



Desain Rangka Baja Jembatan 80 Meter

Perencanaan jembatan bukan sekedar menghitung struktur, tetapi memastikan keamanan, efisien, dan keberlanjutan konstruktural sesuai standar yang berlaku.

Panduan Praktis Desain Jembatan 80 Meter menghadirkan langkah-langkah perencanaan secara sistematis, mulai dari penentuan data awal, pembebanan berdasarkan standar nasional, analisis struktur, hingga perencanaan elemen utama dan pendukung jembatan. Ditunjang dengan pendekatan teknis yang aplikatif, buku ini memandu pembaca untuk memahami proses desain secara terstruktur dan terukur.

Dilengkapi dengan perhitungan rinci, acuan regulasi, serta contoh analisis yang relevan, buku ini menjadi referensi praktis bagi mahasiswa teknik sipil, perencana struktur, maupun praktisi yang ingin memperdalam pemahaman desain jembatan bentang menengah.

Sebuah panduan yang menjembatani teori dan praktik dalam dunia rekayasa struktur.

Desain Rangka Baja Jembatan 80 Meter

Panduan Praktis

Desain Rangka Baja Jembatan 80 Meter

Dr. (C) Ir. Totok Andi Prasetyo, M.T., AU HAKI, IPU., ASEAN Eng
Harun Napitupulu, S.T., M.T.
Aurel, S.T.

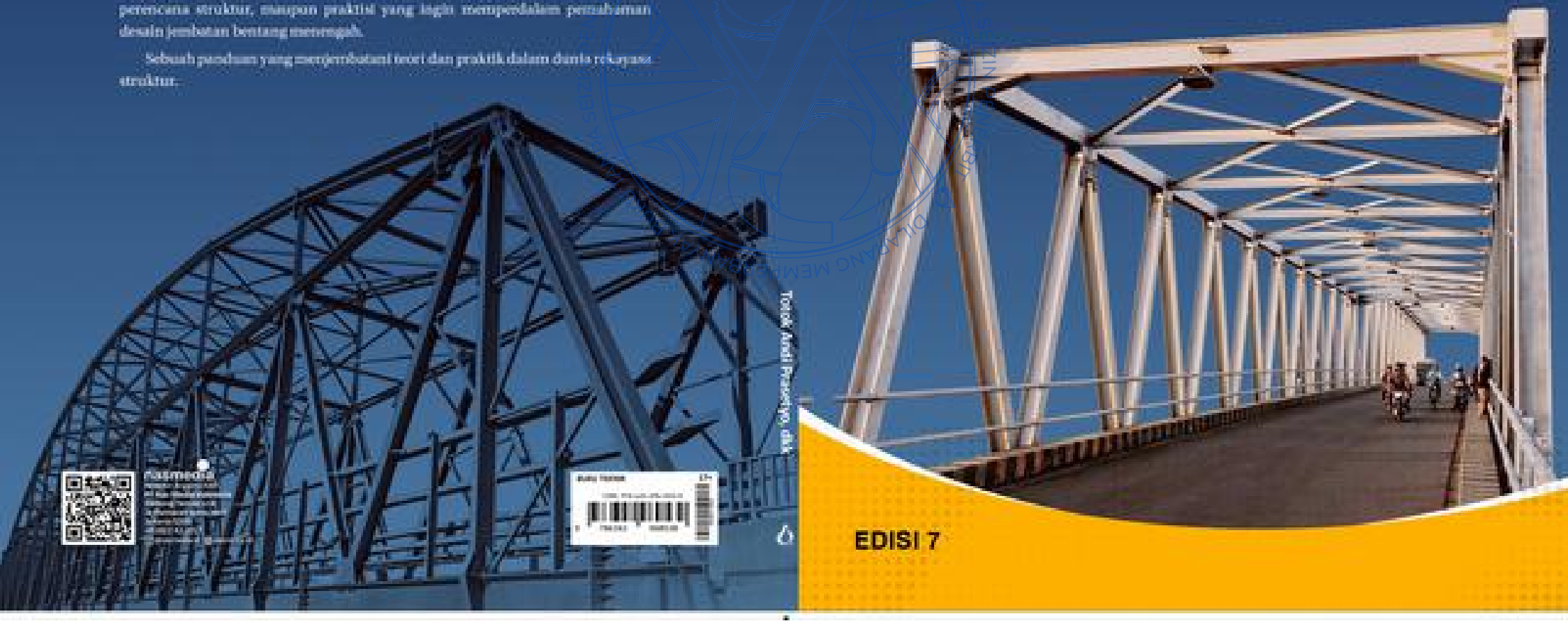


ISBN 978-623-7-141-11-1
Penerbit: PT. ALFA BETA
Cetakan Pertama: Desember 2023
Jumlah Halaman: 120
Jumlah Gambar: 150
Jumlah Tabel: 10



Totok Andi Prasetyo, dkk.

EDISI 7



Desain Rangka Baja Jembatan 80 Meter





Sanksi Pelanggaran Hak Cipta
**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014 TENTANG HAK CIPTA**

**Ketentuan Pidana
Pasal 113**

- 1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- 2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- 3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- 4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Desain Rangka Baja Jembatan 80 Meter

Dr. (C) Ir. Totok Andi Prasetyo, M.T., AU HAKI, IPU., ASEAN Eng
Harun Napitupulu, S.T., M.T.
Aurel, S.T.



Diterbitkan Oleh
PT. Nas Media Indonesia
Jakarta

DESAIN RANGKA BAJA JEMBATAN 80 METER

Dr. (C) Ir. Totok Andi Prasetyo, M.T., AU HAKI, IPU., ASEAN Eng
Harun Napitupulu, S.T., M.T.
Aurel, S.T.

Copyright © T. A. Prasetyo, dkk 2026
All rights reserved

Layout : Firman Mah
Desain Cover : Firman Mah
Image Cover : Freepik.com

Cetakan Pertama, Maret 2026
xvi + 115 hlm; 21 x 29.7 cm

ISBN 978-634-296-053-0

Diterbitkan oleh Penerbit Nasmedia
PT. Nas Media Indonesia
Anggota IKAPI
No. 018/SSL/2018
Gedung Tempo Lt.8
Jl. Palmerah Barat No.8, Jakarta 12210
Telp. 0811 42 2017
0811 49 2022
redaksi@nasmedia.id
www.nasmedia.id
Instagram: @nasmedia.id
Fanspage: nasmedia.id
Youtube: nasmedia entertainment

Perpustakaan Nasional RI : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

JUDUL DAN PENANGGUNG JAWAB	Desain rangka baja jembatan 80 meter / penulis, Dr. (C) Ir. Totok Andi Prasetyo, M.T., AU HAKI, IPU., ASEAN Eng, Harun Napitupulu, S.T., M.T., Aurel, S.T.
EDISI	Cetakan pertama, Maret 2026
PUBLIKASI	Makassar : PT. Nas Media Indonesia, 2026
DESKRIPSI FISIK	xv, 115 halaman : ilustrasi ; 23 cm
IDENTIFIKASI	ISBN 978-634-296-053-0
SUBJEK	Jembatan
KLASIFIKASI	624.2 [23]
PERPUSNAS ID	https://isbn.perpusnas.go.id/bo-penerbit/penerbit/isbn/data/view-kdt/1360084

PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Semesta Alam atas segala nikmatnya sehingga buku ini dapat terselesaikan dengan tepat waktu dan memberikan berisikan informasi-informasi yang berhubungan dengan informasi yang dapat menambah wawasan kita semua.

Panduan Praktis Desain Jembatan 80 Meter menghadirkan langkah-langkah perencanaan secara sistematis, mulai dari penentuan data awal, pembebanan berdasarkan standar nasional, analisis struktur, hingga perencanaan elemen utama dan pendukung jembatan. Disusun dengan pendekatan teknis yang aplikatif, buku ini memandu pembaca untuk memahami proses desain secara terstruktur dan terukur.

Dilengkapi dengan perhitungan rinci, acuan regulasi, serta contoh analisis yang relevan, buku ini menjadi referensi praktis bagi mahasiswa teknik sipil, perencana struktur, maupun praktisi yang ingin memperdalam pemahaman desain jembatan bentang menengah.

Sebuah panduan yang menjembatani teori dan praktik dalam dunia rekayasa struktur.

Pada penyajiannya, setiap pokok bahasan disajikan lebih ke prinsip-prinsip dasar dari setiap topik. Dengan demikian, buku ini disusun secara ringkas untuk setiap topik dan disajikan dalam bentuk buku. Buku ini juga menggunakan bahasa yang sekomunikatif mungkin sehingga diharapkan mudah dipahami oleh pembaca. Namun demikian, perlu membaca isi materi secara cermat, bagian per bagian, dan menuliskan kembali yang terdapat pada setiap pokok dan sub- pokok bahasan.

Alhamdulillah, terselesaikannya buku ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang membantu baik secara moril maupun materil. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih. Penulis berharap dengan materi-materi yang tersaji dalam buku ini dapat menjadi pembelajaran yang berharga.

Penulis

Testimoni



Pak Totok adalah seorang akademisi, praktisi yang andal, yang dari dulu beliau tidak kenal lelah untuk selalu belajar dan belajar sampai bisa seperti ini dengan perjuangan yang tinggi. Untuk menjadi ahli baja, motivasi beliau adalah Prof. Dr. Wiryanto, Guru Besar UPH. Beliau menimba ilmu kepada siapa saja tanpa perlu malu bertanya kepada yang lebih muda sekalipun karena menurut beliau ilmu itu luas, jadi siapa pun bisa belajar dari mana saja. Dengan bangga, kami sebagai keluarga, anak, dan istri beliau merasa bersyukur bahwa semua perlu proses yang panjang dan dengan kesabaran kami. Alhamdulillah, beliau bisa jadi dosen, direktur, dan asesor. Selamat atas pencapaian beliau sebagai penulis buku tentang struktur buat para generasi penerus bangsa, terutama di bidang struktur.

Ibu Suryani - Komisaris PT TAP Rekayasa Struktur

Ashrafi Raihan Tsaqif - (Putra ke 1, Mahasiswa aktif tahap akhir UMJ)

Muhammad Rizqi Yusuf - (Putra ke 2)

Panduan Praktis Desain Jembatan Baja Bentang 80 Meter

Testimoni Buku

Buku ini merupakan karya yang sangat esensial bagi para praktisi, akademisi, maupun mahasiswa teknik sipil yang ingin mendalami perancangan infrastruktur jembatan secara komprehensif. Penulis berhasil menyajikan materi yang kompleks menjadi alur yang sistematis, mulai dari pemahaman dasar tipe-tipe struktur jembatan hingga tahapan perancangan teknis yang mendalam sesuai regulasi terbaru.



Kekuatan utama buku ini terletak pada pendekatannya dalam memodelkan struktur rangka baja (*truss bridge*) menggunakan perangkat lunak SAP2000. Penjelasan mendetail mengenai pembebanan, termasuk beban angin, temperatur, hingga analisis beban gempa (*Response Spectrum*) menjadikan buku ini panduan yang sangat relevan dengan tantangan teknik di lapangan saat ini.

Sebagai seorang yang bergelut di dunia keteknikan dan kebencanaan, saya melihat buku ini tidak hanya mengajarkan cara mendesain jembatan yang kuat secara struktural, tetapi juga menekankan pentingnya aspek keselamatan dan keberlanjutan sesuai dengan standar nasional (SNI) dan internasional (AASHTO). Kehadiran contoh kasus nyata seperti proyek Jembatan Pangean di Kalimantan Utara memberikan gambaran konkret bagi pembaca dalam mengaplikasikan teori ke dalam praktik nyata. Saya sangat mengapresiasi kontribusi Ir. Totok Andi Prasetyo, M.T., dan Harun Napitupulu, S.T., M.T., dalam memperkaya literatur teknik sipil di Indonesia melalui buku ini. Sebuah referensi wajib bagi siapa saja yang berkomitmen mewujudkan infrastruktur jembatan yang aman, stabil, dan fungsional."

Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U., ASEAN Eng., APEC Eng.

Guru Besar Rekayasa Kegempaan Teknik Sipil UII

Inovator & Inventor Barrataga® & Simutaga®

Pengarah BNPB RI (2009-2025)

Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9/9, Ahli Teknik Jembatan Jenjang 9/9

Buku Panduan Praktis Desain Jembatan Baja Bentang 80 Meter merupakan kontribusi akademik yang penting dalam bidang rekayasa struktur transportasi, khususnya perencanaan jembatan baja. Buku ini menyajikan integrasi yang baik antara konsep teoritis, ketentuan standar perencanaan nasional maupun internasional, serta implementasi teknis melalui pemodelan struktur berbasis perangkat lunak analisis.



Penyusunan materi dilakukan secara sistematis mulai dari prinsip dasar perencanaan jembatan, pemahaman sistem struktur, penentuan pembebanan sesuai regulasi, hingga tahapan pemodelan dan analisis struktur. Pendekatan berbasis studi kasus nyata memberikan nilai tambah akademik karena mampu menjembatani kesenjangan antara teori di lingkungan pendidikan tinggi dan praktik rekayasa di lapangan.

Dengan kedalaman materi serta penyajian yang aplikatif, buku ini sangat layak digunakan sebagai referensi pembelajaran bagi mahasiswa teknik sipil, bahan pendukung perkuliahan struktur jembatan, maupun rujukan awal bagi praktisi dalam memahami proses desain jembatan baja secara sistematis dan terstruktur.

Ir.M. Aswanto.,MT

Dosen Senior Universitas Muhammadiyah Jakarta (UMJ)

Selamat dan sukses saya ucapkan kepada Ir. Totok Andi Prasetyo, M.T., AU HAKI IPU, ASEAN. Eng., atas terbitnya buku ke-7-nya. Buku yang berjudul **Panduan Praktis Desain Jembatan Baja Bentang 80 Meter** ini menjadi sumbangsih di dunia akademik yang penting dalam bidang ketekniksipil. Konten pada buku teks ini tidak hanya menjelaskan secara teori tentang jembatan, tetapi juga menjabarkan secara detail peraturan atau standar yang dijadikan acuan, pemodelan struktur, pembebanan, serta langkah-langkah mendesain dan menganalisis jembatan baja bentang panjang menggunakan *software*. Harapan besar semoga buku ini dapat menjadi rujukan dalam mendesain jembatan baja bentang panjang.



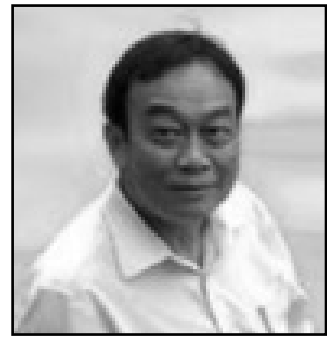
Dr. Abdul Rochim, ST., MT.

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

Tidak banyak referensi mengenai buku panduan praktis jembatan baja rangka bentang panjang 80 meter. Kami sangat yakin buku akan menambah pengetahuan dan kompetensi para *engineer* di dalam dunia Teknik sipil terima kasih pada penulis sudah berbagi. Semoga Tuhan memberkati Pak Totok Andi Prasetyo

Ir Herman Sapar

Dosen Senior FTSP UNTAN Ketua LSP ASBSI ATBG Jenjang 9



Saya menyambut dengan gembira terbitnya buku ini, yang merupakan lanjutan dari buku-buku sebelumnya yang ditulis oleh Bapak Ir. Totok A. Prasetyo dan tim. Suatu kehormatan bagi saya untuk kembali memberikan testimoni atas buku ini. Saya sangat mengapresiasi penulis yang di tengah kesibukan beliau berkarya sebagai insinyur profesional masih menyempatkan waktu dan tenaga untuk membagikan ilmunya melalui buku-buku yang diambil dari pengalaman pekerjaannya.



Berbeda dengan buku-buku sebelumnya yang membahas desain struktur gedung, buku ini membahas desain struktur jembatan jalan raya. Buku ini dimulai dengan penjelasan singkat mengenai jembatan secara umum, kemudian dilanjutkan dengan contoh perhitungan desain suatu jembatan baja secara detail. Saya yakin buku ini akan sangat bermanfaat bagi mahasiswa yang belajar desain struktur jembatan dan bagi para insinyur muda yang mulai berkarya dalam bidang desain.

Wong Foek Tjong, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Senior Struktur Baja Universitas Kristen Petra Surabaya

Selamat dan sukses pada Bapak Totok Andi Prasetyo atas terbitnya buku Panduan Praktis Desain Jembatan Baja Bentang 80 m. Buku semacam ini merupakan jembatan antara standar-standar teknis yang berlaku dan para tenaga ahli konstruksi di lapangan dan calon. Penggunaan piranti lunak dalam panduan juga merupakan pelengkap penting yang menjembatani cara klasik desain dengan aplikasi praktis yang saat ini niscaya sudah menjadi kebutuhan efisiensi proses. Penerbitan ini diharapkan akan terus memacu terbitnya buku-buku panduan praktis selanjutnya, untuk mendukung pembinaan sumber daya manusia konstruksi Indonesia, agar dapat menjadi tuan rumah di negeri sendiri.



DR. Ir. Hari Nugraha Nurjaman, MT

Ahli Teknik Bangunan Gedung Utamav

Daftar Isi

Testimoni	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Pengertian Jembatan	1
1.2 Perencanaan Teknis	1
1.3 Tahapan Perancangan Teknis Pada Jembatan	1
1.3.1 Perancangan Teknis Awal.....	2
1.3.2 Kajian Kelayakan Jalan	2
1.3.3 Perancangan Teknis Akhir.....	2
1.4 Peraturan dan Standar yang Dijadikan Acuan	2
1.5 Umur Rencana Jembatan.....	3
1.6 Rencana Keadaan Batas	3
1.7 Beberapa Macam Bentang Jembatan	4
1.8 Klasifikasi Jembatan	4
1.8.1 Berdasarkan Tipe Struktur	4
1.8.1.1 Jembatan Pelat (Slab Bridge).....	5
1.8.1.2 Jembatan Gelagar (<i>Girder Bridge</i>).....	5
1.8.1.3 Jembatan Rangka Batang (<i>Truss Bridge</i>).....	6
1.8.1.4 Jembatan Pelengkung (<i>Arch Bridge</i>).....	7
1.8.1.5 Jembatan Balok Pelengkung (<i>Tied Arch Bridge</i>).....	7
1.8.1.6 Jembatan Gantung (<i>Suspension Bridge</i>).....	8
1.8.1.7 Jembatan Beruji Kabel (<i>Cable-Stayed Bridge</i>).....	9
1.8.1.8 Jembatan Kantilever.....	10
1.9 Struktur Atas Jembatan	11
1.9.1. Pelat Lantai.....	11
1.9.2 Trotoar	12
1.9.3 <i>Cross Girder</i>	12
1.9.4 Balok <i>Stringer</i>	14
1.9.5 <i>Main Frame</i>	14
1.9.6 <i>Bracing</i>	14
1.9.7 Elastomer.....	14
1.9.8 <i>Lateral Buffer</i>	15
1.9.9 <i>Longitudinal Buffer</i>	15
1.10 Struktur Bawah Jembatan	15
1.10.1 <i>Abutment</i>	15
1.10.2 <i>Pier</i>	16
1.10.3 <i>Pile Cap</i>	16
1.10.4 Tiang fondasi.....	17

BAB II PEMODELAN STRUKTUR	19
2.1 Data Umum Bangunan	19
2.2 Pemodelan Struktur Atas	19
2.2.1 Pembuatan Grid.....	19
2.2.2 Pembuatan Properti Material	22
2.2.3 Pembuatan Properti Penampang	24
2.2.4 Pemodelan Balok.....	26
2.2.5 Hasil Pemodelan Dalam Tiga Dimensi	27
2.2.6 Melepaskan Momen Pada <i>Frame</i>	28
BAB III PEMBEBANAN	31
3.1 Pembebanan Struktur Atas	31
3.1.1 Beban Mati	31
3.1.1.1 Beban Mati Primer	31
3.1.1.2 Beban Mati Sekunder.....	31
3.1.2 Beban Hidup	31
3.1.3 Beban Khusus.....	31
3.1.4 Beban Lalu Lintas	31
3.1.5 Beban Pelaksanaan.....	31
3.2 Perincian Beban Mati Pada Struktur Atas.....	32
3.3 Perincian Beban Hidup Pada Struktur Atas	32
3.4 Beban Kendaraan	33
3.4.1 Beban Truk T.....	33
3.4.2 Beban Terbagi Rata (BTR).....	33
3.4.3 Beban Garis Terpusat (BGT).....	34
3.4.4 Beban Rem	34
3.5 Beban Angin.....	34
3.5.1 Tekanan Angin Horizontal	34
3.5.2 Beban Angin Pada Struktur (EWs).....	35
3.5.3 Beban Angin Pada Kendaraan (EW_L)	36
3.6 Beban Temperatur.....	37
3.7 Koordinat Lokasi Proyek	38
3.8 Nilai PGA Berdasarkan Lokasi Proyek	38
3.9 Nilai S_s Berdasarkan Lokasi Proyek	39
3.10 Nilai S_1 Berdasarkan Lokasi Proyek.....	39
3.11 Parameter Gempa.....	39
3.12 <i>Input</i> Parameter Gempa <i>Response Spectrum</i> di SAP2000.....	40
3.13 Membuat <i>Load Pattern</i>	40
3.14 Membuat <i>Load Cases</i>	42
3.15 Membuat <i>Load Combination</i>	42

3.16 <i>Assign</i> Pembebanan	43
3.16.1 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan Pada Struktur (MS dan MA).....	43
3.16.2 Beban Pejalan Kaki (TP).....	44
3.16.3 Beban Truk T (TT)	45
3.16.4 Beban Terbagi Rata (BTR)	46
3.16.5 Beban Garis Terpusat (BGT)	46
3.16.6 Beban Rem	47
3.16.7 Beban Angin Pada Struktur (EWs).....	47
3.16.8 Beban Angin Pada Kendaraan (EW_v)	48
3.16.9 Beban Temperatur	48
3.17 Pembebanan Struktur Bawah.....	49
BAB IV ANALISIS STRUKTUR	59
4.1 Analisis Struktur Atas	59
4.1.1 <i>Set Analyze Options</i>	59
4.1.2 <i>Running Model</i>	59
4.1.3 Cek Desain Baja	60
4.1.4 Cek <i>Stress Ratio</i> Baja	61
4.1.5 Cek Lendutan	62
4.1.6 Analisis <i>Elastomeric Bearing</i>	64
4.1.7 Analisis <i>Metal Deck</i>	67
4.2 Analisis Struktur Bawah	72
4.2.1 Cek Kapasitas <i>Abutment</i> dengan SPColumn	73
LATAR BELAKANG PENULIS	115

Daftar Gambar

Gambar 1.1 <i>Slab Brige</i>	5
Gambar 1.2 <i>Girder Bridge</i>	6
Gambar 1.3 <i>Truss Bridge</i>	6
Gambar 1.4 <i>Arch Bridge</i>	7
Gambar 1.5 <i>Tied Arch Bridge</i>	8
Gambar 1.6 <i>Suspension Bridge</i>	9
Gambar 1.7 <i>Cable-Stayed Bridge</i>	10
Gambar 1.8 Struktur Jembatan Kantilever	11
Gambar 1.9 Pelat Lantai Jembatan.....	12
Gambar 1.10 Trotoar Jembatan.....	12
Gambar 1.11 <i>Cross Girder Jembatan</i>	13
Gambar 1.12 <i>Stringer Jembatan</i>	13
Gambar 1.13 <i>Main Frame Jembatan</i>	14
Gambar 1.14 <i>Bracing Jembatan</i>	14
Gambar 1.15 Elastomer.....	14
Gambar 1.16 <i>Abutment Jembatan</i>	16
Gambar 1.17 <i>Pier Jembatan</i>	16
Gambar 1.18 <i>Pile Cap</i>	17
Gambar 1.19 Tiang fondasi/Pancang.....	18
Gambar 2.1 Software SAP2000	19
Gambar 2.2 <i>Site Plan Jembatan</i>	20
Gambar 2.3 Opsi <i>Grid</i> Pada Software SAP2000.....	20
Gambar 2.4 <i>Quick Grid Lines</i>	21
Gambar 2.5 <i>Edit Grid Data</i>	21
Gambar 2.6 <i>Coordinate/Grid Systems</i>	22
Gambar 2.7 <i>Grid</i> yang Telah Dibuat.....	22
Gambar 2.8 Define Material Properties	23
Gambar 2.9 Define Materials.....	23
Gambar 2.10 <i>Material Property Data</i>	24
Gambar 2.11 <i>Frame Sections</i>	25
Gambar 2.12 <i>I/Wide Flange Section</i>	25
Gambar 2.13 <i>Bottom Plan View</i>	26
Gambar 2.14 Draw Frame	26
Gambar 2.15 Balok yang Sudah Termodelkan Pada elevasi Bottom.....	27
Gambar 2.16 Balok yang Sudah Termodelkan Pada Elevasi Top.....	27
Gambar 2.17 <i>Side Frame</i>	27
Gambar 2.18 Model Dalam Tiga Dimensi	28
Gambar 2.19 Frame Moment Releases	29
Gambar 2.20 Assign Frame Releases and Partial Fixity.....	29
Gambar 2.21 Moment Release Pada Bagian Bottom.....	29
Gambar 2.22 Moment Release Pada Side Frame	30

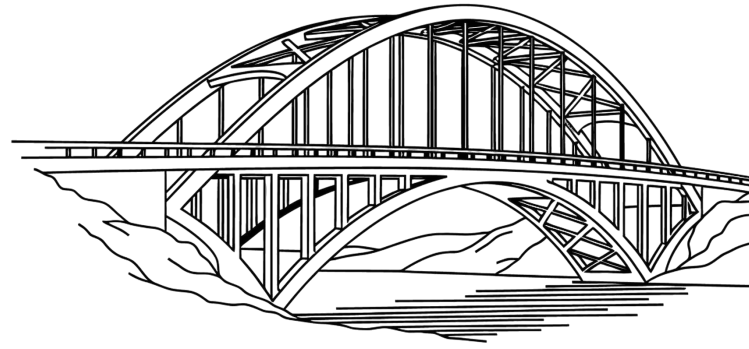
Gambar 2.23 Moment Release Pada Top.....	30
Gambar 2.24 Overall Moment Release	30
Gambar 3.1 Beban Mati yang Bekerja.....	32
Gambar 3.2 Beban TP.....	33
Gambar 3.3 Beban Kendaraan Truk T	33
Gambar 3.4 Beban Terbagi Rata	33
Gambar 3.5 Beban Garis Terpusat.....	34
Gambar 3.6 Beban Rem Per <i>Joint</i>	34
Gambar 3.7 Tekanan Angin Horizontal	35
Gambar 3.8 Beban Angin Pada Struktur (EWs).....	36
Gambar 3.9 Beban Angin Pada Kendaraan (EW ₁)	37
Gambar 3.10 Koordinat Lokasi Proyek	38
Gambar 3.11 Nilai PGA	38
Gambar 3.12 Nilai Ss	39
Gambar 3.13 Nilai S1	39
Gambar 3.14 <i>Define Response Spectrum Functions</i>	40
Gambar 3.15 <i>Input Nilai Response Spectrum</i>	40
Gambar 3.16 Simbol Beban Permanen	41
Gambar 3.17 Simbol Beban Transien.....	41
Gambar 3.18 <i>Load Cases</i> yang Telah Dibuat.....	42
Gambar 3.19 <i>Frame Distributed Loads</i>	43
Gambar 3.20 <i>Input Nilai Frame Distributed Load</i>	44
Gambar 3.21 Nilai Beban <i>Metal Deck</i> yang Telah Diinput.....	44
Gambar 3.22 Nilai Beban Pejalan Kaki yang Telah Diinput.....	45
Gambar 3.23 Beban Roda Truk yang Telah Diinput.....	45
Gambar 3.24 Beban Terbagi Rata (BTR) yang Telah Diinput.....	46
Gambar 3.25 Beban Garis Terpusat (BGT) yang Telah Diinput.....	47
Gambar 3.26 Beban Rem yang Telah Diinput.....	47
Gambar 3.27 Beban Angin Pada Struktur yang Telah Diinput.....	48
Gambar 3.28 Beban Angin Pada Kendaraan yang Telah Diinput.....	48
Gambar 3.29 Beban Temperatur yang Telah Diinput.....	49
Gambar 3.30 Pembebanan Struktur Bawah	58
Gambar 4.1 <i>Analysis Options</i>	59
Gambar 4.2 <i>Steel Design/Check of Structure</i>	60
Gambar 4.3 Hasil <i>Steel Design/Check of Structure</i>	61
Gambar 4.4 Nilai PMM Ratios	61
Gambar 4.5 Lendutan Akibat Berat Sendiri (DL).....	62
Gambar 4.7 Lendutan Akibat DL+LL (Untuk Kasus TT)	63
Gambar 4.8 Lendutan Akibat LL (Untuk Kasus TD).....	63
Gambar 4.9 Lendutan Akibat DL+LL (Untuk Kasus TD).....	64
Gambar 4.10 Analisis <i>Elastomeric Bearing</i>	66
Gambar 4.11 Tampak Atas <i>Elastomeric Bearing</i>	66
Gambar 4.12 Tampak Samping <i>Elastomeric Bearing</i>	66
Gambar 4.13 Analisis Metal Deck	71

Daftar Tabel

Tabel 1.1 Beberapa Bentang Jembatan	4
Tabel 3.1 Nilai V_0 dan Z_0 Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	35
Tabel 3.2 Tekanan Angin Dasar	36
Tabel 3.3 Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan	37
Tabel 3.4 Parameter Gempa.....	39
Tabel 3.5 Load Pattern yang Dibuat	41
Tabel 3.6 Kombinasi Pembebanan dan Faktor Beban.....	42
Tabel 3.7 Summary of Load Combination	43
Tabel 4.1 Joint Displacement.....	62







PENDAHULUAN

1.1 Pengertian Jembatan

Berdasarkan Surat Edaran Menteri PUPR No.7/SE/M/2015, pengertian umum dari jembatan adalah bangunan pelengkap jalan yang terputus oleh sungai, saluran, lembah dan selat atau laut, jalan raya dan jalan kereta api. Selain itu, Peraturan Menteri PUPR No.41/PRT/M/2015 mengatakan bahwa jembatan adalah jalan yang terletak di atas permukaan air dan/atau permukaan tanah. Beberapa variasi lalu lintas pada jembatan dapat mencakup pejalan kaki, kendaraan, saluran pipa, kabel, air, kereta api, maupun kombinasi dari komponen-komponen individual tersebut.

Diskontinuitas yang ada dapat berupa jalan raya (*highway*), sungai, lembah, ataupun berbagai macam hambatan fisik lainnya. Layaknya jalan raya ataupun sistem drainase, jembatan merupakan sebuah bagian yang krusial dalam jaringan transportasi yang pastinya merupakan bagian dari sebuah perancangan tata kota atau wilayah.

1.2 Perencanaan Teknis

Peraturan Menteri PUPR No.05/PRT/M/2015 mengatakan bahwa perencanaan teknis adalah kegiatan yang berupa proses pemikiran, kreasi, dan perekayasaan dalam rangka mewujudkan infrastruktur. Sumber yang lain yaitu Peraturan Pemerintah No.34 Tahun 2006 menyatakan bahwa perencanaan teknis adalah kegiatan penyusunan dokumen rencana teknis yang berisi gambaran produk yang ingin diwujudkan yang harus dilakukan secara optimal dengan memperhatikan aspek lingkungan hidup. Sebuah jembatan harus dalam kondisi aman, stabil, fungsional, ekonomis dan indah. Latar belakang dalam dibuatnya perencanaan teknis jembatan agar penyelenggara jalan dapat mewujudkan:

1. Tertib penyelenggaraan jalan yang meliputi pengaturan, pembinaan, pembangunan dan pengawasan jalan dan
2. Tersedianya jalan yang mewujudkan keselamatan, keamanan, kelancaran, ekonomis, kenyamanan dan ramah lingkungan.

1.3 Tahapan Perancangan Teknis Pada Jembatan

Tahapan perancangan teknis jembatan telah dimuat dalam Peraturan Menteri PU No.19/PRT/M/2011. Adapun 3 tahap perancangan yang diatur, yaitu

1.3.1 Perancangan Teknis Awal

Tahap pertama dalam perancangan teknis awal adalah menentukan alternatif *alignment* jalan yang akan dibangun. Alternatif *alignment* tersebut bertujuan untuk memilih skematis terbaik dari beberapa pilihan *alignment* yang telah direncanakan. Tahap kedua adalah melakukan pertimbangan teknis, ekonomis, lingkungan, dan keselamatan yang diajukan dari tahap perancangan teknis awal untuk memastikan kelayakan dari ketiga pertimbangan yang disyaratkan dalam Peraturan Menteri tersebut.

1.3.2 Kajian Kelayakan Jalan

Tahap kedua adalah kajian kelayakan jalan yang terdiri dari kajian kelayakan teknis dan kajian kelayakan finansial untuk setiap alternatif *alignment* jalan yang dikeluarkan pada perencanaan teknis awal dan penetapan pilihan alternatif yang paling layak, baik secara teknis maupun finansial serta keselamatan lalu lintas jalan.

1.3.3 Perancangan Teknis Akhir

Bagian ini terdiri dari desain pendahuluan terpilih hasil dari kajian kelayakan jalan, *Detail Engineering Design*, Audit Keselamatan Jalan (AKJ) dan perancangan teknis akhir.

Ketiga tahapan tersebut harus dilaksanakan dalam perencanaan jembatan agar mutu pekerjaan terjaga sesuai dengan Surat Edaran Menteri dan Peraturan Menteri.

1.4 Peraturan dan Standar yang Dijadikan Acuan

Adapun beberapa peraturan dan standar yang digunakan dalam perancangan jembatan baja bentang 80 meter ini yaitu:

1. Peraturan Pemerintah No.34 Tahun 2006 tentang Jalan;
2. Peraturan Menteri PU No.19/PRT/M/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan dan Kriteria Perencanaan Teknis Jalan;
3. Peraturan Menteri PUPR No.05/PRT/M/2015 tentang Pedoman Umum Implementasi Konstruksi Berkelanjutan Pada Penyelenggaraan Infrastruktur Bidang Pekerjaan Umum dan Pemukiman;
4. Peraturan Menteri PUPR No.41/PRT/M/2015 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan;
5. UU No.02 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi;
6. SE Menteri PUPR No.07/SE/M/2015 tentang Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan;
7. SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan;
8. SNI 2833:2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa;
9. SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik;
10. RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan;

11. RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan;
12. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Edition, 2012;
13. AASHTO Guide Specifications for Design and Construction of Segmental;
14. Concrete Bridge, 2nd Edition, 1999 PCI Design Handbook, dan
15. International Building Code, IBC, 2006.

1.5 Umur Rencana Jembatan

Pada umumnya, umur rencana jembatan berkisar antara 50 tahun, sedangkan jembatan khusus bisa sampai 100 tahun. Umur rencana jembatan permanen adalah 50 tahun. Umur rencana tersebut biasanya dipengaruhi oleh bahan/material yang digunakan dan aksi di lingkungan sekitarnya yang dianggap memengaruhi durabilitas jembatan tersebut. Untuk jembatan dengan umur rencana yang lebih panjang harus direncanakan untuk aksi yang mempunyai periode ulang lebih panjang menurut persamaan di bawah.

$$Pr = 1 + (1 - (1/R))^D$$

Di mana:

- Pr = Kemungkinan bahwa aksi tertentu akan terlampaui minimal sekali selama umur rencana jembatan yang ditetapkan;
- D = Umur rencana jembatan yang ditetapkan (tahun) dan
- R = Periode ulang dari aksi beban yang diperhitungkan (tahun)

1.6 Rencana Keadaan Batas

Rencana keadaan batas adalah pendekatan perencanaan di mana semua fungsi dan bentuk struktur telah diperhitungkan. Pada saat mencapai keadaan batas jembatan diasumsikan, terdapat sejumlah reaksi yang sedemikian besarnya sehingga mengakibatkan jembatan runtuh/tidak layak layan atau telah terjadinya kegagalan (*failure*). Secara sederhana, rencana keadaan batas dapat dirumuskan dengan persamaan di bawah.

Faktor Reduksi Kekuatan x Kapasitas Nominal \geq Faktor Beban x Beban Nominal

1.7 Beberapa Macam Bentang Jembatan

Berikut adalah beberapa macam bentang untuk jembatan.

No	Tipe Bangunan Atas	Bentang Ekonomis (meter)
1	Pelat Beton Bertulang	0 sampai 15
2	Gelagar Beton T	10 sampai 18
3	Mod Gelagar Beton T	18 sampai 25
4	Gelagar Boks Beton Bertulang	25 sampai 40
5	Gelagar I Beton Pratekan	25 sampai 40
6	Gelagar Boks Baja	40 sampai 300
7	Rangka Baja (<i>Steel Truss</i>)	40 sampai 200
8	Pelengkung Baja (<i>Steel Arch</i>)	150 sampai 400
9	Beruji Kabel (<i>Cable Stayed</i>)	200 sampai 500
10	Gantung (<i>Suspension</i>)	300 sampai 2000

Tabel 1.1 Beberapa Bentang Jembatan

(Sumber: SE Menteri PUPR No.7/SE/M/2015)

Apabila tidak direncanakan secara khusus, maka dapat digunakan bangunan atas jembatan standar Bina Marga (gambar standar) sesuai bentang ekonomis dan kondisi lalu lintas air di bawahnya seperti:

1. Box Culvert (*single, double, triple*) bentang 6-10 meter;
2. Voided Slab bentang 6-12 meter;
3. Voided Slab bentang 6-16 meter;
4. Gelagar Beton Bertulang Tipe T bentang 6-20 meter;
5. Gelagar Beton Pratekan Tipe I bentang 16-60 meter;
6. Gelagar Beton Pratekan Tipe T bentang 30-60 meter;
7. Girder Komposit Tipe I bentang 20-60 meter;
8. Girder Komposit Tipe Box bentang 20-60 meter; dan
9. Rangka Baja bentang 40-100 meter.

1.8 Klasifikasi Jembatan

1.8.1 Berdasarkan Tipe Struktur

Jembatan dapat diklasifikasikan berdasarkan aksi gaya yang bekerja, misalnya gaya tarik, tekan, lentur, torsi dan geser terdistribusi sepanjang sistem struktur jembatan. Dalam menahan dan meneruskan beban yang bekerja ke fondasi jembatan sebagian besar tipe jembatan akan mengalami hampir seluruh gaya-gaya ini, namun beberapa gaya/aksi akan lebih dominan dibandingkan dengan gaya/aksi yang lainnya. Berdasarkan tipe struktur jembatan dapat diklasifikasikan menjadi:

- Jembatan pelat (*slab bridge*);
- Jembatan gelagar (*girder bridge*);
- Jembatan rangka batang (*truss bridge*);

- Jembatan pelengkung (*arch bridge*);
- Jembatan balok pelengkung (*tied arch bridge*);
- Jembatan gantung (*suspension bridge*) dan
- Jembatan beruji kabel (*cable-stayed bridge*)

1.8.1.1 Jembatan Pelat (Slab Bridge)

Jembatan pelat (*slab bridge*) adalah jembatan yang terdiri dari pelat yang ditumpu oleh kepala jembatan pada kedua ujungnya. Jenis jembatan ini pada umumnya mempunyai bentang yang pendek. Adapun kelebihan dari jembatan tipe ini adalah metode pelaksanaan konstruksinya yang mudah dan cepat dibandingkan dengan jembatan tipe yang lainnya, karena jembatan ini mempunyai sistem struktur yang sederhana. Tulangannya tersebar merata tanpa adanya konsentrasi penulangan pada area gelagar.



Gambar 1.1 Slab Brige

1.8.1.2 Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*)

Jembatan gelagar tersusun dari gelagar horizontal yang ujung-ujungnya tertumpu pada struktur bawah jembatan dan biasanya tumpuan tersebut adalah tumpuan sederhana, di mana jembatan hanya menghubungkan satu bentang tunggal atau sebagai jembatan yang menerus di mana gelagar tersebut membentang secara menerus melewati beberapa titik tumpuan (jembatan bentang majemuk). Gaya vertikal pada jembatan gelagar ditransfer menjadi gaya geser dan lentur pada elemen gelagar yang kemudian diteruskan ke bagian tumpuan jembatan. Jembatan gelagar umumnya mempunyai balok yang berbentuk I, T, dan boks. Bentang maksimum yang diizinkan dari jembatan gelagar umumnya sebesar 75 meter, karena semakin besarnya tegangan lentur dan defleksi yang diakomodir seiring makin panjangnya bentang jembatan.



Gambar 1.2 *Girder Bridge*

1.8.1.3 Jembatan Rangka Batang (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka batang adalah jembatan yang di mana elemen-elemennya berupa elemen batang yang bekerja melalui mekanisme aksial yang berupa tekan dan tarik. Jembatan ini merupakan salah satu tipe jembatan tertua yang masih ada dan masih banyak digunakan pada era modern sekarang ini. Jembatan rangka batang merupakan jembatan dengan bentang yang ekonomis karena kita dapat memanfaatkan material penampang secara maksimal.



Gambar 1.3 *Truss Bridge*

1.8.1.4 Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung merupakan jembatan yang bentuknya setengah lingkaran di mana pada kedua ujungnya bertumpu di kepala jembatan (*abutment*). Konsep utama dari jembatan tipe ini adalah mengubah gaya dalam akibat beban-beban luar yang bekerja pada jembatan yang umumnya berupa gaya dalam berupa momen lentur dan gaya geser pada jembatan pelengkung menjadi gaya tekan murni pada busur dengan memanfaatkan geometri jembatan.

Gaya tekan ini diteruskan sepanjang busur menjadi gaya lateral dan vertikal pada kepala jembatan. Dahulu kala, jembatan pelengkung banyak ditemui karena jembatan ini dapat dibuat dari material seperti batuan ataupun beton tanpa tulangan yang umumnya memiliki ketahanan yang bagus terhadap tekan namun lemah terhadap tarik.



Gambar 1.4 *Arch Bridge*

1.8.1.5 Jembatan Balok Pelengkung (*Tied Arch Bridge*)

Jembatan balok pelengkung memiliki komponen struktur atas yang bentuknya melengkung namun memiliki satu fitur berbeda dengan jembatan pelengkung pada umumnya terkait elemen pengikat yang menghubungkan kedua tumpuan jembatan. Elemen pengikat ini berfungsi untuk membantu menahan gaya lateral yang seharusnya diakomodasi oleh tumpuan jembatan dalam bentuk tarik pada elemen pengikat tersebut. Sistem ini menghasilkan desain fondasi dari elemen kepala jembatan yang lebih optimal dan ekonomis.



Gambar 1.5 *Tied Arch Bridge*

1.8.1.6 Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan gantung merupakan sistem struktur jembatan di mana lantai jembatan ditumpu melalui kabel gantung. Struktur jembatan terbuat dari baja kecuali bagian lantai jembatan/gelagar dan fondasi. Menara dibuat dari baja atau beton bertulang. Berikut segi ekonomis dari jembatan gantung.

- Kabel parabolik sebagai elemen utama yang didukung sedemikian sehingga menyalurkan beban ke menara dan jangkar berupa tegangan tarik langsung;
- Ketahanan tarik *ultimate* yang tinggi dari kabel dan penggantung sehingga berat sendiri struktur ekonomis dalam pencapaian bentang panjang;
- Kabel utama diperkaku oleh rangka pengaku atau sistem gelagar pada elevasi lantai. Sistem pengaku menahan gerakan aerodinamis dan membuat perubahan sudut setempat dalam lantai yang mana bukan menjadi masalah bila berat sendiri besar;
- Lantai digantung dengan penggantung kabel sehingga seluruh struktur dapat dibangun tanpa perancah mengingat urutan pelaksanaannya yang dimulai dari menara, kabel, penggantung lalu ke lantai;
- Tinggi menara perlu dibatasi bila lokasi berdekatan dengan lapangan udara dan
- Biaya struktur utama yang terdiri dari kabel, penggantung dan menara dapat diperkirakan pada awal desain karena beban mati dan hidup melalui penggantung (tarik) dipikul oleh kabel (tarik) dan disalurkan ke menara.



