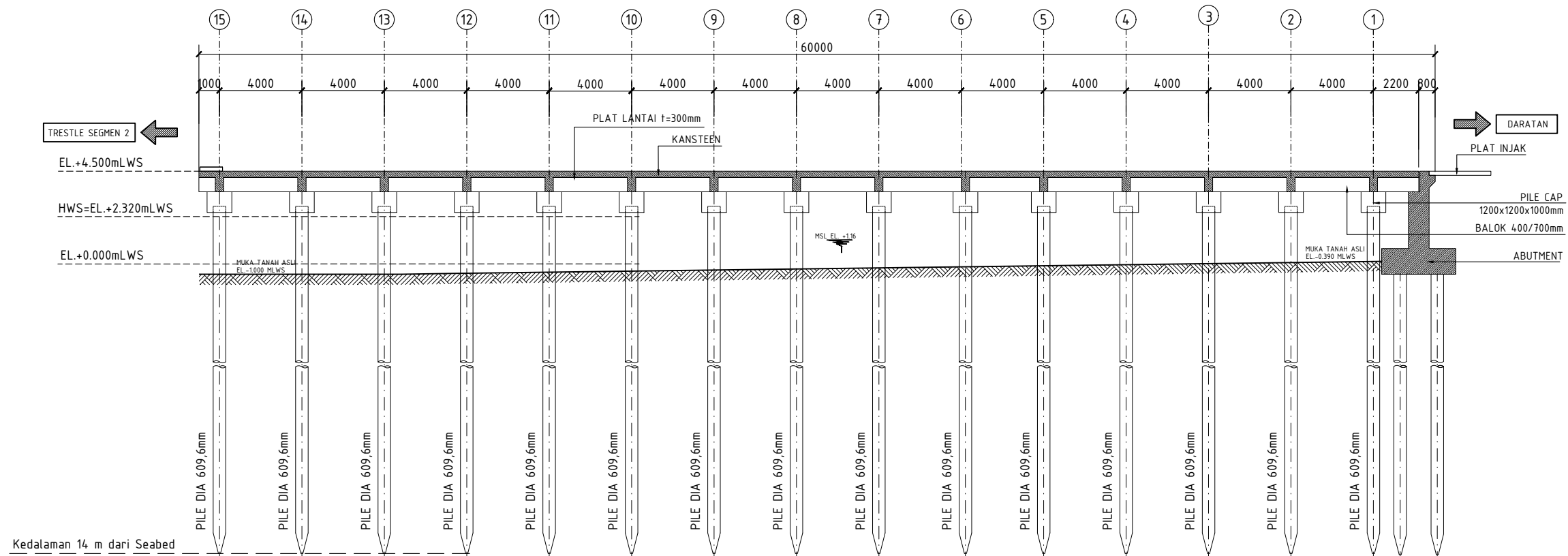
TA-DWG-SFYN- 09



TAMPAK DEPAN TRESTLE (2)
SKALA 1 : 200



POTONGAN A - A
SKALA 1 : 200

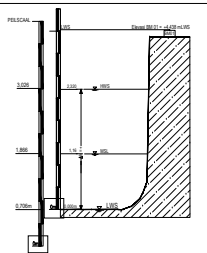


POTONGAN B - B
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

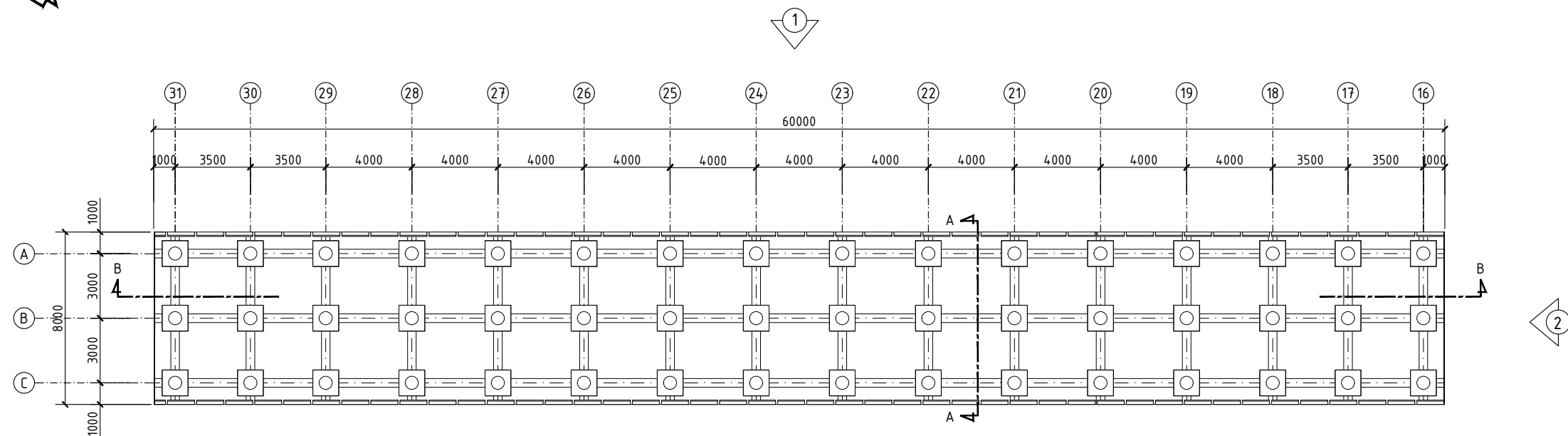
GAMBAR :

POTONGAN TRESTLE SEGMENT 1

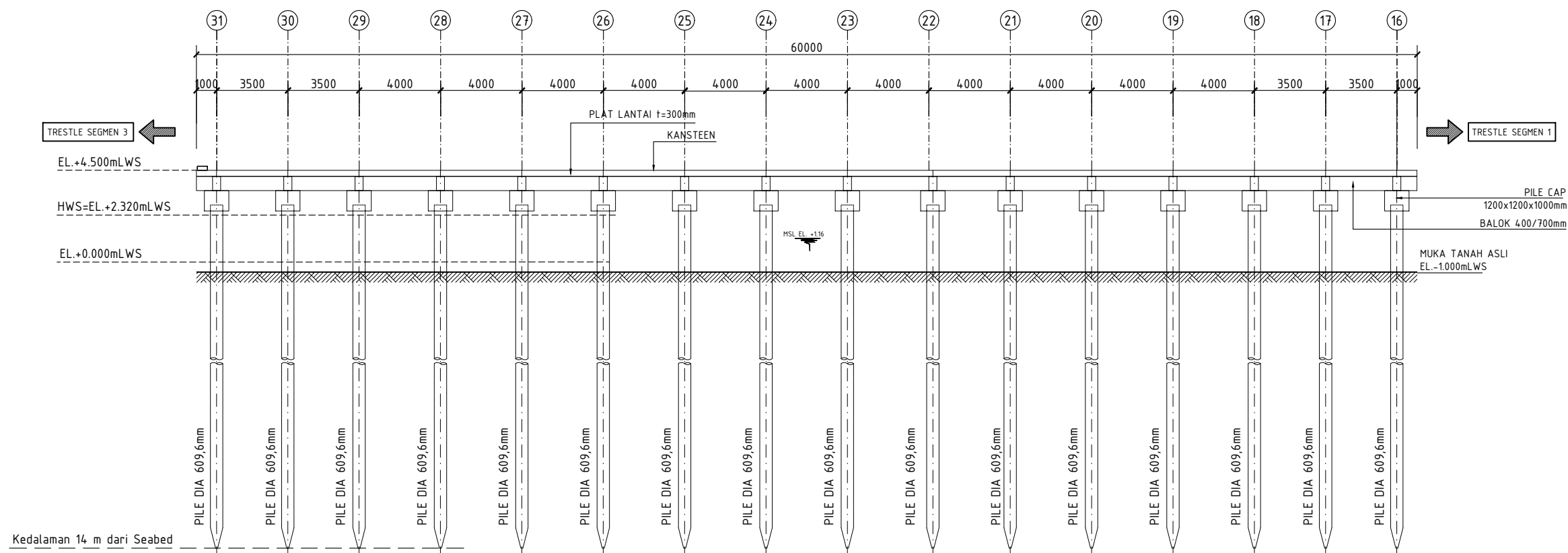
Digambar : Windi Febriani
NPM : 4122321110011
Prodi : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 250, 1 : 200 (A3)		10

