

TUGAS AKHIR

REDESAIN JEMBATAN BETON PRATEGANG GEMPOLSEWU KECAMATAN ROWOSARI KABUPATEN KENDAL DENGAN MENGGUNAKAN *BUILDING INFORMATION MODELLING*

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Sri Dharma Agung Pradana

NIM : 30202200283

Taufik Fakrurrahman

NIM : 30202200284

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

REDESAIN JEMBATAN BETON PRATEGANG GEMPOLSEWU KECAMATAN ROWOSARI KABUPATEN KENDAL DENGAN MENGGUNAKAN *BUILDING* *INFORMATION MODELLING*



Sri Dharma Agung Pradana

NIM : 30202200283



Taufik Fakrurrahman

NIM : 30202200284

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Dr. Ir. H. Sumirin, MS.

NIDN : 0004055302

2. Dr. Juny Andry Sulistiyo, ST., MT.

NIDN : 0611118903

3. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN : 0625059102

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 23 / A.2 / SA-T / x / 2023

Pada hari ini tanggal 01 - Februari - 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. H. Sumirin, MS.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Juny Andry Sulistiyo, ST., MT.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Sri Dharma Agung Pradana
NIM : 30202200283

Taufik Fakrurrahman
NIM : 30202200284

Judul : Redesain Jembatan Beton Prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal Dengan Menggunakan *Building Information Modelling*.

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	02 / 10 / 2023	
2	Seminar Proposal	27 / 11 / 2023	ACC
3	Pengumpulan data		
4	Analisis data		
5	Penyusunan laporan		
6	Selesai laporan	31 / 01 / 2024	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama

Dr. Ir. H. Sumirin, MS.

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Juny Andry Sulistiyo, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sri Dharma Agung Pradana

NIM : 30202200283

Nama : Taufik Fakrurrahman

NIM : 30202200284

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

Judul : Redesain Jembatan Beton Prategang Gempolsek Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal Dengan Menggunakan *Building Information Modelling* adalah benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 31 / Januari / 2024

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,

Sri Dharma Agung Pradana

NIM : 30202200283

Taufik Fakrurrahman

NIM : 30202200284

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sri Dharma Agung Pradana
NIM : NIM : 30202200283
Nama : Taufik Fakrurrahman
NIM : NIM : 30202200284
Judul Tugas Akhir : Redesain Jembatan Beton Prategang Gempolsewu
Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal Dengan
Menggunakan *Building Information Modelling*

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.


Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.


Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 31 / Januari / 2024

Yang membuat pernyataan 1,

Yang membuat pernyataan 2,


Sri Dharma Agung Pradana
NIM : 30202200283


Taufik Fakrurrahman
NIM : 30202200284



MOTTO

“Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah”

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.”

(Q.S. Al-Imran: 110)



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah hirabbil 'alamin, dengan penuh rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT dan segala dukungan yang diterima penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis persembahkan Tugas Akhir ini kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang telah senantiasa memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil hingga selesainya studi.
2. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS. dan Bapak Dr. Juny Andry Sulistiyo, ST., MT. yang telah berkenan untuk membimbing penyelesaian Tugas Akhir.
3. Sahabat-sahabat kami yang telah meberikan dukungan moril sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
4. Teman-teman penulis Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan semangat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penyusunan Laporan Tugas Akhir.

Sri Dharma Agung Pradana

NIM : 30202200283

Taufik Fakrurrahman

NIM : 30202200284

KATA PENGANTAR

Segala Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Redesain Jembatan Beton Prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal Dengan Menggunakan *Building Information Modelling*” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M. Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin, MS. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Juny Andry Sulistiyo, ST., MT. selaku Dosen Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Orang tua penulis yang dengan tulus memberikan doa dan motivasi sehingga penulis lebih giat dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Teman-teman penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK.....	xvii
BAB II PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Batasan Permasalahan	2
1.6. Sistematika Penyusunan Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Dasar Teori Jembatan.....	4
2.2. Jenis Jembatan.....	4
2.3. Jembatan Beton Prategang	7
2.4. Material	7
2.4.1. Material Beton Prategang.....	7
2.4.2. Material Baja Prategang.....	8
2.5. Profil Beton	8
2.6. Struktural Jembatan.....	10
2.6.1. Pemodelan Pembebanan Struktur.....	11
2.6.2. Kombinasi Beban	23
2.6.3. Faktor Reduksi	25
2.7. Perencanaan Bangunan Atas	25
2.7.1. Perencanaan Sandaran.....	25
2.7.2. Perencanaan Pelat Lantai	26
2.7.3. Perencanaan Trotoar.....	27
2.7.4. Perencanaan Gelagar Memanjang.....	27
2.7.5. Perencanaan Gelagar Melintang.....	28
2.7.6. Perencanaan Plat deck.....	28
2.7.7. Perencanaan Perletakkan.....	29
2.7.8. Perencanaan Pelat Injak	29

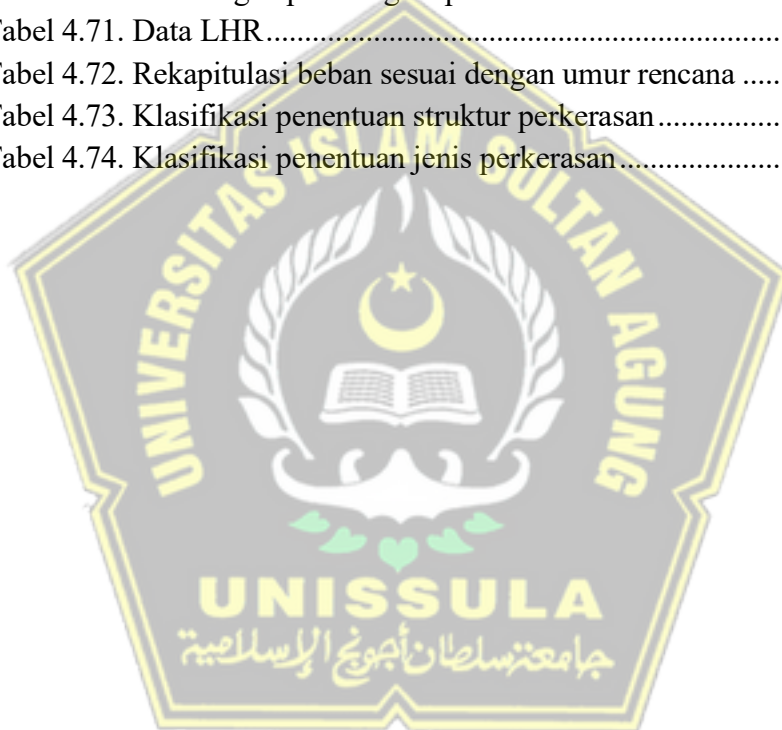
2.8. Perencanaan Bangunan Bawah	30
2.8.1. Perencanaan Abutment.....	30
2.8.2. Perencanaan Pilar	31
2.8.3. Perencanaan Pondasi.....	31
2.8.4. Perencanaan Dinding Penahan Tanah.....	32
2.9. Perencanaan Jalan Penghubung (Oprit)	33
2.10. Perencanaan Perkerasan Jalan.....	33
2.11. <i>Building Information Modelling</i> (BIM)	33
2.12. Dimensi BIM.....	34
2.13. Implementasi BIM pada Proyek Konstruksi	37
2.14. <i>Autodesk Revit</i>	38
2.15. SAP2000.....	38
BAB III METODE PENELITIAN.....	39
3.1. Jenis Penelitian	39
3.2. Pengumpulan Data	39
3.3. Pengolahan Data.....	41
3.4. Diagram Alir Perencanaan Jembatan	41
3.5. Tahapan Analisa Data	43
3.6. Penjadwalan Penelitian	49
BAB IV PEMBAHASAN	50
4.1. Perhitungan Konstruksi Jembatan.....	50
4.2. Analisa Beban	51
4.3. Analisa Struktur.....	59
4.3.1 Perencanaan Parapet.....	63
4.3.2 Perencanaan Trotoar.....	65
4.3.3 Perencanaan Kerb.....	69
4.3.4 Perencanaan Plat Lantai	72
4.3.5 Perencanaan Diafragma.....	76
4.3.6 Perencanaan Plat Deck	78
4.3.7 Perencanaan PCI Girder	81
4.3.8 Perencanaan Bearing pad	98
4.3.9 Perencanaan Pelat injak.....	102
4.3.10 Perencanaan Abutmen	110
4.3.11 Perencanaan Pilar.....	133
4.4. Pemodelan 3 Dimensi Jembatan Beton Prategang.....	143
BAB V KESIMPULAN	149
5.1. Kesimpulan.....	149
DAFTAR PUSTAKA.....	x

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Berat isi untuk beban mati.....	11
Tabel 2.2. Faktor beban untuk berat sendiri.....	12
Tabel 2.3. Faktor beban mati tambahan	13
Tabel 2.4. Faktor beban untuk beban lajur “D”	13
Tabel 2.5. Faktor beban untuk beban “T”	15
Tabel 2.6. Nilai V_{odan} Z_o untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu.	18
Tabel 2.7. Tekanan angin dasar	18
Tabel 2.8. Kelas situs	20
Tabel 2.9. Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA} / F_a)	21
Tabel 2.10. Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v).....	21
Tabel 2.11. Formula koefisien respon gempa elastic.....	22
Tabel 2.12. Zona Gempa.....	22
Tabel 2.13. Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah	23
Tabel 2.14. Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur.....	23
Tabel 2.15. Kombinasi beban pada jembatan	24
Tabel 2.16. Faktor reduksi kekuatan pada struktur beton.....	25
Tabel 2.17. Tahapan dan Keluaran BIM.....	37
Tabel 4.1. Analisa Beban Mati	51
Tabel 4.2. Analisa Beban Mati Tambahan.....	51
Tabel 4.3. Analisa Beban Lajur “D”	52
Tabel 4.4. Data tanah disekitar lokasi rencana jembatan.....	55
Tabel 4.5. Analisa desain spectra	56
Tabel 4.6. Zona Gempa.....	57
Tabel 4.7. Faktor modifikasi respon (R)	57
Tabel 4.8. Kombinasi beban pada jembatan	58
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Beban dan Momen yang Bekerja pada Parapet	63
Tabel 4.10. Hasil Analisa Perhitungan Beban Plat Lantai.....	73
Tabel 4.11. Perhitungan Analisa Beban yang Bekerja pada Plat Deck.....	79
Tabel 4.12. Properties Gelagar Prategang Non- Komposit	82
Tabel 4.13. Perhitungan Analisa Beban yang Bekerja pada Gelagar.....	84
Tabel 4.14. Perhitungan Analisa Beban Hdiup yang Bekerja pada Gelagar ..	85
Tabel 4.15. Kombinasi Pembebanan Momen	85
Tabel 4.16. Kombinasi Pembebanan Gaya Geser.....	86
Tabel 4.17. Spesifikasi Uncoated 7 Wire Super Strand ASTM A-416 Grade 270	87
Tabel 4.18. Eksentrisitas Tendon pada Tengah Bentang Gelagar.....	88
Tabel 4.19. Eksentrisitas Tendon pada Pangkal Bentang.....	88
Tabel 4.20. Analisis Koordinat Tendon pada Jarak x dan y.....	89

Tabel 4.21. Nilai Koefisien Kusut Selisih Waktu antara Pengecoran dan Stressing	91
Tabel 4.22. Rekapitulasi Gaya Kehilangan Prategang.....	92
Tabel 4.23. Tegangan pada Gelagar Ketika Jacking dan Konstruksi.....	93
Tabel 4.24. Pemeriksaan Lendutan pada Gelagar.....	94
Tabel 4.25. Distribusi Beban pada 1/4 dan 1/2 Bentang Gelagar.....	94
Tabel 4.26. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser.....	95
Tabel 4.27. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser.....	95
Tabel 4.28. Perencanaan Tulangan End Block	96
Tabel 4.29. Perencanaan Tulangan Bursting Zone	97
Tabel 4.30. Beban Vertikal Bearing Pad.....	99
Tabel 4.31. Beban Horizontal Bearing Pad.....	99
Tabel 4.32. Data Spesifikasi Elastomeric Bearing Pad 480x380x68mm.....	100
Tabel 4.33. Syarat Ketebalan Maksimum dan Minimum.....	101
Tabel 4.34. Data umum perencanaan abutment.....	110
Tabel 4.35. Perhitungan berat sendiri struktur atas.....	111
Tabel 4.36. Perhitungan berat sendiri abutment.....	112
Tabel 4.37. Rekapitulasi total berat sendiri (Ms).....	112
Tabel 4.38. Perhitungan gaya akibat tekanan tanah.....	113
Tabel 4.39. Distribusi beban gempa pada abutment arah memanjang.....	118
Tabel 4.40. Rekapitulasi pembebanan pada abutment.....	121
Tabel 4.41. Rekapitulasi kombinasi beban keadaan batas layan.....	122
Tabel 4.42. Kontrol stabilisasi guling arah x	122
Tabel 4.43. Kontrol stabilisasi guling arah y	123
Tabel 4.44. Kontrol stabilitas terhadap geser arah x.....	124
Tabel 4.45. Kontrol stabilitas terhadap geser arah y.....	124
Tabel 4.46. Rekapitulasi beban kondisi ultimit pada pile-cap.....	124
Tabel 4.47. Rekapitulasi beban kondisi ultimit pada breast wall	125
Tabel 4.48. Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada back wall bawah.....	125
Tabel 4.49. Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada back wall atas	125
Tabel 4.50. Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada corbel.....	125
Tabel 4.51. Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada wing wall..	125
Tabel 4.52. Rekapitulasi perhitungan daya dukung tiang.....	127
Tabel 4.53. Konfigurasi tiang fondasi untuk abutment.....	129
Tabel 4.54. Gaya aksial maksimum dan minimum fondasi abutment arah x.....	130
Tabel 4.55. Gaya aksial maksimum dan minimum fondasi abutment arah y.....	130
Tabel 4.56. Gaya lateral maksimum dan minimum fondasi abutment.....	131
Tabel 4.57. Kontrol daya dukung tiang fondasi abutment arah x.....	131

Tabel 4.58. Kontrol daya dukung tiang fondasi abutment arah y.....	131
Tabel 4.59. Kontrol daya dukung lateral tiang fondasi abutment	131
Tabel 4.60. Tulangan yang digunakan struktur abutment	132
Tabel 4.61. Data umum perencanaan pilar.....	133
Tabel 4.62. Rekapitulasi pembebanan pada pilar	134
Tabel 4.63. Rekapitulasi kombinasi beban keadaan batas layan.....	134
Tabel 4.64. Kontrol stabilisasi guling arah x	134
Tabel 4.65. Kontrol stabilisasi guling arah y	135
Tabel 4.66. Kontrol stabilitas terhadap geser arah x.....	135
Tabel 4.67. Kontrol stabilitas terhadap geser arah y.....	135
Tabel 4.68. Data umum fondasi pada pilar	136
Tabel 4.69. Daya dukung aksial pada fondasi pilar	137
Tabel 4.70. Penulangan pada bagian pilar.....	139
Tabel 4.71. Data LHR.....	140
Tabel 4.72. Rekapitulasi beban sesuai dengan umur rencana	140
Tabel 4.73. Klasifikasi penentuan struktur perkerasan.....	141
Tabel 4.74. Klasifikasi penentuan jenis perkerasan	142



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis-jenis jembatan.....	4
Gambar 2.2	Tampak I Girder	9
Gambar 2.3	Tampak U Girder	9
Gambar 2.4	Tampak T Girder	10
Gambar 2.5	Tampak Box Girder	10
Gambar 2.6	Faktor beban dinamis (DLA)	14
Gambar 2.7	Perencanaan beban truk.....	15
Gambar 2.8	Perencanaan jarak roda truk dalam meter.....	16
Gambar 2.9	Intensitas beban pejalan kaki.....	17
Gambar 2.10	Bentuk desain respon spectra	16
Gambar 2.11	Dimensi BIM	34
Gambar 2.12	shop drawing proyek jembatan	34
Gambar 2.13	3D Modeling Jembatan Beton Prategang	35
Gambar 2.14	Pemodelan 4D BIM pada proyek gedung.....	35
Gambar 2.15	Contoh BIM 5D	36
Gambar 2.16	Contoh Model Arsitektur Elemen Bangunan yang diimpor ke Analisis Energi	36
Gambar 2.17	Contoh Data dari Excel dimasukkan ke dalam Model BIM 7D	37
Gambar 3.1	Diagram alir perencanaan jembatan prestressed.....	42
Gambar 3.2	Lokasi perencanaan jembatan prestressed	43
Gambar 4.1	Tampak samping jembatan beton prategang Gempolsewu.....	50
Gambar 4.2	Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”52	
Gambar 4.3	Desain spectra gempa lokasi kelas-SE.....	57
Gambar 4.4	Pemodelan struktur atas jembatan dengan software SAP2000	59
Gambar 4.5	Tampilan model struktur geometri pada software SAP2000	59
Gambar 4.6	Tampilan define grid pada software SAP2000	59
Gambar 4.7	Tampilan define material pada software SAP2000	60
Gambar 4.8	Tampilan define frame section pada software SAP2000	60
Gambar 4.9	Tampilan define load pattern pada software SAP2000	60
Gambar 4.10	Tampilan define load case pada software SAP2000	61
Gambar 4.11	Tampilan define load combinations pada software SAP2000	61
Gambar 4.12	Tampilan draw frame pada software SAP2000	61
Gambar 4.13	Tampilan define load frame pada software SAP2000	62
Gambar 4.14	Tampilan assign run pada software SAP2000	62
Gambar 4.15	Tampilan hasil analisa pada software SAP2000.....	62
Gambar 4.16	Railing jembatan beton prategang gempolsewu.....	63
Gambar 4.17	Perencanaan Struktur Atas Jembatan Gempolsewu	72

Gambar 4.18 Perencanaan Tulangan Plat Lantai	75
Gambar 4.19 Rencana Desain Diafragma	76
Gambar 4.20 Perencanaan Tulangan Diafragma	78
Gambar 4.21 Dimensi Plat Deck Per Meter	78
Gambar 4.22 Perencanaan Tulangan Plat Deck	81
Gambar 4.23 Gelagar Prategang Komposit	83
Gambar 4.24 Grafik Koordinat Tendon	89
Gambar 4.25 Perletakan Tendon pada Tengah Bentang (Kiri) dan Pangkal Bentang (Kanan)	90
Gambar 4.26 Perencanaan Tulangan PCI Girder	98
Gambar 4.27 Potongan Memanjang Perencanaan Tulangan PCI Girder	98
Gambar 4.28 Spesifikasi Elastomeric Bearing Pad Menurut BMS BDM 7.1.1.	100
Gambar 4.29 Gambar Rencana Elastomeric Bearing Pad	101
Gambar 4.30 Letak Plat Injak	102
Gambar 4.31 Perencanaan pelat injak	108
Gambar 4.32 Tulangan utama dan tulangan bagi pada plat injak	108
Gambar 4.33 Tampak samping penulangan plat injak	108
Gambar 4.34 Letak abutment	109
Gambar 4.35 Notasi dimensi abutment	109
Gambar 4.36 Penomoran dimensi abutment	111
Gambar 4.37 Dimensi fondasi terhadap pile-cap abutmen	129
Gambar 4.38 Tampak depan dan samping pilar	133
Gambar 4.39 Potongan desain perkerasan	142
Gambar 4.40 Tampilan layar utama Revit 2023	143
Gambar 4.41 Tampilan layar membuat project baru	143
Gambar 4.42 Tampilan layar membuat grid dan leveling	144
Gambar 4.43 Tampilan layar Properties Extrusion	145
Gambar 4.44 Tampilan layar family PCI Girder	145
Gambar 4.45 Tampilan layar Model 3D Jembatan	146

REDESAIN JEMBATAN BETON PRATEGANG GEMPOLSEWU KECAMATAN ROWOSARI KABUPATEN KENDAL

Abstrak

Mobilitas atau pergerakan masyarakat semakin meningkat seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat. Untuk meningkatkan perekonomian diperlukan pengembangan infrastruktur yang berkelanjutan. Dalam menghubungkan wilayah yang terpisah oleh sungai diperlukan sarana infrastruktur pembangunan jembatan agar mobilisasi masyarakat dapat berjalan lancar. Pembangunan jembatan beton prategang di Gempolsewu, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal adalah salah satunya.

Perkembangan teknologi berpengaruh besar terhadap bidang konstruksi, maka dari itu perencanaan jembatan beton prategang di Gempolsewu, Kec. Rowosari, Kab. Kendal direncanakan menggunakan teknologi berbasis *Building Information Modelling* (BIM). Perencanaan jembatan meliputi perencanaan struktur atas, struktur bawah, bangunan pelengkap dan desain perkerasan jalan, serta pemodelan 3D bangunan jembatan.

Spesifikasi Jembatan Beton Prategang di Gempolsewu, Kec. Rowosari, Kab. Kendal adalah jembatan dengan bentang 2x40 meter kelas B klasifikasi Bina Marga, dengan PCI girder 2,1 m, lebar jembatan 7,5 m dengan lebar lantai kendaraan 6 meter, lebar trotoar 2 x 0,5m, kerb 2 x 0,15 m dan railing jembatan. Jembatan direncanakan terdapat abutment pada ujung jembatan serta pilar pada tengah bentang, dan fondasi *PC Spun Pile* kelas C D60, pilar *PC Spun Pile* kelas C D100. Analisa struktur pada struktur atas dan bawah dinyatakan aman terhadap gaya aksial, geser, momen dari beban yang diasumsikan. kontribusi tugas akhir ini kedepannya dapat dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: *Beton Prategang; BIM; Jembatan; PCI; Struktur.*

REDESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE BRIDGE IN GEMPOLSEWU ROWOSARI SUBDISTRICT KENDAL REGENCY

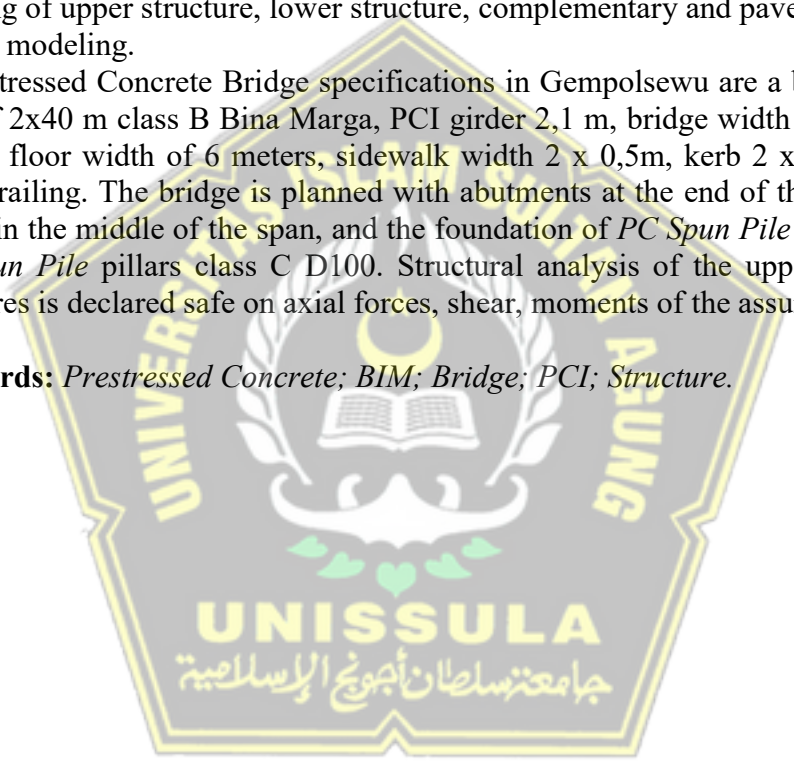
Abstract

The mobility of people increase along with the increasing people needs. Sustainable infrastructure development is needed to improve the economy. In connecting areas separated by rivers, bridge construction has the role to the efficient people mobilization. One of them is a pre-stressed concrete bridge construction in Gempolsewu, Rowosari, Kendal Regency.

The development of technology has a major effect on the construction field. The planning of a pre-stressed concrete bridge in Gempolsewu used *Building Information Modeling* (BIM) based technology. Bridge planning included the planning of upper structure, lower structure, complementary and pavement design, and 3D modeling.

Prestressed Concrete Bridge specifications in Gempolsewu are a bridge with a span of 2x40 m class B Bina Marga, PCI girder 2,1 m, bridge width 7,5 m with a vehicle floor width of 6 meters, sidewalk width 2 x 0,5m, kerb 2 x 0,15 m, and bridge railing. The bridge is planned with abutments at the end of the bridge and pillars in the middle of the span, and the foundation of *PC Spun Pile* class C D60, *PC Spun Pile* pillars class C D100. Structural analysis of the upper and lower structures is declared safe on axial forces, shear, moments of the assumed load.

Keywords: *Prestressed Concrete; BIM; Bridge; PCI; Structure.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mobilitas atau pergerakan masyarakat semakin lama semakin meningkat seiring dengan peningkatan kebutuhan masyarakat. Untuk mendukung mobilitas dan meningkatkan perekonomian diperlukan pengembangan infrastruktur yang berkelanjutan. Pengembangan infrastruktur dapat berupa pembangunan jembatan yang berfungsi untuk mempermudah mobilitas dari suatu tempat menuju tempat lain. Secara umum jembatan dapat didefinisikan sebagai suatu konstruksi yang menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah dikarenakan adanya pemisah seperti sungai, jalan, rel kereta api, danau, dan lain sebagainya. Dalam pelaksanaan pembangunan, perencanaan jembatan harus memperhatikan efisiensi dan efektifitas sehingga jembatan tersebut dapat memenuhi syarat kenyamanan dan keamanan bagi seluruh pengguna jembatan.

Pada saat ini perkembangan teknologi mengalami kemajuan yang sangat pesat berimbas juga pada bidang konstruksi ditandani dengan teknologi berbasis Industri 4.0 yaitu BIM (*Building Information Modelling*). Salah satu software BIM dalam dunia infrastruktur adalah Autodesk Revit. Autodesk Revit merupakan aplikasi BIM yang menampilkan model 3D yang dapat merencanakan sebuah proyek mulai dari detail-detail bangunan sampai pada penjadwalan dan maintenance dari bangunan.

Pada studi kasus didapatkan permasalahan infrastruktur yang tersedia untuk menopang mobilisasi masyarakat masih belum layak, guna meningkatkan infrastruktur yang dapat membantu mobilisasi masyarakat yang terpisahkan oleh sungai. maka, akan direncanakan sebuah jembatan beton prategang. Perencanaan pekerjaan konstruksi jembatan beton prategang ini meliputi analisa struktur dan permodelan 3D dengan berbasis *Building Information Modelling (BIM)* menggunakan *Autodesk Revit*. Lokasi perencanaan jembatan beton prategang direncanakan di Desa Gempolsek, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, Maka dapat dirumuskan masalah Tugas Akhir sebagai berikut:

1. Bagaimana perencanaan desain jembatan beton prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal dengan menggunakan *Building Information Modelling* (BIM)?
2. Bagaimana perencanaan perhitungan analisa struktur jembatan beton prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal dengan menggunakan *Building Information Modelling* (BIM)?

1.3. Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir adalah:

1. Merencanakan desain jembatan beton prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal dengan menggunakan *Building Information Modelling* (BIM)
2. Merencanakan perhitungan analisa struktur jembatan beton prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal dengan menggunakan *Building Information Modelling* (BIM)

1.4. Manfaat

Penulisan tugas akhir memiliki manfaat antara lain adalah:

1. Mengetahui desain jembatan beton prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal dengan menggunakan *Building Information Modelling* (BIM)
2. Mengetahui perencanaan perhitungan analisa struktur jembatan beton prategang Gempolsewu Kecamatan Rowosari Kabupaten Kendal dengan menggunakan *Building Information Modelling* (BIM)

1.5. Batasan Permasalahan

Dalam penulisan tugas akhir, terdapat beberapa batasan guna mempermudah pembahasan antara lain adalah:

1. Pada perencanaan hanya memodelkan dan menganalisa struktur bangunan jembatan menggunakan BIM dengan bantuan software Revit, Autocad, Sketchup dan SAP2000.
2. Pada perencanaan jembatan hanya memperhitungkan beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), beban akibat tekanan tanah (TA), beban lajur (TD), beban truck (TT), gaya rem (TB), beban pejalan kaki (TP), beban angin (EW), gaya gempa (EQ), dan gesekan pada perletakan (BF). Pembebanan jembatan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan.
3. Pembebanan pelat lantai jembatan, beban truck (TT) yang digunakan yaitu 500kN dengan konfigurasi sumbu 1-2-2 dan berat gandar depan 50kN serta berat gandar belakang masing-masing sebesar 225kN. Beban T yang digunakan untuk perhitungan pelat lantai jembatan sebesar 112,5kN.
4. Beban tumbukan kendaraan pada *railing* jembatan tidak diperhitungkan.
5. Drainase pada jalan pendekat dan jembatan tidak diperhitungkan.
6. Rencana Anggaran Biaya dan *Time Schedule* tidak direncanakan.

1.6. Sistematika Penyusunan Laporan

Dalam penulisan tugas akhir menggunakan sistematika sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN
Bab I berisi Latar Belakang, Permasalahan, Batasan Masalah, Maksud dan Tujuan, dan Sistematika Penulisan.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA
Bab II berisi kajian teori dasar yang mendukung serta menjelaskan topik secara menyeluruh yang digunakan dalam merealisasikan perencanaan desain dan struktur jembatan menggunakan BIM dan manual.
3. BAB III METODOLOGI PENULISAN
Bab III berisi konsep dan langkah-langkah dalam penelitian yang akan di lakukan di pembahasan.
4. BAB IV HASIL & PEMBAHASAN
Bab IV berisi tentang perhitungan dan pemodelan konstruksi jembatan.
5. BAB V PENUTUP
Bab V berisi kesimpulan serta saran berdasarkan hasil analisis penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

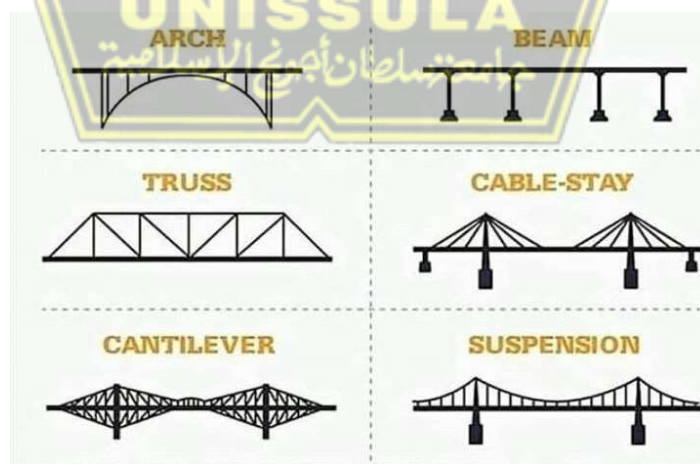
2.1. Dasar Teori Jembatan

Jembatan dapat didefinisikan sebagai suatu konstruksi yang berfungsi menghubungkan wilayah yang terpisah akibat beberapa kondisi antara lain lembah, sungai, danau, jalan kereta api, jalan raya. Berdasarkan UU No. 38 Tahun 2004 bahwa jalan dan bangunan atas jembatan termasuk bagian dari system transportasi nasional yang berperan penting dalam bidang ekonomi, sosial dan budaya agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah. Jembatan terbagi beberapa jenis berdasarkan bahan konstruksinya yaitu, jembatan kayu, jembatan komposit, jembatan baja dan jembatan beton.

Dalam perencanaan dan perancangan jembatan perlu memperhatikan beberapa fungsi kebutuhan estetika-arsitektural, transportasi, dan persyaratan teknis seperti aspek estetika, aspek lalu lintas, dan aspek teknis.

2.2. Jenis Jembatan

Jembatan mempunyai beragam variasi tergantung dari kontur permukaan tempat jembatan dibangun dan fungsi dari jembatan.



Gambar 2.1 jenis-jenis jembatan

Sumber: Arsip foto rangkumantekniksipil (2022)

Jembatan dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuknya antara lain:

1. *Truss bridge*

Truss bridge merupakan jembatan yang menggunakan kerangka truss dengan bentuk triangular sehingga dari segi konstruksi lebih kokoh. Tiang jembatan berbentuk segitiga dan menjadi kokoh karena terhubung dengan tiang lain. Beban tidak terkumpul pada satu titik tiang jembatan dikarenakan terdapat garis – garis diagonal yang digunakan untuk mentransfer beban ke area yang lain.

2. *Beam bridge*

Beam bridge atau jembatan girder merupakan jembatan dengan desain paling sederhana dibandingkan dengan desain jembatan lain. Jembatan girder biasanya digunakan untuk menghubungkan dua daerah yang berdekatan, contohnya daerah yang terpisah oleh sungai. *Beam bridge* berbentuk horizontal lurus dan menggunakan pondasi tiang vertikal untuk menyangga beban dari jembatan tersebut. Pondasi tiang vertikal tersebut dapat berupa pondasi tiang pancang dengan material baja atau beton dan ditancapkan ke dalam tanah sesuai dengan perhitungan perencanaan pondasi tiang pancang.

3. *Arch bridge*

Arch bridge atau jembatan pelengkung merupakan jembatan dengan ketahanan desain paling kuat dibandingkan dengan jembatan lain, dan menggunakan material paling hemat. Jembatan pelengkung ini dibuat secara melengkung seperti busur panah.

4. *Cable-stayed bridge*

Jembatan *cable stayed* merupakan jembatan gelagar menerus yang memanfaatkan kabel untuk memikul lantai jembatan. Kabel tersebut secara langsung ditumpu oleh tower yang ada di atas pilar – pilar jembatan di tengah bentang. Jembatan ini sangat tepat untuk digunakan pada daerah yang sering terkena gempa karena mempunyai titik pusat masa yang relative rendah dengan panjang bentang jembatan 100 – 600 meter.

5. *Suspension bridge*

Suspension bridge merupakan jembatan gantung yang bercirikan kabel utama sebagai rangka utama penyangga kabel gantung. Lantai jembatan tidak ditopang

oleh pilar; sebaliknya, ia digantung pada kabel. Gelagar dipasang setelah sistem kabel sebagai bagian dari proses launching jembatan.

Jika angin mempengaruhi jembatan karena lalu lintas yang lewat, jembatan tersebut mungkin diblokir sementara dan lalu lintas dihentikan untuk meminimalkan goyangan yang dapat membahayakan kendaraan. Jembatan gantung ini biasanya memiliki panjang bentang hingga 1400 meter.

Jembatan juga dapat dikelompokkan berdasarkan material dasarnya yaitu:

1. Jembatan kayu

Jembatan kayu merupakan struktur tahan lama yang memiliki kapasitas berat terbatas dan tidak dirancang untuk lalu lintas berkecepatan tinggi. Saat membangun jembatan kayu, penting untuk menganalisis prinsip mekanika dengan cermat untuk memastikan kekuatannya.

2. Jembatan pasangan batu

Jembatan pasangan batu merupakan konstruksi jembatan melengkung yang umum pada zaman dahulu namun tidak lagi digunakan dalam pembangunan jembatan modern.

3. Jembatan beton bertulang dan beton pratekan

Penggunaan beton bertulang biasanya digunakan untuk jembatan bentang panjang, namun jembatan beton pracetak juga dapat digunakan untuk bentang besar dan relatif mudah dibangun.

4. Jembatan baja

Jembatan baja biasanya digunakan untuk jembatan bentang panjang yang membutuhkan bantalan yang cukup besar. Jembatan baja tersedia dalam berbagai bentuk dan umum digunakan oleh masyarakat umum.

5. Jembatan komposit

Jembatan komposit adalah jembatan yang dibangun dengan menggunakan banyak material. Seperti baja, beton, dan sebagainya.

2.3. Jembatan Beton Prategang

Jembatan beton prategang merupakan jembatan beton bertulang yang mengalami tegangan tarik pada bagian sabuk akibat adanya bresing yang bekerja sehingga tegangan tarik tersebut berkurang. (Dilrijeln Bilna Marga, 2011). Jembatan beton

memiliki substruktur dengan pondasi, pilar, abutmen, dan penyangga bantalan. Struktur atas jembatan beton pracetak terdiri dari gelagar PCI, diafragma, pelat lantai, dan penyangga jembatan.

2.4. Material

Pembangunan sebuah jembatan memerlukan beberapa material untuk menghasilkan material tertentu yang sesuai dengan desain yang direncanakan. Pembangunan jembatan baja pracetak melibatkan penggunaan material baja pracetak dan material beton berkualitas tinggi (Yolanda D, 2017).

2.4.1. Material Beton prategang

Beton prategang merupakan beton yang diberikan tegangan tekan dalam guna mengurangi tegangan tarik potensial akibat dari beban yang bekerja (SNI 03-2847-2002). Beton diberi tegangan dengan cara menarik tulangan baja. Hasil dari gaya tarik ini adalah adanya keseimbangan antara gaya tarik pada beton dan gaya tarik pada baja, yang berkontribusi terhadap kinerja beton akibat adanya bresing kerja. Beton pracetak menggunakan beton mutu lebih rendah dibandingkan beton bertulang karena gaya tarik yang besar pada penampangannya. Beberapa keunggulan Beton Prategang yang signifikan dan diakui secara luas. Berikut sifat – sifat dari beton prategang yang penting diketahui :

- a. Susut (*Shrinkage*), usia beton yang semakin meningkat akan diikuti dengan berkurangnya volume adukan beton yang terjadi karena penguapan air adukan yang tidak terikat dengan semen, proses hidrasi, serta proses kimia.
- b. Rangkak (*Creep*), merupakan perubahan bentuk dimana bentuk tersebut tidak dapat kembali seperti semula yang terjadi karena adukan beton yang mengalami perubahan bentuk plastis.

2.4.2. Material Baja Prategang

Baja yang digunakan dalam jembatan prategang harus memiliki mutu yang tinggi hingga 1862 MPa atau lebih tinggi. Baja yang memiliki mutu tinggi seperti itu dapat memberikan keseimbangan karena kehilangan prategang. Baja bermutu tinggi juga mempunyai tegangan sisa yang digunakan untuk menahan kebutuhan gaya prategang. Kehilangan prategang terjadi antara 241 sampai 414 MPa, maka dari itu prategang awal harus tinggi antara 1241 – 1517 MPa (Nawy, 2001). Baja prategang

atau disebut juga tendon pada beton prategang menggunakan baja mutu tinggi dengan bentuk yang bervariasi. Bentuk variasi tendon sebagai berikut:

- a. Batang (*bar*), merupakan variasi tendon bentuk batang dengan penampang padat.
- b. Kabel (*wire*), merupakan tendon dengan penampang padat.
- c. Untaian kabel (*strand*), merupakan tendon dengan bentuk helical.

2.5. Profil Beton

Balok beton biasanya ditempatkan di antara dua penyangga, seperti pilar atau penyangga, yang dikenal sebagai Girder. Girder memiliki berbagai macam bentuk. Biasanya model roller memiliki bentuk profil I, namun ada juga variasi seperti profil U, T, semi T, atau kotak/box. Setiap rencana proyek dapat dipilih berdasarkan kebutuhan dan tujuan konstruksi.

Berikut penjelasan perbedaannya:

1. I-Girder

I-girder berbentuk balok huruf I atau yang dikenal juga dengan PCI Girder. PCI girder merupakan salah satu girder precast yang paling umum digunakan dalam konstruksi. Jenis girder ini terbuat dari bahan komposit atau nonkomposit dan paling sering digunakan dalam pembangunan jembatan di Indonesia.



Gambar 2.2 Tampak I Girder

sumber: produk wika beton (2023)

2. U-Girder

U-Girder merupakan girder dengan bentuk U atau disebut juga dengan PCU Girder. Jembatan yang menggunakan girder ini banyak dibangun pada lokasi yang memiliki lahan sempit. Jembatan dengan bentuk memanjang dapat menggunakan girder bentuk ini.