Gambar 1.6 *Suspension Bridge*

1.8.1.7 Jembatan Beruji Kabel (*Cable-Stayed Bridge*)

Cable-stayed bridge juga ditopang oleh kabel-kabel, namun pada sistem *cable-stayed* ini jumlah kabel yang dibutuhkan lebih sedikit dan elemen *tower/ pylon* yang difungsikan untuk menggantungkan kabel pada umumnya memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan *tower* pada jembatan gantung. Sistem *cable-stayed* ini menghasilkan suatu ruang yang terdiri dari balok-balok pengaku (*stiffening girder*), lantai jembatan baja atau beton bertulang, dan bagian-bagian pendukung seperti pylon yang bereaksi pada tekanan, dan kabel-kabel miring yang bereaksi pada tegangan.

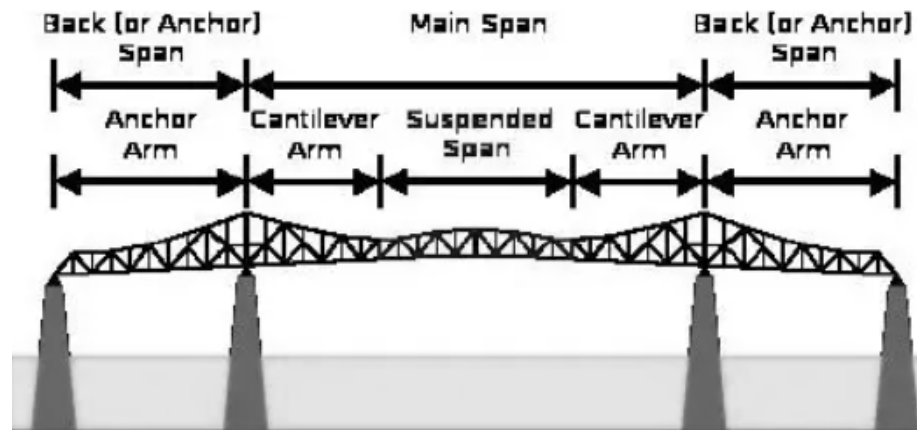
Karakteristik utama dari sistem *cable-stayed* adalah aksi yang integral dari balok-balok pengaku dan *prestressed* ataupun *post-tensioning cable* yang berjalan turun dari puncak menara ke titik-titik angkur pada balok pengaku. Kuat tekan secara horizontal yang diakibatkan aksi kabel diambil alih oleh balok-balok pengaku dan angkur-angkur yang tidak masif yang sangat diperlukan. Karakteristik struktural lainnya dari sistem *cable-stayed* adalah bahwa sistem ini secara geometris tidak berubah di bawah pembebanan pada berbagai posisi di jembatan dan seluruh kabel berada dalam posisi tegang.



Gambar 1.7 *Cable-Stayed Bridge*

1.8.1.8 Jembatan Kantilever

Jembatan kantilever adalah jenis jembatan yang dibangun dengan prinsip struktur kantilever (balok terjepit di satu ujung dan bebas di ujung lainnya), di mana setiap sisi bentang utama (*main span*) dibangun secara bertahap dari tumpuan tetap (*pier*) ke arah tengah tanpa bantuan tumpuan sementara di tengah sungai atau lembah. Konstruksi dimulai dari dua sisi berlawanan, masing-masing berupa lengan kantilever yang menonjol dari *pier* utama, hingga akhirnya bertemu di tengah bentang dan disambung dengan sendi (*hinge*) atau sambungan kaku. Sistem ini memungkinkan pembangunan jembatan di atas jurang dalam, sungai lebar, atau wilayah dengan akses sulit tanpa memerlukan perancah (*falsework*) di bawahnya, sehingga sangat efisien untuk bentang panjang (100–500 m). Material utama biasanya beton prategang atau baja, dengan gelagar kotak (*box girder*) sebagai penampang utama untuk meningkatkan kekakuan torsional dan mengurangi lendutan.



Gambar 1.8 Struktur Jembatan Kantilever

1.9 Struktur Atas Jembatan

Struktur atas jembatan merupakan seluruh bagian jembatan yang berada di atas tumpuan utama (*pier/abutment*) dan berfungsi langsung menerima serta menyalurkan beban lalu lintas ke struktur bawah. Komponen utama struktur atas meliputi lantai jembatan (*deck/slab*), balok utama (*main girder/longitudinal girder*), balok lintang (*cross girder/diaphragm*), sistem pengaku (*bracing*), serta elemen tambahan seperti trotoar, pagar pengaman, dan sambungan ekspansi. Dek jembatan dapat berupa pelat beton bertulang, pelat beton prategang, atau sistem komposit baja-beton (*steel-concrete composite*), sedangkan balok utama bisa berbentuk I, *box girder*, atau rangka baja tergantung jenis dan bentang jembatan.

Fungsi utama struktur atas adalah mendistribusikan beban mati (berat sendiri jembatan) dan beban hidup (kendaraan, pejalan kaki, angin, gempa) secara merata ke tumpuan-tumpuan di bawahnya dengan faktor keamanan yang tinggi. Desain struktur atas sangat menentukan jenis jembatan secara keseluruhan. Kekakuan, ketahanan terhadap kelelahan, dan kemudahan perawatan menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan sistem struktur atas modern

1.9.1. Pelat Lantai

Pelat lantai jembatan berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan yang menahan langsung beban lalu lintas yang melewati jembatan. Komponen ini merupakan komponen yang menyalurkan beban langsung lalu ditransfer ke *main girder*.



Gambar 1.9 Pelat Lantai Jembatan

1.9.2 Trotoar

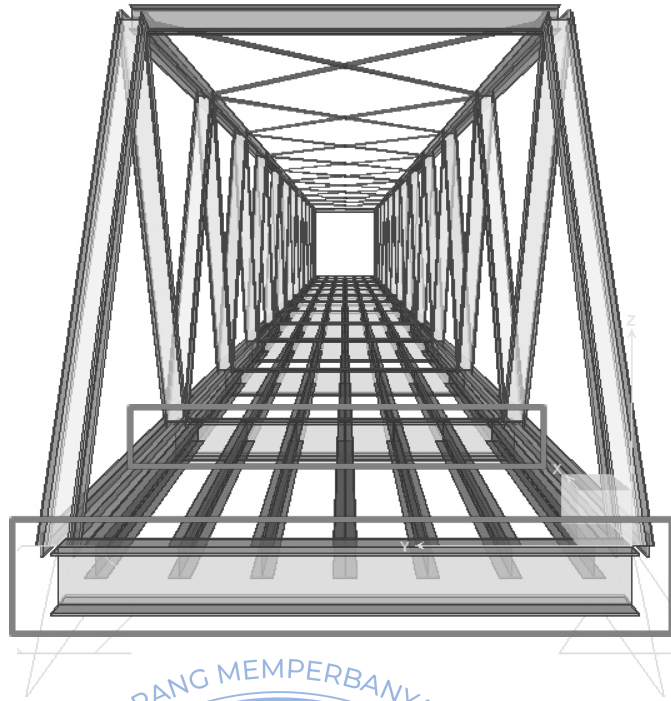
Trotoar berfungsi sebagai tempat untuk pejalan kaki dan terletak di sisi kiri. Trotoar biasanya terdapat pada struktur jembatan yang menopang jalan raya dan biasanya dilengkapi dengan *railing* dan *kerb*.



Gambar 1.10 Trotoar Jembatan

1.9.3 Cross Girder

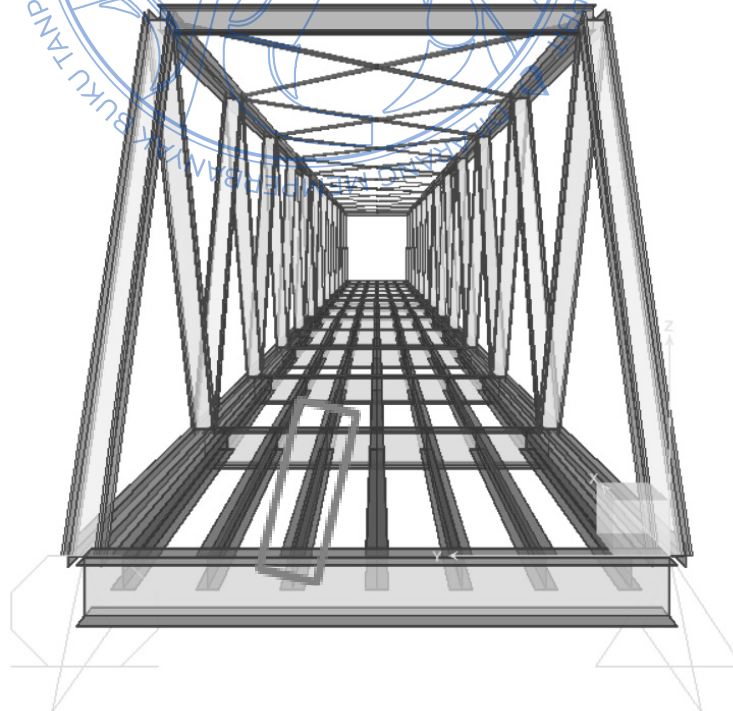
Cross girder merupakan balok melintang yang letaknya di bawah balok memanjang (*stringer*). Fungsi dari *cross girder* adalah menerima beban dari *stringer* dan pelat lantai di atas *stringer*, kemudian disalurkan ke rangka utama. *Cross girder* tersebut diletakkan searah dengan aliran sungai.



Gambar 1.11 *Cross Girder Jembatan*

1.9.4 Balok *Stringer*

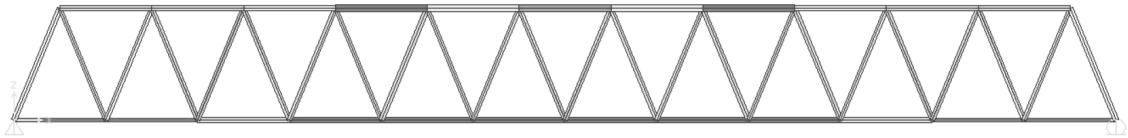
Stringer merupakan balok yang menerima transfer beban dari pelat lantai. Letaknya tegak lurus terhadap aliran sungai dan menumpu pada *cross girder*.



Gambar 1.12 *Stringer Jembatan*

1.9.5 Main Frame

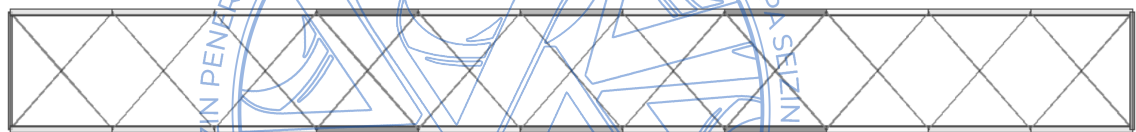
Main frame merupakan rangka utama di mana fungsinya untuk menahan semua beban, baik secara langsung atau beban yang ditransfer untuk diteruskan ke *pier* atau *abutment* jembatan. Rangka ini terdiri dari *top chord*, *bottom chord*, batang vertikal dan batang diagonal (tergantung tipe jembatan).



Gambar 1.13 *Main Frame* Jembatan

1.9.6 Bracing

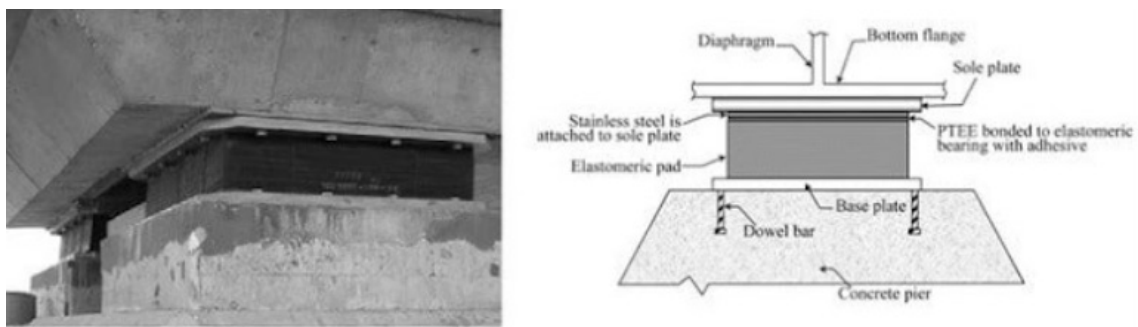
Ikatan angin (*bracing*) merupakan batang yang berfungsi untuk pengaku lateral jembatan (biasanya berpola silang di bagian atas jembatan) dan menyalurkan gaya yang diakibatkan oleh angin ke perletakan jembatan dan menjaga keseimbangan jembatan.



Gambar 1.14 *Bracing* Jembatan

1.9.7 Elastomer

Elastomer (*elastic polymer*) atau *bridge bearing* biasanya terbuat dari bahan karet karena sifat elastisnya yang dapat meredam getaran jembatan dan sebagai media untuk menyalurkan beban ke *pier/abutment*. Elastomer pada umumnya dipasang di atas *pier head* atau di bawah *girder* atau di atas *abutment*.



Gambar 1.15 Elastomer

1.9.8 Lateral Buffer

Lateral buffer merupakan suatu penahan yang dirancang untuk membatasi gerakan berlebih jembatan ke arah tegak lurus sumbu memanjang jalan. Berikut adalah 3 kegunaan *lateral buffer*:

1. Menjaga agar rangka jembatan tetap berada pada posisinya (tidak bergeser dari tumpuan/*bearing*);
2. Menahan gaya angin dari samping;
3. Menahan gaya sentrifugal (jika ada) dan
4. Menahan gaya gempa yang bekerja dalam arah lateral.

1.9.9 Longitudinal Buffer

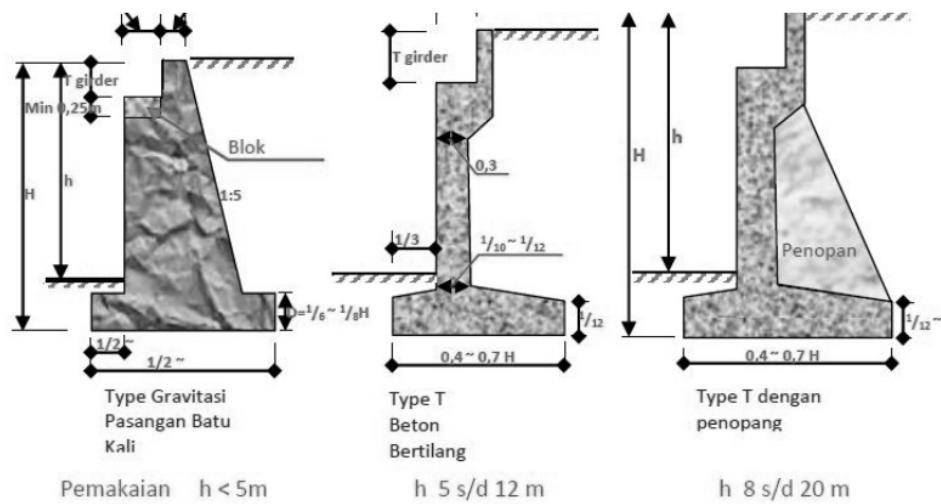
Longitudinal buffer merupakan suatu penahan yang dirancang untuk membatasi gerakan berlebih jembatan searah sumbu memanjang jalan. Berikut adalah 3 kegunaan *longitudinal buffer*:

1. Menahan gaya rem kendaraan yang bekerja sejajar sumbu arah memanjang jalan;
2. Membatasi pergerakan yang diakibatkan oleh muai dan susut oleh suhu agar tidak menabrak dinding *backwall* abutment dengan keras dan
3. Menahan gaya gempa yang bekerja dalam arah longitudinal.

1.10 Struktur Bawah Jembatan

1.10.1 Abutment

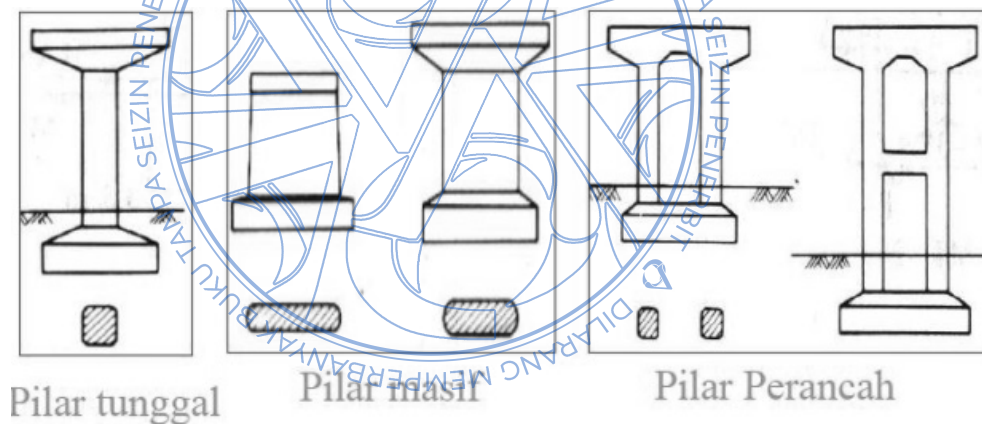
Abutment merupakan struktur penyangga utama yang terletak di kedua ujung jembatan, berfungsi sebagai tumpuan akhir bagi struktur atas (*superstructure*) sekaligus penahan tanah timbunan pendekat jembatan (*approach embankment*). *Abutment* menerima seluruh beban vertikal dan horizontal dari bentang jembatan, kemudian menyalurkannya ke tanah fondasi di bawahnya. Secara umum, *abutment* terdiri dari dinding depan (*breast wall*), dinding sayap (*wing wall*), dinding belakang (*back wall*), serta fondasi (*footings* atau tiang pancang). Material yang paling sering digunakan adalah beton bertulang, meskipun pada jembatan kecil kadang masih ditemukan *abutment* pasangan batu atau beton siklop.



Gambar 1.16 Abutment Jembatan

1.10.2 Pier

Pier atau pilar merupakan sebuah kolom pada jembatan yang didesain untuk meneruskan semua beban, baik vertikal maupun horizontal kepada fondasi di bawahnya.



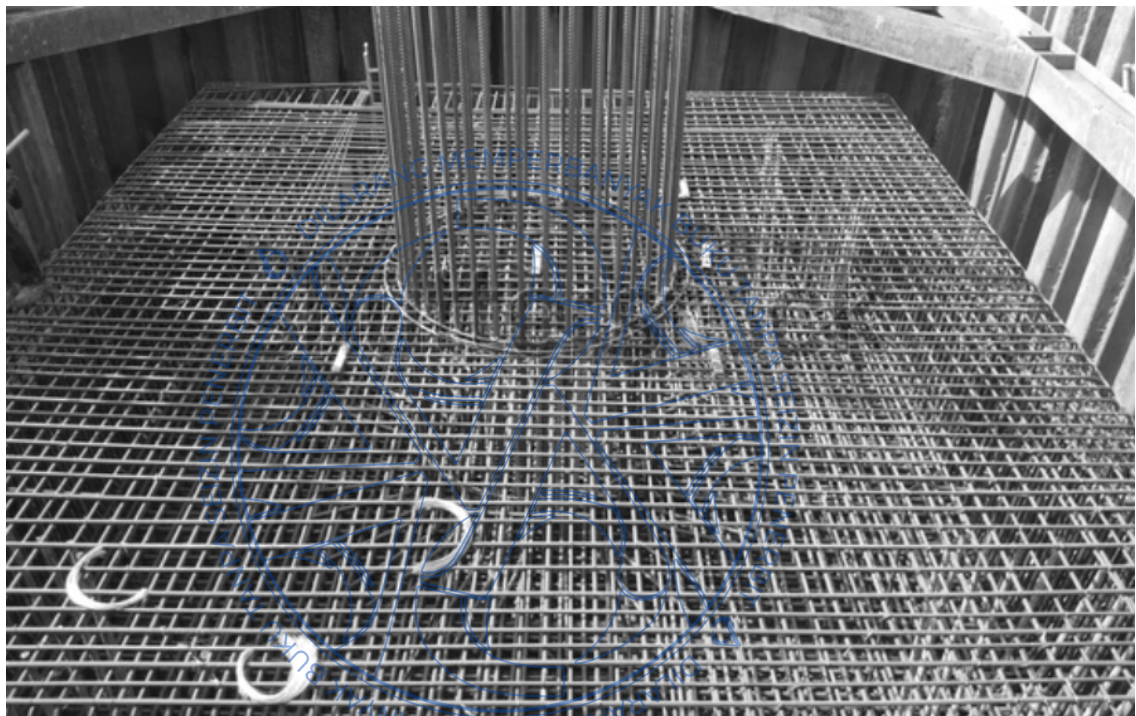
Gambar 1.17 Pier Jembatan

1.10.3 Pile Cap

Pile cap merupakan elemen struktural krusial pada konstruksi jembatan yang berfungsi untuk mengikat kumpulan fondasi tiang (*pile group*) menjadi satu kesatuan yang kaku. Fungsi utamanya adalah mendistribusikan beban terpusat yang berasal dari pilar atau *abutment* jembatan secara merata ke seluruh tiang fondasi yang ada di bawahnya. Selain sebagai penyalur beban, *pile cap* juga berperan penting dalam menjaga stabilitas posisi tiang-tiang tersebut agar tidak terjadi pergeseran lateral maupun penurunan yang tidak seragam (*differential settlement*), sehingga struktur bangunan atas tetap berada pada elevasi rencana.

Dalam proses perancangannya, *pile cap* harus memiliki ketebalan dan penulangan yang cukup untuk menahan gaya geser serta momen lentur yang sangat besar. Dimensi *pile cap* biasanya ditentukan berdasarkan jumlah tiang, jarak antar tiang, serta besarnya beban aksial dan lateral dari bangunan atas jembatan. Material yang digunakan umumnya berupa beton bertulang dengan mutu tinggi untuk memastikan durabilitas jangka panjang, mengingat posisi *pile cap* sering kali berada di bawah permukaan tanah atau terendam air yang rentan terhadap risiko korosi dan degradasi lingkungan.

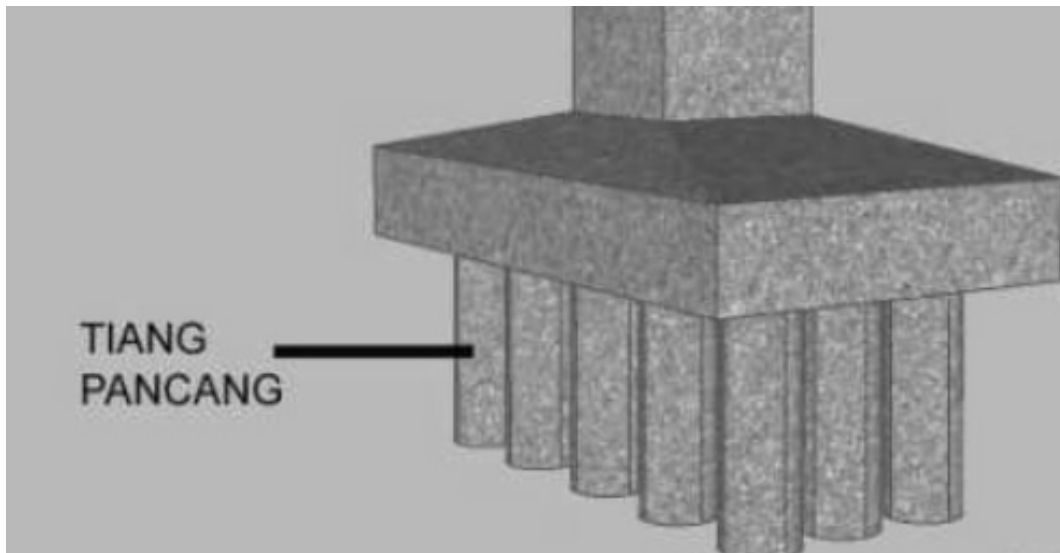
Berdasarkan SNI 2847:2019, tebal efektif *pile cap* jika diukur dari tulangan bawah yaitu sebesar 300 mm, dan $fV_n \geq V_u$ baik untuk satu arah maupun dua arah.



Gambar 1.18 *Pile Cap*

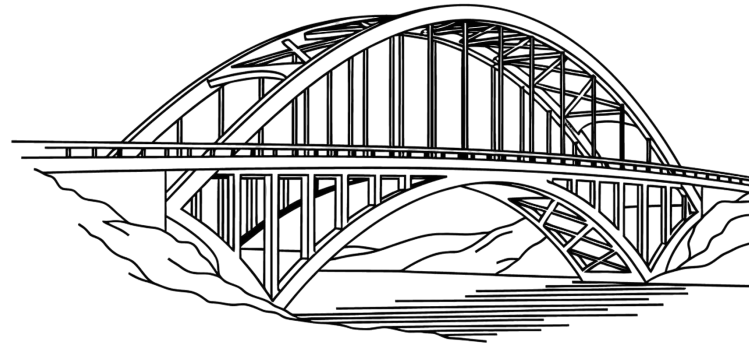
1.10.4 Tiang fondasi

Fondasi merupakan elemen struktur paling bawah yang berfungsi menyalurkan seluruh beban jembatan (beban mati, beban hidup, gempa, angin, dan tumbukan) ke lapisan tanah atau batuan yang memiliki daya dukung memadai. Fondasi jembatan dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu fondasi dangkal (*shallow foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*). Fondasi dangkal berupa *footing spread* atau *raft* hanya digunakan pada jembatan kecil hingga sedang bila tanah keras berada dekat permukaan dan penurunan diperkirakan kecil. Namun, mayoritas jembatan modern, terutama yang melintasi sungai, rawa, atau tanah lunak, menggunakan fondasi dalam seperti tiang pancang (*driven pile*), *bored pile*, *caisson*, atau *barrette* untuk mencapai lapisan keras di kedalaman 20–100 meter atau lebih



Gambar 1.19 Tiang fondasi/Pancang





PEMODELAN STRUKTUR

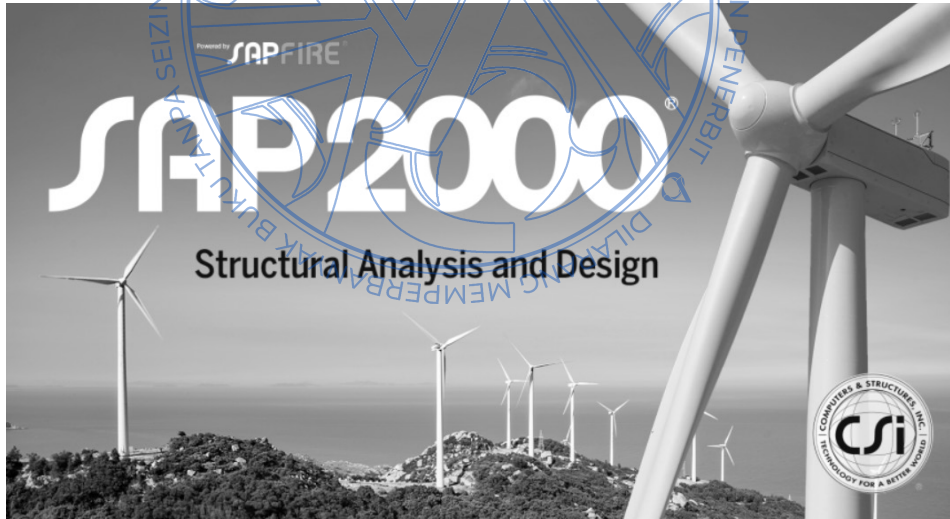
2.1 Data Umum Bangunan

Pada buku ini akan diberikan contoh langsung pemodelan struktur jembatan baja.

Berikut adalah data umum jembatan:

- a. Nama proyek : Jembatan Pangean;
- b. Lokasi proyek : Kalimantan Utara;
- c. Panjang jembatan : 80 meter;
- d. Lebar jembatan : 7,6 meter;
- e. Luas jembatan : xxx m², dan
- f. Sistem struktur : Rangka Baja

Data-data di atas adalah informasi umum dalam merancang jembatan. Penulis menggunakan sebuah *software* yang memang dikhususkan untuk menganalisis struktur rangka baja, yaitu SAP2000.

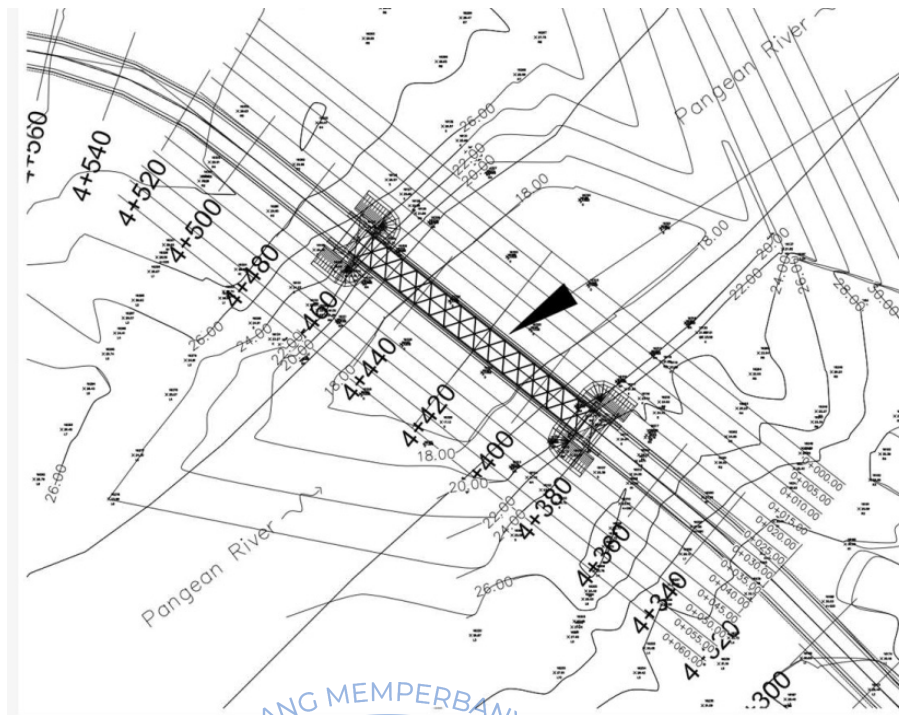


Gambar 2.1 Software SAP2000

2.2 Pemodelan Struktur Atas

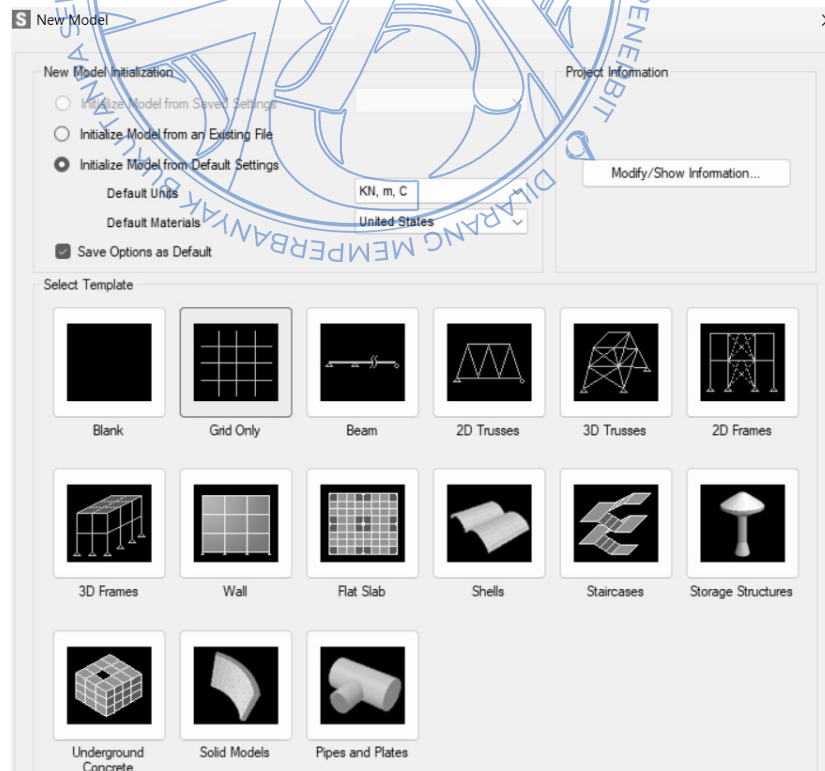
2.2.1 Pembuatan Grid

Sebelum membuat sebuah grid/AS jembatan tersebut, ada baiknya kita mengetahui bagaimana *site plan*/tata letak bangunannya.

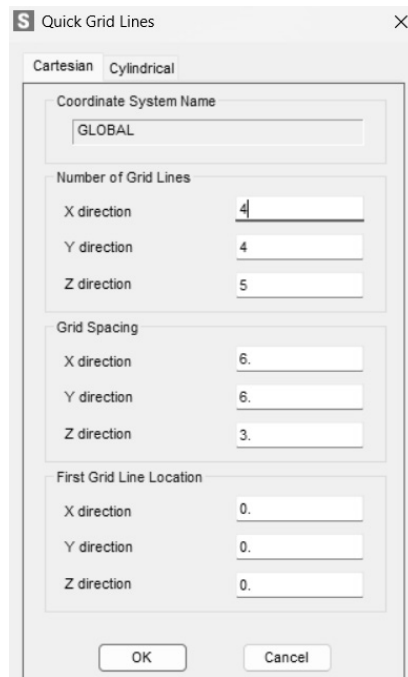


Gambar 2.2 Site Plan Jembatan

Klik menu **File** → **New Model**, pilih opsi **Grid Only**. Selain itu juga terdapat beberapa pilihan lain yang bisa digunakan dalam membuat grid. Akan tetapi pada buku ini penulis memilih yang opsi **Grid Only**.



Gambar 2.3 Opsi Grid Pada Software SAP2000

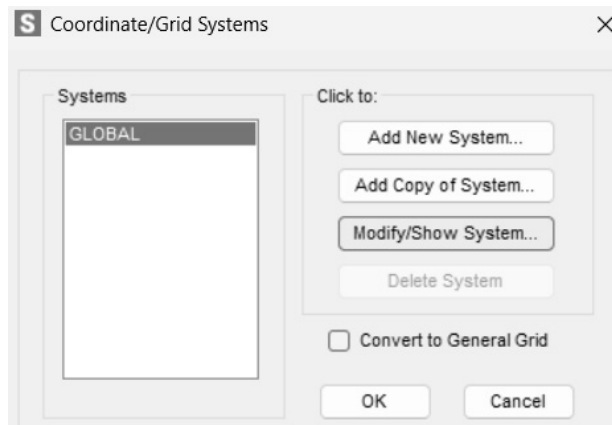


Gambar 2.4 Quick Grid Lines

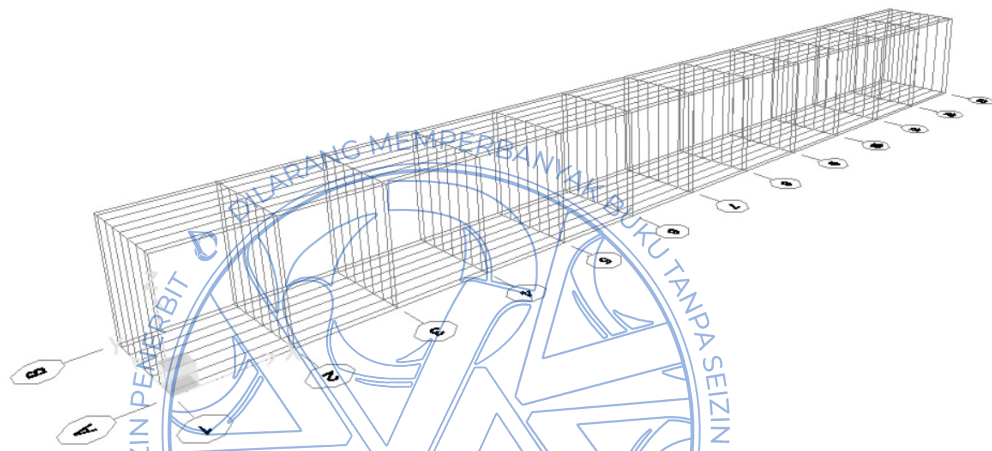
Setelah itu kita perlu menyesuaikan jarak grid sesuai dengan gambar arsitektur. Caranya klik kanan pada salah satu jendela SAP2000 lalu pilih *Edit Grid Data*.



Gambar 2.5 Edit Grid Data



Gambar 2.6 *Coordinate/Grid Systems*



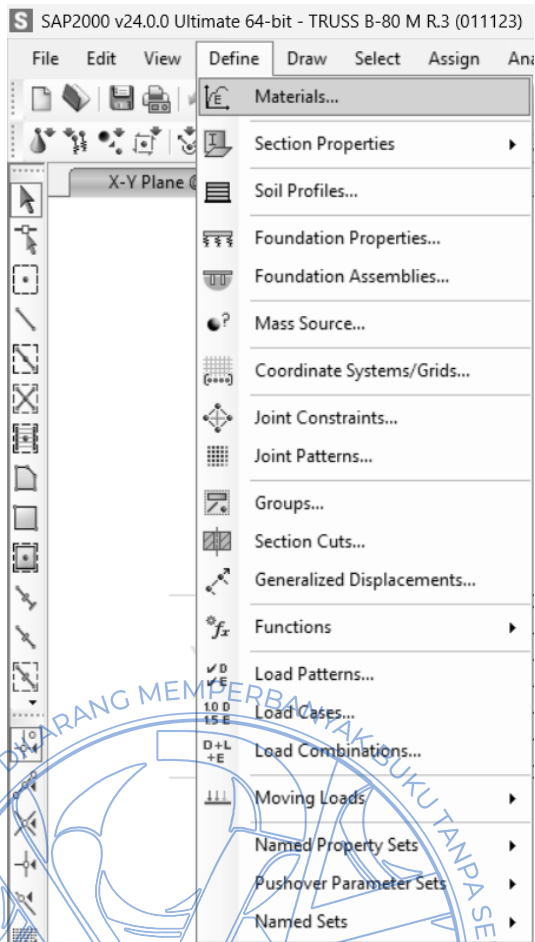
Gambar 2.7 *Grid yang Telah Dibuat*

2.2.2 Pembuatan Properti Material

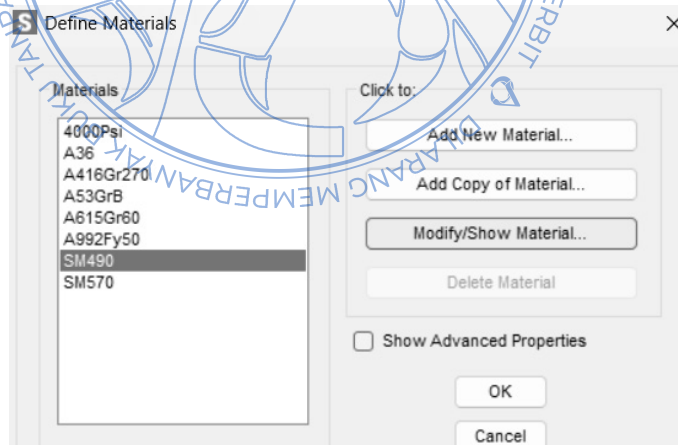
Setelah kita membuat grid bangunan, maka selanjutnya adalah menentukan properti material yang akan digunakan untuk merancang struktur jembatan ini. Material yang digunakan di antaranya:

- a. Baja

Cara membuat properti material tersebut di atas adalah dengan memilih menu *Define*, pilih opsi *Materials*.



Gambar 2.8 Define Material Properties



Gambar 2.9 Define Materials

Adapun penentuan properti material yang akan dirancang harus mengikuti ketentuan di bawah.

a. Baja

Data:

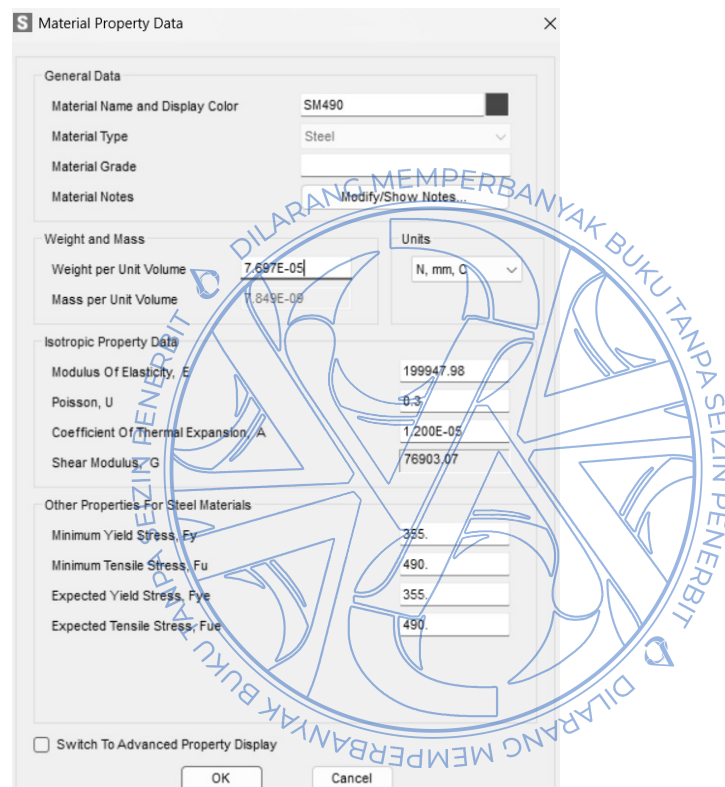
Massa jenis = 7.850 kg/m³;

Kuat leleh (fy) = 355 MPa;

Kuat tarik (fu) = 490 MPa;

Poisson ratio = 0,3

Modulus = 200.000 MPa



Gambar 2.10 *Material Property Data*

2.2.3 Pembuatan Properti Penampang

Dalam merancang suatu bangunan, pastilah kita harus menentukan/membuat beberapa penampang seperti penampang pelat, balok dan kolom. Adapun beberapa ukuran penampang baja yang digunakan penulis dalam merancang jembatan ini adalah sebagai berikut:

a. Balok baja

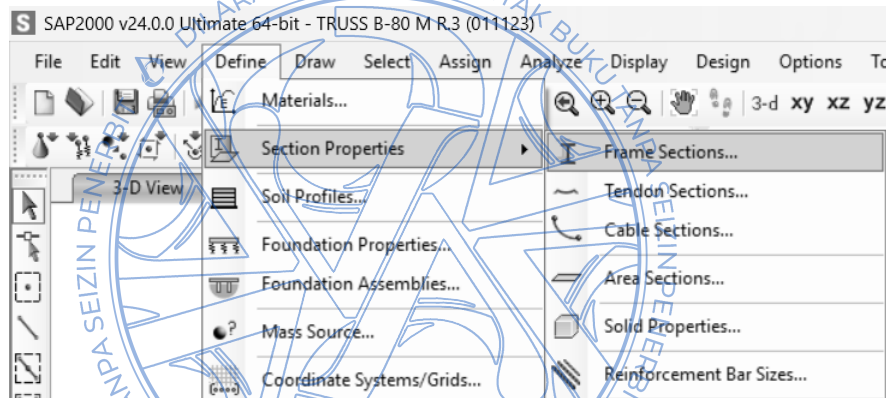
H 800x500x14x24

H 450x500x20x30

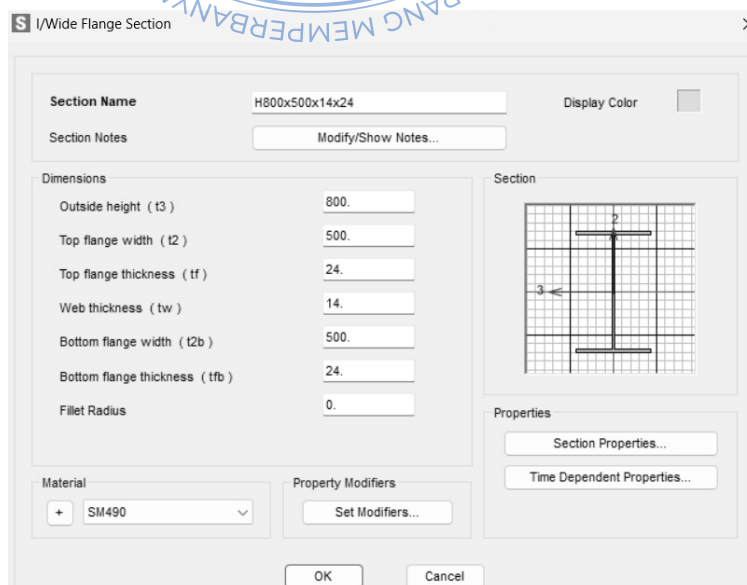
H 450x480x20x30

H 450x450x20x30
 H 450x400x20x30
 H 450x400x20x20
 H 450x350x20x30
 H 450x350x20x24
 H 450x350x20x20
 H 450x350x10x20
 H 450x350x10x16
 H 450x300x20x20
 H 450x300x10x12
 H 440x300x12x14

Sebagai *sample* penulis akan mengambil salah satu balok baja di atas. Caranya adalah klik menu **Define** → **Section Properties** → **Frame Sections**. Lalu klik **Add New Property** → **Frame Section Property Type: Steel**.