TGL: GAMBAR NO:
TA-DWG-SFYN-10



DENAH TRESTLE SEGMENT 2
SKALA 1 : 250

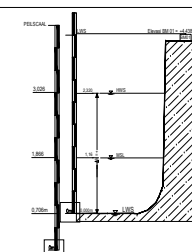


TAMPAK SAMPING TRESTLE (1)
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DENAH DAN TAMPAK TRESTLE
SEGMENT 2

Digambar : Windi Febriani

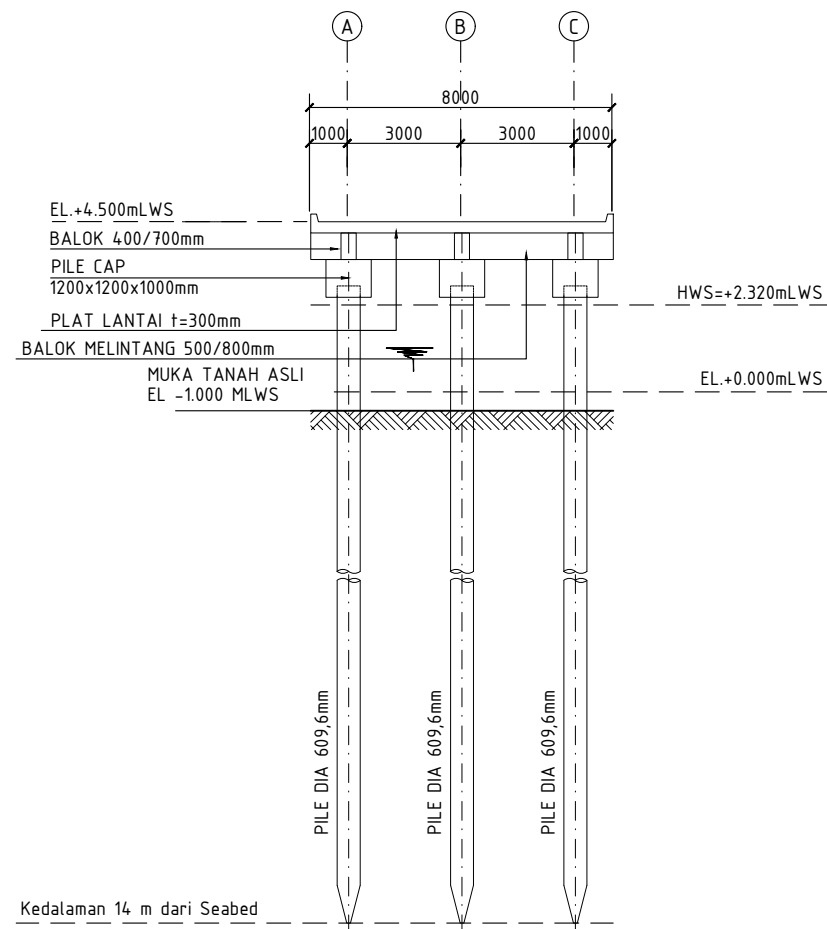
NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

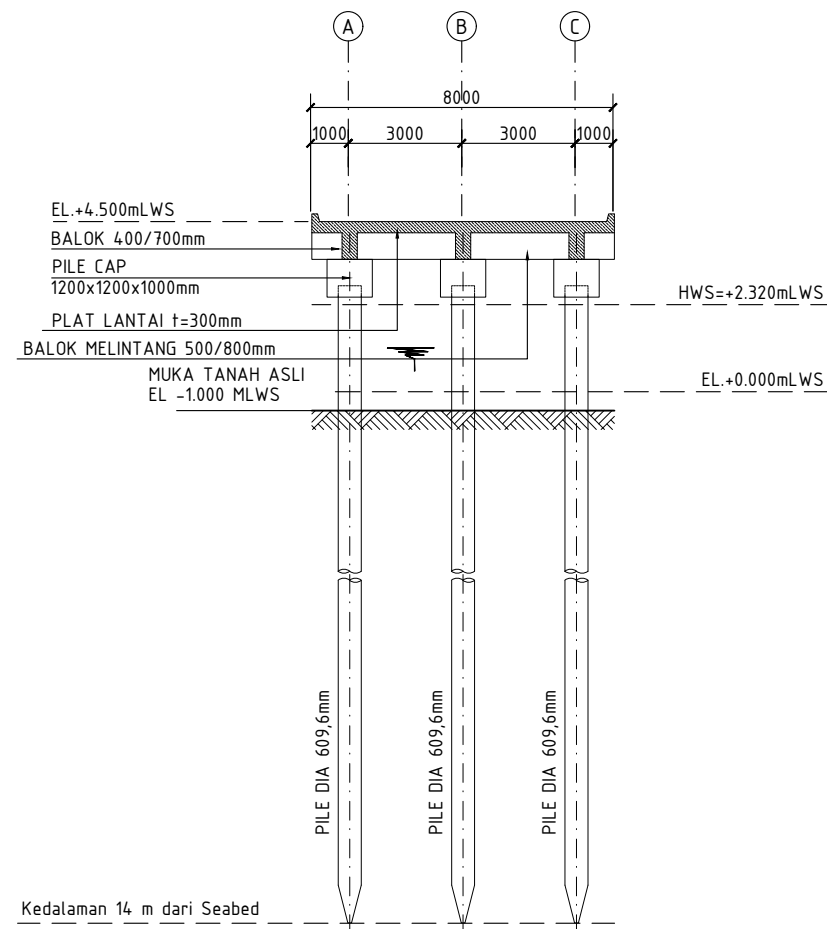
Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 250 (A3)		11

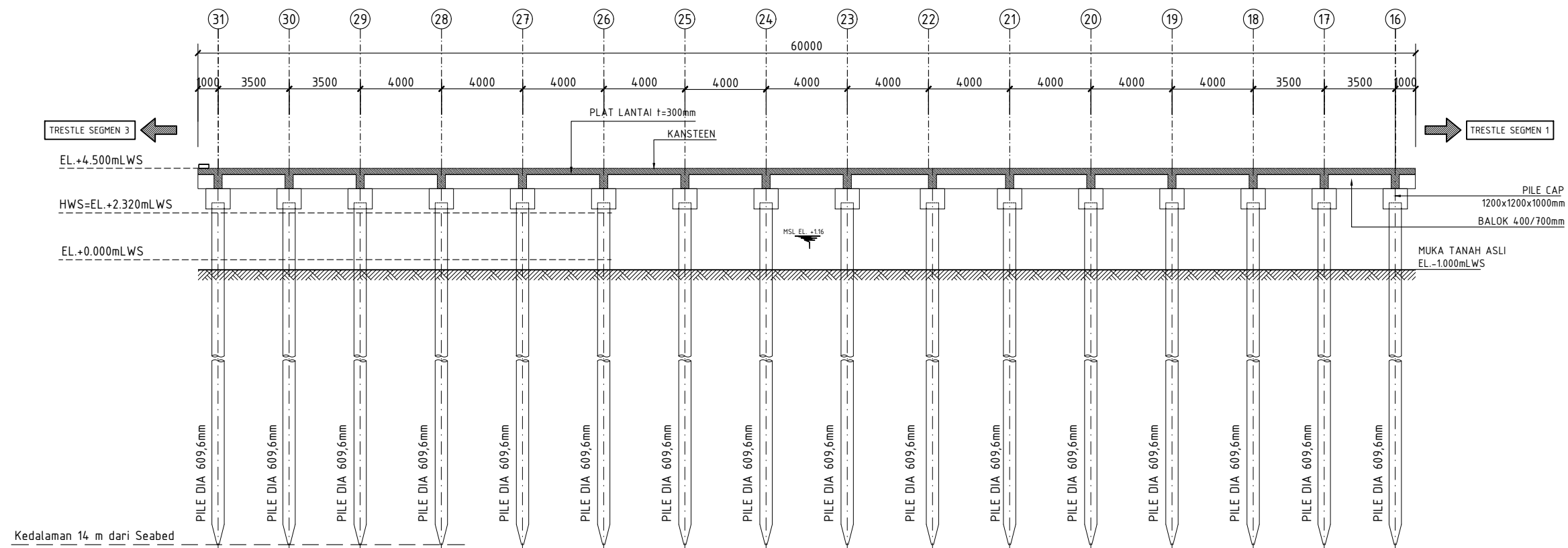
TGL: GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-11



