



LAPORAN TUGAS AKHIR
PERENCANAAN ULANG JEMBATAN KALIPANG 2
BERBASIS BIM 5D

Oleh:

Nathanael Christo Baskoro

40030519650138

Diajukan sebagai

salah satu syarat dalam menyelesaikan Sarjana Terapan
Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur
Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
TAHUN 2026

LEMBAR PENGESAHAN



LAPORAN TUGAS AKHIR PERENCANAAN ULANG JEMBATAN KALIPANG 2 BERBASIS *BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) 5D*

Oleh:

Nathanael Christo Baskoro

40030519650138

Laporan ini telah disusun berdasarkan masukan dari dosen pembimbing dan dinyatakan dapat diajukan untuk ujian akhir pada tanggal 29 Juni 2026

Semarang, 23 Juni 2026

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP. 198512092012122001

Muh. Bahrul Ulum Al Karim, S.Pd., M.T.
NIP. 199506082024061001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur
Sipil dan Perancangan Arsitektur

Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP. 198512092012122001

LEMBAR PENGESAHAN



LAPORAN TUGAS AKHIR

PERENCANAAN ULANG JEMBATAN KALIPANG BERBASIS *BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) 5D*

Oleh:

Nathanael Christo Baskoro 40030519650138

Laporan ini telah diperbaiki dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi saat pelaksanaan ujian tugas akhir pada tanggal 29 Juni 2026

Semarang, 30 Juni 2026

Mahasiswa

Nathanael Christo Baskoro
NIM. 40030519650138

Menyetujui,

Ketua Penguji

Sekretaris Penguji

Anggota Penguji

Moh Nur Sholeh, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 199301012018031001

Dita Mentari Putri, S.T.,M.T.
NIP. 199302052024062001

Bambang Setiabudi, S.T.,M.T.
NIP. 196109021987031002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur
Sipil dan Perancangan Arsitektur

Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP. 198512092012122001

ABSTRAK

BIM sebagai salah satu teknologi terkini menawarkan potensi besar untuk merevolusi industri konstruksi, termasuk dalam perencanaan jembatan. BIM menyajikan kemampuan untuk memproses data yang ada menjadi bentuk 3D yang terintegrasi. Jembatan Kalipang merupakan jembatan berjenis *Callender Hamilton (CH)* yang dimana memerlukan pembaharuan berkala. Jembatan Kalipang berada di Jalan Pantura, Kecamatan Sarang, Rembang. Jembatan ini memiliki panjang 50 meter dengan lebar 13 meter. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan ulang Jembatan Kalipang dengan menggunakan konsep BIM 5D. Pengaplikasian BIM menggunakan *Autodesk Revit* untuk memodelkan 3D dan menghitung volume, *Microsoft Project* untuk penjadwalan, dan diintegrasikan menggunakan *Naviswork*. Hasil analisa yang didapat meliputi perhitungan pembebanan, pemodelan 3D, penjadwalan, dan estimasi biaya. Untuk metode menghitung pembebanan mengacu pada Standar Pembebanan Jembatan dan Jalan Raya (SNI 1725 2016) Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan pedoman penerapan BIM 5D yang dapat menjadi referensi bagi industri konstruksi dalam meningkatkan efisiensi, kualitas, dan keberlanjutan proyek jembatan.

Kata Kunci: BIM, *Autodesk Revit*, *Microsoft Project*, *Naviswork*, Kalipang, *Calendar Hamilton*

ABSTRACT

BIM, as one of the latest technologies, offers great potential to revolutionize the construction industry, including in bridge planning. BIM provides the ability to process existing data into an integrated 3D form. The Kalipang Bridge is a Callender Hamilton (CH) type bridge, which requires periodic updates. The Kalipang Bridge is located on Jalan Pantura, Sarang District, Rembang. This bridge has a length of 50 meters and a width of 13 meters. In this study, the Kalipang Bridge was redesigned using the 5D BIM concept. The application of BIM uses Autodesk Revit for 3D modeling and volume calculation, Microsoft Project for scheduling, and is integrated using Navisworks. The analysis results obtained include load calculation, 3D modeling, scheduling, and cost estimation. The method for calculating loads refers to the Bridge and Highway Load Standard (SNI 1725 2016). Through this research, it is expected that a 5D BIM implementation guideline will be produced that can serve as a reference for the construction industry in improving the efficiency, quality, and sustainability of bridge projects.