Gambar 2.11 *Frame Sections*



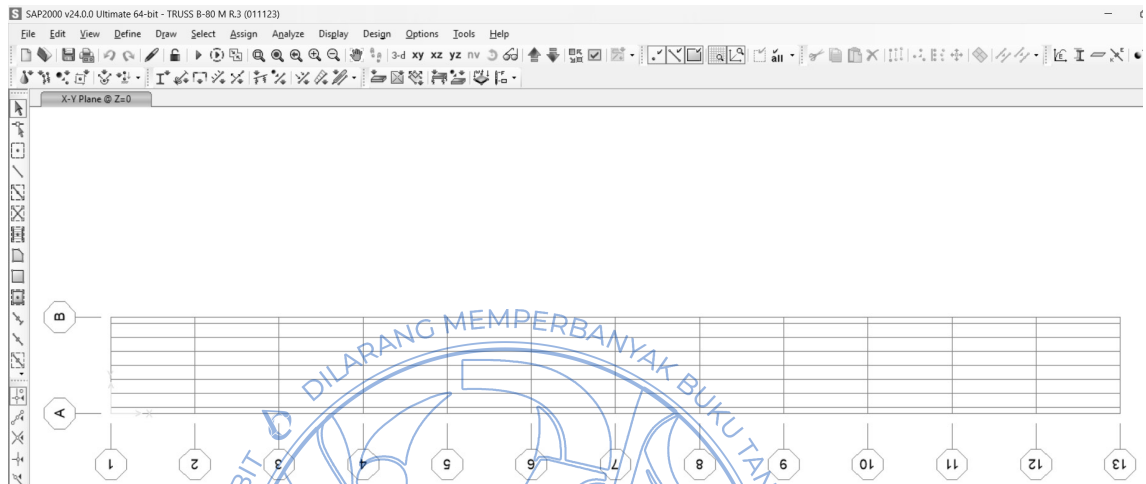
Gambar 2.12 *I/Wide Flange Section*

2.2.4 Pemodelan Balok

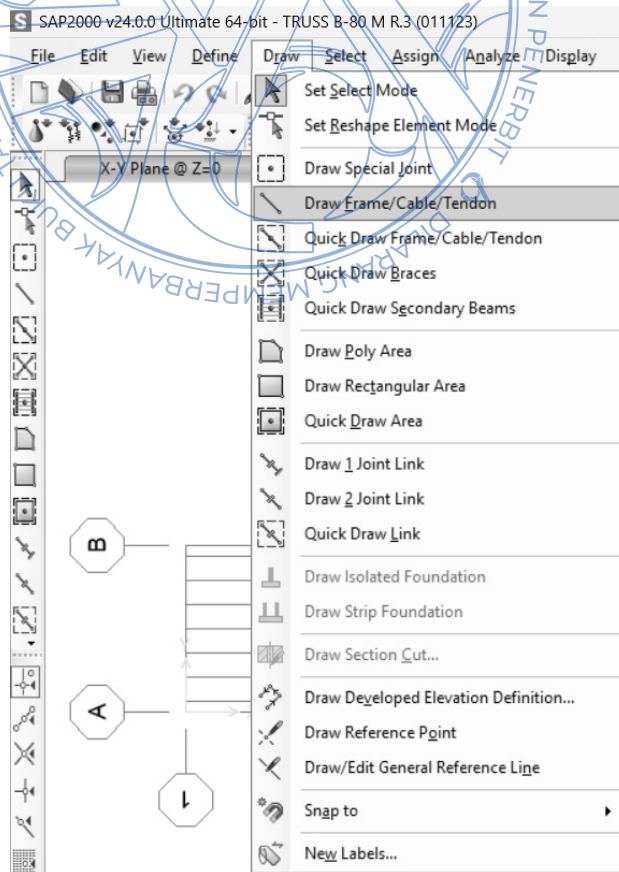
Setelah membuat penampang balok baja selanjutnya kita akan memodelkan balok.

a. Memodelkan balok

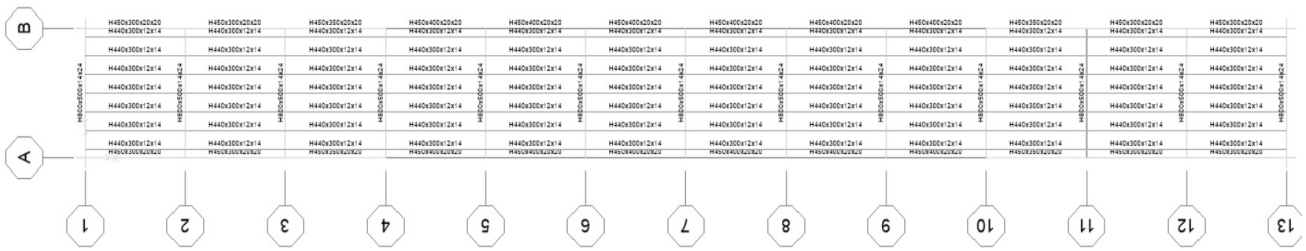
Pemodelan elemen balok baja dimulai dari elevasi *bottom* jembatan, di mana pada elevasi ini akan dilewati oleh banyak kendaraan. Caranya klik ikon *xy* pada *toolbar* SAP2000 dan pastikan berada pada elevasi $Z=0$.



Gambar 2.13 Bottom Plan View

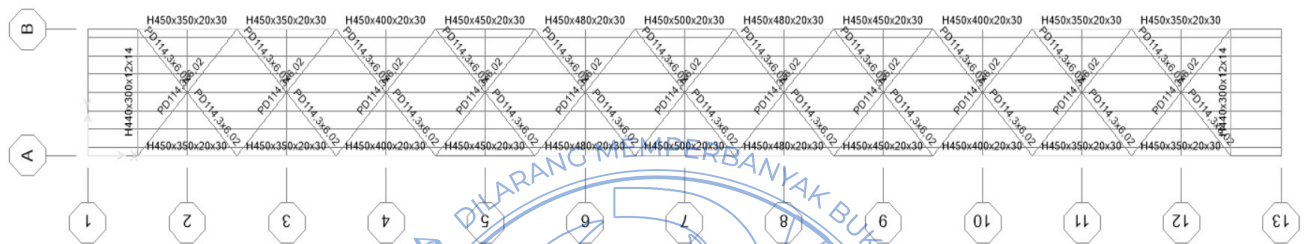


Gambar 2.14 Draw Frame



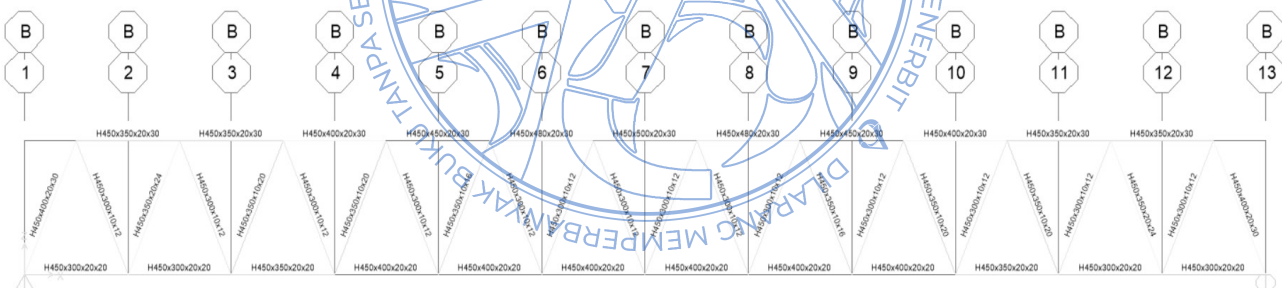
Gambar 2.15 Balok yang Sudah Termodelkan Pada elevasi Bottom

Hal yang serupa dapat diterapkan untuk elevasi *top* jembatan. Pastikan SAP menunjukkan elevasi xy pada Z=8000.



Gambar 2.16 Balok yang Sudah Termodelkan Pada Elevasi Top

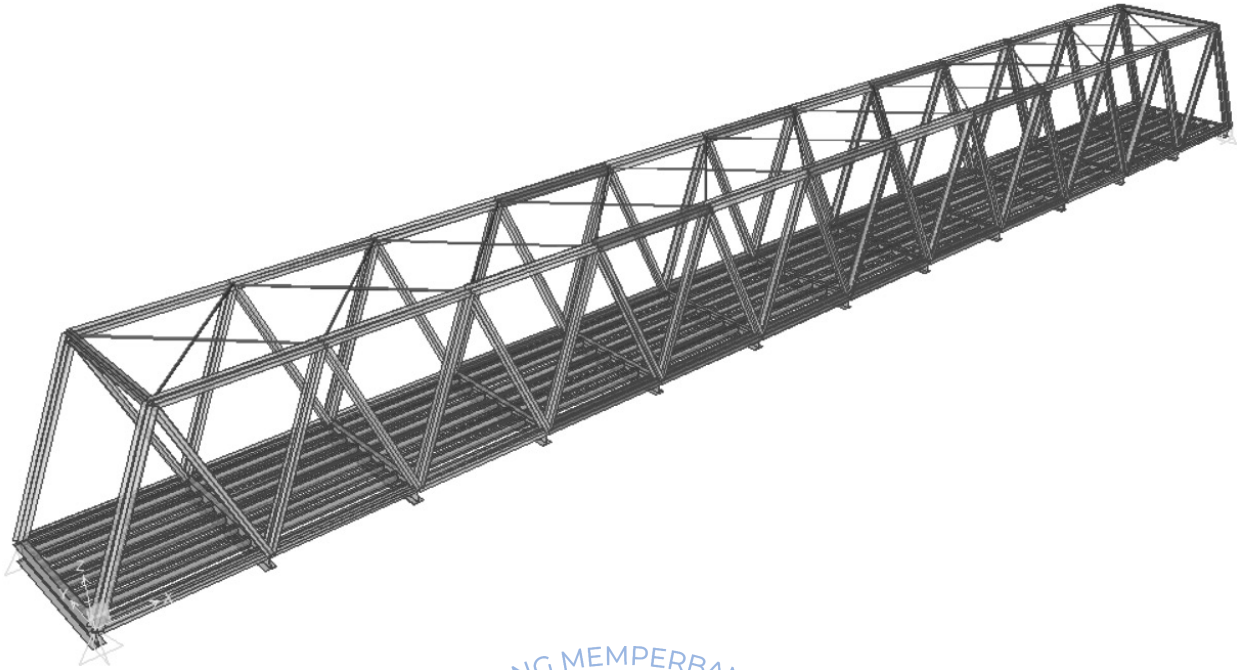
Untuk membuat *side frame* klik ikon xz dan gambar *frame* jembatannya.



Gambar 2.17 Side Frame

2.2.5 Hasil Pemodelan Dalam Tiga Dimensi

Setelah memodelkan semua balok, baik dalam elevasi *bottom*, *top* dan *side frame*, berikut ini adalah model dalam bentuk 3 dimensinya.

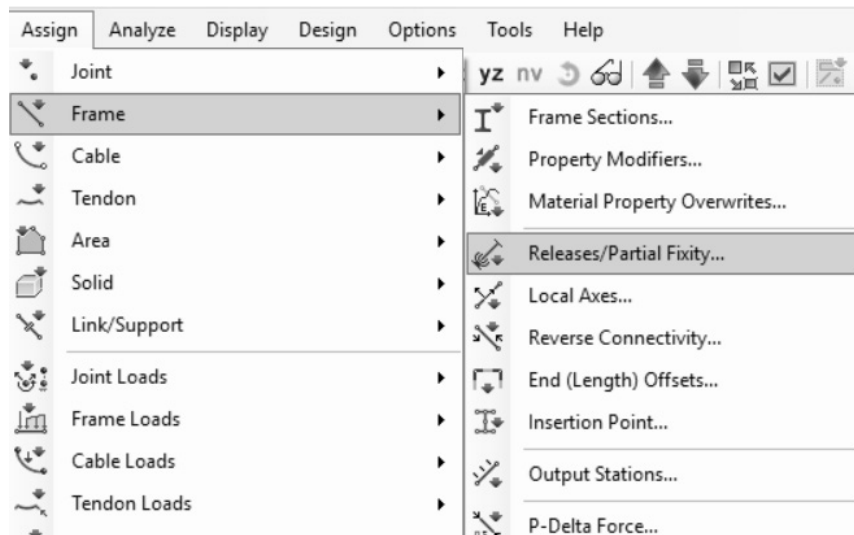


Gambar 2.18 Model Dalam Tiga Dimensi

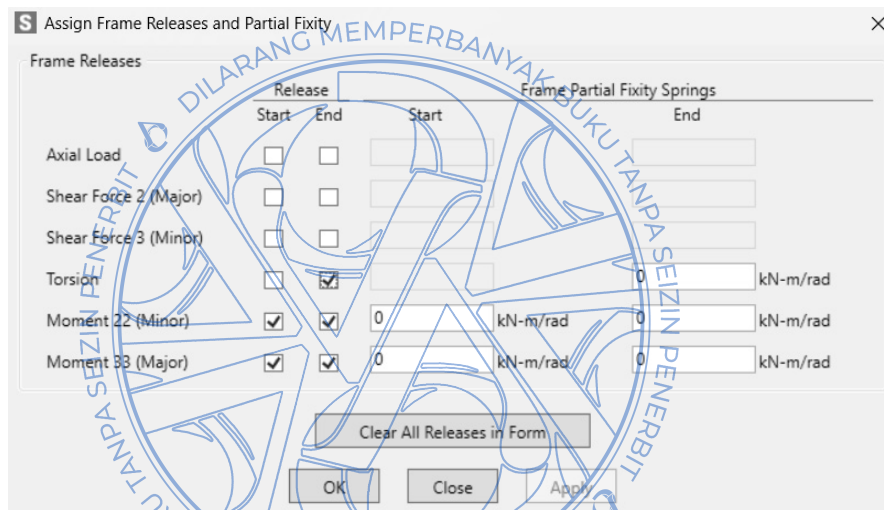
2.2.6 Melepaskan Momen Pada *Frame*

Setelah memodelkan seluruh rangka baja pada jembatan ini, perlu diketahui bahwa kita harus melepaskan/*release* momen pada beberapa balok pada *frame*. *Moment release* adalah pembebasan/pelepasan momen pada kedua ujung balok, sehingga ujung elemen balok tersebut menjadi sendi (*hinge*) sehingga tidak mampu menerima momen. Gunanya agar tidak terjadinya momen tambahan pada balok baja, terutama balok diagonal dan *stringer*. Dan momen akan dilimpahkan ke balok yang tidak di-*release*. Perlu diperhatikan untuk *moment release* pada masing-masing bagian dimulai dari *bottom* sampai dengan *top*.

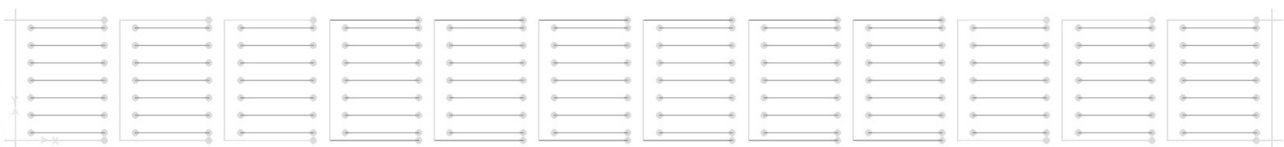
Pada bagian *bottom* semua balok *stringer* harus dilepas momennya, sehingga *select* semua balok *stringer* lalu klik menu *Assign* → *Releases/Partial Fixity*, lalu centang pada bagian *Moment 22*, *Moment 33* dan *Torsion*.



Gambar 2.19 Frame Moment Releases

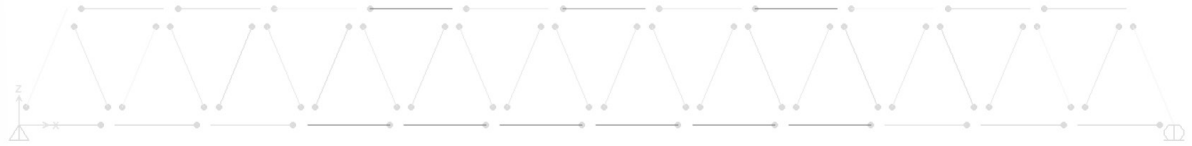


Gambar 2.20 Assign Frame Releases and Partial Fixity

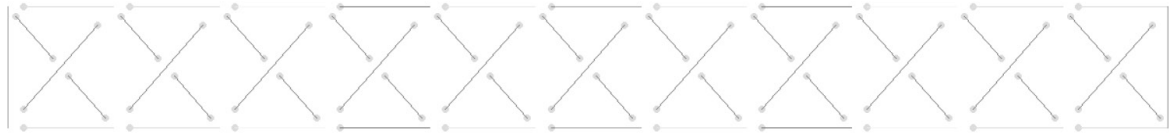


Gambar 2.21 Moment Release Pada Bagian Bottom

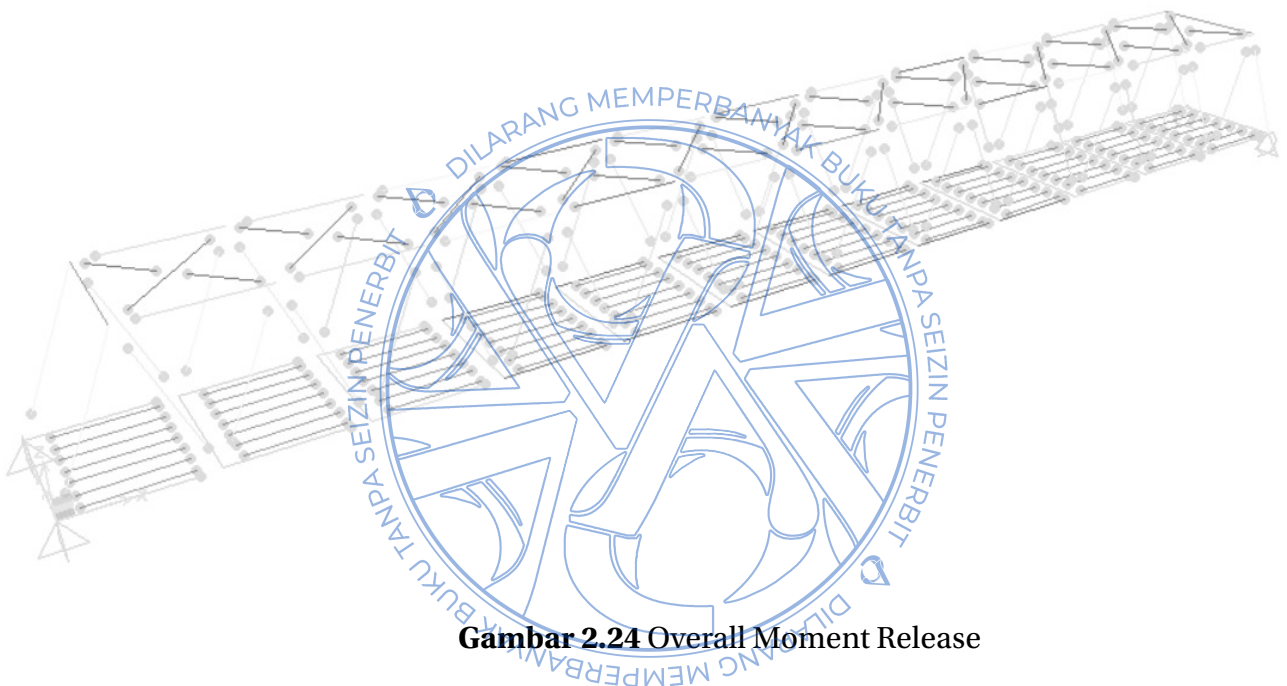
Setelah melakukan pelepasan momen pada bagian *bottom*, lakukan hal yang serupa pada bagian *side frame* dan *top*.



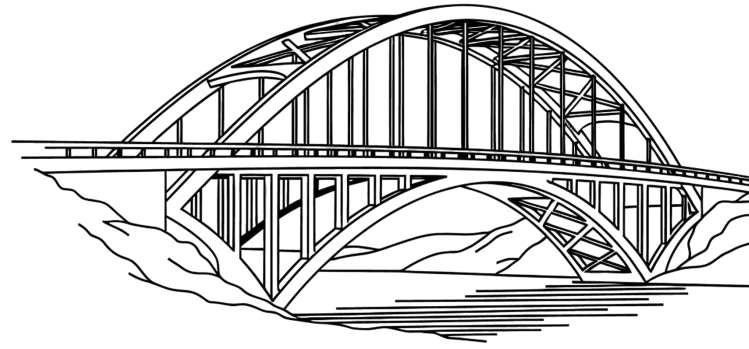
Gambar 2.22 Moment Release Pada Side Frame



Gambar 2.23 Moment Release Pada Top



Gambar 2.24 Overall Moment Release



PEMBEBANAN

3.1 Pembebanan Struktur Atas

3.1.1 Beban Mati

Menurut SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Pada Jembatan, beban mati adalah semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

3.1.1.1 Beban Mati Primer

Beban mati primer adalah berat sendiri pelat dan sistem lainnya yang dipikul langsung oleh tiap-tiap gelagar jembatan

3.1.1.2 Beban Mati Sekunder

Beban mati sekunder adalah berat kerb, trotoar, tiang sandaran dan lain-lain yang dipasang setelah pelat dicor. Beban tersebut dianggap terbagi rata di seluruh gelagar.

3.1.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

3.1.3 Beban Khusus

Beban khusus adalah beban yang merupakan beban-beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan.

3.1.4 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah seluruh beban hidup, arah vertikal dan horizontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan, termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan.

3.1.5 Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan adalah beban sementara yang dapat bekerja pada bangunan secara menyeluruh atau sebagian selama pelaksanaan.

3.2 Perincian Beban Mati Pada Struktur Atas

Berikut adalah pembebanan pada jembatan yang terdiri dari beban mati (MS) dan beban mati tambahan (MA).

BEBAN MATI (MS)

Beban rangka jembatan (dihitung oleh program)

Beban pelat steel deck untuk stringer tengah

tebal pelat	1	mm
jarak antar balok stringer	1.1	m
massa jenis baja	78.5	kN/m ³
berat per meter	0.08635	kN/m

Beban pelat steel deck untuk stringer tepi

tebal pelat	1	mm
jarak antar balok stringer	0.5	m
massa jenis baja	78.5	kN/m ³
berat per meter	0.03925	kN/m

Beban pelat beton laju kend

tebal pelat	0.25	m
jarak antar balok stringer	1.1	m
massa jenis beton	24	kN/m ³
berat per meter	6.6	kN/m

Beban pelat beton trotoar

tebal pelat	0.5	m
lebar pelat	0.5	m
massa jenis beton	24	kN/m ³
berat per meter	6	kN/m

BEBAN MATI TAMBAHAN (MA)

Beban aspal

tebal aspal	0.1	m
jarak antar balok stringer	1.1	m
massa jenis aspal	22	kN/m ³
berat per meter (di tengah)	4.84	kN/m
berat per meter (di tepi)	2.42	kN/m

Berat handrail

Pipa dia 88.9 x 5.49 (2 bh)	0.23	kN/m
Jarak antar cross girder	5	m
beban titik	1.15	kN

Gambar 3.1 Beban Mati yang Bekerja

3.3 Perincian Beban Hidup Pada Struktur Atas

Berikut ini adalah beban hidup yang bekerja di struktur jembatan yang berupa beban pejalan kaki.

BEBAN HIDUP (TP)

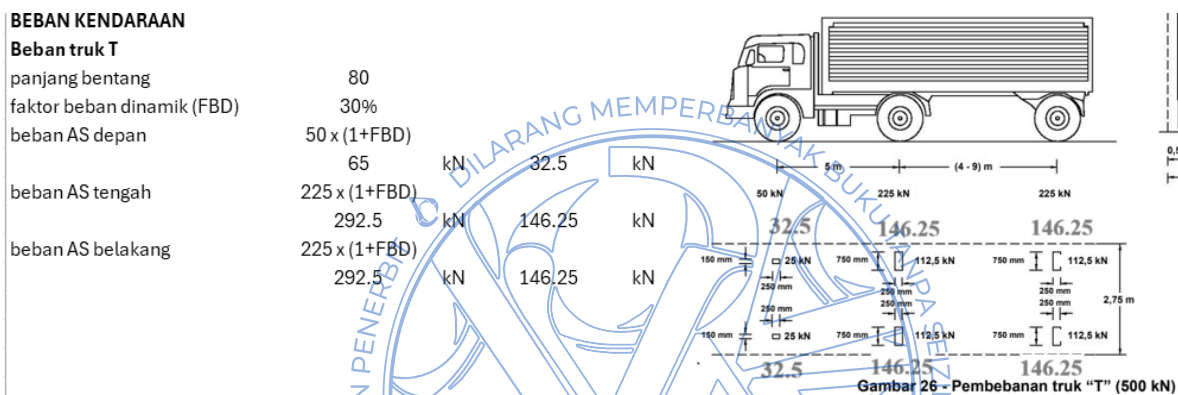
Beban pedestrian	5	kN/m ²
lebar pedestrian	0.5	m
berat per meter	2.5	kN/m

Gambar 3.2 Beban TP

3.4 Beban Kendaraan

3.4.1 Beban Truk T

Berikut ini adalah beban kendaraan yang bekerja yang bekerja pada struktur jembatan.



Gambar 3.3 Beban Kendaraan Truk T

3.4.2 Beban Terbagi Rata (BTR)

Berikut adalah beban terbagi rata (BTR) yang bekerja pada struktur jembatan.

Beban terbagi rata (BTR)

panjang jembatan	80	m	Jika $L \leq 30$ m : $q = 9,0$ kPa
$L < 30$ m	$q = 9$		
$L > 30$ m	$q = 9 \times (0,5 + (15/L))$		Jika $L > 30$ m : $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right)$ kPa
	6.19	kPa	
Jarak antar cross girder	5	m	
Nilai BTR	30.9375	kN/m	

Gambar 3.4 Beban Terbagi Rata

3.4.3 Beban Garis Terpusat (BGT)

Berikut adalah beban garis terpusat (BGT) yang bekerja pada struktur jembatan.

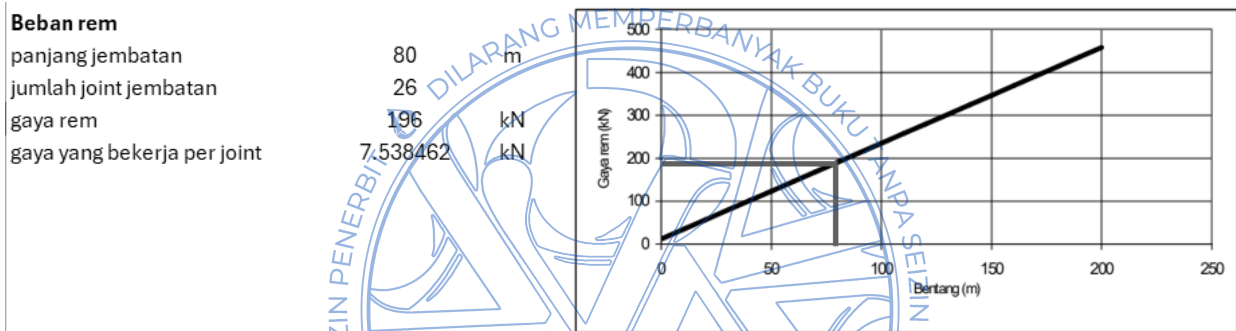
Beban garis terpusat (BGT)

panjang jembatan	80	m
faktor beban dinamik (FBD)	38%	
p BGT	$49 \times (1 + 38\%)$	
	67.62	kN/m

Gambar 3.5 Beban Garis Terpusat

3.4.4 Beban Rem

Berikut adalah beban rem yang bekerja pada struktur jembatan.



Gambar 3.6 Beban Rem Per Joint

3.5 Beban Angin

3.5.1 Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin horizontal ditentukan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 km/jam hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right)$$

Keterangan:

- V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
- V_{10} adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
- V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam 9.6.1.1 dan Pasal 9.6.2.
- Z adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung (Z > 10000 mm)
- V_o adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 28, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_o adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 28 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- survei angin pada lokasi jembatan, dan
- jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_o (mm)	70	1000	2500

Tabel 3.1 Nilai V_o dan Z_o Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 28)

Tekanan angin horizontal

V_0	19.3	km/jam
V_{10}	90	km/jam
V_B	126	km/jam
Z	10	m
Z_0	2.5	m

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right)$$

47.778 km/jam

Gambar 3.7 Tekanan Angin Horizontal

3.5.2 Beban Angin Pada Struktur (EWs)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam SNI 1725:2016 Pasal 9.6.3. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Keterangan:

P_B = Tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam SNI 1725:2016 Tabel 29

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Tabel 3.2 Tekanan Angin Dasar

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 29)

Beban angin pada struktur (EWs)		
Angin tekan	0.0024	MPa
Angin hisap	0.0012	MPa
VDZ	47.778	km/jam
VB	126	km/jam
PD tekan	$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$	
	0.00035	MPa
	0.35	kPa
PD hisap	$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$	
	0.00017	MPa
	0.17	kPa
Tinggi profil baja	0.5	m
Beban angin tekan per m ²	0.35	kPa
Beban angin tekan per m	0.17254	kN/m
Beban angin hisap per m ²	0.17	kPa
Beban angin hisap per m	0.08627	kN/m

Gambar 3.8 Beban Angin Pada Struktur (EWs)

3.5.3 Beban Angin Pada Kendaraan (EW_L)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, di mana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan

bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam SNI 1725:2016 Tabel 31 di mana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Tabel 3.3 Komponen Beban Angin yang Bekerja Pada Kendaraan

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 31)

Beban angin pada kendaraan (EWL)

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Tekanan angin	1.46	N/mm	1.46	kN/m
Jarak antar cross girder	5	m		
Beban angin tekan	7.3	kN		
Beban angin hisap	3.65	kN		

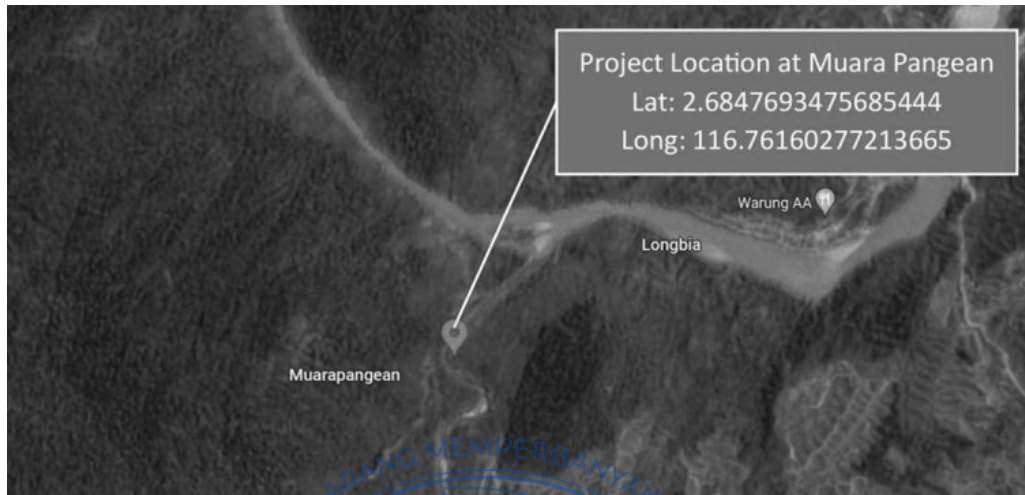
Gambar 3.9 Beban Angin Pada Kendaraan (EWL)

3.6 Beban Temperatur

Beban temperatur adalah gaya internal atau deformasi yang terjadi pada struktur jembatan akibat perubahan suhu lingkungan (panas matahari, malam dingin, musim hujan/kemarau). Perubahan suhu menyebabkan pemuaian (*expansion*) atau penyusutan (*contraction*) material, yang jika terkekang akan menghasilkan tegangan tekan atau tarik besar.

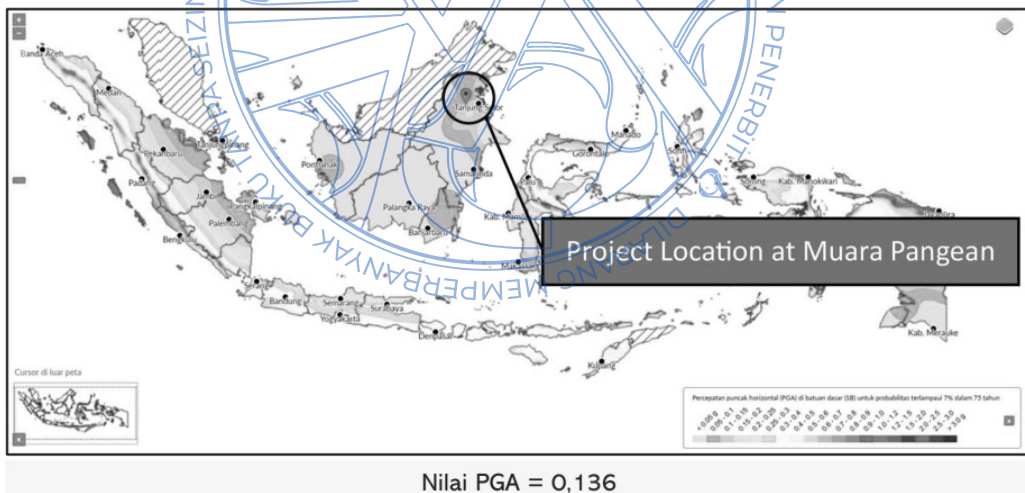
3.7 Koordinat Lokasi Proyek

Untuk membuat *function response spectrum*, terlebih dahulu kita mengetahui di mana lokasi proyek ini dan berapa koordinatnya. Setelah kita mengetahui lokasi dan koordinat tersebut kita bisa mencari nilai parameter kegempaan lainnya.



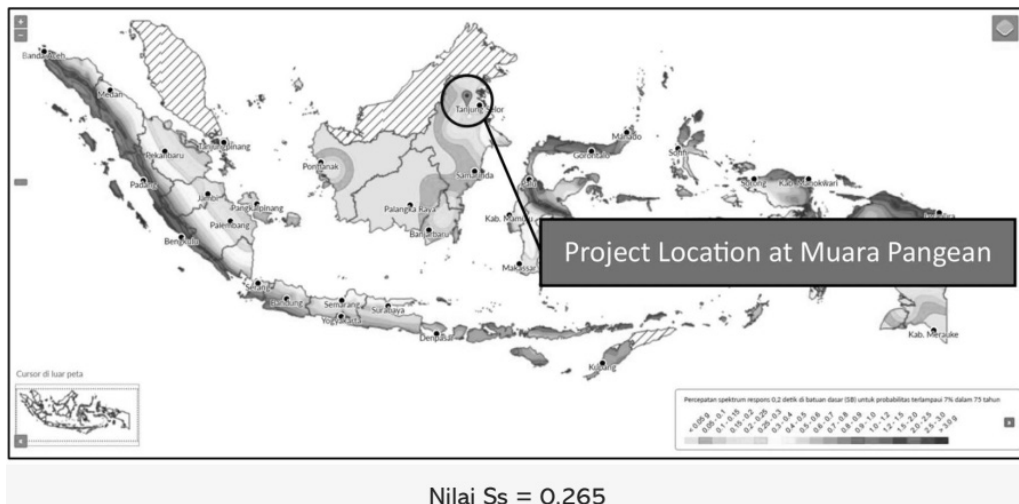
Gambar 3.10 Koordinat Lokasi Proyek

3.8 Nilai PGA Berdasarkan Lokasi Proyek



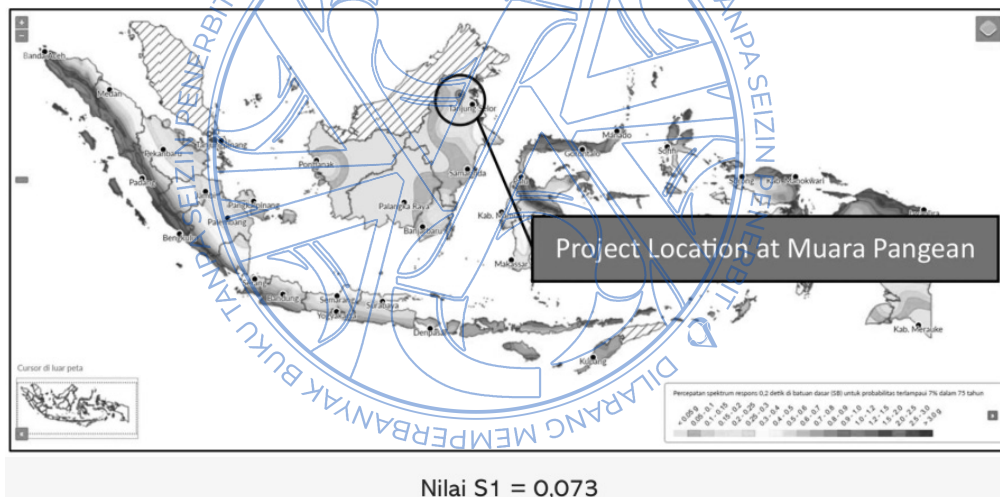
Gambar 3.11 Nilai PGA

3.9 Nilai Ss Berdasarkan Lokasi Proyek



Gambar 3.12 Nilai Ss

3.10 Nilai S1 Berdasarkan Lokasi Proyek



Gambar 3.13 Nilai S1

3.11 Parameter Gempa

Determination of site factors

Peak acceleration in bedrock P_{DA} = 0,136 g
 0.2 second acceleration on bedrock S_s = 0,265 g
 1.0 second acceleration on bedrock S_1 = 0,073 g

Based on the site class and P_{DA} , S_s and S_1 values above, the F_{PGA} , F_A and F_V values are as follows:

Tabel faktor amplifikasi untuk PGA dan 0.2 detik (F_{PGA}/F_s)

Kelas situs	PGA ≤ 0,1 $S_s ≤ 0,25$	PGA = 0,2 $S_s = 0,5$	PGA = 0,3 $S_s = 0,75$	PGA = 0,4 $S_s = 1,0$	PGA > 0,5 $S_s ≥ 1,25$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, 2016

Tabel besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_V)

Kelas situs	$S_f ≤ 0,1$	$S_f = 0,2$	$S_f = 0,3$	$S_f = 0,4$	$S_f ≥ 0,5$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

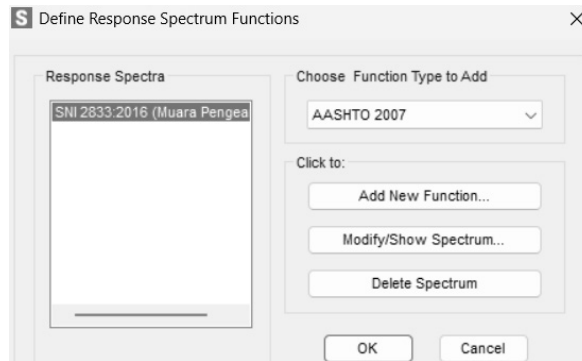
Sumber: SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, 2016

Acceleration amplification factor in bedrock F_{PGA} = 2,212
 Short period amplification factor F_s = 2,452
 Acceleration amplification factor in a period of 1 second F_V = 3,5

Tabel 3.4 Parameter Gempa

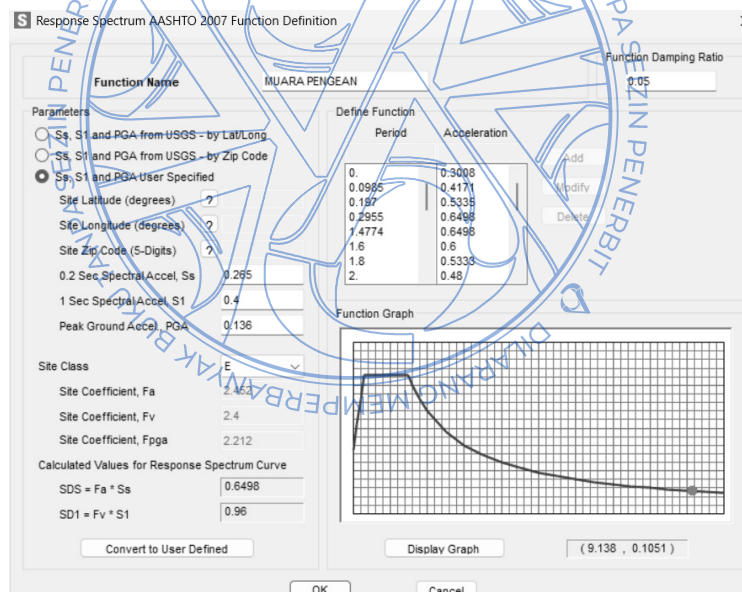
3.12 Input Parameter Gempa Response Spectrum di SAP2000

Setelah kita mengetahui parameter gempa yang diperlukan, maka selanjutnya kita melakukan *input* sebagai *Response Spectrum* di SAP2000. Caranya adalah klik *Define* → *Functions* → *Response Spectrum*. Klik *Add New Function* sesuai gambar di bawah.



Gambar 3.14 Define Response Spectrum Functions

Sesuaikan masing-masing nilai parameter gempa seperti yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.15 Input Nilai Response Spectrum

3.13 Membuat Load Pattern

Untuk membuat pola pembebanan/*load pattern*, terlebih dahulu kita harus mengetahui simbol-simbol apa saja yang digunakan untuk beban. Berikut adalah simbol-simbol yang digunakan untuk beban yang bersumber dari SNI 1725:2016 Pasal 5.8.