TAMPAK DEPAN TRESTLE (2)
SKALA 1 : 200



POTONGAN A - A
SKALA 1 : 200

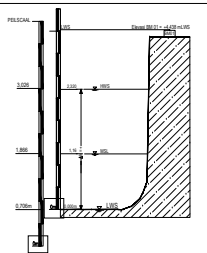


POTONGAN B - B
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

POTONGAN TRESTLE SEGMENT 2

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

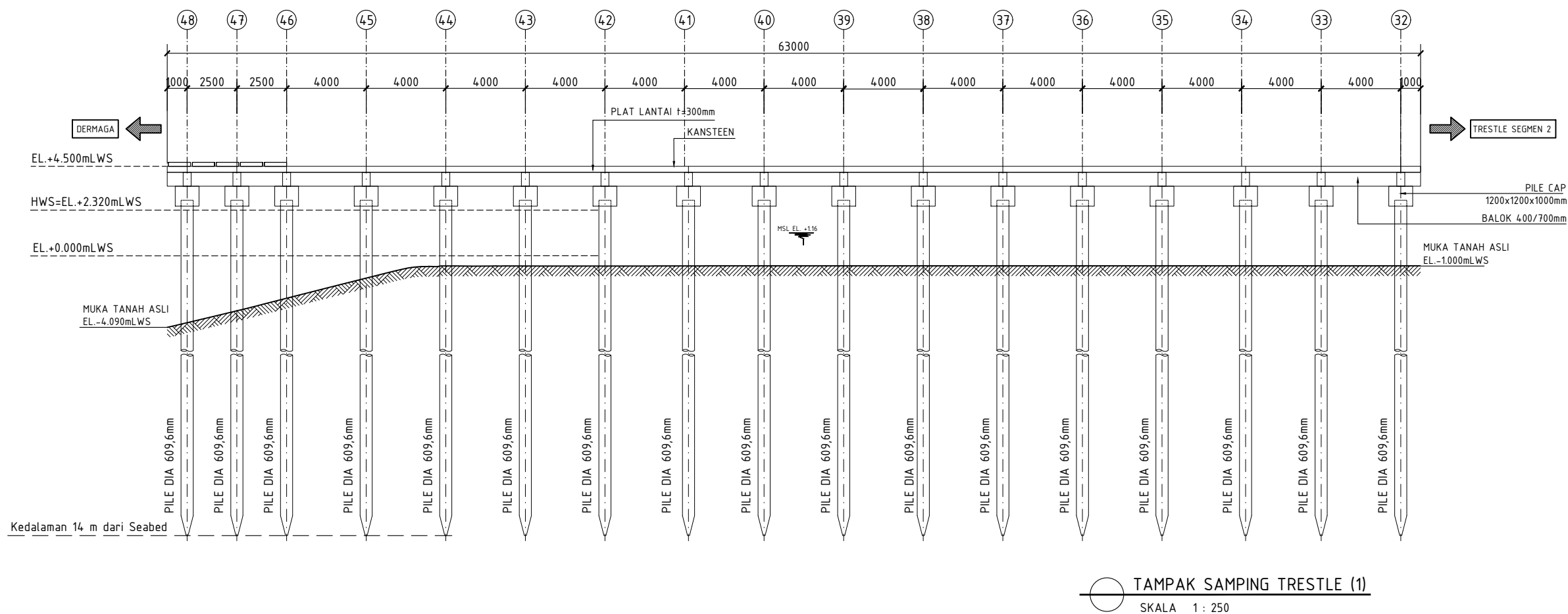
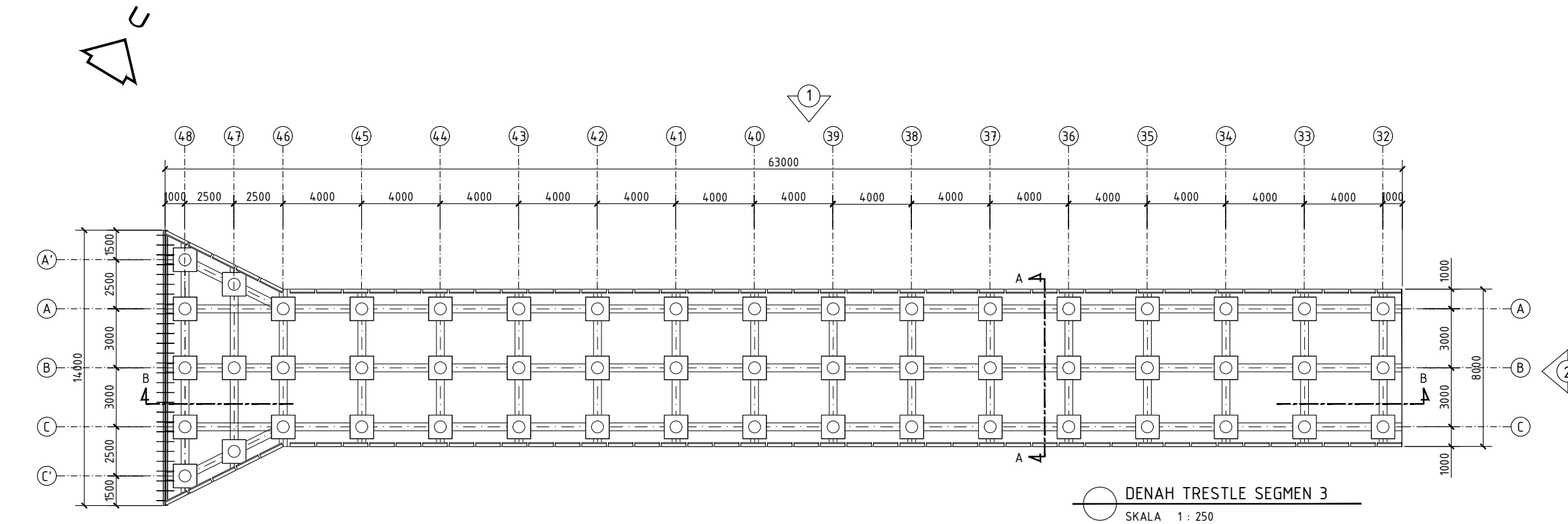
Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA JML LEMBAR NO LEMBAR

1 : 250, 1 : 200 (A3) 12

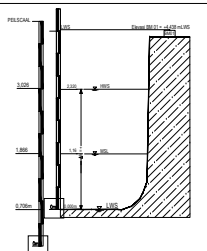
TGL: GAMBAR NO:
TA-DWG-SFYN-12



KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

**DENAH DAN TAMPAK TRESTLE
SEGMENT 3**

Digambar : Windi Febriani

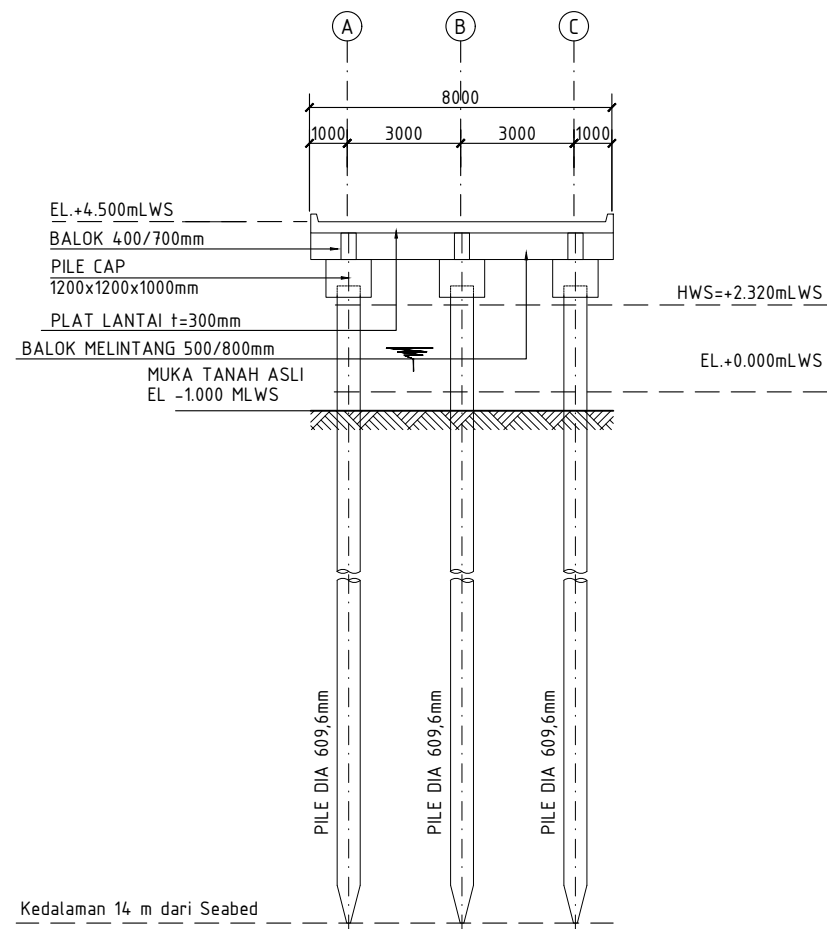
NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

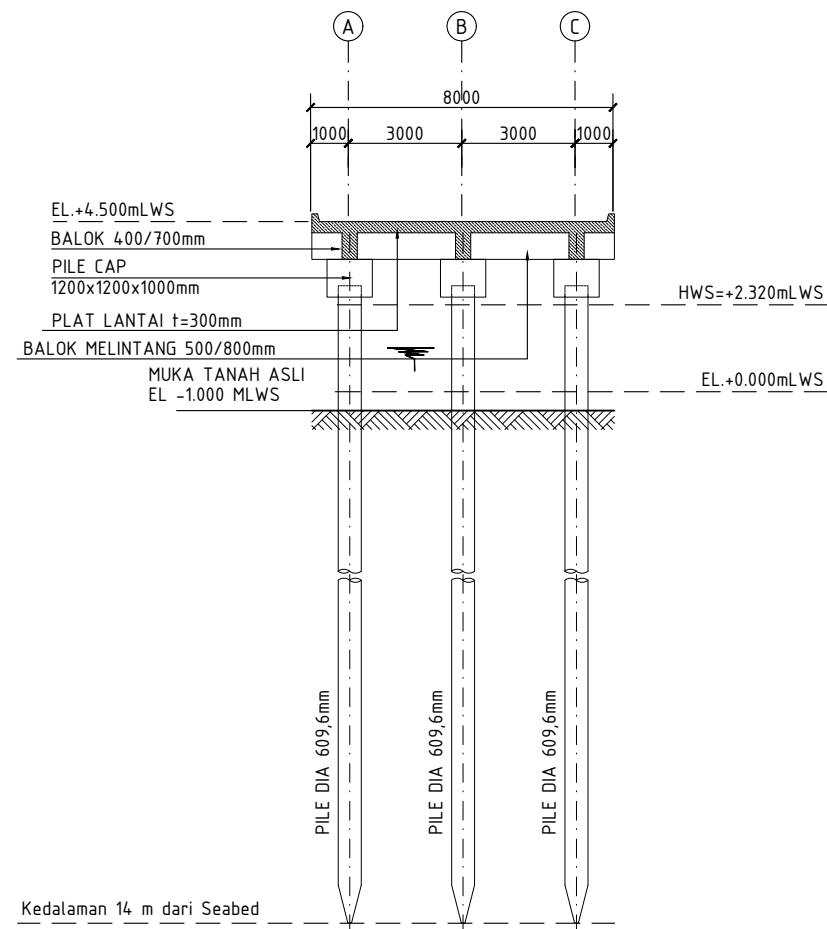
Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 250 (A3)		13