Gambar 2.3 Tampak U Girder

sumber: waskitaprecast (2023)

3. T-Girder

T-Girder merupakan girder yang terbuat dari material beton prategang atau beton bertulang dan baja komposit. T-Girder digunakan pada jembatan dengan bentang yang panjang dan tidak lebar, contohnya jembatan khusus jalur sepeda dan pedestrian.



Gambar 2.4 Tampak T Girder

sumber: waskitaprecast (2023)

4. Box Girder

Box girder dapat digunakan untuk pembuatan jembatan dengan bentang panjang contohnya jembatan layang. Umumnya, jenis girder ini digunakan untuk membangun jembatan melengkung. Box girder berbentuk trapesium atau berbentuk kotak dengan material beton baja.



Gambar 2.5 Tampak Box Girder

sumber: asiacon (2023)

2.6. Struktural Jembatan

Dalam perencanaan jembatan diperlukan aspek struktural yang menjamin pemberian jaminan keamanan, kenyamanan, dan ketahanan sepanjang umur desain jembatan. Dalam perancangan bangunan jembatan, memperhitungkan beban antara lain beban mati, beban lalu lintas, dan beban lainnya. Kombinasi beban yang dimasukkan dalam perhitungan ini mengikuti pedoman yang dituangkan dalam SNI 1725:2016.

2.6.1. Pemodelan Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur jembatan menggunakan syarat dan ketentuan “SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan”. Analisis pembebanan pada struktur jembatan menggunakan keadaan batas ultimit. Fungsi dari Analisis pembebanan yaitu untuk penilaian atau evaluasi layak atau tidaknya struktur jembatan serta untuk mendapatkan desain jembatan yang dapat menahan beban, sehingga jembatan mempunyai kinerja optimal selama umur rencana. Parameter pembebanan meliputi:

1. Beban Permanen
 - a. Berat sendiri (*MS*)
 - b. Beban mati tambahan (*MA*)
2. Beban Lalu Lintas
 - a. Beban lajur “D” (*TD*)
 - b. Beban truk “T” (*TT*)
 - c. Gaya rem (*TB*)
 - d. Beban pejalan kaki (*TP*)
3. Aksi Lingkungan
 - a. Beban angin (*Ew*)
 - b. Beban gempa (*EQ*)

2.6.1.1. Beban Permanen

Massa setiap struktur jembatan dievaluasi dengan mempertimbangkan gambar yang diberikan dan berat jenis material. Penentuan berat suatu komponen jembatan dilakukan dengan mengalikan massa potongan dengan percepatan gravitasi (*g*). Percepatan gravitasi standar, yang diwakili oleh nilai 9,81 m/detik. Dalam konteks desain jembatan, konsep massa jenis dan massa jenis digunakan untuk menjelaskan karakteristik berbagai bahan.

Tabel 2.1. Berat isi untuk beban mati

<i>Specific Gravity</i>	Notasi	Besar	Satuan
Beton Bertulang	<i>W_c</i>	2500	Kg/m ³
Beton tidak Bertulang	<i>W[']_c</i>	2400	Kg/m ³
Aspal	<i>W_a</i>	2200	Kg/m ³
Air	<i>W_w</i>	997	Kg/m ³
Baja	<i>W_b</i>	7850	Kg/m ³

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

Diharapkan bahwa setiap konstituen akan beroperasi sebagai satu kesatuan yang terintegrasi ketika dikenakan faktor beban standar dan pengurangan.

1. Berat Sendiri (*MS*)

Istilah “berat sendiri” dalam konteks jembatan mengacu pada massa agregat elemen struktural dan non-struktural yang dianggap diam. Faktor beban ditentukan dengan mengacu pada parameter yang tercantum pada tabel 3 Standar Nasional Indonesia (SNI) 1725-2016, yang berkaitan dengan kriteria pembebanan jembatan yang ditentukan. Biaya tetap yang direncanakan meliputi:

- a. Beban sendiri struktur,
- b. Trotoar setinggi 30 cm dari permukaan lantai kendaraan.

Tabel 2.2. Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

2. Beban Mati Tambahan (M_A)

Beban mati tambahan mengacu pada massa semua komponen non-struktural yang ada pada jembatan, dan jumlah ini dapat bervariasi sepanjang umur jembatan. Dalam desain jembatan, pertimbangan faktor beban mati ekstra melibatkan dua persyaratan berbeda: umum dan khusus. Kondisi ini bertujuan untuk memastikan pemantauan yang tepat untuk mencegah jembatan melebihi umur yang diharapkan. Faktor beban mati ditentukan berdasarkan spesifikasi yang terdapat pada tabel 4 SNI 1725-2016 Pembebanan Jembatan. Bahan-bahan yang diperiksa sebagai bagian dari analisis beban mati tambahan meliputi:

- Aspal dan overlay dengan total tinggi 10 cm,
- Genangan air hujan setinggi 5 cm,

Tabel 2.3. Faktor beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus	1,00	1,40	0,80

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

2.6.1.2. Beban Lalu Lintas

Analisis beban lalu lintas perlu disimulasikan secara *real* beban yang bekerja pada jembatan, sehingga dapat diperoleh *output* analisis jembatan seperti keadaan sebenarnya.

1. Beban Lajur "D" (TD)

Gaya yang diberikan oleh beban di jalur "D" terhadap lantai kendaraan menghasilkan dampak pada jembatan yang besarnya serupa dengan dampak yang dihasilkan oleh iring-iringan mobil asli. Beban yang diterapkan pada jalur "D" terdiri dari beban merata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) yang ditempatkan pada titik tengah. Faktor beban yang sesuai dengan baris "D" diwakili oleh ekspresi berikut:

Tabel 2.4. 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

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

a. Beban Terbagi Rata (BTR)

Beban yang terdistribusi secara merata ditandai dengan intensitas q kilopascal (kPa). Nilai q bergantung pada seluruh panjang beban, dilambangkan dengan L , dan dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

$$\text{Jika } L \geq 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

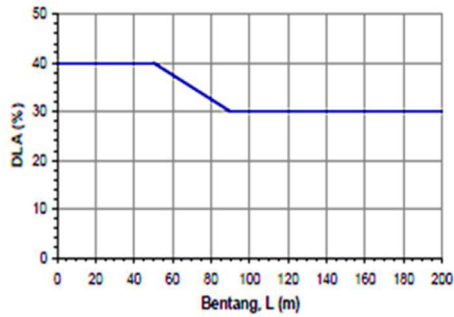
Keterangan:

q : Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan.

L : Panjang total jembatan yang dibebani (meter).

b. Beban Garis Terpusat (BGT)

Penempatan beban garis terpusat (BGT) tegak lurus dengan intensitas p kN/m dilihat terhadap arah lalu lintas di jembatan. Besarnya intensitas, dilambangkan dengan p , diukur sebesar 49,0 kilonewton per meter (kN/m). Perhitungan yang diberikan digunakan untuk menghitung faktor beban dinamis (juga dikenal sebagai Tunjangan Beban Dinamis) untuk KEL.



Gambar 2.6. Faktor beban dinamis (DLA)

sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan (2016)

$$DLA = 0,40$$

untuk, $L \leq 50 \text{ m}$

$$DLA = 0,40 - 0,0025 \times (L - 50)$$

untuk, $50 \text{ m} < L < 90 \text{ m}$

$$DLA = 0,30$$

untuk, $L \geq 90 \text{ m}$

c. Analisis Beban Lajur "D" (TD)

Penerapan beban terbagi rata (BTR) pada gelagar memanjang dan *bottom chord* dengan nilai setengah BTR sedangkan beban garis terpusat (BTR) pada tengah bentang gelagar melintang. Beban diperoleh dari persamaan berikut:

$$qTD = q \times s \quad \text{dengan satuan (kN/m)}$$

$$pTD = p \times (1 + DLA) \quad \text{dengan satuan (kN/m)}$$

Keterangan:

s = jarak antar gelagar melintang dalam meter.

2. Beban Truk "T" (TT)

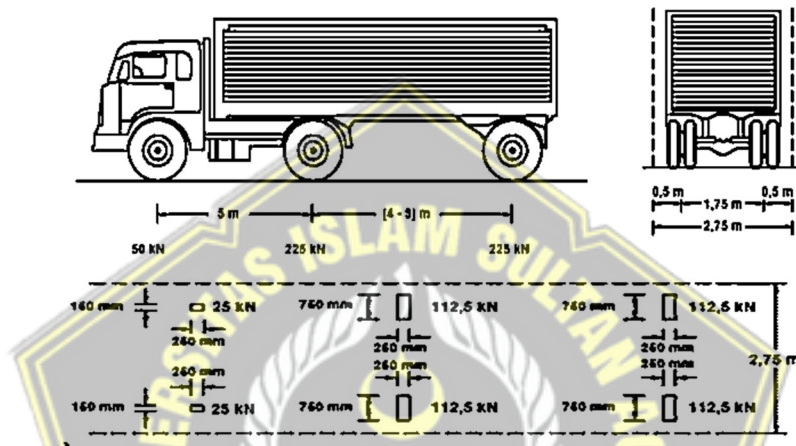
Truk muatan "T" merupakan satu kendaraan besar dengan 3 gandar yang dipasang di beberapa titik pada jalur lalu lintas yang telah ditentukan. Peran muatan truk adalah menghitung struktur lantai. Faktor muatan truk "T" tampak seperti tabel di bawah ini:

Tabel 2.5. Faktor beban untuk beban “T”

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

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

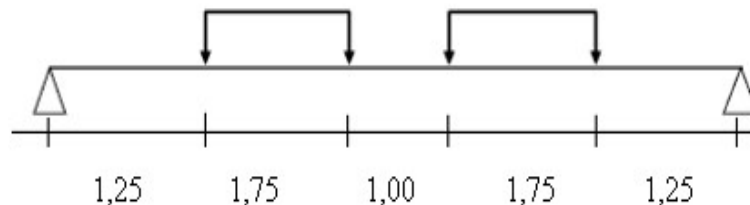
a. Perencanaan Beban Truk



Gambar 2.7. Perencanaan beban truk

sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan (2016)

Beban truk rencana sebesar 500 kN dari hasil total seluruh berat roda gandar. Berat dari tiap gandar direncanakan berada pada tiga gelagar melintang tengah bentang. Jembatan direncanakan dengan dua lajur dan dibebankan dua truk pada saat di tengah bentang dengan jarak sesuai dengan roda truk. Simulasi beban seperti gambar dibawah:



Gambar 2.8. Perencanaan jarak roda truk dalam meter

sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan (2016)

b. Analisis Beban Truk

Sebelum beban truk di *input* ke *software SAP2000*, beban truk perlu dianalisis terlebih dahulu pada setiap roda gandar truk. Analisis beban setiap gandar didapat dari persamaan berikut:

$$PTT = p \times (1 + DLA) \quad \text{dalam satuan (kN)}$$

Keterangan:

$$p = \text{beban setaip gandar truk (kN)}$$

3. Gaya Rem (*TB*)

Gaya rem direncanakan menjadi beban pada setiap join antara pertemuan gelagar memanjang dan melintang dengan arah x. Analisis gaya rem melibatkan penentuan nilai yang lebih tinggi antara 25% dari berat poros truk sesuai spesifikasi desain, dan 5% dari berat truk sesuai spesifikasi desain, selain beban lajur BTR. Pada jembatan dengan beban lajur "D" melebihi bentang 30meter tidak mengalami reduksi (khusus beban rem) menurut KKUT Truck. Analisis gaya rem dihasilkan dari persamaan berikut:

$$TB = 5\% \times q \times CTC \times L \quad \text{dalam satuan (kN)}$$

Keterangan:

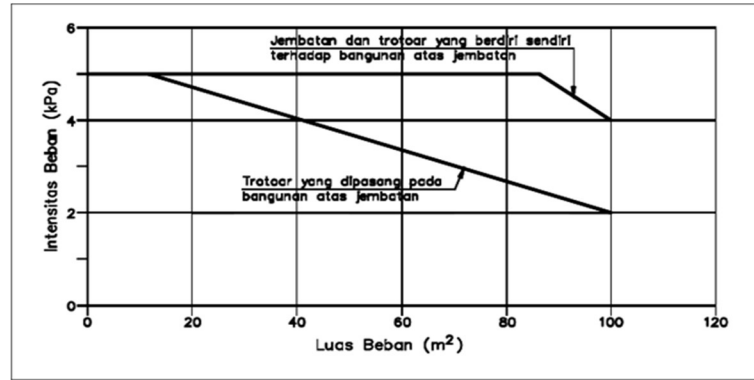
$$q = \text{intensitas beban BTR (kN/m}^2\text{)}$$

$$CTC = \text{jarak antar gelagar melintang (m)}$$

$$L = \text{bentang jembatan (m)}$$

4. Beban Pejalan Kaki (*TP*)

Intensitas beban pejalan kaki pada jembatan ditentukan oleh luas spesifik yang menerima pembebanan, dengan intensitas 5,00 kPa. Perencanaan beban pejalan kaki diasumsikan sebagai beban merata pada trotoar.



Gambar 2.9. Intensitas beban pejalan kaki
sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan (2016)

2.6.1.3. Beban Aksi Lingkungan

Faktor lingkungan yang dipertimbangkan dalam perancangan jembatan adalah beban angin dan beban gempa. Penentuan besaran beban desain diperoleh dari studi seismik yang dilakukan terhadap kejadian yang terjadi di sekitar lokasi perencanaan jembatan.

1. Beban angin (Ew)

a. Tekanan angin horizontal

Penentuan tekanan angin didasarkan pada pertimbangan angin desain, yang ditentukan oleh kecepatan dasar (V_B) yang berkisar antara 90 hingga 126 km/jam. Metodologi yang digunakan untuk menentukan kecepatan angin rencana (V_{DZ}) untuk ruas jembatan yang terletak pada ketinggian di atas 10.000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan laut dapat diuraikan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

Keterangan:

V_{DZ} = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_0 = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm diatas permukaan tanah atau air rencana (km/jam)

V_B = kecepatan angin rencana 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm

Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)

Z_0 = kecepatan gesekan angin untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

V_{10} = panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

V_{10} diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan, dan
- Jika tidak ada data yang lebih baik, dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ hingga 126 km/jam

Tabel 2.6. Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,20	17,60	19,30
Z_0 (mm)	70,00	1000,00	2500,00

Sumber: SNI 1726-2016 Pembebanan untuk Jembatan

b. Beban Angin pada Struktur (E_{ws})

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tekanan angin rencana dalam satuan megapascal (MPa) adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

P_B = tekanan angin dasar seperti yang ditentukan pada tabel dibawah (Mpa)

Tabel 2.7. Tekanan angin dasar

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

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

Penting untuk memastikan bahwa gaya keseluruhan beban angin tidak diremehkan, dengan kebutuhan minimum sebesar 4,4 kN/mm pada bidang kompresi dan 2,2 kN/m pada bidang isap. Selain itu, balok dan balok penopang juga harus memenuhi persyaratan gaya minimum sebesar 4,4 kN/mm.

c. Beban dari Struktur Atas

Komponen jembatan yang dipertimbangkan diperkirakan akan terkena dampak paling signifikan oleh perubahan arah angin. Penerapan gaya angin transversal dan longitudinal secara bersamaan sangat penting dalam proses perencanaan.

1) Beban angin tekan dan hisap

Perencanaan beban angin tekan pada arah y disalah satu rangka jembatan sedangkan beban angin hisap pada satu rangka sisanya, sehingga beban angin tekan dan hisap diasumsikan sebagai beban *joint* di setiap titik rangka jembatan. Perhitungan beban angin tekan dihitung seperti persamaan berikut:

$$E_W = \frac{P_D \times A_b}{\Sigma Joint}$$

2) Beban angin pada kendaraan

Untuk menjaga integritas struktural, jembatan harus dirancang dengan cermat untuk menahan tekanan akibat angin yang menimpa kendaraan. Tekanan yang diberikan dianggap nilai konsisten sebesar 1,46 N/mm, bekerja tegak lurus dan ditempatkan pada ketinggian 1800 mm dari permukaan jalan. Analisis ini menganggap beban angin yang diberikan pada kendaraan sama dengan beban yang dikenakan pada sambungan.

2. Beban Gempa (EQ)

Jembatan dirancang dengan kemungkinan kegagalan struktural yang minimal, namun tetap rentan terhadap kerusakan besar dan gangguan layanan akibat aktivitas seismik. Syarat dan ketentuan untuk menganalisis gaya gempa pada jembatan merujuk pada “**SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa**”. Analisis gaya gempa diperoleh dari persamaan berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Keterangan:

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respons seismic

R = faktor modifikasi respons

W_t = berat total struktur dari beban mati dan hidup sesuai perencanaan (kN)

a. Definisi kelas situs

Klasifikasi situs tersebut ditetapkan berdasarkan temuan yang diperoleh dari analisis lapangan dan laboratorium yang dilakukan pada lapisan tanah setebal 30 meter.

Tabel 2.8. Kelas situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah sangat padat dan batuan lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atu setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25 \text{ kPa}$		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat 20eismic20e, tanah tersegmentasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan $> 3\text{m}$)		
Kelas Situs	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
	- Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5 \text{ m}$ dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35\text{m}$		

Tabel yang ditunjukkan di atas menampilkan kecepatan rambat geser rata-rata yang diperoleh dari uji penetrasi tipikal, bersama dengan kuat geser tak terdrainasi. Ketebalan lapisan tanah digunakan sebagai faktor pembobotan dalam perhitungan, dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{V_{si}}\right)}$$

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

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{S_{ui}}\right)}$$

Keterangan:

t_i = tebal lapisan tanah ke-i,

V_{si} = kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i,

N_i = nilai hasil uji penetrasi standar lapisan tanah ke-i,

S_{ui} = kuat geser tak terdrainase lapisan tanah ke-i,

m = jumlah lapisan tanah yang ada diatas batuan dasar,

$\sum_{i=1}^m t_i = 30 \text{ m.}$

b. Faktor situs

Untuk memastikan respon spektral di permukaan bumi, maka digunakan Faktor amplifikasi PGA baik untuk periode pendek ($T = 0,2$ detik) dan periode panjang ($T = 1$ detik). Faktor penguatan mencakup beberapa elemen yang berkontribusi terhadap penguatan getaran. Variabel yang digunakan antara lain faktor amplifikasi getaran pada batuan dasar yang berhubungan dengan percepatan diberi label F_{PGA} , faktor amplifikasi untuk getaran periode pendek yang diberi label F_a , dan faktor amplifikasi untuk getaran periode 1 detik yang diberi label F_v .

Tabel 2.9. Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)

Kelas Situs	PGA≤0,1 Ss ≤ 0,5	PGA=0,2 Ss = 0,5	PGA=0,3 Ss = 0,75	PGA=0,4 Ss = 1,0	PGA>0,5 Ss ≥ 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

Tabel 2.10. Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas Situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
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

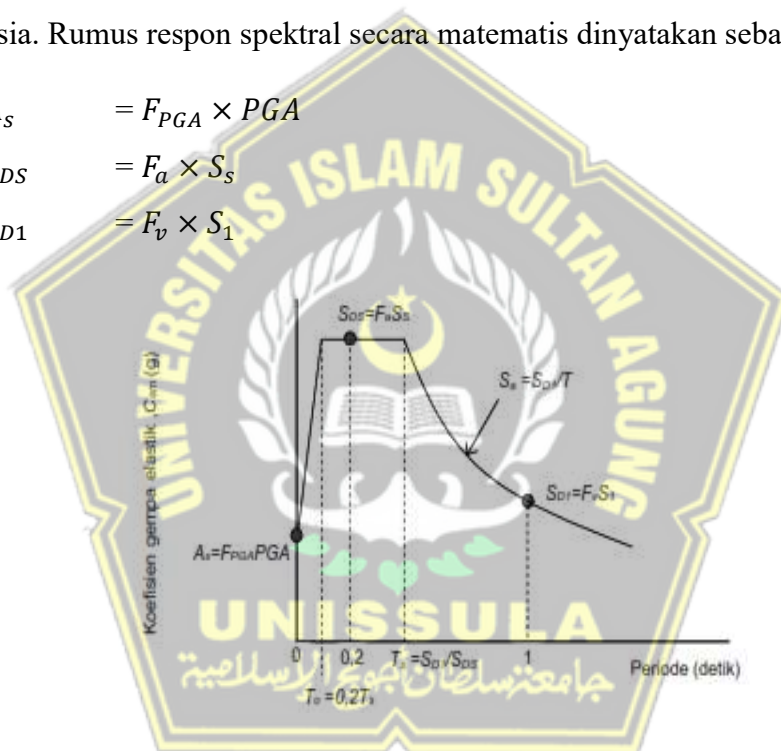
c. Respon spektra rencana

Konsep desain respons spektrum berkaitan dengan penilaian bahaya seismik di Indonesia. Rumus respon spektral secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA$$

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

$$S_{D1} = F_v \times S_1$$



Gambar 2.10. Bentuk desain respon spectra

Sumber: SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa (2016)

d. Koefisien gempa elastic

Tabel 2.11. Formula koefisien respon gempa elastic

Formula (C_{sm})	Keterangan
$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s$	$T < T_0$
$C_{sm} = S_{DS}$	$T_0 \leq T \leq T_s$
$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$	$T > T_s$

Sumber: SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa

Keterangan:

S_{DS} = nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T = 0,2$ detik)

S_{D1} = nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

$T_0 = 0,2 T_S$

$T_S = S_{D1}/S_{DS}$

e. Kategori kinerja seismik

Berdasarkan desain spektra percepatan periode 1 detik (S_{D1}) dapat ditentukan zona gempa jembatan. Klasifikasi zona gempa dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 2.12. Zona Gempa

Koefisien Percepatan (S_{D1})	Zona Gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

Sumber: SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa

f. Faktor modifikasi respon

Proses penghitungan gaya gempa rencana pada komponen struktur substruktur dan jembatan memerlukan pembagian gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respon (R). Penggunaan komponen modifikasi respons harus mematuhi pedoman yang ditentukan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2.13. Faktor modifikasi respon (R) untuk bangunan bawah

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Sumber: SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa

Tabel 2.14. Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur

Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Sumber: SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa

2.6.2. Kombinasi Beban

Perencanaan ulang jembatan menggunakan kombinasi beban seperti berikut:

Tabel 2.15. Kombinasi beban pada jembatan

Jenis Kombinasi	Formula									
	<i>MS</i>	<i>MA</i>	<i>TD</i>	<i>TT</i>	<i>TB</i>	<i>TP</i>	<i>EWS</i>	<i>EWI</i>	<i>EQX</i>	<i>EQY</i>
Kuat 1 TD	1,1	2,0	1,8		1,8	1,8				
Kuat 1 TT	1,1	2,0		1,8	1,8	1,8				
Kuat 2 TD	1,1	2,0	1,4		1,4	1,4				
Kuat 2 TT	1,1	2,0		1,4	1,4	1,4				
Kuat 3	1,1	2,0					1,4			
Kuat 5	1,1	2,0					0,4	1,0		
Layan 1 TD	1,0	1,0	1,0		1,0	1,0	0,3	1,0		
Layan 1 TT	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0	0,3	1,0		
Ekstrem 1 TD	1,1	2,0	0,5		0,5	0,5			1,0	1,0
Ekstrem 1 TT	1,1	2,0		0,5	0,5	0,5			1,0	1,0
Gempa SNI 2016 TD	1,0	1,0	0,5		0,5	0,5			0,3	1,0
Gempa SNI 2016 TT	1,0	1,0		0,5	0,5	0,5			1,0	0,3

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

Dalam menganalisis besar lendutan, gaya aksial tekan, momen lentur dan gaya geser pada jembatan diperlukan kombinasi seperti diatas. Kombinasi pembebanan daya layan digunakan untuk menghitung besarnya lendutan yang terjadi sedangkan kombinasi kuat digunakan untuk menentukan kontrol gaya dalam profil. Hasil analisis tersebut menggunakan bantuan program SAP2000.

2.6.3. Faktor Reduksi

Perencanaan faktor reduksi mengacu pada “RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan”.

Tabel 2.16. Faktor reduksi kekuatan pada struktur beton

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)
a. Lentur	0,80
b. Geser dan Torsi	0,70
c. Aksial tekan	
1. Dengan tulangan spiral	0,70
2. Dengan Sengkang biasa	0,65
d. Tumpuan Beton	0,70

Sumber: RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan

2.7. Perencanaan Bangunan Atas

Perencanaan bangunan atas dijabarkan sebagai berikut:

2.7.1. Perencanaan Sandaran atau parapet

Jembatan dilengkapi dengan sandaran yang berfungsi untuk pengaman pejalan kaki atau pembatas supaya saat melintasi jembatan tidak terjatuh pada sisi luar jembatan.

Konstruksi sandaran terdiri dari :

1. *Raill Post* atau Tiang Sandaran, pada umumnya direncanakan menggunakan beton bertulang untuk jembatan dengan balok girder, sedangkan sandaran pada jembatan rangka baja dibuat menyatu dengan struktur utama.
2. *Hand Raill* atau sandaran, terbuat dari material beton bertulang, kayu, atau pipa besi.

Pada tepi trotoar terdapat tiang – tiang sandaran yang harus diperhitungkan agar dapat menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m yang bekerja pada tinggi 90 cm diatas lantai trotoar menurut PPPJR 87 Bab III pasal 1 (2) 2.5 tentang beban pada trotoar, kerb dan sandaran. Langkah-langkah perencanaan sandaran diuraikan sebagai berikut:

1. Menentukan mutu dan profil sandaran (pipa baja),
2. Menentukan Panjang sandaran yang menumpu pada rangka jembatan,
3. Pembebanan sandaran direncanakan vertical (qV) dan Horizontal (qH),
4. Analisa struktur sandaran
5. Kontrol gaya pada sandaran
 - a. Kontrol Momen

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} \leq \bar{\sigma}_{ijin}$$

b. Kontrol Geser

$$\bar{C} = \frac{D}{A} \leq \bar{C} \text{ ijin}$$

c. Kontrol lendutan

$$\delta \leq \delta \text{ ijin}$$

2.7.2. Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai digunakan untuk tujuan penyangga bantalan, khususnya untuk bantalan truk "T". Jembatan Dasar telah didesain ulang dengan pelat lantai beton. Pelat lantai terdiri dari dua jenis rel: pelat satu arah yang perbandingan antara tumpuan memanjang dan melintang > 2 , sehingga pelat dapat dipisahkan oleh tumpuan terdekat. Pelat dua arah dicirikan oleh perbandingan tumpuan pelat memanjang dengan tumpuan pelat melintang ≤ 2 . Balok dibagi menjadi empat baris, terdiri dari tumpuan melintang dan memanjang. Proses perencanaan pelat lantai diuraikan di bawah ini :

1. Menentukan dimensi pelat lantai
2. Mengidentifikasi Pelat
3. Menentukan mutu beton ($f'c$) dan baja tulangan (f_y)
4. Menganalisa pembebanan struktur pelat lantai
5. Menganalisa penulangan pada pelat lantai
6. Menentukan spesifikasi dek baja bergelombang atau CSP
7. Kontrol geser pons terhadap pelat lantai

Persamaan untuk menentukan plat lantai jembatan diuraikan dalam persamaan berikut:

$$200 \leq (h_{\text{plat}}) \geq 100 + 0,04 L$$

Setelah menentukan tebal plat lantai jembatan, kemudian dapat dilakukan analisa beban dengan parameter – parameter berikut ini :

1. Tebal aspal (h_{aspal})
2. Tebal lapisan air hujan (h_{hujan})
3. Mutu beton
4. Mutu baja tulangan
5. Berat jenis beton (2400 kg/m^3)
6. Berat jenis aspal (2200 kg/m^3)
7. Berat jenis air hujan (1000 kg/m^3)

2.7.3. Perencanaan Trotoar

Fungsi dari trotoar adalah untuk memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pejalan kaki. Trotoar merupakan plat beton yang diletakkan diatas pelat lantai. Konstruksi trotoar diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 500 kg/m^2 menurut PPPJR 87 Bab III 1 (2) 2.5 tentang beban pada trotoar, kerb dan sandaran. Perencanaan trotoar perlu memperhatikan beberapa langkah berikut:

1. Menentukan mutu beton ($f'c$) dan baja tulangan (f_y)
2. Menentukan dimensi rencana trotoar
3. Analisa beban dan momen pada trotoar
4. Analisa penulangan pada trotoar,
5. Kontrol kapasitas penampang

2.7.4. Perencanaan Gelagar Memanjang

Gelagar berfungsi sebagai penahan beban pelat lantai, beban perkerasan, beban genangan air, beban *bridge deck*, beban lalu lintas "D" dan beban truk "T". Pada perencanaan jembatan ini gelagar memanjang yang digunakan adalah gelagar balok prategang (PCI Girder). Penampang balok prategang harus dianalisis dalam dua kondisi, yakni dalam kondisi non-komposit (tanpa plat) dan kondisi komposit (dengan plat). Perencanaan gelagar balok prategang perlu memperhatikan parameter-parameter perhitungan bebannya sebagai berikut :

1. Lebar Jembatan
2. Panjang Jembatan (L)
3. Tinggi girder + plat deck
 $h = 0.045L$ (Berdasarkan AASHTO LRFD 2017)
4. Jarak antar Girder
5. Mutu beton (f_c')

Setelah memperhatikan parameter-parameter perhitungan bebannya selanjutnya dilakukan perencanaan gelagar balok prategang dengan langkah- langkah berikut:

1. Menentukan mutu beton serta dimensi profil
2. Analisa beban sebelum dan sesudah komposit
3. Kontrol penampang sebelum dan sesudah komposit
4. Kontrol penampang untuk kuat geser rencana
5. Analisa Perhitungan gaya prategang

2.7.5. Perencanaan Gelagar Melintang atau diafragma

Pada perencanaan struktur gelagar melintang atau diafragma, hanya beban pada diafragma yang diperhitungkan, yang berarti diafragma tidak menahan beban apa pun. Saat merencanakan konstruksi melintang atau diafragma, parameter berikut dapat dipertimbangkan :

1. Mutu beton (f_c')
2. Tinggi diafragma (h)
3. Tebal diafragma (t)
4. Selimut beton
5. Mutu baja tulangan (f_y)
6. Diameter tulangan utama
7. Diameter tulangan bagi
8. Tinggi efektif (d)

Selanjutnya dilakukan perencanaan gelagar melintang atau diafragma dengan langkah- langkah berikut:

1. Menentukan mutu beton serta dimensi profil
2. Analisa gaya pada gelagar melintang atau diafragma
3. Kontrol profil gelagar melintang atau diafragma

2.7.6. Perencanaan Pelat Deck

Perhitungan pembebanan mempertimbangkan material tumpuan yang diberikan oleh pelat deck, beban lantai, beban lapisan aspal, dan beban pelat deck. Perencanaan pelat deck harus mencakup berbagai aspek, antara lain sebagai berikut:

1. Mutu beton (f_c')
2. Lebar pelat deck (L)
3. Panjang pelat deck (P)
4. Tebal pelat deck (t)

2.7.7. Perencanaan Perletakkan

Desain perletakkan menggunakan elastomeric bearing pada gelagar yang berfungsi sebagai gelagar penampang atau bantalan akibat deformasi geser dan deformasi rotasi struktur jembatan. Elastomeric mengembangkan kapasitas untuk memecahkan kesulitan yang berkaitan dengan pergerakan struktural, getaran memanjang, melintang, rotasi, dan mengisolasi. Bantalan bantalan elastomeric

terdiri dari banyak lapisan karet yang dipisahkan oleh pelat baja. Perencanaan elastomer mengacu pada *Bridge Management System Bridge Design Manual Volume 1 Section 7 Design Of Bearings And Deck Joint*. Perletakan jembatan juga berfungsi sebagai peredam getaran sehingga abutment tidak mengalami kerusakan. Perencanaan perletakan dianalisa pada keadaan batas layan.

2.7.8. Perencanaan Pelat Injak

Pelat injak merupakan suatu struktur beton yang terletak di ujung jalan jembatan tepat sebelum bagian utama jembatan. Pelat injak direncanakan diantara jalan pendekat dan kepala jembatan. Pelat injak memiliki beberapa fungsi antara lain adalah:

1. Menghubungkan jalan dan jembatan
2. Mencegah penurunan pada tanah dasar di belakang jembatan yang diakibatkan adanya beban kendaraan sebagai beban terpusat.
3. Meratakan beban akibat kendaraan sehingga mengurangi tekanan tanah terhadap dinding abutment.

Perencanaan pelat injak perlu memperhatikan beberapa hal antara lain:

1. Menentukan data geometris jembatan
2. Menentukan mutu beton (f'_c), baja tulangan (f_y)
3. Menentukan berat jenis
4. Analisa beban
5. Analisa penulangan pelat injak.

2.8. Perencanaan Bangunan Bawah

Fungsi dari bangunan bawah yaitu menahan beban struktur atas dan menyalurkan beban dari struktur bangunan atas ke tanah dasar. Bangunan bawah jembatan meliputi fondasi, abutment, dan pilar. Perencanaan bangunan bawah menggunakan material dari baja, beton pratekan, atau beton bertulang.

2.8.1. Perencanaan Abutment

Fungsi abutment yaitu menyalurkan beban dari struktur atas jembatan ke struktur fondasi, selain itu abutment berfungsi sebagai peralihan anatara jalan pendekat (oprit) ke lantai jembatan. Berikut tiga jenis abutment :

1. Abutment tembok penahan

Abutment tembok penahan adalah timbunan jalan yang tertahan pada batas – batas pangkal dengan tembok penahan yang didukung oleh fondasi.

2. Abutment kolom (*Spill-Through*)

Abutment kolom terdiri dari tembok kepala dan balok kepala yang didukung oleh rangkaian tiang – tiang fondasi. Timbunan diijinkan berada pada abutment kolom.

3. Pangkal tanah bertulang

Pangkal digunakan untuk memperkuat timbunan.

Analisa pembebanan pada abutment memperhitungkan beban mati, beban hidup, Aksi lingkungan dan tekanan tanah. Perencanaan abutment diuraikan sebagai berikut:

1. Menentukan data umum dan teknis jembatan
2. Menentukan berat jenis
3. Analisa pembebanan pada abutment
4. Analisa kombinasi beban kerja
5. Menghitung momen, gaya yang terjadi akibat kombinasi beban
6. Menentukan dimensi
7. Kontrol stabilitas Abutment
8. Analisa penulangan abutment

2.8.2. Perencanaan Pilar

Pilar merupakan struktur beton bertulang yang berada diatas struktur pondasi. Beban - beban yang dihasilkan dari struktur atas jembatan akan disalurkan oleh pilar menuju pondasi jembatan. Dalam perencanaan pilar memerlukan data – data tanah antara lain :

1. Nilai kohesi tanah,
2. Sudut geser tanah,
3. Berat jenis tanah
4. Dan data tanah lain.

2.8.3. Perencanaan Pondasi

Pondasi berfungsi untuk menyalurkan beban – beban yang berasal dari bangunan diatas pondasi kedalam tanah dasar. Pondasi juga harus direncanakan dengan baik

agar dapat menahan gaya – gaya dari dalam tanah. Pemilihan jenis pondasi berdasarkan jenis tanah serta beban rencana yang harus dipikul. Berikut merupakan tipe – tipe pondasi :

1. Pondasi Telapak

Kriteria penggunaan pondasi telapak antara lain :

- a. Tanah keras terletak pada kedalaman 0,6 – 5 meter
- b. Memiliki tanah dengan kapasitas dukung ijin $> 2,0 \text{ kg/cm}^2$
- c. Apabila digunakan untuk pondasi jembatan, kedalaman alas pondasi berada > 3 meter dibawah dasar sungai serta terhindar dari bahaya penggerusan baik secara vertikal maupun horizontal.

2. Pondasi Sumuran

Penggunaan dan perencanaan pondasi sumuran memuat beberapa persyaratan antara lain adalah:

- a. Tanah keras berada pada kedalaman maksimal 15 meter dan memiliki daya dukung tanah ijin $> 3,0 \text{ kg/cm}^2$ atau $4 \leq Dr/B < 10$.
- b. Pembuatan pondasi sumuran dilakukan dengan menggali tanah berbentuk lingkaran dengan diameter minimal 80 cm.
- c. Pelaksanaan pondasi sumuran tidak dianjurkan dengan menggali tanah secara terbuka dikarenakan akan merusak struktur tanah sekitar.
- d. Pangkal dari jembatan harus diperhitungan dengan baik agar mampu menahan bahaya penggerusan.
- e. Apabila digunakan sebagai pondasi jembatan, terletak > 4 meter dibawah dasar sungai agar terhindar dari bahaya penggerusan baik vertikal maupun horizontal.

3. Pondasi Bored Pile

Pembuatan pondasi bored pile dilakukan dengan pengeboran dan penggalian setelah itu dapat dicor di tempat. Pondasi bored pile dapat dibangun pada lokasi yang padat bangunan karena pembangunan pondasi ini tidak menimbulkan suara bising serta tidak menimbulkan negatif dari getaran yang dihasilkan selama pembangunan.

4. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang digunakan pada tanah keras yang berada jauh dibawah permukaan tanah dasar dengan kedalaman 8 – 40 meter. Tiang pancang beton memiliki berbagai macam bentuk seperti segi empat, lingkaran maupun bentuk tak teratur. Apabila terdapat nilai konus (qc) pada lapisan tanah sebesar 60 – 80 kg/cm^2 maka perlu dilakukan penggalian (*preboring*).

2.8.4. Perencanaan Dinding Penahan Tanah

Kondisi geologis sekitar jembatan terdapat sungai yang berpotensi menyebabkan gerusan air. Oleh sebab itu, diperlukan struktur sebagai pelindung jembatan supaya terhindar dari pengikisan tanah akibat aliran sungai. Pada daerah rawan dan rentan terhadap pengikisan perlu direncanakan dinding penahan tanah. Kegunaan lain dari dinding penahan tanah yaitu mencegah terjadinya keruntuhan tanah serta menjaga stabilitas jalan pendekat atau oprit pada jembatan. Perencanaan dinding penahan tanah memerlukan data tanah antara lain adalah:

1. Nilai kohesi tanah,
2. Sudut geser tanah,
3. Berat jenis tanah
4. dan data tanah lain.

Dinding penahan tanah dapat dibuat menggunakan material batu kali agar ekonomis tanpa mengesampingkan mutu material serta kekuatan dari material tersebut.

2.9. Perencanaan Jalan Penghubung (Oprit)

Oprit merupakan jalan peralihan menuju lantai jembatan. Oprit berada di belakang abutment dan diperhitungkan untuk menghindari penurunan. Dalam perencanaan oprit perlu diperhatikan beberapa hal :

1. Volume lalu lintas
2. Tipe dan kelas jembatan
3. Tebal perkerasan

2.10. Perencanaan Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan berfungsi untuk memberikan pelayanan transportasi selama masa layan. Lapisan perkerasan jalan terletak diatas lapisan tanah dasar (Sukirman, 2003). Berikut beberapa tipe perkerasan jalan berdasarkan bahan pengikatnya :

1. Tipe perkerasan lentur

Lapisan – lapisan perkerasan lentur memiliki sifat sebagai pemikul dan menyebarkan beban dari lalu lintas. Bahan pengikat perkerasan ini menggunakan aspal.

2. Tipe perkerasan kaku

Bahan pengikat dari perkerasan kaku yaitu semen portland. Perkerasan ini menggunakan pelat beton dengan atau tanpa tulangan. Sebagian besar beban dari lalu lintas dipikul oleh pelat beton.