5.8 Kelompok pembebanan dan simbol untuk beban

Beban permanen dan transien sebagai berikut harus dipehitungkan dalam perencanaan jembatan :

Beban Permanen

- MS = beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan
- MA = beban mati perkerasan dan utilitas
- TA = gaya horizontal akibat tekanan tanah
- PL = gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental
- PR = prategang

Gambar 3.16 Simbol Beban Permanen

Beban Transien

- SH = gaya akibat susut/rangkak
- TB = gaya akibat rem
- TR = gaya sentrifugal
- TC = gaya akibat tumbukan kendaraan
- TV = gaya akibat tumbukan kapal
- EQ = gaya gempa
- BF = gaya friksi
- TD = beban lajur "D"
- TT = beban truk "T"
- TP = beban pejalan kaki
- SE = beban akibat penurunan
- ET = gaya akibat temperatur gradien
- EU_n = gaya akibat temperatur seragam
- EF = gaya apung
- EW_s = beban angin pada struktur
- EW_L = beban angin pada kendaraan
- EU = beban arus dan hanyutan

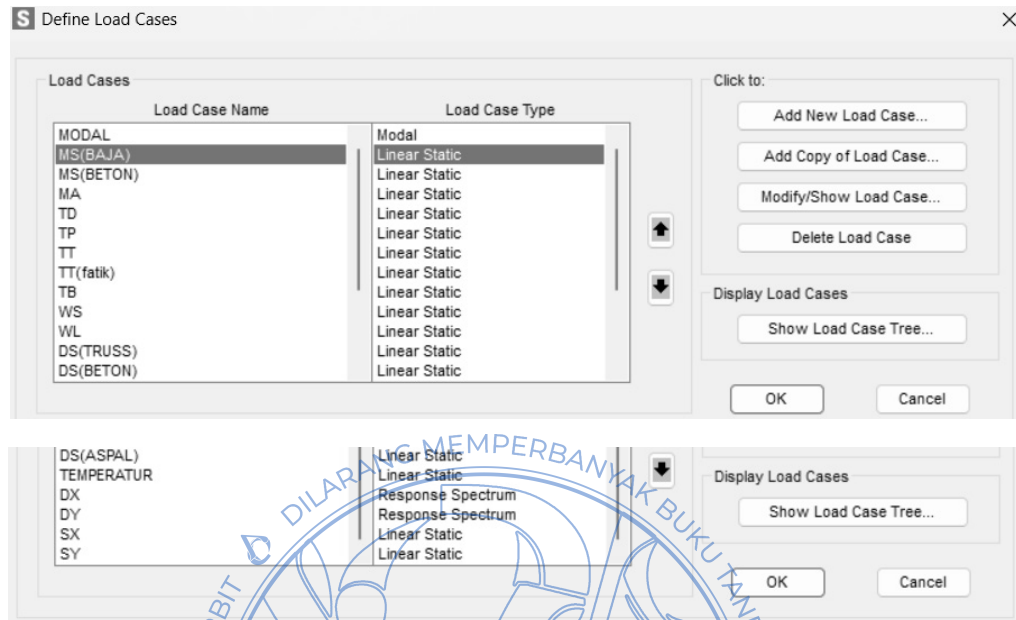
Gambar 3.17 Simbol Beban Transien

	LoadPat	Design Type	SelfWtMult
1	TRUSS	Dead	1.
2	DECK	Dead	0.
3	BETON	Dead	0.
4	ASPAL	Dead	0.
5	HANDRAIL	Dead	0.
6	BGT	Live	0.
7	PEDESTRIAN	Live	0.
8	BTR	Live	0.
9	TRUK	Live	0.
10	TRUK(fatik)	Live	0.
11	REM	Live	0.
12	WS	Wind	0.
13	WL	Wind	0.
14	TEMPERATUR	Temperature	0.
15	SX	Quake	0.
16	SY	Quake	0.

Tabel 3.5 Load Pattern yang Dibuat

3.14 Membuat *Load Cases*

Setelah membuat *load pattern* selanjutnya adalah membuat *load cases*, caranya adalah klik menu *Define* → *Load Combination* → *Add New Load Case* lalu sesuaikan dengan yang diperlukan.



Gambar 3.18 *Load Cases* yang Telah Dibuat

3.15 Membuat *Load Combination*

Untuk membuat kombinasi pembebanan/*load combination*, bisa mengacu ke SNI 1725:2016 Tabel 1 Kombinasi Beban dan Faktor Beban. Berikut adalah tabel kombinasi pembebanan yang dijadikan acuan untuk membuat kombinasi pembebanan di SAP2000.

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	0	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,0	0
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : - γ_p dapat berupa $\gamma_{MS}, \gamma_{MA}, \gamma_{TA}, \gamma_{PR}, \gamma_{PL}, \gamma_{SH}$, tergantung beban yang ditinjau
 - γ_{EN} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

Tabel 3.6 Kombinasi Pembebanan dan Faktor Beban

(Sumber: SNI 1725:2016 Tabel 1)

Setelah mengetahui kombinasi pembebanan apa saja yang harus dibuat di *software* SAP2000, selanjutnya adalah klik menu **Define** → **Load Combination** → **Add New Combo** lalu sesuaikan dengan yang diperlukan.

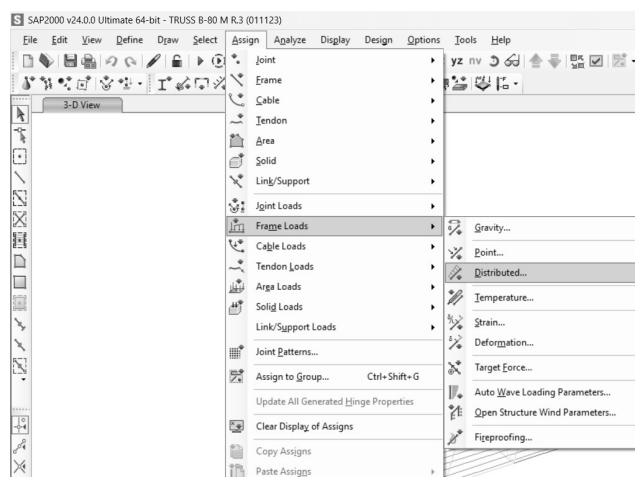
No	Kombinasi	MS	MA	TD	TT	TB	TP	EW _g	EW _L	EU _n	EQ _x	EQ _y
1	Kuat 1 (TD)	1,1	1,4	1,8	-	1,8	1,8	-	-	0,5	-	-
2	Kuat 1 (TT)	1,1	1,4	-	1,8	1,8	1,8	-	-	0,5	-	-
3	Kuat 2 (TD)	1,1	1,4	1,4	-	1,4	1,4	-	-	0,5	-	-
4	Kuat 2 (TT)	1,1	1,4	-	1,4	1,4	1,4	-	-	0,5	-	-
5	Kuat 3	1,1	1,4	-	-	-	-	1,4	-	0,5	-	-
6	Kuat 4	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-
7	Kuat 5	1,1	1,4	-	-	-	-	0,4	1	0,5	-	-
8	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	1	0,3
9	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,3
10	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-1	0,3
11	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-1	-0,3
12	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	0,3	1
13	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-1
14	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-0,3	1
15	Ekstrem 1	1,1	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-0,3	-1
16	Layan 1 (TD)	1	1	1	-	1	1	0,3	1	1	-	-
16	Layan 1 (TT)	1	1	-	1	1	1	0,3	1	1	-	-
17	Layan 2 (TD)	1	1	1,3	-	1,3	1,3	-	-	1	-	-
18	Layan 2 (TT)	1	1	-	1,3	1,3	1,3	-	-	1	-	-
19	Layan 3 (TD)	1	1	0,8	-	0,8	0,8	-	-	1	-	-
20	Layan 3 (TT)	1	1	-	0,8	0,8	0,8	-	-	1	-	-
21	Layan 4	1	1	-	-	-	-	0,7	-	1	-	-
22	Fatik	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 3.7 Summary of Load Combination

3.16 Assign Pembebanan

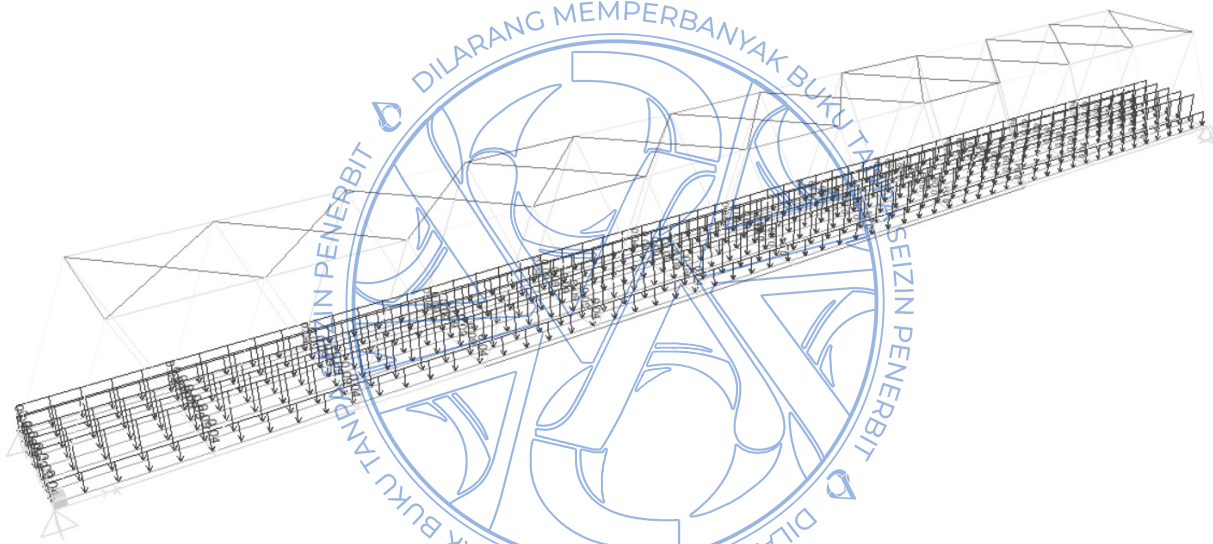
3.16.1 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan Pada Struktur (MS dan MA)

Setelah menghitung beban mati dan beban mati tambahan apa saja yang bekerja pada struktur, baik pada balok utama maupun balok *stringer*, selanjutnya melakukan *assign* sesuai pada lokasi di mana beban tersebut bekerja (apakah balok utama atau balok *stringer*). Berikut adalah salah satu contoh beban mati berupa beban *metal deck* yang akan di-*assign*. Caranya, klik balok di mana beban itu bekerja (pada kasus ini adalah balok *stringer*), lalu klik **Assign** → **Frame Loads** → **Distributed**, lalu sesuaikan nilainya dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 3.19 Frame Distributed Loads

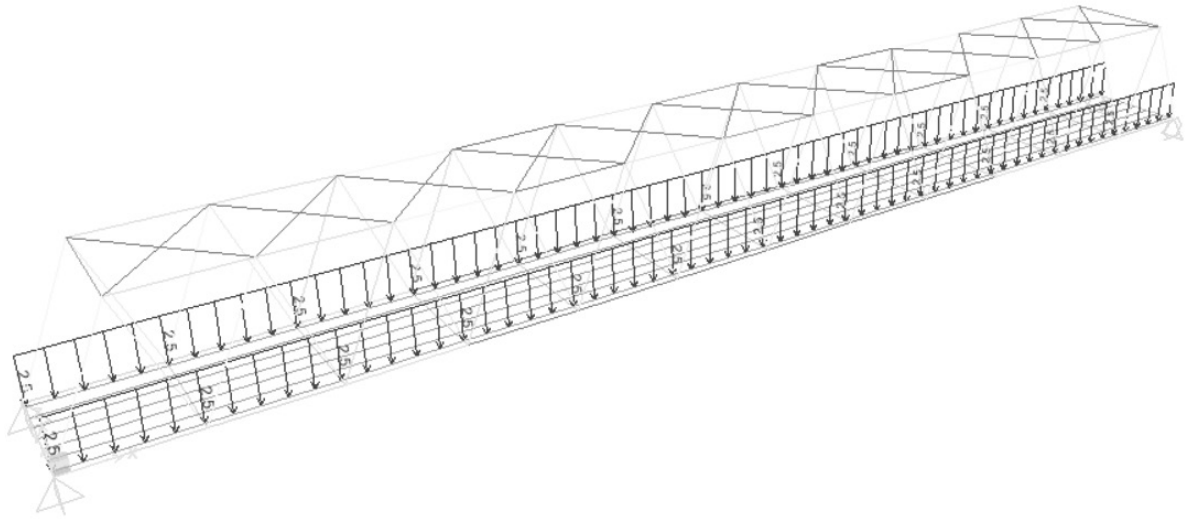
Gambar 3.20 *Input Nilai Frame Distributed Load*



Gambar 3.21 *Nilai Beban Metal Deck yang Telah Diinput*

3.16.2 Beban Pejalan Kaki (TP)

Beban pejalan kaki yang ditentukan sesuai SNI 1725:206 adalah sebesar 5 kN/m². Setelah itu kita *assign* sesuai lebar pedestriannya. Untuk melakukan *assign* beban pejalan kaki, caranya klik **Assign** → **Frame Loads** → **Distributed** lalu sesuaikan nilainya dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Lakukan *assign* di balok pada tepi jembatan, karena pedestrian berada pada tepi jembatan.

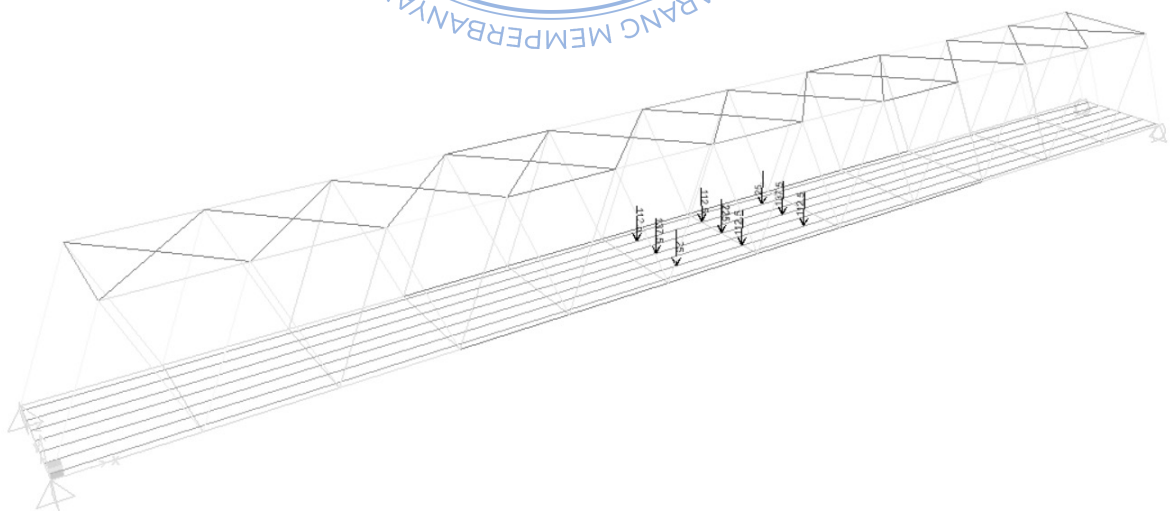


Gambar 3.22 Nilai Beban Pejalan Kaki yang Telah Diinput

3.16.3 Beban Truk T (TT)

Untuk *assign* beban truk (TT) ini agar cukup hati-hati dan teliti di mana beban gandar/AS roda ini nantinya akan bekerja pada balok *stringer* ataupun balok girder. Karena di sini diasumsikan beban gandar truk bekerja pada balok *stringer*, maka akan dilakukan input beban truk pada balok *stringer*. Beban pada roda truk akan dimodelkan sebagai beban titik pada balok *stringer*.

Untuk melakukan *input* beban roda pada jembatan, caranya klik menu **Assign** → **Frame Loads** → **Point**. Perhatikan baik-baik untuk melakukan *assign* pada balok *stringer*, di sini harus dilakukan pada segmen yang paling kritis, yaitu di tengah-tengah bentang (lihat SNI 1725:2016 Pasal 8.4.2).

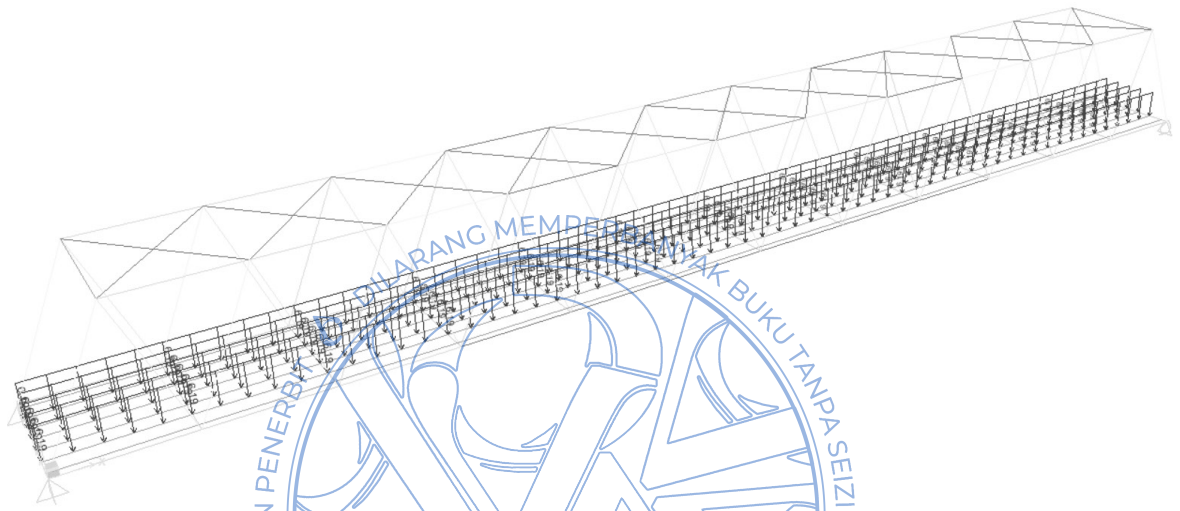


Gambar 3.23 Beban Roda Truk yang Telah Diinput

3.16.4 Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban terbagi rata (BTR) atau juga beban lajur D pada jembatan harus di *assign* pada sisi memanjang jembatan. Nilainya tergantung dari seberapa panjang bentang jembatan yang akan didesain. Pada perhitungan sebelumnya telah dilakukan perhitungan pada beban terbagi rata (BTR) jembatan ini.

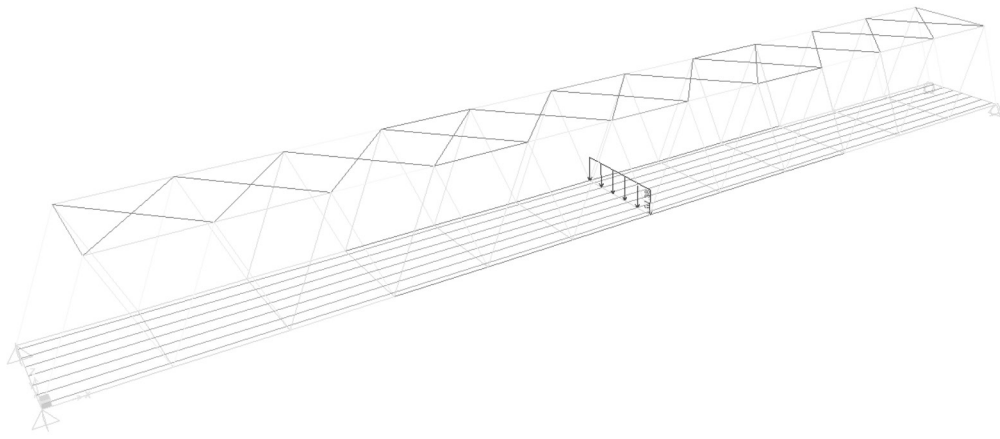
Beban terbagi rata (BTR) di-*assign* pada balok *stringer* yang mewakili suatu jalur pada jembatan. Caranya klik **Assign** → **Frame Loads** → **Distributed** lalu sesuaikan nilainya dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 3.24 Beban Terbagi Rata (BTR) yang Telah Diinput

3.16.5 Beban Garis Terpusat (BGT)

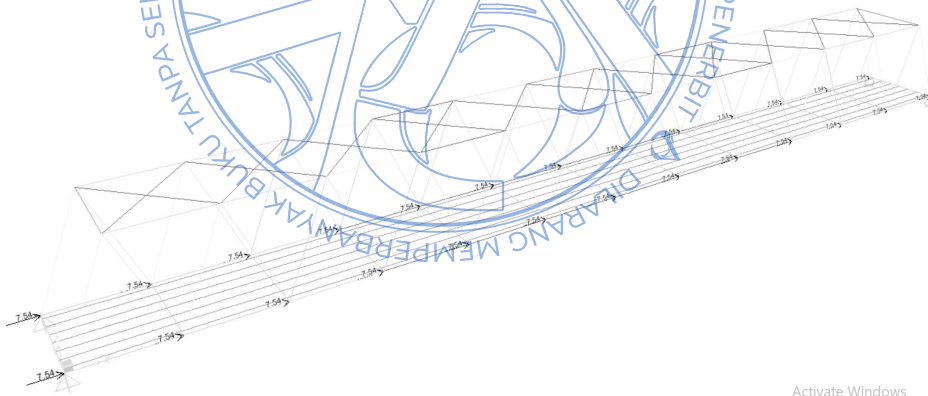
Pada subbab sebelumnya kita telah melakukan perhitungan untuk mengetahui nilai dari beban garis terpusat (BGT). Beban ini harus di-*assign* di tengah-tengah bentang jembatan untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan. Untuk melakukan *assign* beban garis terpusat (BGT) klik **Assign** → **Frame Loads** → **Distributed** lalu sesuaikan nilainya dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 3.25 Beban Garis Terpusat (BGT) yang Telah Diinput

3.16.6 Beban Rem

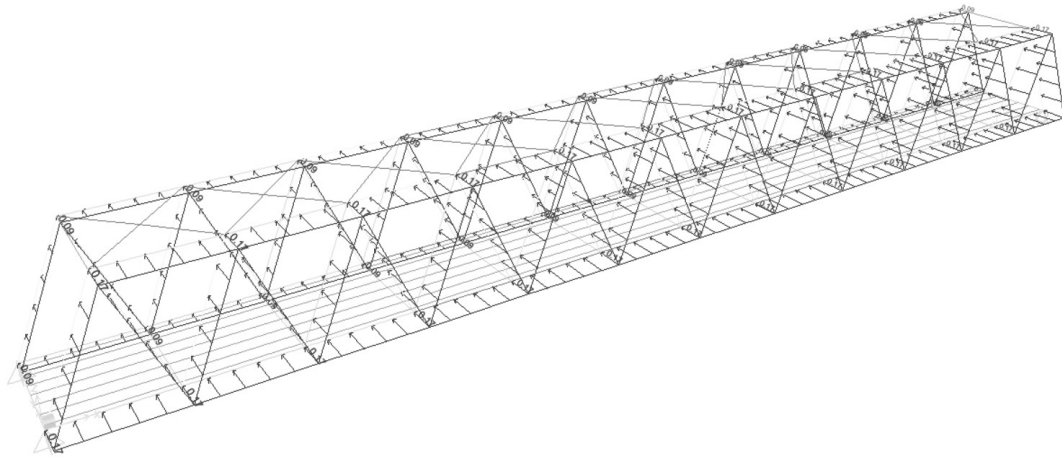
Untuk beban rem, penulis mengacu pada RSNI-T-02-2005 Pasal 6.7. Gaya rem yang didapat dari pembacaan grafiknya adalah sebesar 196 kN. Gaya-gaya itu bekerja pada semua titik buhul pada jembatan sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Gaya rem bekerja sejajar dengan arah memanjang jembatan. Untuk menginput gaya rem pada SAP2000, caranya: select semua titik buhul jembatan, lalu klik menu **Assign** → **Joint Loads** → **Forces**, lalu masukkan nilainya sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 3.26 Beban Rem yang Telah Diinput

3.16.7 Beban Angin Pada Struktur (EWs)

Beban angin pada struktur yang bekerja di semua profil jembatan dikategorikan menjadi 2, yaitu tekan dan isap. Pada perhitungan sebelumnya, telah diketahui masing-masing nilai untuk angin tekan dan isap pada semua profil baja. Untuk melakukan *assign* nilai beban angin pada struktur caranya adalah *select* salah satu *side frame* untuk angin tekan dan *side frame* yang lain untuk angin isap lalu klik **Assign** → **Frame Loads** → **Distributed**. Untuk hasilnya bisa dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 3.27 Beban Angin Pada Struktur yang Telah Diinput

3.16.8 Beban Angin Pada Kendaraan (E_{W1})

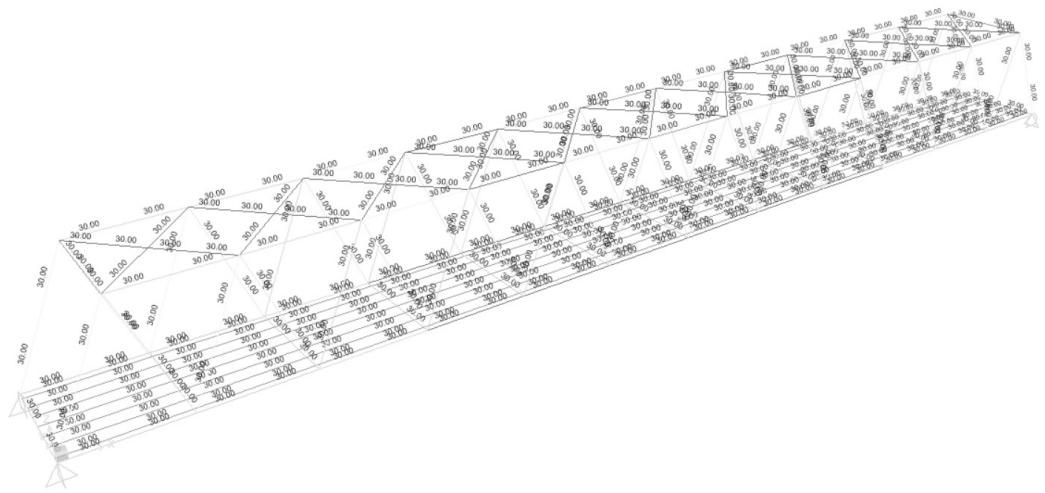
Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, di mana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan. Untuk melakukan *assign* beban angin pada kendaraan caranya pilih semua *joint* jembatan lalu klik **Assign** → **Joint Loads** → **Forces**. Berikut adalah nilai beban angin pada kendaraan yang telah diinput.



Gambar 3.28 Beban Angin Pada Kendaraan yang Telah Diinput

3.16.9 Beban Temperatur

Untuk menginput beban temperatur, caranya dengan *select* semua *frame* jembatan, lalu **Assign** → **Frame Loads** → **Temperature**, lalu masukkan perbedaan suhu sesuai SNI 1725:2016 Tabel 18. Berikut adalah nilai beban temperatur pada *frame* yang telah diinput.



Gambar 3.29 Beban Temperatur yang Telah Diinput

3.17 Pembebanan Struktur Bawah

PENENTUAN KELAS SITUS

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{N_i} \right)}$$

t_i = Tebal lapisan tanah i
 N_i = Nilai N-SPT pada lapisan ke i

Tanah Keras = $N-SPT \geq 50$
 Tanah Sedang = $15 \leq N-SPT < 50$
 Tanah Lunak = $N-SPT < 15$

BH-1

BH-2

Depth (m)	N-SPT (N_i)	t_i (m)	t_i/N_i
0	0	0	0.00
2	5	2	0.40
4	2	2	1.00
6	3	2	0.67
8	4	2	0.50
10	20	2	0.10
12	18	2	0.11
14	5	2	0.40
16	9	2	0.22
18	50	2	0.04
20	50	2	0.04
22	50	2	0.04
Total		22	3.52
Rata-rata			6.25

Jenis Tanah = Tanah Lunak

Depth (m)	N-SPT (N_i)	t_i (m)	t_i/N_i
0	0	0	0.00
2	5	2	0.40
4	3	2	0.67
6	13	2	0.15
8	21	2	0.10
10	50	2	0.04
12	50	2	0.04
14	50	2	0.04
16	50	2	0.04
18	50	2	0.04
20	50	2	0.04
22	50	2	0.04
24	50	2	0.04
26	50	2	0.04
28	50	2	0.04
30	50	2	0.04
Total		22	1.76
Rata-rata			12.53

Jenis Tanah = Tanah Lunak

Kelas Situs = E

PENENTUAN KELAS SITUS

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ($T=0,2$ detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (FPGA), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v)

Percepatan puncak pada batuan dasar	$P_{GA} =$	0.136	g
Percepatan periode pendek pada batuan dasar	$S_s =$	0.265	g
Percepatan 1 detik pada batuan dasar	$S_1 =$	0.073	g

Nilai diambil dari Desain Spektra Indonesia

Faktor amplifikasi pada batuan dasar	$FP_{GA} =$	2.212
Faktor amplifikasi pada periode pendek	$F_a =$	2.452
Faktor amplifikasi pada periode 1 detik	$F_v =$	3.5

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (PGA, S_s dan S_1), serta nilai faktor amplifikasi FPGA, F_a , dan F_v . Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut :

Koefisien percepatan puncak permukaan	$A_s = F_{PGA} P_{GA} =$	0.3008
Percepatan spektra di permukaan pada periode pendek	$S_{DS} = F_a S_s =$	0.6498
	$S_{D1} = F_v S_1 =$	0.2555

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (S_{D1})

Zona Gempa = 2

Untuk periode lebih kecil dari T_0 , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

Koefisien respons gempa elastik

T_s	$S_{D1}/S_{DS} =$	0.3932
T_0	$0,2 T_s =$	0.0786

Gaya per satuan unit	$P_0 =$	1	kN/m
----------------------	---------	---	------

Perpindahan struktur akibat beban 1 satuan arah longitudinal

	$\delta_{long} = ((PH_{abt}^3)/(3E_c I)) + ((P1,2H_{abt})/(0,4E_c P_{abt} B_{abt})) =$	1.45442E-06	m/kN
Kekakuan arah longitudinal	$K_{long} = 1/\delta_{long} =$	687559.0797	kN/m
Perpindahan statis di arah longitudinal	$v_s(x) = (P_0 L_b)/K_{long} =$	0.1164	mm

Perhitungan faktor α , β , dan γ dan periode getar natural struktur

Berat total struktur atas	$W = W_u / L =$	25.4705	kN/m
Perhitungan periode struktur	$\alpha = v_s L =$	0.0093	m ²
	$\beta = \alpha W =$	0.2371	kNm
	$\gamma = \beta v_s =$	0.0000	kNm ²
	$T = 2 \pi (\gamma / (Pg\alpha)) =$	0.1092	s
Koefisien respon gempa elastis	$C_{sm} =$	0.6498	
Gaya gempa statik ekuivalen	$P_{elong} = (\beta C_{sm} / \gamma) W v_s =$	16.5502	kN/m
Faktor modifikasi respon	$R =$	2	
Gaya gempa akibat struktur atas yang dipikul abutmen	$H_{long} = P_{elong} L / R =$	662.0095	kN

Gaya gempa akibat berat sendiri abutment dan tekanan tanah belakang abutment di atas pile cap

Berat abutment	$W_{abt} =$	1764.1728	kN
Gaya gempa akibat berat abutment	$H_{abt} = 0,5 A_s W_{abt} =$	265.3598	kN
Luas timbunan tanah di atas pile cap	$A_{tim} =$	16756000	mm ²
Berat tekanan tanah di atas pile cap	$W_{tim} = \gamma_s P_{abt} A_{tim} =$	3136.7232	kN
Gaya gempa akibat berat tekanan tanah belakang abutment di atas pile cap	$H_{tim} = 0,5 A_s W_{tim} =$	471.8134	kN
Gaya gempa di dasar abutment	$P_{IR} = H_{abt} + H_{tim} =$	737.1732	kN

Gaya gempa akibat tekanan tanah aktif gempa

Sudut geser internal tanah	$\phi =$	35
Koefisien percepatan vertikal	$K_v =$	0
Koefisien percepatan horizontal	$K_h = 0,5 A_s =$	0.150
Sudut geser diantara tanah dan abutment	$\delta =$	0
Sudut kemiringan timbunan	$i =$	0
Kemiringan dinding abutment terhadap bidang vertikal	$\beta =$	0

$$\theta = \arctan (K_h / (1 - K_v)) = 8.554$$

$$\psi = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(i - \beta)}} \right]^2 = 2.275$$

$$\text{Koefisien tekanan aktif seismik } K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\psi \cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta)} = 0.36$$

Berdasarkan persamaan Mononobe-Okabe, tekanan tanah aktif gempa dihitung sebagai berikut:

Tekanan tanah gempa aktif	$P_{AE} = 1/2 \gamma_s H^2 (1 - K_v) K_{AE} P_{abt} =$	1294.6604	kN
Gaya bekerja pada ketinggian 0,6 H diatass pilecap			
Total beban gempa pada abutment	$\Sigma H = H + P_{IR} + P_{AE} =$	2693.8430	kN

Perhitungan beban gempa arah longitudinal dengan memperhitungkan friksi tumpuan

Pada kasus ini tumpuan move yang digunakan adalah tipe elastomer, maka berdasarkan SNI 2833:2008, koefisien gesek elastomer adalah:

Koefisien gesek elastomer	$\mu =$	0.18	
Karena bentang kiri ditumpu oleh tumpuan fix dan move, maka beban gempa arah longitudinal terhadap tumpuan move dihitung dengan pengaruh friksi.			
Berat struktur	$W_u =$	2037.642	kN
Reaksi vertikal pada abutment	$R_W = 0,5 W_u =$	1018.821	kN
Panjang total gelagar berat yang berkontribusi menjadi gaya inersia	$L =$	80	m
	$W = W_u / L =$	25.4705	kN/m
Perhitungan periode struktur	$\alpha = v_s L =$	0.0093	m ²
	$\beta = \alpha W =$	0.2371	kNm
	$\gamma = \beta v_s =$	0.0000	kNm ²
	$T = 2 \pi (\gamma / (Pg \alpha)) =$	0.1092	s
Koefisien respon gempa elastis	$C_{sm} =$	0.6498	
Gaya inersia bangunan atas pada abutment dengan pengaruh friksi	$H_A = C_{sm} W_u - \mu R_W =$	1140.631	kN
Faktor modifikasi respon	$R =$	1.5	
Gaya gempa akibat struktur atas yang dipikul abutment	$H_{long} = H_A / R =$	760.421	kN

Beban Mati Sendiri (MS)

Berat sendiri (self weight) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri dibedakan menjadi 2 macam, yaitu berat sendiri struktur atas, dan berat sendiri struktur bawah.

Beban Sendiri Struktur Atas (MS)

Beban rangka jembatan	=	2037.642 kN
Tebal pelat beton untuk lajur kendaraan	=	0.25 m
Jarak antar balok stringer	=	1.1 m
Berat jenis beton	=	24 kN/m ³
Berat per meter	=	6.6 kN/m
Beban pelat beton lajur kendaraan	=	1584 kN
Tebal pelat beton untuk trotoar	=	0.5 m
Lebar beton trotoar	=	0.5 m
Berat jenis beton	=	24 kN/m ³
Berat per meter	=	6 kN/m
Beban pelat beton trotoar	=	480 kN
Berat Struktur Atas	$W_u =$	4101.64 kN

Beban Sendiri Struktur Bawah (MS)

Luas potongan melintang abutment	$A_{abt} = 7068000 \text{ mm}^2$
Luas potongan melintang pilecap	$A_{pc} = 8400000 \text{ mm}^2$
Berat jenis beton	$\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$
Panjang abutment	$P_{abt} = 10400 \text{ mm}$
Panjang pilecap	$P_{pc} = 12200 \text{ mm}$
Berat abutment	$W_{abt} = A_{abt} * P_{abt} * \gamma_c = 1764.173 \text{ kN}$
Berat pilecap	$W_{pc} = A_{pc} * P_{pc} * \gamma_c = 2459.52 \text{ kN}$
Berat struktur bawah	$W_b = W_{abt} + W_{pc} = 4223.693 \text{ kN}$
Berat total struktur	$W = W_b + W_u = 8325.335 \text{ kN}$

Reaksi tumpuan struktur atas yang bekerja pada abutment	$R_{MS} = W_u / 2 = 2050.821 \text{ kN}$
Gaya dalam akibat beban mati di dasar abutment	
Gaya vertikal	$V_{MS1} = W_{abt} + R_{MS} = 3814.994 \text{ kN}$
Gaya dalam akibat beban mati di dasar pilecap	
Gaya vertikal	$V_{MS2} = W_b + R_{MS} = 6274.514 \text{ kN}$

Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan (superimposed dead load), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Jembatan dianalisis harus mampu memikul beban tambahan

Beban Mati Tambahan Struktur Atas (MA)

Beban aspal		
tebal aspal	= 0.05	m
lebar jalan	= 6	m
berat jenis aspal	= 22	kN/m ³
berat per meter	= 6.6	kN/m
Beban handrail		
pipa 88,9 mm x 5,49 mm x 2 bh	= 0.23	kN/m
jarak antara balok stringer	= 6.67	m
beban per titik	= 1.5341	kN
Beban Total MA		$W_{MA} = 564.8184 \text{ kN}$
Reaksi tumpuan struktur atas yang bekerja pada abutment	$R_{MA} = W_{MA} / 2 = 282.4092 \text{ kN}$	
Gaya dalam akibat beban mati di dasar abutment		
Gaya vertikal	$V_{MS1} = R_{MA} = 282.4092 \text{ kN}$	
Gaya dalam akibat beban mati di dasar pilecap		
Gaya vertikal	$V_{MS2} = R_{MA} = 282.4092 \text{ kN}$	

TEKANAN TANAH AKTIF (TA)

Tanah dibelakang dinding biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja akibat beban lalu lintas beban tambahan yang setara dengan tanah setebal **0.7 m** yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas. Tekanan tanah lateral dihitung berdasarkan harga nominal dari berat tanah γ_s , sudut gesek dalam ϕ , dengan :

Berat jenis tanah	$\gamma_s =$	18	kN/m ³
Sudut gesek dalam	$\phi =$	30	°
Koefisien tekanan tanah aktif	$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi' / 2) =$	0.333333	
Beban tambahan	$\gamma_{eq} =$	12.6	kN/m ²
Tinggi tanah ke dasar abutment	$H' =$	6.23	m
Tinggi tanah ke dasar pilecap	$H =$	7.92	m

Tekanan tanah aktif di dasar abutment	$P_{a1} = 0,5 (H')^2 \gamma_s K_a =$	116.4387	kN
Gaya dalam akibat tekanan tanah di dasar abutment			
Gaya horizontal	$H_{TA1} = P_{a1} P_{abt} =$	1210.962	kN
Momen	$M_{pa1} = 1/3 H \cdot H_{TA1} =$	2514.765	kNm

Tekanan tanah aktif di dasar pilecap	$P_{a2} = 0,5 (H)^2 \gamma_s K_a =$	188.1792	kN
Gaya dalam akibat tekanan tanah di dasar pilecap			
Gaya horizontal	$H_{TA2} = P_{a2} P_{pc} =$	2295.786	kN
Momen	$M_{pa2} = 1/3 H \cdot H_{TA2} =$	6060.876	kNm

BEBAN TAMBAHAN (PS)

Beban ekuivalen kendaraan di abutment (oprit)	$P_{eq1} = \gamma_{eq} H' K_a =$	26.166	kN
Gaya dalam akibat beban oprit di dasar abutment			
Gaya horizontal	$H_{Peq1} = P_{eq1} P_{abt} =$	272.1264	kN
Momen pada abutment akibat beban ekuivalen kendaraan	$M_{eq1} = H_{peq1} 1/2 H' =$	847.674	kNm

Beban ekuivalen kendaraan di pilecap	$P_{eq2} = \gamma_{eq} H K_a =$	33.264	kN
Gaya dalam akibat beban oprit di dasar pilecap			
Gaya horizontal	$H_{Peq2} = P_{eq2} P_{pc} =$	405.8208	kN
Momen pada pondasi akibat beban ekuivalen kendaraan	$M_{eq2} = P_{eq} 1/2 H' =$	1607.050	kNm

BEBAN TANAH DIBELAKANG ABUTMENT DIATAS PILECAP (TA')

Luas potongan melintang timbunan tanah	$A_{tim} =$	16006000	mm ²
Eksentrisitas timbunan di belakang abutment	$e_{tim} =$	2099	mm
Beban timbunan di dasar abutment	$P_{TA'abt} =$	0	kN
Beban timbunan di dasar pilecap	$P_{TA'pc} = \gamma_s P_{abt} A_{tim} =$	2996.323	kN
Gaya dalam akibat timbunan di dasar pilecap			
Gaya vertikal	$V_{TA'} = P_{TA'pc} =$	2996.323	kN
Momen	$M_{TA'} = 1/2 V_{TA'} e_{tim} =$	3144.641	kNm

BEBAN GEMPA (EQ)

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, beban gempa yang didapatkan sebagai berikut

Gaya gempa akibat struktur atas yang bekerja diatas abutment	$H_{long} =$	760.421	kN
Titik tangkap ke dasar abutment	$h_1 =$	4.850	m
Titik tangkap ke dasar pondasi	$h_2 =$	6.250	m
Momen akibat gaya gempa di dasar abutment	$M_{EQ1} = H_{long} h_1 =$	3688.041	kNm
Momen akibat gaya gempa di dasar pilecap	$M_{EQ_PC1} = H_{long} h_2 =$	4752.630	kNm
Gaya gempa akibat berat sendiri abutment dan tekanan tanah dibelakang diatas pilecap			
Total berat struktur bawah	$P_{IR} =$	737.173	kN
Koefisien percepatan puncak permukaan	$A_s =$	0.301	
Gaya gempa akibat berat struktur bawah	$W_b =$	4223.693	kN
Berat akibat tekanan tanah diatas pilecap	$H_{tot} = 0,5 A_s W_b =$	635.311	kN
Gaya gempa akibat berat tekanan tanah diatas pilecap	$W_{tim} = A_{tim} P_{pc} \gamma_s =$	3679.618	kN
Gaya gempa di dasar pilecap	$H_{tim} = 0.5 A_s W_{tim} =$	553.473	kN
Gaya gempa di dasar abutment	$P_{IRtotal} = H_{tot} + H_{tim} =$	1188.784	kN
Tinggi titik massa ke dasar abutment	$h_3 =$	2.815	m
Tinggi titik massa ke dasar pilecap	$h_4 =$	4.263	m
Momen akibat gaya gempa di dasar abutment	$M_{EQ2} = P_{IR} h_3 =$	2075.142	kNm
Momen akibat gaya gempa di dasar pilecap	$M_{EQ_PC2} = P_{IRtotal} h_4 =$	5067.788	kNm
Gaya akibat tekanan tanah aktif gempa			
Tekanan tanah aktif gempa di dasar abutment	$P_{AE1} =$	1294.660	kN
Koefisien tekanan aktif seismik	$K_{AE} =$	0.356	
Koefisien percepatan vertikal	$K_v =$	0.000	
Tekanan tanah aktif gempa pada dasar abutment	$P_{AE2} = 1/2 \gamma_s H_{tot}^2 (1-K_v) K_{AE} P_{abt} =$	2092.330	kNm
Tinggi titik tangkap ke dasar abutment	$h_5 =$	6.230	m
Tinggi titik tangkap ke dasar pilecap	$h_6 =$	7.630	m
Gaya gempa tekanan tanah aktif bekerja pada ketinggian 0.6H, sehingga			
Momen akibat gaya gempa di dasar abutment	$M_{EQ3} = P_{AE1} 0.6 h_5 =$	4839.440	kNm
Momen akibat gaya gempa di dasar pilecap	$M_{EQ_PC3} = P_{AE2} 0.6 h_6 =$	9578.685	kNm
Total gaya gempa yang bekerja di dasar abutment	$\Sigma H_{abt} = H_{long1} + P_{IR} + P_{AE1} =$	2792.254	kN
	$\Sigma M_{abt} = M_{EQ1} + M_{EQ2} + M_{EQ3} =$	11667.213	kNm
Total gaya gempa yang bekerja di dasar pilecap	$\Sigma H_{pc} = H_{long1} + P_{IRtotal} + P_{AE2} =$	4041.535	kN
	$\Sigma M_{pc} = M_{EQ_pc1} + M_{EQ_pc2} + M_{EQ_pc3} =$	19399.103	kNm

BEBAN LAJUR "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 24. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 12.