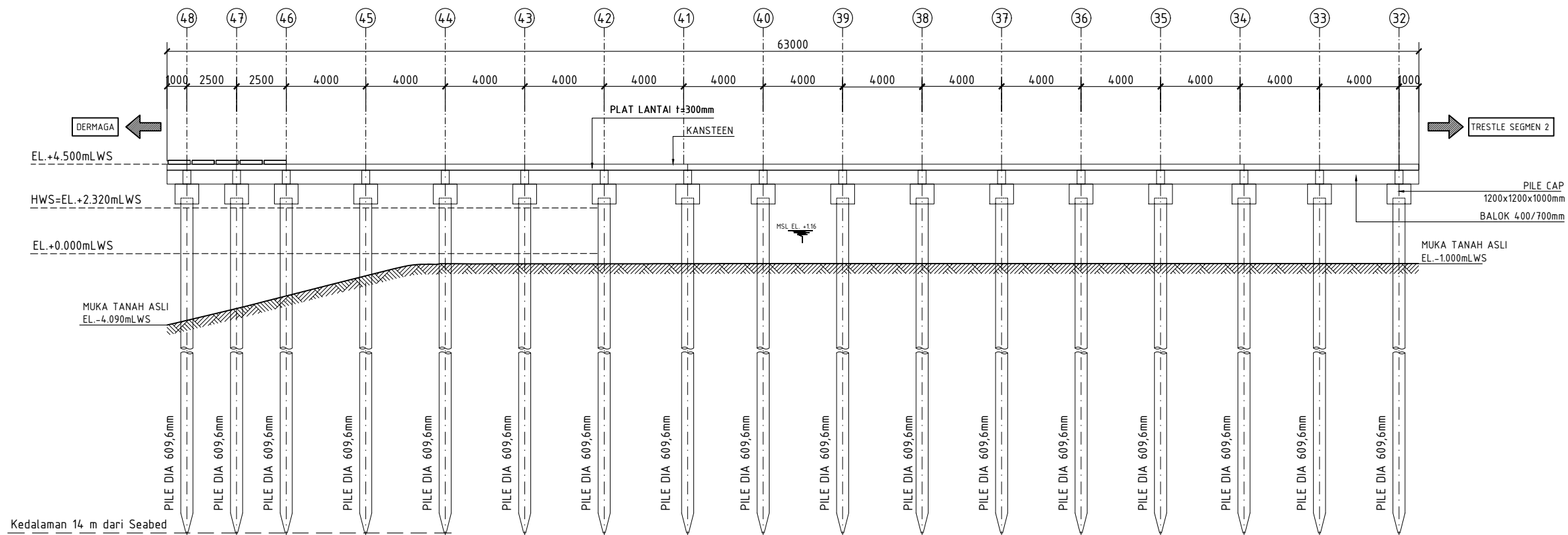
TGL:	GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-13
------	------------------------------



TAMPAK DEPAN TRESTLE (2)
SKALA 1 : 200



POTONGAN A - A
SKALA 1 : 200

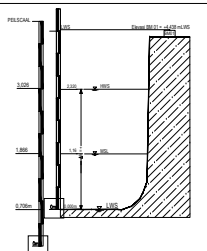


POTONGAN B - B
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

POTONGAN TRESTLE SEGMENT 3

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

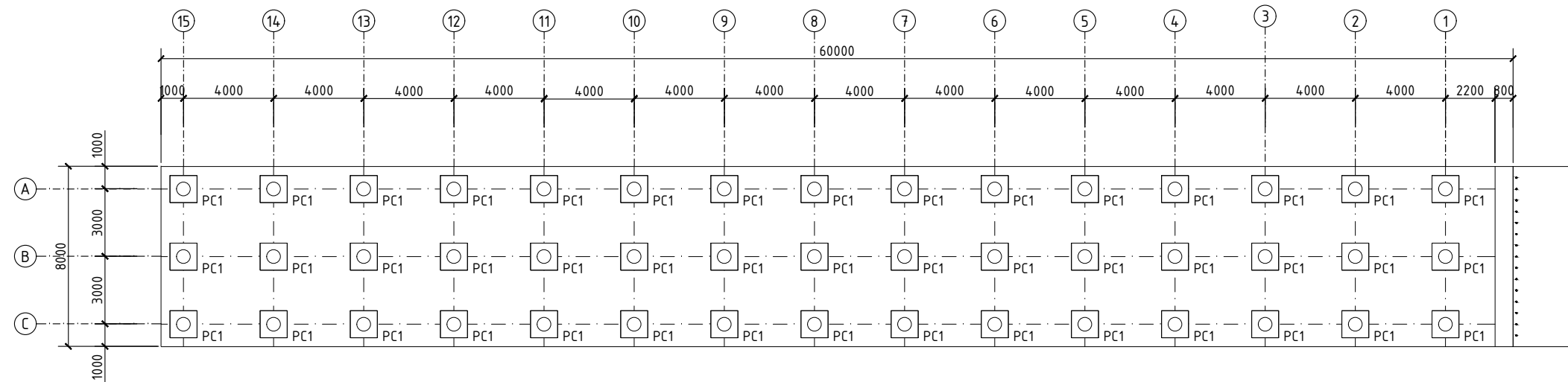
Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