Keyword: *BIM, Autodesk Revit, Microsoft Project, Naviswork, Kalipang, Calendar Hamilton*

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Ulang Jembatan Kalipang 2 Berbasis BIM”. Laporan tugas akhir ini merupakan laporan pertanggungjawaban hasil pembelajaran selama masa perkuliahan dan penulis tertarik untuk mempelajari lebih lanjut mengenai topik tersebut dalam konteks perencanaan.

Dalam pelaksanaan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis mendapatkan bantuan dari beberapa pihak. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua Subejo dan Nunuk Setyawati selaku orang tua dari penulis, yang senantiasa memberikan kasih sayang penuh dan dukungan semangat serta doa kepada penulis setiap harinya.
2. Ibu Asri Nurdiana, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur dan Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir.
3. Bapak Muhahmmad. Bahrul Ulum Al Karim, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir
4. Bapak Sukawi S.T., M.T., selaku Dosen Wali.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
6. Teman - teman sejurusan maupun di luarnya yang sudah membantu memberikan pencerahan ke penulis dalam penyusunan tugas akhir
7. Diri sendiri yang tidak menyerah dan terus mau berusaha dalam belajar dan menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih ada kekurangan sehingga belum sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran dari para pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik sehingga memiliki nilai manfaat bagi para pembaca secara umum maupun bagi diri sendiri.

Semarang, 25 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR.....	1
LEMBAR PENGESAHAN	2
LEMBAR PENGESAHAN	3
ABSTRAK	4
ABSTRACT.....	5
KATA PENGANTAR.....	6
DAFTAR ISI.....	8
DAFTAR GAMBAR.....	12
DAFTAR TABEL	14
BAB I PENDAHULUAN.....	2
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan Masalah.....	4
1.6. Ruang Lingkup.....	4
1.7. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Building Information Modelling (BIM).....	7
2.2. Autodesk Revit.....	10
2.3. Microsoft Project.....	12
2.4. Naviswork	12

2.5. Jembatan Beton Prategang	13
2.5.1 Pengumpulan Data Analisis Lapangan	13
2.5.2 Penentuan Jenis Struktur Jembatan	14
2.5.3 Pembebanan Jembatan	14
2.5.4 Perhitungan Struktur	25
2.5.5 Penggambaran dan Penyusunan Spesifikasi	34
2.5.6 Perhitungan Volume Pekerjaan dan Rancangan Anggaran Biaya	35
2.5.7 Lokasi Jembatan Baja Kalipang.....	35
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1. Pengumpulan Data Analisis Lapangan	38
3.2. Penentuan Jenis Struktur Jembatan	39
3.3. Konsep Metode Perencanaan	39
3.4. Tahapan Penelitian	39
3.4.1 Studi Literatur	39
3.4.2 Pengumpulan Data	40
3.4.3 Pemodelan 3 Dimensi Jembatan	42
3.4.4 Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) Jembatan Komposit Kalipang 2	42
3.4.5 Perencanaan Jadwal Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Baja Kalipang 2 ...	43
3.4.6 Penyusunan Rencana Kerja dan Syarat – Syarat (RKS)	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Pengumpulan Data	46
4.1.1 Data Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR).....	46
4.1.2 Data Pengujian Tanah (<i>Soil Test</i>).....	46
4.2. Data Desain Jembatan	52

4.2.1 Data Desain	52
4.3. Sandaran.....	53
4.3.1 Desain Pipa Sandaran.....	53
4.3.2 Pembebanan Pipa Sandaran	53
4.3.3 Desain Parapet.....	54
4.3.4 Pembebanan Parapet	55
4.3.5 Penulangan Tiang Sandaran.....	56
4.3.6 Rekapitulasi Sandaran dan Parapet	57
4.4. Trotoar.....	58
4.4.1 Pembebanan Trotoar	58
4.4.2 Penulangan Trotoar	59
4.4.3 Rekapitulasi Trotoar.....	61
4.5. Kerb.....	61
4.5.1 Pembebanan Kerb	61
4.5.2 Penulangan Kerb	62
4.6. Plat Lantai	63
4.6.1 Pembebanan Plat Lantai.....	63
4.6.2 Pengaplikasian SAP2000 dan Pengkombinasian Pembebanan.....	66
4.7. Diafragma.....	79
4.7.1 Parameter Material Rencana	79
4.7.2 Pembebanan Diafragma	80
4.7.3 Penulangan Diafragma.....	81
4.7.4 Rekapitulasi Diafragma.....	82
4.8. Gelagar Memanjang (PCI-Girder)	83
4.8.1 Parameter PCI - Girder.....	83