Tabel 12 - Faktor beban untuk beban lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut :

$$q = 9,0 \quad \text{kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 9,0 * (0,5 + 15 / L) \quad \text{kPa} \quad \text{untuk } L > 30 \text{ m}$$

Lebar bersih jembatan

$$B = 6 \quad \text{m}$$

Panjang jembatan

$$L = 80 \quad \text{m}$$

Jumlah as antar gelagar

$$n_g = 6$$

Jarak as antar gelagar (balok stinger)

$$s_g = 1,1 \quad \text{m}$$

Beban terbagi merata

$$q = 6,1875 \quad \text{kPa}$$

Beban BTR

$$W_{BTR} = q s_g = 6,80625 \quad \text{kN/m}$$

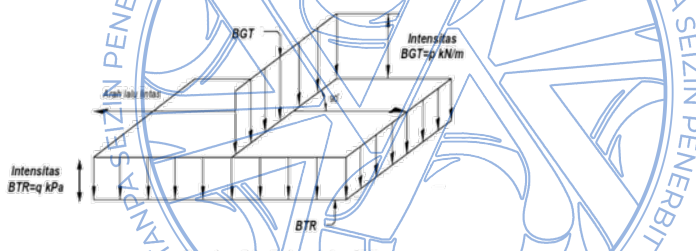
Beban BTR yang bekerja disemua lajur

$$P_{BTR} = q B L = 2970 \quad \text{kN/m}$$

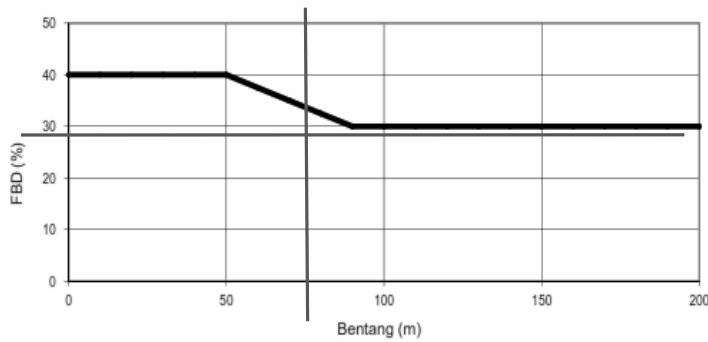
Keterangan:

q : adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.



Beban garis terpusat	$p = 49$ kN/m
Faktor beban dinamis	$FBD = 0.4$
Beban BGT yang bekerja pada gelagar tengah	$P_{BGT} = (1 + FBD) p s_g = 75.46$ kN
Beban TD yang bekerja pada abutment adalah setengah dari panjang bentang, sehingga:	
Beban akibat beban TD	$W_{TD} = (W_{BTR} L / 2) + (P_{BGT} / 2) n_g = 1859.88$ kN

Gaya dalam akibat beban TD pada dasar abutment

Gaya vertikal $V_{TD1} = W_{TD} = 1859.88$ kN

Gaya dalam akibat beban TD pada dasar pilecap

Gaya vertikal $V_{TD2} = W_{TD} = 1859.88$ kN

Beban Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

$$F_{TB1} = 25\% \times 225$$

$$F_{TB2} = 5\% \times (\text{Berat Truk} + \text{BTR})$$

Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

Berat truk	$P_T = 500$ kN
Berat gandar truk	$w_T = 225$ kN
Jumlah lajur	$n_L = 2$
Jumlah gelagar	$n_g = 7$
25% dari berat gandar truk desain	$F_{TB1} = 25\% \times \text{berat gandar truk} = 16.071$ kN
5% dari berat truk rencana + beban lajur terbagi rata	$F_{TB2} = 5\% \times (P_T n_L + P_{BTR}) / n_g = 28.357$ kN
Nilai beban rem terbesar	$F_{TB} = 28.357$ kN
Berat akibat beban TB	$W_{TB} = F_{TB} / 2 n_g = 99.25$ kN
Gaya dalam akibat beban rem pada dasar abutment	
Gaya horizontal	$H_{TB1} = W_{TB} = 99.25$ kN
Momen	$M_{TB1} = H_{TB1} H' = 618.3275$ kNm
Gaya dalam akibat beban rem pada dasar pilecap	
Gaya horizontal	$H_{TB1} = W_{TB} = 99.25$ kN
Momen	$M_{TB2} = H_{TB2} H = 786.06$ kNm

Loading Combinations			
Kuat I	=	1.3 MS+2MA+1.25TA+1.25PS+1.8TD+1.8TB	
Kuat II	=	1.3 MS+2MA+1.25TA+1.25PS+1.4TD+1.4TB	
Kuat III	=	1.3 MS+2MA+1.25TA+1.25PS	
Ekstrem I	=	1.3 MS+2MA+1.25TA+1.25PS+EQ	
Ekstrem II	=	1.3 MS+2MA+1.25TA+1.25PS+0.5TD+0.5TB	
Daya Layan I	=	MS+MA+TA+TA'+PS+TD+TB	
Daya Layan II	=	MS+MA+TA+PS+1.3TD+1.3TB	
Daya Layan III	=	MS+MA+TA+PS+0.8TD+0.8TB	
Daya Layan IV	=	MS+MA	
Service Gempa	=	MS+MA+TA+PS+TD+TB+0.7EQ	

Kombinasi beban abutment

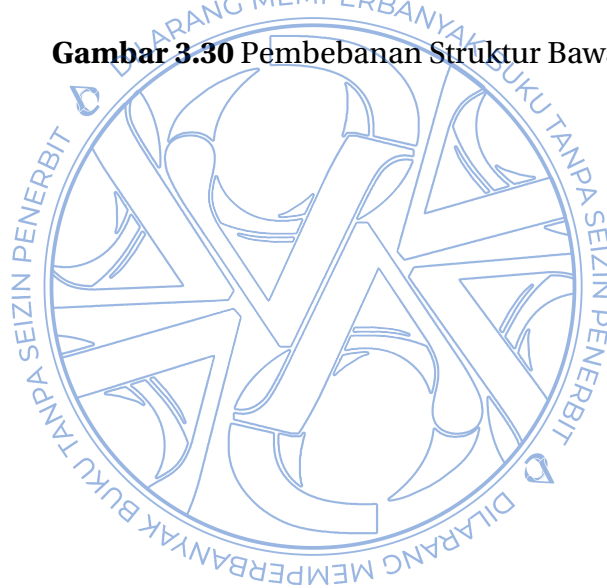
Kuat I
 Kuat II
 Kuat III
 Ekstrem I
 Ekstrem II

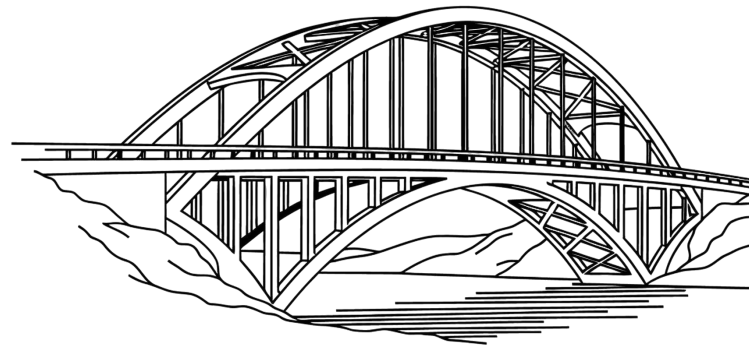
Kombinasi beban pilecap

Daya Layan I
 Daya Layan II
 Daya Layan III
 Daya Layan IV
 Service Gempa

Kuat I
 Kuat II
 Kuat III
 Ekstrem I
 Ekstrem II

Gambar 3.30 Pembebanan Struktur Bawah



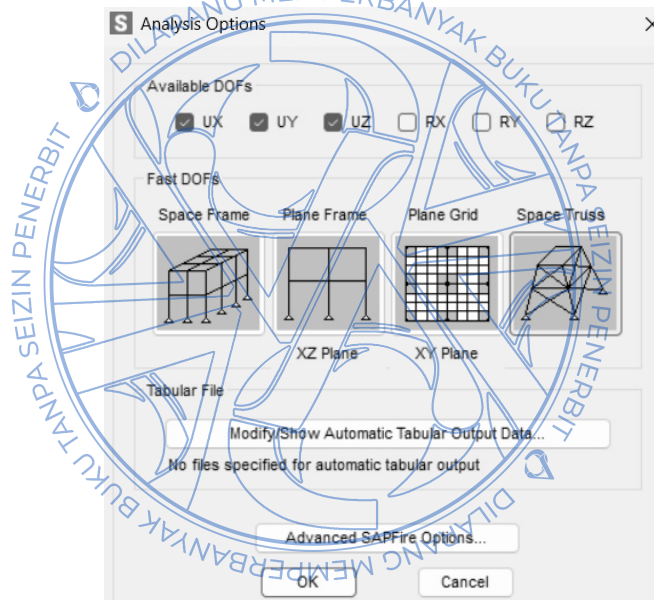


ANALISIS STRUKTUR

4.1 Analisis Struktur Atas

4.1.1 Set Analyze Options

Setelah memasukkan semua beban yang bekerja pada jembatan 80 meter ini, langkah penting selanjutnya yang harus dilakukan adalah melakukan pengecekan terhadap model jembatan yang telah dibuat. Untuk melakukannya, klik menu *Analyze* → *Set Analyze Options*, lalu pilih sesuai dengan gambar di bawah ini.



Gambar 4.1 Analysis Options

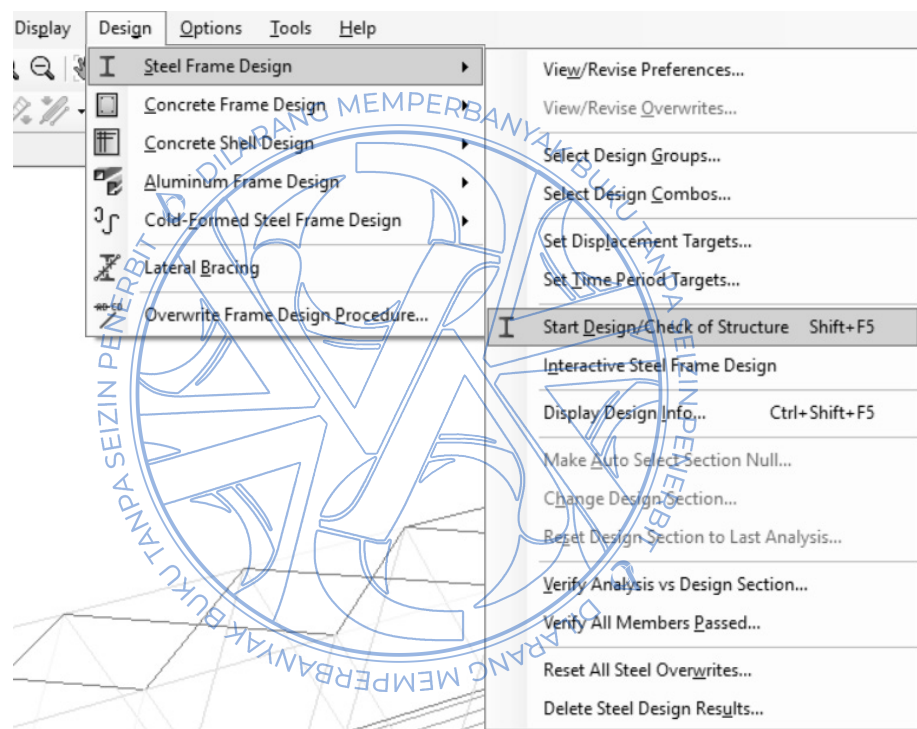
4.1.2 Running Model

Run Analysis pada SAP2000 adalah proses inti di mana model struktur yang telah dibuat, termasuk elemen seperti balok, kolom, pelat, dan beban dihitung secara numerik untuk menghasilkan respons struktur terhadap berbagai beban (seperti mati, hidup, gempa, atau angin). Proses ini melibatkan pemecahan persamaan keseimbangan statis atau dinamis menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*), di mana SAP2000 membangun matriks kekakuan global, menerapkan beban, dan menghitung deformasi, gaya internal (momen, geser, aksial), serta reaksi tumpuan. Sebelum menjalankan analisis, pengguna harus memastikan model terkunci (*locked*) untuk mencegah perubahan data, dan memilih *load cases*

serta kombinasi beban yang relevan. *Run Analysis* dapat bersifat linier (untuk beban statis sederhana) atau nonlinier (untuk gempa atau *buckling*), dengan opsi paralel untuk mempercepat komputasi pada model kompleks. Untuk *run analysis* hanya klik tombol F5 → *Run Now*.

4.1.3 Cek Desain Baja

Steel Design Check adalah proses verifikasi kekuatan dan stabilitas elemen baja (kolom, balok, *bracing*) di SAP2000 setelah *Run Analysis* selesai. SAP2000 secara otomatis menghitung rasio interaksi (*PMM Ratio*) berdasarkan kombinasi beban. Biasanya akan ada indikator yang menunjukkan bahwa elemen-elemen masih di bawah rasio aman atau tidak. Untuk melakukan *steel design check*, caranya klik menu *Design* → *Steel Frame Design* → *Start Design/Check of Structure*.



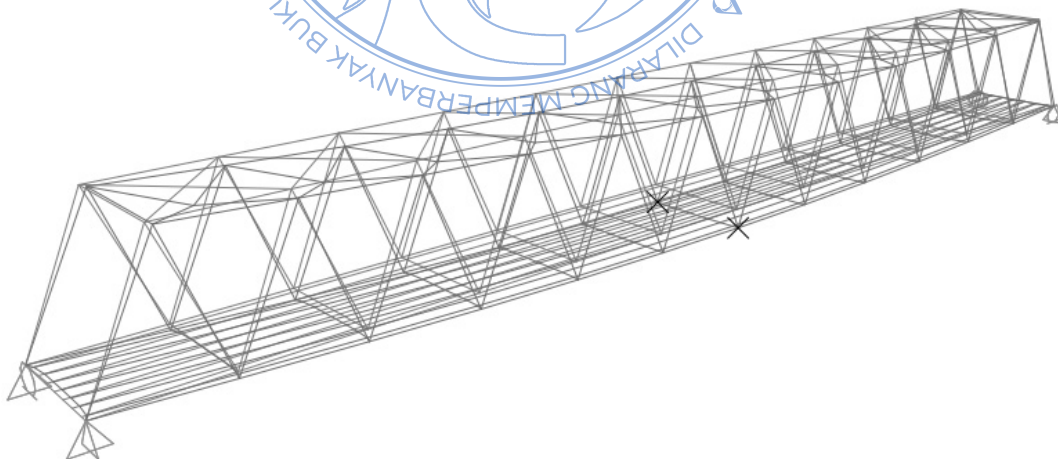
Gambar 4.2 *Steel Design/Check of Structure*

4.1.5 Cek Lendutan

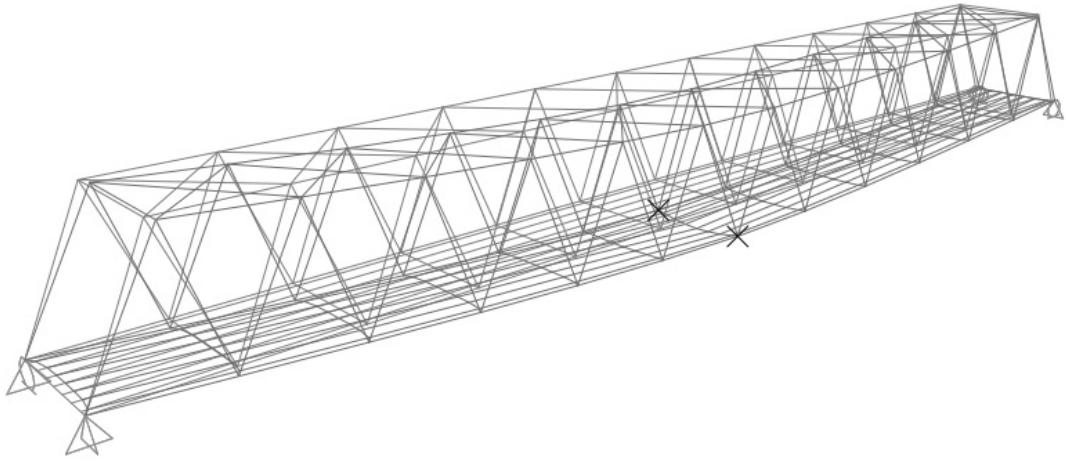
Lendutan adalah salah satu faktor yang penting untuk dilakukan pemeriksaan. Biasanya pengecekan dilakukan sebelum atau sesudah cek rasio PMM. Dalam jembatan, lendutan yang diizinkan untuk menjadi batas atas (lendutan izin) adalah sebesar $L/800$, dengan L adalah panjang bentang dalam milimeter. Dan nilai untuk lendutan izin itu sendiri adalah $80.000 \text{ mm}/800 = 100 \text{ mm}$. Untuk memeriksa lendutan caranya dengan klik F6 lalu pilih kategori yang disyaratkan dalam SNI 1725:2016 untuk pemeriksaan lendutan, atau dengan tabel klik **CTRL + T** → **Analysis Results** → **Joint Output** → **Displacement**. Berikut adalah tabel lendutan dari beberapa kombinasi pembebanan.

TABLE: Joint Displacements								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	mm	mm	mm	Radians	Radians	Radians
6	DL	Combination	17,01	0,18	-130,92	0,00	0,00	0,00
20	DL	Combination	17,02	-0,81	-130,92	0,00	0,00	0,00
6	LL(TD)	Combination	8,73	0,72	-70,03	0,00	0,00	0,00
20	LL(TD)	Combination	8,73	-1,07	-70,03	0,00	0,00	0,00
6	LL(TT)	Combination	5,09	1,12	-45,23	0,00	0,00	0,00
20	LL(TT)	Combination	5,20	-1,11	-45,20	0,00	0,00	0,00
6	DL+LL(TD)	Combination	25,74	0,90	-200,95	0,00	0,00	0,00
20	DL+LL(TD)	Combination	25,75	-1,89	-200,95	0,00	0,00	0,00
6	DL+LL(TT)	Combination	22,10	1,30	-176,15	0,00	0,00	0,00
20	DL+LL(TT)	Combination	22,22	-1,93	-176,12	0,00	0,00	0,00
		Max	25,75	1,30	-45,20			
		Min	5,09	-1,93	-200,95			

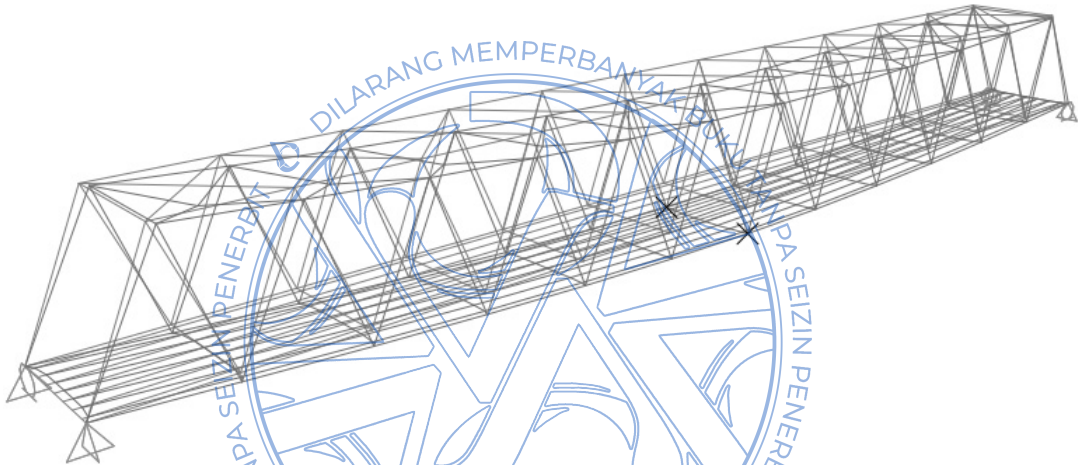
Tabel 4.1 Joint Displacement



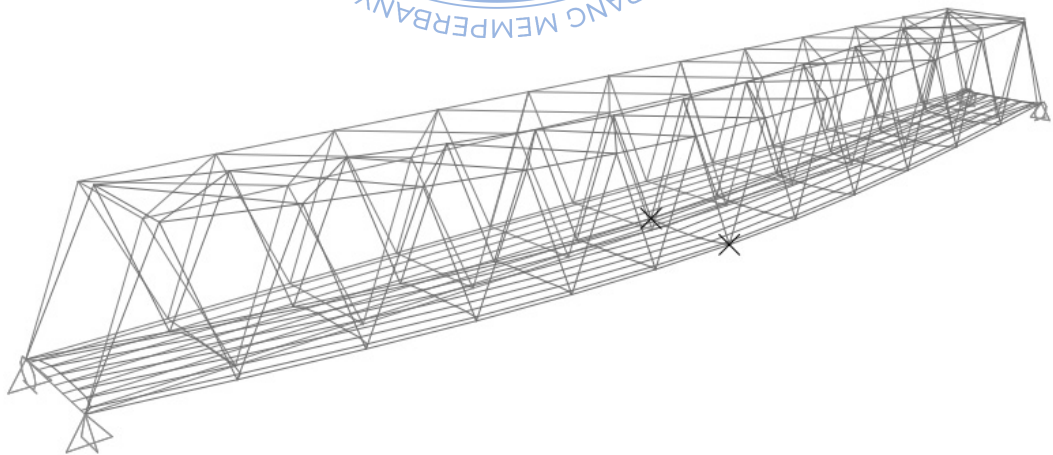
Gambar 4.5 Lendutan Akibat Berat Sendiri (DL)



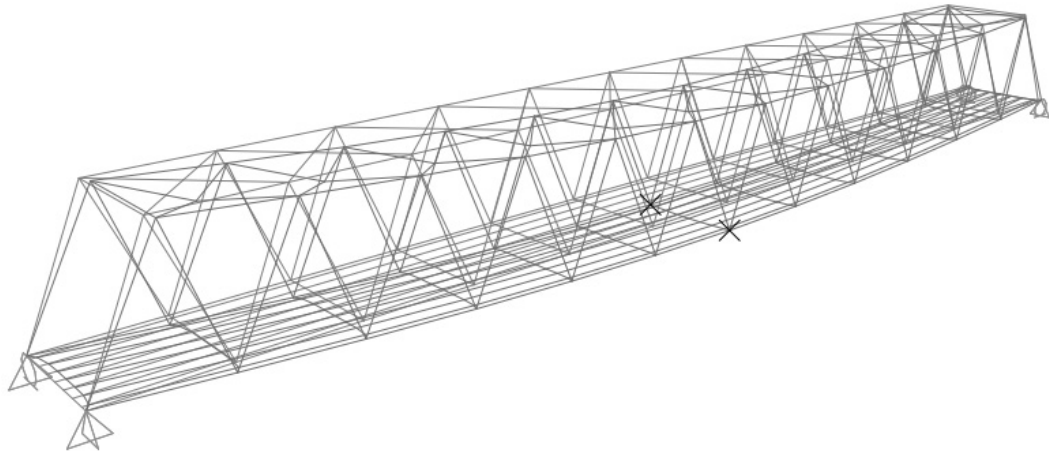
Gambar 4.6 Lendutan akibat Beban LL (TT)



Gambar 4.7 Lendutan Akibat DL+LL (Untuk Kasus TT)



Gambar 4.8 Lendutan Akibat LL (Untuk Kasus TD)



Gambar 4.9 Lendutan Akibat DL+LL (Untuk Kasus TD)

Dapat dilihat pada tabel lendutan di atas bahwa lendutan yang terjadi akibat DL adalah 130,92 mm, akibat LL 70,03 mm, dan akibat dari DL + LL adalah 200,95 mm. Maka dari itu diperlukan sebuah *camber* (lawan lendut) sebesar 1,5 kali dari total lendutan akibat DL dan LL. Tinggi *camber* yang diperlukan adalah 400 mm maka sisa *camber* akibat lendutan masih 199,05 mm. Dan dari sini lendutan yang terjadi hanya ditinjau dari beban hidup saja, yaitu 70,03 mm yang mana angka tersebut masih di bawah lendutan izin yaitu 100 mm. Dengan kata lain lendutan dikategorikan "AMAN".

4.1.6 Analisis *Elastomeric Bearing*

Untuk melakukan analisis pada *elastomeric bearing* penulis menggunakan cara manual yang dibantu dengan Excel seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.

Elastomerik Bearing

Tipe kekerasan	IHRD =	70	(brosur bearing)
Modulus geser elastomerik	G =	1.2 Mpa	(brosur bearing)
	=	12 kg/cm ²	
lebar bearing	a =	400 mm	
panjang bearing	b =	600 mm	
tebal lapisan karet	tr =	12 mm	
jumlah lapisan karet	n =	11	
tebal lapisan pelat	ts =	4 mm	
jumlah lapisan pelat	n =	12	
tebal lapisan karet bagian luar	tc =	10 mm	
jumlah lapisan karet luar	n =	2	
tebal total	T =	tr + ts + tc	
		200 mm	

luas elastomerik	A =	a x b	
	=	240000 mm ²	
	=	2400 cm ²	

faktor modifikasi	β =	10	
-------------------	-----	----	--

1. Kontrol tegangan akibat gaya tekan

beban vertikal	N =	265000 kg	(dari SAP2000)
----------------	-----	-----------	----------------

tegangan tekan rata ²	σ _m =	N / A	
----------------------------------	------------------	-------	--

$$= 110 \text{ kg/cm}^2$$

tegangan tekan ijin	σ _{m ijin} =	150 kg/cm ²	
---------------------	-----------------------	------------------------	--

$$\sigma_m < \sigma_{m \text{ ijin}}$$

OK

tegangan geser akibat tekan	τ _N =	1.5 σ _m / β	
-----------------------------	------------------	------------------------	--

$$= 16.6 \text{ kg/cm}^2$$

tegangan geser tekan ijin	τ _{N ijin} =	24 kg/cm ²	
---------------------------	-----------------------	-----------------------	--

$$\sigma_m < \sigma_{m \text{ ijin}}$$

OK

2. kontrol tegangan akibat gaya horizontal

beban horizontal	H =	13104 kg	(dari SAP2000)
------------------	-----	----------	----------------

kontrol bearing	f =	0.15	
-----------------	-----	------	--

beban horizontal minimal	fN =	40900 kg	(brosur bearing)
--------------------------	------	----------	------------------

$$H < fN$$

(maka bearing butuh angkur)

jarak displacement bearing	U =	9 cm	(dari SAP2000)
----------------------------	-----	------	----------------

tegangan geser	τ _H =	G U / T	
----------------	------------------	---------	--

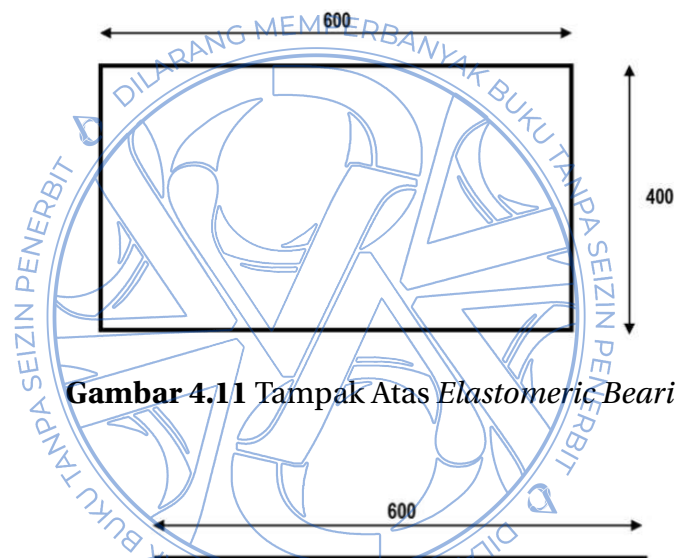
$$= 5.4 \text{ kg/cm}^2$$

tegangan geser horizontal ijin	τ _{H ijin} =	6 kg/cm ²	
--------------------------------	-----------------------	----------------------	--

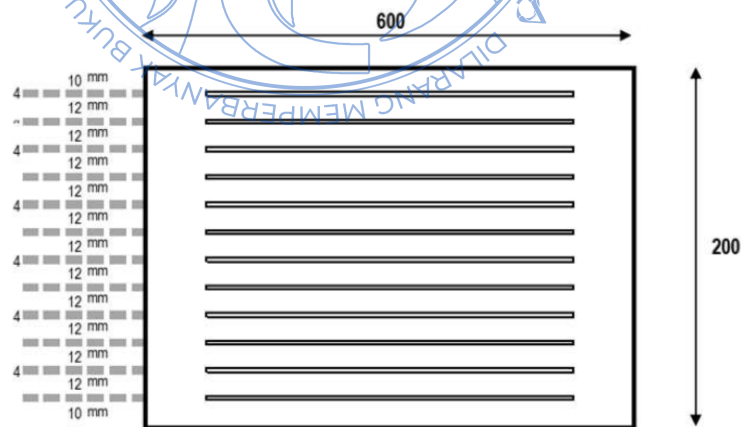
$$\tau_H < \tau_H \text{ ijin} \quad \text{OK}$$

3. kontrol tegangan akibat rotasi				
rotasi maksimum bearing	αt	=	0.0016	(dari SAP2000)
rotasi tambahan dari tumpuan beton	αo	=	0.0030	
tegangan geser akibat rotasi	$\tau \alpha$	=	0.0138	kg/cm ²
tegangan geser horizontal ijin	τ ijin	=	12	kg/cm ²
4. Kontrol total tegangan				
tegangan geser akibat tekan	τN	=	16.5625	kg/cm ²
tegangan geser beban horizontal	τH	=	5.4	kg/cm ²
tegangan geser akibat rotasi	$\tau \alpha$	=	0.0138	kg/cm ² +
tegangan geser total	τ	=	21.9763	kg/cm ²
tegangan geser total ijin	τ ijin	=	40	kg/cm ²
	τ	<	τ ijin	OK

Gambar 4.10 Analisis *Elastomeric Bearing*



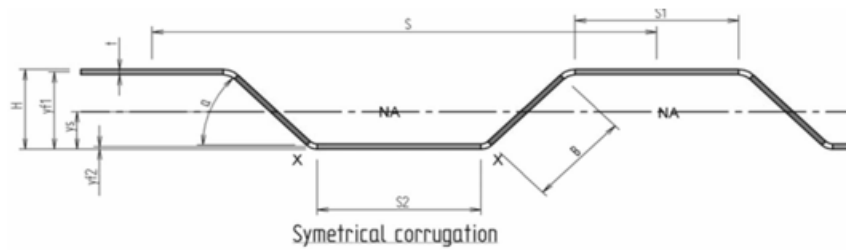
Gambar 4.11 Tampak Atas *Elastomeric Bearing*



Gambar 4.12 Tampak Samping *Elastomeric Bearing*

4.1.7 Analisis *Metal Deck*

Untuk melakukan analisis pada *metal deck*, penulis menggunakan cara manual yang dibantu dengan Excel seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



panjang steel deck	L =	1100 mm	
lebar steel deck	W =	1000 mm	
tinggi steel deck	h =	50 mm	
sudut steel deck	α =	40 deg	
tebal steel deck	t =	1 mm	
jarak antar puncak gelombang	s =	335 mm	
jumlah corrugation	n =	3	
Flat section 1			
lebar sisi datar atas	S1 =	135 mm	
tebal steel deck	t =	1 mm	
rasio lebar terhadap tebal	W =	$\frac{S1}{t}$	
		= 135 mm	
titik berat sec. 1 terhadap sisi bawah	yf1 =	$\frac{h}{2} - \frac{t}{2}$	/ 2
		= $\frac{50}{2} - \frac{1}{2}$	/ 2
		= 49,5 mm	
momen inersia	If1 =	$\frac{S1}{12} \times t^3$	/ 12
		= $\frac{135}{12} \times 1^3$	/ 12
		= 11,25 mm ⁴	
modulus tahanan sec. 1	Zf1 =	$\frac{S1}{6} \times t^2$	/ 6
		= $\frac{135}{6} \times 1^2$	/ 6
		= 22,5 mm ³	
luas sec. 1	af1 =	S1 x t	
		= 135 x 1	
		= 135 mm ²	

$$\begin{aligned}
 \text{tinggi sec. 1} \quad df1 &= yx - yf1 \\
 &= 25 - 49.5 \\
 &= -24.5 \text{ mm} \\
 ad21 &= af1 \times df1^2 \\
 &= 81033.75 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Flat section 2

$$\begin{aligned}
 \text{lebar sisi datar atas} \quad S2 &= 135 \text{ mm} \\
 \text{tebal steel deck} \quad t &= 1 \text{ mm} \\
 \text{rasio lebar terhadap tebal} \quad W &= S1 / t \\
 &= 135 \text{ mm} \\
 \text{titik berat sec. 2 terhadap sisi bawah} \quad yf2 &= t / 2 \\
 &= 1 / 2 \\
 &= 0.5 \text{ mm} \\
 \text{momen inersia} \quad If2 &= S1 \times t^3 / 12 \\
 &= 135 \times 1^3 / 12 \\
 &= 11.25 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{modulus tahanan sec. 2} \quad Zf2 &= S1 \times t^2 / 6 \\
 &= 135 \times 1^2 / 6 \\
 &= 22.5 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{luas sec. 2} \quad af2 &= S1 \times t \\
 &= 135 \times 1 \\
 &= 135 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{tinggi sec. 2} \quad df2 &= yx - yf2 \\
 &= 25 - 0.5 \\
 &= 24.5 \text{ mm} \\
 ad22 &= af2 \times df2^2 \\
 &= 81033.75 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Slope Section

$$\begin{aligned}
 \text{panjang sisi miring} \quad b &= 59.6 \text{ mm} \\
 \text{tebal steel deck} \quad d &= 1 \text{ mm} \\
 \text{rasio lebar terhadap tebal} \quad W &= b / d \\
 &= 59.6 / 1 \\
 &= 59.6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{titik berat slope section} \quad ys &= 25 \text{ mm} \\
 \text{terhadap sisi bawah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{sudut steel deck} \quad \alpha &= 40 \text{ deg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{momen inersia slope section} \quad Is &= b \cdot d \cdot ((d \cdot d \cdot \sin \alpha) + (d \cdot d \cdot \cos \alpha)) / 12 \\
 &= 4.97 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{slope area} \quad as &= b \cdot d \\
 &= 59.6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Combined to form single corrugation

$$\begin{aligned}
 y_x &= ((af1.yf1)+(af2.yf2)+(2.as.ys))/(af1+(2.as)+af2) \\
 &= 25 \text{ mm} \\
 y_t &= h - y_x \\
 &= 50 - 25 \\
 &= 25 \text{ mm} \\
 y_{max} &= 25 \text{ mm} \\
 I_{na} &= If1+If2+(2.Is)+ad21+ad22+(2.ad2s) \\
 &= 162099.94 \text{ mm}^4 \\
 Z_{na} &= I_{na} / y_{max} \\
 &= 6484 \text{ mm}^3 \\
 A &= af1+(2.as)+af2 \\
 &= 389 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

For 1 unit steel deck (per meter)

$$\begin{aligned}
 Z_{na} &= Z_{na} \times n & I_{na} &= I_{na} \times n & A_t &= A \times n \\
 &= 6484 \times 3 & &= 162099.9383 \times 3 & &= 389.3 \times 3 \\
 &= 19451.99 \text{ mm}^3 & &= 486299.815 \text{ mm}^4 & &= 1168 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Analisa Kekuatan Steel Deck kondisi beton basah

1. Beban mati (qD)

Beban steel deck

luas penampang steel deck

$$A_s = 1168 \text{ mm}^2$$

berat jenis steel deck

$$w_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$$

beban pelat steel deck

$$\begin{aligned}
 W_{sd} &= A_s \times w_s \\
 &= 1168 \times 78.5 \\
 &= 0.09 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Beban pelat beton

lebar pelat beton

$$b = 1000 \text{ mm}$$

tebal pelat beton

$$t_c = 250 \text{ mm}$$

luas penampang pelat beton

$$\begin{aligned}
 A_c &= b \times t_c \\
 &= 1000 \times 250 \\
 &= 0.25 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

berat jenis beton

$$w_c = 24 \text{ kN/m}^3$$

beban pelat beton

$$\begin{aligned}
 W_c &= A_c \times w_c \\
 &= 0.25 \times 24 \\
 &= 6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Total beban mati. qD

$$\begin{aligned}
 q_D &= W_{sd} + W_c \\
 &= 0.09 + 6 \\
 &= 6.09 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

2. Beban ultimit, qU

bebn ultimit

$$\begin{aligned}
 q_U &= 1.3 q_D \\
 &= 7.92 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3. Momen ultimir

panjang arah y	$L_y =$	1.1 m	
panjang arah x	$L_x =$	1 m	
rasio L_y/L_x	$r =$	L_y / L_x	
		$=$	1.1
Lapangan arah y	$M_{ly} =$	$+ 0.001 qu$	$I_y^2 \quad 57$
		$= + 0.55 \text{ kNm}$	
tumpuan arah y	$M_{ty} =$	$- 0.001 qu$	$I_y^2 \quad 57$
		$= - 0.55 \text{ kNm}$	
lapangan arah x	$M_{lx} =$	$+ 0.001 qu$	$I_x^2 \quad 28$
		$= + 0.22 \text{ kNm}$	

4. Kontrol desain penulangan

desain penulangan lapangan menggunakan steel deck

desain penulangan minimal (SNI 2847:2019 Pasal 7.6)

mutu tulangan	$f_y =$	420 Mpa
mutu steel deck	$f_{yd} =$	550 MPa
Luas tulangan perlu	$A_s \text{ min} =$	$\frac{0.0018}{f_y} \times 420 A_g$
		$= \frac{0.0018}{420} \times 420 A_g$
		$= 0.0018 A_g$
		$= 0.0018 \times b \times t_c$
		$= 0.0018 \times 1000 \times 250$
		$= 450 \text{ mm}^2$

luas penampang steel deck $A_s = 1168 \text{ mm}^2$ luas steel deck memenuhi

tegangan lapangan arah y	$\sigma =$	$\frac{M_{ly} \times y_{max}}{I_{na}}$
		$= 28.1 \text{ Mpa}$
kuat tarik steel deck perlu	$T_{min} =$	$0.5 \times \sigma \times y_{max} \times b$
		$= 331 \text{ kN}$
Kuat tarik steel deck terpasang	$T_{sd} =$	$0.9 A_s f_y$
		$= 578 \text{ kN}$
		OK

Shear Connector

1. Shear connector balok stringer

panjang bentang balok	$L =$	6667 mm
dimensi balok melintang	$b =$	500 mm
panjang efektif balok	$L_o =$	$L - b$
		$= 6667 - 500$
		$= 6167 \text{ mm}$
diameter tulangan	$D =$	16 mm
tinggi tulangan	$h_s =$	100 mm
tinggi nominal gelombang steel deck	$h_r =$	50 mm
lebar efektif gelombang steel deck	$w_r =$	167.5 mm (setengah gelombang)
jumlah penghubung geser	$n_s =$	2
faktor reduksi	$r_s =$	0.75 (RSNI T-03 2005)
kuat tekan beton	$f_c' =$	29 Mpa
kuat tarik penghubung geser	$f_u =$	390 MPa
modulus elastisitas beton	$E_c =$	$4700 \sqrt{f_c'}$
		$= 25310.27459 \text{ Mpa}$
luas penghubung geser	$A_{sc} =$	$0.25 \times 3.14 \times D \times n$
		$= 402.12386 \text{ mm}^2$
kuat geser 1 penghubung geser	$Q_n =$	$0.5 \times A_s \times \sqrt{f_c' \times E_c}$
		$= 86.1285783 \text{ kN}$
kuat ultimit geser penghubung geser	$V_u =$	$A_{sc} \times f_u$
		$= 402.12386 \times 390$
		$= 156.828305 \text{ kN}$
	$Q_n <$	V_u OK

tegangan leleh baja	f_y	=	240 Mpa	
luas profil balok (non komposit)	A_s	=	13344	mm ²
kuat geser horizontal	V_h	=	$A_s \times f_y$	
		=	3202.56 kN	
jumlah stud perlu 1 bentang	n_s	=	V_h / V_u	
		=	20.4208035	
jarak terpasang penghubung geser	s	=	L_o / n_s	= 302 mm
2. Shear connector balok girder				
panjang bentang balok	L	=	7600 mm	
dimensi balok melintang	b	=	450 mm	
panjang efektif balok	L_o	=	$L - b$	
		=	7600 - 450	
		=	7150 mm	
diameter tulangan	D	=	16 mm	
tinggi tulangan	h_s	=	100 mm	
tinggi nominal gelombang steel deck	h_r	=	50 mm	
lebar efektif gelombang steel deck	w_r	=	167.5 mm	(setengah gelombang)
jumlah penghubung geser	n_s	=	2	
faktor reduksi	r_s	=	0.75	(RSNI T-03 2005)
kuat tekan beton	f_c'	=	29 Mpa	
kuat tarik penghubung geser	f_u	=	390 MPa	
modulus elastisitas beton	E_c	=	4700	v fc'
		=	25310.27459	Mpa
luas penghubung geser	A_{sc}	=	$0.25 \times 3.14 \times D \times n$	
		=	402.12386 mm ²	
kuat geser 1 penghubung geser	Q_n	=	$0.5 \times A_s \times \sqrt{f_c' \times E_c}$	
		=	86.1285783 kN	
kuat ulmit geser penghubung geser	V_u	=	$A_{sc} \times f_u$	
		=	402.12386 x 390	
		=	156.828305 kN	
	Q_n	<	V_u	OK
tegangan leleh baja	f_y	=	240 Mpa	
luas profil balok (non komposit)	A_s	=	34528	mm ²
kuat geser horizontal	V_h	=	$A_s \times f_y$	
		=	8286.72 kN	
jumlah stud perlu 1 bentang	n_s	=	V_h / V_u	
		=	52.8394411	
jarak terpasang penghubung geser	s	=	L_o / n_s	= 135.32 mm

Gambar 4.13 Analisis Metal Deck

4.2 Analisis Struktur Bawah

Data abutment

Lebar abutment	$B_{abt} =$	1200	mm
Panjang abutment	$P_{abt} =$	10400	mm
Tinggi abutment	$H_{abt} =$	4850	mm
Lebar pilecap	$B_{pc} =$	6800	mm
Panjang pilecap	$P_{pc} =$	12200	mm
Tinggi pilecap	$H_{pc} =$	1600	mm
Tinggi total	$H_{tot} =$	7920	mm
Jumlah bentang gelagar	$N_g =$	6	
Panjang bentang	$L_b =$	80	m

Data timbunan tanah

Tinggi timbunan tanah dibelakang abutment	$H =$	6230	mm
Lebar timbunan tanah dibelakang abutment	$B =$	2800	mm
Berat volume tanah	$\gamma_s =$	18	kN/m ³

Kuat tekan beton	$f_c' =$	30	MPa
Berat volume beton bertulang	$\gamma_c =$	24	kN/m ³
Modulus elastisitas beton	$E_c =$	25742.9602	MPa

Momen inersia potongan melintang	$I = (1/12) P_{abt} B_{abt}^3 =$	1.4976E+12	mm ⁴
Momen inersia efektif potongan melintang	$I_e = 0,7I =$	1.0483E+12	mm ⁴

Luas potongan melintang timbunan tanah	$A_{tim} =$	16756000	mm ²
Luas potongan melintang abutment	$A_{abt} =$	7068000	mm ²
Luas potongan melintang pilecap	$A_{pc} =$	9760000	mm ²

Berat struktur atas	$W_u =$	2037.642	kN
Berat abutment	$W_{abt} = A_{abt} * P_{abt} * \gamma_c =$	1764.1728	kN
Berat pilecap	$W_{pc} = A_{pc} * P_{pc} * \gamma_c =$	2857.728	kN
Berat struktur bawah	$W_b = W_{abt} + W_{pc} =$	4621.9008	kN
Berat total struktur	$W = W_b + W_u =$	6659.5428	kN

	V	H	M
MS	3814.994	0	0
MA	282.4092	0	0
TA	0	1210.962	2514.765
PS	0	272.1264	847.6737
TA'	0	0	0
TD	1859.88	0	0
TB	0	99.25	618.3275
EQ	0	2792.254	11667.21

Gaya dalam abutment (ULS)

	V	H	M
Kuat I	8872.094	2032.511	5316.038
Kuat II	8128.142	1992.811	5068.707
Kuat III	5524.31	1853.861	4203.049
Ekstrem I	5524.31	4646.115	15870.26
Ekstrem II	6454.25	1903.486	4512.213

	V	H	M
MS	6274.514	0	0
MA	282.4092	0	0
TA	0	2295.78624	6060.876
PS	0	405.8208	1607.05
TA'	2996.323	0	3144.641
TD	1859.88	0	0
TB	0	99.25	786.06
EQ	0	4041.53487	19399.1

Gaya dalam pilecap (ULS)

	V	H	M
Kuat I	12069.47	3555.6588	10999.82
Kuat II	11325.52	3515.9588	10685.39
Kuat III	8721.686	3377.0088	9584.908
Ekstrem I	8721.686	7418.54367	28984.01
Ekstrem II	9651.626	3426.6338	9977.938

Gaya dalam pilecap (SLS)

	V	H	M
Daya Layan I	11413.13	2800.85704	11598.63
Daya Layan II	11971.09	2830.63204	11834.45
Daya Layan III	11041.15	2781.00704	11441.42
Daya Layan IV	6556.923	0	0
Service Gempa	11413.13	5629.93145	25178

Tabel 4.2 Kombinasi Beban dan Gaya Dalam yang Terjadi

4.2.1 Cek Kapasitas *Abutment* dengan SPColumn

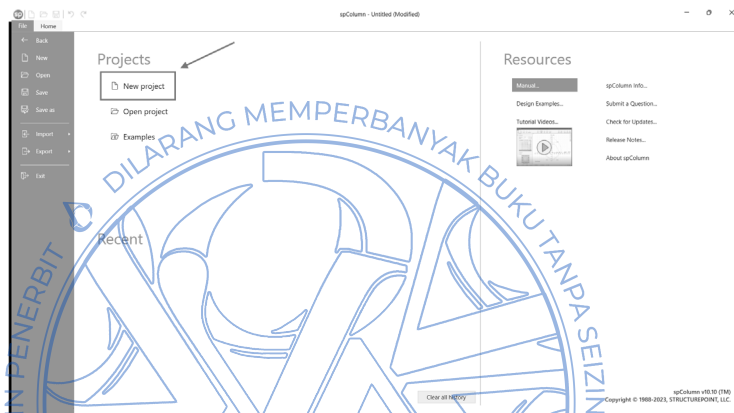
Untuk perhitungan tulangan vertikal *abutment* dibantu dengan menggunakan *software* SPColumn. SPColumn adalah perangkat lunak rekayasa struktural untuk perancangan dan analisis bagian beton bertulang yang terkena beban aksial dan momen lentur. Bentuk yang bisa dimodelkan dapat berbentuk persegi panjang, bulat, atau tidak beraturan, dengan tata letak atau pola penguatan apa pun. Efek kelangsingan (*slenderness*) pun dapat dipertimbangkan.