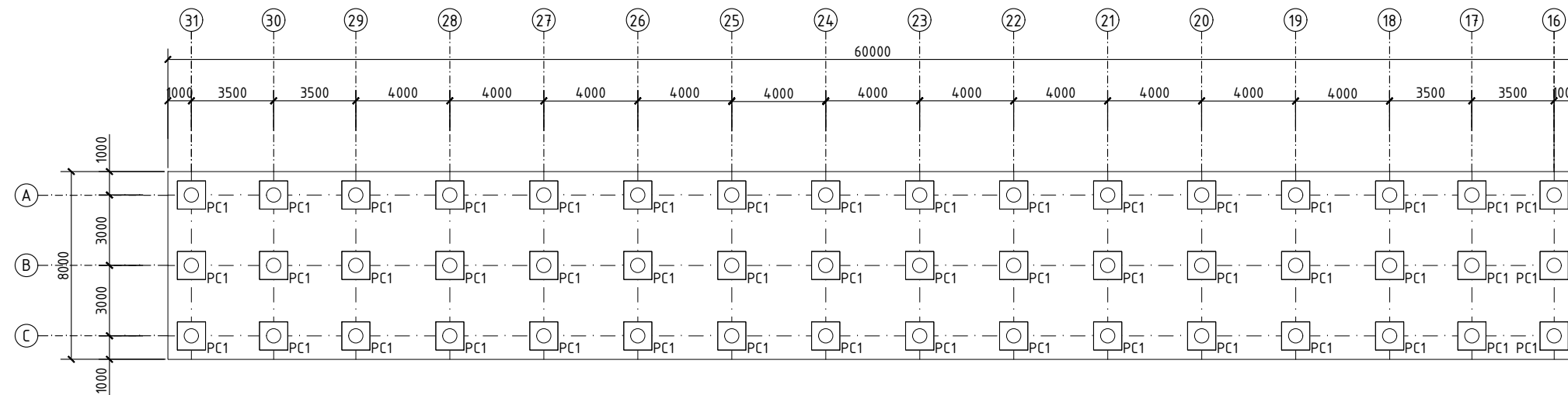
SKALA JML LEMBAR NO LEMBAR

1 : 250, 1 : 200 (A3) 14

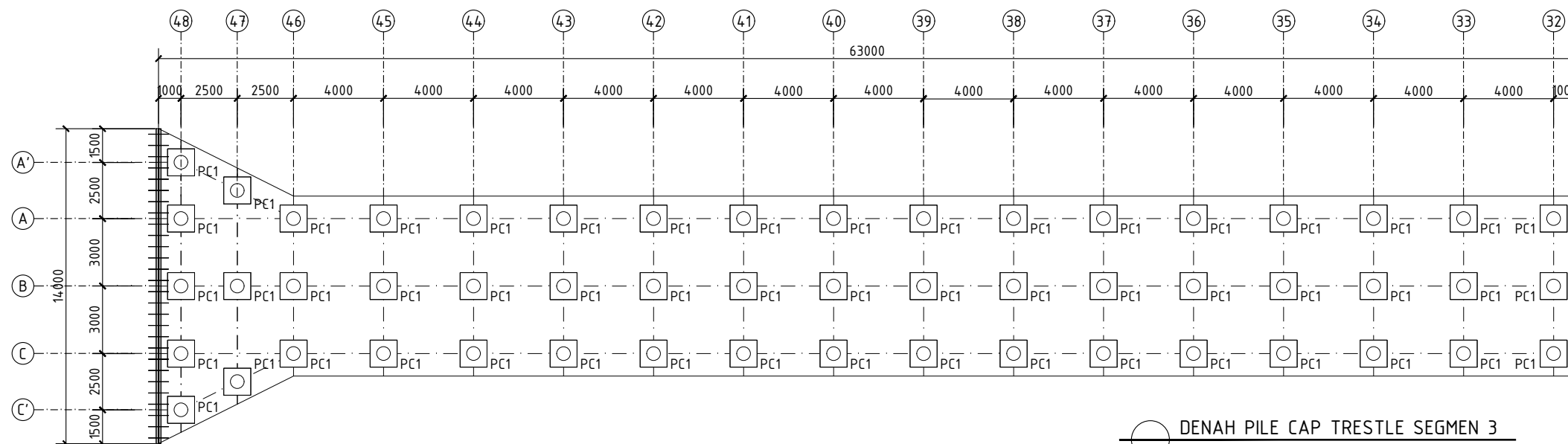
TGL: GAMBAR NO:
TA-DWG-SFYN- 14



DENAH PILE CAP TRESTLE SEGMENT 1
SKALA 1 : 250



DENAH PILE CAP TRESTLE SEGMENT 2
SKALA 1 : 250

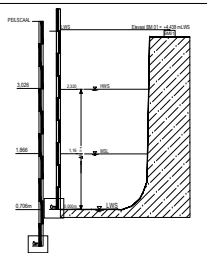


DENAH PILE CAP TRESTLE SEGMENT 3
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DENAH PILE CAP PANGCANG TRESTLE

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA

JML LEMBAR

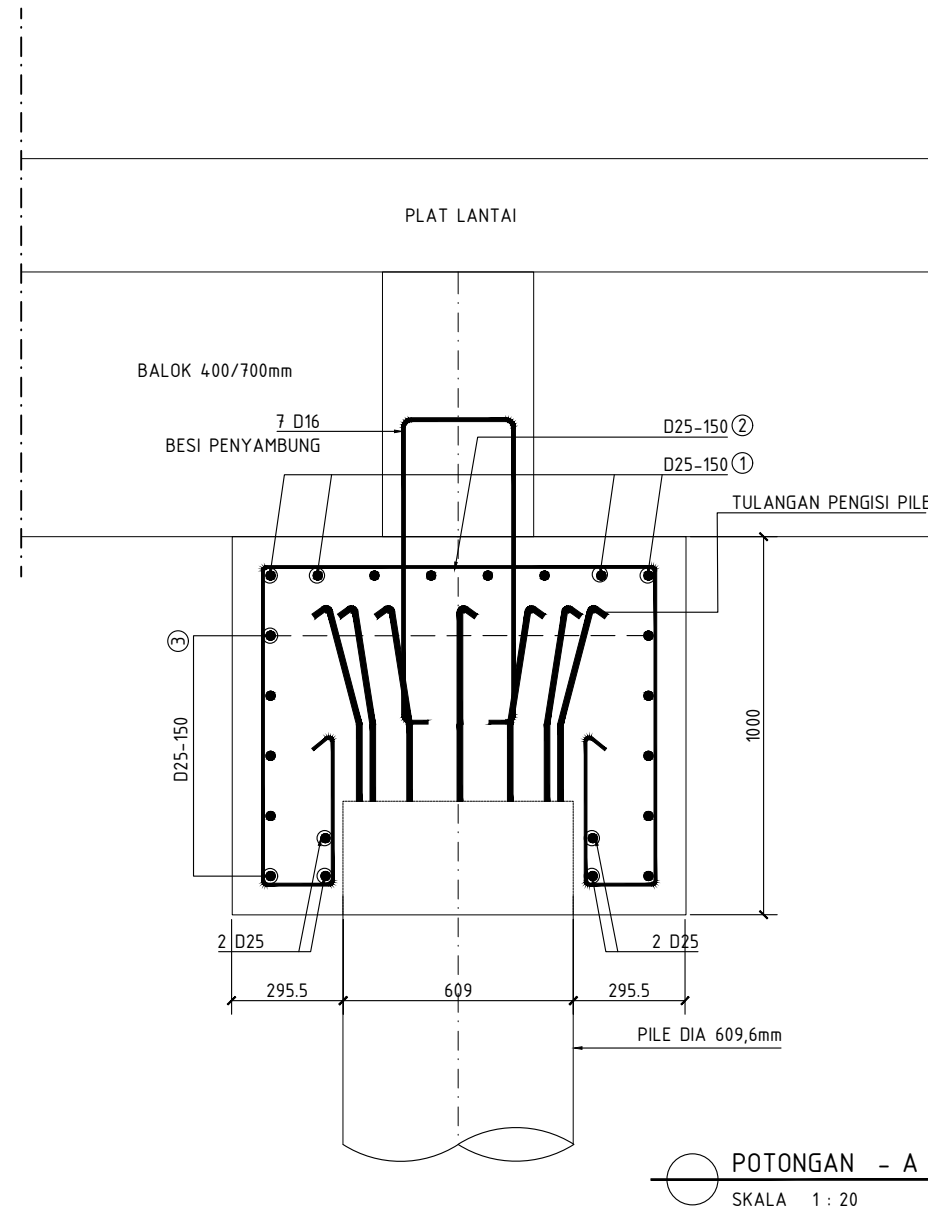
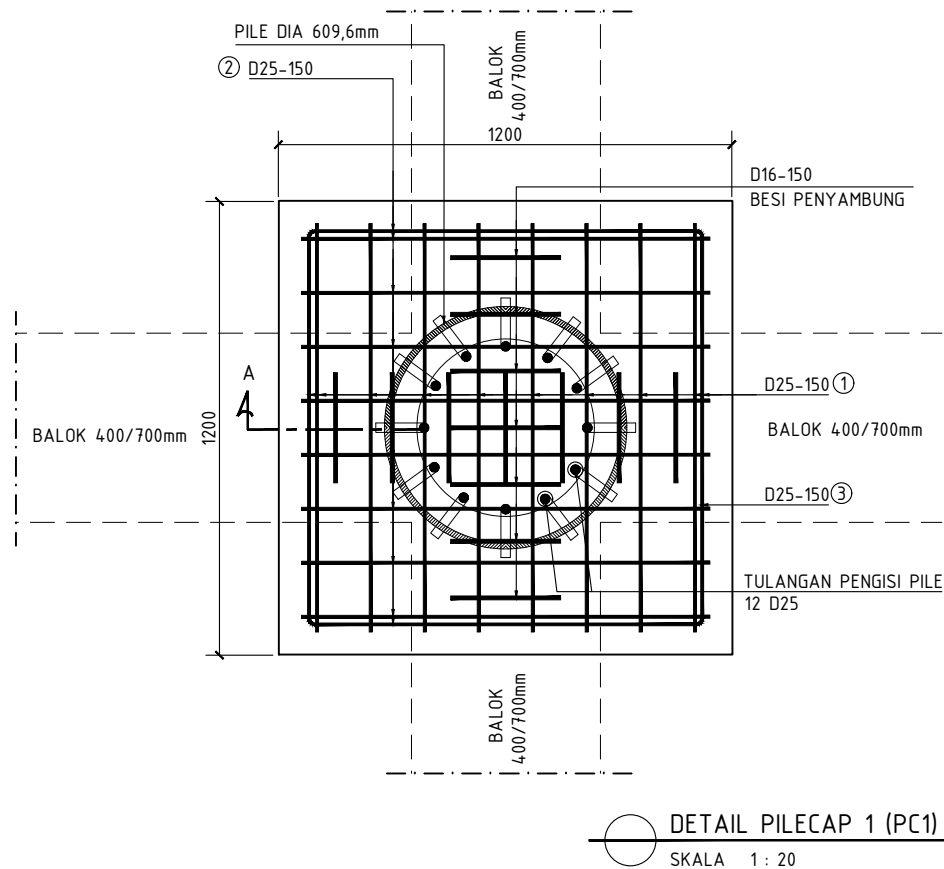
NO LEMBAR

1 : 250 (A3)

15

TGL:

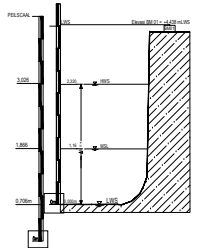
GAMBAR NO:
TA-DWG-SFYN-15



KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DETAIL PILE CAP TRESTLE

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA

JML LEMBAR

NO LEMBAR

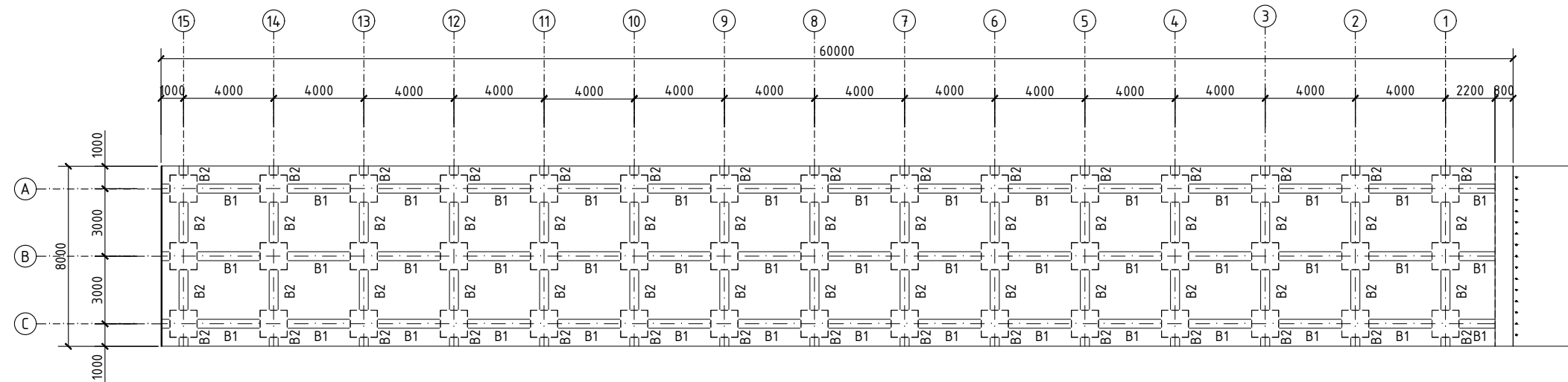
1 : 20 (A3)