3. Tipe perkerasan komposit

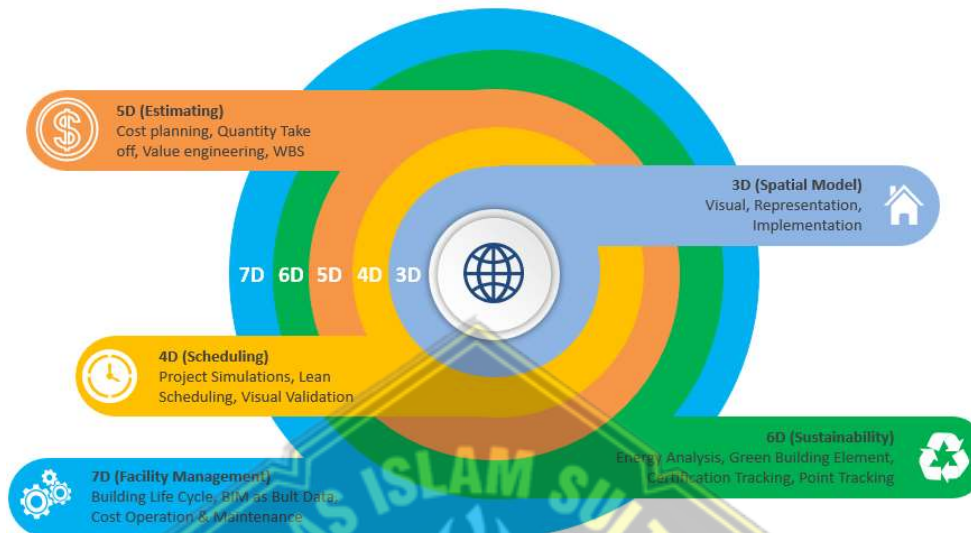
Perkerasan ini merupakan kombinasi antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perkerasan komposit dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau sebaliknya.

2.11. *Building Information Modelling* (BIM)

Pada tahun 1970 konsep *Building Information Modelling* (BIM) pertama kali diperkenalkan. BIM merupakan metodologi kolaboratif untuk melakukan integrasi teknikal, structural, dan arsitektural pada proyek secara efektif (Sacks et al., 2018). Teknologi BIM terdiri dari tujuh dimensi, dimensi 3D digunakan untuk membuat model tiga dimensi dari parameter – parameter yang sudah direncanakan, dimensi 4D digunakan untuk penjadwalan, dimensi 5D untuk estimasi biaya, dimensi 6D untuk keberlanjutan proyek, 7D untuk pemeliharaan dan *life-cycle management* (Biancardo, Ciscione, et al., 2020).

2.11.1 Dimensi BIM

Dengan berbagai tools yang disediakan oleh perangkat pemodelan BIM dapat dihasilkan berbagai dimensi BIM, penjabaran dimensi BIM adalah sebagai berikut:

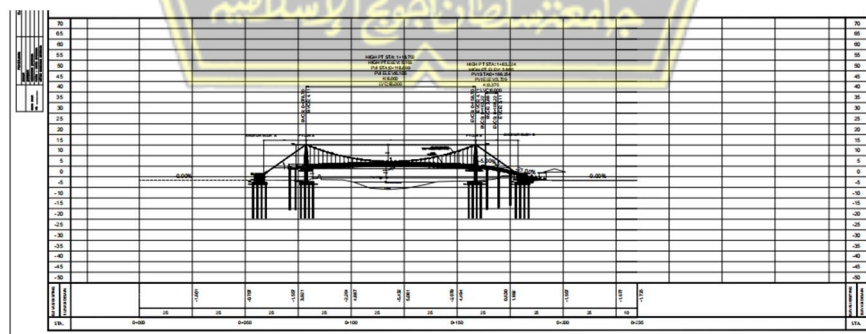


Gambar 2.11 Dimensi BIM

Sumber: *Proceeding Civil Engineering Research Forum* (2022)

1. 2 Dimensi

Pemodelan 2D berisi gambaran dari model 3D. BIM 2D merupakan bentuk dari proses konstruksi yang paling awal. Desain 2D hanya terfokus pada sumbu x dan y, serta dapat dibuat secara manual maupun menggunakan bantuan aplikasi AutoCAD. hasilnya berupa *shop drawing* seperti pada gambar dibawah ini.

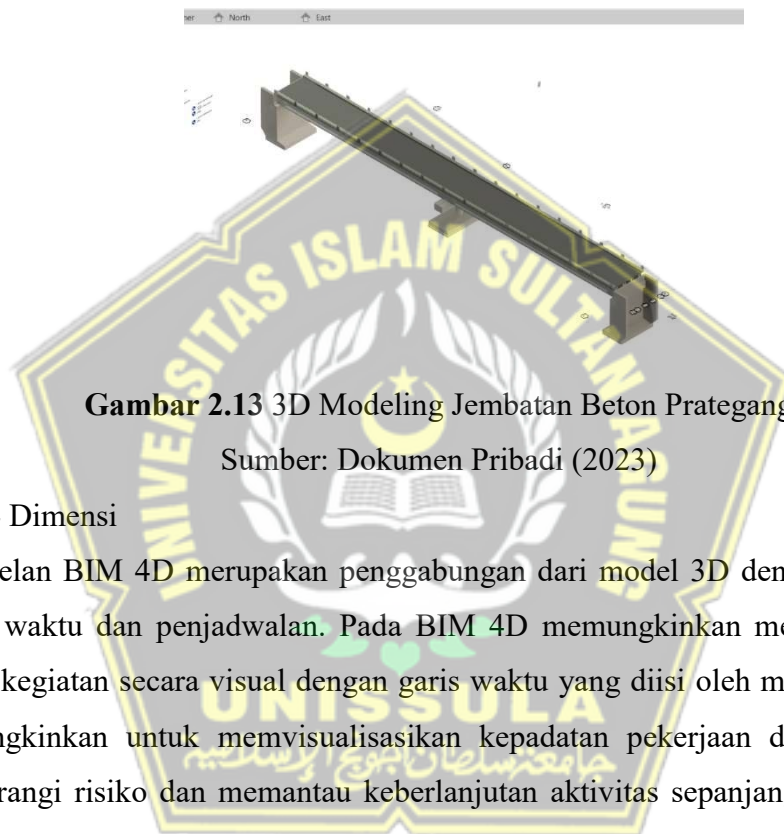


Gambar 2.12 *shop drawing* proyek jembatan

Sumber: Arsip PT. PERENTJANA DJAJA (2023)

2. 3 Dimensi

Pemodelan BIM dalam bentuk 3D menghasilkan elemen panjang, lebar, dan tinggi yang berbasis pemodelan parametric. BIM 3D menyajikan pemodelan yang terpacu dari sumbu x, y, dan z. model yang dihasilkan dapat digunakan untuk desain *schematic*, dokumentasi konstruksi dan visualisasi objek yang membantu untuk memeriksa kesalahan pada gambar. Pada BIM 3D bukan hanya berisikan informasi grafis dari desain tetapi didalamnya juga berisikan informasi yang dapat menjelaskan atribut tiap komponennya.

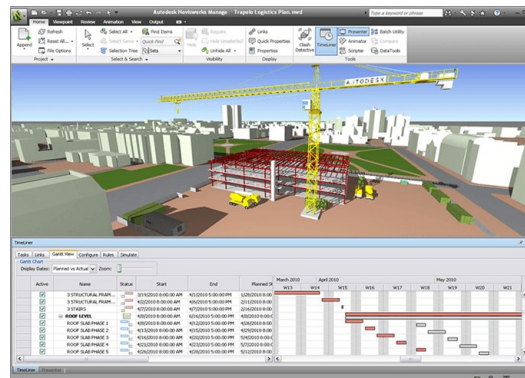


Gambar 2.13 3D Modeling Jembatan Beton Prategang

Sumber: Dokumen Pribadi (2023)

3. 4 Dimensi

Pemodelan BIM 4D merupakan penggabungan dari model 3D dengan informasi terkait waktu dan penjadwalan. Pada BIM 4D memungkinkan menggambarkan urutan kegiatan secara visual dengan garis waktu yang diisi oleh model 3D, serta memungkinkan untuk memvisualisasikan kepadatan pekerjaan di satu waktu, mengurangi risiko dan memantau keberlanjutan aktivitas sepanjang pelaksanaan proyek.

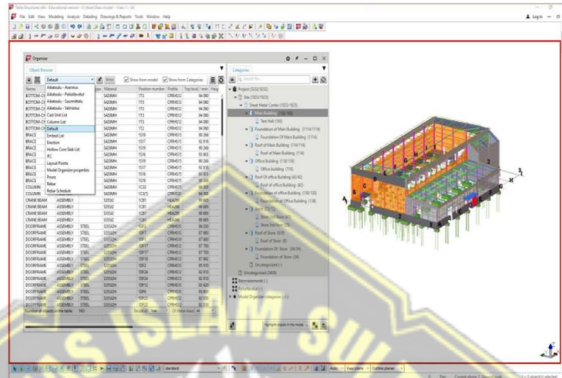


Gambar 2.14 Pemodelan 4D BIM pada proyek gedung

Sumber: theengineeringcommunity (2019)

4. 5 Dimensi

Pemodelan BIM 5D adalah penambahan elemen biaya untuk estimasi biaya. Pada BIM 5D dapat memvisualisasikan kemajuan konstruksi dan biaya dari waktu ke waktu. Dengan bantuan BIM 5D user dapat memperkirakan biaya yang akan dikeluarkan dari pemodelan yang dilakukan, serta user juga dapat memodifikasi biaya pada waktu tertentu seperti terjadinya perubahan desain dan modifikasi lainnya.

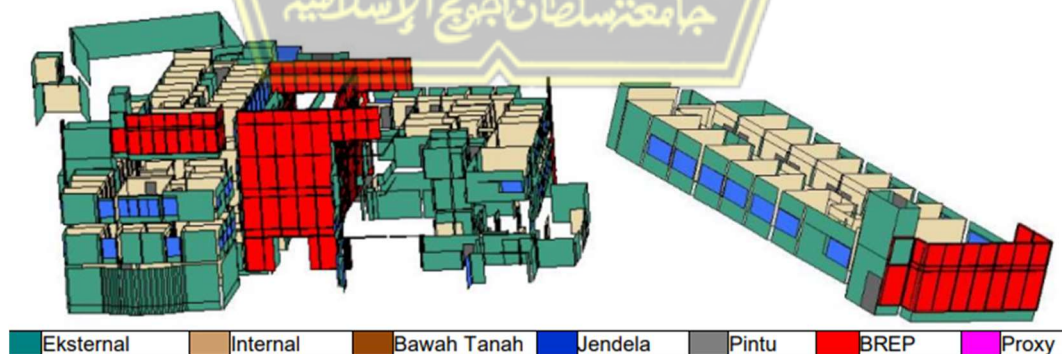


Gambar 2.15 Contoh BIM 5D

Sumber: edok simantu pu (2023)

5. 6 Dimensi

BIM 6 D dalam perancangan bangunan dapat digunakan sebagai analisis energi dan pertimbangan dari adanya dampak lingkungan. Informasi – informasi lain yang digunakan saat pemodelan 6 D dapat mendukung pengoperasian fasilitas dan mendukung pengelolaan supaya energi yang dikonsumsi dapat dikurangi dari keseluruhan model 3D dan semua aspek informasi manajemen konstruksi.



Gambar 2.16 Contoh Model Arsitektur Elemen Bangunan yang diimpor ke Analisis Energi

Sumber: edok simantu pu (2023)

6. 7 Dimensi

BIM 7D dapat diartikan sebagai alat untuk pengoperasian serta pemeliharaan suatu fasilitas infrastruktur yang terintegrasi dengan simulasi CAD 7D dari proses awal desain hingga pembongkaran guna mengoptimalkan manajemen aset. Pada BIM 7D juga digunakan untuk menghasilkan biaya siklus hidup, fasilitas manajemen, dan dampak lingkungan.



Gambar 2.17 Contoh Data dari Excel dimasukkan ke dalam Model BIM 7D

Sumber: edok simantu pu (2023)

2.11.2 Implementasi BIM pada Proyek Konstruksi

Pada setiap proyek, proses implementasi BIM disajikan dalam sebuah *outline* yang berisi *deliverable* pada setiap tahapan pelaksanaan BIM. Berikut merupakan contoh *outline deliverable* pada **Tabel 2.17** :

Tabel 2.17. Tahapan dan Keluaran BIM

Tahapan	Keluaran BIM
1. Konsep Desain	<ul style="list-style-type: none"> a. Profil tanah dan pemilihan pondasi. b. Pemakaian material: beton, baja, alumunium, dll. c. Metode konstruksi in-situ, precast, prefab, dll. d. Kode desain yang akan dipakai (ACI, BS, EN, dll).
2. Desain Skematik (Perancangan)	<ul style="list-style-type: none"> a. Preliminary model berdasarkan model massa dari ARS. b. Kriteria desain, pilihan rangka, dan alternatif desain. c. Preliminary structural analytic model. d. Preliminary design coordinator report (model arsitektur dan struktur). e. Preliminary cost estimate untuk model struktur.
3. <i>Detailed Engineering Design</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. Model struktur final untuk submission drawings. b. Laporan final analisis struktural dan kalkulasi. c. Laporan clash detection dan resolusinya (ARS, STR, dan MEP). d. Spatial validation report. e. Detailed cost estimation, BQ, dokumen tender.

Tahapan	Keluaran BIM
4. Konstruksi	a. Laporan validasi desain. b. Resolusi atas RFI dan constructability report. c. Shop drawing and fabrication drawing. d. Single Service Drawing (SSD) and Combined Service Drawing (CSD). e. Detailed schedule material dan kuantitas.
5. <i>As built</i>	a. As constructed drawing dari konstultan. b. Cek verifikasi melalui laser, scanner, data suvei, dll.
6. Management fasilitas	a. As built model struktur.

Sumber: *Proceeding Civil Engineering Research Forum* (2022)

2.12. Autodesk Revit

Autodesk Revit digunakan untuk membantu perencanaan konstruksi, *engineering* maupun perencanaan arsitektur agar didapatkan bangunan yang memiliki kualitas tinggi (Autodesk Revit. N.d.). Berikut beberapa manfaat Autodesk Revit :

1. Memodelkan suatu struktur dalam 3D menggunakan parameter – parameter yang presisi dan akurat.
2. Dokumentasi pekerjaan menjadi lebih mudah, sehingga apabila terdapat revisi dapat dilakukan dengan mudah seperti perencanaan penjadwalan, struktur, maupun pembiayaan.
3. Meningkatkan efisiensi proyek dengan cara melakukan pengambilan perintah pada model 3D.

2.13. SAP2000

SAP 2000 merupakan salah satu *software* analisis struktur yang mudah dioperasikan. Prinsip utama menggunakan *software* ini yaitu memodelkan struktur, pembebanan untuk analisis, dan optimalisasi model struktur yang dilakukan dalam satu tampilan berupa model secara *real time*. Tampilan tersebut memudahkan pengguna untuk memodelkan struktur dalam waktu yang singkat tetapi tetap didapatkan hasil yang tepat.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Jenis Penelitian

Perencanaan yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir Re-desain jembatan beton prategang menggunakan BIM di Desa Gempolsewu, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal yaitu menggunakan analisis statik. Analisis statistic adalah proses pengolahan data yang meliputi pemeriksaan, pembersihan, transformasi, pemrosesan dan pemodelan.

3.2 Pengumpulan Data

Untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam perencanaan perlu dilakukan pengumpulan data. Sumber yang digunakan dalam menghimpun kebutuhan data untuk perencanaan harus dapat dipertanggungjawabkan keasliannya maupun melalui observasi. Data yang dihimpun harus akurat dan sesuai berdasarkan identifikasi data yang dibutuhkan.

3.2.1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung melalui survey. Survey dilakukan di lokasi bangunan yang direncanakan. Lokasi bangunan yang direncanakan berada di Desa Gempolsewu, Kec. Rowosari, Kab. Kendal. Berdasarkan hasil survey diperoleh data dimensi serta gambaran umum struktur jembatan.

3.2.2. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari sumber yang dapat dipertanggungjawabkan baik dari instansi maupun dari literatur resmi. Data-data sekunder yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir diantaranya adalah:

1. **Data Lalu Lintas**

Data lalu lintas harian digunakan untuk memperkirakan volume lalu lintas harian rata-rata. Kelas dan lebar jembatan, jumlah lajur serta jenis perkerasan jalan ditentukan dari volume lalu lintas harian rata-rata. Data lalu lintas diperoleh dari survey lalu lintas di lokasi perencanaan. Selain hal itu, diperlukan data pendukung berupa data kepadatan penduduk dan jumlah

kendaraan bermotor yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah.

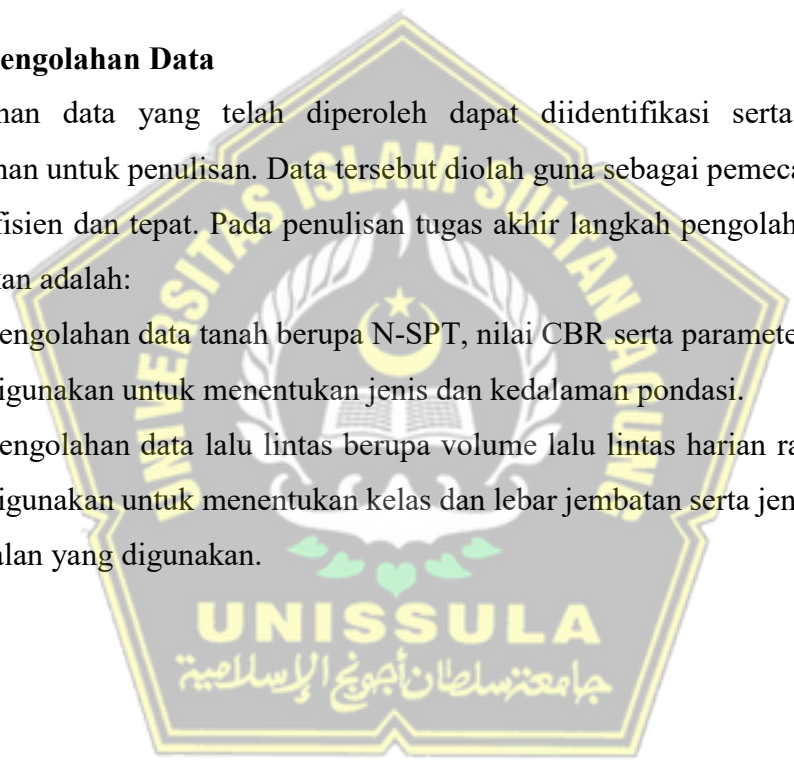
2. Data Tanah

Data tanah yang dibutuhkan antara lain adalah berat jenis, nilai CBR, kohesi, sudut geser tanah. Data tersebut digunakan untuk menentukan jenis dan kedalaman tanah. Apabila dilakukan Analisa lebih lanjut dapat digunakan untuk menentukan jenis, kedalaman dan dimensi pondasi, serta perkuatan stabilitas lereng. Data tanah yang digunakan dalam penyusunan bersumber dari Tugas Mata Kuliah Perancangan Bangunan Jembatan

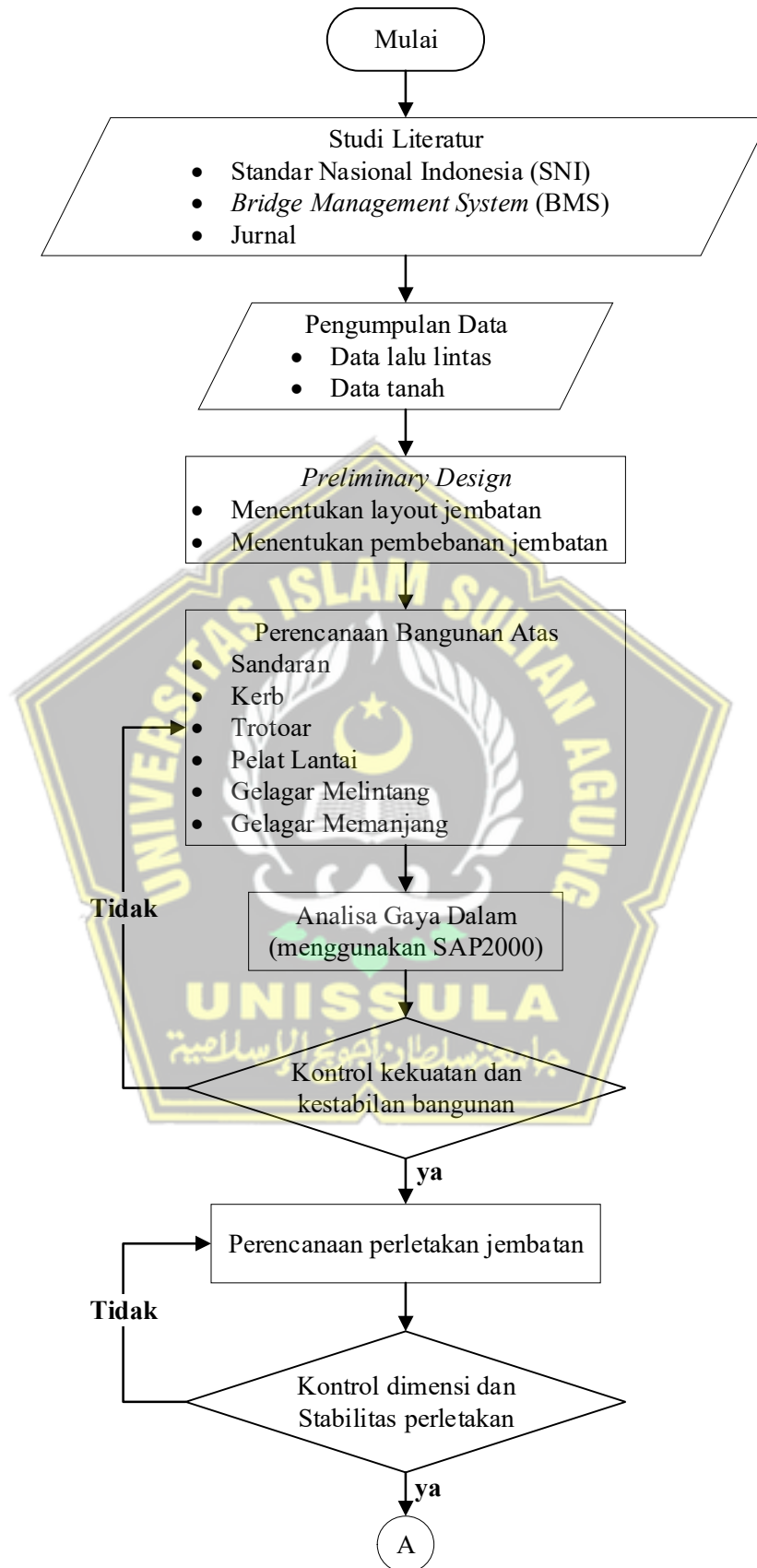
3.3 Pengolahan Data

Himpunan data yang telah diperoleh dapat diidentifikasi serta disesuaikan kebutuhan untuk penulisan. Data tersebut diolah guna sebagai pemecahan masalah yang efisien dan tepat. Pada penulisan tugas akhir langkah pengolahan data yang dilakukan adalah:

1. Pengolahan data tanah berupa N-SPT, nilai CBR serta parameter tanah dapat digunakan untuk menentukan jenis dan kedalaman pondasi.
2. Pengolahan data lalu lintas berupa volume lalu lintas harian rata-rata dapat digunakan untuk menentukan kelas dan lebar jembatan serta jenis perkerasan jalan yang digunakan.



3.4 Diagram Alir Perencanaan Jembatan





Gambar 3.1 Diagram alir perencanaan jembatan prestressed

3.5 Tahapan Analisa Data

Tahapan Analisa data yaitu tahapan-tahapan menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi sesuai dengan proses yang telah ditentukan. Tahapan Analisa data menjelaskan tahapan dari awal mulai sampai dengan penyelesaian penulisan tugas akhir. Tahapan-tahapan penulisan tugas akhir re-desain jembatan beton *prestressed* di Desa Gempolsewu, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah diuraikan seperti berikut:

1. Persiapan

Pada tahap awal mulai atau persiapan merupakan tahapan yang dilakukan sebelum pengumpulan dan pengolahan data. Persiapan dilakukan dengan menyusun hal-hal penting guna memanfaatkan waktu dan kegiatan dengan efisien dalam penulisan tugas akhir. Tahapan persiapan meliputi kegiatan sebagai berikut:

- a) Perumusan, identifikasi dan menentukan batasan masalah
- b) Menentukan lokasi perencanaan pembangunan jembatan
- c) Pengadaan persyaratan administrasi penulisan tugas akhir
- d) Perencanaan *time schedule* penulisan tugas akhir

Lokasi perencanaan jembatan beton *prestressed* berada di Desa Gempolsewu, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah.



Gambar 3.2 Lokasi perencanaan jembatan prestressed

2. Studi literatur

Setelah melaksanakan tahapan persiapan, langkah selanjutnya yaitu mencari studi literatur tentang perencanaan jembatan beton *prestressed*. Studi literatur merupakan kegiatan pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat serta mengolah bahan penelitian. Dalam penulisan tugas akhir terdapat beberapa referensi antara lain:

- a) SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan
- b) SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa
- c) Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan
- d) SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton
- e) Manual Desain Perkerasan Jalan Revisi 2017 (MDPJ 2017)
- f) *Bridge Design Manual Volume 1 & 2 Bridge Management System (BMS)*
- g) SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik
- h) Surat Edaran Bina Marga Nomor 16.1/SE/Db/2020 Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2)
- i) Perencanaan Jembatan Beton Prategang RSUD Temanggung Dengan Berbasis Building Information Modeling (BIM)., Dianya Puan Anandita, 2023.
- j) Perencanaan Struktur Jembatan Beton Prategang Di Sungai Bengawan Solo Kecamatan Jebres – Ssurakarta., Azis Qhoirul Hidayah, 2021
- k) Kajian Implementasi Building Information Modeling (BIM) Di Dunia Konstruksi Indonesia., Januar Pantiga & Anton Soekiman, 2021.
- l) Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0 – 152., Dimas Apriyanto, Siswoyo, 2021.
- m) Perencanaan Gelagar Penampang I Jembatan Beton Prategang Bentang 30 Meter., Ari Endra Nasution, Suwarjo, Tidah Indriyani, 2020.
- n) Perencanaan Jembatan Sungai Mappajang Dengan Jembatan Beton Prategang., Parea Rusan Rangan, 2019.
- o) Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI)., Samsuardi Batubara & Larno Simatupang, 2018.

3. Pengumpulan data

Tahap pengumpulan data pada penulisan tugas akhir adalah kegiatan menghimpun data yang digunakan dalam perencanaan. Pada penulisan tugas akhir yang perlu dihimpun yaitu data tanah dan lalu lintas.

4. *Preliminary design*

Tahapan *preliminary design* yaitu suatu tahapan memperkirakan gambaran umum struktur awal yang perlu dilakukan perhitungan dengan bantuan aplikasi. Pada penulisan tugas akhir tahapan *preliminary design* fokus pada penentuan layout jembatan serta menentukan pembebanan pada jembatan. Penentuan layout jembatan yaitu menentukan dimensi-dimensi jembatan. Penentuan pembebanan yaitu menentukan beban-beban yang terjadi pada jembatan seperti beban permanen, beban hidup dan beban aksi lingkungan. beban-beban tersebut diinput di aplikasi sesuai dengan distribusi bebannya.

5. Perencanaan bangunan atas

Setelah pada tahapan *preliminary design* tahapan selanjutnya yaitu merencanakan bangunan atas. Bangunan atas jembatan terdiri dari sandaran, kerb, trotoar, pelat lantai gelagar melintang dan gelagar memanjang. Pada perencanaan bangunan atas dilakukan perhitungan pembebanan dan struktur yang berkaitan dengan perancangan jembatan. Jembatan dimodelkan dengan bantuan program SAP2000 untuk mempermudah pemodelan struktur jembatan.

6. Analisa gaya dalam bangunan atas

Setelah dilakukan pemodelan struktur jembatan dengan bantuan program SAP2000. Langkah selanjutnya yaitu menginput kombinasi pembebanan pada jembatan. Kombinasi pembebanan mengacu pada SNI1725:2016 pembebanan jembatan. Setelah pembebanan selesai, perlu dilakukan adalah Analisa gaya dalam bangunan atas jembatan. gaya-gaya yang terjadi pada jembatan digunakan untuk mengetahui seberapa besar gaya yang dihasilkan pada perencanaan jembatan.

7. Kontrol kekuatan dan kestabilan bangunan

Kontrol kekuatan dan kestabilan bangunan atas yaitu gaya dalam struktur bangunan diolah untuk mengetahui apakah aman atau tidaknya struktur.

Apabila kontrol struktur tidak aman, perlu dilakukan perubahan pada langkah perencanaan bangunan atas. Gaya-gaya dalam pada bagian struktur jembatan digunakan untuk menentukan tingkat rasio kekuatan dan kestabilan struktur apabila diketahui besaran gaya yang terjadi.

8. Perencanaan perletakan

Perletakan adalah suatu komponen pada struktur jembatan yang memiliki fungsi sebagai penyalur beban antara struktur bangunan atas dengan bangunan bawah. Oleh karena itu, perletakan perlu dirancang guna menyediakan perputaran dan memberikan perpindahan tertentu. Setelah kontrol kekuatan dan kestabilan bangunan atas selesai, langkah selanjutnya yaitu beban struktur atas dihitung guna perencanaan dimensi perletakan jembatan. Tahapan perencanaan perletakan mengacu pada standar *Bridge Management System (BMS) Bridge Manual Design Vol 1 & 2*.

9. Kontrol dimensi dan stabilitas perletakan

Langkah setelah perencanaan perletakan yaitu kontrol dimensi dan stabilisasi perletakan. Langkah tersebut merupakan langkah untuk mengetahui bahwa dimensi perletakan tersebut sudah memenuhi standar atau belum. Apabila kontrol dimensi dan stabilisasi diketahui dibawah standar atau tidak memenuhi standar perlu dilakukan perubahan mutu dan dimensi perletakan pada langkah perencanaan perletakan. Apabila dimensi dan stabilitas perletakan sudah aman atau sesuai standar dapat lanjut ke langkah berikutnya.

10. Perencanaan pelat injak

Pelat injak merupakan konstruksi beton pada jalan pendekat di ujung jembatan (oprit). Pelat injak direncanakan diantara jalan pendekat dan kepala jembatan. Perencanaan pelat injak yaitu langkah untuk menentukan dimensi pelat injak. Perencanaan pelat injak yaitu perencanaan dimensi dan mutu yang digunakan.

11. Kontrol stabilitas pelat injak

Setelah diketahui gambaran umum dan perhitungan pelat injak langkah selanjutnya yaitu melakukan kontrol stabilitas pelat injak. Kontrol yang dilakukan yaitu dimensi serta penulangan pelat injak. Pelat injak yang

dikontrol harus memenuhi angka aman pada perhitungan. Apabila kontrol belum aman perlu dilakukan perencanaan ulang pada pelat injak.

12. Perencanaan dan pembebanan bangunan bawah

Setelah kontrol bangunan atas aman perlu dilakukan perencanaan dan pembebanan bangunan bawah. Bangunan bawah terdiri dari abutment, pilar dan pondasi. Gambaran umum bangunan bawah perlu direncanakan dimensi serta mutu yang digunakan dalam perencanaan. Pembebanan untuk bangunan bawah juga perlu ditentukan.

13. Analisa gaya dalam bangunan bawah

Setelah pembebanan dan data umum perencanaan bangunan bawah yang terdiri dari abutment, pilar pondasi ditentukan. Langkah selanjutnya yaitu menganalisa gaya dalam bangunan bawah. Gaya-gaya yang dihasilkan dari pembebanan pada bangunan bawah digunakan untuk mengetahui besaran gaya pada bangunan bawah.

14. Kontrol kekuatan dan kestabilan bangunan bawah

Gaya-gaya yang terjadi pada bangunan bawah perlu dihitung guna menentukan kontrol kekuatan dan kestabilan bangunan bawah. Perhitungan kontrol kekuatan dan kestabilan bangunan bawah harus memenuhi standar perencanaan bangunan bawah jembatan. Apabila bangunan bawah selesai dikontrol dan diketahui bahwa perencanaan aman dan memenuhi standar dapat lanjut ke langkah berikutnya. Apabila kontrol yang dilakukan tidak aman harus kembali ke langkah perencanaan dan pembebanan bangunan bawah untuk melakukan perencanaan ulang bangunan bawah.

15. Perencanaan jalan pendekat dan jenis perkerasan jalan

Perencanaan jalan pendekat dan jenis perkerasan jalan perlu direncanakan dalam perencanaan jembatan. jalan pendekat adalah struktur yang menghubungkan ruas jalan dengan struktur jembatan. perencanaan jembatan yaitu merencanakan timbunan tanah. Perencanaan jenis perkerasan jalan yaitu merencanakan jenis perkerasan yang terdiri dari ketebalan aspal.

16. Pemodelan struktur jembatan

Perhitungan struktur atas dan bawah, jalan pendekat dan system perkerasan sudah dilakukan dan memenuhi standar. Langkah selanjutnya yaitu

pemodelan bangunan jembatan dengan menggunakan bantuan program Revit. Dalam pemodelan struktur jembatan berisi pemodelan struktur bangunan hingga penulangan pada jembatan. Pemodelan dilakukan untuk menggambarkan bangunan secara 3D untuk visualisasi bangunan.

17. Gambar perencanaan jembatan

Gambar perencanaan jembatan berisi detail gambar bangunan jembatan keseluruhan. Pada gambar rencana biasanya terdiri dari tampak hingga penulangan yang direncanakan pada jembatan.

18. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan dan saran berisi hasil akhir secara singkat dari penulisan tugas akhir dan saran untuk meningkatkan atau mengoptimisasi penelitian selanjutnya.



BAB 4

PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Konstruksi Jembatan

1. Data Struktur Atas Jembatan

- a. Jenis Jembatan : Jembatan Beton Prategang
- b. Lokasi : Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal
- c. Kelas Jembatan : Kelas B
- d. Lebar Lantai Kendaraan : 6,00 Meter
- e. Lebar Trotoar : 2 x 0,50 Meter
- f. Lebar Jembatan : 7,50 Meter
- g. Bentang Jembatan : 2 x 40,00 Meter

2. Data-data konstruksi

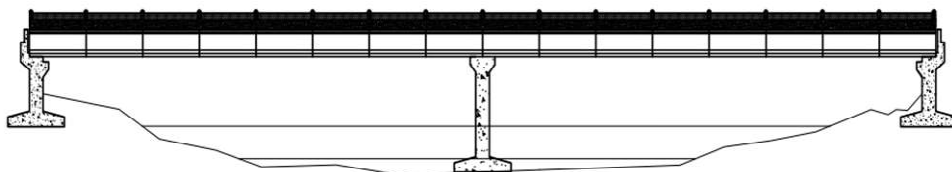
- a. Bentuk gelagar : PCI girder
- b. Tinggi gelagar : 210 cm
- c. Jumlah gelagar : 4 buah
- d. Jarak antar gelagar : 185 cm

3. Mutu Material

- e. Beton PCI : f_c 50 MPa
- f. Beton : f_c 25 MPa
- g. Baja Tulangan : f_y 400 MPa

4. Berat Jenis Material

- a. Beton Bertulang : 2500 kg/m³
- b. Baja : 7850 kg/m³
- c. Aspal : 2200 kg/m³
- d. Air : 980 kg/m³



Gambar 4.1 Tampak samping jembatan beton prategang Gempolsewu

4.2. Analisa Beban

1. Beban Mati (MS)

a. Faktor Beban (y_{ms})

Keadaan Batas Layan, $y_{ms}^s = 1,00$

Keadaan Batas Ultimit, $y_{ms}^u = 1,30$

Tabel 4.1 Analisa Beban Mati

Formula : MS = Dimensi x BJ x y_{ms}								
Data Beban					Analisis Beban			
Deskripsi	Dimensi			Berat Jenis kN/m ³	Jumlah bh	Beban kN/m	Beban Layan kN	Beban Ultimit kN
	p m	l m	t m					
Girder I	40.00			25.00	4.00	18.81	3009.60	3611.52
Diafragma	1.65	1.65	0.20	25.00	27.00	13.57	366.42	439.71
Pelat deck	40.00	1.20	0.07	25.00	3.00	2.10	252.00	302.40
Pelat lantai	40.00	7.50	0.20	25.00	1.00	37.50	1500.00	1800.00
Parapet beton	34.90	0.10	0.50	25.00	2.00	1.25	87.25	113.43
Parapet besi	34.90	0.030	0.50	78.50	2.00	1.18	82.19	106.85
Tiang beton	0.60	0.100	1.00	25.00	17.00	1.50	25.50	33.15

2. Beban Mati Tambahan (MA)

a. Faktor Beban

Keadaan Batas Layan, $y_{ma}^s = 1,00$

Keadaan Batas Ultimit, $y_{ma}^u = 1,00$

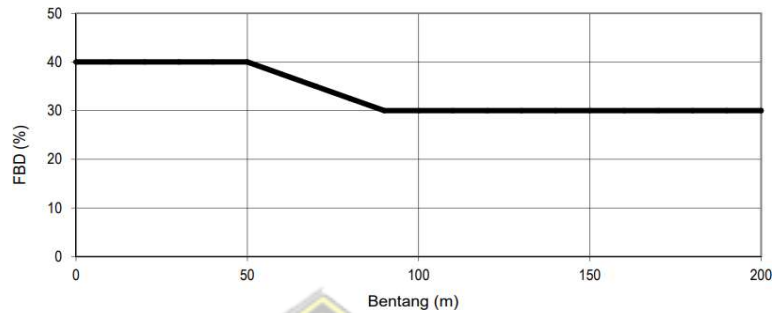
Tabel 4.2 Analisa Beban Mati Tambahan

Formula : MS = Dimensi x BJ x y_{ms}								
Data Beban					Analisis Beban			
Deskripsi	Dimensi			Berat Jenis kN/m ³	Jumlah bh	Beban kN/m	Beban Layan kN	Beban Ultimit kN
	p m	l m	t m					
Aspal	40.00	6.00	0.10	22.00	1.00	13.20	528.00	1056.00
Air Hujan	40.00	7.50	0.05	9.81	1.00	3.68	147.15	294.30
ME		0.03		78.50	17.00	2.73	46.44	92.88
Trotoar	40.00	0.50	0.30	25.00	2.00	3.75	300.00	600.00
Kerb	40.00	0.15	0.30	25.00	2.00	1.13	90.00	180.00

3. Beban Lalu Lintas

a. Beban Lajur “D” (TD)

Untuk faktor beban dinamik beban BGT didapat dari grafik faktor beban dinamis untuk pembebanan BGT yaitu sebesar 40% atau 0,4.