SPColumn biasa digunakan secara luas untuk desain dinding geser, *shaft lift*, inti bangunan, tiang jembatan, serta elemen rangka bangunan. spColumn dapat menganalisis bagian yang tidak dapat ditemukan pada diagram desain atau dihitung secara manual, yaitu diagram interaksi P-M dari uji *uniaxial* dan *biaxial*, serta grafik kontur momen Mx-My dari uji *biaxial*.

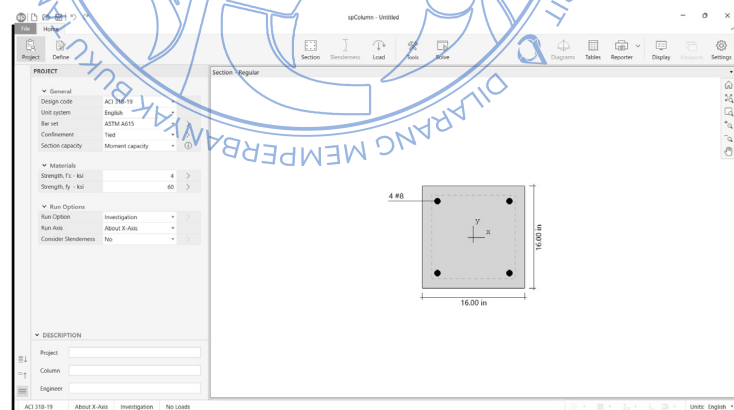
Langkah awal untuk melakukan analisis di spColumn adalah menentukan parameter *project* yang akan digunakan. Kode ACI 318-14 dan ASTM A615M dipilih karena standar yang digunakan di Indonesia, yaitu SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan) dan SNI 2052:2024 (Baja

Tulangan Beton) mengacu kedua kode itu. Setelah membuka **software spColumn**, pilih **New Project** → **Project** → **General** → **Design code** (pilih **ACI 318-14**) → **Unit system** (pilih **Metric**) → **Bar set** (pilih **ASTM A615M**) → **Confinement** (pilih **Tied**) → **Section capacity** (pilih **Moment capacity**).

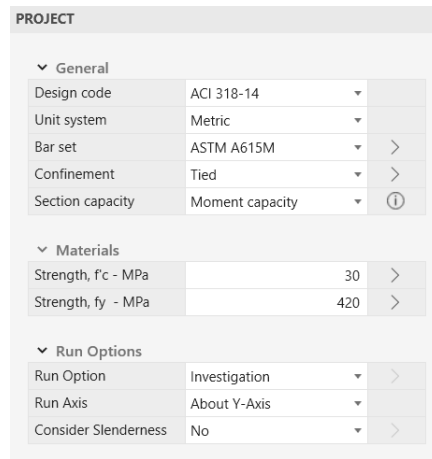
Untuk material *abutment*, direncanakan kuat tekan beton sebesar 30 MPa dan kuat leleh baja 420 MPa. Pilih **Materials** → **Strength, f'c - MPa** (ketik **30**) → **Strength, fy - MPa** (ketik **420**). Selanjutnya adalah menentukan pilihan analisis yang akan dilakukan. Analisis akan dilakukan ke sumbu Y, karena momen yang terjadi bekerja mengitari sumbu Y dan tidak mempertimbangkan kelangsingan. Pilih **Run Options** → **Run option** (pilih **Investigation**) → **Run Axis** (pilih **About Y-Axis**) → **Consider Slenderness** (pilih **No**)



Gambar Tampilan Awal spColumn



Gambar Layar Kerja spColumn



Gambar Dialog Box Tab Project

Langkah selanjutnya adalah menentukan dimensi *abutment* dan penulangan vertikal. Dimensi *abutment* direncanakan memiliki ukuran 1200 x 10400 mm dengan selimut beton 75 mm karena beton kontak langsung dengan tanah. Tulangan utama struktur sekurang-kurangnya memiliki rasio minimum 1% dari luas penampang atau memiliki rasio maksimum 8% dari luas penampang. Tulangan direncanakan D32-150 pada arah X dan D32-140 arah Y.

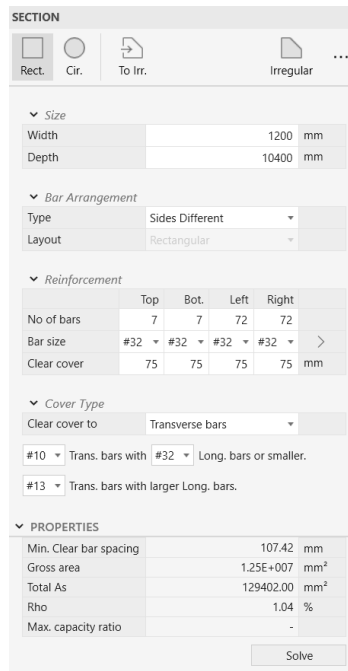
$$\begin{aligned} \text{Lebar abutmen} &= 1200 \text{ mm} \\ \text{Jumlah tulangan sepanjang arah X} &= (1200 - 75 - 75) / 150 = 7 \text{ buah} \\ \text{Panjang abutmen} &= 10400 \text{ mm} \\ \text{Jumlah tulangan sepanjang arah Y} &= (10400 - 75 + 75) / 140 = 74 - 2 = 72 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jumlah tulangan sepanjang arah Y dikurangi 2 karena masing-masing ujung tulangan sudah tercover oleh tulangan sepanjang arah x di spColumn.

Pilih **Section** → **Size** → **Width** (ketik **1200**) → **Depth** (ketik **10400**) → **Bar Arrangement** → **Type** (pilih **Sides Different**) → **Reinforcement** → **No of Bars** (ketik **7** pada **Top and Bot**, ketik **72** pada **Left and Right**) → **Bar size** (pilih **#32**) → **Clear Cover** (ketik **75**) → **Cover Type** → **Clear cover to** (pilih **Transverse bars**).



Gambar Icon Section



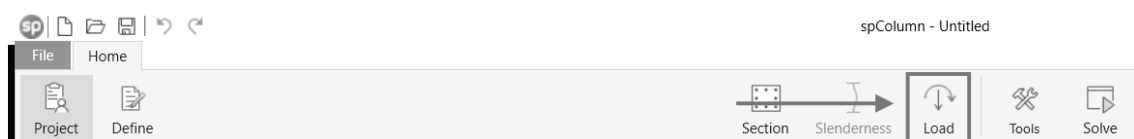
Gambar Dialog Box Section

Selanjutnya adalah menentukan kombinasi pembebanan yang diterima oleh *abutment*. Nilai pembebanan diambil dari hasil perhitungan manual pada kondisi *Ultimate Limit State (ULS)*.

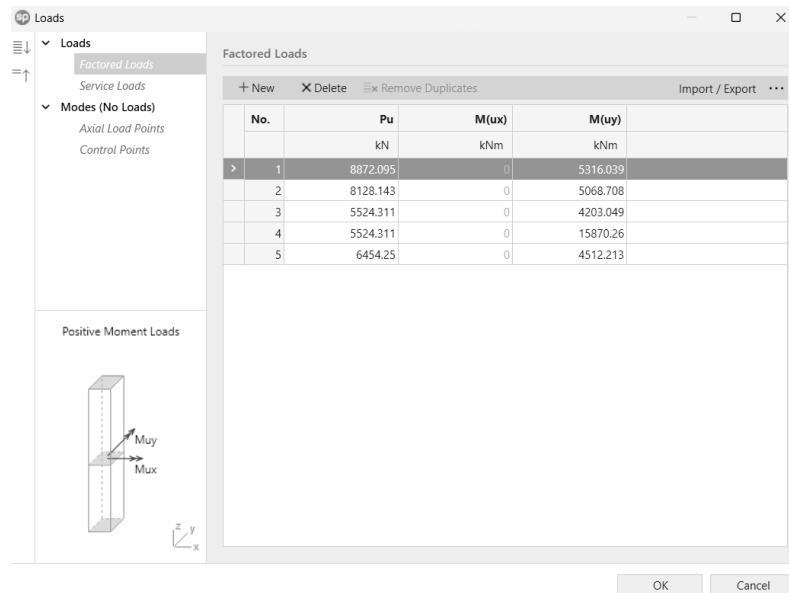
Tabel Gaya dalam abutment (ULS)

	V	H	M
Kuat I	8872.094	2032.511	5316.038
Kuat II	8128.142	1992.811	5068.707
Kuat III	5524.31	1853.861	4203.049
Ekstrem I	5524.31	4646.115	15870.26
Ekstrem II	6454.25	1903.486	4512.213

Pilih **Load** → **Loads** → **Factored Loads** → **New** → **Input** nilai pembebanan, **Pu** untuk beban vertikal, **M(uy)** untuk momen → **ulangi hingga semua pembebanan terinput** → **OK**.



Gambar Tab Icon Load

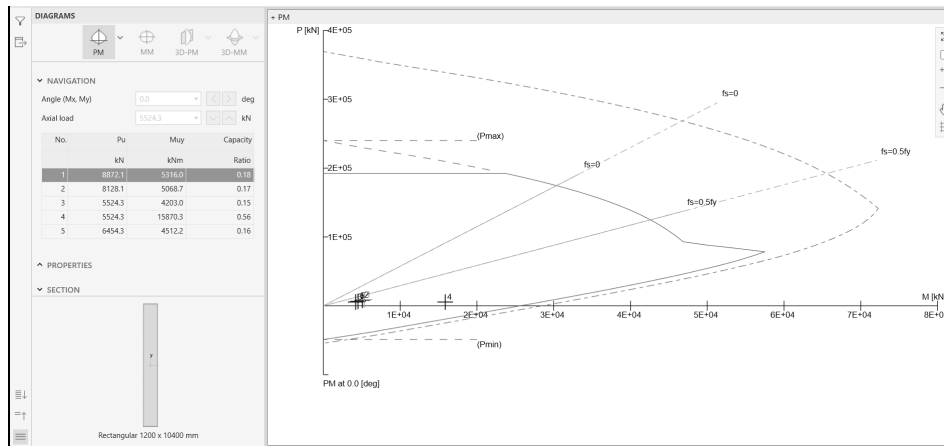


Gambar Dialog Box Loads

Tahap akhir adalah melakukan analisis untuk mengetahui apakah kapasitas nominal struktur lebih besar daripada gaya yang terjadi. Jika beban yang terjadi lebih besar (ditunjukkan dengan nilai *Capacity Ratio* > 1), maka tulangan harus ditambah, mutu beton dinaikkan, atau dimensi diperbesar. Pilih **Solve** → lalu **software** akan melakukan **running analysis** → **analysis selesai** → **PM** (pilih **+PM**, karena nilai beban yang diinput positif) → Cek apakah *Capacity Ratio* > 1 di masing-masing pembebanan → jika ada, maka desain tidak aman dan perlu dilakukan revisi kembali → jika tidak ada, maka desain yang telah dibuat aman dan sudah memenuhi standar yang berlaku.



Gambar Icon Solve



Gambar Diagram PM Hasil Analisis spColumn

Desain tulangan geser abutment

Arah longitudinal

Mutu beton

$f'_c = 35$ MPa

Mutu baja

$f_y = 420$ MPa

Lebar penampang

$b = 10400$ mm

Tebal penampang

$h = 1200$ mm

Tinggi efektif

$d_e = 1125$ mm

Faktor reduksi geser

$\phi_v = 0.75$

Gaya geser terfaktor

$V_u = 4646.1155$ kN

Gaya geser nominal

$V_n = V_u / \phi_v = 6194.8206$ kN

Tulangan transversal yang ditinjau per 1 m

$s = 1000$ mm

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton

$V_c = 1/6 f'_c \cdot 0.5 b d_e = 11536.3556$ kN

Kuat geser beton

$0.5 \phi_v V_c = 4326.1333$ kN

Kuat geser beton terfaktor

Pakai Perkuatan Geser Perlu

Cek

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan

$V_s = V_n - V_c = -5341534.97$ N

Luas tulangan

$A_v = (V_s s) / (f_y d_e) = -11304.8359$ mm²

Luas tulangan minimum

$A_{vmin} = 0.083 f'_c \cdot 0.5 ((b s) / f_y) = 12158.9525$ mm²

Luas tulangan yang diambil

$A_{vreq} = 12158.9525$ mm²

Diameter tulangan

$D_s = 19$ mm

Jarak antar tulangan vertikal

$s_v = 300$ mm

Jarak antar tulangan horizontal

$s_h = 600$ mm

Luas tulangan yang digunakan

$A_{vused} = 0.25 \pi D_s^2 (b / s_h) (s / s_v) = 16381.6604$ mm²

Cek

$A_{vused} > A_{vreq}$ **OK**

Arah transversal

Gaya gempa akibat berat struktur bawah
 Berat struktur atas
 Koefisien gempa elastik
 Faktor modifikasi respon
 Gaya gempa akibat berat struktur atas
 Total gaya gempa
 Gaya geser terfaktor
 Faktor reduksi geser
 Gaya geser nominal
 Tulangan transversal yang ditinjau per 1 m

$$H_{tot} = 0,5 A_s W_b = 635.3110 \text{ kN}$$

$$W_u = 4101.6420 \text{ kN}$$

$$C_{smA1} = 0.6498$$

$$R = 1.5$$

$$H_d = (C_{smA1} * W_u) / R = 1776.7766 \text{ kN}$$

$$H_{eq} = H_{tot} + H_d = 2412.0876 \text{ kN}$$

$$V_u = 2412.0876$$

$$\phi_v = 0.75$$

$$V_n = V_u / \phi_v = 3216.1168 \text{ kN}$$

$$s = 1000 \text{ mm}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton
 Kuat geser beton
 Kuat geser beton terfaktor
 Cek

$$V_c = 1/6 f_c^{0.5} b d_e = 11536.3556$$

$$0.5 \phi_v V_c = 4326.1333$$

Pakai Perkuatan Geser Minimum

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan
 Luas tulangan
 Luas tulangan minimum
 Luas tulangan yang diambil
 Diameter tulangan
 Jarak antar tulangan
 Luas tulangan terpakai
 Cek

$$V_s = V_n - V_c = -11535605.6 \text{ N}$$

$$A_v = (V_s s) / (f_y d_e) = -24413.9801 \text{ mm}^2$$

$$A_{vmin} = 0.083 f_c^{0.5} (b s) / f_y = 12158.9525 \text{ mm}^2$$

$$A_{req} = 12158.9525 \text{ mm}^2$$

$$D_s = 16 \text{ mm}$$

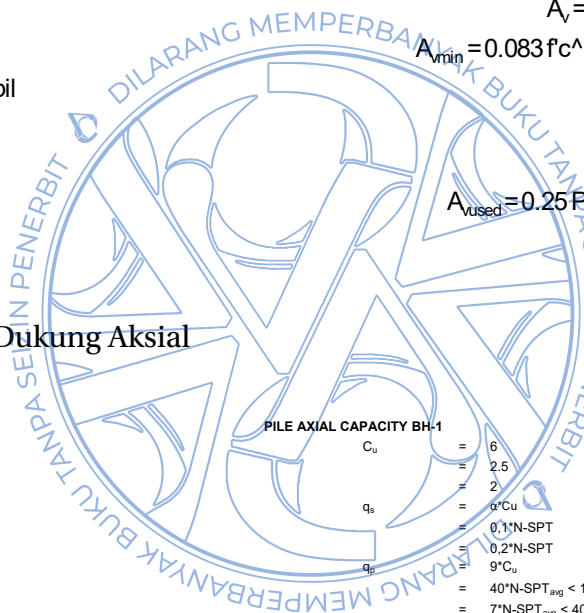
$$s_h = 150 \text{ mm}$$

$$A_{used} = 0.25 \pi D_s^2 (b / s_h) = 13940.2938 \text{ mm}^2$$

$$A_{used} > A_{req} \text{ OK}$$

Perhitungan Daya Dukung Aksial

Shape = Circular
 Dimension = 0.4 m
 Perimeter = 1.26 m
 10D = 4 m
 4D = 1.6 m
 Area = 0.13 m²
 Type = Driven
 Interval = 2 m



N_{spt} - (kPa) for CH or CL
 N_{spt} - (kPa) for SC, ML, or MH
 N_{spt} - (kPa) for Clayshale (only for bore pile)
 for clay
 $0.1 * N_{SPT}$ for sand with small displacement (t/m^2)
 $0.2 * N_{SPT}$ for sand with large displacement and bore pile (t/m^2)
 for clay
 $9 * C_u$
 $40 * N_{SPT_{avg}} < 1600$ for sand - driven pile (t/m^2)
 $7 * N_{SPT_{avg}} < 400$ for sand - bore pile (t/m^2)

Length (m)	Soil Type		Soil Properties				Compression Capacity						Pullout Capacity			
	USCS	Classification	Layer	N_{SPT}	C_u	α	Skin Friction		$N_{SPT_{avg}}$	Tip Resistance	Q_u	Q_{all}	Q_{all}	$0.7 * Q_s$	W_p	$Q_{pullout}$
					kPa		Local	Cumulative			(kN)	(ton)	(kN)	(kN)	(kN)	(ton)
0	CL	Clay	CL	0	0	1.00	0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
-2	CL	Clay	CL	5	30	0.94	71	71.2	2.3	33.9	105.1	42.1	4	49.8	6.0	6.0
-4	CL	Clay	CL	2	12	1.00	30	101.4	2.5	13.6	114.9	46.0	5	71.0	6.0	12.1
-6	CL	Clay	CL	3	18	1.00	45	146.6	3.5	20.4	167.0	66.8	7	102.6	6.0	18.1
-8	CL	Clay	CL	4	24	1.00	60	206.9	7.3	27.1	234.1	93.6	9	144.8	6.0	24.1
-10	SP	Sand	SP	20	0	1.00	101	307.5	11.3	565.5	872.9	349.2	35	215.2	6.0	30.2
-12	SP	Sand	SP	18	0	1.00	90	397.9	11.8	590.6	988.6	395.4	40	278.6	6.0	36.2
-14	CL	Clay	CL	5	30	0.94	71	469.1	13.0	33.9	503.1	201.2	20	328.4	6.0	42.2
-16	CL	Clay	CL	9	54	0.68	92	561.1	20.5	61.1	622.2	248.9	25	392.8	6.0	48.3
-18	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	812.5	28.5	1432.6	2245.0	898.0	90	568.7	6.0	54.3
-20	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	1063.8	36.3	1826.3	2890.1	1156.0	116	744.6	6.0	60.3
-22	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	1315.1	50.0	2513.3	3828.4	1531.4	153	920.6	6.0	66.4

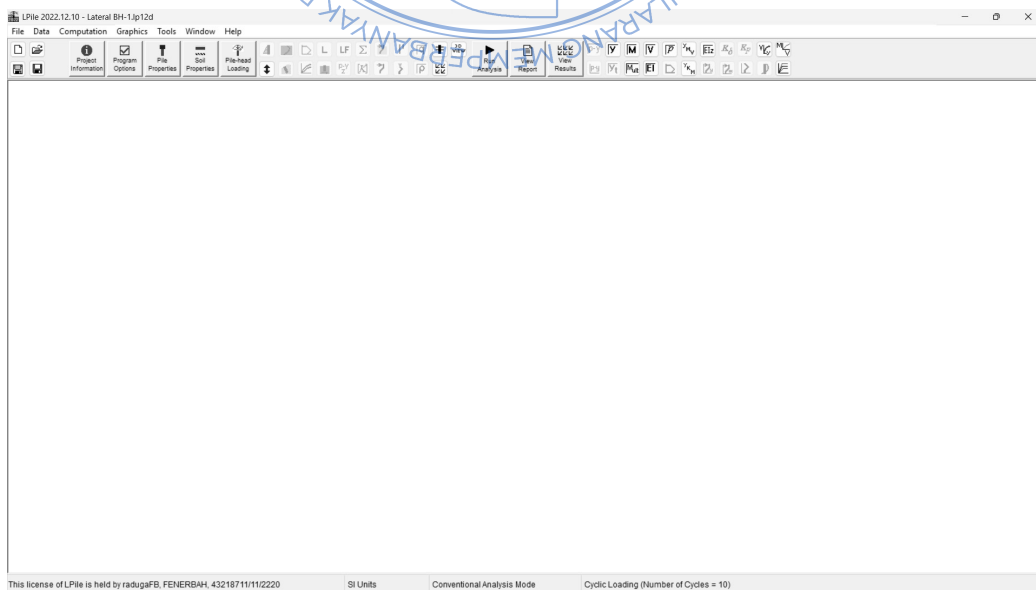
PILE AXIAL CAPACITY BH-2

Shape =	Circular	C_u =	6	N_{spt} - (kPa) for CH or CL
Dimension =	0.4 m		2.5	N_{spt} - (kPa) for SC, ML, or MH
Perimeter =	1.26 m		2	N_{spt} - (kPa) for Clayshale (only for bore pile)
10D =	4 m	q_s =	$\alpha \cdot C_u$	for clay
4D =	1.6 m		$0.1 \cdot N\text{-SPT}$	for sand with small displacement (t/m^2)
Area =	0.13 m ²		$0.2 \cdot N\text{-SPT}$	for sand with large displacement and bore pile (t/m^2)
Type =	Driven	q_p =	$9 \cdot C_u$	for clay
Interval =	2 m		$40 \cdot N\text{-SPT}_{avg} < 1600$	for sand - driven pile (t/m^2)
			$7 \cdot N\text{-SPT}_{avg} < 400$	for sand - bore pile (t/m^2)

Length (m)	Soil Type		Soil Properties			Compression Capacity							Pullout Capacity				
	USCS	Classification	Layer	N_{SPT}	C_u	α	Skin Friction		N_{SPTavg}	Tip Resistance	Q_u	Q_{all}	Q_{all}	$0.7 \cdot Q_s$	W_p		$Q_{pullout}$
							Local	Cumulative							(kN)	(ton)	
0	CL	Clay	CL	0	0	1.00	0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	0
-2	CL	Clay	CL	5	30	0.94	71	71.2	2.7	33.9	105.1	42.1	4	49.8	6.0	6.0	2
-4	CL	Clay	CL	3	18	1.00	45	116.4	5.3	20.4	136.8	54.7	5	81.5	6.0	12.1	4
-6	CL	Clay	CL	13	78	0.50	98	214.5	10.5	88.2	302.7	121.1	12	150.1	6.0	18.1	7
-8	SP	Sand	SP	21	0	1.00	106	320.0	21.8	1093.3	1413.3	565.3	57	224.0	6.0	24.1	10
-10	SP	Sand	SP	50	0	1.00	251	571.4	33.5	1683.9	2255.2	902.1	90	399.9	6.0	30.2	17
-12	SP	Sand	SP	50	0	1.00	251	822.7	42.8	2148.8	2971.5	1188.6	119	575.9	6.0	36.2	24
-14	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	1074.0	50.0	2513.3	3587.3	1434.9	143	751.8	6.0	42.2	32
-16	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	1325.3	50.0	2513.3	3838.6	1535.4	154	927.7	6.0	48.3	39
-18	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	1576.7	50.0	2513.3	4089.9	1636.0	164	1103.7	6.0	54.3	46
-20	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	1828.0	50.0	2513.3	4341.3	1736.5	174	1279.6	6.0	60.3	53
-22	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	2079.3	50.0	2513.3	4592.6	1837.0	184	1455.5	6.0	66.4	61
-24	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	2330.6	50.0	2513.3	4843.9	1937.6	194	1631.5	6.0	72.4	68
-26	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	2582.0	50.0	2513.3	5095.2	2038.1	204	1807.4	6.0	78.4	75
-28	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	2833.3	50.0	2513.3	5346.6	2138.6	214	1983.3	6.0	84.4	82
-30	GP	Sand	GP	50	0	1.00	251	3084.6	50.0	2513.3	5597.9	2239.2	224	2159.2	6.0	90.5	90

Perhitungan Daya Dukung Lateral dengan LPILE

Perhitungan daya dukung lateral dilakukan dengan menggunakan program bantu LPILE. LPILE adalah program khusus yang dapat menganalisis tiang pancang atau lubang bor yang dikenai beban lateral. Program ini menghitung defleksi, gaya geser, momen lentur, dan respons tanah berdasarkan kedalaman pada lapisan tanah. Program ini dilengkapi dengan fitur grafis untuk penyajian hasil dan fitur tambahan untuk analisis khusus. Lapisan tanah dan batuan dimodelkan menggunakan kurva transfer beban lateral (kurva p-y) yang dihasilkan secara internal oleh program. Sebagai alternatif, pengguna dapat memasukkan nilai kurva p-y untuk lapisan tanah tertentu. Program ini juga mengandung prosedur khusus untuk menghitung kurva p-y pada profil tanah berlapis.



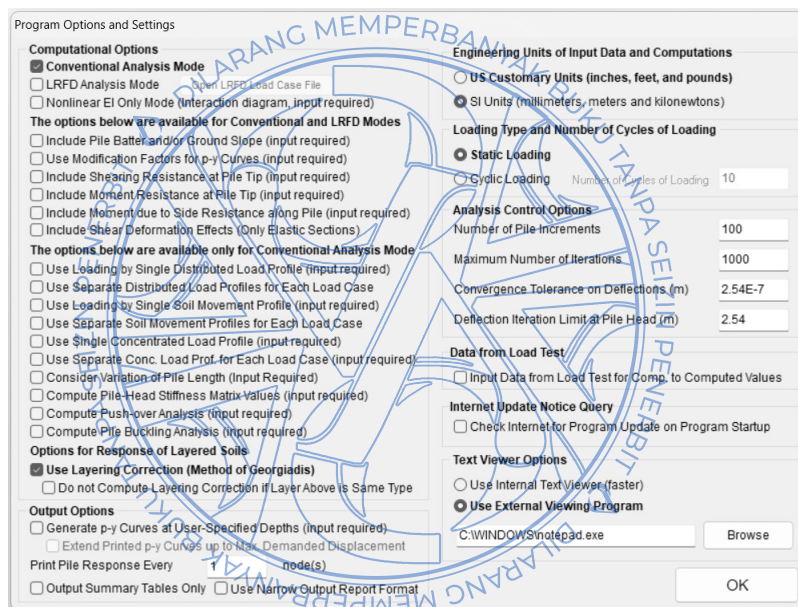
Gambar Layar Kerja LPILE

Tahap awal dalam menggunakan LPILE adalah menentukan pengaturan analisis yang akan dilakukan. Pilih **Program Options** → **Computational Analysis Mode** (checklist *Conventional Analysis mode*) → **Options for Response of Layered Soils** (checklist *Use Layering Correction*) → **Engineering Units** (pilih *SI Units*) → **Loading Type** (*Static Loading*, *Number of Cyclic Loading* diisi 10) → OK.

Saat akan *running analysis* untuk terhadap kondisi layan/*service*, pilih **Loading Type** → **Static Loading** → OK. Saat akan *running analysis* untuk cek terhadap kondisi gempa, pilih **Loading Type** → **Cyclic Loading** → OK.



Gambar Icon Program Options

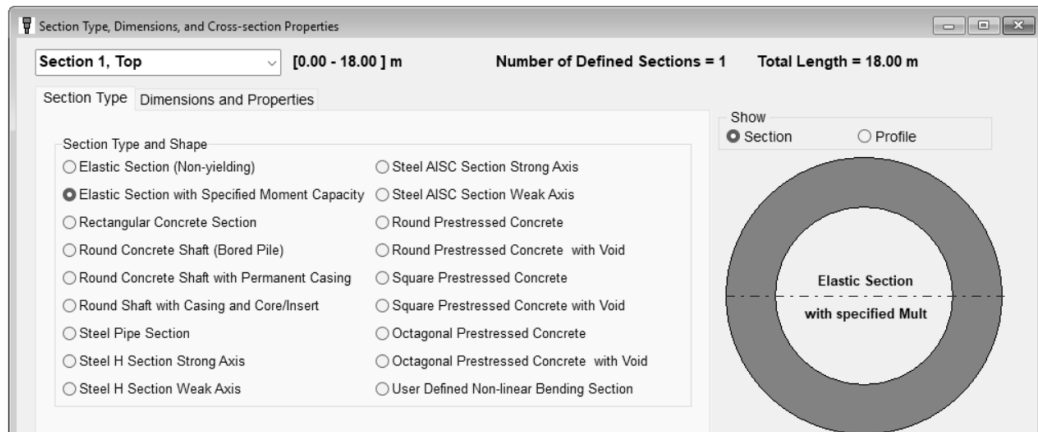


Gambar Dialog Box Program Options

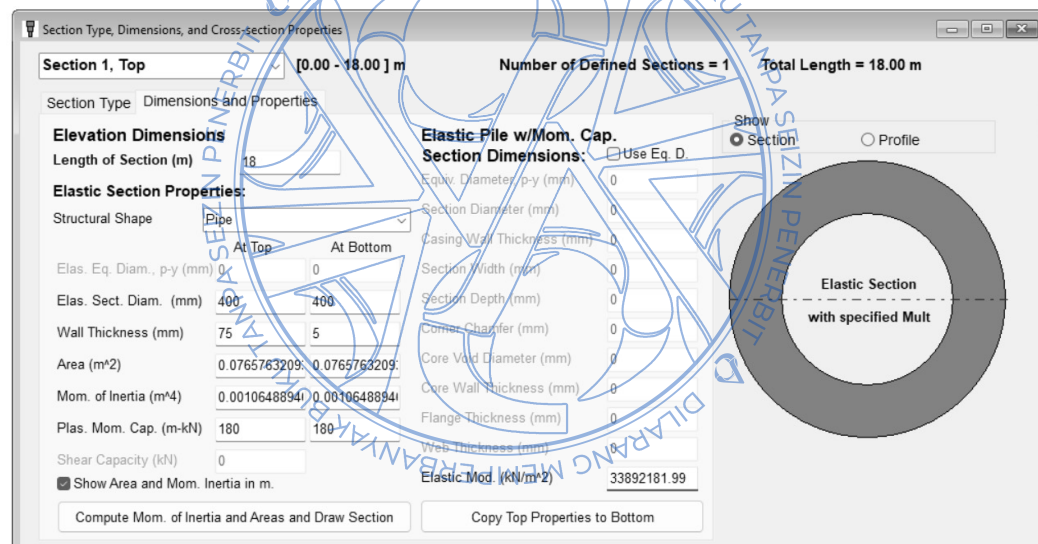
Tahap selanjutnya adalah menentukan jenis dan parameter tiang pancang yang digunakan. Pilih **Pile Properties** → **Section Type** (pilih *Elastic Section with Specified Moment Capacity*) → **Dimensions and Properties** → input nilai di **Length of Section** (kedalaman tiang) → **Structural Shape** (pilih *Pipe*) → input nilai **Elast. Sect. Diam.** dan **Wall Thickness** → **Compute Mom. Of Inertia and Area** → input momen tiang di **Plas. Mom. Cap** → Input nilai **Elastic Mod.** tiang → OK.



Gambar Icon Pile Properties



Gambar Dialog Box Section Type



Gambar Dialog Box Dimensions and Properties

Tahap selanjutnya adalah memodelkan lapisan tanah. Parameter tanah yang digunakan diambil dari hasil uji N-SPT, dengan stratifikasi lapisan tanah sebagai berikut.

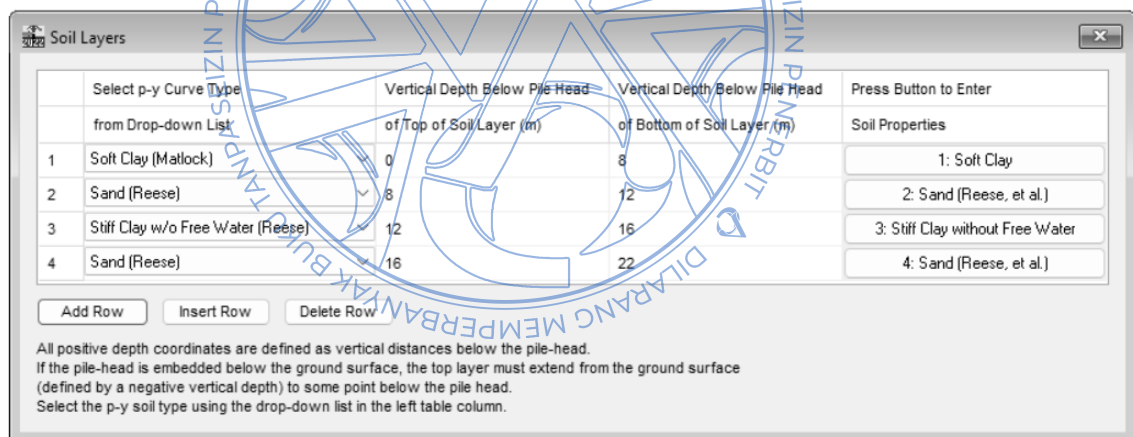
Tabel Parameter lapisan tanah

No	Kedalaman (m)	Jenis tanah	N-SPT	C_u (kPa)	Φ (°)	g' (kN/m ³)
1	0-8	Lempung kelanauan - soft	3	18	-	16.0
2	8-12	Pasir - medium	19	-	35	19.0
3	12-16	Lempung kelanauan - stiff	7	42	-	17.0
4	16-22	Gravel - hard	50	-	44	19.8

Pilih **Soil Properties** → **Add Row** → Input jenis tanah (misal **Soft Clay**) → Input kedalaman lapisan → input parameter lapisan tanah di **Soil Properties** → ulangi hingga semua lapisan ter input → **OK**.



Gambar Icon Soil Properties



Gambar Dialog Box Soil Layers

Tahap selanjutnya adalah memodelkan analisis tiang. LPILE bisa menganalisis tiang berdasarkan gaya geser yang diberikan, momen yang diberikan, atau defleksi tiang yang direncanakan. Berdasarkan Pasal 5.1.6.4. mengenai Defleksi Izin Struktur Fondasi pada Pembahasan Penyelenggaraan Keamanan Jembatan Khusus (KKJTJ), defleksi lateral tiang (fondasi) pada permukaan tanah dibatasi dengan ketentuan sebagai berikut.

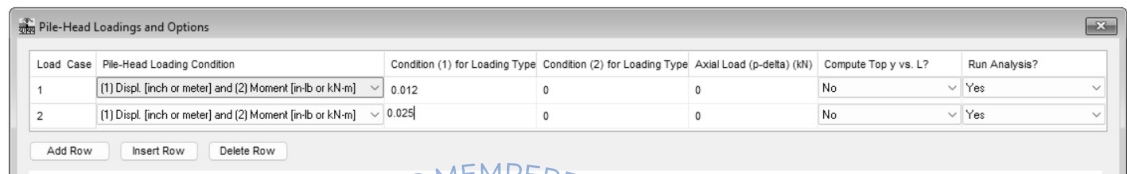
Kondisi layan = 12 mm

Kondisi gempa = 25 mm

Analisis akan dianalisis berdasarkan defleksi tiang yang terjadi, sehingga akan output yang didapatkan berupa gaya geser (*shear force*). Tiang dimodelkan sebagai *free head*. Pilih **Pile-head Loading** → **Add Row** → pilih (1) **Displ. And Moment** → pada **Load Case 1**, input nilai **0.012** → **Add Row** → pilih (1) **Displ. And Moment** → pada **Load Case 2**, input nilai **0.025** → **OK**.



Gambar *Icon Pile-Head Loading*



Gambar *Dialog Box Pile-Head Loadings and Options*

Tahap akhir adalah melakukan analisis tiang yang sudah dimodelkan dengan klik *Run Analysis*. Untuk melihat hasil analisis secara detail, pilih *View Report*. Untuk melihat visualisasi gaya yang dialami dan defleksi tiang, pilih *icon* atau *View Results*.