16

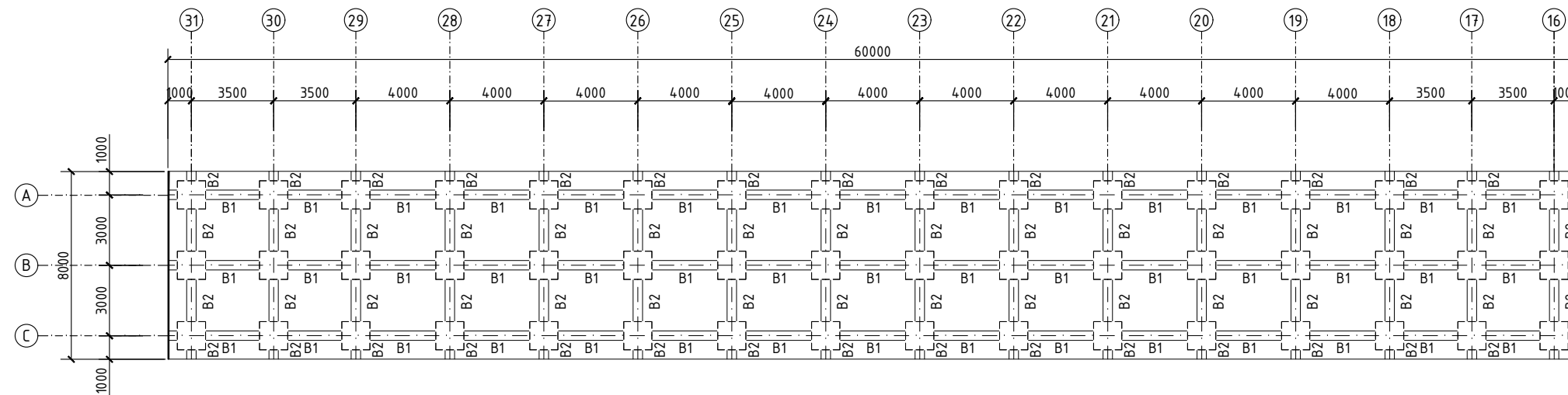
TGL:

GAMBAR NO:

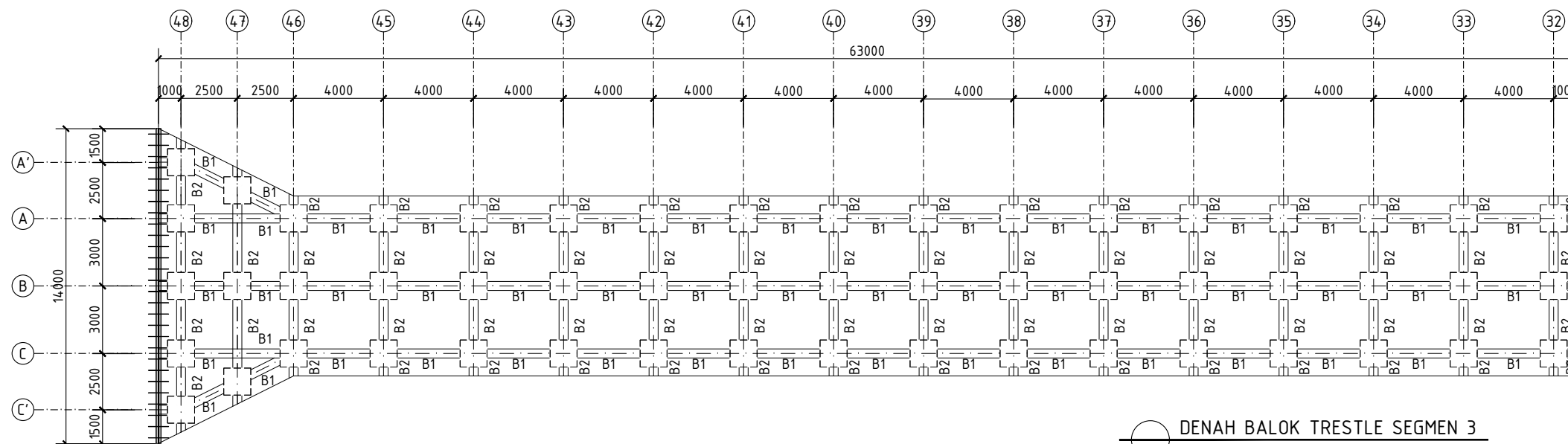
TA-DWG-SFYN-16



DENAH BALOK TRESTLE SEGMENT 1
SKALA 1 : 250



DENAH BALOK TRESTLE SEGMENT 2
SKALA 1 : 250

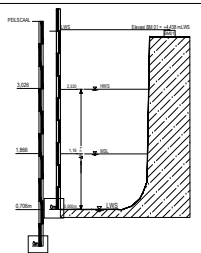


DENAH BALOK TRESTLE SEGMENT 3
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DENAH BALOK TRESTLE

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA

JML LEMBAR

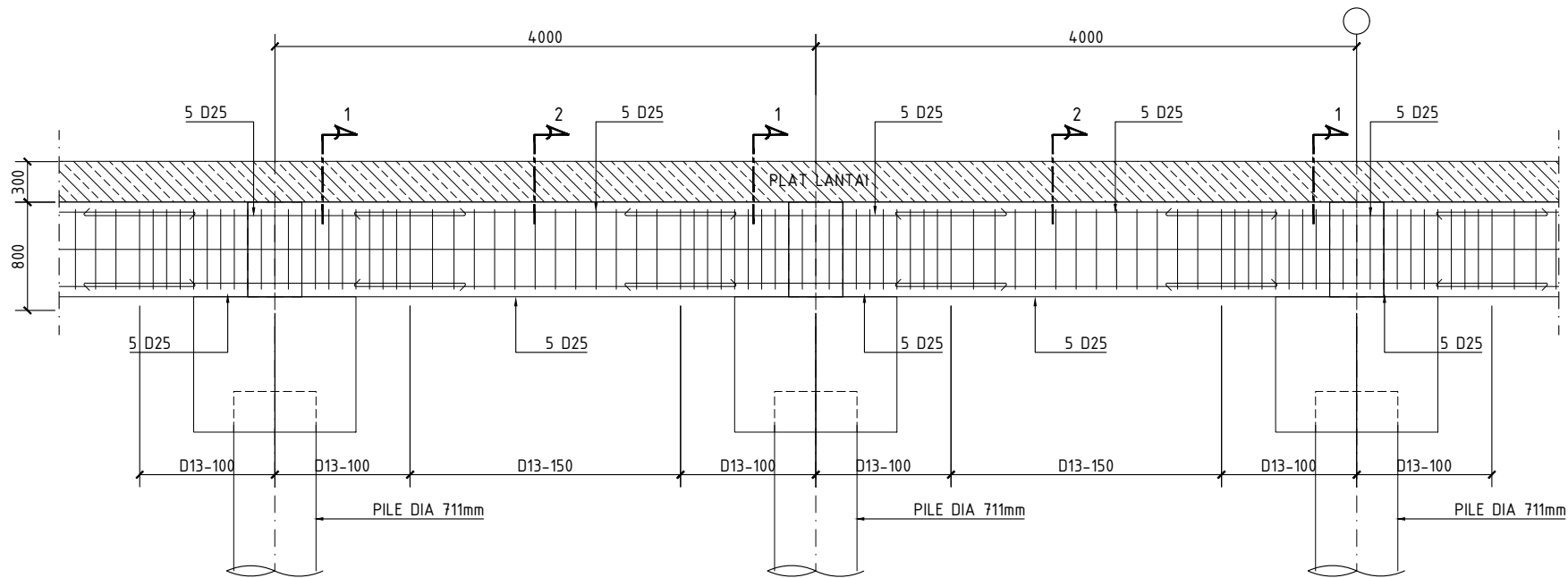
NO LEMBAR

1 : 250 (A3)

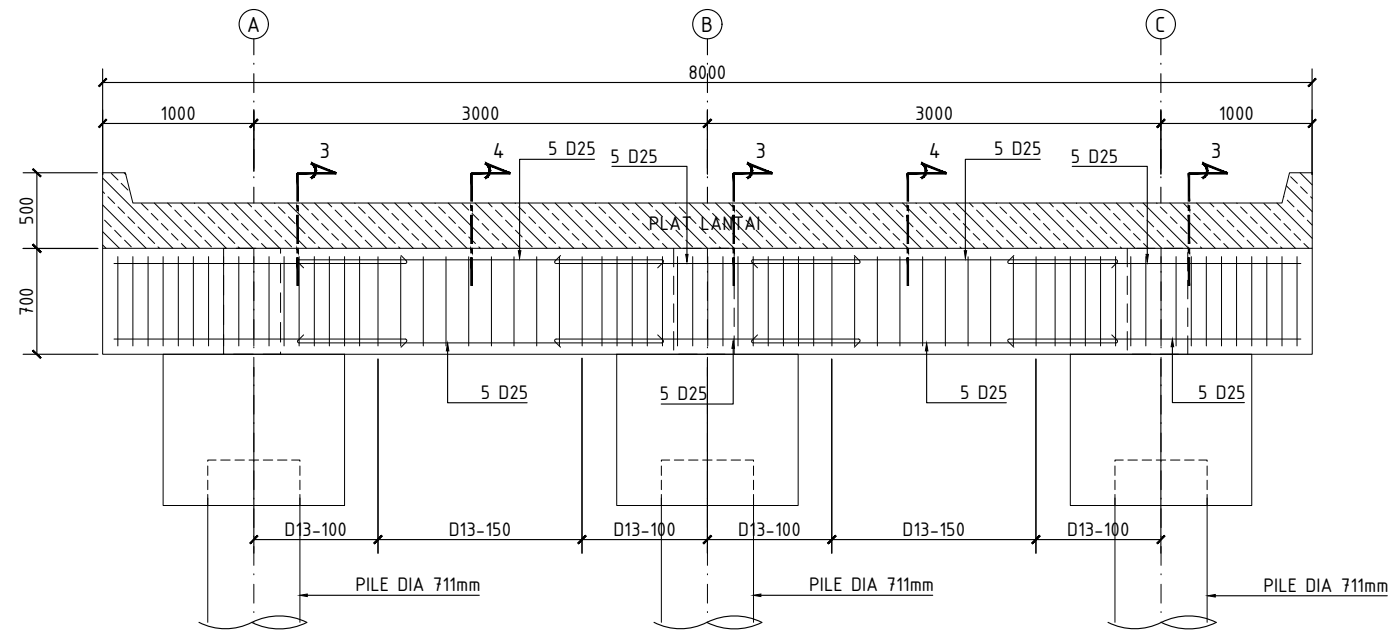
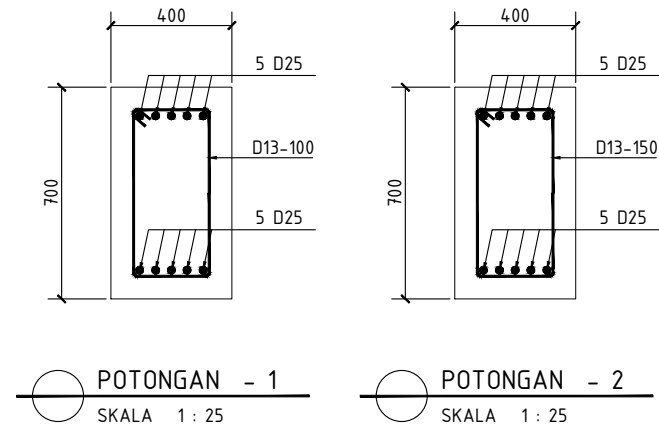
17