Gambar 4.2 Faktor beban dinamis pada beban T untuk pembebanan lajur “D”

Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan (2016)

Karena panjang jembatan per bentang rencana sebesar 40 meter, maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 q &= 9 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \\
 &= 9 \times (0,5 + 15/40) \text{ kPa} \\
 &= 7,88 \text{ kPa} \\
 &= 0,79 \text{ ton/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Analisa Beban Lajur “D”

Analisis Beban Lajur "D"			
L	=	40,00	meter
DLA	=	0,4	
s	=	1,50	meter
qTD	=	q x s	
	=	11,81	kN/m
pTD	=	(1+DLA) x p	
	=	68,60	kN/m

b. Beban Truk “T” (TT)

Untuk faktor beban dinamik beban truk berdasarkan SNI 1725 – 2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan hal. 45 yaitu penerapan FBD pada pembebanan

truk “T” ditetapkan sebesar 30% atau 0,3. Analisa Beban Truk “T” sebesar 500 kN atau 50 ton dijabarkan pada setiap gandar sebagai berikut :

Depan = 5 ton x (1 + faktor beban dinamis)

$$= 6,5 \text{ ton (3,25 roda kanan + 3,25 roda kiri)}$$

Tengah = 22,5 ton x (1 + faktor beban dinamis)

$$= 29,25 \text{ ton (14,625 roda kanan + 14,625 roda kiri)}$$

Belakang = 22,5 ton x (1 + faktor beban dinamis)

$$= 29,25 \text{ ton (14,625 roda kanan + 14,625 roda kiri)}$$

c. Gaya Rem (TB)

$$TB = 5\% \times q \times \lambda \times L$$

$$= 5\% \times 9 \text{ kN/m}^2 \times 5 \text{ mm} \times 2 \times 40 \text{ m}$$

$$= 180,00 \text{ kN}$$

d. Beban Pejalan Kaki (TP)

$$TP = 5,00 \text{ kN}$$

4. Aksi Lingkungan

a. Beban Agin (EW)

1) Tekanan angin horizontal

$$V_{DZ} = 2,5 \times V_0 \times \frac{V_{10}}{V_B} \times \ln \frac{Z}{Z_0}$$

$$= 2,5 \times 17,6 \text{ km/jam} \times \frac{108 \text{ km/jam}}{108 \text{ km/jam}} \times \ln \frac{10000 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}}$$

$$= 101,3 \text{ km/jam}$$

2) Beban angin pada struktur

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

a) Angin tekan

$$P_D = 0,0024 \times \left(\frac{101,3}{108} \right)^2$$

$$= 2,11 \text{ kN/m}$$

b) Angin hisap

$$P_D = 0,0012 \times \left(\frac{101,3}{108} \right)^2$$

$$= 1,05 \text{ kN/m}$$

c) Menghitung Luas bidang

$$A_b = (\text{luas area}) \times 30\%$$

$$= 35,42 \text{ m}^2$$

3) Beban angin dari struktur atas

a) Beban angin tekan

$$\Sigma_{join} = 34 \text{ Joint}$$

$$E_{ws} = P_D \times A_b$$

$$= 2,11 \times 35,42$$

$$= 74,81 \text{ kN}$$

$$= 2,20 \text{ kN/joint}$$

b) Beban angin hisap

$$\Sigma_{join} = 34 \text{ Joint}$$

$$E_{ws} = P_D \times A_b$$

$$= 1,05 \times 35,42$$

$$= 37,41 \text{ kN}$$

$$= 1,10 \text{ kN/joint}$$

c) Beban angin pada kendaraan

$$E_{wi} = 1,46 \text{ N/mm}$$

$$M = E_{wi} \times ((1,8 + 0,2 + 0,1 + 0,8) \times 1000) \times 10^{-6}$$

$$= 0,004 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma_{join} = 14 \text{ Joint}$$

$$L = 2 \times 40 \text{ Meter}$$

$$E_{wi} = \frac{L \times M}{\Sigma_{join}}$$

$$= \frac{2 \times 40 \times 0,004}{14}$$

$$= 0,002 \text{ kN}$$

b. Beban akibat temperature seragam (EUn)

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (ΔT) ditentukan berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut :

$$\Delta T = \alpha L (T_{\text{max design}} - T_{\text{min design}})$$

Keterangan :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

α adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

$$\begin{aligned} \Delta T &= \alpha L (T_{\text{max design}} - T_{\text{min design}}) \\ &= 11 \times 10^{-6} \times 2 \times 40000 (40^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}) \\ &= 22^{\circ}\text{C} \text{ (Beton)} \end{aligned}$$

c. Beban Gempa (EQ)

Perencanaan beban gempa pada jembatan mengacu pada peraturan SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Pada perencanaan gempa memerlukan data tanah untuk Analisa beban gempa. Data tanah disekitar lokasi rencana jembatan diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4.4 Data tanah disekitar lokasi rencana jembatan

No	Layers	Depth	N-SPT
1	Lempung	2.00-2.45	1
2	Lempung kelanauan	4.00-4.45	2
3	Lempung kelanauan	6.00-6.45	1
4	Lempung kelanauan	8.00-8.45	1
5	Lempung kelanauan	10.00-10.45	4
6	Lempung kelanauan	12.00-12.45	6
7	Pasir kelanauan	14.00-14.45	16
8	Lempung	16.00-16.45	29
9	Lempung	18.00-18.45	19

10	Lempung	20.00-20.45	31
----	---------	-------------	----

- 1) Menghitung kedalaman lapisan tanah

$$t_i = \Sigma \text{tebal lapisan ke } - i$$

$$= 20,00 \text{ Meter}$$

- 2) Menentukan rasio kedalaman dengan data N-SPT

$$\frac{t_i}{N} = \Sigma_{l=1}^M \left(\frac{t_i}{N} \right)$$

$$= 0,65 \text{ Meter}$$

- 3) Hasil uji penetrasi standar

$$\bar{N} = \frac{\Sigma t_i}{\Sigma_{l=1}^M \left(\frac{t_i}{N} \right)}$$

$$= 30,77 \text{ Meter}$$

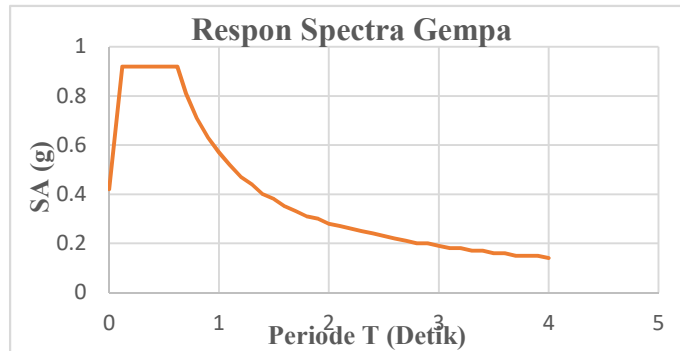
Merujuk pada SNI 2833-2016 tentang Standar Ketahanan Gempa untuk Jembatan, maka dalam perencanaan desain spectra gempa diuraikan seperti berikut:

- 1) Perencanaan desain spectra gempa

Tabel 4.5 Analisa desain spectra

Data Untuk Perencanaan Berdasarkan SNI 2833:2016			
Jenis Pemanfaatan		Jembatan	
Kategori Risiko		III	
Faktor Gempa (I_c)		1,25	
Klasifikasi situs		SE (tanah Lunak)	
S_s	=	0,5	g
S_l	=	0,201	g
F_a	=	1,7	
F_v	=	3,2	
F_{PGA}	=	1,7	
A_s	=	$F_{PGA} \times PGA$	= 0,42
SDS	=	$F_a \times S_s$	= 0,85 g
SDI	=	$F_v \times S_l$	= 0,64 g
T_0	=	$0,2 \times T_s$	= 0,15 detik
T_s	=	$\frac{SDI}{SDS}$	= 0,76 detik
T	=	0,485	detik
C_{sm}	=	S_{DS}	= 0,85

Analisis data diatas digunakan untuk menentukan respon spectra pada lokasi jembatan sehingga menjadi data dibawah.



Gambar 4.3 Desain spectra gempa lokasi kelas-SE

2) Menentukan kinerja seismic

Tabel 4.6 Zona Gempa

Koefisien percepatan (S_{DI})	Zona Gempa
$S_{DI} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{DI} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{DI} \leq 0,50$	3
$S_{DI} > 0,50$	4

Sumber: SNI 2833 2016 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan (2016)

3) Menentukan factor modifikasi respon (R) untuk bangunan antar elemen struktur

Tabel 4.7 Faktor modifikasi respon (R)

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Sumber: SNI 2833 2016 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan (2016)

4) Analisa gaya gempa (EQ)

$$\begin{aligned}
 E_Q &= \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \\
 &= \frac{0,85}{0,80} \times 17262,54 \\
 &= 18341,45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan diinputkan dalam analisa struktur diuraikan berikut:

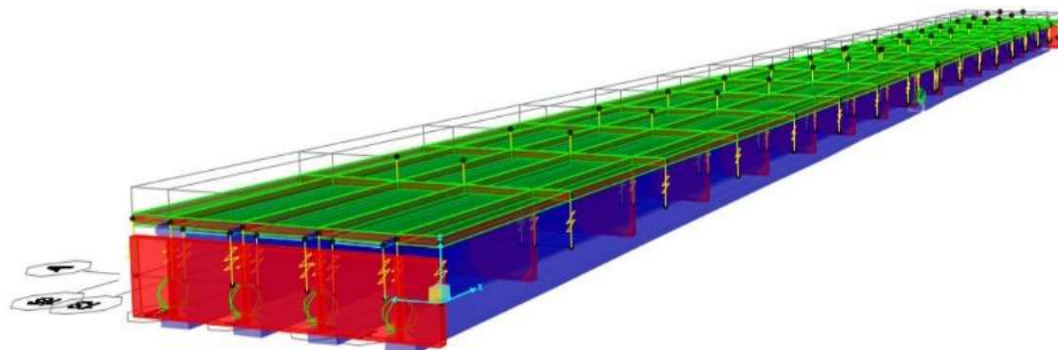
Tabel 4.8 Kombinasi beban pada jembatan

Jenis Kombinasi	Formula									
	MS	MA	TD	TT	TB	TP	EWS	EWI	EQX	EQY
Kuat 1 TD	1,1	2,0	1,8		1,8	1,8				
Kuat 1 TT	1,1	2,0		1,8	1,8	1,8				
Kuat 2 TD	1,1	2,0	1,4		1,4	1,4				
Kuat 2 TT	1,1	2,0		1,4	1,4	1,4				
Kuat 3	1,1	2,0					1,4			
Kuat 5	1,1	2,0					0,4	1,0		
Layan 1 TD	1,0	1,0	1,0		1,0	1,0	0,3	1,0		
Layan 1 TT	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0	0,3	1,0		
Ekstrem 1 TD	1,1	2,0	0,5		0,5	0,5			1,0	1,0
Ekstrem 1 TT	1,1	2,0		0,5	0,5	0,5			1,0	1,0
Gempa SNI 2016 TD	1,0	1,0	0,5		0,5	0,5			0,3	1,0
Gempa SNI 2016 TT	1,0	1,0		0,5	0,5	0,5			1,0	0,3

Sumber: SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa (2016)

4.3. Analisa Struktur

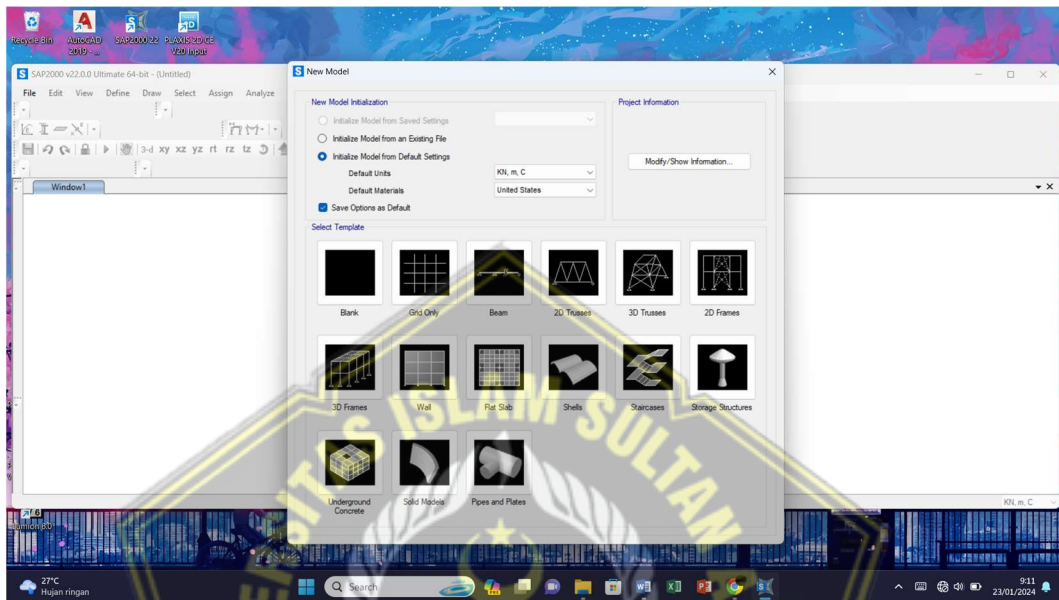
Analisa struktur dilakukan dari struktur atas kemudian struktur bawah, Analisa struktur dibantu dengan software SAP2000 dan perhitungan manual.



Gambar 4.4 Pemodelan struktur atas jembatan dengan software SAP2000

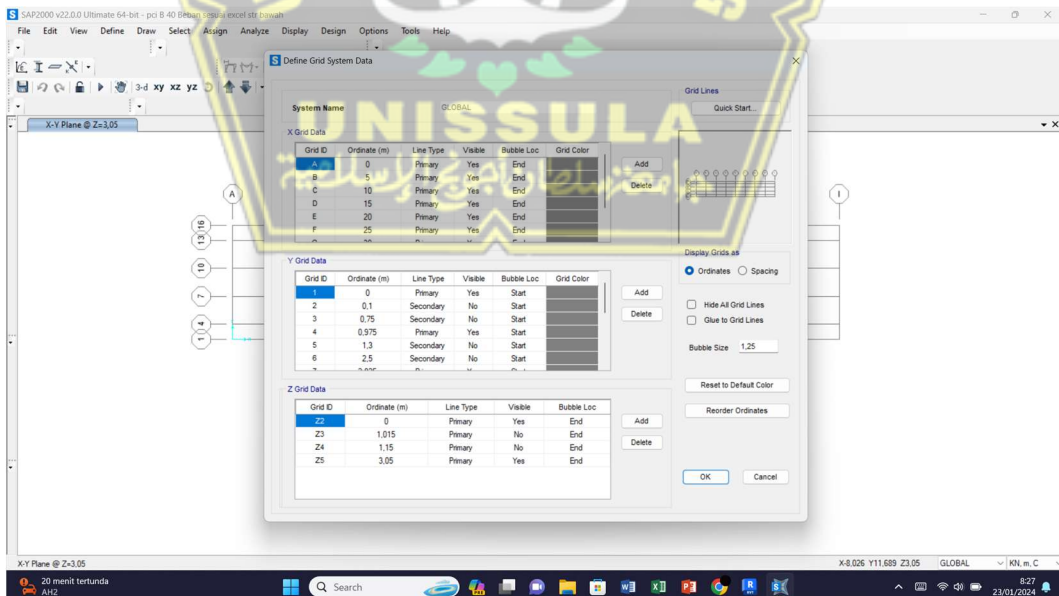
Berikut langkah-langkah membuat model struktur atas jembatan dengan software SAP2000:

1. Mendefinisikan *geometry* atau membuat model struktur geometri yang didefinisikan di sini adalah mencangkup panjang bentang dalam arah X dan Y serta tinggi bangunan yang akan dimodelkan.



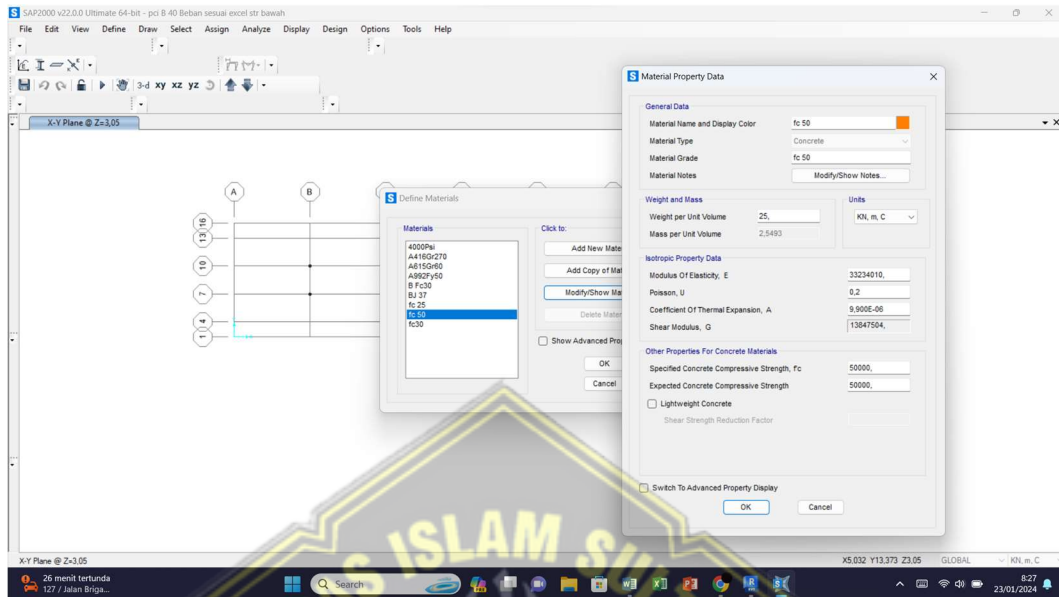
Gambar 4.5 Tampilan model struktur geometri pada software SAP2000

2. Membuat grid sebagai alat bantu untuk memodelkan struktur



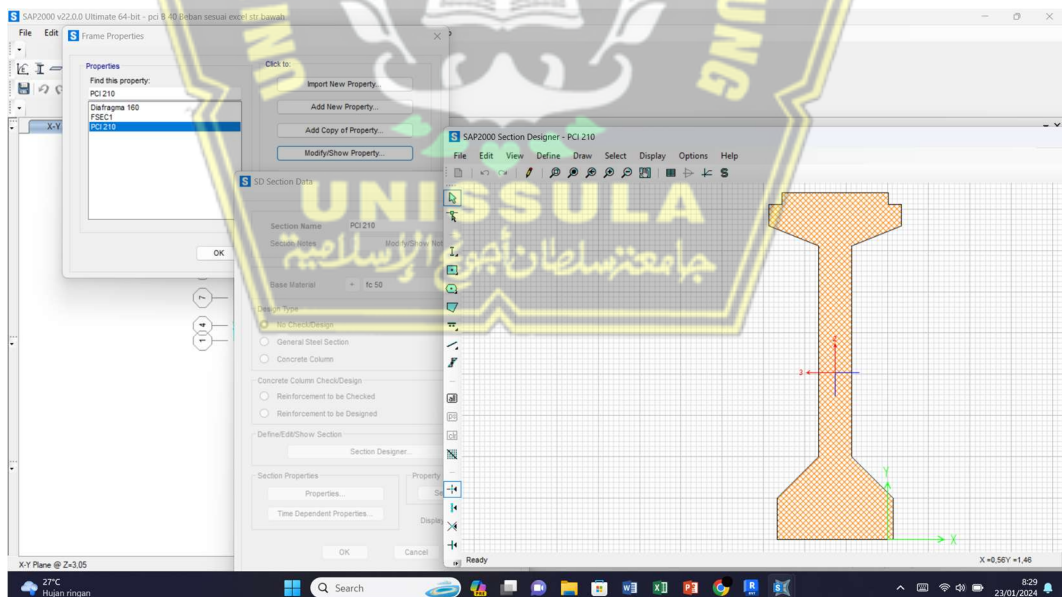
Gambar 4.6 Tampilan define grid pada software SAP2000

3. Mendefinisikan Material yang dapat berupa material beton bertulang, baja, alumunium, dll



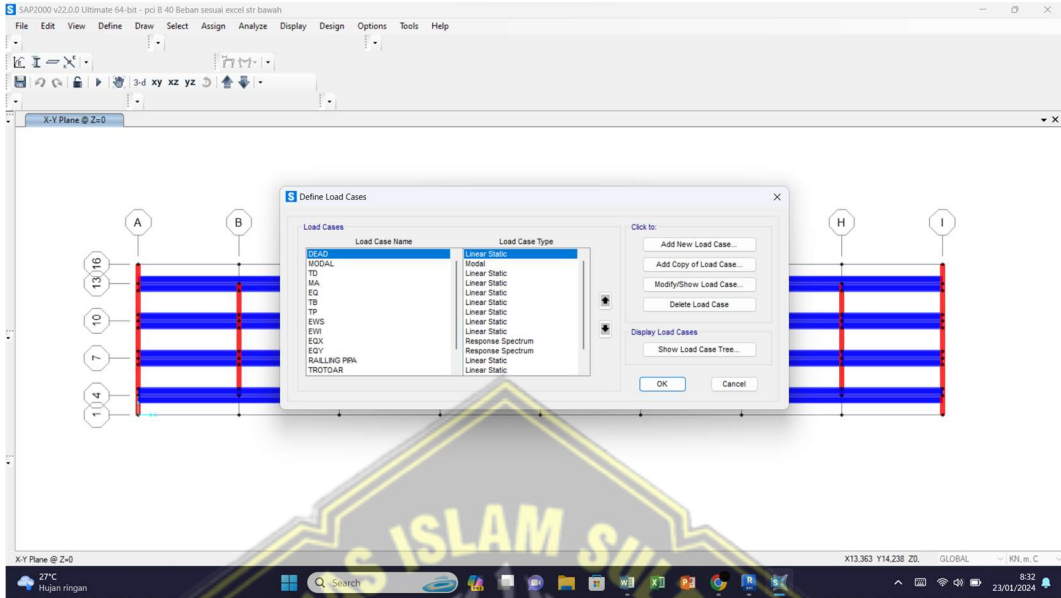
Gambar 4.7 Tampilan define material pada software SAP2000

4. Mendefinisikan Penampang yang mencakup elemen-elemen struktur yang kita buat seperti balok, kolom, pelat dll.

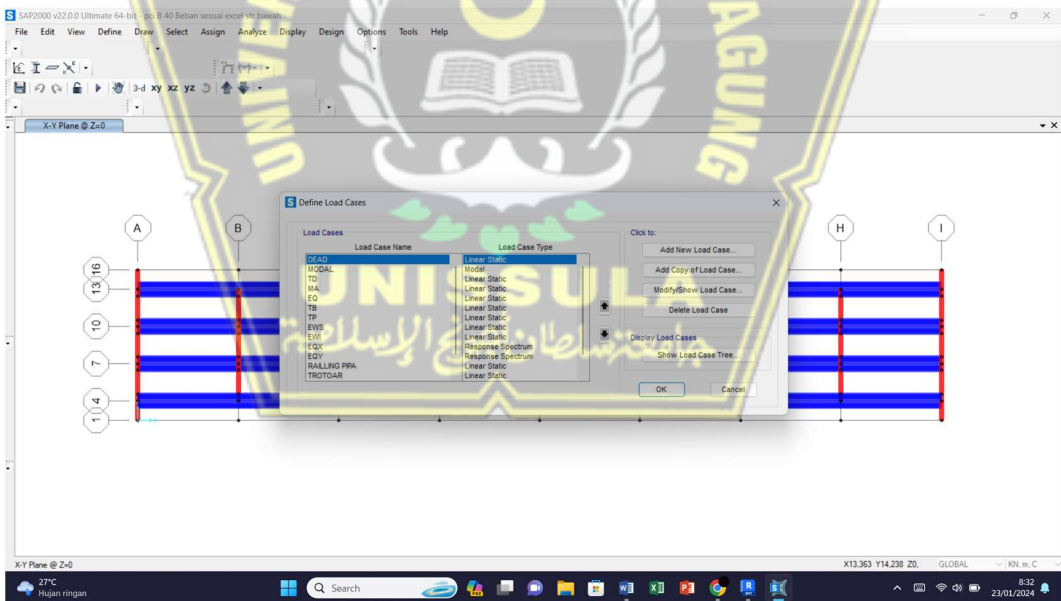


Gambar 4.8 Tampilan define frame section pada software SAP2000

5. Mendefinisikan Type Beban yang meliputi berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, angin, gempa dan pengaruh-pengaruh alam yang bekerja pada model struktur.

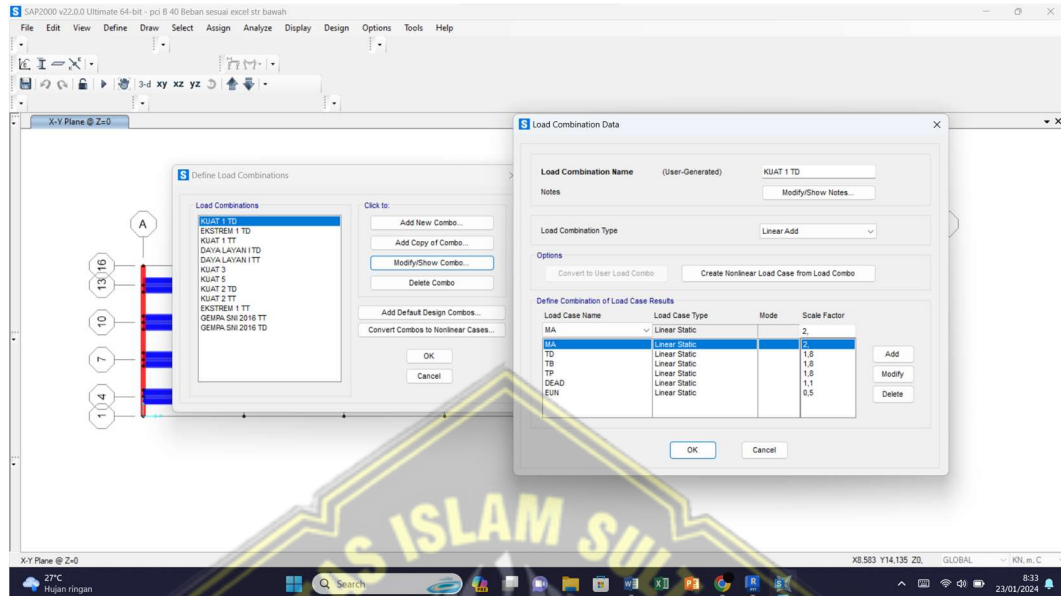


Gambar 4.9 Tampilan define load pattern pada software SAP2000



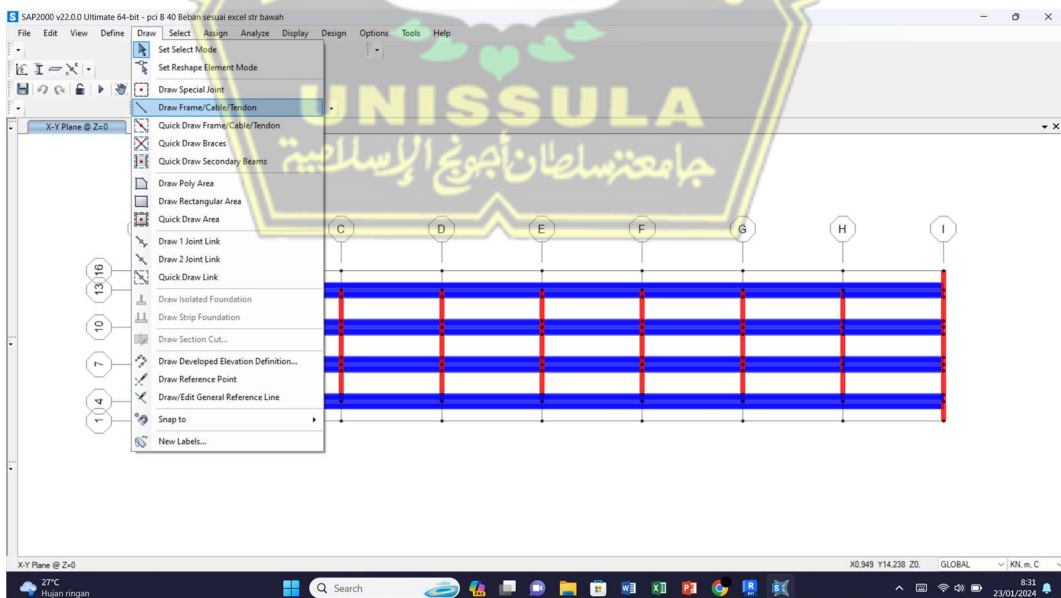
Gambar 4.10 Tampilan define load case pada software SAP2000

6. Mendefinisikan Kombinasi Beban Kombinasi beban dari masing-masing tipe beban yang telah kita definisikan sebelumnya dengan menggunakan load factor diperlukan untuk mengetahui pengaruh maksimum pada model struktur.



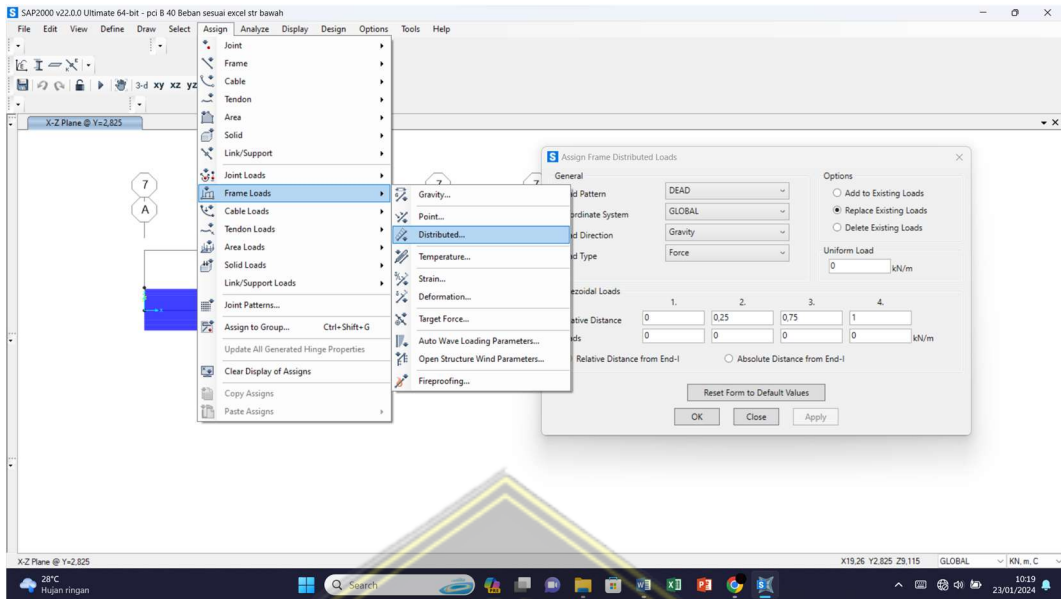
Gambar 4.11 Tampilan define load combinations pada software SAP2000

7. Setelah membuat model struktur dan mendefinisikan material dan penampang, maka selanjutnya adalah mengaplikasikan penampang kedalam model grid menjadi model struktur.



Gambar 4.12 Tampilan draw frame pada software SAP2000

8. Selanjutnya mendefinisikan jenis atau tipe beban yang bekerja pada struktur.



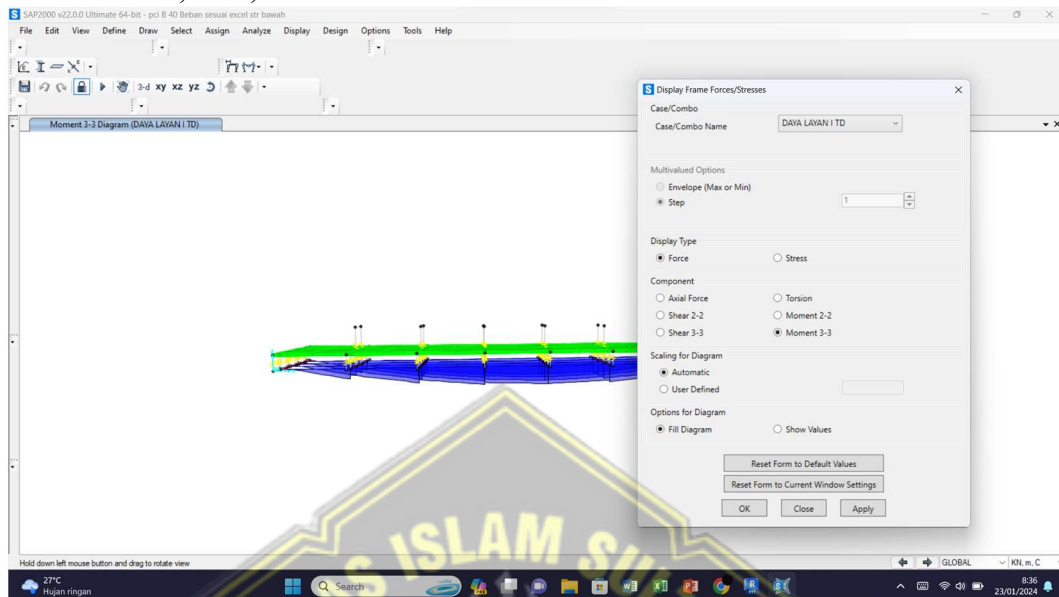
Gambar 4.13 Tampilan define load frame pada software SAP2000

9. Menjalankan Program analisis untuk memperoleh hasil.



Gambar 4.14 Tampilan assign run pada software SAP2000

10. Melihat Hasil Sebagai langkah terakhir adalah menampilkan hasil analisis yaitu dalam bentuk gaya-gaya dalam seperti reaksi perletakan, gaya geser, momen, torsi, defleksi dll.



Gambar 4.15 Tampilan hasil analisa pada software SAP2000

hasil analisa pada software SAP2000 dijabarkan sebagai berikut ini:

Tabel 4.9 Analisa desain spectra

Kombinasi	Batas lendutan	Lendutan (cm)	Geser Ultimit Vu (kN)	Momen Ultimit Mu (kNm)
Daya Layan	$L/300=13,3$	8,7	1026	7312
Ekstrim	$L/300=13,3$	9,3	1083	7685

Keterangan :

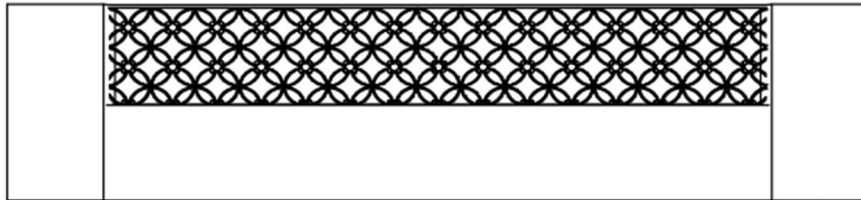
Kombinasi Daya layan: $1MS+1MA+1TD+1TP+1TB+1EUn+0,3EWS+1EWI$

Kombinasi Ekstrem :

$1MS+2MA+0,5TD+0,5TP+0,5TB+1EUn+1Eqx+1Eqy$

Struktur jembatan beton Gempolsekewu dianalisa secara manual meliputi komponen struktur sebagai berikut :

4.3.1 Perencanaan Sandaran atau Parapet



Gambar 4.16 railing jembatan beton prategang gempolsekewu

Analisa pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang peraturan pembebanan untuk jembatan.

1. Data Perencanaan

$f_c' =$	25 MPa	BJ beton =	25 kN/m ³
$f_y =$	400 MPa	Koef. Red Beton =	1,3
Selimut =	30 mm	Lebar (b) =	1000 mm
t efektif =	100 mm		
BJ besi =	78,5 kN/m ³	Tinggi parapet =	0,5 m
Tinggi besi =	0,5 m	Lebar parapet =	0,1 m
Lebar besi =	0,03 m	Panjang Parapet =	69,8 m
Panjang besi =	69,8 m	Koef. Red Besi =	1,1
Panjang tiang =	0,6 m	Tinggi tiang =	1 m
Lebar tiang =	0,1 m	Tebal selimut =	0,03 m

2. Analisa pembebanan

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Beban dan Momen yang Bekerja pada Parapet

Profil	Beban (kN)	Faktor Beban	Beban Ultimit (kN)	Momen Ultimit (kNm)
Parapet	2.43	1.3	3.16	9.88
Tiang Parapet	1.50	1.3	1.95	1.22

3. perhitungan tulangan

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{9,88 + 1,22}{0,8} = 13,88 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{13,88 \times 10^6}{1 \times 10^3 \times 100^2} = 1,1 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,8 \times \rho_b = 0,8 \times 0,027 = 0,02$$

$$\rho_{min} = 0,0025$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned} \rho_{pertu} &= \frac{1}{m} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \\ &= \frac{1}{18,824} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,824 \times 1,1}{400}} = 0,003 \end{aligned}$$

Kontrol nilai ρ ,

$$\begin{aligned} \rho_{min} &< \rho_{pertu} < \rho_{max} \\ 0,0025 &< 0,003 < 0,026 \end{aligned} \quad \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$A_{sh} = \rho \times b \times d = 0,0025 \times 1 \times 10^3 \times 120 = 565,00 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = 200 \text{ mm}$$

$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \times 1 \times 10^3}{200} = 804,25 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_s ,

$$\begin{aligned} A_{sp} &> A_{sh} \\ 804,25 &> 565,00 \quad \dots\dots\dots \text{True} \end{aligned}$$

Jadi Dipakai D12-200

4.3.2 Perencanaan Trotoar

Beban yang bekerja pada trotoar meliputi beban mati dan hidup. Beban hidup pada trotoar direncanakan mengacu pada aturan PPPJR 87 Bab III pasal 1.(2).2.5. Pada perencanaan trotoar dianalisis dengan panjang tinjauan yaitu 1 meter.

4. Data Perencanaan

$$\text{Mutu Beton } (f_c') = 30,00 \text{ Mpa}$$

$$\text{Berat jenis } (w_c) = 25,00 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Tebal trotoar } (t_t) = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Lebar trotoar } (b_2) = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Tebal kerb } (t_k) = 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Lebar kerb } (b_4) = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Selimut beton } (d') = 25,00 \text{ mm}$$

$$\text{Kuat leleh } (F_y) = 390,00 \text{ Mpa}$$

$$\text{\textcircled{O} tul. lentur } (D) = 16,00 \text{ mm}$$

$$\text{\textcircled{O} tul. Bagi } (D) = 10,00 \text{ mm}$$

$$\text{tebal efektif } (d) = 275,00 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor reduksi } (\phi) = 0,90$$

5. Analisa Beban

a. Beban Mati

1) Trotoar dan Kerb

$$\begin{aligned} P_1 &= t_t x (b_2 + b_4) x p x w_c \\ &= 0,3 x (0,5 + 0,15) x 1 x 2500 \\ &= 487,50 \text{ kg} \end{aligned}$$

2) Pelat Lantai

$$\begin{aligned} P_2 &= t_s x (b_2 + b_4) x p x w_c \\ &= 0,2 x (0,5 + 0,15) x 1 x 2500 \end{aligned}$$

$$= 325,00 \text{ kg}$$

b. Beban Hidup

Beban hidup pada trotoar mengacu pada ketentuan PPPJR 87 yaitu beban hidup direncanakan sebesar 500 kg/m².

6. Perhitungan Momen

a. Akibat Beban Hidup

$$\begin{aligned} M_{h1} &= qx(b_2 + b_4) \times p \times y_{td}^u \\ &= 500 \times (0,5 + 0,15) \times 1 \times 1,8 \\ &= 585,00 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{h2} &= qx(t_s + t_t) \times p \times y_{td}^u \\ &= 500 \times (0,2 + 0,3) \times 1 \times 1,8 \\ &= 450,00 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Akibat Beban Mati

$$\begin{aligned} M_{p1} &= P_1 \times y_{ms}^u \\ &= 487,50 \times 1,3 \\ &= 633,75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{p2} &= P_2 \times y_{ms}^u \\ &= 325,00 \times 1,3 \\ &= 422,50 \text{ kgm} \end{aligned}$$

c. Momen Total

$$\begin{aligned} \Sigma M &= \Sigma M_h + \Sigma M_p \\ &= M_{h1} + M_{h2} + M_{p1} + M_{p2} \\ &= 585,00 + 450,00 + 633,75 + 422,50 \\ &= 2091,25 \text{ kgm} \end{aligned}$$

7. Penulangan Trotoar

a. Penulangan Lentur

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2091,25}{0,9} = 23,24 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{23,24 \times 10^6}{1 \times 10^3 \times 275^2} = 0,31 \text{ Nmm}^2$$

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

$$= \left(\frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033$$

$$\rho_{max} = 0,8 \times \rho_b = 0,8 \times 0,033 = 0,026$$

$$\rho_{min} = 0,0025$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}}$$

$$= \frac{1}{15,29} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,31}{390}} = 0,00079$$

Kontrol nilai ρ ,

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

$$0,0025 < 0,00079 < 0,026 \quad \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$A_{sh} = \rho \times b \times d = 0,0025 \times 1 \times 10^3 \times 275 = 687,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = \frac{250}{mm}$$

$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 1 \times 10^3}{250} = 804,25 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_s ,

$$A_{sp} > A_{sh}$$

$$804,25 > 687,50 \quad \dots\dots\dots \text{True}$$

Jadi dipakai tulangan lentur D16 – 250 dengan $A_s = 804,25 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan Susut

Perencanaan tulangan susut diambil dari 20% tulangan lentur.

$$A_s' = 20\% \times A_{sp} = 20\% \times 804,25 = 160,85 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s'} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1 \times 10^3}{160,85} = 488,28 \text{ mm}^2$$

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

Syarat jarak antar tulangan,

$$s < 3h \quad \text{atau} \quad 450 \text{ mm}$$

$$250 < 900 \quad \text{atau} \quad 450 \quad \dots \text{True}$$

Kontrol A_s ,

$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{S} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1 \times 10^3}{488,28} = 314,16 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_s ,

$$A_{sp} > A_s'$$

$$314,16 > 160,58 \quad \dots \text{True}$$

Jadi dipakai tulangan susut D10 – 250 dengan $A_s = 314,16 \text{ mm}^2$.