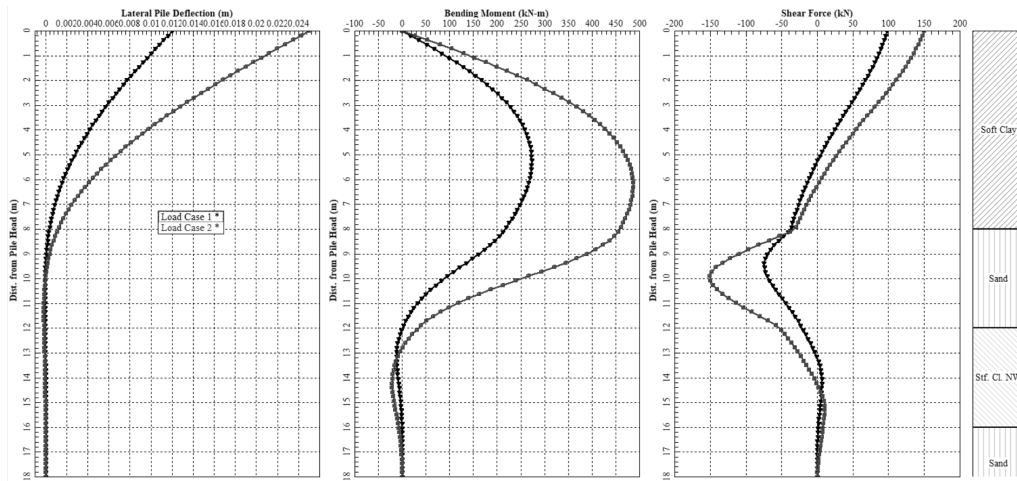
Gambar *Icon Run Analysis*



Gambar *Icon Untuk Menampilkan Grafik Hasil Analisis*

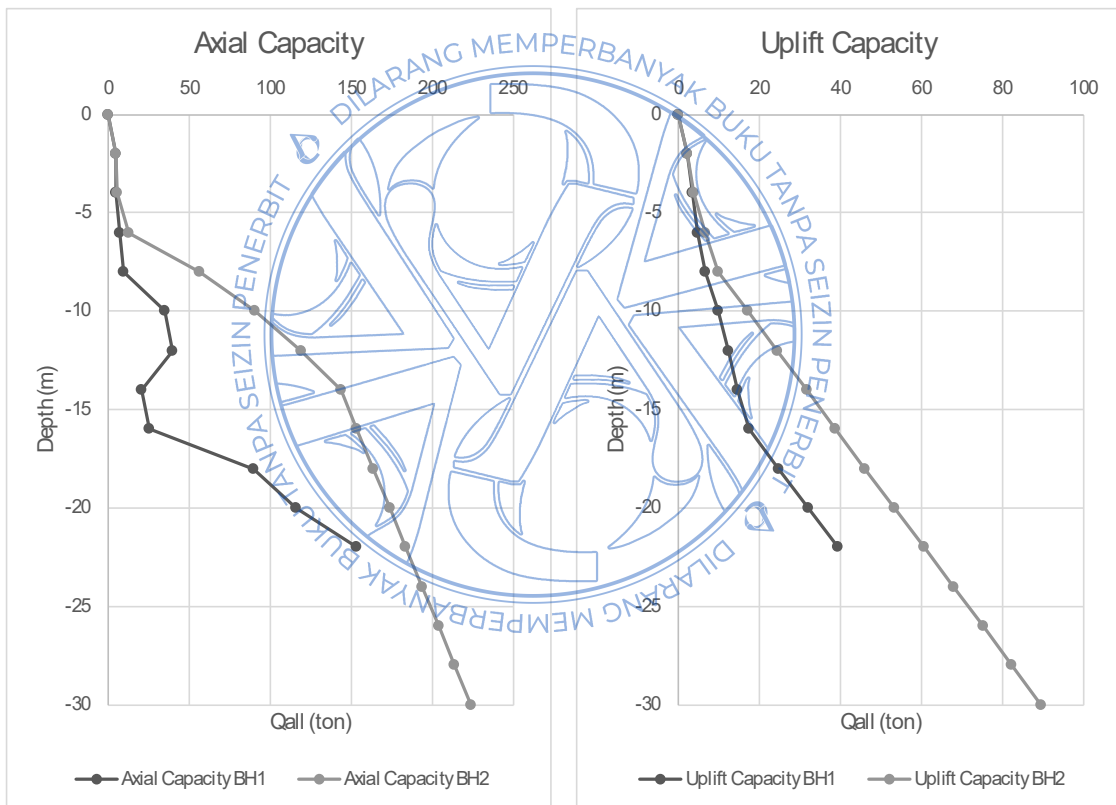


Gambar *Icon View Report*



Gambar Hasil Analisis LPILE

REKAPITULASI PERHITUNGAN TIANG PANCANG



Foundation diameter	d	=	40 cm
		=	0.4 m
Distance between foundation	s	=	120 cm
Arc tan (d/s)	Φ	=	18.4349
Number of foundations in each	n1	=	5
Number of foundations in each	n2	=	9
Group efficiency	Eff	=	0.654

Converse-Labarre equation

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{90n_1n_2} \right] \theta$$

where $\theta(\text{deg}) = \tan^{-1}(D/d)$



Cek Kondisi Layan P45 BH-1

Checking Compressive and Tensile Reactions on Foundation Piles

Pile Diameter	=	0.4	m
Distance between Pile	=	1.2	m
Load Comb.	=	Daya Layan II	
P	=	1197	ton
W_{pc}	=	246	ton
V	=	$P + W_{pc}$	
	=	1443.1	ton
M_x	=	0	tm
M_y	=	1183	tm
Efficiency of foundation piles	=	0.654	
Compressive bearing capacity	=	90	ton
Pullout capacity	=	25	ton
Lateral capacity of pile	=	9.7	ton

No	x	x ²	y	y ²	V/n	$M_x \cdot y / \Sigma y^2$	$M_y \cdot x / \Sigma x^2$	Q _i	Eff*Q _{all}	Q _{all} > Q _i	Eff*Q _{uplift} t	Q _{uplift} > Q _i	H/n	H _{all}	H _{all} > H/n
1	0	0.0	0.0	0.0	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
2	0	0.0	1.2	1.4	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
3	0	0.0	2.4	5.8	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
4	0	0.0	3.6	13.0	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
5	0	0.0	4.8	23.0	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
6	0	0.0	-1.2	1.4	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
7	0	0.0	-2.4	5.8	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
8	0	0.0	-3.6	13.0	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
9	0	0.0	-4.8	23.0	32.1	0.0	0.0	32.1	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
10	1.35	1.8	0.0	0.0	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
11	1.35	1.8	1.2	1.4	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
12	1.35	1.8	2.4	5.8	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
13	1.35	1.8	3.6	13.0	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
14	1.35	1.8	4.8	23.0	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
15	1.35	1.8	-1.2	1.4	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
16	1.35	1.8	-2.4	5.8	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
17	1.35	1.8	-3.6	13.0	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
18	1.35	1.8	-4.8	23.0	32.1	0.0	9.7	41.8	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
19	2.7	7.3	0.0	0.0	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
20	2.7	7.3	1.2	1.4	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
21	2.7	7.3	2.4	5.8	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
22	2.7	7.3	3.6	13.0	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
23	2.7	7.3	4.8	23.0	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
24	2.7	7.3	-1.2	1.4	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
25	2.7	7.3	-2.4	5.8	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
26	2.7	7.3	-3.6	13.0	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
27	2.7	7.3	-4.8	23.0	32.1	0.0	19.5	51.5	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
28	-1.35	1.8	0.0	0.0	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
29	-1.35	1.8	1.2	1.4	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
30	-1.35	1.8	2.4	5.8	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
31	-1.35	1.8	3.6	13.0	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
32	-1.35	1.8	4.8	23.0	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
33	-1.35	1.8	-1.2	1.4	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
34	-1.35	1.8	-2.4	5.8	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
35	-1.35	1.8	-3.6	13.0	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
36	-1.35	1.8	-4.8	23.0	32.1	0.0	-9.7	22.3	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
37	-2.7	7.3	0.0	0.0	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
38	-2.7	7.3	1.2	1.4	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
39	-2.7	7.3	2.4	5.8	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
40	-2.7	7.3	3.6	13.0	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
41	-2.7	7.3	4.8	23.0	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
42	-2.7	7.3	-1.2	1.4	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
43	-2.7	7.3	-2.4	5.8	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
44	-2.7	7.3	-3.6	13.0	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
45	-2.7	7.3	-4.8	23.0	32.1	0.0	-19.5	12.6	58.7	OK	16.2	-	6.3	9.7	OK
Total		164.0		432.0											

Cek Kondisi Gempa P45 BH-1

Checking Compressive and Tensile Reactions on Foundation Piles Dynamic Condition

Pile Diameter	=	0.4	m
Distance between Pile	=	1.2	m
Load Comb.	=	Service Gempa	
P	=	1141	ton
W_{pc}	=	246	ton
V	=	$P + W_{pc}$	
	=	1387.3	ton
M_x	=	0	tm
M_y	=	2518	tm
Efficiency of foundation piles	=	0.654	
Compressive bearing capacity*1,56	=	140.089	ton
Tensile bearing capacity*1,56	=	38.5369	ton
Lateral capacity of pile	=	14.8	ton

No	x	x ²	y	y ²	V/n	$M_x^*/\Sigma y$ ^2	$M_y^*/\Sigma x$ ^2	Qi	Eff*Q _{all}	Q _{all} > Qi	Eff*Q _{uplift} t	Q _{uplift} > Qi	H/n	H _{all}	H _{all} > H/n
1	0	0.0	0.0	0.0	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
2	0	0.0	1.2	1.4	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
3	0	0.0	2.4	5.8	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
4	0	0.0	3.6	13.0	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
5	0	0.0	4.8	23.0	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
6	0	0.0	-1.2	1.4	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
7	0	0.0	-2.4	5.8	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
8	0	0.0	-3.6	13.0	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
9	0	0.0	-4.8	23.0	30.8	0.0	0.0	30.8	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
10	1.2	1.4	0.0	0.0	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
11	1.2	1.4	1.2	1.4	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
12	1.2	1.4	2.4	5.8	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
13	1.2	1.4	3.6	13.0	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
14	1.2	1.4	4.8	23.0	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
15	1.2	1.4	-1.2	1.4	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
16	1.2	1.4	-2.4	5.8	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
17	1.2	1.4	-3.6	13.0	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
18	1.2	1.4	-4.8	23.0	30.8	0.0	23.3	54.1	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
19	2.4	5.8	0.0	0.0	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
20	2.4	5.8	1.2	1.4	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
21	2.4	5.8	2.4	5.8	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
22	2.4	5.8	3.6	13.0	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
23	2.4	5.8	4.8	23.0	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
24	2.4	5.8	-1.2	1.4	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
25	2.4	5.8	-2.4	5.8	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
26	2.4	5.8	-3.6	13.0	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
27	2.4	5.8	-4.8	23.0	30.8	0.0	46.6	77.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
28	-1.2	1.4	0.0	0.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
29	-1.2	1.4	1.2	1.4	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
30	-1.2	1.4	2.4	5.8	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
31	-1.2	1.4	3.6	13.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
32	-1.2	1.4	4.8	23.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
33	-1.2	1.4	-1.2	1.4	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
34	-1.2	1.4	-2.4	5.8	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
35	-1.2	1.4	-3.6	13.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
36	-1.2	1.4	-4.8	23.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	91.6	OK	25.2	-	12.5	14.8	OK
37	-2.4	5.8	0.0	0.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
38	-2.4	5.8	1.2	1.4	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
39	-2.4	5.8	2.4	5.8	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
40	-2.4	5.8	3.6	13.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
41	-2.4	5.8	4.8	23.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
42	-2.4	5.8	-1.2	1.4	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
43	-2.4	5.8	-2.4	5.8	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
44	-2.4	5.8	-3.6	13.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
45	-2.4	5.8	-4.8	23.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	91.6	-	25.2	OK	12.5	14.8	OK
Total		129.6		432.0											

Cek Kondisi Layan P45 BH-2

Checking Compressive and Tensile Reactions on Foundation Piles

Pile Diameter	=	0.4	m
Distance between Pile	=	1.2	m
Load Comb.	=	Daya Layan II	
P	=	1197	ton
W_{pc}	=	246	ton
V	=	$P + W_{pc}$	
	=	1443.1	ton
M_x	=	0	tm
M_y	=	1183	tm
Efficiency of foundation piles	=	0.654	
Compressive bearing capacity	=	115	ton
Tensile bearing capacity	=	22	ton
Lateral capacity of pile	=	9.7	ton

No	x	x ²	y	y ²	V/n	$M_x \cdot y / \Sigma y^2$	$M_y \cdot x / \Sigma x^2$	Q _i	Eff*Q _{all}	Q _{all} > Q _i	Eff*Q _{uplift} t	Q _{uplift} > Q _i	H/n	H _{all}	H _{all} > H/n
1	0	0.0	0.0	0.0	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
2	0	0.0	1.2	1.4	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
3	0	0.0	2.4	5.8	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
4	0	0.0	3.6	13.0	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
5	0	0.0	4.8	23.0	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
6	0	0.0	-1.2	1.4	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
7	0	0.0	-2.4	5.8	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
8	0	0.0	-3.6	13.0	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
9	0	0.0	-4.8	23.0	32.1	0.0	0.0	32.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
10	1.2	1.4	0.0	0.0	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
11	1.2	1.4	1.2	1.4	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
12	1.2	1.4	2.4	5.8	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
13	1.2	1.4	3.6	13.0	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
14	1.2	1.4	4.8	23.0	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
15	1.2	1.4	-1.2	1.4	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
16	1.2	1.4	-2.4	5.8	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
17	1.2	1.4	-3.6	13.0	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
18	1.2	1.4	-4.8	23.0	32.1	0.0	11.0	43.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
19	2.4	5.8	0.0	0.0	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
20	2.4	5.8	1.2	1.4	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
21	2.4	5.8	2.4	5.8	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
22	2.4	5.8	3.6	13.0	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
23	2.4	5.8	4.8	23.0	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
24	2.4	5.8	-1.2	1.4	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
25	2.4	5.8	-2.4	5.8	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
26	2.4	5.8	-3.6	13.0	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
27	2.4	5.8	-4.8	23.0	32.1	0.0	21.9	54.0	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
28	-1.2	1.4	0.0	0.0	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
29	-1.2	1.4	1.2	1.4	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
30	-1.2	1.4	2.4	5.8	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
31	-1.2	1.4	3.6	13.0	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
32	-1.2	1.4	4.8	23.0	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
33	-1.2	1.4	-1.2	1.4	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
34	-1.2	1.4	-2.4	5.8	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
35	-1.2	1.4	-3.6	13.0	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
36	-1.2	1.4	-4.8	23.0	32.1	0.0	-11.0	21.1	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
37	-2.4	5.8	0.0	0.0	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
38	-2.4	5.8	1.2	1.4	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
39	-2.4	5.8	2.4	5.8	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
40	-2.4	5.8	3.6	13.0	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
41	-2.4	5.8	4.8	23.0	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
42	-2.4	5.8	-1.2	1.4	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
43	-2.4	5.8	-2.4	5.8	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
44	-2.4	5.8	-3.6	13.0	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
45	-2.4	5.8	-4.8	23.0	32.1	0.0	-21.9	10.2	75.2	OK	14.4	-	6.3	9.7	OK
Total		129.6		432.0											

Cek Kondisi Gempa P45 BH-2

Checking Compressive and Tensile Reactions on Foundation Piles Dynamic Condition

Pile Diameter	=	0.4	m
Distance between Pile	=	1.2	m
Load Comb.	=	Service Gempa	
P	=	1141	ton
W_{pc}	=	246	ton
V	=	$P + W_{pc}$	
	=	1387.3	ton
M_x	=	0	tm
M_y	=	2518	tm
Efficiency of foundation piles	=	0.654	
Compressive bearing capacity*1,56	=	179.4	ton
Tensile bearing capacity*1,56	=	34.32	ton
Lateral capacity of pile	=	14.8	ton

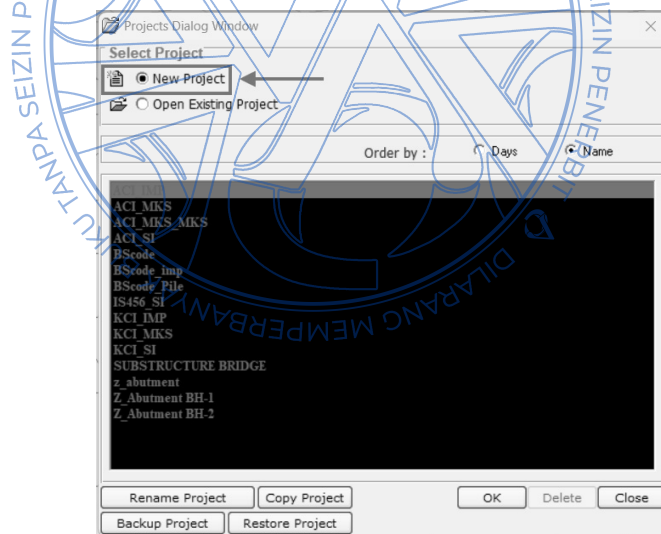
No	x	x ²	y	y ²	V/n	$M_x \cdot y / \Sigma y^2$	$M_y \cdot x / \Sigma x^2$	Q_i	Eff* Q_{all}	$Q_{all} > Q_i$	Eff* Q_{uplift}	$Q_{uplift} > Q_i$	H/n	H _{all}	H _{all} > H/n}
1	0	0.0	0.0	0.0	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
2	0	0.0	1.2	1.4	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
3	0	0.0	2.4	5.8	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
4	0	0.0	3.6	13.0	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
5	0	0.0	4.8	23.0	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
6	0	0.0	-1.2	1.4	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
7	0	0.0	-2.4	5.8	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
8	0	0.0	-3.6	13.0	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
9	0	0.0	-4.8	23.0	30.8	0.0	0.0	30.8	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
10	1.2	1.4	0.0	0.0	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
11	1.2	1.4	1.2	1.4	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
12	1.2	1.4	2.4	5.8	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
13	1.2	1.4	3.6	13.0	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
14	1.2	1.4	4.8	23.0	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
15	1.2	1.4	-1.2	1.4	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
16	1.2	1.4	-2.4	5.8	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
17	1.2	1.4	-3.6	13.0	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
18	1.2	1.4	-4.8	23.0	30.8	0.0	23.3	54.1	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
19	2.4	5.8	0.0	0.0	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
20	2.4	5.8	1.2	1.4	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
21	2.4	5.8	2.4	5.8	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
22	2.4	5.8	3.6	13.0	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
23	2.4	5.8	4.8	23.0	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
24	2.4	5.8	-1.2	1.4	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
25	2.4	5.8	-2.4	5.8	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
26	2.4	5.8	-3.6	13.0	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
27	2.4	5.8	-4.8	23.0	30.8	0.0	46.6	77.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
28	-1.2	1.4	0.0	0.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
29	-1.2	1.4	1.2	1.4	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
30	-1.2	1.4	2.4	5.8	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
31	-1.2	1.4	3.6	13.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
32	-1.2	1.4	4.8	23.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
33	-1.2	1.4	-1.2	1.4	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
34	-1.2	1.4	-2.4	5.8	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
35	-1.2	1.4	-3.6	13.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
36	-1.2	1.4	-4.8	23.0	30.8	0.0	-23.3	7.5	117.3	OK	22.4	-	12.5	14.8	OK
37	-2.4	5.8	0.0	0.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
38	-2.4	5.8	1.2	1.4	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
39	-2.4	5.8	2.4	5.8	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
40	-2.4	5.8	3.6	13.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
41	-2.4	5.8	4.8	23.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
42	-2.4	5.8	-1.2	1.4	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
43	-2.4	5.8	-2.4	5.8	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
44	-2.4	5.8	-3.6	13.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
45	-2.4	5.8	-4.8	23.0	30.8	0.0	-46.6	-15.8	117.3	-	22.4	OK	12.5	14.8	OK
Total		129.6		432.0											

Pemodelan *pile cap* di AFES 3.0

Pada *pile cap* jembatan, alur gaya dari struktur atas menuju kelompok tiang membentuk sistem tekan-tarik yang bersifat tiga dimensi dan sangat dipengaruhi oleh posisi tiang, eksentrisitas beban, serta kekakuan relatif elemen. Dalam konteks tersebut, AFES digunakan sebagai alat bantu untuk memodelkan dan mengevaluasi perilaku *pile cap* secara lebih mendekati kondisi aktual, terutama dalam mengidentifikasi respons geser satu arah, geser dua arah, serta distribusi reaksi tiang yang kritis terhadap keselamatan struktur.

Langkah pertama adalah menentukan informasi umum proyek, yang berisi data umum, data klien, dan data pekerjaan terkait proyek. Data umum mencakup nomor proyek, nama proyek, nama klien, nama lokasi, dan lainnya. Data klien mencakup nama manajer klien, alamat email, nomor telepon, dan faks, serta alamat. Data pekerjaan mencakup insinyur yang ditugaskan, supervisor, durasi proyek, dan tarif proyek yang harus digunakan program untuk proyek spesifik tersebut. Nomor Proyek dan Nama Struktur yang dimasukkan dalam Informasi Proyek akan ditampilkan sebagai *header menu*.

New Project* → **OK** → *Input Project Information* → **OK*



Gambar Tampilan awal AFES

Input of New Project Information

Review / Check

General Information

General Data

Project No. 1 - Substructure Bridge

Project Bridge

Client PT X

Site NA

Client Data

Manager

Telephone

Address

E-Mail

Fax

Job Data

Engineer ASK

Supervisor

Duration

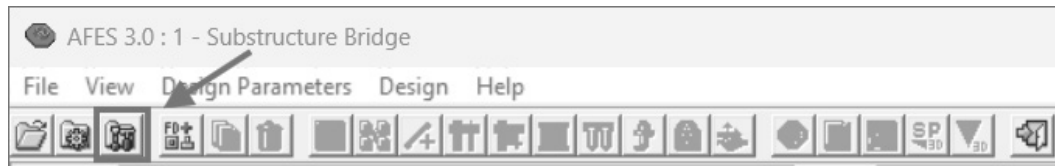
Process Rate

OK Cancel Close

Gambar Input Project Information

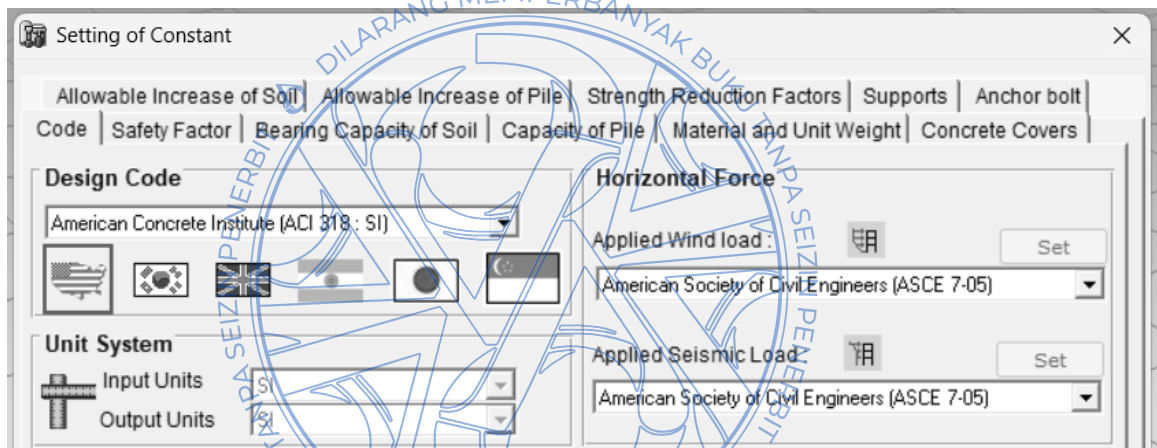
Langkah selanjutnya adalah menentukan *Setting of Constant*. *Setting of Constant* mencakup informasi desain yang dibutuhkan oleh AFES untuk merancang fondasi. Ini mencakup sejumlah parameter seperti kode desain, faktor keamanan, kapasitas dukung tanah, kapasitas tiang, bahan dan berat jenis, dan lain-lain.

Setting of Constant



Gambar Icon Setting of Constant

Tab *Code* berisi pilihan standar desain yang bisa digunakan. Mengingat standar yang berlaku di Indonesia mengacu ke standar Amerika satuan unit yang umum dipakai adalah SI, maka pada bagian *design code* pilih **American Concrete Institute (ACI 318 : SI)**. Pada bagian *Applied Wind Load* dan *Applied Seismic Load*, pilih **American Society of Civil Engineers (ASCE 7-05)**. Setelah itu klik *Save*.



Gambar Tab Code di Setting of Constant

Selanjutnya, pilih tab *Safety Factor* untuk menentukan nilai faktor keamanan dari *Sliding Force* (Gaya Geser), *Overtuning Moment* (Momen Guling), dan *Uplift Force* (Gaya Guling). Penentuan nilai faktor keamanan minimum masing-masing kondisi didasarkan pada SNI 8460 : 2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik pada Pasal 9.3.3. Nilai *Friction Factor Soil to Concrete* dapat diambil dari $\tan \delta$ (sudut geser tanah). Setelah itu klik *Save*.

9.3.3 Ketahanan terhadap geser, pengangkatan, dan guling

Perancangan suatu fondasi juga harus memenuhi persyaratan berikut ini.

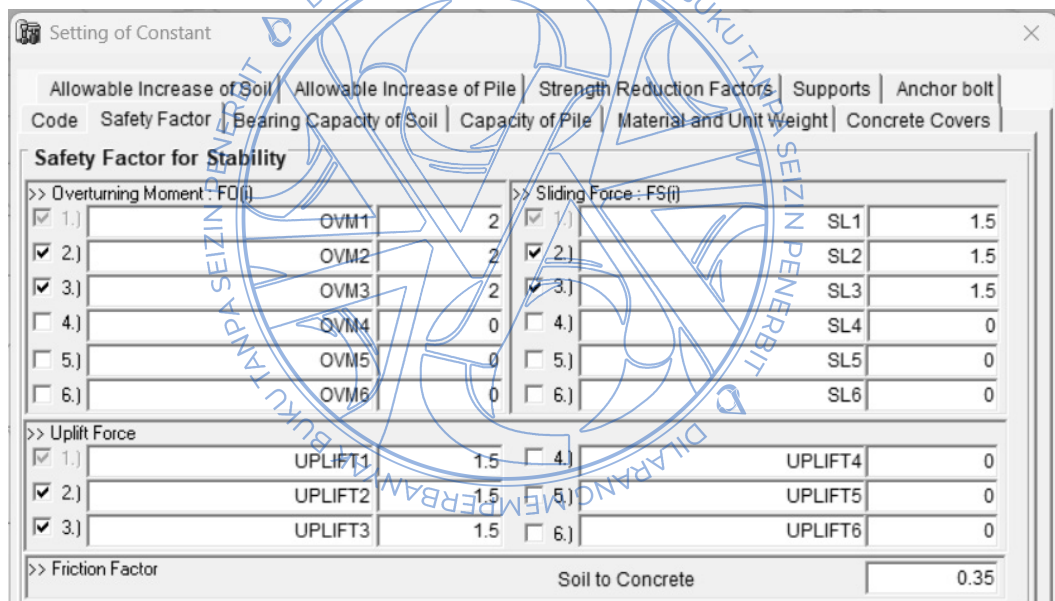
- Ketahanan terhadap geser (*sliding resistance*) harus minimum 1,5 kali lebih besar (statik) dan 1,1 (seismik) akibat gaya geser yang disebabkan oleh beban rencana. Tahanan geser yang diperhitungkan adalah *base shear* dan tahanan pasif. Namun, tahanan pasif harus diabaikan kecuali dapat dipastikan bahwa tekanan pasif dapat dipastikan tetap ada selama umur rencana;
- Ketahanan terhadap pengangkatan (*uplift resistance*) harus minimum 1,5 kali lebih besar dari gaya angkat akibat beban. Ketahanan ini sedapat mungkin diatasi dengan beban mati. dalam situasi khusus dapat menggunakan sistem angkur yang diatur pada pasal 10;
- Ketahanan akibat guling (*overturning resistance*) harus minimum 2 kali lebih besar dari momen guling. Momen guling besarnya sama dengan jumlah dari momen *stabilizing* akibat beban mati minimum ditambah dengan akibat tahanan pengangkatan yang diizinkan.

9.3.4 Ketahanan terhadap buoyancy

Suatu struktur fondasi harus dapat menahan *buoyancy* dengan memenuhi persyaratan berikut ini.

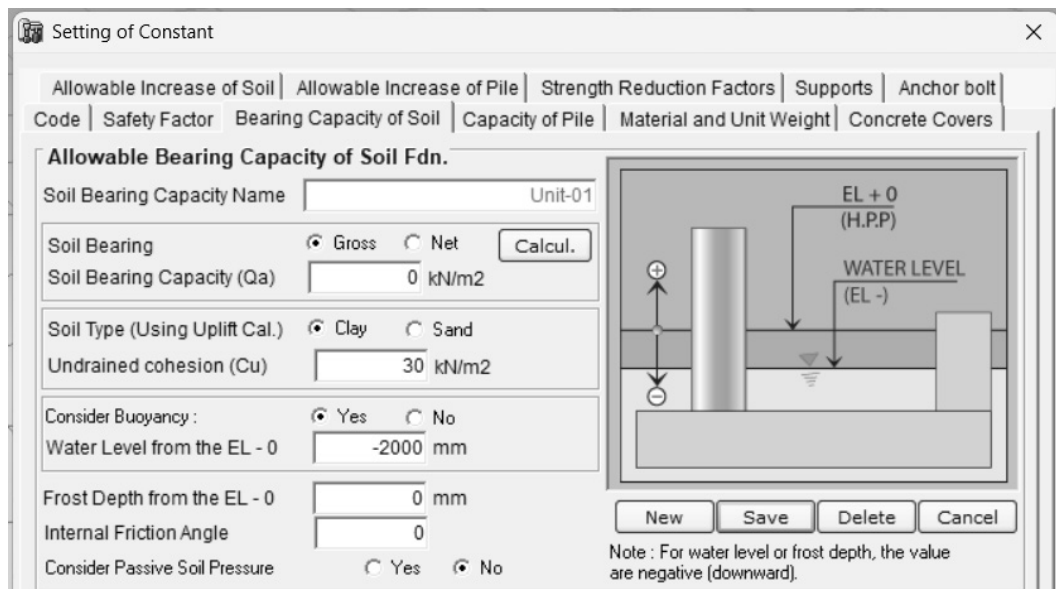
- Faktor keamanan minimum 1,5 terhadap bahaya *floatation* yang disebabkan oleh elevasi muka air tanah tertinggi. Besarnya ketahanan merupakan penjumlahan dari beban mati dan tahanan izin pengangkatan (*permitted anchoring resistance*) dengan mengacu pada kriteria pada pasal 10;
- Faktor keamanan minimum 1,1 terhadap bahaya *floatation* dimana *buoyancy* disebabkan oleh elevasi tertinggi dari muka air tanah, dan ketahanan diambil sebesar beban mati minimum saja.

Gambar Pasal 9.3.3 SNI 8460 : 2017.



Gambar Tab Safety Factor di Setting of Constant

Lalu pada tab *Bearing Capacity of Soil*, nilai *Soil Bearing Capacity* bisa dikosongkan karena desain fondasi yang digunakan adalah fondasi dalam. Lalu input nilai kohesi tanah dan kedalaman muka air tanah dan pilih *Consider Buoyancy* untuk mempertimbangkan gaya apung. Pada bagian *Consider Passive Soil Pressure* pilih *No* karena diasumsikan di bagian depan kaki *abutment* tidak ada timbunan tanah yang menahan untuk desain yang konservatif. Setelah itu klik *Save*.



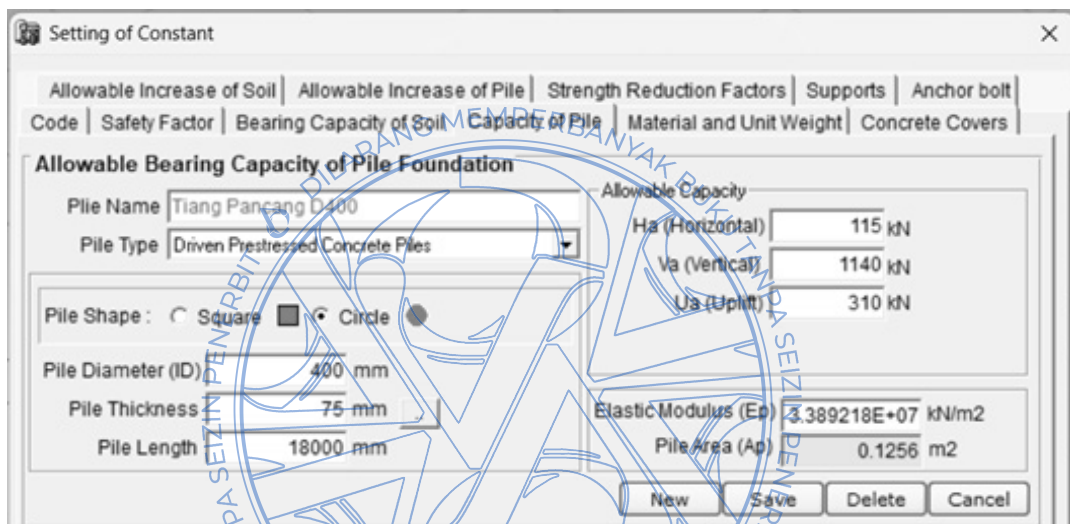
Gambar Tab *Bearing Capacity of Soil* di *Setting of Constant*

Lalu pilih tab *Capacity of Pile* untuk menentukan jenis tiang, material tiang, dan kapasitas tiang. Pada perencanaan fondasi ini, fondasi yang dipilih merupakan tiang pancang dengan diameter 400 mm. Pada *section Pile Type* → ***Driven Prestressed Concrete Piles***, setelah itu *Pile Shape* → ***Circle***. Lalu input nilai ***Pile Diameter, Pile Thickness, Pile Length, Allowable Capacity, Pile Area, dan Elastic Modulus*** sesuai dengan spesifikasi dan perhitungan daya dukung tanah yang telah dihitung sebelumnya. Setelah itu klik ***Save***.

- Diameter tiang = 400 mm
- Tebal tiang = 75 mm
- Kedalaman tiang = 18000 mm
- Daya dukung vertikal = 1140 kN
- Daya dukung uplift (angkat) = 310 kN
- Daya dukung lateral = 69.5 kN
- Modulus elastisitas = $4700 \times \sqrt{f_c'} \times 1000$
= $4700 \times \sqrt{52} \times 1000 = 33892181 \text{ kN}$
- Luas tiang = $\pi r^2 = \pi \times \left(\frac{400}{2}\right)^2$
= $125663 \text{ mm}^2 = 0.1256 \text{ m}^2$

PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION										
Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)										
Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)
						Crack* (ton.m)	Break (ton.m)			
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17

Gambar Spesifikasi Tiang Pancang yang Digunakan



Gambar Tab Capacity of Pile di Setting of Constant

Lalu pilih tab *Material and Unit Weight* untuk menentukan parameter material beton dan baja tulangan. Parameter yang harus diisi adalah *compressive strength of concrete*, *yield strength of reinforcement*, *unit weight*, *using bars*, dan *modulus of elasticity*. Perlu diperhatikan bahwa satuan di input modulus elastisitas adalah kN/mm^2 . Untuk penentuan *Using Bar Type* dapat menggunakan JIS G 3112 (*code* Jepang), karena *code* ini menggunakan satuan diameter yang di mana sama dengan dimensi satuan baja tulangan di Indonesia, dan juga merupakan salah satu referensi standar baja tulangan di Indonesia selain ASTM A615M. Penentuan kuat leleh baja tulangan tetap didasarkan pada SNI 2052 : 2024 tentang Baja Tulangan Beton.

- Mutu *Pile Cap* (f_c') = 30 MPa (N/mm^2)
- Mutu lantai kerja (f_c') = 10 MPa (N/mm^2)
- Kuat leleh tulangan = BJTS 420 = 420 MPa (N/mm^2)
- Berat volume beton = 24 kN/m^3
- Berat volume tanah = 18 kN/m^3

Modulus elastisitas baja = 200.000 MPa (N/mm²) = 200 kN/mm²

Modulus elastisitas beton = $4700 \times \sqrt{f'c} = 4700 \times \sqrt{30}$

= 25742.965 N/mm² = 25.74 kN/mm²

Setting of Constant

Allowable Increase of Soil | Allowable Increase of Pile | Strength Reduction Factors | Supports | Anchor bolt
Code | Safety Factor | Bearing Capacity of Soil | Capacity of Pile | Material and Unit Weight | Concrete Covers

Material

Compressive Strength of Concrete (Fck) N/mm2

Lean Concrete (Fck) N/mm2

Yield Strength of Reinforcement

#3 ~ #5 (fy1) N/mm2

#6 ~ (fy2) N/mm2

D9 ~ D16 (fy3) N/mm2

D19 ~ (fy4) N/mm2

T8 ~ T40 (fy5) N/mm2

R8 ~ R16 (fy6) N/mm2

Unit Weight

Reinforced Concrete (Rc) kN/m3

Soil (Rs) kN/m3

Soil below ground water (γsub) kN/m3

Reinforcements

Select Using Bar Type :
[D] (JIS G 3112)

Modulus of Elasticity

Steel Modulus of Elasticity kN/mm2

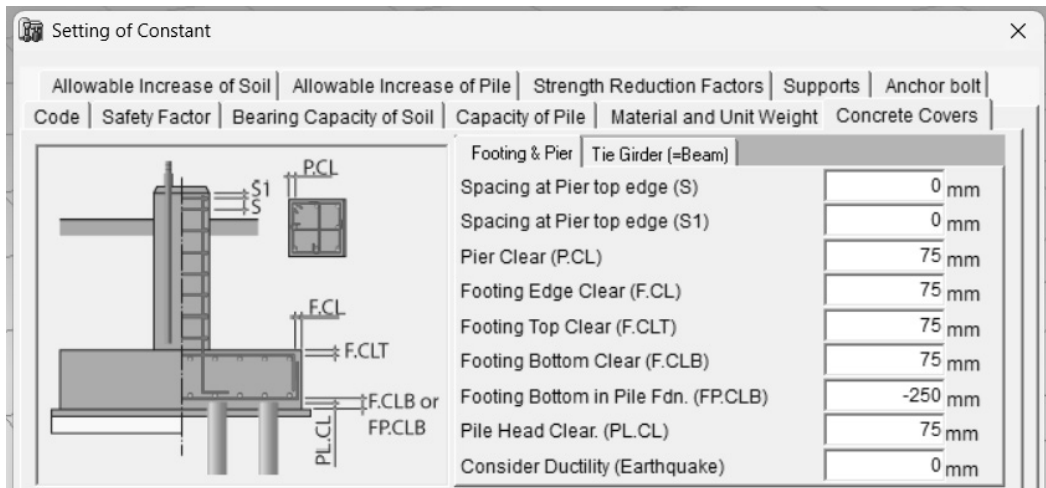
Concrete Modulus of Elasticity kN/mm2

	Project No.	Fck	Fy1	Fy2	Fy3	Fy4	Fy5
1	1 - Substructure Bridge	30	40000	40000	420	420	40000
2	z_abutment	30	40000	40000	420	420	40000
3	Z_Abutment BH-1	30	420	420000	420	420	40000
4	SUBSTRUCTURE BRIDGE	4000	40000	40000	40000	40000	40000
5	Z_Abutment BH-2	30	420	420000	420	420	40000
6	IS456_SI	28	400	400	300	300	

Export Import Set Default Data Cancel Save Close

Gambar Tab *Material and Unit Weight* di *Setting of Constant*

Lalu pilih tab *Concrete Covers* untuk menentukan tebal selimut beton dan panjang kedalaman tiang yang masuk ke *pile cap*. Untuk tebal lapisan selimut beton digunakan sebesar 75 mm karena beton dicor secara permanen dan kontak langsung dengan tanah (Pasal 20.6.1.3.1 SNI 2847:2019), sedangkan untuk panjang tiang tertanam ke *pile cap* diambil 250 mm.



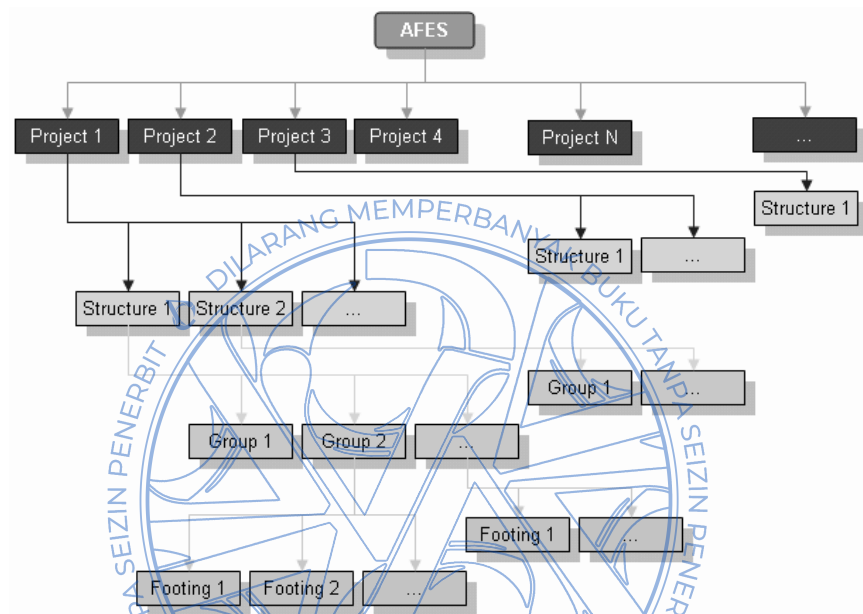
Gambar Tab *Concrete Covers* di *Setting of Constant*

Setelah semua parameter sudah di definisikan, *Save* → *Close*.



Creating a New Structure

Setiap data input dan output dapat disimpan dalam Basis Data AFES sesuai dengan proyek, yang meningkatkan efisiensi kerja dalam pengendalian informasi proyek. Seorang *engineer* dapat membuat *file* untuk proyek baru, menggunakan kembali data dari proyek yang telah dilakukan sebelumnya, atau menghapus data lama dan tidak terpakai tergantung kepentingan pengguna. Berikut adalah sistem hierarki dari alur data AFES.

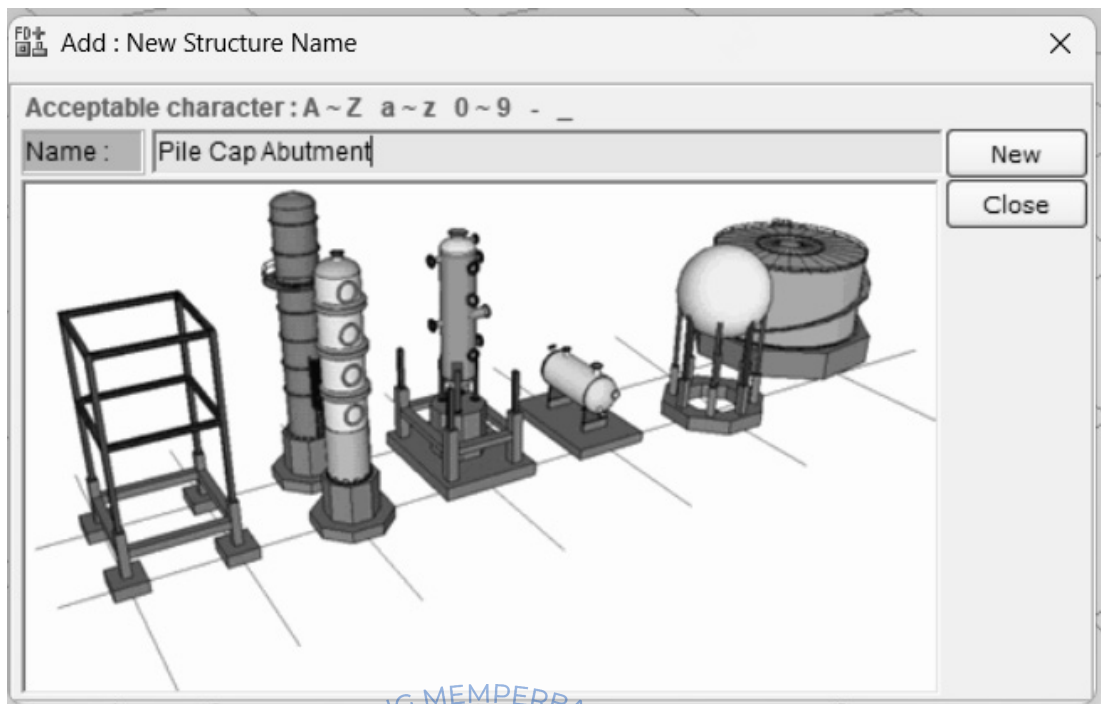


Gambar Sistem Hierarki Alur Data AFES.

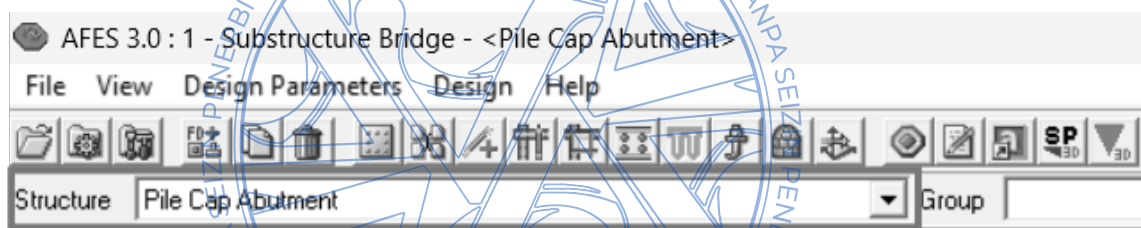
Untuk membuat *structure* baru sebagai langkah awal mendesain fondasi, pilih **File** → **Create New Structure Name** atau klik **icon di toolbar**. Setelah **dialog box** terbuka, ketik **nama structure (Pile Cap Abutment)** → **New**.



Gambar Icon Create New Structure Name



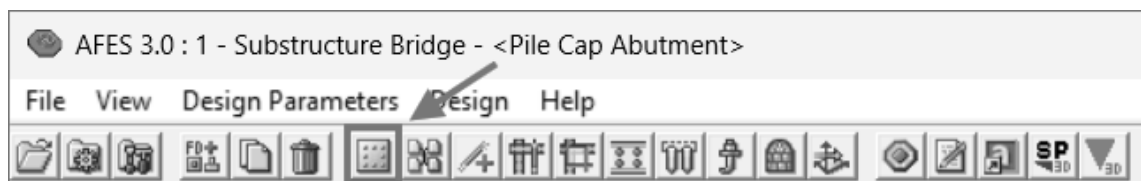
Gambar *Dialog Box Add Create New Structure Name*



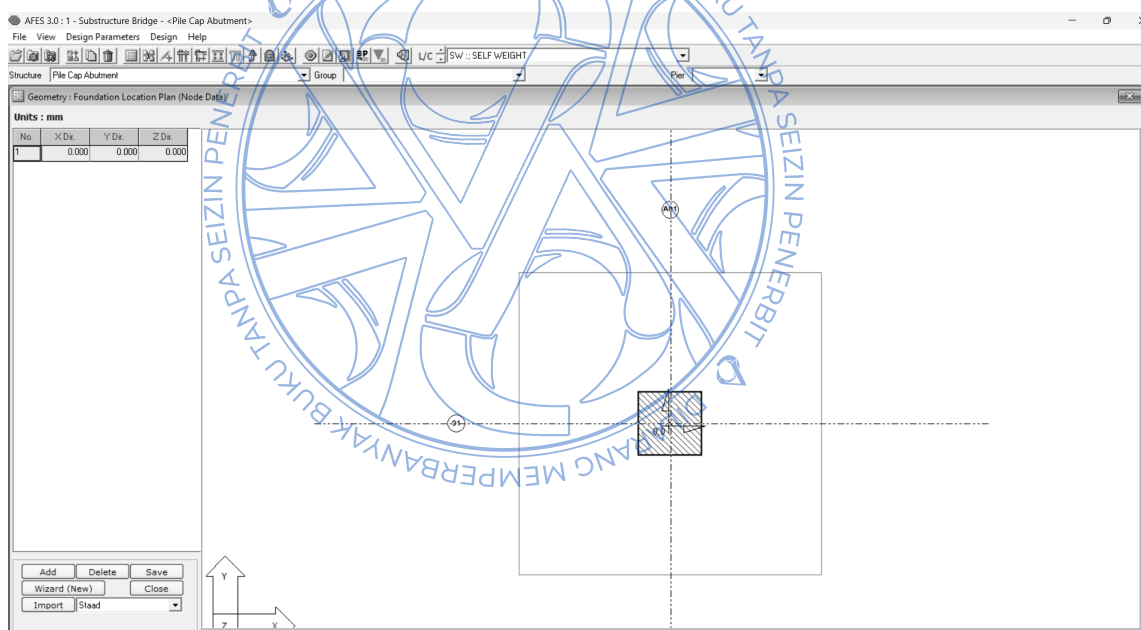
Gambar Tampilan *Structure* yang sedang Digunakan

Design Parameters

Langkah selanjutnya adalah pendefinisian geometri. Hal ini diperlukan untuk menentukan jumlah node dan koordinat struktur. *Node-node* tersebut dapat didefinisikan secara manual melalui perintah “Add” atau melalui pengaturan array menggunakan perintah “Wizard (New)”. *Pile Cap* akan dimodelkan dengan titik pusat massa berada di koordinat (0,0), pilih **Design Parameters** → **Geometry Data** → **Add** → **New** → **Save** → **Close**.