TGL:

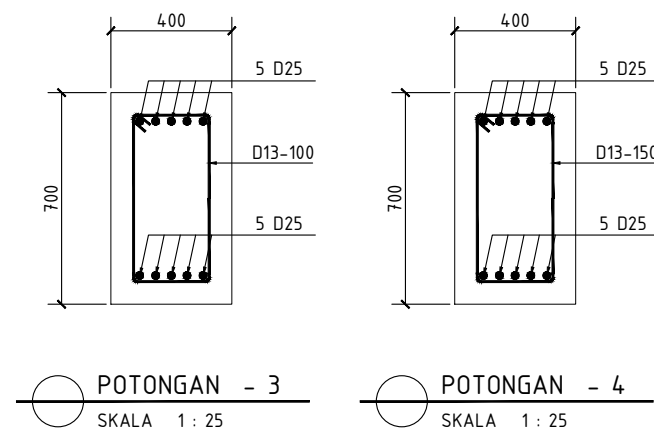
GAMBAR NO:
TA-DWG-SFYN-17



DETAIL BALOK MEMANJANG TRESTLE (B1)
SKALA 1 : 50



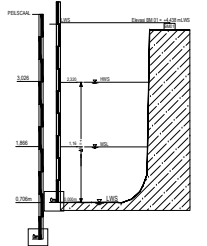
DETAIL BALOK MELINTANG-1 TRESTLE (B2)
SKALA 1 : 50



KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DETAIL BALOK TRESTLE

Digambar : Windi Febriani

NPM : 4122321110011

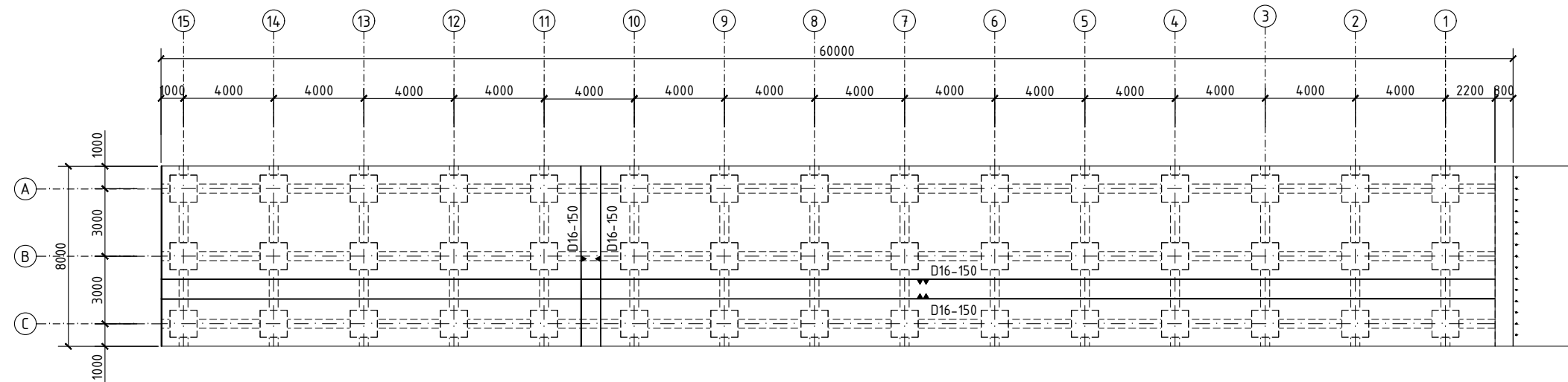
Prodi : Teknik Sipil

Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

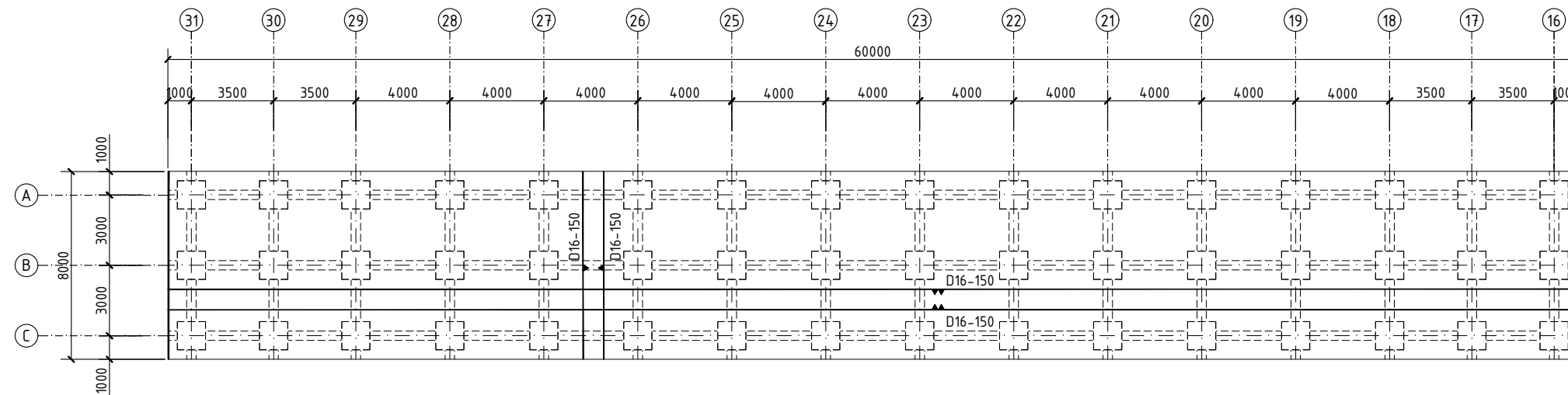
SKALA JML LEMBAR NO LEMBAR

1 : 50, 1 : 25 (A3) 18

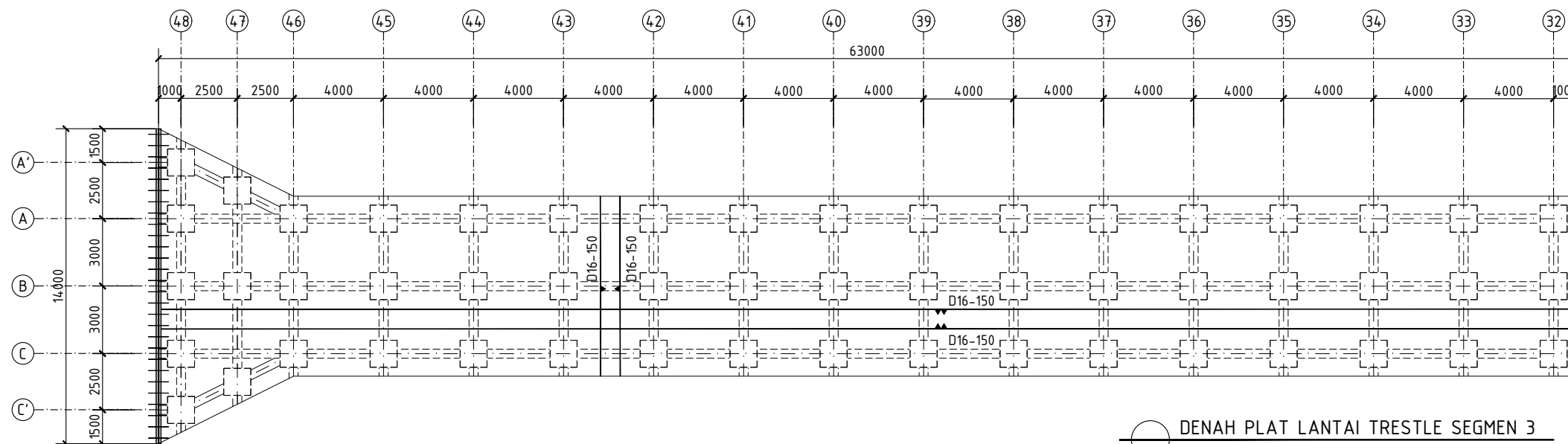
TGL: GAMBAR NO:
TA-DWG-SFYN-18



DENAH PLAT LANTAI TRESTLE SEGMENT 1
SKALA 1 : 250



DENAH PLAT LANTAI TRESTLE SEGMENT 2
SKALA 1 : 250

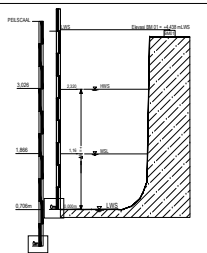


DENAH PLAT LANTAI TRESTLE SEGMENT 3
SKALA 1 : 250

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

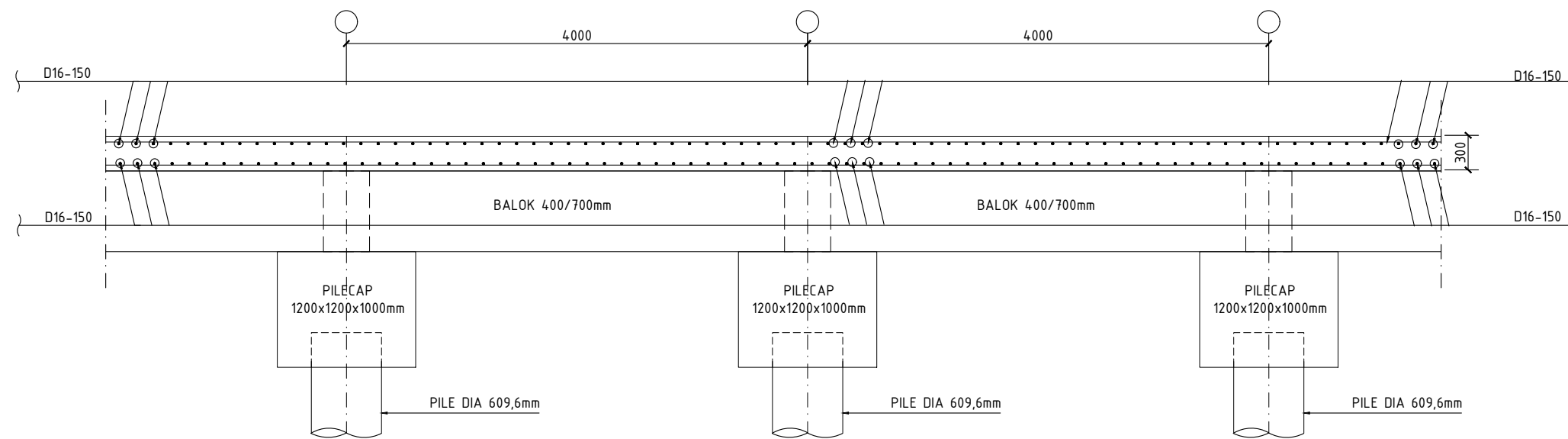
GAMBAR :

DENAH PLAT LANTAI TRESTLE

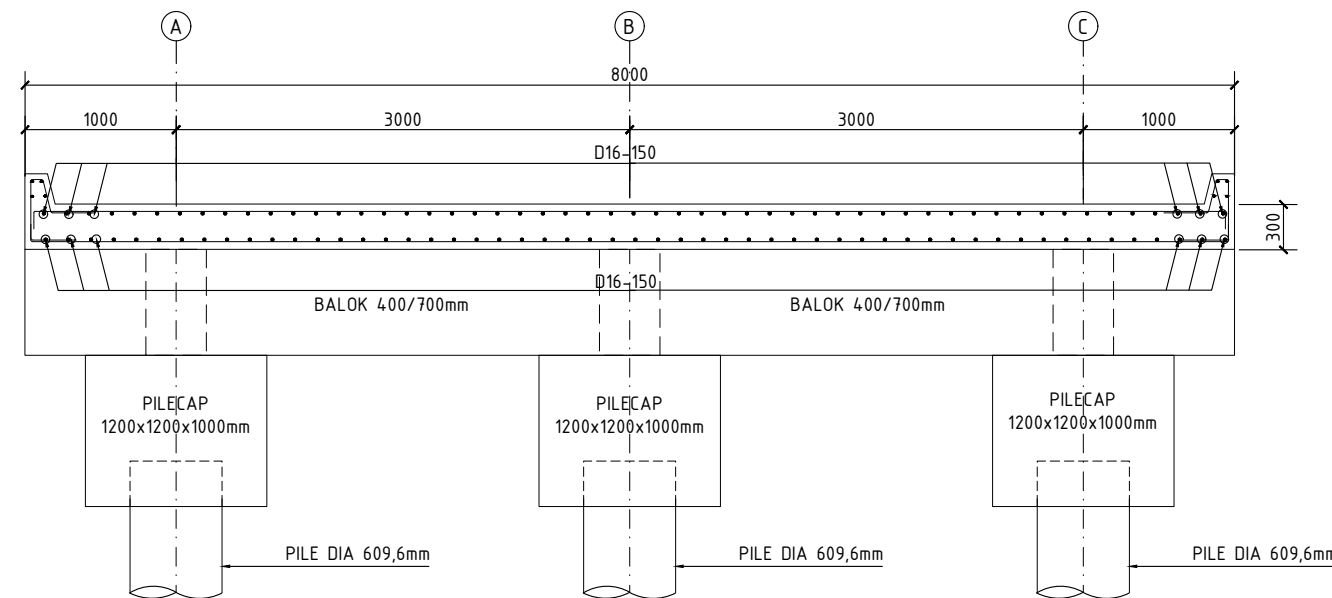
Digambar : Windi Febriani
NPM : 4122321110011
Prodi : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 250 (A3)		19

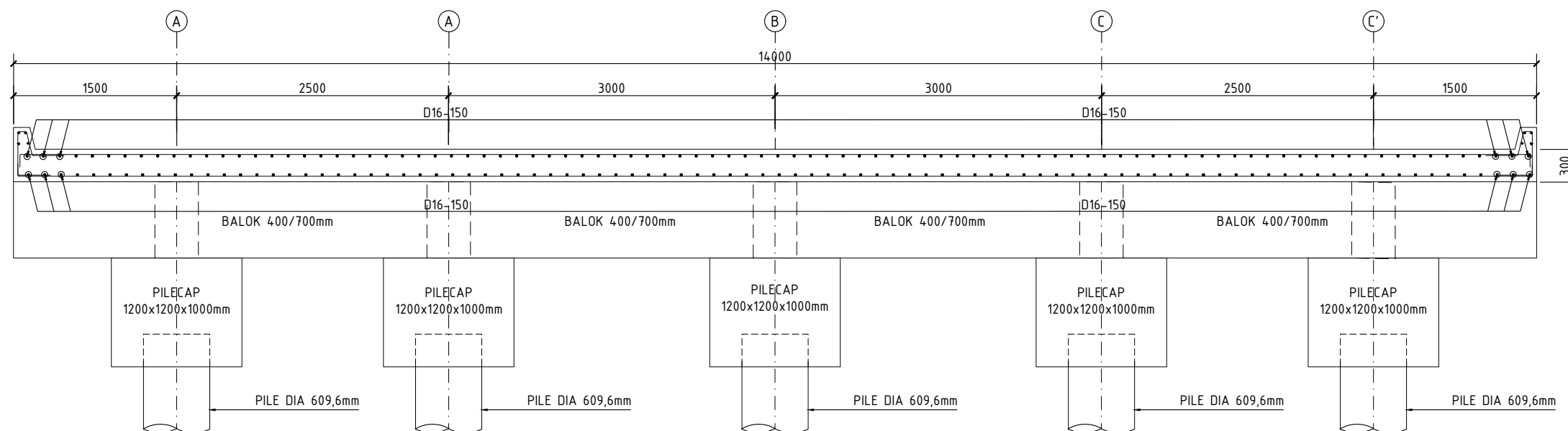
TGL:	GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-19
------	------------------------------



PENULANGAN MEMANJANG PLAT LANTAI TRESTLE
SKALA 1 : 50



PENULANGAN MELINTANG-1 PLAT LANTAI TRESTLE
SKALA 1 : 50

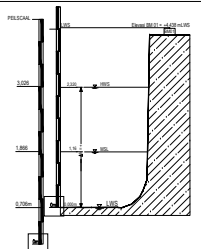


PENULANGAN MELINTANG-2 PLAT LANTAI TRESTLE
SKALA 1 : 50

KETERANGAN

1. Semua Dimensi Dalam Milimeter kecuali disebutkan satuannya
2. Koordinat UTM WGS 84, ZONA 52 S
3. Elevasi Terhadap LWS

DUDUK ELEVASI NOL LWS BM (BENCH MARK)



PETA LOKASI



UNIVERSITAS



UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PERENCANAAN TEKNIK DAN ARSITEKTUR
Jl. Pahlawan No.69 Telp. (022) 20451795 Bandung 4093

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR
DERMAGA DECK ON PILE PELABUHAN SOFYANIN,
KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR,
PROVINSI MALUKU

LOKASI PENELITIAN

KABUPATEN KEPULAUAN TANIMBAR
PROVINSI MALUKU

GAMBAR :

DETAIL PLAT LANTAI TRESTLE

Digambar : Windi Febriani
NPM : 4122321110011
Prodi : Teknik Sipil
Dosen Pembimbing : Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.

SKALA	JML LEMBAR	NO LEMBAR
1 : 50 (A3)		20

TGL:	GAMBAR NO: TA-DWG-SFYN-20
------	------------------------------