8. Kontrol Kapasitas Nominal Penampang

Keseimbangan gaya,

$$C_c = T$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{804,25 \times 390}{0,85 \times 30 \times 1 \times 10^3}$$

$$= 12,30 \text{ mm}$$

Letak garis netral,

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{12,30}{0,836}$$

$$= 14,72 \text{ mm}$$

Kontrol regangan tarik baja

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_c = \frac{275 - 14,72}{14,72} \times 0,003$$

$$= 0,05$$

Tegangan baja tarik

$$f_s = \varepsilon_s \times E = 0,05 \times 2 \times 10^5$$

$$= 10610,57 \text{ MPa}$$

$$f_s > 390,00 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{True}$$

Tulangan tarik berada pada kondisi leleh,

Momen lentur nominal,

$$Mn = As \times f_y \times \left(d - \frac{1}{2}a\right)$$

$$= 804,25 \times 390 \times \left(275 - \frac{1}{2} \times 12,30\right)$$

$$= 84,33 \text{ kNm}$$

Kontrol momen lentur nominal,

$$84,33 > 23,24 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{True}$$

4.3.3 Perencanaan Kerb

Menurut PPPJR 87 Bab III pasal 1 (2) 2.5 kerb harus diperhitungkan untuk dapat menahan satu beban horizontal ke arah melintang jembatan sebesar 500 kg/m yang bekerja pada puncak kerb atau pada tinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan.

1. Data Perencanaan

Mutu Beton (fc') = 30,00 Mpa

Berat jenis (wc) = 25,00 kn/m³

Tinggi kerb (tk) = 0,30 m

Lebar kerb (b4) = 0,15 m

Selimut beton (d') = 25,00 mm

Kuat leleh (Fy) = 390,00 Mpa

Ø tul. lentur (D) = 10,00 mm

$$\begin{aligned} \text{\textcircled{D}} \text{ tul. Geser (D)} &= 8,00 \text{ mm} & 2. \\ \text{tebal efektif (d)} &= 262,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Penulangan Kerb

a. Penulangan lentur

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{500 \times 0,30 \times 0,15}{0,9} = 0,25 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{0,25 \times 10^6}{0,15 \times 10^3 \times 262^2} = 0,025 \text{ N}_{mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{390} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,033 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,8 \times \rho_b = 0,8 \times 0,033 = 0,026$$

$$\rho_{min} = 0,0025$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{390}{0,85 \times 30} = 15,29$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \\ &= \frac{1}{15,29} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,29 \times 0,025}{390}} = 0,00006 \end{aligned}$$

Kontrol nilai p ,

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

$$0,0025 < 0,00006 < 0,026 \quad \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$A_{sh} = \rho \times b \times d = 0,0025 \times 150 \times 262 = 98,25 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = 100 \text{ mm}$$

$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{As} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 150}{100} = 117,81 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_s ,

$$A_{sp} > A_{sh}$$

$$117,81 > 98,25 \quad \dots\dots\dots \text{True}$$

Jadi dipakai tulangan lentur D10 – 100 dengan $A_s = 117,81 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan susut

Perencanaan tulangan susut diambil 50% dari tulangan lentur.

$$A_s' = 50\% \times A_{sp} = 50\% \times 117,81 = 58,90 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s'} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \times 1 \times 150}{58,90} = 128,00 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = 200 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan susut D8 – 200 dengan $A_s = 58,90 \text{ mm}^2$.

3. Kontrol Kapasitas Nominal Penampang

Keseimbangan gaya,

$$C_c = T$$

$$0,85 \times f'_c \times b \times a = A_s \times f_y$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} = \frac{117,81 \times 390}{0,85 \times 30 \times 1 \times 10^3} = 1,80 \text{ mm}$$

Letak garis netral,

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{1,80}{0,836} = 2,16 \text{ mm}$$

Kontrol regangan tarik baja

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_c = \frac{262 - 2,16}{2,16} \times 0,003 = 0,36$$

Tegangan baja tarik

$$f_s = \varepsilon_s \times E = 0,36 \times 2 \times 10^5 = 72.312,97 \text{ MPa}$$

$$f_s > 390,00 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{True}$$

Tulangan tarik berada pada kondisi leleh,

Momen lentur nominal,

$$\begin{aligned} Mn &= As \times fy \times (d - \frac{1}{2} a) \\ &= 117,81 \times 390 \times (262 - \frac{1}{2} \times 1,80) \\ &= 12,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol momen lentur nominal,

$$12,00 > 0,25 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{True}$$

4.3.4 Perencanaan Plat Lantai



Gambar 4.17 Tampak depan struktur atas jembatan gempolsewu

Perencanaan tebal plat lantai mengacu pada **RSNI T- 12-2004 Pasal 5.5.2.** tentang persyaratan tebal plat lantai minimum dan maksimum dijelaskan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned} 200 &\leq ts \leq 100 + 0,04 L \\ 200 &\leq ts \leq 100 + 0,04 \times 7400 \\ 200 &\leq ts \leq 396 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan diatas, tebal plat yang harus direncanakan tidak melebihi dari 396 mm dan tidak kurang dari 200 mm, maka direncanakan tebal plat 200 mm.

1. Data Perencanaan

L jembatan =	2 x 40	m	BJ hujan =	980 kg/m ³
Lebar plat =	7,50	m	Selimut =	0,03 m
h plat max =	3,96	m	h plat efektif (d) =	0,17 m
h plat min =	0,20	m	fc' =	25 MPa
h plat =	0,20	m	fy =	400 MPa
h aspal =	0,10	m	BJ beton =	2500 kg/m ³
h air hujan =	0,50	m	BJ aspal =	2200 kg/m ³

2. Analisa Pembebanan

- Beban Mati Merata

Tabel 4.11 Hasil Analisa Perhitungan Beban Plat Lantai

Beban	Tebal (m)	Lebar (m)	BJ	γ	q (kN/m)	Mqx	Mqy
Plat lantai	0.20	7.5	25	1.3	8.12	45.70	15.23
Aspal	0.10	60	22	2	2.20	12.37	4.12
Air hujan	0.05	7.5	9.8	2	0.98	5.51	1.84
TOTAL					11.31	63.62	21.21

Keterangan:

$$q = h \times \gamma \times BJ$$

$$M_{qx} = \frac{1}{10} \times q_u \times L^2$$

$$M_{qy} = \frac{1}{30} \times q_u \times L^2$$

- Beban Truk

Metode perhitungan beban truk mengacu pada SNI 1725 2016, yakni dijabarkan dalam perhitungan berikut:

Faktor Dinamis BGT (DLA) = 30%

Beban Kritis Roda Truk (P_{TT}) = 112.5 kN

Faktor beban (struktur gelagar beton) = 1.8

Tabel 4.12 Analisa desain spectra

Lx	Ly	Ty/lx	fxm	fym	Mhx (kNm)	Myx (kNm)
Plat Lantai	7.5	0.1	0.2237	0.1739	40.36	33.21
Aspal	7.5	0.1	0.2237	0.1739		
Air Hujan	7.5	0.1	0.2237	0.1739		

Keterangan:

$$Lx = 7.5$$

$$Ly = \infty \text{ tx/Lx} = 0.2$$

$$ty/Lx = 0.1$$

$$fxm = 0.2237 \text{ (Tabel bittner 3.2)}$$

$$Mhx = fxm \times Pu \times tx \times ty$$

$$fym = 0.1739 \text{ (Tabel bittner 3.3)}$$

$$Mhy = fym \times Pu \times tx \times ty$$

- Momen Ultimit

$$\begin{aligned} Mux &= 63.62 + 40.36 \\ &= 103.98 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Muy &= 21.21 + 33.21 \\ &= 54.42 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Setelah diketahui momen ultimitnya, selanjutnya dilakkan perhitungan tulangan plat lantai pada arah melintang x dan arah memanjang y dengan penjabaran sebagai berikut:

3. Penulangan

- Tulangan arah x

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{103.98}{0,8} = 129.98 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{129.98 \times 10^6}{1 \times 10^3 \times 220^2} = 2,17 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,027\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,8 \times \rho_b = 0,8 \times 0,027 = 0,02$$

$$\rho_{min} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \\ &= \frac{1}{18,824} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 2,1}{400}} = 0,004\end{aligned}$$

Kontrol nilai ρ ,

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max} \\ 0,004 < 0,004 < 0,026 \quad \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$A_{sh} = \rho \times b \times d = 0,004 \times 1 \times 10^3 \times 220 = 1060 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = 200 \text{ mm}$$

$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \times 1 \times 10^3}{200} = 1418 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_s ,

$$A_{sp} > A_{sh}$$

$$1418 > 1060 \quad \dots\dots\dots \text{True}$$

Dipakai D19-200

- Tulangan arah y

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{54,42}{0,8} = 68,03 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{68.03 \times 10^6}{1 \times 10^3 \times 220^2} = 1,51 \text{ } N_{mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,8 \times \rho_b = 0,8 \times 0,027 = 0,02$$

$$\rho_{min} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \\ &= \frac{1}{18,824} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 1,5}{400}} = 0,0038 \end{aligned}$$

Kontrol nilai ρ ,

$$\begin{aligned} \rho_{min} &< \rho_{perlu} < \rho_{max} \\ 0,004 &< 0,0038 < 0,026 \end{aligned} \quad \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$A_{sh} = \rho \times b \times d = 0,0038 \times 1 \times 10^3 \times 220 = 836 \text{ } mm^2$$

$$\text{Jarak} = 200 \text{ } mm$$

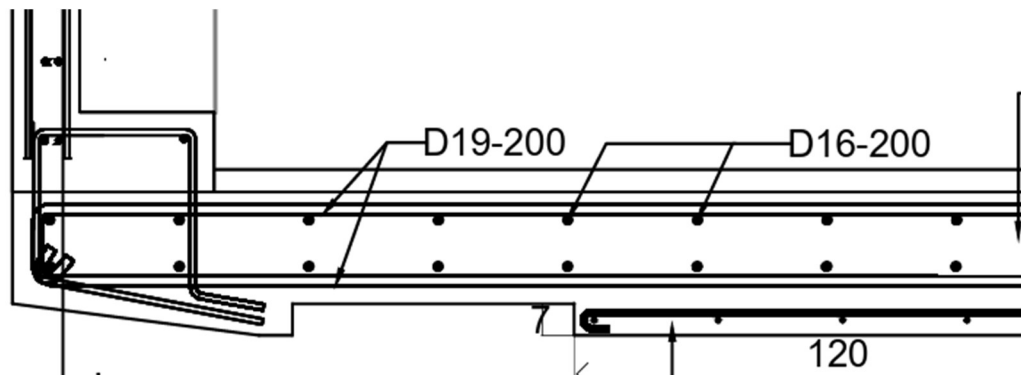
$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 1 \times 10^3}{200} = 1004 \text{ } mm^2$$

Kontrol A_s ,

$$A_{sp} > A_{sh}$$

$$1004 > 836 \quad \dots\dots\dots \text{True}$$

Dipakai D16-200



Gambar 4. 18 Perencanaan Tulangan Plat Lantai

4.3.5 Perencanaan Diafragma



Gambar 4. 19 Rencana Desain Diafragma

Perhitungan pembebanan diafragma hanya memperhitungkan beban diafragma itu sendiri, hal ini dikarenakan diafragma tidak memangku beban apapun.

1. Data Perencanaan

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 25 \text{ MPa} & f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 h \text{ diafragma (h)} &= 1.645 \text{ m} & \text{BJBETON} &= 25 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{tebal diafragma (t)} &= 0.2 \text{ m} & h \text{ efektif (hef)} &= 1.615 \text{ m} \\
 \text{selimut beton} &= 0.03 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Analisa Pembebanan

Tabel 4.13 Analisa desain spectra

Beban	Tebal (m)	Tinggi (m)	BJ	γ	q (kN/m)	Mu(kNm)
Diafragma	0.20	1.645	25	1.3	10.693	2.411

Keterangan:

$$\begin{aligned} Q\text{Diafragma} &= 1.3 \times h \times t \times B \\ Mu &= 1/12 \times Q\text{Diafragma} \times l^2 \end{aligned}$$

3. Perhitungan tulangan

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2,411}{0,8} = 3,04 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{3,04 \times 10^6}{2 \times 10^3 \times 1615^2} = 0,006 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,8 \times \rho_b = 0,8 \times 0,027 = 0,02$$

$$\rho_{min} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 0,006}{400}} \right) = 0,00001 \end{aligned}$$

Kontrol nilai ρ ,

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max} \\ 0,004 < 0,00001 < 0,026 \quad \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$A_{sh} = \rho \times b \times d = 0,004 \times 2 \times 10^3 \times 1615 = 1130 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = 200 \text{ mm}$$

$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \times 2 \times 10^3}{200} = 1608 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_s ,

$$A_{sp} > A_{sh}$$

$$1608 > 1130 \quad \dots\dots\dots \text{True}$$

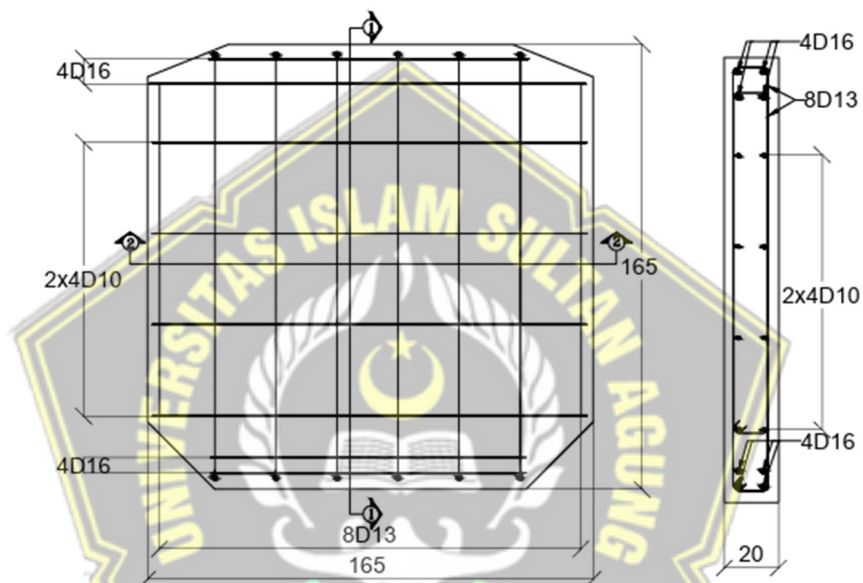
$$A_{sb} = 0.5 \times A_{sh} = 0.5 \times 1130 = 565 \text{ mm}^2$$

$$T.pra = 2 \times 4D10$$

Dipakai Tul. Utama 8D16

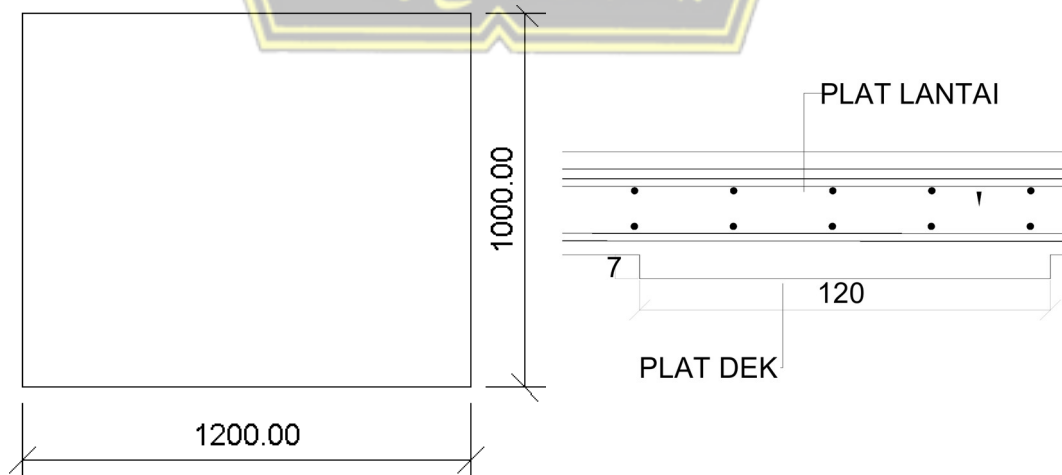
Dipakai Tul. Bagi 4D13

Tul. Praktis = 2 x 4D10



Gambar 4. 20 Perencanaan Tulangan Diafragma

4.3.6 Perencanaan Plat Deck



Gambar 4. 21 Dimensi Plat Deck Per Meter

1. Data Perencanaan

$f_c' =$	25 MPa	Tebal plat deck (t) =	70 mm
$f_y =$	400 MPa	Tebal efektif (t_{ef}) =	40 mm
Lebar plat deck (L) =	1200 Mm	BJbeton =	25 kN/m ³
Panjang plat deck (P) =	1000 Mm	Selimut beton =	30 mm

2. Analisa pembebanan

Tabel 4. 14 Perhitungan Analisa Beban yang Bekerja pada Plat Deck

Beban	Tebal(m)	Berat Jenis (kg/m ³)	γ	q (kN/m)	Mu (kNm)
Beban Hidup					
Orang			1	1	
qD_{TOTAL}				1	
Beban Mati					
Plat Lantai	0.25	25	1.3	8.125	
Air Hujan	0.05	0.98	1	4.802	
Plat Deck	0.07	25	1.3	2.275	
qD_{TOTAL}				10.498	2.07

Keterangan:

$$Mu = \frac{1}{8} q_{tot} x L^2$$

3. Kontrol Kapasitas Nominal Penampang

$$I = \frac{1}{12} x b x h^3 = \frac{1}{12} x b x h^3 = 0,00003 \text{ N}_{mm}^2$$

$$Ec = 4700\sqrt{fc} = 4700\sqrt{fc} = 235000000$$

$$\Delta_{maks} = \frac{1}{300} b = \frac{1}{300} x b = 4 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{M x L^2}{6 x Ec x I} = \frac{M x L^2}{6 x Ec x I} = 0,062$$

$\Delta < \Delta_{maks}$ OK, plat dek mampu menahan lendutan akibat beban di atasnya.

4. Perhitungan tulangan

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{2,070}{0,8} = 2,587 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{Mn}{b \times d^2} = \frac{2,587 \times 10^6}{1 \times 10^3 \times 40^2} = 1,617 \text{ Nmm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \left(\frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,027 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,8 \times \rho_b = 0,8 \times 0,027 = 0,02$$

$$\rho_{min} = 0,004$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \\ &= \frac{1}{18,824} \times 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,8 \times 1,61}{400}} = 0,004 \end{aligned}$$

Kontrol nilai ρ ,

$$\begin{aligned} \rho_{min} &< \rho_{perlu} < \rho_{max} \\ 0,004 &< 0,004 < 0,026 \end{aligned} \quad \text{dipakai } \rho_{min}$$

$$A_{sh} = \rho \times b \times d = 0,004 \times 1 \times 10^3 \times 40 = 168,36 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = \frac{200}{mm}$$

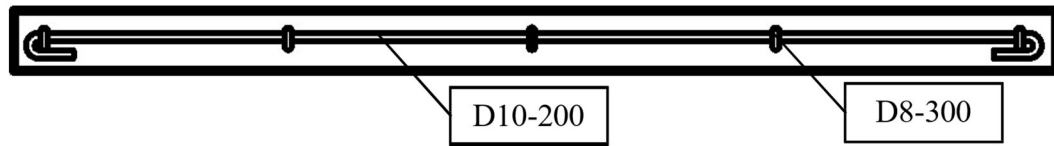
$$A_{sp} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 1 \times 10^3}{200} = 393 \text{ mm}^2$$

Kontrol A_s ,

$$\begin{aligned} A_{sp} &> A_{sh} \\ 393 &> 168,36 \quad \dots\dots\dots \text{True} \end{aligned}$$

Dipakai Tul. Utama D10-200

Dipakai Tul. Bagi D8-300



Gambar 4. 22 Perencanaan Tulangan Plat Deck

4.3.7 Perencanaan PCI Girder

Untuk menentukan Penggunaan PCI girder yang akan digunakan ditentukan dengan mengalikan panjang bentang dengan 0.0045. Itu dilakukan untuk mengetahui h minimum girder yang akan digunakan. Selanjutnya disesuaikan dengan spesifikasi gelagar prategang hasil produksi PT. Wijaya Karya Beton.

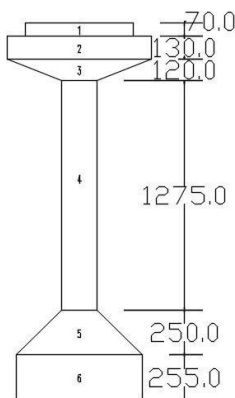
1. Data Perencanaan

- L jembatan = 2x40 m
- Lebar plat = 7,5 m
- h minimum girder = 1,8 m ($0.0045L = 0.0045 \times 40$)
- h girder = 2,1 m
- Jarak antar girder = 1,85 m
- $f_c' = 50$ MPa

2. Analisa pembebanan

- Analisa keadaan non komposit

Tabel 4. 15 Properties Gelagar Prategang Non- Komposit



No	Luas (A) m ²	Y m	$\Sigma A \times y$ m ³
1	0.045	2.065	0.093
2	0.104	1.965	0.204
3	0.036	1.9067	0.069
4	0.330	1.075	0.355
5	0.063	0.3333	0.021
6	0.175	0.125	0.022
Σ	0.752	7.470	0.763

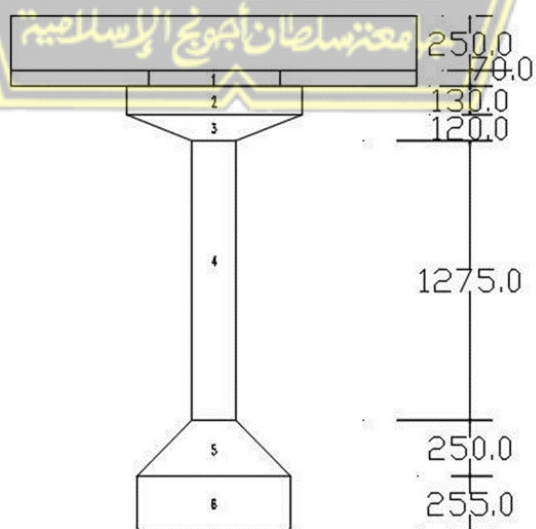
Luas penampang balok non komposit (A_g)	= Jarak antar gelagar
Momen inersia balok non komposit (I_x)	= $\frac{E_{plat}}{E_{balok}}$
Jarat titik berat dari sisi bawah gelagar (y_b)	= 1.308 m
	= $\frac{E_{plat}}{E_{balok}}$
Luas penampang balok komposit (A_{cg})	= $A_g + (h_{plat} \times B_e)$
Momen inersia balok komposit (I_{xcg})	=
Jarat titik berat dari sisi bawah gelagar (y_{beg})	= 1.014 m
Jarat titik berat dari sisi atas gelagar (y_{acg})	= $h_{cg} - y_{bcg}$
Modulus penampang gelagar sisi atas (S_{acg})	= $\frac{I_{xcg}}{y_{acg}}$

$$\frac{0.413}{1.336}$$


$$= 0.504 \text{ m}^3$$

Modulus penampang gelagar sisi bawah (S_{bcg})	= $\frac{I_{xcg}}{y_{bcg}}$
--	-----------------------------

- Analisa keadaan komposit
Analisa dalam keadaan komposit adalah analisa penampang gelagar ketika plat deck dan plat lantai sudah mengeras.



Gambar 4. 23 Gelagar Prategang Komposit



Tinggi gelagar komposit (h_{cg}) $= h_{gelagar} + h_{plat}$
 $= 2.1 + 0.20$
 $= 2.300 \text{ m}$

Lebar plat efektif balok komposit (B_e) $= \text{Jarak antar gelagar}$
 $= 1.85 \text{ m}$

Rasio modulus elastisitas plat dan gelagar (n) $= \frac{E_{plat}}{E_{balok}}$
 $= \frac{33234.019}{23000}$
 $= 0.70$

Lebar plat ekivalen balok komposit (B_{eff}) $= 1.308 \text{ m}$

Luas penampang balok komposit (A_{cg}) $= A_g + (h_{plat} \times B_e)$
 $= 0.750 + (0.25 \times 1.85)$
 $= 1.21 \text{ m}^2$

Momen inersia balok komposit (I_{xcg}) $= I_x + \left(\frac{1}{12} \times B_{eff} \times h_{plat}^3 \right)$
 $= 0.411 + \left(\frac{1}{12} \times 1.308 \times 0.25^3 \right)$
 $= 0.41 \text{ m}^4$

Jarat titik berat dari sisi bawah gelagar (y_{beg}) $= 1.01 \text{ m}$

Jarat titik berat dari sisi atas gelagar (y_{acg}) $= h_{cg} - y_{beg}$
 $= 2.30 - 1.01$
 $= 1.286 \text{ m}$

Modulus penampang gelagar sisi atas (S_{acg}) $= \frac{I_{xcg}}{y_{acg}}$
 $= \frac{0.413}{1.286}$
 $= 0.50 \text{ m}^3$

Modulus penampang gelagar sisi bawah (S_{bcg}) $= \frac{I_{xcg}}{y_{bcg}}$

3. analisa pembebanan

Analisa beban diuraikan menjadi beban mati dan beban hidup

- Beban mati

Tabel 4. 16 Perhitungan Analisa Beban mati yang Bekerja pada Gelagar

Beban	BJ (kN/m ³)	q (kN/m)	Mu (kNm)	Vu (kN)
Plat Lantai	25	9.00	1800.00	180.00
Plat Deck	25	2.10	420.00	42.00
Diafragma	25	3.88	775.68	77.59
Gelagar	25	19.18	3836.73	383.67
Total		34.09	6818.41	681.84
Aspal	22	3.96	792.00	79.20
Air Hujan	9.8	0.88	176.40	17.64
Total		4.84	968.40	96.84

Catatan:

Diambil lebar efektif atau Be plat lantai 1,8 m (plat lantai, aspal, Air Hujan)

Keterangan :

$$q = h \times Be \times BJ$$

$$Mu = \frac{1}{8} \times q \times L^2$$

$$Vu = \frac{1}{2} \times q \times L$$

- Beban hidup

Tabel 4. 17 Perhitungan Analisa Beban Hidup yang Bekerja pada Gelagar

Beban	q (kN/m)	Mu (kNm)	Vu (kN)
BTR	12.60	3628.80	307.44
BGT	32.05	301.14	30.11
Angin	1.01	201.60	20.16
Total	45.66	4131.54	357.71

Keterangan:

$$q_{BTR} = 9 \times Be \times \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8}\right)$$

$$M_{BTR} = \frac{1}{8} \times q_{BTR} \times L^2$$

$$V_{BTR} = \frac{1}{2} \times q \times L$$

$$q_{BGT} = (1+DLA) \times p \times Be$$

$$M_{BGT} = \frac{1}{4} \times q_{BGT} \times L$$

$$V_{BGT} = \frac{1}{2} \times q \times L^2$$

$$q_w = 0.006 \times C_w \times V_w^2 \times A_b$$

$$M_w = \frac{1}{8} \times q_{BTR} \times L^2$$

$$V_w = \frac{1}{2} \times q_w \times L$$

4. kombinasi pembebanan

Apabila semua beban sudah diperhitungkan, kemudian dilakukan perhitungan kombinasi pembebanan sesuai dengan persyaratan yang diatur pada Pasal 6.1 SNI 1725 : 2016. Perhitungan kombinasi pembebanan hanya dilakukan pada kombinasi Kuat I, Layan I, dan Layan III

Tabel 4. 18 Kombinasi Pembebanan Momen

Batas Kondisi	MS (kNm)	MA (kNm)	MH (kNm)	MW (kNm)	Total (kNm)
Kuat 1	15015.45	1210.50	6155.25		22381.20
Layan 1	11565.50	610.35	3252.55	1335.56	16763.96
Layan 3	11565.50	610.35	3252.55		15428.40

Tabel 4. 19 Kombinasi Pembebanan Gaya Geser

Batas Kondisi	VS (kN)	VA (kN)	VH (kN)	VW (kN)	Total (kN)
Kuat 1	1425.35	115.25	565.35		2105.95
Layan 1	2215.75	58.45	235.75	128.73	2638.68
Layan 3	2215.75	58.45	235.75		2509.95

5. Perencanaan tendon dan strand

Apabila semua momen pada gelagar sudah selesai dilakukan analisis, selanjutnya akan dilakukan perencanaan strand dan tendon. Tendon dan strand merupakan komponen utama dalam kekuatan gelagar prategang, maka dari itu dalam

perencanaan harus memperhatikan dan memperhitungkan seluruh gaya – gaya pada tendon dan strand. Gelagar prategang harus mampu menopang gaya – gaya prategang efektif yang bekerja, maka dari itu penentuan perhitungan gaya prategang berdasar pada tegangan tarik yang merupakan akibat dari kombinasi pembebanan Layan III. Berikut merupakan penjelasan perhitungan gaya – gaya prategang efektif yang ditumpu oleh gelagar prategang :

- Perhitungan gaya prategang akibat kombinasi pembebanan layan III
- Tegangan izin saat kondisi layan
- Tegangan pada bagian bawah gelagar
- Gaya prategang efektif pada bagian bawah gelagar

Apabila gaya prategang efektif telah selesai diperhitungkan, selanjutnya menentukan jenis strand yang akan digunakan. Jembatan beton prategang ini direncanakan dengan menggunakan strand jenis Uncoated 7 Wire Super Strand ASTM A-416 Grade 270 sesuai dengan persyaratan ASTM A416M-06. Berikut merupakan spesifikasi jenis strand yang digunakan:

Tabel 4. 20 Spesifikasi *Uncoated 7 Wire Super Strand ASTM A-416 Grade 270*

Parameter	Nilai
Teg. Leleh (fpy)	1580 MPa
Kuat Tarik (fpu)	1860 MPa
Diameter Strands (Ø)	12.7 mm
Luas Penampang Nominal Strand (A _{STRAND})	98.7 mm ²

Apabila jenis strand telah ditentukan, selanjutnya dilakukan perhitungan banyaknya strand dan tendon yang akan digunakan. Perhitungan jumlah strand dan tendon sebagai berikut :

- Gaya Prategang Awal Strands

Berdasarkan Pasal 5.9.2.2 AASHTO LRFD 2017, ditentukan batasan tegangan awal (f_{pbt}) strand yang diizinkan yakni sebesar $0.75f_{pu}$.

$$\begin{aligned}
 fpbt &= 0.75fpu \\
 &= 0.75 \times 1860 \\
 &= 1395 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Gaya Prategang Efektif Strands

$$\begin{aligned}
 Pes &= A_{STRANDS} \times fpbt \\
 &= 98.7 \times 1395 \\
 &= 137686.500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Jumlah Strands

Dari hasil perhitungan didapatkan jumlah strands sebanyak 69 strands untuk gelagar prategang dengan tinggi 2,1 meter. Selanjutnya dapat dilakukan perencanaan strands dan tendon sebagai berikut ini :

- Gaya Prategang Setiap Tendon (f_{TENDON}) $= Pes \times n_{S/T}$

$$\begin{aligned}
 &= 137686.5 \times 19 \\
 &= 2616043.5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Apabila jumlah strands dan tendon telah diperhitungkan, selanjutnya dilakukan perencanaan layout tendon dengan melakukan perhitungan eksentrisitas tendon pada tengah dan pangkal gelagar. **Tabel 4.21** dan **4.22** merupakan analisis eksentrisitas tendon pada gelagar.

Tabel 4.21 Eksentrisitas Tendon pada Tengah Bentang Gelagar

No	cec (m)	ec (m)	A x ec	A x cec
1	0.250	1.302	0.00128	0.000246
2	0.100	1.051	0.00103	0.000098
3	0.100	0.651	0.00065	0.000098
4	0.100	0.250	0.00024	0.000098

Berikut tabel analisis eksentrisitas tendon pada pangkal bentang:

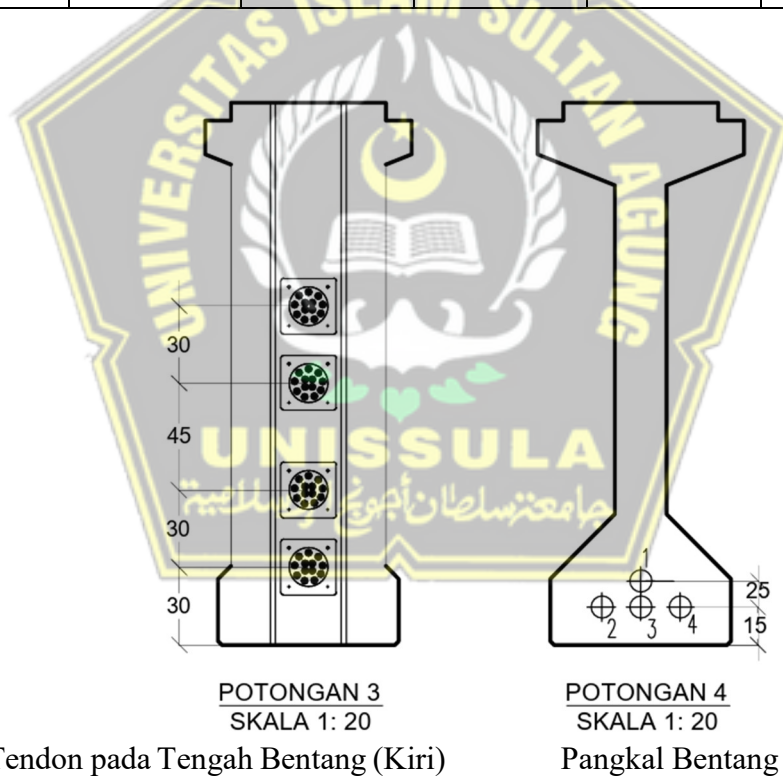
Tabel 4.22 Eksentrisitas Tendon pada Pangkal Bentang

No	cep (m)	epe (m)	ep (m)	A x epe	A x cep
1	1.552	-0.250	1.552	-0.000246	0.00153
2	1.151	-0.100	1.151	-0.000098	0.00113
3	0.751	0.000	0.751	0.00000	0.00074
4	0.350	0.100	0.35	0.000098	0.000035

Setelah dilakukan perhitungan eksentrisitas beton pada gelagar, kemudian dilakukan perhitungan layout koordinat tendon baik secara memanjang maupun melintang :

Tabel 4.23 Analisis Koordinat Tendon pada Jarak x dan y

x	Trace (Z_0)	Tendon 1	Tendon 2	Tendon 3	Tendon 4
0.000	1.0120	1.5520	1.1513	0.7507	0.3500
5.000	0.6294	0.9824	0.6914	0.4660	0.2406
10.000	0.3561	0.5755	0.3628	0.2627	0.1625
15.000	0.1922	0.3314	0.1657	0.1407	0.1156
20.000	0.1375	0.2500	0.1000	0.1000	0.1000
25.000	0.1922	0.3314	0.1657	0.1407	0.1156
30.000	0.3561	0.5755	0.3628	0.2627	0.1625
35.000	0.6294	0.9824	0.6914	0.4660	0.2406
40.000	1.0120	1.5520	1.1513	0.7507	0.3500



Gambar 4. 24 Perletakan Tendon pada Tengah Bentang (Kiri) dan Pangkal Bentang (Kanan)

Setelah dilakukan penentuan layout tendon, kemudian memperhitungkan seberapa besar gelagar mengalami kehilangan prategang jangka panjang ketika stressing. Menurut Soetoyo (2000) penyebab kehilangan prategang sebagai berikut :

- Akibat perpendekan elastis

Keterangan:

E_s = Modulus elastisitas strand

E_c = Modulus elastisitas beton

A_c = Luas penampang gelagar beton

A_s = Luas penampang strand

- Akibat susut pada gelagar

(1) Rasio volume terhadap luas permukaan

(2) Faktor pengaruh rasio volume terhadap permukaan komponen yang ditinjau

$$\begin{aligned} \epsilon_{SH} &= 8.2 \times 10^{-6} \times (1 - 0.06r_{vs}) \times (100 - RH) \\ &= 8.2 \times 10^{-6} \times (1 - 0.06 \times 0.109) \times (100 - 0.85) \\ &= 0.00000122 \end{aligned}$$

Keterangan:

RH = Kelembaban udara relative diasumsikan 85%

(3) Menentukan nilai koefisien susut (K_{SH}) yang ditentukan berdasarkan selisih waktu antara pengecoran dan *stressing* berdasarkan tabel berikut ini:

Tabel 4. 24 Nilai Koefisien Kusut Selisih Waktu antara Pengecoran dan *Stressing*

Selisih Waktu	Koefisien Susut (K_{SH})
1 hari	0.92
3 hari	0.85
5 hari	0.80
7 hari	0.77
10 hari	0.73

Selisih Waktu	Koefisien Susut (K_{SH})
20 hari	0.64
30 hari	0.58
60 hari	0.45

Asumsi pelaksanaan stressing yaitu setelah 3 hari pelaksanaan pengecoran, maka dari itu pada selisih waktu 3 hari antara pengecoran dan stressing koefisien susut (KSH) sebesar 0.85.

(4) Nilai kehilangan prategang akibat susut gelagar

$$\begin{aligned} \Delta f_{pSH} &= \epsilon_{SH} \times E_s \times K_{SH} \\ &= 0.00000122 \times 200000 \times 0.85 \\ &= 0.208 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Akibat rangkak pada gelagar
- Relaksasi strand pada gelagar saat transfer hingga pengecoran dek

$$\Delta f_{pR} = 8 \text{ MPa} \quad (\text{Menurut AASHTO LRFD 2017 Pasal 5.9.3.4.2c})$$

Setelah menghitung seluruh gaya kehilangan prategang, selanjutnya rekap keseluruhan gaya kehilangan prategangnya dan hitung gaya prategang efektif setelah kehilangan prategang (Pef):

Tabel 4.25 Rekapitulasi Gaya Kehilangan Prategang

Akibat Kehilangan Prategang	Kehilangan Prategang (fp)	%Kehilangan Prategang
Perpendekan Elastisitas	68.097	4.881%
Rangkak	115.299	8.265%
Susut	0.208	0.015%
Relaksasi	8.000	0.573%
Total	191.604	13.74%

$$\begin{aligned} P_{ef} &= (0.75f_{pu} - \sum f_p) \times \sum A_{TENDON} \\ &= (0.75 \times 1860 - 191.604) \times 0.0059 \\ &= 7.720 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6. Kontrol

- Pemeriksaan gaya prategang efektif ditengah bentang terhadap prategang efektif maksimum

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &\leq f_{pe \text{ max}} \\
 0.75f_{pu} - \sum f_p &\leq 0.8f_{py} \\
 0.75 \times 1860 - 191.604 &\leq 0.8 \times 1580 \\
 1203.396 &\leq 1264 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pertidaksamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa gelagar telah memenuhi syarat dan mampu menahan gaya prategang maksimumnya.