Gambar Icon Geometry Data



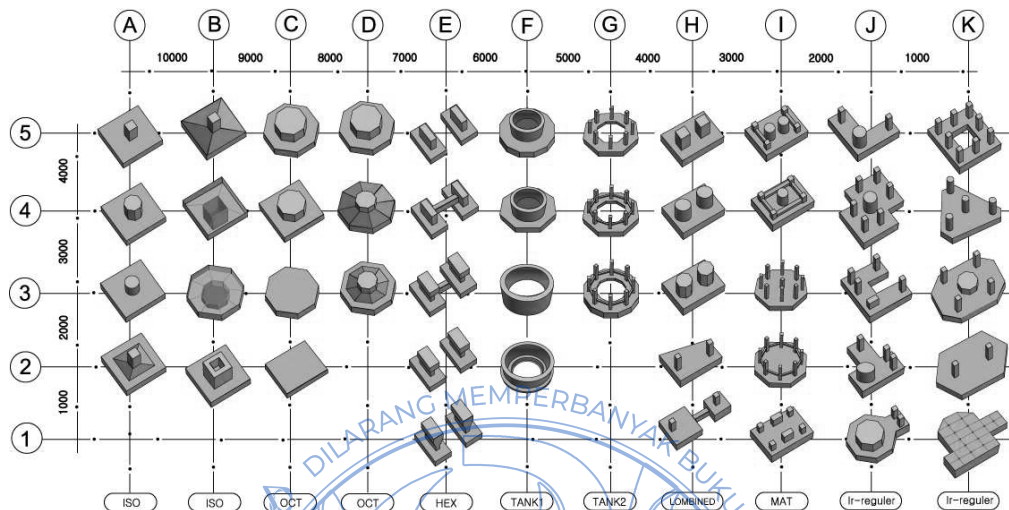
Gambar Dialog Box Geometry Data

Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan fondasi melalui perintah *Assign Foundation Grouping*. Setiap stuktur yang dibuat harus di-*grouping* untuk menentukan pemodelan struktur yang akan dibuat. Perintah ini juga bisa digunakan untuk mengelompokkan fondasi pada model dengan lebih dari satu fondasi.

Fondasi dengan kombinasi beban yang sama disarankan untuk digabungkan dalam satu grup. Fondasi dengan nama grup yang berbeda tidak selalu berarti

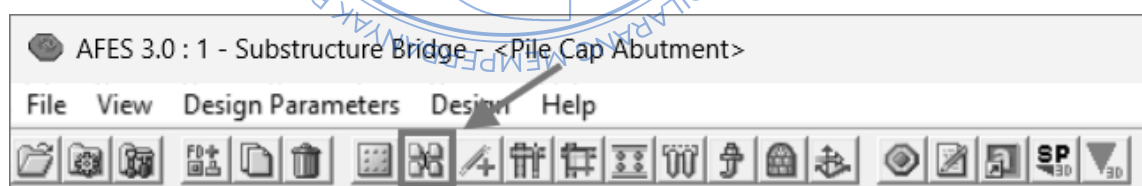
mereka juga memiliki pengaturan yang berbeda. Data yang didefinisikan dalam perintah *Setting of Constant* tetap sama selama mereka termasuk dalam model yang sama. Hanya beberapa fitur yang berbeda untuk setiap grup, seperti kasus beban dan kombinasi beban.

Jenis fondasi yang tersedia adalah sebagai berikut:



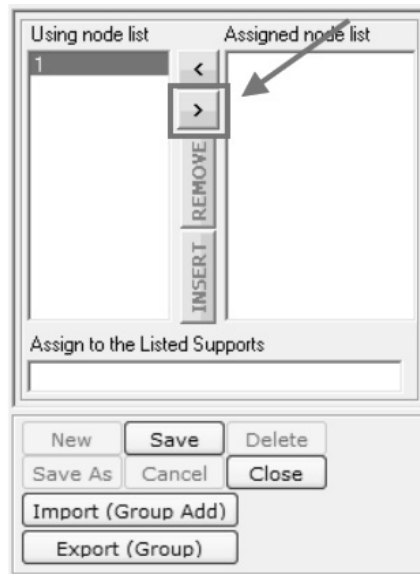
Gambar Jenis Fondasi yang Tersedia di AFES 3.0

Pada perencanaan ini, *pile cap* didesain berpenampang miring (*sloped*) yang bertujuan untuk menahan gaya geser tinggi di dekat tiang dan menghemat penggunaan material beton. **Design Parameters** → **Assign Foundation Grouping** → **New** → **Group Name** (ketik nama grup) → **Group Type** (pilih Slope) → pilih *Pile fdn.*

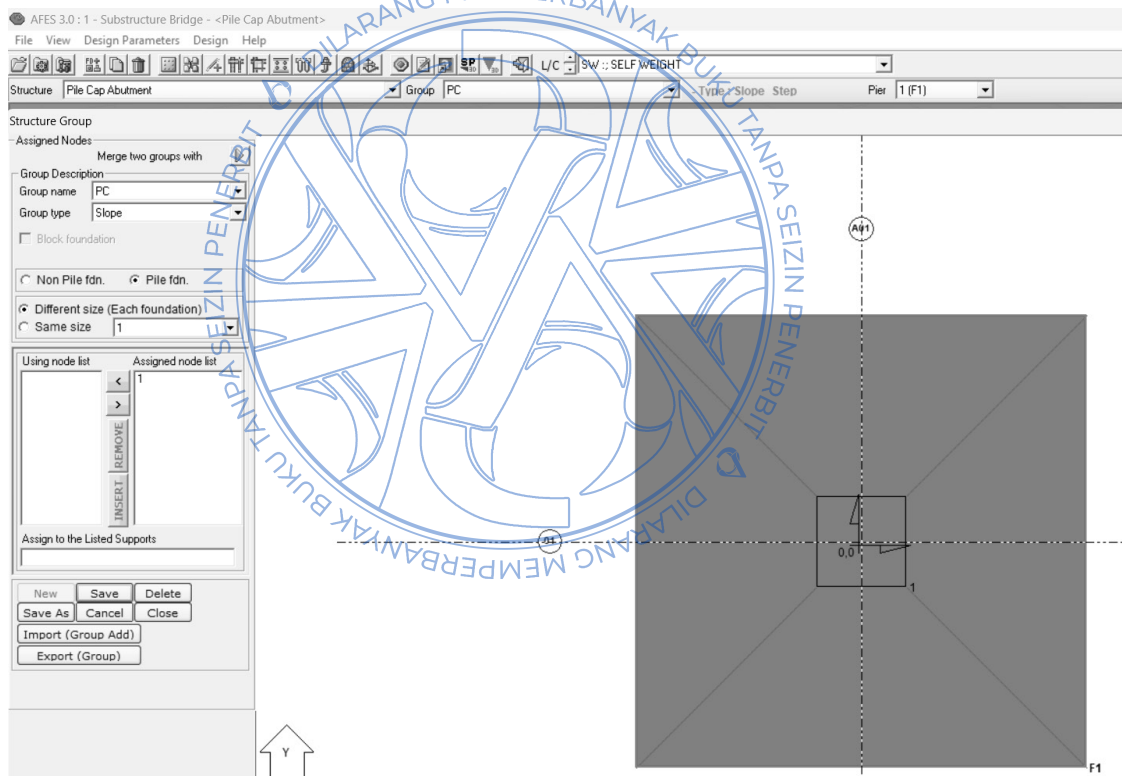


Gambar Icon Assign Foundation Grouping

Lalu untuk memilih *node* yang akan di-assign, pilih *node* di **using node list** → klik **icon** > → **Save** → **Close**.

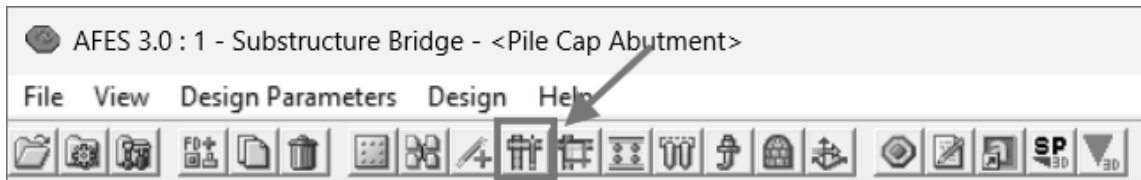


Gambar Dialog Box Assign Foundation Grouping

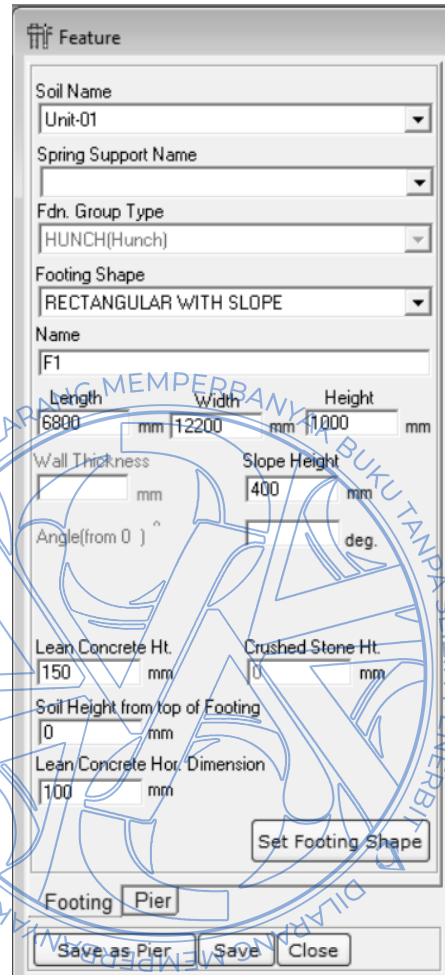


Gambar Dialog Box Assign Foundation Grouping

Langkah selanjutnya adalah menentukan dimensi *Pile Cap* di *Feature Data*. Perintah ini digunakan untuk mendefinisikan dimensi dan parameter lain yang diperlukan untuk fondasi dan pier. Hal ini tidak hanya berguna untuk fungsi desain dan analisis tetapi juga untuk perkiraan jumlah material. Pada pemodelan ini yang akan dimodelkan hanya *Pile Cap*, maka tab menu pier diabaikan/dikosongkan. Pilih **Design Parameters** → **Feature Data** → lalu isi dimensi sesuai dengan perencanaan → **Save** → **Close**.

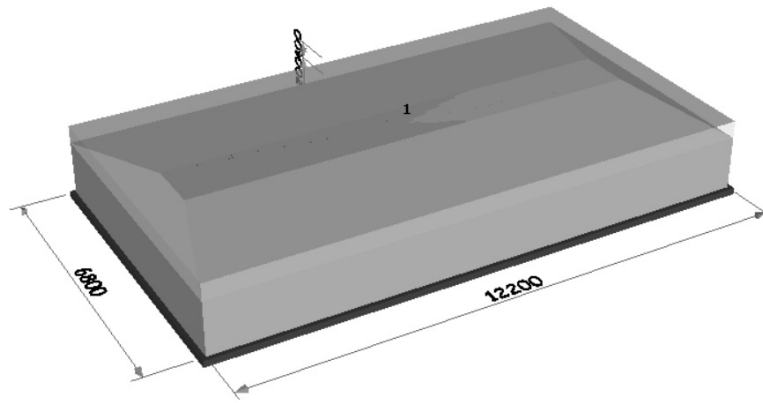


Gambar Icon Feature Data



Gambar Dimensi Rencana *Pile Cap*

Setelah dimensi struktur ditentukan, maka hasil akan ditampilkan dalam detail gambar.

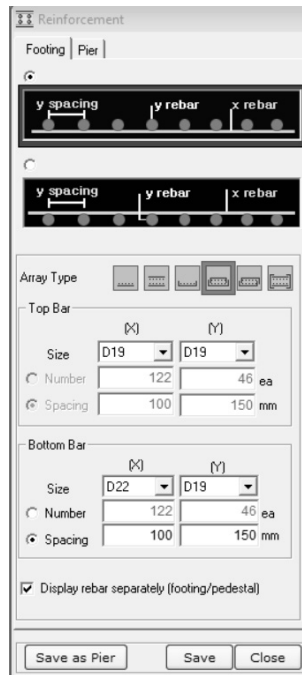


Gambar Tampilan *Pile Cap*

Selanjutnya, menentukan penulangan *Pile Cap* dengan menggunakan perintah *Reinforcement*. Perintah *Reinforcement* digunakan untuk menetapkan ukuran dan jarak tulangan pada tiang dan fondasi. Ukuran dimensi baja tulangan bergantung pada kode desain yang ditetapkan dalam perintah *Setting of Constant*. Pilihan susunan batang penguatan tersedia dalam opsi *Footing*. Susunan tulangan fondasi biasanya sejajar dengan sumbu X dan Y, kecuali untuk modul tipe cincin Tank1 dan Tank2 yang memiliki arah radial dan longitudinal. Tulangan pada *Pile Cap* direncanakan menggunakan D22-150 (tulangan atas) dan D25-150 (tulangan bawah) pada arah X, dan D19-150 (tulangan atas dan bawah) pada arah Y. Pilih ***Design Parameters* → *Reinforcement Data* → *Footing* → isi dimensi sesuai dengan perencanaan → *Save* → *Close*.**



Gambar *Icon Reinforcement*



Gambar Rencana Penulangan *Pile Cap*

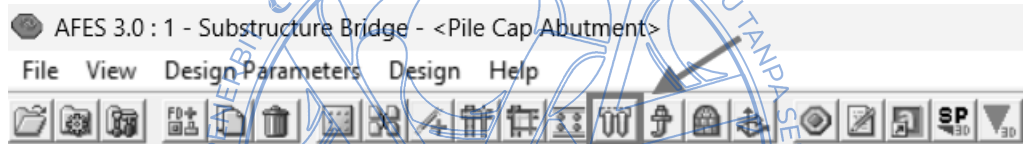
Langkah selanjutnya adalah menentukan *layout pile* melalui perintah *Layout Pile*. Praktik umum yang digunakan untuk jarak antar *pile* adalah 2,5 - 3,5 D. Karena ukuran *pile* yang digunakan adalah 400 mm, maka untuk jarak antar *pile* yang digunakan adalah 1200 mm. Pilih **Design Parameters** → **Layout of Pile** → **Coordinates** → **Origin Point** (pilih **Middle Center (MC)**) → **Pile Name** (pilih *pile* yang telah didefinisikan) → **Add** → **Masukkan koordinat masing-masing pile** → **Save** → **Close**.

Koordinat *pile* yang digunakan adalah sebagai berikut.

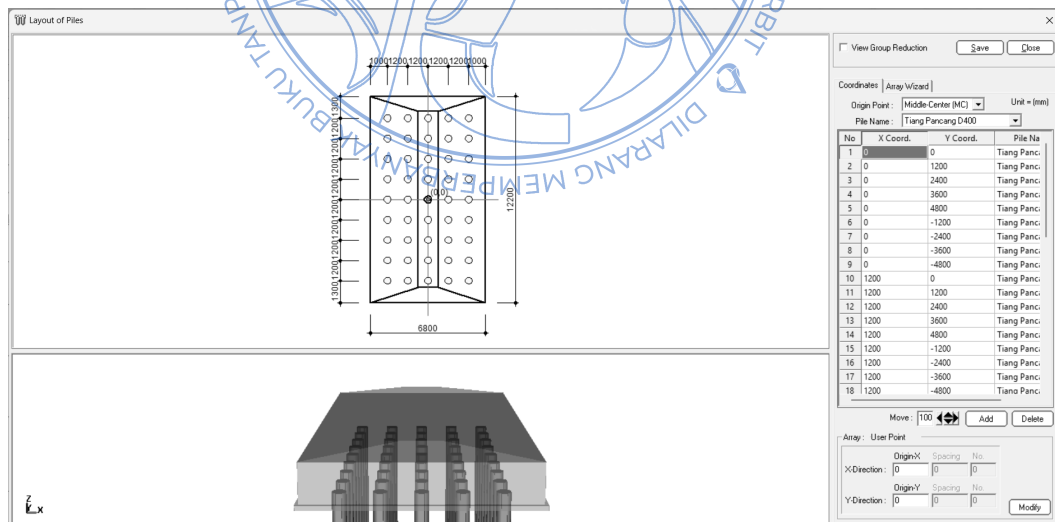
Tabel Koordinat *Pile* dalam satuan milimeter

No	X	Y	No	X	Y
1	0	0	23	2400	4800
2	0	1200	24	2400	-1200
3	0	2400	25	2400	-2400
4	0	3600	26	2400	-3600
5	0	4800	27	2400	-4800
6	0	-1200	28	-1200	0
7	0	-2400	29	-1200	1200
8	0	-3600	30	-1200	2400
9	0	-4800	31	-1200	3600
10	1200	0	32	-1200	4800

No	X	Y	No	X	Y
11	1200	1200	33	-1200	-1200
12	1200	2400	34	-1200	-2400
13	1200	3600	35	-1200	-3600
14	1200	4800	36	-1200	-4800
15	1200	-1200	37	-2400	0
16	1200	-2400	38	-2400	1200
17	1200	-3600	39	-2400	2400
18	1200	-4800	40	-2400	3600
19	2400	0	41	-2400	4800
20	2400	1200	42	-2400	-1200
21	2400	2400	43	-2400	-2400
22	2400	3600	44	-2400	-3600
			45	-2400	-4800



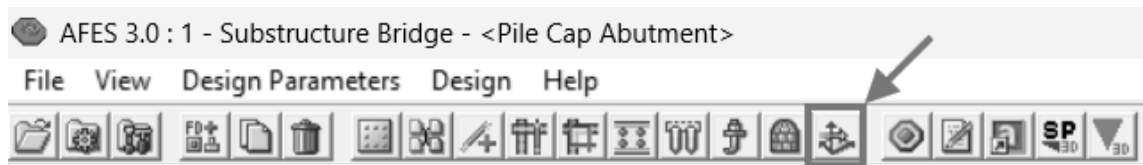
Gambar Icon Layout Piles



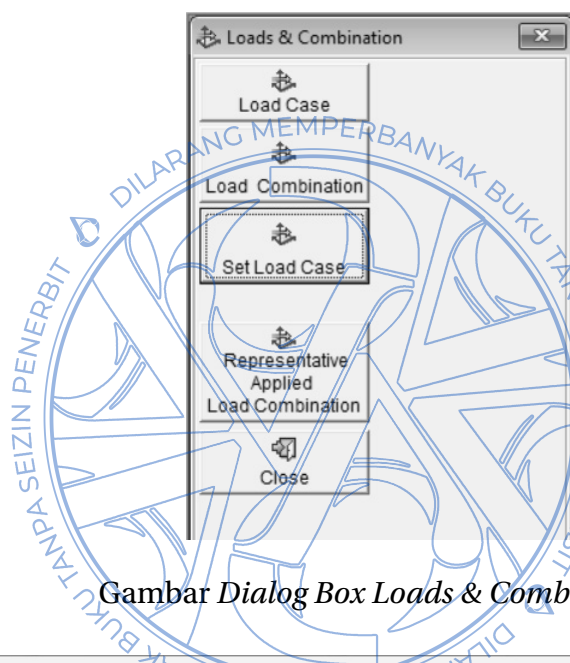
Gambar Dialog Box Layout of Piles Setelah Diberi Koordinat

Tahap akhir sebelum analisis adalah penentuan pembebanan yang diatur dalam perintah *Loads and Combination*. Penentuan kombinasi pembebanan untuk perhitungan penulangan *pile cap* dan cek terhadap *one way & two way shear* diambil

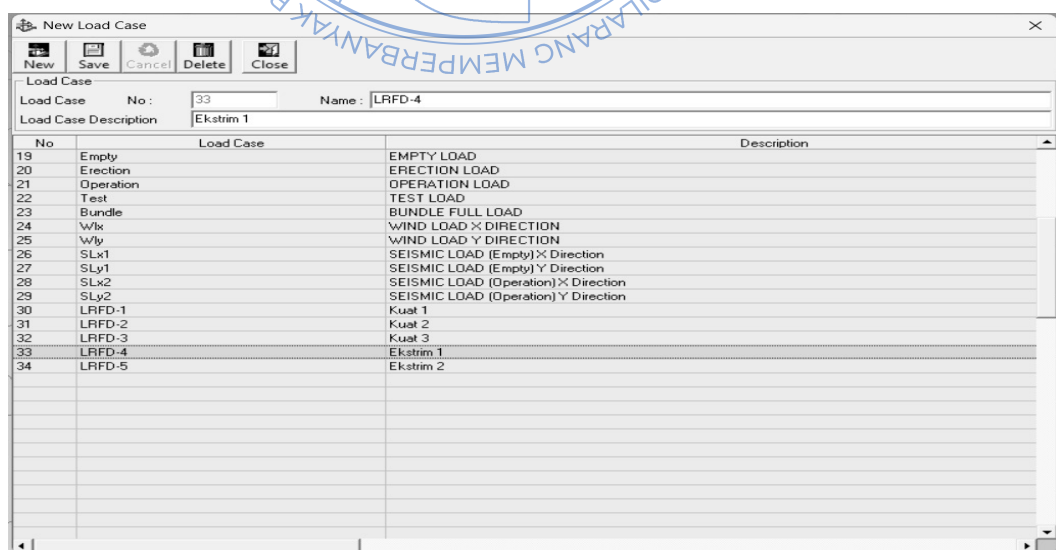
dari kombinasi Kuat I - III dan Ekstrem I - II. Untuk menentukan pembebanan, langkah awal adalah menentukan *Load Case*. Pilih **Design Parameters** → **Load Case/Combination** → **Set Load Case** → **New** → **Name** (edit nama **Load Case**, misal **LRFD-1**) → **Load Case Description** (edit nama deskripsi, misal Kuat 1) → **Save** → **New** → Ulangi sampai semua **Load Case** diinput → **Save** → **Close**.



Gambar Icon Loads & Combination

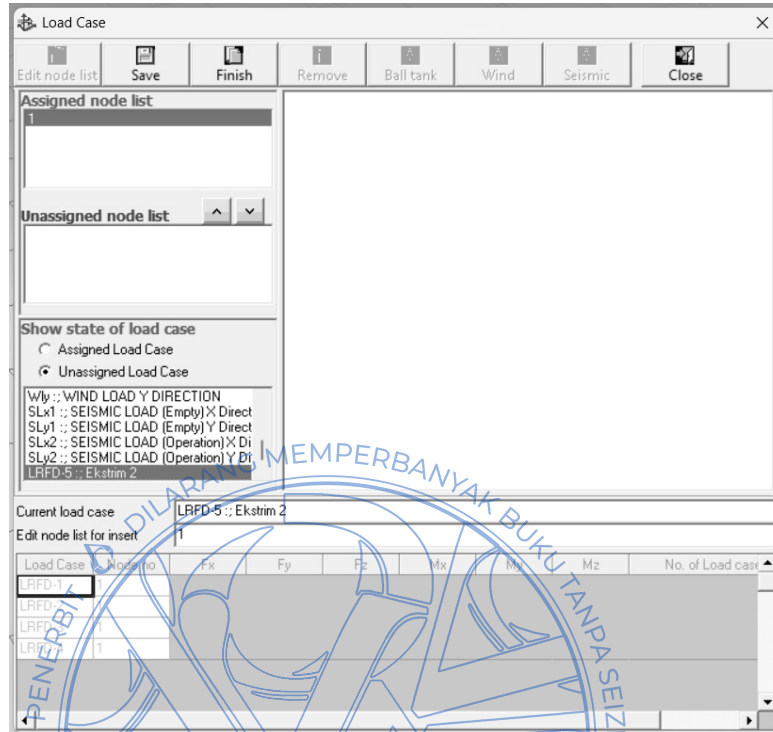


Gambar Dialog Box Loads & Combination



Gambar Dialog Box Set Load Case

Langkah selanjutnya adalah menentukan *Load Case* yang digunakan dalam analisis. Pilih **Design Parameters** → **Load Case/Combination** → **Load Case** → **Unassigned Load Case** → Pilih **Load Case** yang digunakan (misal **LRFD-1**) → **Save** → **Lalu ulangi hingga semua Load Case ter assign** → **Save**.



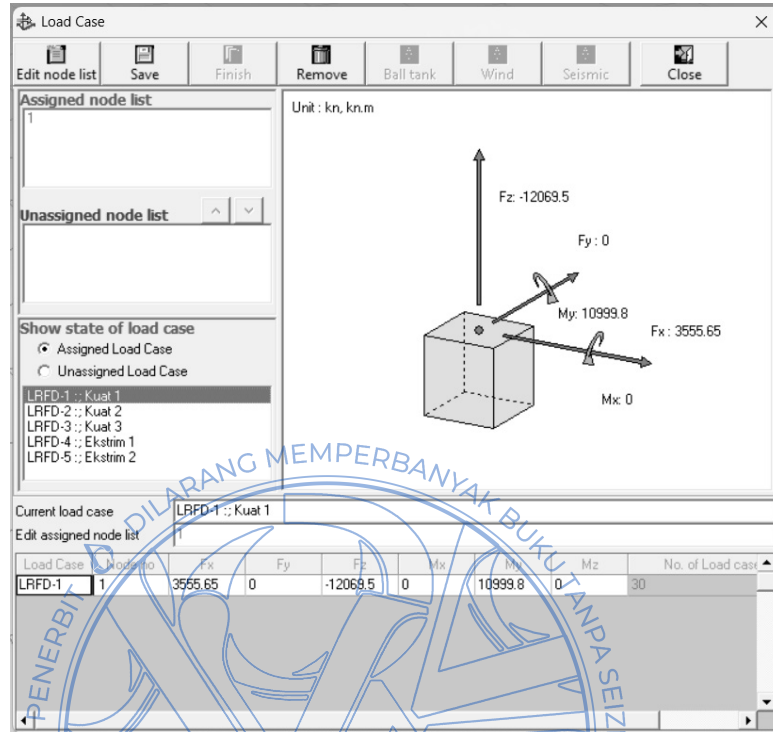
Gambar *Dialog Box Load Case* dengan *Load Case* yang Telah Diinput

Jika sudah, input nilai beban sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan. Kombinasi beban yang dipilih adalah kombinasi *Ultimate Limit State* (ULS). Perlu diperhatikan arah beban yang akan digunakan, harus disesuaikan dengan pemodelan dan sumbu gaya di AFES. Gaya vertikal dimodelkan ke arah sumbu Z dengan nilai minus, gaya horizontal dimodelkan ke arah sumbu X, dan momen dimodelkan mengitari sumbu Y

Tabel Gaya dalam *pile cap* (ULS)

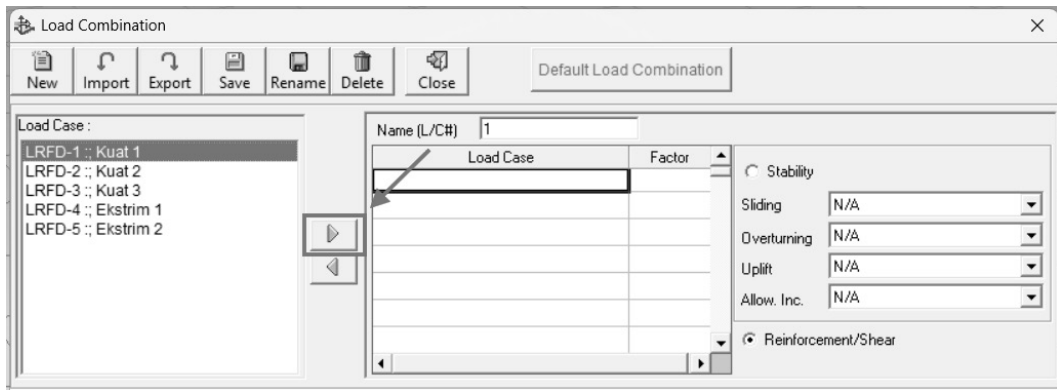
	V	H	M
Kuat I	12069.47	3555.6588	10999.82
Kuat II	11325.52	3515.9588	10685.39
Kuat III	8721.686	3377.0088	9584.908
Ekstrem I	8721.686	7418.54367	28984.01
Ekstrem II	9651.626	3426.6338	9977.938

Untuk *input* pembebanan di AFes, pilih **Load Case** → **Assigned Load Case** → Pilih **Load Case** yang digunakan (misal LRFD-1) → Input pembebanan pada **Fx (Beban Horizontal)**, **Fz (Beban Vertikal)**, dan **My (Momen)** → **Save** → Pilih **Load Case** selanjutnya → Ulangi sampai semua beban diinput → **Save** → **Close**.

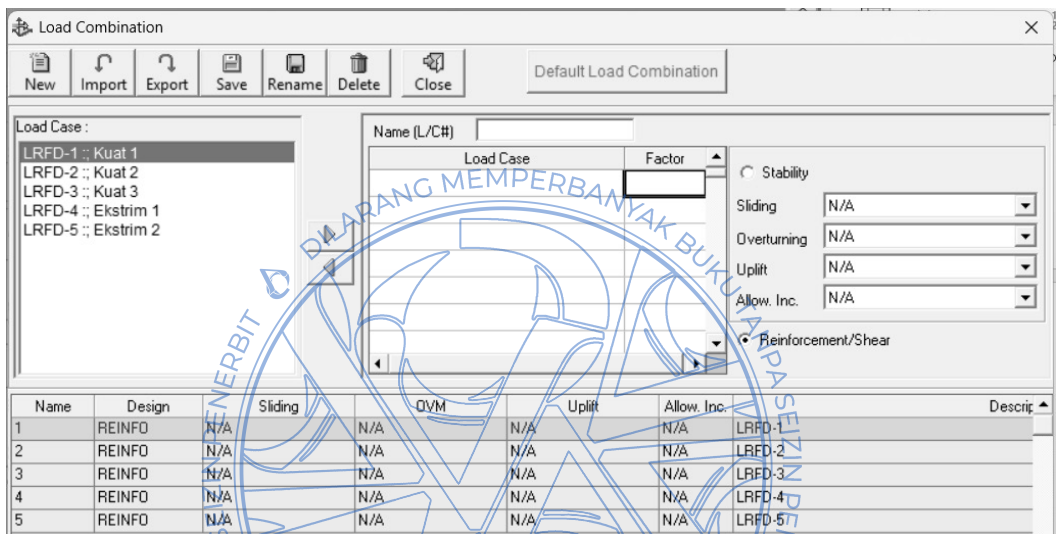


Gambar *Dialog Box Load Case* dengan Beban yang Telah Diinput

Tahap selanjutnya adalah membuat **Load Combination**. AFES sendiri menyediakan dua opsi pengecekan, yaitu terhadap stabilitas (*Stability*) dan cek terhadap perkuatan serta *punching shear (Reinforcement/Shear)*. Pada perencanaan *pile cap* ini, hanya akan menggunakan pengecekan terhadap *Reinforcement/Shear*, karena cek terhadap stabilitas sudah dilakukan di perhitungan manual (terhadap tekan, tarik, dan lateral). Pilih **Design Parameters** → **Load Case/Combination** → **Load Combination** → **New** → Pilih **Load Case** (misal LRFD-1) → Ketik **nama/nomor di Name (L/C#)** → Pilih > → Pilih **Reinforcement/Shear** → **Save** → **Ulangi hingga Load Case Terakhir** → **Save** → **Close**.

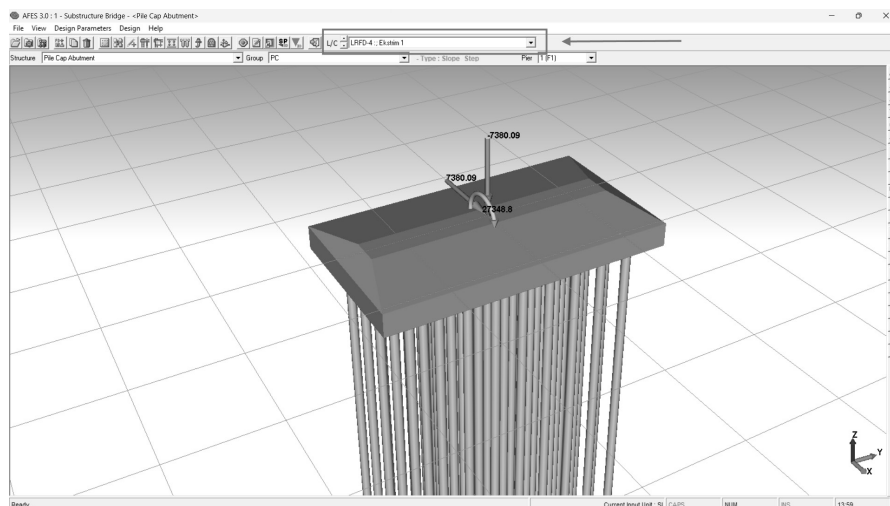


Gambar Dialog Box Load Combination



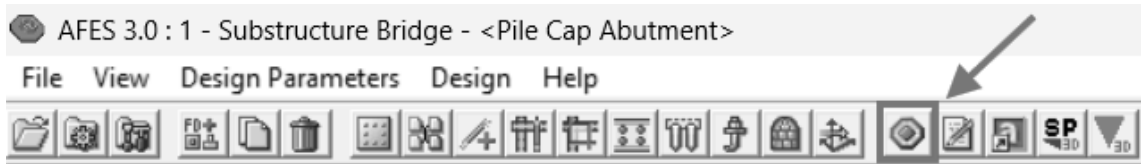
Gambar Dialog Box Load Combination dengan Semua Combo Terdefinisi

Load Combination yang telah di input dapat di cek arah gayanya untuk memastikan arah gayanya benar. Pada tampilan layar kerja AFES, klik pada icon sesuai gambar berikut.

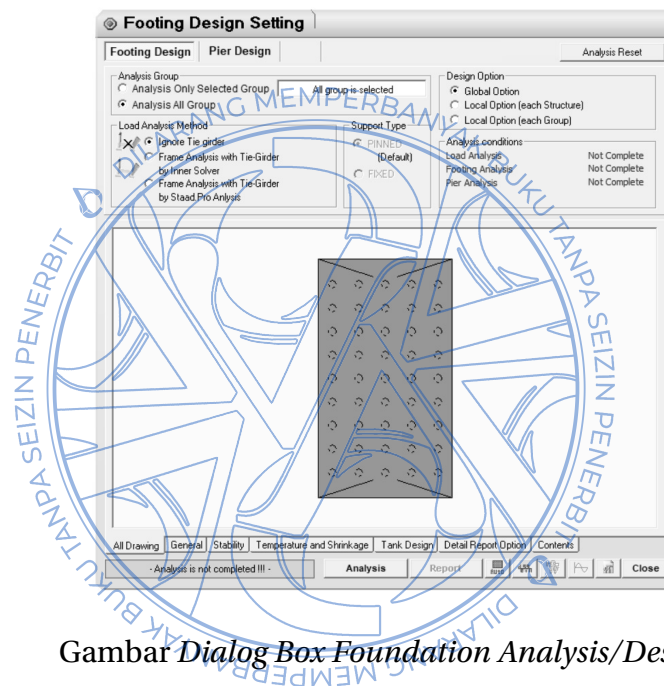


Gambar Layar Kerja AFES

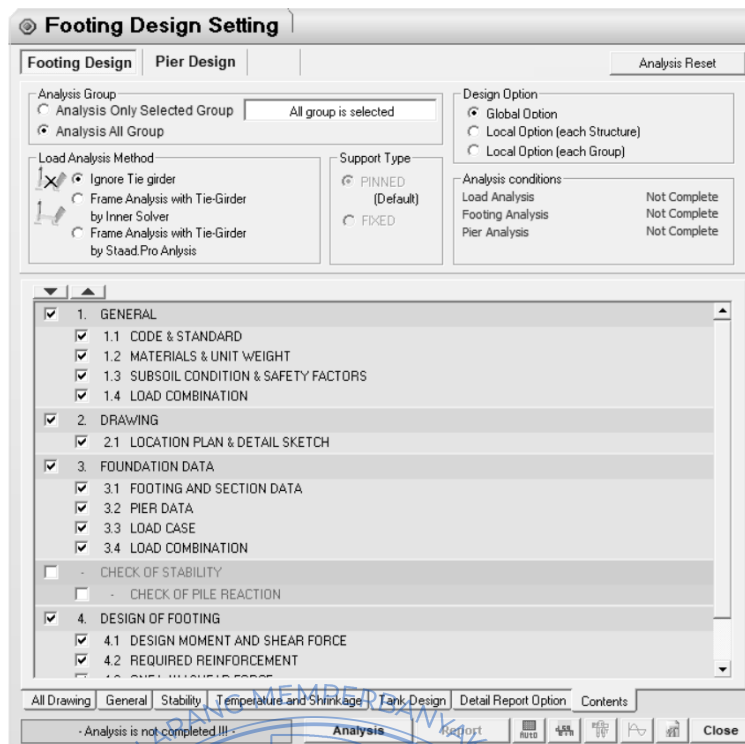
Tahap terakhir dalam pemodelan di AFES adalah melakukan analisis. Analisis dilakukan untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja, kebutuhan tulangan, stabilitas fondasi, cek terhadap *one way shear* dan *two way shear*, dan lain-lain. Pilih **icon Foundation Analysis/Design** → **Footing Design** → Atur sesuai kebutuhan → Pada Tab **Contents**, **Un-check poin 4. Check of Stability** → **Analysis**.




Gambar Icon Foundation Analysis/Design

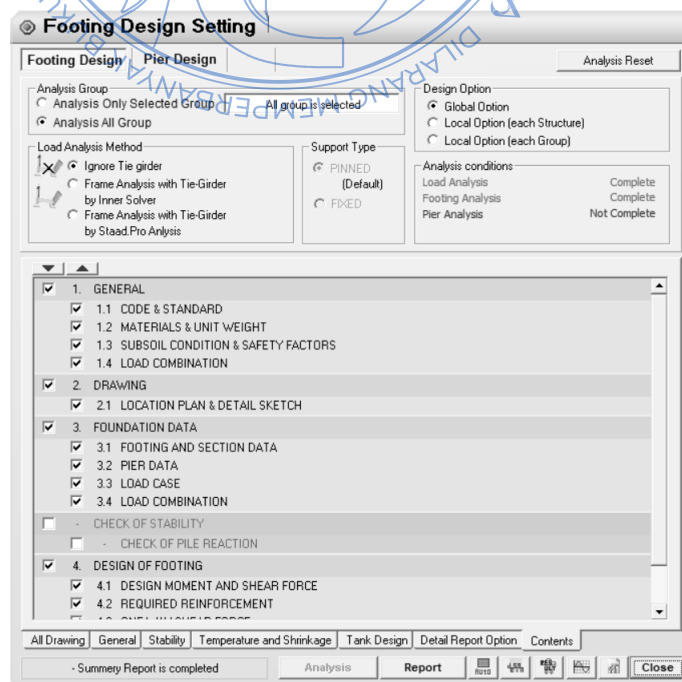


Gambar Dialog Box Foundation Analysis/Design




Gambar Dialog Box Foundation Analysis/Design pada Tab Contents

Setelah Analysis dilakukan, pilih **Report** untuk melihat laporan keseluruhan dari hasil analisis. Untuk melihat *summary* dari hasil analisis pilih **Close**. Untuk kembali ke layar kerja AFES, klik *icon*  di tampilan layar. Apabila pada *summary* hasil analisis pada semua kondisi sudah “OK”, maka desain dapat dikatakan aman.



Gambar Dialog Box Foundation Analysis/Design Setelah Running Analysis

	Calculation Sheet of Foundation	Project No. : Bridge	
		Project No. : 1 - Substructure Bridge	
		Client : PT X	Page 1

SUMMARY REPORT FOR FOUNDATION DESIGN

Project Information	
Project Name	Bridge
Structure Name	Pile Cap Abutment

1. Check of Pile Reaction (Bi-Axial)

1.1 Check of Vertical (Unit : k N)

FtName	# L/C	Pile	Ru	Uf	Ra	Ua	Result
--------	-------	------	----	----	----	----	--------

1.2 Check of Horizontal (Unit : k N)

FtName	# L/C	Pile	H Max	Ha	Result
--------	-------	------	-------	----	--------

2. DESIGN OF FOOTING

2.1 Check of Reinforcement

(Unit : mm²)

FtName	Sec.Nam	# L/C	Req.As _{top / bottom}	Used.As _{top / bottom}	Result
F1	S1 (X)	1	1440.00 / 1950.86	2581.79 / 3379.74	OK / OK
		2	1440.00 / 1868.29	2581.79 / 3379.74	OK / OK
		3	1440.00 / 1579.61	2581.79 / 3379.74	OK / OK
		4	2061.71 / 3111.81	2581.79 / 3379.74	OK / OK
		5	1440.00 / 1662.64	2581.79 / 3379.74	OK / OK
	S1 (Y)	1	1440.00 / 1440.00	1911.10 / 1911.10	OK / OK
		2	1440.00 / 1440.00	1911.10 / 1911.10	OK / OK
		3	1440.00 / 1440.00	1911.10 / 1911.10	OK / OK
		4	1440.00 / 1440.00	1911.10 / 1911.10	OK / OK
		5	1440.00 / 1440.00	1911.10 / 1911.10	OK / OK

2.2 Check of One Way Shear

(Unit : k N)

FtName	Sec.Nam	# L/C	Vc	Vu	Result
F1	S1 (X)	1	13871.07	9000.01	OK
		2	13871.07	8607.93	OK
		3	13871.07	7235.70	OK
		4	13871.07	13702.08	OK
		5	13871.07	7725.79	OK
		6	13871.07	7725.79	OK

Gambar Dialog Box Summary Hasil Analisis

LATAR BELAKANG PENULIS

Ir. Totok Andi Prasetyo, M.T. - (Ahli Teknik Bangunan Gedung Jenjang 9 , Ahli Geoteknik Jenjang 9 dan Ahli Jembatan Jenjang 9).

Penulis merupakan dosen di Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) di Jakarta, mengajar Mata Kuliah Struktur Baja, Struktur Beton dan fondasi. Penulis juga praktisi profesional dan Direktur Teknik PT. TAP Rekayasa Struktur di Bekasi. Penulis menempuh pendidikan S-1 di Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta, lulus tahun 2001 , lalu mengambil Magister Teknik (MT) di kampus ISTN dari tahun 2018, lulus 2020. Penulis memiliki pengalaman 24 tahun sebagai praktisi dalam bidang struktur dan geoteknik. Penulis sedang meneruskan program doktoral di Unissula tahun 2024 sampai sekarang. Berbagai macam bangunan yang penulis tangani mulai dari struktur baja yang sederhana sampai yang *complicated industrial building*. Selain struktur baja, beliau juga menangani struktur beton dari *low-rise* sampai *high-rise building*. Buku ini disusun berdasarkan SNI yang terbaru.



Harun Napitupulu, S.T., M.T. - (Ahli Muda Teknik Bangunan Gedung Jenjang 7).

Penulis merupakan lulusan Sarjana Teknik dari Universitas Jakarta dan Magister Teknik dari Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta. Penulis seorang praktisi profesional di dunia teknik sipil. Memiliki pengalaman di bidang perancangan, pelaksanaan, serta pengawasan proyek konstruksi, khususnya bangunan dengan rangka beton bertulang. mulai dari dari *low-rise* sampai *high-rise building*. Buku ini disusun berdasarkan SNI yang terbaru.



Aurelius Silvano Krisdiyanto, S.T.

Penulis merupakan lulusan Sarjana Teknik dari Universitas Lampung. Saat ini, penulis merupakan seorang praktisi dan bekerja sebagai *Structural and Geotechnical Engineer* di PT TAP Rekayasa Struktur.