4.8.2 Perhitungan Momen Struktur.....	86
4.8.3 Analisa Pembebanan	89
4.8.4 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser pada Balok Prategang.....	97
4.8.5 Prategang.....	106
4.9. Elastomer Bearing Pad.....	143
4.10. Abutment.....	148
4.10.1 Parameter.....	148
4.10.2 Analisa Pembebanan Berat Sendiri.....	152
4.10.3 Analisa Beban Mati Tambahan (MA) pada <i>Abutment</i>	155
4.10.4 Penulangan Abutment	216
4.11. Pondasi Tiang Pancang	225
BAB V KESIMPULAN	232
SARAN.....	233
DAFTAR PUSTAKA	234
LAMPIRAN.....	236

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Beban Lajur “D”	19
Gambar 2. 2 Alternatif Penempatan Beban "D" Dalam Arah Memanjang.....	20
Gambar 2. 3 Pembebanan Truk "T" (500 kN)	22
Gambar 2. 4 Momen Akibat Beban Truk.....	28
Gambar 2. 5 Distribusi Beban Roda Kendaraan	29
Gambar 2. 6 Grafik Faktor Beban Dinamis	32
Gambar 3. 1 Diagram Alur Tahapan Perencanaan Jembatan	37
Gambar 4. 1 Sebaran Nilai SPT	48
Gambar 4. 2 Potongan Melintang Jembatan	52
Gambar 4. 3 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Air Genangan	67
Gambar 4. 4 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Air Genangan.....	68
Gambar 4. 5 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Railing	68
Gambar 4. 6 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Railing	68
Gambar 4. 7 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk	69
Gambar 4. 8 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model III	70
Gambar 4. 9 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model IV	70
Gambar 4. 10 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Pejalan Kaki.....	70
Gambar 4. 11 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Pejalan Kaki	70
Gambar 4. 12 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lingkungan Akibat Angin Kendaraan	71

Gambar 4. 13 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lingkungan Akibat Angin Kendaraan	71
Gambar 4. 14 Desain Abutment.....	151
Gambar 4. 15 Eksentrisitas Abutment	151
Gambar 4. 16 Spesifikasi Spun Pile.....	225
Gambar 4. 17 Peletakan Tiang Pancang	228

DAFTAR TABEL

Table 1. 1 Sistematika Penulisan	5
Table 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan Autodesk Revit.....	10
Table 4. 1 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana	17
Table 4. 2 Faktor Beban Untuk Beban Lajur “D”	18
Table 4. 3 Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata.....	46
<i>Table 4. 4 Hasil Uji Sondir</i>	<i>47</i>
Table 4. 5 Nilai N-SPT Pada 2 Titik Bor.....	47
Table 4. 6 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-1 (UDS1 & UDS2)	49
Table 4. 7 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-1 (UDS3 & UDS4)	49
Table 4. 8 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-2 (UDS1 & UDS2)	50
Table 4. 9 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-2 (UDS3 & UDS4)	50
Table 4. 10 Rekomendasi Perkiraan Daya Dukung Izin Fondasi Tiang Pancang Spun Pile Berdasarkan Hasil Uji N-SPT.....	52
Table 4. 11 Data Jalan.....	52
Table 4. 12 Kekuatan Material Untuk Parapet.....	54
Table 4. 13 Berat Jenis Material Parapet	55
Table 4. 14 Rekapitulasi Beban, Momen, dan Gaya Geser Pipa Sandaran	57
Table 4. 15 Rekapitulasi Beban, Momen, dan Gaya Geser Parapet	58
Table 4. 16 Rekapitulasi Analisa Trotoar	61
Table 4. 17 Rekapitulasi Komponen Beban Pada Pelat lantai.....	66
Table 4. 18 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model I.....	69
Table 4. 19 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model II.....	69