- Pemeriksaan terhadap tegangan kontrol saat jacking dan konstruksi

$$\begin{aligned}
 P_{\text{JACKING}} &= 0.75 \times f_{pu} \times \sum A_{\text{TENDON}} \\
 &= 0.75 \times 1860 \times 6415.5 \\
 &= 8949622.500 \text{ MPa} \\
 P_{\text{TRANSFER}} &= P_{\text{JACKING}} - (\sum f_p \times \sum A_{\text{TENDON}}) \\
 &= 8949622.500 - (191.604 \times 0.0059) \\
 &= 7.899 \text{ MPa} \\
 A_g &= 752300 \text{ mm}^2 \\
 e_c &= 824 \text{ mm} \\
 S_a &= 378397205.323 \text{ mm}^3 \\
 S_b &= 405124673.418 \text{ mm}^3 \\
 M_{\text{GELAGAR}} &= 209759285.938 \text{ Nmm} \\
 \text{Teg. Izin Tekan } (\sigma_{ci}) &= -0.6 \times f_c' \text{ gelagar saat jacking} \\
 &= -0.6 \times 40 \\
 &= -24 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 26 Tegangan pada Gelagar Ketika *Jacking* dan Konstruksi

Kondisi	Lokasi	$\frac{P_{TRF}}{A_g}$	$\frac{P_{TRF}}{E_c}$	$\frac{M_G}{S}$	F	Kontrol σ_{izin}	OK/NO
Jacking	Sisi Atas Gelagar	10.262	16.816	0.521	-0.521	≥ -24	OK
	Sisi Bawah Gelagar	10.262	15.706	0.551	0.551	≤ -24	OK
Konstruksi	Sisi Atas Gelagar	10.262	16.816	-1.512	1.512	≤ -30	OK
	Sisi Bawah Gelagar	10.262	15.706	1.601	1.601	≤ 4	OK

Dari hasil perhitungan, maka didapat kesimpulan bahwa tegangan pada gelagar baik ketika jacking maupun konstruksi aman terhadap batas tegangan tekan serta tariknya.

- Pemeriksaan terhadap lendutan pada balok non-komposit

Tabel 4. 27 Pemeriksaan Lendutan pada Gelagar

Jenis Beban	Momen (kNm)	Lendutan δ (m)	Lendutan pada Batas Kondisi	
			Kuat 1 (m)	Layan 3 (m)
Mpeff	6.660	0.0000	0.0000	0.0000
MS _{GELAGAR}	209.759	0.0006	0.0006	0.0006
MA	234.979	0.0001	0.0001	0.0001
MH	989.960	0.0013	0.0013	0.0013
Total			0.0004	0.0020
Cek terhadap δ_{izin} (m) =		0.138	OK	OK

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa gelagar mampu menahan lendutan akibat beban-beban yang ditopangnya.

7. Perencanaan tulangan

Setelah seluruh perhitungan yang telah dilakukan dalam perencanaan gelagar sesuai dengan persyaratan, kemudian dilakukan perencanaan tulangan pada gelagar. Pada perencanaan tulangan gelagar, tulangan *end block* direncanakan lebih rapat daripada tulangan $\frac{1}{4}$ bentang dan tulangan $\frac{1}{2}$ bentang. Berikut merupakan perhitungan tulangan pada gelagar :

Tabel 4. 28 Distribusi Beban pada 1/4 dan 1/2 Bentang Gelagar

Parameter	Jarak 1/4L = 10.375		Jarak 1/2L = 20.75	
	Beban Mati	Beban Hidup	Beban Mati	BTR
Mu (kNm)	4021.254	1522.736	8016.406	3014.632
Vu (kN)	385.902	71.368	782.622	276.341

- Tulangan Lentur pada 1/4 Bentang

$\rho > \rho_{min}$, maka dipakai ρ

Asmin Tul. Utama

$$= \rho_{min} \times b \times h_{ef}$$

$$= 0.006 \times 700 \times 2040$$

$$= 8814.449 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai 24D22 (9123 mm}^2\text{)}$$

- Tulangan Geser pada 1/4 Bentang

Selanjutnya periksa V_u dan V_c untuk menentukan kebutuhan tulangan geser pada gelagar:

Tabel 4. 29 Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser

$V_u < 0.5 \phi \times V_c$	OK
$0.5 \times \phi \times V_c < V_u < \phi \times V_c$	NOT OK
$(V_u - \phi \times V_c) < 0.67bd$	NOT OK

Berdasarkan hasil pemeriksaan tersebut pada persamaan satu hasilnya memenuhi, maka pada $\frac{1}{4}$ bentang gelagar tidak perlu direncanakan tulangan geser. Oleh karena itu digunakan tulangan sengkang praktis D13-150.

- Tulangan Lentur pada 1/2 Bentang
 $\rho > \rho_{min}$, maka dipakai ρ

$$\begin{aligned} \text{Asmin Tul. Utama} &= \rho_{min} \times b \times h_{ef} \\ &= 0.013 \times 700 \times 2040 \\ &= 18267.026 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai 28D29 (18495 mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

- Tulangan Geser pada 1/2 Bentang

Selanjutnya periksa V_u dan V_c untuk menentukan kebutuhan tulangan geser pada gelagar :

Tabel 4.30 Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser

$V_u < 0.5 \phi \times V_c$	OK
$0.5 \times \phi \times V_c < V_u < \phi \times V_c$	NOT OK
$(V_u - \phi \times V_c) < 0.67bd$	NOT OK

Dari hasil perhitungan dan pemeriksaan tulangan diatas, pada persamaan tiga hasilnya memenuhi, oleh sebab itu perlu merencanakan tulangan geser pada 1/2 bentang. Berikut merupakan penjelasan perencanaan tulangan geser :

Diameter tulangan rencana = 13 mm, dengan $A = 13274 \text{ mm}^2$

Menggunakan tulangan geser D13 – 250

- Tulangan *End Block*

Perencanaan tulangan *end block* gelagar dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 4.31 Perencanaan Tulangan *End Block*

Tendon ke-	Jarak Pusat ke Sisi Tendon (mm)		Gaya Permukaan Tendon (N)
	a1	a2	
1	450	150	24784
2	150	150	66090
3	150	150	66090
4	150	150	66090
T _{OMAX}			66090

- Tulangan *Bursting Zone*

Perencanaan tulangan *bursting zone* gelagar dijelaskan sebagai berikut:

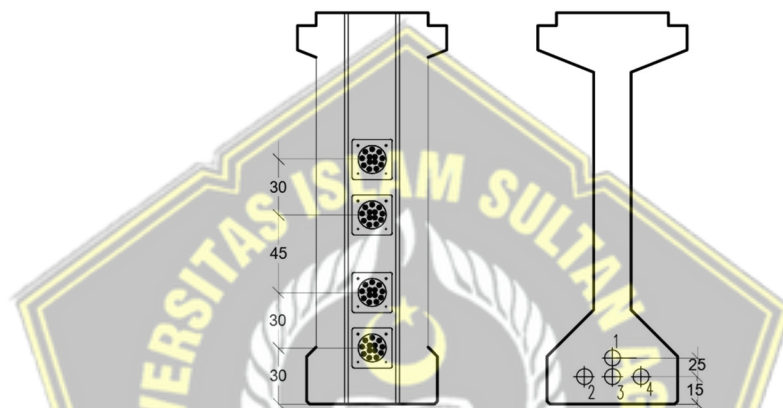
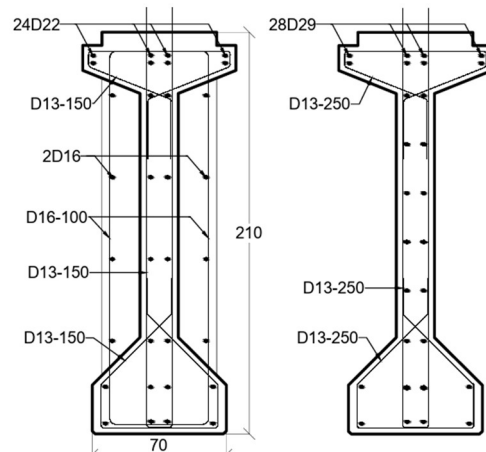
Tabel 4.32 Perencanaan Tulangan *Bursting Zone*

Parameter	Tendon ke-			
	1	2	3	4
$a = a_1 + a_2$ mm	600.000	300.000	300.000	300.000
$2b = 0.88DTENDON$ mm	17	17	17	17
$2a$ $\gamma = \frac{2a}{2b}$	0.028	0.056	0.056	0.056
F $T_s = \frac{F}{3} (1 - \gamma)$ kN	535058	519370	519370	519370
$T_s' = 1.1T_s$ kN	588565	571308	571308	571308
Asmin tulangan = $\frac{T_s'}{f_y M_m}$	1470	1430	1430	1430
Dipakai Tulangan	D16-100 mm²	D16-100 mm²	D16-100 mm²	D16-100 mm²

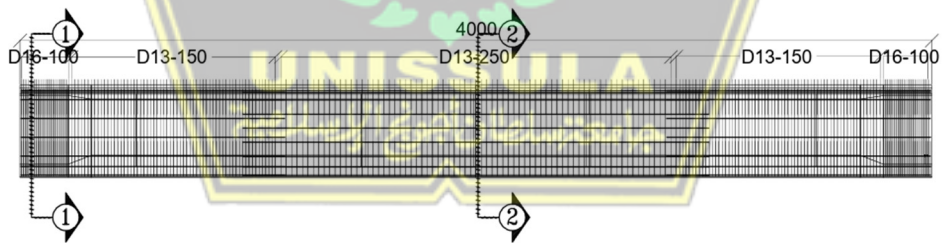
- Tulangan *Shear Connector*

Perencanaan tulangan *shear connector* gelagar dijelaskan sebagai berikut:

Jadi dipakai shear connector dengan diameter 22 mm, sebanyak 67 buah, dan jarak antar shear connector 0.619 m di sepanjang bentang girder.



Gambar 4. 25 Perencanaan Tulangan dan tendon PCI Girder



Gambar 4. 26 Potongan Memanjang Perencanaan Tulangan PCI Girder

4.3.8 Perencanaan *Bearing Pad*

Analisa perencanaan melibatkan analisis beban yang diberikan pada *bearing pad*, yang dikategorikan menjadi komponen vertikal dan horizontal. Penjabaran analisa diuraikan sebagai berikut:

1. Data Perencanaan

spesifikasi yang tertera di BMS BDM pada 7.1.1. Untuk jembatan beton prategang dipilih Elastomer Bearing Pad dengan ukuran 480 x 380 x 102 mm.

Plan Size 480 mm x 380 mm		Side Cover Thickness 10			Top and Bottom Cover Thickness 6				
Number of Internal Rubber Layers	Height Overall mm	Calc Comp Stiffness at Zero Shear 10 ³ kN/m	Mean Shear Stiffness 10 ³ kN/m	Calc Rotation Stiffness kNm/rad	Shear Deflection Capacity mm	Rated Load at Zero Rotation		Rated Load at Max Rotation	
						at Max Shear kN	at Zero Shear kN	at Max Shear kN	at Zero Shear kN
Internal Rubber Thickness 9									
4	73	1358	2.62	5371	33.6	2484	2484	1166	1562
6	101	1005	1.91	3967	42.5	2484	2484	1192	1578
8	129	798	1.50	3145	48.2	2484	2484	1223	1588
10	157	661	1.23	2605	51.3	2484	2484	1255	1594
Internal Rubber Thickness 12									
3	68	976	2.62	3620	33.6	2133	2484	1004	1353
5	102	641	1.75	2358	44.6	2129	2484	1012	1341
7	136	477	1.31	1748	50.6	2066	2404	1036	1335
10	187	344	0.95	1260	66.0	1428	1748	1018	1331
Internal Rubber Thickness 15									
3	77	593	2.21	2113	38.7	1702	2434	857	1157
5	117	376	1.45	1329	48.9	1726	2122	869	1136
7	157	275	1.08	969	58.5	1321	1578	868	1126
9	197	217	0.86	763	72.0	1005	1256	848	1120

Gambar 4.27 Spesifikasi Elastomeric Bearing Pad Menurut BMS BDM 7.1.1.

Sumber: BMS BDM Pasal 7.1.1.

Tabel 4.33 Data Spesifikasi Elastomeric Bearing Pad 480x380x68mm

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Kekerasan karet	IHRD	53	
Modulus geser	G	0.69	MPa
Modulus total	B	2000	MPa
p bearing pad	b	480	Mm
l bearing pad	d	380	Mm
h selimut sisi	hc	10	Mm
h selimut sisi ef	hcef = 1.4 x hc	14	Mm
h selimut atas bawah	htb	6	Mm
n karet	nr	3	Buah
h lapis dalam karet	hi	36	Mm
h lapis dalam karet ef	hief	36	Mm
h plat baja	hp	5	Mm
n plat baja	np	4	Buah
h total	h	68	Mm
Luas total	A = b x d	182400	mm ²

Sumber: BMS BDM Pasal 7.1.1.

2. Analisa Pembebanan
Beban Vertikal

Tabel 4.34 Beban Vertikal *Bearing Pad*

Beban	q (kN)
Parapet	194.94
Plat Lantai	1500
Plat Deck	252
Diafragma	366.42
Gelagar	3009.60
Aspal	528
Air Hujan	147.15
Kerb trotuar	90 300
Total (kN)	6434.55

Keterangan :

$$q_{\text{PARAPET}} = V_{\text{PARAPET}} \times B_{\text{BETON}} \times \frac{1}{2}L$$

$$q_{\text{PLAT}} = h_{\text{PLAT}} \times 0.75 \times B_{\text{BETON}} \times \frac{1}{2}L$$

$$q_{\text{ASPAL}} = h_{\text{ASPAL}} \times 0.75 \times B_{\text{ASPAL}} \times \frac{1}{2}L$$

$$q_{\text{HUJAN}} = h_{\text{HUJAN}} \times 0.75 \times B_{\text{HUJAN}} \times \frac{1}{2}L$$

$$q_{\text{LL}} = \sum q_{\text{LL}} \times \frac{1}{2}L$$

$$q_{\text{DIAFRAGM}} = q_{\text{DIA}} \times n_{\text{DIA}}$$

$$q_{\text{GELAGAR}} = q_{\text{GELAGAR}} \times B_{\text{BETON}} \times \frac{1}{2}L$$

Beban horizontal

Tabel 4.35 Beban Horizontal *Bearing Pad*

Beban	q (kN)
Rem	62.5
Total (N)	62500.000

Keterangan :

$$q_{REM} = q_{REM} \times \eta_{GELAGAR}$$

3. Kontrol

Pemeriksaan kontrol *elastomeric bearingpad* mengacu pada BMS BDM pasal 7.1.1 sebagai berikut:

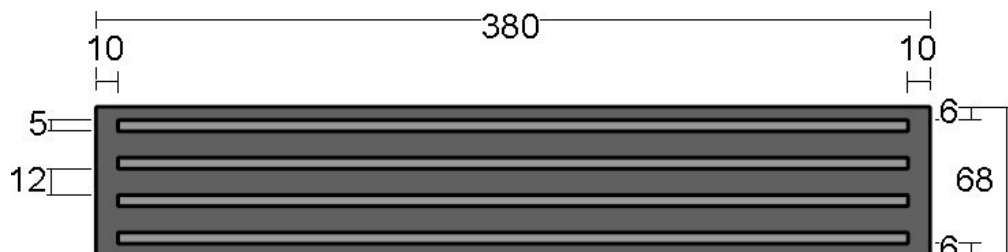
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Luas Efektif Minimum
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Bentuk
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Regangan Total Maksimum

Tabel 4.36 Syarat Ketebalan Maksimum dan Minimum

Uraian	Dimensi (mm)
Dimensi vertikal keseluruhan:	
Tebal 32 mm atau kurang	-0, +3
Tebal lebih dari 32 mm	-0, +6
Dimensi horizontal keseluruhan:	
Untuk pengukuran 914 mm atau kurang	-0, +6
Untuk pengukuran lebih dari 914 mm	-0, +12

Sumber: SNI 3967 2013

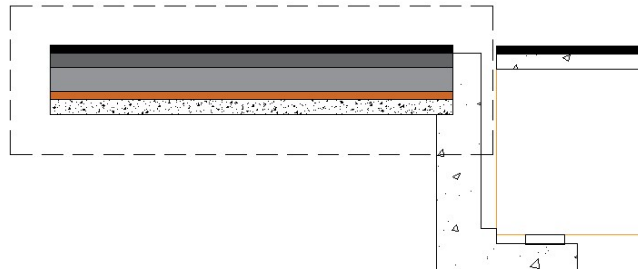
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Batas Leleh
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Tegangan Maksimum Rata- Rata
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Perputaran Maksimum
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Stabilitas Tekan
- Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Tebal Plat Baja Minimum
- Pemeriksaan Tahanan Gesek Elastomeric Bearing Pad terhadap Geseran



Gambar 4. 28 Gambar Rencana Elastomeric Bearing Pad

4.3.9. Perencanaan Plat Injak

Penghubung jembatan dengan jalan raya disebut oprit atau jalan pendekat. Untuk menjaga penurunan jalan pendekat diperlukan perencanaan pelat injak yang terletak di belakang abutment.



Gambar 4.30. Letak Plat Injak

1. Data Umum Perencanaan Pelat Injak

Data perencanaan pelat injak disertakan sebagai berikut:

1. Dimensi

Tebal aspal + overlay	t_a	=	0,28	m
Tebal genangan air	t_w	=	0,05	m
Tebal agregat	t_s	=	0,40	m
Tebal pelat injak	h	=	0,20	m
Panjang arah x	L_x	=	5,00	m
Panjang arah y	L_y	=	7,50	m
Lebar yang ditinjau	L_n	=	1,00	m
Lebar bidang gandar	b	=	0,50	m

2. Material

Kuat tekan beton	f'_c	=	30,00	MPa
Modulus elastisitas beton	E_c	=	25742,96	MPa
Mutu baja tulangan	U	=	BJTS 42	
Tegangan leleh baja	f_y	=	420,00	MPa

3. Berat Jenis

Beton bertulang	W_c	=	25,00	kN/m ³
Aspal	W_a	=	22,00	kN/m ³
Agregat	W'_a	=	18,80	kN/m ³
Air	W_w	=	9,80	kN/m ³

2. Analisa Pembebanan Pelat Injak

Beban yang digunakan dalam perencanaan pelat injak yaitu, beban mati dan beban hidup. Beban hidup dalam perhitungan menggunakan beban terbagi rata. Pelat injak

dimodelkan dengan perletakan sendi – rol, sendi saat pelat ditumpu oleh abutment, sedangkan rol ditumpu oleh timbunan.

1. Beban mati (MS)

Faktor beban mati = 1,30

a. Berat aspal

$$\begin{aligned} q_a &= t_a \times W_a \times L_x \times y_{ms}^u \\ &= 0,28 \times 22,00 \times 5,00 \times 1,30 \\ &= 40,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Berat agregat

$$\begin{aligned} q'_a &= t_s \times W'_a \times L_x \times y_{ms}^u \\ &= 0,40 \times 18,80 \times 5,00 \times 1,30 \\ &= 48,88 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Berat pelat injak

$$\begin{aligned} q_p &= h \times W_c \times L_x \times y_{ms}^u \\ &= 0,20 \times 25,00 \times 5,00 \times 1,30 \\ &= 32,50 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

d. Berat air hujan

$$\begin{aligned} q_w &= t_w \times W_w \times L_x \times y_{ms}^u \\ &= 0,05 \times 9,80 \times 5,00 \times 1,30 \\ &= 3,19 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2. Beban lalu-lintas

Faktor beban lajur “D” = 1,80

a. Beban terbagi rata

$$\begin{aligned} q &= 7,88 \text{ kPa} \\ q_{BTR} &= q \times L_x \times y_{TD}^u \\ &= 7,88 \times 5,00 \times 1,80 \\ &= 70,88 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

3. Momen pada pelat injak

a. Momen akibat beban mati

$$\begin{aligned}
 M_{MS} &= 1/8 \times \Sigma q_{ms}^u \times L_x^2 \\
 &= 1/8 \times 124,61 \times 5,00^2 \\
 &= 389,39 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

b. Momen akibat beban hidup

$$\begin{aligned}
 M_{TD} &= 1/8 \times q_{BTR} \times L_x^2 \\
 &= 1/8 \times 70,88 \times 5,00^2 \\
 &= 221,48 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Momen total

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_t &= M_{MS} \times M_{TD} \\
 &= 389,39 + 221,48 \\
 &= 610,88 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

d. Momen yang ditinjau pada 1,00 meter

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{\Sigma M_t}{L_x} \\
 &= \frac{610,88}{5,00} \\
 &= 122,18 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3. Penulangan Pelat Injak

Perhitungan tulangan direncanakan dengan parameter sebagai berikut:

Kuat tekan beton $f'_c = 30,00 \text{ MPa}$

Tegangan leleh baja $f_y = 420,00 \text{ MPa}$

Tebal pelat injak $h = 200,00 \text{ mm}$

Selimut beton $d' = 30,00 \text{ mm}$

Tebal efektif $d = 170,00 \text{ mm}$

Lebar yang ditinjau $b = 1000,00 \text{ mm}$

Faktor reduksi lentur $\phi = 0,90$

Momen rencana ultimit $M_u = 122,18 \text{ kNm}$

Diameter tulangan utama $\phi_u = 22,00 \text{ mm}$

Diameter tulangan bagi $\phi_b = 19,00 \text{ mm}$

1. Tulangan utama

a. Momen nominal rencana

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{122,18}{0,90} \times 10^6 \\
 &= 135750000,00 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

b. Faktor bentuk distribusi tegangan beton

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{f'_c - 28}{7} \right) \times 0,05 \\
 &= 0,85 - \left(\frac{30 - 28}{7} \right) \times 0,05 \\
 &= 0,84
 \end{aligned}$$

c. Rasio tulangan kondisi *balance*

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \left(\frac{\beta_1 \times 0,85 \times f'_c}{f_y} \right) \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \left(\frac{0,84 \times 0,85 \times 30}{420} \right) \times \left(\frac{600}{600 + 420} \right) \\
 &= 0,03
 \end{aligned}$$

d. Factor tahanan momen maksimum

$$\begin{aligned}
 R_{max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left(1 - \left(\frac{0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f'_c} \right) \right) \\
 &= 0,75 \times 0,03 \times 420 \times \left(1 - \left(\frac{0,5 \times 0,75 \times 0,03 \times 420}{0,85 \times 420} \right) \right) \\
 &= 7,67
 \end{aligned}$$

e. Faktor tahanan momen rencana

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{135750000,00}{1000 \times 170^2} \\
 &= 4,70
 \end{aligned}$$

Cek tahanan momen rencana terhadap momen maksimum,

$$R_n < R_{max} \text{ OK}$$

f. Rasio tulangan perlu

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,70}{0,85 \times 30}} \right) \\ &= 0,012\end{aligned}$$

g. Rasio tulangan maksimum

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,03 \\ &= 0,022\end{aligned}$$

h. Rasio tulangan minimum

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= 0,0018 \times \frac{420}{f_y} \\ &= 0,0018 \times \frac{420}{420} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Cek rasio tulangan perlu,

$$\begin{array}{ccccc}\rho_{min} & < & \rho & < & \rho_{max} \\ 0,002 & < & 0,012 & < & 0,022 & \text{OK}\end{array}$$

Dari hasil cek, dipakai rasio tulangan,

$$\rho = 0,012$$

i. Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned}A_{sh} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,012 \times 1000 \times 170 \\ &= 2118,72 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

j. Jarak tulangan perlu

$$\begin{aligned}s &= \frac{\pi}{4} \times \phi_u^2 \times \frac{b}{A_{sh}} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 22^2 \times \frac{1000}{2118,72} \\ &= 179,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

k. Luas tulangan yang digunakan

Direncanakan menggunakan jarak tulangan,

$$\begin{aligned} s_{pakai} &= 150,00 \text{ mm} \\ A_{sp} &= \frac{\pi}{4} \times \phi_u^2 \times \frac{b}{s_{pakai}} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 22^2 \times \frac{1000}{150,00} \\ &= 2534,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek hasil luas tulangan yang digunakan dengan luas tulangan perlu,

$$A_{sp} > A_{sh} \quad \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan utama dengan, $\phi 22 - 150 \text{ mm}$

2. Tulangan bagi

a. Luas tulangan perlu

$$\begin{aligned} A_s &= 50\% \times A_{sh} \\ &= 50\% \times 2118,72 \\ &= 1059,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b. Jarak tulangan perlu

$$\begin{aligned} s &= \frac{\pi}{4} \times \phi_b^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times \frac{1000}{1059,36} \\ &= 267,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Luas tulangan yang digunakan

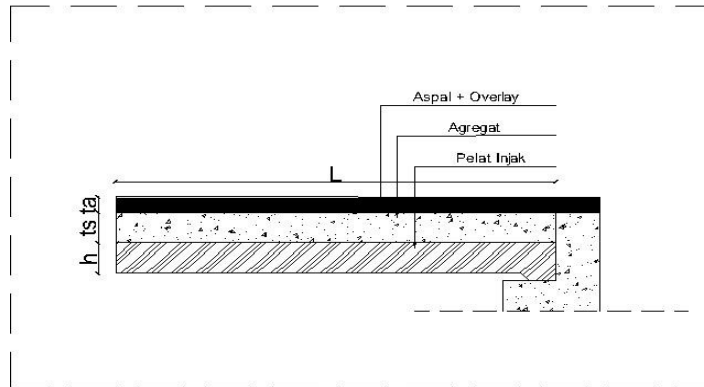
Direncanakan menggunakan jarak tulangan,

$$\begin{aligned} s_{pakai} &= 250,00 \text{ mm} \\ A_{sp} &= \frac{\pi}{4} \times \phi_b^2 \times \frac{b}{s_{pakai}} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 19^2 \times \frac{1000}{250,00} \\ &= 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

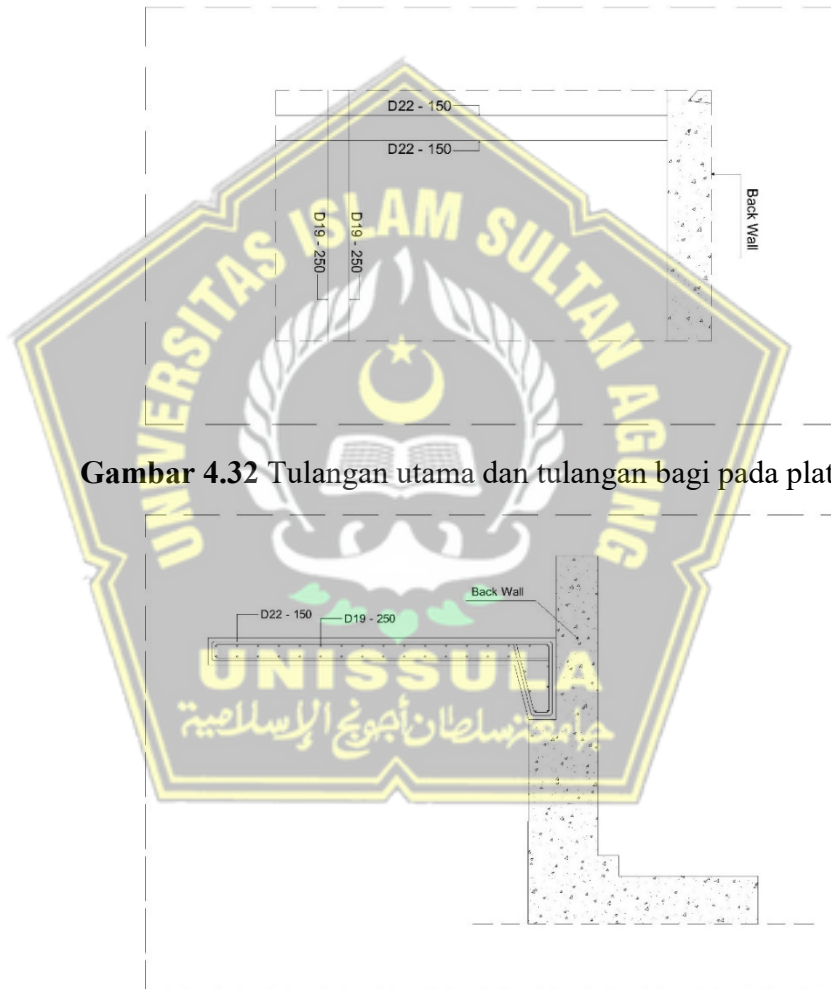
Cek hasil luas tulangan yang digunakan dengan luas tulangan perlu,

$$A_{sp} > A_{sh} \quad \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan utama dengan, $\phi 19 - 250 \text{ mm}$



Gambar 4.31 Perencanaan pelat injak



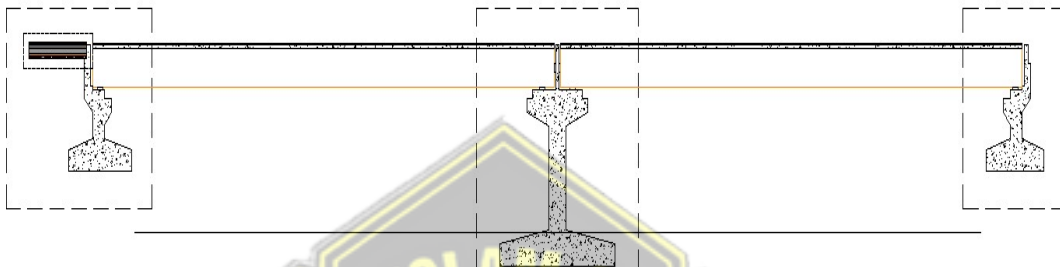
Gambar 4.32 Tulangan utama dan tulangan bagi pada plat injak

Gambar 4.33 Tampak samping penulangan plat injak

4.3.10. Perencanaan Abutment

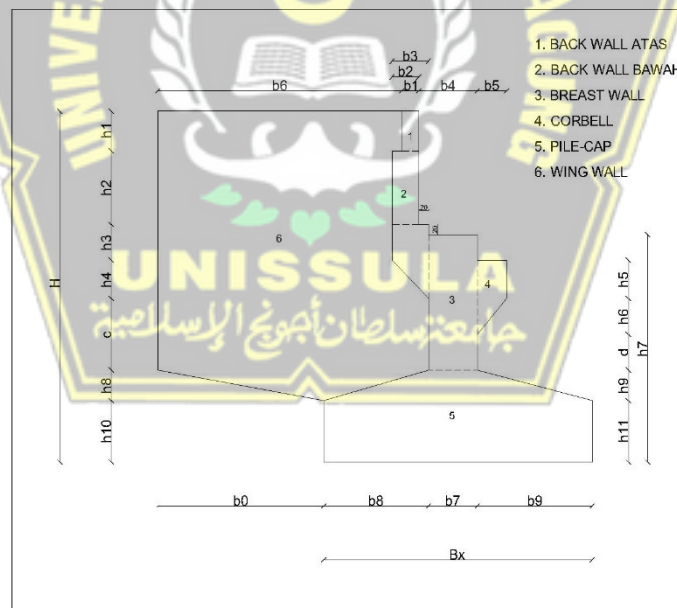
Abutment terletak pada ujung jembatan berfungsi sebagai pemikul seluruh beban dari atas dan diteruskan ke fondasi. Struktur atas direncanakan menggunakan girder beton pratekan tipe I sehingga bentang ekonomi berkisar antara 16 sampai 60meter

menurut Surat Edaran Bina Marga No 05/SE/Db/2017. Oleh sebab itu jembatan dengan bentang 80meter dibagi menjadi 2 bentang 40meter di tumpu oleh abutment – pilar – abutment. Abutment direncanakan menggunakan jenis penopang (*counterfort*). Abutment direncanakan dapat menahan stabilitas guling dan geser, oleh sebab itu pada bagian belakang abutment diberikan penopang (*wing wall*). Menurut *Bridge Management System 1992* tinggi abutment tipe penopang berkisar antara 6 hingga 8 meter.



Gambar 4.34 Letak abutment

1. Data Umum Perencanaan Abutment



Gambar 4.35 Notasi dimensi abutment

Tabel 4.34 Data umum perencanaan abutment

Notasi	Dimensi (m)	Deskripsi	Notasi	Nilai	Satuan
h_1	0,78	Panjang abutment	B_y	7,50	m
h_2	1,44	Lebar autment	b_7	1,00	m
h_3	0,70	Lebar <i>pile-cap</i>	B_x	5,50	m
h_4	0,75	Tebal <i>wing wall</i>	h_w	0,50	m
h_5	0,75	Data tanah timbunan			
h_6	0,70	Berat volume	γ_s	17,20	kN/m ³
h_7	4,45	Sudut gesek	θ	35,00	°
h_8	0,60	Kohesi	C	0,00	kPa
h_9	0,60	Data tanah dasar <i>pile-cap</i>			
h_{10}	1,20	Berat volume	γ_s	15,88	kN/m ³
h_{11}	1,20	Sudut gesek	θ	29,22	°
c	1,40	Kohesi	C	8,50	kPa
d	0,70	Bahan struktur			
H_y	6,87	Beton	f'_c	30,00	MPa
b_1	0,35	Baja tulangan	f_y	420,00	MPa
b_2	0,55				
b_3	0,75				
b_5	0,60				
b_7	1,00				
b_8	2,15				
b_9	2,35				
b_0	3,40				
B_x	5,50				

2. Analisa Pembebanan Abutment

Pembebanan jembatan dapat diasumsikan beban yang terjadi pada jembatan bentang 80 meter dapat dibagi menjadi 2 bentang 40 meter. Beban dari aksi tetap, lalu lintas, aksi lingkungan dan beban lainnya dengan bentang 40 meter akan di tumpu oleh abutment dan pilar. Perhitungan pembebanan serta factor daya layan serta ultimit mengacu SNI 1725 – 2016 serta acuan lain yang dapat membantu perhitungan pembebanan jembatan. Pada perhitungan struktur abutment dilampirkan perhitungan detail pada lampiran.

1. Beban aksi tetap

Beban aksi tetap atau beban permanen pada abutment merupakan akumulasi dari berat setiap bagian structural maupun non-structural jembatan. Sehingga setiap komponen diasumsikan sebagai satu kesatuan aksi yang tidak dapat dipisahkan dalam penerapan factor beban normal dan ultimit.

- a. Berat sendiri (M_S)
- a) Berat sendiri struktur atas

Tabel 4.35 Perhitungan berat sendiri struktur atas

No	Beban	Parameter				BJ	Berat
		b (m)	h (m)	L (m)	n		
1	Slab	7,50	0,20	40,00	1,00	25,00	1500,00
2	Deck slab	0,70	0,12	40,00	3,00	25,00	252,00
3	Trotoar	0,50	0,30	40,00	2,00	25,00	300,00
4	Kerb	0,15	0,30	40,00	2,00	25,00	90,00
5	Girder I			40,00	4,00	18,81	3009,60
6	Diafragma				27,00	13,61	367,54
7	Tiang sandaran	0,10	1,00	0,60	17,00	25,00	25,50
8	Parapet beton	0,10	0,50	34,90	2,00	25,00	87,25
Total berat sendiri struktur atas (W_{MS})							5631,89

- Beban abutment akibat berat sendiri struktur atas

$$\begin{aligned}
 P_{MS} &= \frac{W_{MS}}{2} \\
 &= \frac{5631,89}{2} \\
 &= 2815,94 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

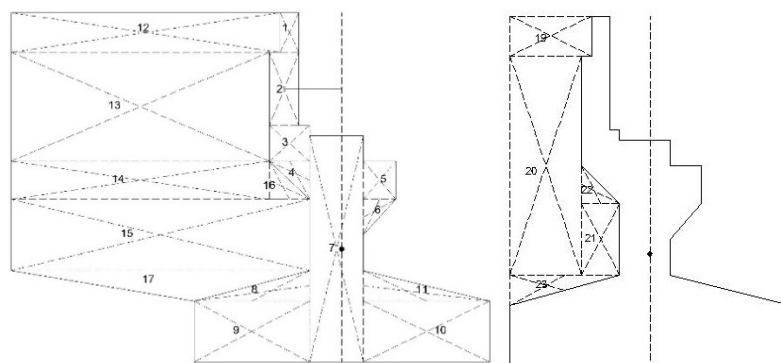
- Eksentrisitas beban terhadap fondasi

$$\begin{aligned}
 e &= -\frac{B_x}{2} + b_8 + \frac{b_7}{2} \\
 &= -\frac{5,50}{2} + 2,15 + \frac{1,00}{2} \\
 &= -0,10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Momen pada fondasi

$$\begin{aligned}
 M_{MS} &= P_{MS} \times e \\
 &= 2815,94 \times -0,10 \\
 &= -281,59 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- b) Berat sendiri abutment



Gambar 4.36 Penomoran dimensi abutment

Tabel 4.36 Perhitungan berat sendiri abutment

No	Dimensi Bagian Abutment				Berat kN	Lengan m	Momen kNm
	b (m)	h (m)	shape	direct			
Abutment							
1	0,35	0,78	1,00	-1,00	51,19	0,975	-49,91
2	0,55	1,44	1,00	-1,00	148,50	1,075	-159,64
3	0,75	0,70	1,00	-1,00	98,44	0,975	-94,98
4	0,75	0,75	0,50	-1,00	52,73	0,850	-44,82
5	0,60	0,75	1,00	1,00	84,38	0,700	59,06
6	0,60	0,70	0,50	1,00	39,88	0,600	23,63
7	1,00	4,45	1,00	-1,00	834,38	0,100	-83,44
8	2,15	0,60	0,50	-1,00	120,94	1,317	-159,23
9	2,35	0,60	0,50	1,00	132,19	1,183	156,42
10	2,15	1,20	1,00	-1,00	483,75	1,675	-810,28
11	2,35	1,20	1,00	1,00	528,75	1,575	832,78
Wing wall							
12	5,00	0,78	1,00	-1,00	97,50	3,650	-355,88
13	4,80	2,14	1,00	-1,00	256,80	3,750	-963,00
14	4,80	0,75	1,00	-1,00	90,00	3,750	-337,50
15	5,55	1,40	1,00	-1,00	194,25	3,375	-655,59
16	5,55	0,60	0,50	-1,00	41,63	4,300	-178,99
17	0,75	0,75	0,50	-1,00	7,03	1,100	-7,73
18	Lateral stop		0,20	-1,00	10,00	0,000	0,00
Timbunan							
19	1,60	0,78	1,00	-1,00	160,99	1,950	-313,93
20	1,40	4,29	1,00	-1,00	774,77	2,050	1588,29
21	0,75	0,75	0,50	-1,00	36,28	1,100	-39,91
22	0,75	1,40	1,00	-1,00	135,45	0,975	-132,06
23	2,15	0,60	0,50	-1,00	83,21	2,033	-169,18
Total				P_{MS}	4462,52	M_{MS}	5073,48

Hasil dari perhitungan beban mati struktur atas dan bawah perlu dijumlah untuk mengetahui besaran beban dan momen untuk dilakukan kombinasi pembebanan.

Tabel 4.37 Rekapitulasi total berat sendiri (Ms)

No	Uraian	P_{MS}	M_{MS}
		kN	Kn
1	Struktur atas	2815,94	-281,59
2	Struktur bawah	4462,52	-5073,48
Total		7278,46	-5355,07

b. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat dari elemen non-struktural dan dapat berubah semasa umur jambatan.

- Beban abutment akibat beban mati tambahan struktur atas

$$\begin{aligned}
 P_{MS} &= \frac{W_{MA}}{2} \\
 &= \frac{803,63}{2} \\
 &= 401,82 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Eksentrisitas beban terhadap fondasi

$$\begin{aligned}
 e &= -\frac{B_x}{2} + b_8 + \frac{b_7}{2} \\
 &= -\frac{5,50}{2} + 2,15 + \frac{1,00}{2} \\
 &= -0,10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Momen pada fondasi

$$\begin{aligned}
 M_{MA} &= P_{MA} \times e \\
 &= 401,82 \times -0,10 \\
 &= -40,18 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Tekanan tanah (TA)

Menurut SNI 1726 – 2016 tentang pembebanan untuk jambatan, pada bagian belakang abutment perlu diperhitungkan adanya beban tambahan setara dengan tanah setebal 0,70m berupa beban merata ekivalen kendaraan.

Tabel 4.38 Perhitungan gaya akibat tekanan tanah

No	Gaya akibat tekanan tanah	T_{TA}	Lengan thd.0	Y	M_{TA}
		kN		m	kNm
1	$T_{TA} = q \times H \times k_a \times B_y$	168,11	$y = H / 2$	3,44	577,46
2	$T_{TA} = 0,5 \times H^2 \times \gamma_s \times k_a \times B_y$	824,95	$y = H / 3$	2,29	1889,13
ΣT_{TA}		993,06	ΣM_{TA}		2466,59

2. Beban lalu-lintas

Beban lalu-lintas yang dibebankan pada abutment antara lain adalah beban terbagi rata, beban garis terpusat, beban pejalan kaki, dan beban rem.

a. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” yang dibebankan pada abutment merupakan penjumlahan dari beban terbagi rata dengan beban garis terpusat. Perhitungan beban lajur “D” pada bentang 40meter dan lebar 6meter serta *Dinamic Load Allowance* 40% diperhitungkan sebagai berikut:

- Beban terbagi rata

$$\begin{aligned} q_{BTR} &= q \times L \times b_1 \\ &= 7,88 \times 40,00 \times 6,00 \\ &= 1890,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Beban garis terpusat

$$\begin{aligned} P_{BGT} &= p \times b_1 \times (1 + DLA) \\ &= 49,00 \times 6,00 \times (1 + 40\%) \\ &= 411,60 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Beban lajur “D”

$$\begin{aligned} W_{TD} &= q_{BTR} + P_{BGT} \\ &= 1890,00 + 411,60 \\ &= 2301,60 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Beban pada abutment akibat beban lajur “D”

$$\begin{aligned} P_{TD} &= \frac{W_{TD}}{2} \\ &= \frac{2301,60}{2} \\ &= 1150,80 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen pada fondasi akibat beban lajur “D”

$$\begin{aligned} M_{TD} &= q_{BTR} \times e \\ &= 1150,80 \times -0,10 \\ &= -115,08 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- b. Beban pejalan kaki (TP)

Beban pejalan kaki merupakan beban merata dari struktur atas, dihitung dari bentang jembatan 40meter, lebar trotoar 2 x 0,50 meter, serta beban pejalan sebesar 5,00 kPa. Sehingga beban pejalan kaki memiliki arah vertical kebawah abutment.

- Beban pada abutment akibat beban pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 P_{TP} &= \frac{q_{TP} \times A}{2} \\
 &= \frac{5,00 \times 40,00}{2} \\
 &= 100,00 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen pada fondasi akibat beban pejalan kaki

$$\begin{aligned}
 M_{TP} &= P_{TP} \times e \\
 &= 100,00 \times 0,10 \\
 &= -100,00 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- c. Gaya rem (TB)

Gaya rem yang dipikul oleh abutment diambil dari gaya terbesar 5% berat truck rencana sebesar 500 kN ditambah dengan beban terbagi rata sebesar 1890 kN. Sehingga beban tersebut akan diteruskan ke fondasi dengan jarak lengan 6,87 meter dan bagian *breast wall* dengan jarak lengan 5,07 meter.

- Gaya pada abutment dari gaya rem terbesar

$$\begin{aligned}
 P_{TB} &= 5\% \times (T + q_{BTR}) \\
 &= 5\% \times (500,00 + 1890) \\
 &= 119,50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen terhadap fondasi akibat gaya rem

$$\begin{aligned}
 M_{TB} &= P_{TB} \times y_{TB} \\
 &= 119,50 \times 6,87 \\
 &= 820,97 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Momen terhadap *breast wall* akibat gaya rem

$$\begin{aligned}
 M'_{TB} &= P_{TB} \times y'_{TB} \\
 &= 119,50 \times 5,07 \\
 &= 605,87 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3. Beban aksi lingkungan

Pembebanan abutment perlu diperhitungkan beban aksi lingkungan untuk asumsi bahwa lingkungan berpengaruh pada stabilitas bangunan. Beban lingkungan yang direncanakan antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Temperatur (Eun)

Struktur atas dengan profil beton girder I perlu diperhitungkan deformasi akibat pengaruh temperature maksimum 40°C dan minimum 15°C. Deformasi dari 4 buah girder I yang di tumpu oleh perletakan dengan modulus geser 800kN/m diperhitungkan membebani bagian *breast wall* dengan lengan 2,65meter dan diteruskan pada fondasi dengan lengan 4,45meter. Sehingga dapat dianalisa pengaruh temperature sebagai berikut:

- Gaya pada abutment akibat pengaruh temperature

$$\begin{aligned}
 T_{Eun} &= \alpha \times \Delta T \times k \times \frac{L}{2} \times n \\
 &= 11 \times 10^{-6} \times \frac{40 - 15}{2} \times 800,00 \times \frac{40,00}{2} \times 4,00 \\
 &= 8,80 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen terhadap fondasi akibat pengaruh temperature

$$\begin{aligned}
 M_{Eun} &= T_{Eun} \times y_{Eun} \\
 &= 8,80 \times 4,45 \\
 &= 39,16 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Momen pada *breast wall* akibat pengaruh temperature

$$\begin{aligned}
 M'_{Eun} &= T_{Eun} \times y'_{Eun} \\
 &= 8,80 \times 2,65 \\
 &= 23,32 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- b. Beban angin struktur (EWS)

Referensi perhitungan beban angin untuk abutment bersumber dari Perencanaan Teknik Jembatan, Bina Marga, 2010. Beban angin yang meniup bidang samping jembatan setinggi 2,60m dengan koefisien seret 1,63 didapat dari interpolasi rasio lebar jembatan dibagi dengan tinggi bidang samping bangunan atas. Kecepatan angin rencana sebesar 20m/s pada kondisi layan ditinjau dari lokasi jembatan lebih dari 5km dari pantai. Sehingga beban angin yang meniup bidang samping jembatan akan dipikul oleh *breast wall* dengan jarak 3,95m dan fondasi dengan jarak lengan 5,75.

- Beban angin pada abutment yang meniup bidang samping jembatan

$$\begin{aligned}
T_{EW1} &= 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times A_b \\
&= 0,0006 \times 1,20 \times 25,00^2 \times \frac{40,00}{2} \times 2,60 \\
&= 31,84 \text{ kN}
\end{aligned}$$

- Momen pada fondasi akibat beban angin yang meniup bidang samping

$$\begin{aligned}
M_{EW1} &= T_{EW1} \times y_{EW1} \\
&= 31,84 \times 5,75 \\
&= 183,07 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

- Momen pada *breast wall* akibat angin yang meniup bidang samping

$$\begin{aligned}
M'_{EW1} &= T_{EW1} \times y'_{EW1} \\
&= 31,84 \times 3,95 \\
&= 125,76 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Gaya angin yang meniup bidang samping kendaraan diatas lantai jembatan dihitung sebagai gaya angin tambahan arah horizontal. Koefisien seret bangunan atas 1,20 dan kecepatan angin rencana 25,00m/det. Gaya angin diteruskan vertical ke bawah abutment pada *breast wall* dengan jarak lengan 5,05meter dan diteruskan ke fondasi dengan jarak lengan 6,85meter dari bidang samping jembatan.

- Beban angin tambahan horizontal

$$\begin{aligned}
T_{EW2} &= 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \times \frac{L}{2} \\
&= 0,0012 \times 1,20 \times 25,00^2 \times \frac{40,00}{2} \\
&= 18,00 \text{ kN}
\end{aligned}$$

- Momen pada fondasi akibat beban angin horizontal

$$\begin{aligned}
M_{EW2} &= T_{EW2} \times y_{EW2} \\
&= 18,00 \times 6,85 \\
&= 123,30 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

- Momen pada *breast wall* akibat beban angin horizontal

$$\begin{aligned}
M'_{EW2} &= T_{EW2} \times y'_{EW2} \\
&= 18,00 \times 5,05 \\
&= 90,90 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

- c. Beban angin kendaraan (EWI)

Beban angin kendaraan dihitung dengan koefisien seret sebesar 1,20 dan kecepatan angin 25m/s. Beban angin kendaraan meniup bidang samping kendaraan setinggi 2m dengan jarak roda 1,75m. Beban yang terjadi langsung diteruskan ke fondasi.

- Beban angin kendaraan

$$\begin{aligned} T_{EWi} &= 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \\ &= 0,0012 \times 1,20 \times 25,00^2 \\ &= 0,90 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Gaya pada abutment akibat beban angin kendaraan

$$\begin{aligned} P_{EWi} &= 2 \times \left(0,50 \times \frac{h}{x} \times T_{EWi} \right) \times \frac{L}{2} \\ &= 2 \times \left(0,50 \times \frac{2,00}{1,75} \times 0,90 \right) \times \frac{40,00}{2} \\ &= 20,57 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen pada fondasi akibat beban angin kendaraan

$$\begin{aligned} M_{EWi} &= T_{EWi} \times e \\ &= 0,90 \times -0,10 \\ &= -0,09 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- d. Beban gempa (EQ)

Analisa beban gempa yang berlokasi di Gempolsewu, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal bersumber dari CV. RAKEN PUTRA UTAMA. Koordinat data sondir yang digunakan pada titik *longtitude* -6,91728 dan *latitude* 110,04361. Hasil dari analisa nilai rata-rata uji penetrasi standar didapatkan 3,35. Oleh sebab itu disimpulkan bahwa lokasi berada pada kelas situs tanah lunak (SE) yang berada pada nilai N kurang dari 15, serta berada pada zona gempa 4 karena nilai spektra periode 1,0detik sebesar 0,58g. Analisa distribusi beban gempa dengan $T_{EQ} = 0,28 \times W_t$.

Tabel 4.39 Distribusi beban gempa pada abutment arah memanjang

No	W_t	T_{EQ}	y	M_{EQ}
	kN	kN	m	kNm
Struktur Atas				
P_{MS}	2815.94	790.72	6.87	5432.23
P_{MA}	401.82	112.83	6.87	775.14
Abutment				
1	51.19	14.37	6.48	93.14
2	148.50	41.70	5.37	223.92
3	98.44	27.64	4.30	118.86
4	52.73	14.81	3.70	54.79
5	84.38	23.69	3.58	84.70
6	39.38	11.06	2.97	32.80
7	834.38	234.29	2.23	521.30
8	120.94	33.96	1.40	47.54
9	132.19	37.12	1.40	51.97
10	483.75	135.84	0.60	81.50
11	528.75	148.47	0.60	89.08

No	W_t	T_{EQ}	y	M_{EQ}
	kN	kN	m	kNm
Wing wall				
12	97.50	27.38	6.48	177.41
13	256.80	72.11	5.02	361.99
14	90.00	25.27	3.58	90.35
15	194.25	54.55	2.50	136.36
16	41.63	11.69	1.60	18.70
17	7.03	1.97	3.45	6.81
18	10.00	2.81	4.45	12.50
Timbunan				
19	160.99	28.98	6.48	187.78
20	774.77	139.46	3.95	550.17
21	36.28	6.53	3.45	22.53
22	135.45	24.38	2.50	60.95
23	83.21	14.98	1.60	23.96
ΣT_{EQ}		2036,60	ΣM_{EQ}	
			4,55	m

Perhitungan beban gempa arah melintang searah sumbu y dapat dihitung dengan penjumlahan beban struktur atas, abutment dengan beban mati tambahan, lalu dikalikan dengan koefisien beban gempa horizontal sebesar 0,28. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dengan analisa berikut:

- Beban gempa arah melintang jembatan

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= 0,28 \times (\Sigma P_{MS} \times P_{MA}) \\ &= 0,28 \times (7278,46 \times 401,82) \\ &= 2156,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen pada fondasi akibat beban gempa arah melintang

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= T_{EQ} \times y_{EQ} \\ &= 2156,62 \times 4,55 \\ &= 9802,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- e. Tekanan tanah dinamis (EQ)

Gaya gempa yang terjadi diasumsikan menyebabkan tekanan tanah dinamis arah lateral dari tinggi tinggi abutment 6,87 m. Tekanan tanah arah lateral yang terjadi sepanjang lebar abutment 7,50 m dengan berat volume tanah timbunan 17,20 kN/m³ yang akan diteruskan ke fondasi dengan jarak lengan 4,58 m dapat dihitung dengan menggunakan koefisien tekanan tanah dinamis sebesar 0,34. Dari data tersebut dapat dihitung tekanan tanah dinamis sebagai berikut:

- Gaya gempa akibat tekanan tanah dinamis

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= 0,50 \times H^2 \times \gamma_s \times \Delta K_{aG} \times B_y \\ &= 0,50 \times 6,87^2 \times 17,20 \times 0,34 \times 7,5 \\ &= 1048,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Momen yang terjadi pada fondasi akibat tekanan tanah dinamis

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= T_{EQ} \times y_{EQ} \\ &= 1048,07 \times 4,58 \\ &= 4800,14 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Beban aksi lainnya

- a. Gesekan perletakan

Gesekan pada perletakan dapat dihitung dengan menggunakan beban tetap dari struktur atas dikalikan dengan koefisien gesek elastomer sebesar 0,15. Sehingga dapat diperoleh analisa sebagai berikut:

- Gaya gesek pada perletakan

$$\begin{aligned}
 T_{BF} &= \mu x(P_{MS} + P_{MA}) \\
 &= 0,15 x(2815,94 + 401,82) \\
 &= 482,66 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Momen pada fondasi akibat gesekan perletakan

$$\begin{aligned}
 M_{BF} &= T_{BF} x y_{BF} \\
 &= 482,66 x 4,45 \\
 &= 2147,85 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Momen pada *breast wall* akibat gesekan perletakan

$$\begin{aligned}
 M'_{BF} &= T_{BF} x y'_{BF} \\
 &= 482,66 x 4,45 \\
 &= 1279,06 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3. Kombinasi Pembebanan dan Kontrol Stabilitas Abutment

Hasil dari pembebanan, kombinasi pembebanan serta control stabilitas disampaikan secara singkat seperti berikut. Untuk penjabaran analisa dilampirkan pada lampiran.

1. Rekapitulasi pembebanan abutment

Tabel 4.40 Rekapitulasi pembebanan pada abutment

No	Beban	Kode	Vertikal	Horizontal		Momen	
			P kN	T_x kN	T_y kN	M_x kNm	T_y kNm
A. Aksi tetap							
1	Berat sendiri	M_S	7278.46	-	-	5355.07	-
2	Beban mati tambahan	M_A	401.82	-	-	-40.18	-
3	Tekanan tanah	T_A	-	993.06	-	2466.59	-
B. Beban lalu-lintas							
4	Beban lajur "D"	T_D	1150.80	-	-	-115.08	-
5	Beban pejalan kaki	T_P	100.00	-	-	-10.00	-
6	Gaya rem	T_B	-	119.50	-	820.97	-
C. Aksi lingkungan							
7	Temperatur	E_{Un}	-	8.80	-	39.16	-
8	Beban angin struktur	E_{WS}	-	-	49.84	-	306.37
9	Beban angin kendaraan	E_{WI}	20.57	-	-	-2.06	-
10	Beban gempa	E_Q	-	2036.60	2156.62	9256.48	9802.00
11	Tekanan tanah dinamis	E_Q	-	1048.07	-	4800.14	-
D. Aksi lainnya							
12	Gesekan perletakan	B_F	-	482.66	-	2147.85	-

2. Rekapitulasi pembebanan keadaan batas layan

Pembebanan yang telah dikelompokkan dapat dikalikan factor beban layan sesuai dengan SNI 1726 – 2016 halaman 11. Setelah didapatkan hasil kali factor beban, setiap beban pada kombinasi dapat dijumlahkan seusai dengan gaya atau momen yang berlaku. Berikut formula kombinasi dan hasil dari factor beban keadaan batas layan.

a. Kombinasi daya layan1

$$1M_S + 1M_A + 1T_A + 1T_D + 1T_P + 1T_B + 1E_{Un} + 0,3E_{WS} + 1E_{WI} + 1B_F$$

b. Kombinasi daya layan 2

$$1M_S + 1M_A + 1T_A + 1,3T_D + 1,3T_P + 1,3T_B + 1E_{Un} + 1B_F$$

c. Kombinasi daya layan 3

$$1M_S + 1M_A + 1T_A + 0,8T_D + 0,8T_P + 0,8T_B + 1E_{Un} + 1B_F$$

d. Kombinasi daya layan 4

$$1M_S + 1M_A + 1T_A + 1E_{Un} + 0,70E_{WS} + 1B_F$$

e. Kombinasi ekstrem 1

$$1M_S + 1M_A + 1T_A + 0,3T_D + 0,3T_P + 0,3T_B + 1E_{Un} + 1E_Q + 1B_F$$

Tabel 4.41 Rekapitulasi kombinasi beban keadaan batas layan

No	Uraian	P kN	T_x kN	T_y kN	M_x kNm	M_y kNm
1	Kombinasi daya layan 1	8951.65	1604.02	14.95	-47.82	91.91
2	Kombinasi daya layan 2	9306.32	1639.87	0.00	163.01	0.00
3	Kombinasi daya layan 3	8680.92	1580.12	0.00	-184.94	0.00
4	Kombinasi daya layan 4	7680.28	1484.52	34.89	-741.64	214.46
5	Kombinasi ekstrem 1	8055.52	4596.24	2156.62	13484.59	9802.00

3. Kontrol stabilitas guling

Kontrol stabilitas guling arah x maupun y angka aman terhadap guling harus melebihi 2,20. Momen terhadap guling arah x maupun y dan angka aman terhadap guling ditentukan dengan formula berikut :

$$M_{PX} = P \left(\frac{B_n}{2} \right) + (1 + k) \quad \text{dan} \quad SF = \frac{M_{Pn}}{M_n}$$

Keterangan:

k = persentase factor kelebihan beban

n = arah stabilitas guling x atau y

a. Stabilitas guling arah x

Analisa control stabilitas guling arah x disampaikan sebagai tabel berikut:

Tabel 4.42 Kontrol stabilisasi guling arah x

No	Uraian	k	P kN	M_x kNm	M_{Px} kNm	SF	Kontrol
1	Kombinasi daya layan 1	0%	8951.65	-47.82	24617.03	-514.82	Tidak OK
2	Kombinasi daya layan 2	25%	9306.32	163.01	31990.46	196.25	OK
3	Kombinasi daya layan 3	25%	8680.92	-184.94	29840.65	-161.36	Tidak OK
4	Kombinasi daya layan 4	40%	7680.28	-741.64	29569.07	-39.87	Tidak OK
5	Kombinasi ekstrem 1	50%	8055.52	13484.59	33229.01	2.46	OK

b. Stabilitas guling arah y

Kontrol stabilitas guling arah y disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.43 Kontrol stabilisasi guling arah y

No	Uraian	k	P kN	M_y kNm	M_{Py} kNm	SF	Kontrol
1	Kombinasi daya layan 1	0%	8951.65	91.91	33568.68	365.23	OK
2	Kombinasi daya layan 2	25%	9306.32	0.00	43623.36		
3	Kombinasi daya layan 3	25%	8680.92	0.00	40691.80		
4	Kombinasi daya layan 4	40%	7680.28	214.46	40321.45	188.01	OK
5	Kombinasi ekstrem 1	50%	8055.52	9802.00	45312.28	4.62	OK

4. Kontrol stabilitas geser

Kontrol stabilitas geser arah x maupun y dapat digunakan parameter tanah dasar dan dimensi *pile-cap*. Gaya penahan geser terhadap stabilitas geser dirumuskan sebagai berikut:

$$H = \left(C \times B_x \times B_y + P \times \tan \frac{2}{3} \theta \right) + (1 + k)$$

Keterangan:

C = kohesi tanah dasar dalam (kPa)

θ = sudut gesek tanah dasar dalam ($^{\circ}$)

B_x = lebar arah x *pile-cap* dalam (m)

B_y = lebar arah y *pile-cap* dalam (m)

T_x = gaya geser arah x dalam (kN)

T_y = gaya geser arah y dalam (kN)

k = persentase factor beban berlebih (%)

Angka aman stabilitas geser arah x atau y harus melebihi 1,50.

a. Stabilitas geser arah x

Analisa stabilitas geser arah x disajikan oleh table berikut:

Tabel 4.44 Kontrol stabilitas terhadap geser arah x

No	Uraian	k	T_x kN	P kN	H kN	SF	Kontrol
1	Kombinasi daya layan 1	0%	1604.02	8951.65	5357.77	3.34	OK
2	Kombinasi daya layan 2	25%	1639.87	9306.32	6945.19	4.24	OK
3	Kombinasi daya layan 3	25%	1580.12	8680.92	6507.92	4.12	OK
4	Kombinasi daya layan 4	40%	1484.52	7680.28	6505.27	4.38	OK
5	Kombinasi ekstrem 1	50%	4596.24	8055.52	7284.77	1.58	OK

b. Stabilitas geser arah y

Kontrol stabilitas geser arah y disampaikan seperti berikut:

Tabel 4.45 Kontrol stabilitas terhadap geser arah y

No	Uraian	k	T_x kN	P kN	H kN	SF	Kontrol
1	Kombinasi daya layan 1	0%	14.95	8951.65	3517.13	235.24	OK
2	Kombinasi daya layan 2	25%	0.00	9306.32	4553.24		
3	Kombinasi daya layan 3	25%	0.00	8680.92	4276.70		
4	Kombinasi daya layan 4	40%	34.89	7680.28	4294.36	123.09	OK
5	Kombinasi ekstrem 1	50%	2156.62	8055.52	4800.21	2.23	OK

Hasil dari rekapitulasi beban dan kombinasi beban yang telah di control oleh stabilitas geser maupun guling terdapat beberapa kontrol yang tidak aman. Sehingga perlu direncanakan fondasi *PC Spun Pile* untuk menanggulangi kegagalan struktur pada tanah lunak. Selain hal tersebut dibutuhkan kombinasi

pembebanan kondisi ultimit untuk perencanaan tulangan pada struktur abutment yang disajikan seperti dibawah.

Tabel 4.46 Rekapitulasi beban kondisi ultimit pada *pile-cap*

No	Uraian	P_u kN	T_{ux} kN	T_{uy} kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm
1	Kombinasi daya layan 1	12517.07	1949.65	0.00	-511.27	0.00
2	Kombinasi daya layan 2	12016.75	1901.85	0.00	-789.63	0.00
3	Kombinasi daya layan 3	10265.63	1734.55	69.77	-1763.87	428.92
4	Kombinasi daya layan 4	10265.63	1734.55	0.00	-1763.87	0.00
5	Kombinasi ekstrem 1	10286.20	1734.55	19.94	-1765.92	122.55

Tabel 4.47 Rekapitulasi beban kondisi ultimit pada *breast wall*

No	Uraian	P_u kN	T_{ux} kN	T_{uy} kN	M_{ux} kNm	M_{uy} kNm
1	Kombinasi daya layan 1	7991.73	1425.02	0.00	3739.86	0.00
2	Kombinasi daya layan 2	7491.41	1377.22	0.00	3497.51	0.00
3	Kombinasi daya layan 3	5740.29	1209.92	69.77	2649.30	303.33
4	Kombinasi daya layan 4	5740.29	1209.92	0.00	2649.30	0.00
5	Kombinasi ekstrem 1	5760.86	1209.92	19.94	2649.30	86.66

Tabel 4.48 Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada *back wall* bawah

No	Beban	Faktor beban	T kN	M kNm	V_u kN	M_u kNm
1	Tekanan tanah	1.25	140.47	124.05	175.58	155.06
2	Gempa	1.00	56.07	56.33	56.07	56.33
3	Tekanan tanah dinamis	1.00	315.96	391.21	315.96	391.21
Beban ultimit pada <i>back wall</i> bawah					547.62	602.59

Tabel 4.49 Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada *back wall* atas

No	Beban	Faktor beban	T kN	M kNm	V_u kN	M_u kNm
1	Tekanan tanah	1.25	29.72	10.21	37.15	12.76
2	Gempa	1.00	8.35	3.25	8.35	3.25
3	Tekanan tanah dinamis	1.00	283.98	112.51	283.98	112.51
Beban ultimit pada <i>back wal</i> atas					329.48	128.53

Tabel 4.50 Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada *corbel*

No	Beban	Faktor beban	P kN	V_u kNm	e m	M_u kNm
1	Tekanan tanah	1.25	2815.94	3519.93	0.30	1055.98
2	Gempa	1.00	401.82	401.82	0.30	120.54
3	Tekanan tanah dinamis	1.00	1150.80	1150.80	0.30	345.24
Total				5072,54		1521,76

Tabel 4.51 Rekapitulasi kombinasi beban kondisi ultimit pada *wing wall*

No	Beban	Faktor beban	T kN	M_y kNm	M_x kN	V_u kN	M_{uy} kN	M_{ux} kNm
1	Tekanan tanah	1.25	424.28	397.31	588.69	530.36	496.64	735.87
2	Gempa	1.00	98.77	125.19	137.04	98.77	125.19	137.04
3	Tanah dinamis	1.00	481.56	788.84	668.16	481.56	788.84	668.16
Beban ultimit pada <i>wing wall</i>						1110.68	1410.66	1541.07

4. Perencanaan Fondasi Pada Abutment

1. Data umum fondasi abutment

a. Spesifikasi PC spun pile

Kelas PC Spun Pile	=	C
Kuat tekan beton	f'_c =	60.00 MPa
Tegangan leleh baja	f_y =	420.00 MPa
Modulus elastisitas beton	E_c =	36406.04 MPa
Berat jenis beton bertulang	W_c =	25.00 kN/m ³
<i>Allowable axial load</i>	P_L =	3574.54 kN
<i>Bending momen crack</i>	M_c =	637.44 kNm
<i>Bending momen ultimit</i>	M_u =	1147.38 kNm
Berat tiang	W_p =	6.29 kN/m

b. Dimensi *Pile-Cap*

Lebar arah x	B_x =	5.50 m
Lebar arah y	B_y =	7.50 m
Tebal atas	h_p =	1.20 m
Tebal bawah	h_t =	1.80 m
Depan	L_1 =	2.35 m
Belakang	L_2 =	2.15 m

c. Dimesi tiang

Diameter	D =	0.80 m
Panjang	L =	18.00 m
Jarak pusat tiang	a_x =	0.75 m
Jarak pusat tiang	a_y =	0.75 m

Tebal dinding	s	=	0.12 m
Momen inersia	I	=	0.02 m ⁴
Luas tiang	A	=	0.50 m ²
d. Data tanah			
Berat volume tanah	γ_s	=	17.65 kN/m ³
Sudut gesek	θ	=	37.99 °
Kohesi tanah	C	=	158.52 kPa
e. Susunan tiang			
Jumlah baris tiang	n_x	=	4.00 buah
Jumlah baris tiang	n_y	=	3.00 buah
Jarak tiang arah x	x	=	2.00 m
Jarak tiang arah y	y	=	2.00 m

2. Daya dukung aksial tiang fondasi abutment

Pada perencanaan fondasi yang digunakan adalah PC Spun Pile Kelas C. Lokasi jembatan berada pada tanah lunak pada data tanah yang ditinjau. Sehingga dalam analisa daya dukung aksial perlu dilakukan perhitungan dengan beberapa metode pada kondisi tanah kohesif.

Tabel 4.52 Rekapitulasi perhitungan daya dukung tiang

No	Uraian Kapasitas Dukung Tiang	Q_u kN	Q_{un} kN	SF	Q_{all} kN	P kN
1	PC Spun Pile D60 Kelas C					3574.54
2	Data sondir					1829.04
3	Metode <i>Bagemann</i>	30427.20	30314.05	2.50	12125.62	12125.62
4	Metode deRuitter dan Beringen	1897.80	1784.65	2.50	713.86	713.86

Daya dukung tiang digunakan untuk menentukan control terhadap gaya yang terjadi atau gaya yang dipikul oleh fondasi dari abutment. Sehingga pemilihan jenis fondasi perlu dipertimbangkan gaya aksial dan momen yang dapat ditahan oleh tiang.

3. Efisiensi kelompok tiang

Tiang fondasi yang digunakan dalam perencanaan perlu dilakukan analisa terhadap efisiensi kelompok tiang. Parameter yang dibutuhkan dalam analisa adalah

diameter, jarak pusat tiang, jumlah baris tiang arah x dan y. Sehingga dari analisa efisiensi kelompok tiang dapat ditentukan jumlah tiang yang efisien dalam menahan beban yang berlaku.

a. Efisiensi kelompok

Jarak pusat ke pusat tiang pada perencanaan adalah 2,5D. Menurut factor efisiensi kelompok tiang pada kondisi tanah lempung (Kerisel, 1967) dari buku Anilis dan Perancangan Fondasi II didapat efisiensi kelompok tiang sebesar 0,55.

b. Jumlah tiang

Penentuan jumlah tiang dengan mengambil gaya aksial terbesar pada kombinasi daya layan 2 sebesar 9306,32kN. Sehingga diperoleh jumlah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} N_p &= \frac{V}{Q_{tiang}} \\ &= \frac{9306,32}{3574,54} \\ &= 3,00 \text{ buah} \end{aligned}$$

Hasil analisa dengan daya dukung aksial tiang PC Spun Pile kelas C sebesar 3574,54kN diperoleh 3buah tiang fondasi. Maka digunakan jumlah tiang pada perencanaan awal sebanyak 12 buah.

c. Daya dukung satu tiang

$$\begin{aligned} Q_{eg} &= E_g \times Q_{tiang} \\ &= 0,55 \times 3574,54 \\ &= 1966,00 \text{ kN} \end{aligned}$$

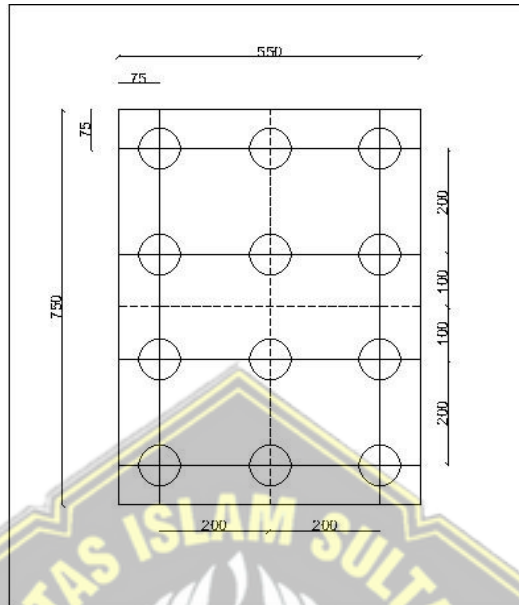
d. Daya dukung kelompok tiang

$$\begin{aligned} Q_{Eg} &= E_g \times N_p \times Q_{tiang} \\ &= 0,55 \times 12 \times 1966,00 \\ &= 23591,98 \text{ kN} \end{aligned}$$

Cek terhadap daya dukung kelompok tiang terhadap beban terbesar yang bekerja $Q_{Eg} > V$, maka dinyatakan fondasi PC Spun Pile Kelas C D60 dengan jumlah 12 tiang aman digunakan.

4. Beban yang diterima fondasi dari beban abutment

Fondasi PC Spun Pile kelas C D60 sejumlah 12 tiang diletakkan pada pilecap yang direncanakan meneruskan beban dari abutment ke tanah digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.37 Dimensi fondasi terhadap *pile-cap* abutment

a. Konfigurasi tiang fondasi

Konfigurasi tiang terhadap titik berat dihitung seperti table berikut:

Tabel 4.53 Konfigurasi tiang fondasi untuk abutment

Nomor Tiang	x	y	x^2	y^2
1	-2.00	3.00	4.00	9.00
2	0.00	3.00	0.00	9.00
3	2.00	3.00	4.00	9.00
4	-2.00	1.00	4.00	1.00
5	0.00	1.00	0.00	1.00
6	2.00	1.00	4.00	1.00
7	-2.00	-1.00	4.00	1.00
8	0.00	-1.00	0.00	1.00
9	2.00	-1.00	4.00	1.00
10	-2.00	-3.00	4.00	9.00
11	0.00	-3.00	0.00	9.00
12	2.00	-3.00	4.00	9.00
Σ			32.00	60.00
Max	2.00	3.00		

Formula gaya aksial maksimum dan minimum pada satu tiang:

$$P_{max} = \frac{P}{n} + M_x + \frac{X_{max}}{\Sigma X^2}$$

$$P_{min} = \frac{P}{n} + M_x + \frac{X_{min}}{\Sigma X^2}$$

- b. Gaya aksial tiang fondasi abutment arah x

Gaya aksial maksimum dan minimum tiang arah x yang ditanggung oleh satu tiang:

Tabel 4.54 Gaya aksial maksimum dan minimum fondasi abutment arah x

No	Kombinasi	P kN	M _x kNm	P / n kN	(M _x .X)/ ΣX ² kN	P _{max} kN	P _{min} kN
1	Kombinasi daya layan 1	8951.65	-47.82	745.97	-2.99	742.98	748.96
2	Kombinasi daya layan 2	9306.32	163.01	775.53	10.19	785.71	765.34
3	Kombinasi daya layan 3	8680.92	-184.94	723.41	-11.56	711.85	734.97
4	Kombinasi daya layan 4	7680.28	-741.64	640.02	-46.35	593.67	686.38
5	Kombinasi ekstrem 1	8055.52	13484.59	671.29	842.79	1514.08	-171.49

- c. Gaya aksial tiang fondasi abutment arah y

Gaya aksial maksimum dan minimum tiang arah y:

Tabel 4.55 Gaya aksial maksimum dan minimum fondasi abutment arah y

No	Kombinasi	P kN	M _y kNm	P / n kN	(M _y .Y)/ ΣY ² kN	P _{max} kN	P _{min} kN
1	Kombinasi daya layan 1	8951.65	91.91	745.97	4.60	750.57	741.38
2	Kombinasi daya layan 2	9306.32	0.00	775.53	0.00	775.53	775.53
3	Kombinasi daya layan 3	8680.92	0.00	723.41	0.00	723.41	723.41
4	Kombinasi daya layan 4	7680.28	214.46	640.02	10.72	650.75	629.30
5	Kombinasi ekstrem 1	8055.52	9802.00	671.29	490.10	1161.39	181.19

- d. Gaya lateral pada tiang fondasi abutment

Gaya lateral arah x yang bekerja adalah tekanan tanah, gempa arah x dan tekanan tanah dinamis. Sedangkan gaya lateral arah y yang bekerja adalah beban angin dan gempa arah y.

Tabel 4.56 Gaya lateral maksimum dan minimum fondasi abutment

No	Kombinasi	Tx kN	Ty kN	hx kN	hy kN	hmax kN
1	Kombinasi daya layan 1	993.06	14.95	82.75	1.25	82.76
2	Kombinasi daya layan 2	993.06	0.00	82.75	0.00	82.75
3	Kombinasi daya layan 3	993.06	0.00	82.75	0.00	82.75
4	Kombinasi daya layan 4	993.06	34.89	82.75	2.91	82.81
5	Kombinasi ekstrem 1	4077.72	2156.62	339.81	179.72	384.41

5. Kontrol daya dukung tiang fondasi abutment

a. Kontrol daya dukung tiang fondasi abutment arah x

Cek daya dukung aksial terhadap beban arah x:

Tabel 4.57 Kontrol daya dukung tiang fondasi abutment arah x

No	Kombinasi Pembebanan	%Pijin	Pmax kN	Kontrol Terhadap Daya dukung Ijin	Pijin kN	CEK
1	Kombinasi Daya Layan 1	100%	742.98	$P_{max} < 100\% \times P_{ijin}$	1966.00	Aman
2	Kombinasi Daya Layan 2	125%	785.71	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	2457.50	Aman
3	Kombinasi Daya Layan 3	125%	711.85	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	2457.50	Aman
4	Kombinasi Daya Layan 4	140%	593.67	$P_{max} < 140\% \times P_{ijin}$	2752.40	Aman
5	Kombinasi Ekstrem 1	150%	1514.08	$P_{max} < 150\% \times P_{ijin}$	2949.00	Aman

b. Kontrol daya dukung tiang fondasi abutment arah y

Cek daya dukung aksial terhadap beban arah y:

Tabel 4.58 Kontrol daya dukung tiang fondasi abutment arah y

No	Kombinasi Pembebanan	%Pijin	Pmax kN	Kontrol Terhadap Daya dukung Ijin	Pijin kN	CEK
1	Kombinasi Daya Layan 1	100%	750.57	$P_{max} < 100\% \times P_{ijin}$	1966.00	Aman
2	Kombinasi Daya Layan 2	125%	775.53	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	2457.50	Aman
3	Kombinasi Daya Layan 3	125%	723.41	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	2457.50	Aman
4	Kombinasi Daya Layan 4	140%	650.75	$P_{max} < 140\% \times P_{ijin}$	2752.40	Aman
5	Kombinasi Ekstrem 1	150%	1161.39	$P_{max} < 150\% \times P_{ijin}$	2949.00	Aman

c. Kontrol daya dukung lateral tiang fondasi

Cek daya dukung lateral tiang:

Tabel 4.59 Kontrol daya dukung lateral tiang fondasi abutment

No	Kombinasi Pembebanan	%hijin	hmax kN	Kontrol Terhadap Daya dukung Ijin	hijin kN	CEK
1	Kombinasi Daya Layan 1	100%	82.76	$P_{max} < 100\% \times P_{ijin}$	267.25	Aman
2	Kombinasi Daya Layan 2	125%	82.75	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	334.06	Aman
3	Kombinasi Daya Layan 3	125%	82.75	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	334.06	Aman
4	Kombinasi Daya Layan 4	140%	82.81	$P_{max} < 140\% \times P_{ijin}$	374.15	Aman
5	Kombinasi Ekstrem 1	150%	384.41	$P_{max} < 150\% \times P_{ijin}$	400.87	Aman

5. Penulangan Pada Abutment

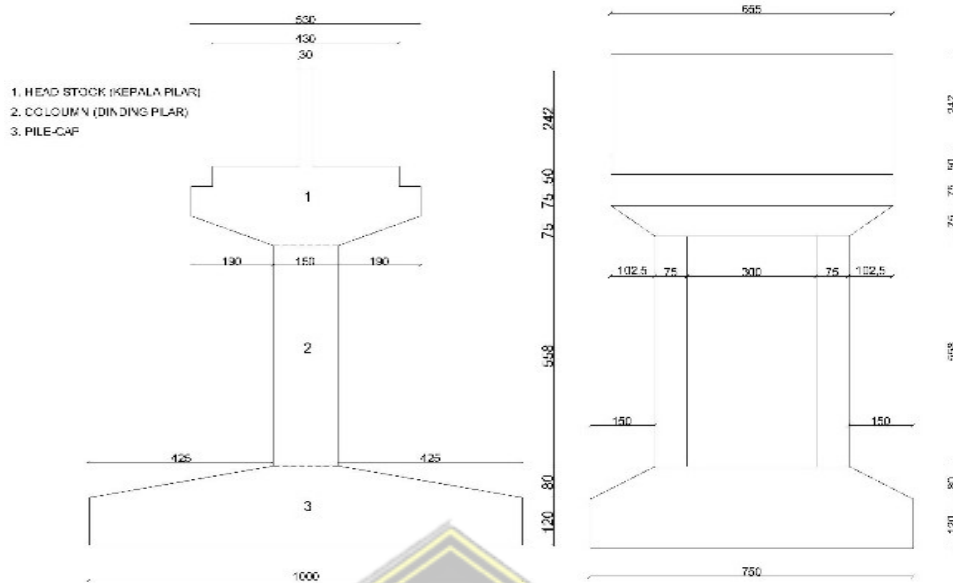
Hasil analisa pembebanan secara ultimit pada setiap bagian abutment dapat digunakan untuk perencanaan penulangan pada struktur abutment. Perhitungan detail beban ultimit dan penentuan serta control tulangan disertakan pada lampiran.

Tabel 4.60 Tulangan yang digunakan struktur abutment

Deskripsi	Breast wall	Back wall		Corbel	Wing wall		Pile cap
		bawah	atas		Vertikal	Horizontal	
P (kN)	815						
M (kNm)	1346	80	17	203	254	304	1141
V (kN)	303	73	44	676	200	219	713
As perlu (mm ²)	5847	900	574	2340	1538	810	3239
Tul. Lentur:							
D (mm)	25	16	16	25	22	16	25
S (mm)	150	200	350	150	200	200	150
As (mm ²)	3272	1005	574	3272	1901	1005	3272
Cek,	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Tul. Bagi:							
D (mm)		13	13	19	13	13	19
S (mm)		250	450	150	200	250	150
As (mm ²)		531	295	1890	664	531	1890
Cek,		OK	OK	OK	OK	OK	OK
Tul. Geser:							
D (mm)	13			13	16	13	16
Sx (mm)	200			450	450	300	400
Sy (mm)	350			400	300	350	400
As (mm ²)	379			332	670	379	503
Cek,	OK			OK	OK	OK	OK

4.3.11. Perencanaan Pilar

Bentang jembatan yang telah dibagi menjadi 2 bentang 40m – 40m, maka perlu direncanakan pilar pada tengah bentang. Fungsi pilar adalah meneruskan beban dari jembatan ke fondasi serta menjadi tumpuan dari jembatan.



Gambar 4.38 Tampak depan dan samping pilar

1. Data umum Perencanaan Pilar

Tabel 4.61 Data umum perencanaan pilar

Headstock		Data Sungai			
Notasi	Dimensi	Uraian	Notasi	Besaran	Satuan
b1	0.30	Muka air banjir	Hb	3.03	m
b2	4.30	Muka air normal	Hr	2.50	m
b3	5.30	Sudut arah aliran sungai thd pier	θ	10.00	$^{\circ}$
b4	1.50	Data Tanah Dasar Pile Cap			
Ba	6.55	Uraian	Notasi	Besaran	Satuan
h1	2.42	Berat volume	Ws	16.06	kN/m ³
h2	0.50	Sudut gesek	ϕ	29.46	$^{\circ}$
h3	0.75	Kohesi	C	12.00	KPa
h4	0.75	Data Mutu Bahan Struktur			
a	4.42	Uraian	Notasi	Besaran	Satuan
Pier Wall		Mutu beton	f _c	30.00	MPa
Notasi	Dimensi	Mutu baja tulangan	f _y	420.00	MPa
B	3.00	Pilar dinding, pilar ujung bundar dan arah dinding sesuai dengan arah aliran sungai agar dapat mengurangi gaya aliran sungai dan gerusan.			
h	1.50				
Bb					
Bc	1.03				
Lc	5.58				
Pile - Cap					
Notasi	Dimensi				
hp	1.20				
ht	2.00				
Bx	10.00				
By	7.50				

2. Analisa Pembebanan Pilar

Kombinasi Pembebanan dan Kontrol Stabilitas Pilar

1. Rekapitulasi pembebanan pilar

Tabel 4.62 Rekapitulasi pembebanan pada pilar

Rekapitulasi beban pada pilar			Vertikal	Horizontal		Momen	
No	Beban	Kode	P kN	Tx kN	Ty kN	Mx kNm	My kNm
A. Aksi Tetap							
1	Berat sendiri	MS	11467.59				
2	Beban mati tambahan	MA	803.63				
B. Beban Lalu lintas							
3	Beban lajur "D"	TD	2301.60				
4	Beban pejalan kaki	TP	200.00				
5	Gaya rem	TB		119.5		1684.95	
C. Aksi Lingkungan							
6	Angin struktur	EWS		55.10	121.84	385.73	1562.65
7	Angin kendaraan	EWI	20.57				
8	Beban gempa	EQ		3445.76	3445.76	30357.12	30357.12
9	Tekanan air gempa	EQ		44.89	14.96	145.89	48.63

2. Kombinasi pembebanan pilar keadaan batas layan

Tabel 4.63 Rekapitulasi kombinasi beban keadaan batas layan

No	Uraian	P kN	Tx kN	Ty kN	Mx kNm	My kNm
1	Kombinasi Daya Layan - 1	14793.39	136.03	36.55	1800.67	468.80
2	Kombinasi Daya Layan - 2	15523.30	155.35	0.00	2190.44	0.00
3	Kombinasi Daya Layan - 3	14272.50	95.60	0.00	1347.96	0.00
4	Kombinasi Daya Layan - 4	12271.22	38.57	85.29	270.01	1093.86
5	Kombinasi Ekstrem - 1	13021.70	3526.50	3460.72	31008.49	30405.75

3. Kontrol stabilitas guling

a. Guling arah x

Tabel 4.64 Kontrol stabilisasi guling arah x

No	Kombinasi Pembebanan	k	P kN	Mx kNm	Mp kNm	SF	Kontrol
1	Kombinasi Daya Layan - 1	0.00%	14793.39	1800.67	73966.97	41.08	OK
2	Kombinasi Daya Layan - 2	25.00%	15523.30	2190.44	97020.64	44.29	OK
3	Kombinasi Daya Layan - 3	25.00%	14272.50	1347.96	89203.14	66.18	OK
4	Kombinasi Daya Layan - 4	40.00%	12271.22	270.01	85898.55	318.13	OK
5	Kombinasi Ekstrem - 1	50.00%	13021.70	31008.49	97662.76	3.15	OK

b. Guling arah y

Tabel 4.65 Kontrol stabilisasi guling arah y

No	Kombinasi Pembebanan	k	P kN	My kNm	Mp kNm	SF	Kontrol
1	Kombinasi Daya Layan - 1	0.00%	14793.39	468.80	55475.23	118.34	OK
2	Kombinasi Daya Layan - 2	25.00%	15523.30	0.00	72765.48	0	OK
3	Kombinasi Daya Layan - 3	25.00%	14272.50	0.00	66902.35	0	OK
4	Kombinasi Daya Layan - 4	40.00%	12271.22	1093.86	64423.92	58.90	OK
5	Kombinasi Ekstrem - 1	50.00%	13021.70	30405.75	73247.07	2.41	OK

4. Kontrol stabilitas geser

a. Guling arah x

Tabel 4.66 Kontrol stabilitas terhadap geser arah x

No	Kombinasi Pembebanan	k	Tx kN	P kN	H kN	SF	Kontrol
1	Kombinasi Daya Layan - 1	0.00%	136.03	14793.39	9254.71	68.03	OK
2	Kombinasi Daya Layan - 2	25.00%	155.35	15523.30	12083.67	77.78	OK
3	Kombinasi Daya Layan - 3	25.00%	95.60	14272.50	11200.67	117.16	OK
4	Kombinasi Daya Layan - 4	40.00%	38.57	12271.22	10962.41	284.20	OK
5	Kombinasi Ekstrem - 1	50.00%	3526.50	13021.70	12381.20	3.51	OK

b. Guling arah y

Tabel 4.67 Kontrol stabilitas terhadap geser arah y

No	Kombinasi Pembebanan	k	Ty kN	P kN	H kN	SF	Kontrol
1	Kombinasi Daya Layan 1	0.00%	36.55	14793.39	9254.71	253.19	OK
2	Kombinasi Daya Layan 2	25.00%	0.00	15523.30	7302.19	#DIV/0!	#DIV/0!
3	Kombinasi Daya Layan 3	25.00%	0.00	14272.50	6749.12	#DIV/0!	#DIV/0!
4	Kombinasi Daya Layan 4	40.00%	85.29	12271.22	6567.93	77.01	OK
5	Kombinasi Ekstrem 1	50.00%	3460.72	13021.70	7435.27	2.15	OK

3. Perencanaan Fondasi Pada Pilar

1. Data umum fondasi pada pilar

Tabel 4.68 Data umum fondasi pada pilar

Uraian	Notasi	Besaran	Satuan
A. Bahan Material Fondasi			
Kelas Spun Pile		C	
Kuat tekan beton	f_c	60.00	MPa
Tegangan leleh baja	f_y	420.00	MPa
Modulus elastisitas beton	E_c	36406.0 4	MPa
Berat jenis beton bertulang	W_c	25.00	kN/m ³
Allowable axial load	PL	5385.84	kN
Bending momen crack	MC	1176.80	kNm
Bending momen ultimit	MU	2118.25	kNm
Berat tiang	W_p	9.28	kN/m
B. Dimensi Pile - Cap			
Lebar arah x	B_x	10.00	m
Lebar arah y	B_y	7.50	m
Tebal	h_p	1.20	m
Tebal	h_t	2.00	m
Tebal kolom	h	1.50	m
Panjang	L_x	4.25	m
C. Dimensi Tiang			
Diameter	D	1.00	m
Panjang	L	18.00	m
Jarak pusat tiang thd sisi luar Pile - Cap	a_x	1.25	m
Jarak pusat tiang thd sisi luar Pile - Cap	a_y	1.25	m
Tebal dinding	s	0.14	m
Momen inersia	I	0.05	m ⁴
Luas tiang	A	0.79	m ²
D. Fondasi			
Berat volume tanah	W_s	17.79	kN/m ³
Sudut gesek dalam	ϕ	54.99	°
Kohesi tanah	C	174.32	kPa
E. Susunan Tiang			
Jumlah baris tiang	n_y	3.00	buah
Jumlah tiang dalam satu baris	n_x	4.00	buah
Jarak antara tiang arah x	x	2.50	m
Jarak antara tiang arah y	y	2.50	m

2. Daya dukung aksial pada fondasi pilar

Tabel 4.69 Daya dukung aksial pada fondasi pilar

No	Uraian Kapasitas Dukung Tiang	Qu kN	Qun kN	SF	Qall kN	P kN
1	PC Spun Pile D60 Kelas A1					5385.84
2	Data Sondir					2308.70
3	Metode Bagemann	46566.79	46453.64	2.50	18581.46	18581.46
4	Metode deRuitter dan Beringen	2287.53	2174.38	2.50	869.75	869.75
Daya dukung aksial terbesar					Pmax	18581.46
Daya dukung aksial terkecil					Pmin	869.75
Daya dukung yang di pakai					Ppakai	5385.84

3. Efisiensi kelompok tiang

a. Efisiensi kelompok

Jarak pusat ke pusat tiang pada perencanaan adalah 2,5 D. Efisiensi kelompok tiang pada kondisi tanah lempung (Kerisel, 1967) dari buku Anilis dan Perancangan Fondasi II didapat efisiensi kelompok tiang sebesar 0,55.

b. Jumlah tiang

Penentuan jumlah tiang dengan mengambil gaya aksial terbesar pada kombinasi daya layan 2 sebesar 9306,32 kN. Sehingga diperoleh jumlah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_p &= \frac{V}{Q_{tiang}} \\
 &= \frac{15523,30}{5385,84} \\
 &= 3,00 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Hasil analisa dengan daya dukung aksial tiang PC Spun Pile kelas C sebesar 3574,54kN diperoleh 3 buah tiang fondasi. Maka digunakan jumlah tiang pada perencanaan awal sebanyak 12 buah.

c. Daya dukung satu tiang

$$\begin{aligned}
 Q_{eg} &= E_g \times Q_{tiang} \\
 &= 0,55 \times 5385,84 \\
 &= 2962,21 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Daya dukung kelompok tiang

$$\begin{aligned}
 Q_{EG} &= E_g \times N_p \times Q_{tiang} \\
 &= 0,55 \times 12 \times 1966,00
 \end{aligned}$$

$$= 35546,54 \text{ kN}$$

Cek terhadap daya dukung kelompok tiang terhadap beban terbesar yang bekerja $Q_{Eg} > V$, maka dinyatakan fondasi PC Spun Pile Kelas C D60 dengan jumlah 12 tiang aman digunakan.

e. Kontrol daya dukung

1) Kontrol daya dukung aksial aksial arah x

No	Kombinasi Pembebanan	%Pijin	Pmax kN	Kontrol Terhadap Daya dukung Ijin	Pijin kN	CEK
1	Kombinasi Daya Layan - 1	100%	1304.81	$P_{max} < 100\% \times P_{ijin}$	2962.21	Aman
2	Kombinasi Daya Layan - 2	125%	1381.23	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	3702.76	Aman
3	Kombinasi Daya Layan - 3	125%	1243.29	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	3702.76	Aman
4	Kombinasi Daya Layan - 4	140%	1033.40	$P_{max} < 140\% \times P_{ijin}$	4147.10	Aman
5	Kombinasi Ekstrem - 1	150%	2325.48	$P_{max} < 150\% \times P_{ijin}$	4443.32	Aman

2) Kontrol daya dukung askial tiang arah y

No	Kombinasi Pembebanan	%Pijin	Pmax kN	Kontrol Terhadap Daya dukung Ijin	Pijin kN	CEK
1	Kombinasi Daya Layan - 1	100%	1256.22	$P_{max} < 100\% \times P_{ijin}$	2962.21	Aman
2	Kombinasi Daya Layan - 2	125%	1293.61	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	3702.76	Aman
3	Kombinasi Daya Layan - 3	125%	1189.38	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	3702.76	Aman
4	Kombinasi Daya Layan - 4	140%	1077.29	$P_{max} < 140\% \times P_{ijin}$	4147.10	Aman
5	Kombinasi Ekstrem - 1	150%	2605.43	$P_{max} < 150\% \times P_{ijin}$	4443.32	Aman

3) Kontrol daya dukung lateral tiang pilar

No	Kombinasi Pembebanan	%hijin	hmax kN	Kontrol Terhadap Daya dukung Ijin	hijin kN	CEK
1	Kombinasi Daya Layan - 1	100%	11.34	$P_{max} < 100\% \times P_{ijin}$	404.72	Aman
2	Kombinasi Daya Layan - 2	125%	12.95	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	505.90	Aman
3	Kombinasi Daya Layan - 3	125%	7.97	$P_{max} < 125\% \times P_{ijin}$	505.90	Aman
4	Kombinasi Daya Layan - 4	140%	7.11	$P_{max} < 140\% \times P_{ijin}$	566.61	Aman
5	Kombinasi Ekstrem - 1	150%	293.87	$P_{max} < 150\% \times P_{ijin}$	607.08	Aman

4. Penulangan Pada Pilar

Tabel 4.70 Penulangan pada bagian pilar

Deskripsi	Kolom pilar		Kepala pilar	Pile cap	
	Memanjang	Melintang		memanjang	melintang
P (kN)	3137	3137			
M (kNm)	5979	5649	707	2923	213
V (kN)	4477	4229	1347	1473	1764
As perlu (mm ²)	15331	14402	14355	11854	1350
Tul. Lentur:					
n tul			20		
D (mm)	32	32	32	40	19
S (mm)	100	100		100	150
As (mm ²)	8042	8042	16085	12566	1890
Cek,	OK	OK	OK	OK	OK
Tul. Bagi:					
D (mm)				36	16
S (mm)				150	200
As (mm ²)				6786	1005
Cek,				OK	OK
Tul. Geser:					
n tul		4	4		
D (mm)	19	13	13	16	19
Sx (mm)	150	150	300	200	250
Sy (mm)	150	150	300	200	200
As (mm ²)	1890	531	531	1005	1418
Cek,	OK	OK	OK	OK	OK

4.3.12. Desain Perkerasan Jalan

1. Menentukan umur rencana jalan

Desain perkerasan jalan pada jalan pendekat berlokasi di Desa Gempolsewu, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal, dengan klasifikasi jalan kolektor rural. Perencanaan perkerasan jalan direncanakan sesuai dengan peraturan yaitu 40 tahun.

2. Menghitung pertumbuhan lalu lintas dan factor distribusi

Faktor pertumbuhan lalu lintas pada lokasi perencanaan jembatan sebesar 3,50%, dengan rencana alan 2 lajur 2 arah dengan factor distribusi 0,50 dan 1,00. Pada perencanaan menggunakan survey lalu lintas yang bersumber dari Tugas Akhir Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Akibat Beban Lalu Lintas di Jalan Lingkar Weleri Kabupaten Kendal. Hasil survey ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 4.71 Data LHR

Jenis Kendaraan	LHR
1	1440
2	3655
3	0
4	0
5a	34
5b	139
6a	952
6b	520
7a	512
7b	48
7c	259
8	0

3. Menghitung kumulatif beban sesuai dengan umur rencana

Tabel 4.72 Rekapitulasi beban sesuai dengan umur rencana

Gol	LHR 2023	LHR 2025	LHR 2026	VDF 4	VDF 4	ESA4 (23-25)	ESA4 (26-62)	VDF	VDF	ESA5 (23-25)	ESA5 (26-62)
1	1440	1583	1659	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0	0	0.0E+00	0.0E+00
2	3655	4211	4211	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0	0	0.0E+00	0.0E+00
3	0	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0	0	0.0E+00	0.0E+00
4	0	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0	0	0.0E+00	0.0E+00
5A	34	40	40	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0	0	0.0E+00	0.0E+00
5B	139	161	161	1	1	5.9E+04	5.3E+05	1	1	5.9E+04	5.3E+05
6A	952	1097	1097	0.55	0.55	2.2E+05	2.0E+06	0.5	0.5	2.0E+05	1.8E+06
6B	520	600	600	5.3	4	1.2E+06	7.9E+06	9.2	5.1	2.0E+06	1.0E+07
7A	512	590	590	8.2	4.7	1.8E+06	9.1E+06	14.4	6.4	3.1E+06	1.2E+07
7B	48	56	56	11.8	9.4	2.4E+05	1.7E+06	18.2	13	3.7E+05	2.4E+06
7C	259	299	299	18.1	6.1	2.0E+06	6.0E+06	34.4	7.7	3.8E+06	7.6E+06
8	0	0	0	0	0	0.0E+00	0.0E+00	0	0	0.0E+00	0.0E+00
Jumlah ESA4						5.4E+06	2.7E+07	Jumlah ESA5		9.5E+06	3.5E+07
CESA4						32.73		CESA5		44.35	

4. Menentukan struktur perkerasan

Tabel 4.73 Klasifikasi penentuan struktur perkerasan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (Juta) dalam 20 tahun (pangkat 4 kecuali ditentukan lain)				
		0 - 0,5	0,1 - 4	>4 - 10	>10 - 30	>30-200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan $CBR \geq 2,5\%$)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan dan perkotaan)	4A	-	1.2	-	-	-
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC dengan - CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA pangkat 5)	3B	1.2	-	1.2	2	2
AC atau HRS tipis diatas lapis fondasi berbutir	3A	-	1.2	-	-	-
Burda atau Burtu dengan LPA Kelas A atau batuan asli	5	3	3	-	-	-
Lapisan Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-

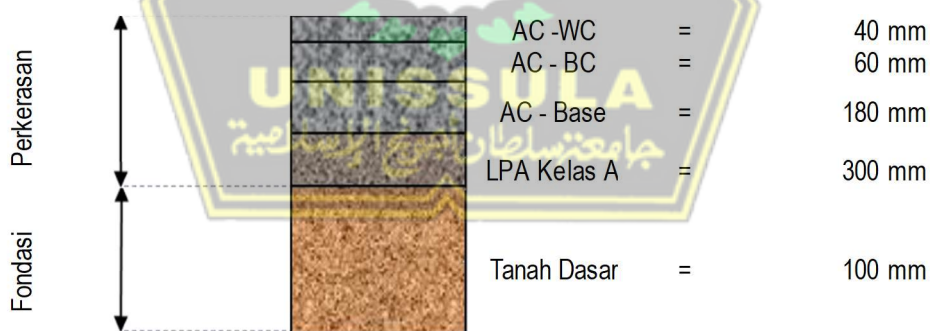
Perkerasan tanpa penutup (Japat, Jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

5. Memilih jenis perkerasan

Tabel 4.74 Klasifikasi penentuan jenis perkerasan

STRUKTUR PERKERASAN										
	FFF 1	FFF 2	FFF 3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9	
Solusi yang dipilih	Lihat Catatan 2									
Kumulatif beban sumbu 20 tahun ada lajur rencana (10 ⁶ ESA5)	<2	≥2-4	>4-7	>7-10	>10-20	>20-30	>30-50	>50-100	>100-200	
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN										
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
AC Base	0	70	80	105	105	160	180	210	245	
LPA kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300	
Catatan	1		2			3				

6. Menentukan desain fondasi perkerasan



Gambar 4.39 Potongan desain perkerasan

4.4 Pemodelan 3 Dimensi Jembatan Beton Prategang

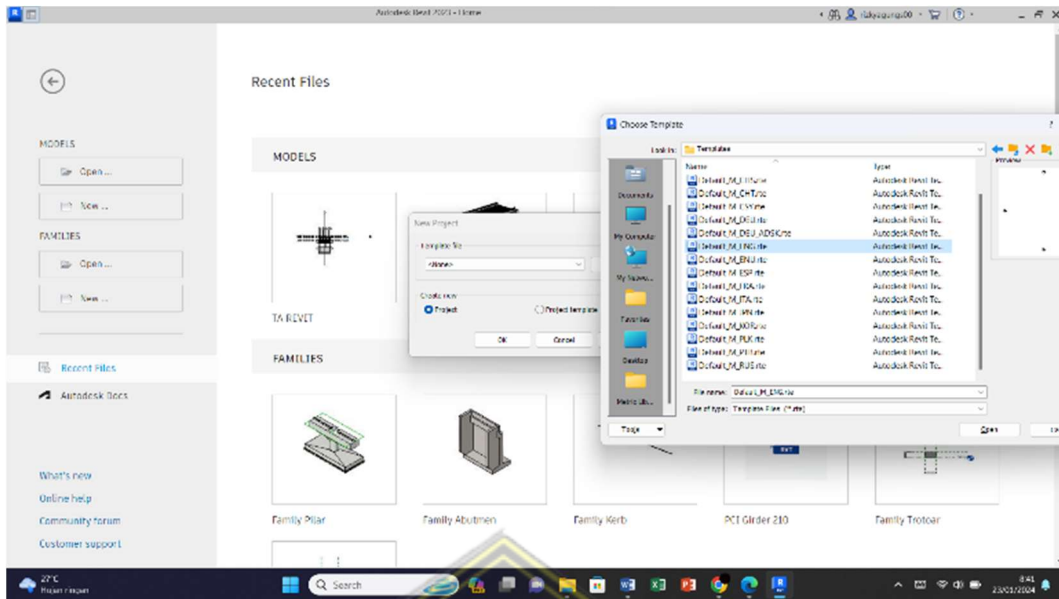
Berdasarkan hasil analisa struktur atas dan bawah jembatan, dapat ditentukan dimensi struktur yang optimal untuk menampung beban-beban yang ada. Setelah itu dapat dilakukan pembuatan desain 3D jembatan dengan bantuan software Autodesk Revit. Model desain 3D meliputi pemodelan arsitektur dan struktur jembatan, termasuk struktur beton, tulangan struktur beton, dan komponen jembatan lainnya. Proses pemodelan jembatan beton pratekan menggunakan Autodesk Revit adalah sebagai berikut :

1. Buka *software* Autodek Revit 2023, kemudian pada tab Model klik New untuk membuat project baru



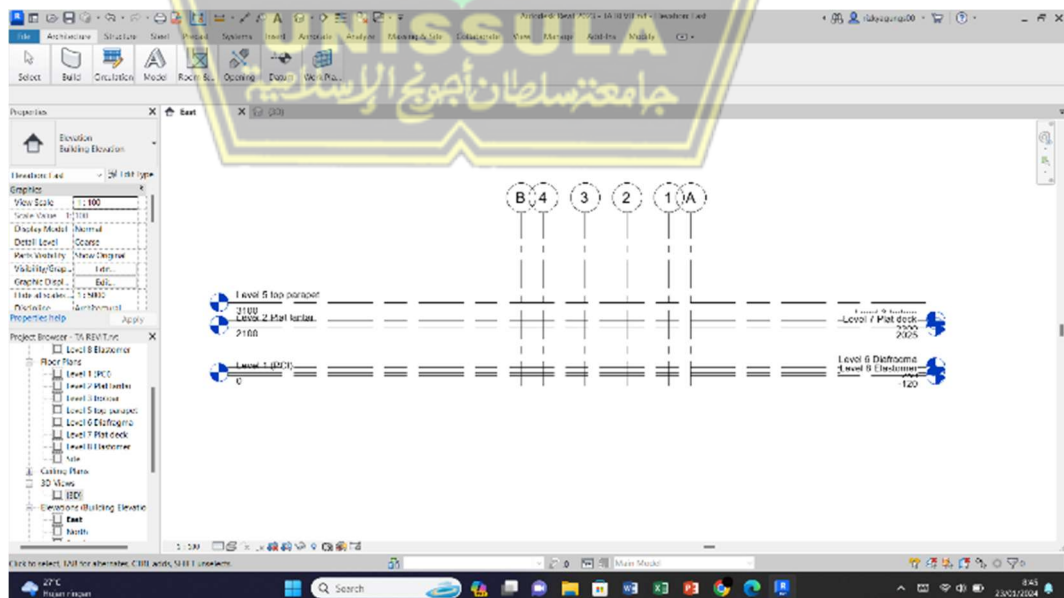
Gambar 4.40 Tampilan layar utama Revit 2023

2. Kemudian muncul kotak dialog *New Project*, pada *Template file* pilih *Browser* lalu pilih *Template* > klik OK, lalu pada kotak dialog *New Project* klik OK.



Gambar 4.41 Tampilan layar membuat project baru

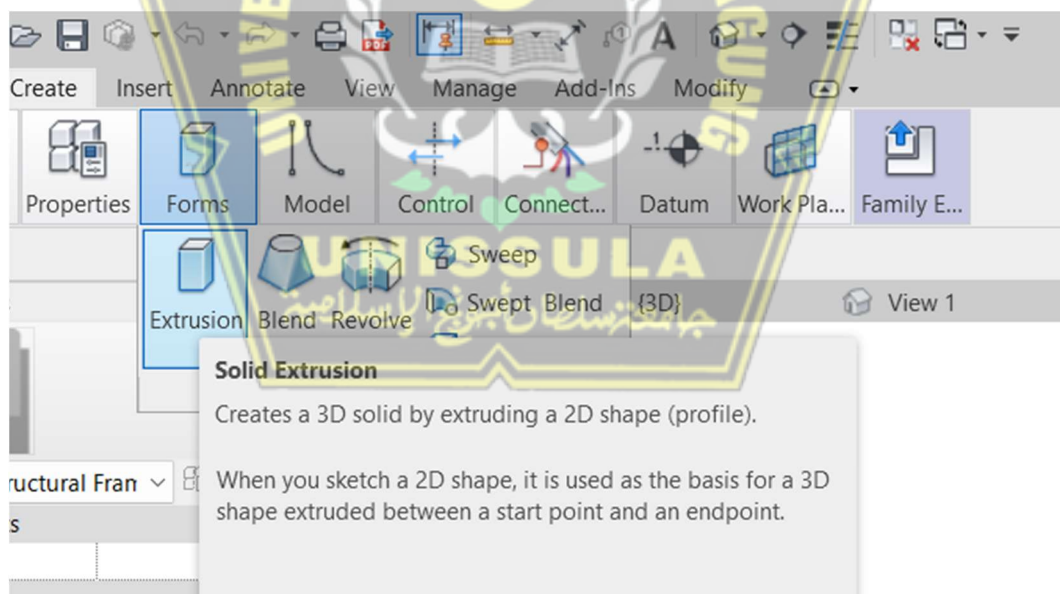
- Setelah project baru terbuka > klik pada *Floor Plan, Site* > buat grid untuk acuan dalam perencanaan struktur. Kemudian lakukan perencanaan elevasi pada setiap struktur jembatan seperti elevasi plat lantai, parapet, PCI girder, pondasi, dan abutment dengan cara pada menu *Elevation* > klik salah satu view. Setiap view dilakukan penggantian nama menjadi kanan, kiri, depan, dan belakang supaya lebih mudah dalam proses pemodelan.



Gambar 4.42 Tampilan layar membuat grid dan leveling

4. Setelah grid dan elevasi terbuat, buatlah *family* untuk setiap komponen struktur yang meliputi struktur plat lantai, PCI girder, parapet, plat dek, pondasi, abutment, bearing pad, dan diafragma. Berikut langkah – langkah untuk membuat family pada komponen struktur jembatan :

- Klik tab File > klik New > Family
- Kemudian pilih salah satu template pada *Template Structural Family*. Perencana menggunakan *template family structural foundation* karena pada pembuatan komponen – komponen jembatan dengan bentuk yang rumit, template tersebut lebih mudah dan fleksibel digunakan. Hal tersebut tidak berpengaruh pada hasil *output* pemodelan maupun perhitungan material *take-off*.
- Kemudian buatlah potongan melintang struktur jembatan setelah template terbuka dengan klik *Views > Elevations > Left/Right*, lalu pada tab *Create > klik Extrusion > Work Plane > Name > Reference Plane: Center (Left/Right)*.

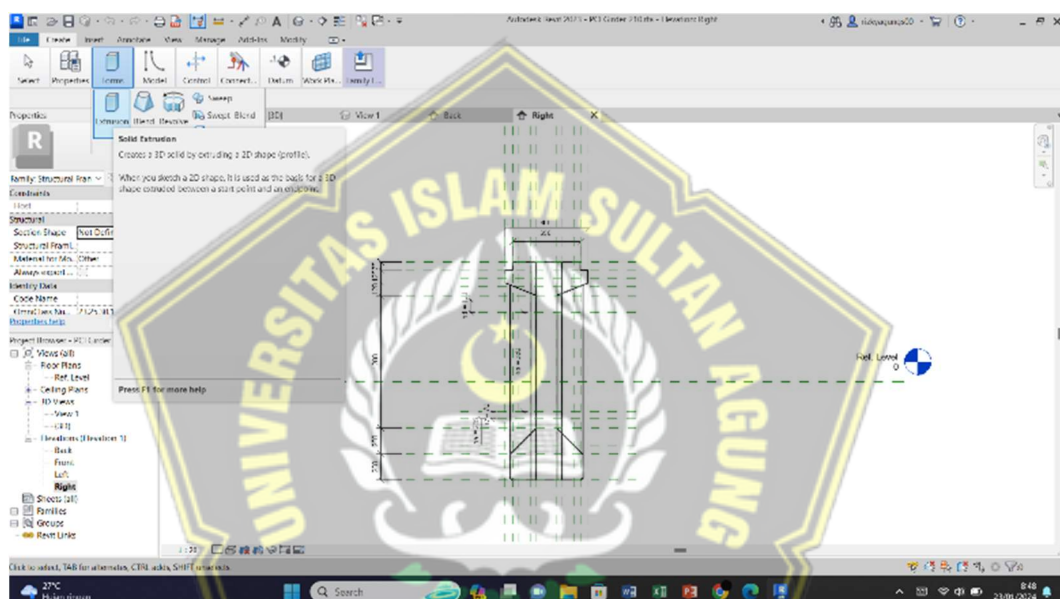


Gambar 4.43 Tampilan layar *Properties Extrusion*

Setelah potongan melintang selesai dibuat, klik tanda *checklist* hijau kemudian pada tab *Properties > klik Extrusion End* untuk menentukan dimensi memanjangnya.

Apabila terdapat perbedaan pada setiap komponen struktur, maka masing – masing dari satu komponen struktur tersebut harus dibuat *Extrusion* dengan mengikuti langkah – langkah diatas.

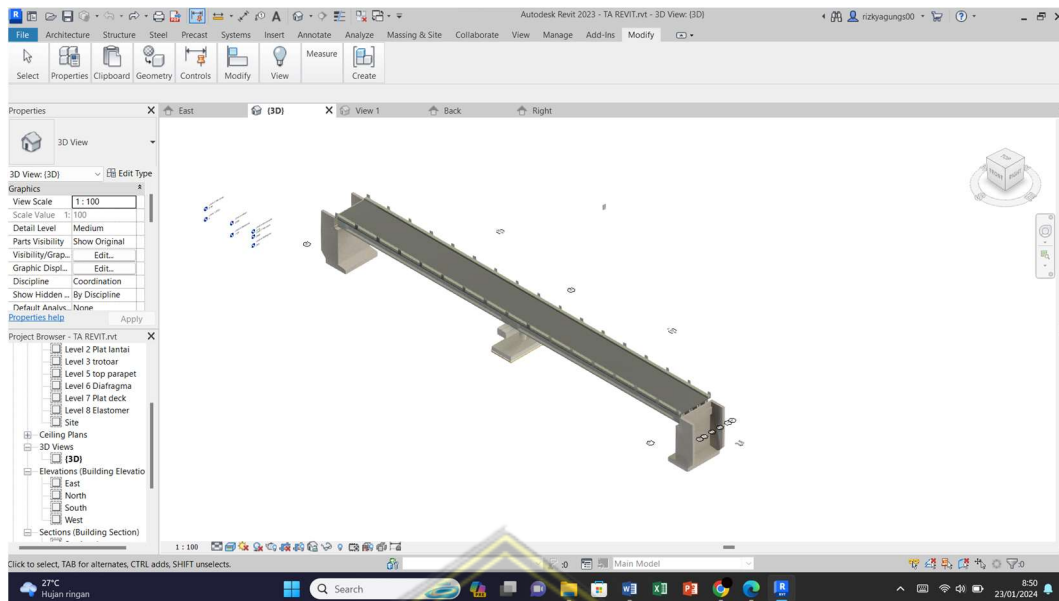
- Setelah selesai pembuatan desain 3D, kemudian menentukan jenis material struktur dengan cara pada tab *Properties* > klik *Material* > klik titik tiga pada samping kolom material > klik *Create New Material* > masukan nama material pada kolom *Name* dan pilihlah jenis material pada kolom *Class* > klik OK.



Gambar 4.44 Tampilan layar *family* PCI Girder

- Setelah *family* selesai dibuat, masukan *family* tersebut ke *project* dengan klik *Load Into Project*, lalu tempatkan setiap *family* sesuai dengan elevasi dan grid yang telah dibuat atau direncanakan.

Setelah langkah – langkah diatas didapatkan hasil pemodelan 3D untuk seluruh struktur jembatan yang dimasukan kedalam project :



Gambar 4.45 Tampilan layar *Model 3D Jembatan*

- Setelah memasukan family, dilakukan pembuatan penulangan pada setiap struktur jembatan dari potongan melintang dengan cara klik *View > klik Section* lalu tarik garis potong pada komponen struktural yang akan dilakukan penulangan. Pada tab *Views > klik Sections* untuk membuka potongan melintang yang telah dibuat.
- Setelah potongan melintang terbuka, klik komponen struktural yang akan dilakukan penulangan, kemudian klik simbol kaca mata yang terletak di bagian bawah, lalu klik *Isolate Element > Rebar > Sketch Rebar*. Karena rumitnya betuk tulangan pada struktur jembatan, penulis menyarankan pembuatan tulangan dilakukan menggunakan *Sketch Rebar*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam perencanaan tugas akhir redesain jembatan beton prategang Gempolsek, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal dengan menggunakan *Building Information Modelling* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

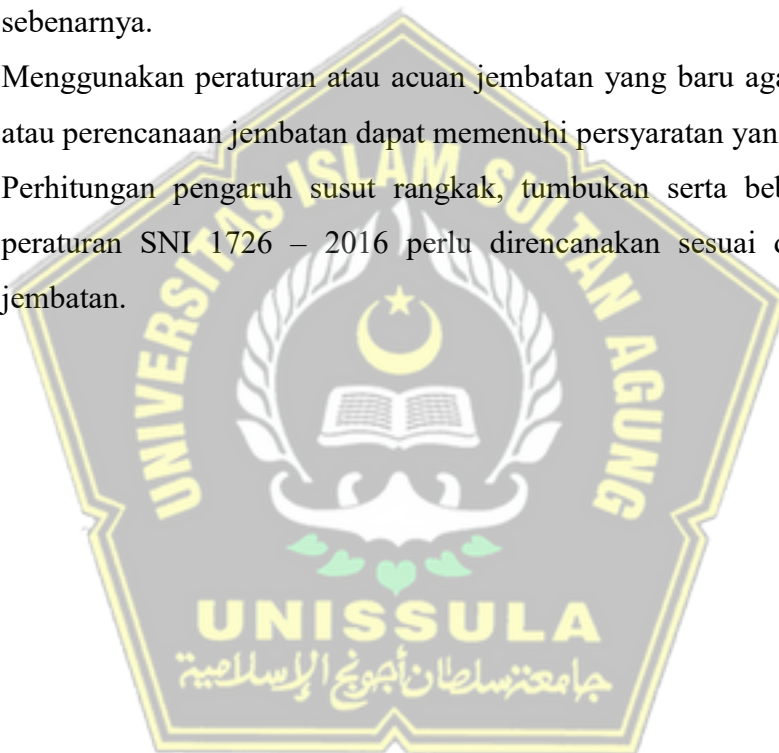
1. Desain jembatan direncanakan menjadi 2 bentang, setiap bentang memiliki panjang 40 m dengan abutment diujung jembatan sebagai penopang jembatan, sedangkan penompang tengah jembatan menggunakan pilar. Baik abutment dan pilar sama-sama menggunakan pondasi *spun pile*. Pada railing jembatan beton prategang ini direncanakan komposit, yaitu sebagian beton dan sebagian besi. Pada bagian besi diberi motif batik kawung sebagai penambah nilai arsitektur pada jembatan.
2. Analisa struktur jembatan direncanakan sesuai dengan kebutuhan dan fungsi jembatan dengan mengacu standar dan peraturan terkait. Desain struktur atas jembatan terdiri dari sandaran dengan bentang 80 meter, trotoar dengan tebal 0,30 meter dan lebar 0,50 meter pada kedua sisi jembatan, desain pelat lantai pada jembatan dengan tebal 0,20 m lebar 7,5 m serta deck slab setebal 0,07 m dengan lebar 1,2 m, diafragma dengan dimensi 1,65x1,65 m dan PCI Girder dengan dimensi 2,10 m sebagai penyalur beban struktur atas ke struktur bawah. Desain abutment jembatan terdiri dari *backwall atas*, *backwall bawah*, *breast wall*, *corbel*, *pile cap* dan *wing wall*. Desain pilar terdiri dari *headstock* atau kepala pilar, dibawahnya terdapat *pier wall* atau kolom, dan *pilecap*. Fondasi yang digunakan adalah PC *Spun Pile* dalam perencanaan abutment menggunakan D60 sedangkan untuk pilar menggunakan D100, hasil cek diameter yang digunakan dapat menahan gaya aksial arah x dan y dan gaya lateral, sehingga PC *Spun Pile* Kelas C D60 dan D100 dapat digunakan. Desain perkerasan jalan penghubung atau jalan pendekat yaitu dengan perkerasan terdiri dari AC-WC setebal 40 mm,

AC – BC = 60 mm, AC – Base, dan LPA kelas A setebal 300 mm lalu dibawahnya terdapat fondasi dengan ketebalan 100 mm.

5.2. Saran

Penyusunan Tugas Akhir Redesain jembatan beton prategang di desa Gempolsewu, Kecamatan Rowosari, Kabupaten Kendal terdapat beberapa saran untuk perencanaan yang lebih optimal antara lain adalah:

1. Dalam input data dengan menggunakan software SAP2000, dengan teliti sesuai dengan asumsi serta distribusi beban ada jembatan yang sebenarnya, sehingga dalam perencanaan struktur dapat mendekati jembatan yang sebenarnya.
2. Menggunakan peraturan atau acuan jembatan yang baru agar penyusunan atau perencanaan jembatan dapat memenuhi persyaratan yang berlaku.
3. Perhitungan pengaruh susut rangkak, tumbukan serta beban lain pada peraturan SNI 1726 – 2016 perlu direncanakan sesuai dengan fungsi jembatan.



DAFTAR PUSTAKA

- Altun, M., & Akcamete, A. (2019). *A Method for Facilitating 4D Modeling by Automating Task Information Generation and Mapping. Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, 479– 486
- Autodesk Revit. (n.d.). *What is Revit? Retrieved April 27, 2023, from <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT>*
- Badan Standar Nasional, 2016, Standar perencanaan jembatan terhadap beban gempa. SNI 2883-2016. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–67.
- Badan Standardisasi Nasional. SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Pada Jembatan.
- Dianya P. A. (2023). PERENCANAAN JEMBATAN BETON PRATEGANG RSUD TEMANGGUNG DENGAN BERBASIS BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) [Universitas Diponegoro].
- Nurdiana, A. (2007). *Perencanaan Jembatan Kali Bulung Cangkring Kec. Jekulo Kab. Kudus*.
- PUPR. (2018). Prinsip Dasar Sistem Teknologi BIM dan Implementasinya di Indonesia. Kementrian PUPR.
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *RSNI T-02-2005 (Standar Pembebanan Jembatan)*.
- Rangan, P. R. (2019). Perencanaan Jembatan Sungai Mappajang Dengan Jembatan Beton Prategang. *Journal Dynamic Saint*, 4(1), 782–787. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v4i1.692>

Santosa, A., Sugiyanto, Wicaksono, Y. I., & Atmono, I. D. (2015).
Perencanaan Jembatan Prategang Kali Suru Pemasang. *Jurnal Karya
Teknik Sipil*, 4, 1–12.
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/9490>

Setiyarto, Y. D. (2016). *Standar Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI
1725 2016*.