Table 4. 20 Hasil Analisa Momen Melalui SAP2000 Pada Struktur Pelat lantai	71
Table 4. 21 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat I....	72
Table 4. 22 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat II ..	73
Table 4. 23 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat III .	74
Table 4. 24 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Daya Layan II	75
Table 4. 25 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat II ..	76
Table 4. 26 Rekapitulasi Nilai Momen Ultimate Akibat Kombinasi.....	77
Table 4. 27 Parameter Material Beton Untuk Diafragma	79
Table 4. 28 Parameter Material Baja Untuk Diafragma	79
Table 4. 29 Parameter Berat Jenis Untuk Diafragma.....	80
Table 4. 30 Rekapitulasi Momen dan Gaya Diafragma.....	82
Table 4. 31 Parameter Material Beton Gelagar.....	83
Table 4. 32 Parameter Material Pelat Lantai.....	84
Table 4. 33 Parameter Material Baja Strands.....	84
Table 4. 34 Parameter Berat Jenis Baja	85
Table 4. 35 Data Section Properties PC-I Girder Non - Komposit.....	86
Table 4. 36 Data Section Properties PC-I Girder Komposit	88
Table 4. 37 Analisa Pembebanan Girder Akibat Beban Sendiri.....	89
Table 4. 38 Analisa pembebanan dan gaya berat mati tambahan	90
Table 4. 39 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser pada Balok Prategang	97
Table 4. 40 Rumus persamaan momen dan gaya geser	97
Table 4. 41 Momen Balok Prategang Tak Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang.....	98
Table 4. 42 Hasil Momen Terkombinasi Pembebanan Pada Balok Prategang Per-meter Panjang.....	100
Table 4. 43 Gaya Geser Balok Prategang Tak Terkombinasi Per-meter Panjang	102
Table 4. 44 Hasil Gaya Geser Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang.....	104

Table 4. 45 Rencana Awal Pembagian Strands Pada Tendon	107
Table 4. 46 Jarak tendon terhadap pusat tendon terbawah.....	110
Table 4. 47 Eksentrisitas masing – masing tendon	111
Table 4. 48 Eksentrisitas masing – masing tendon	112
Table 4. 49 Sudut angkur	114
Table 4. 50 Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis.....	115
Table 4. 51 Kehilangan tegangan akibat pengangkuran	116
Table 4. 52 Rekapitulasi Terhadap Kehilangan Prategang yang Terjadi.....	121
Table 4. 53 Tegangan Beton	128
Table 4. 54 Tegangan Beton	129
Table 4. 55. Tabel Spesifikasi BMS BDM	144
Table 4. 56 Preliminary Abutment.....	148
Table 4. 57 Parameter Material Beton Abutment	149
Table 4. 58 Parameter Material Baja Abutment.....	150
Table 4. 59 Parameter Berat Jenis Material Abutment	150
Table 4. 60 Analisa Berat Sendiri Abutment	152
Table 4. 61 Analisa Berat Sendiri Abutment	153
Table 4. 62 Analisa Berat Sendiri Wing Wall.....	153
Table 4. 63 Analisa Berat Sendiri Back Wall	154
Table 4. 64 Rekapitulasi Analisa Beban Akibat Berat Sendiri Abutment	154
Table 4. 65 Analisa Beban Mati Tambahan Abutment.....	155
Table 4. 66 Analisa Tekanan Tanah Pada Abutment.....	156
Table 4. 67 Akumulasi Tekanan	157
Table 4. 68 Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada Struktur	171
Table 4. 69 Rekapitulasi Beban Pada Abutment.....	174
Table 4. 70 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat I	175
Table 4. 71 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat II.....	177
Table 4. 72 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat III	178
Table 4. 73 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat IV	179
Table 4. 74 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat V.....	180
Table 4. 75 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Ekstrem I.....	181

Table 4. 76 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan I.....	183
Table 4. 77 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan II.....	184
Table 4. 78 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan III	185
Table 4. 79 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan IV	186
Table 4. 80 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Fatik	187
Table 4. 81 Analisa Perhitungan Berat Sendiri Abutment sebagai Kapasitas Penahan	190
Table 4. 82 Analisa Perhitungan Berat Sendiri Wing Wall sebagai Kapasitas Penahan	190
Table 4. 83 Rekapitulasi Beban Vertikal Akibat Lengan Gaya Pada Ujung Pilecap	191
Table 4. 84 Faktor Pembebanan SNI 1725:2016	192
Table 4. 85 Kombinasi dan Faktor Pembebanan Terhadap Struktur Penahan Dengan Lengan Eksentris $\frac{1}{2}$ Bx	193
Table 4. 86 Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Memanjang Jembatan ...	194
Table 4. 87 Rekapitulasi Beban Vertikal Akibat Lengan Gaya Pada $\frac{1}{2}$ By Abutment	195
Table 4. 88 Kombinasi dan Faktor Pembebanan Terhadap Struktur Penahan Dengan Lengan Eksentris $\frac{1}{2}$ By	196
Table 4. 89 Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Melintang Jembatan.....	197
Table 4. 90 Analisa Berat Sendiri Breast Wall	200
Table 4. 91 Rekapitulasi Beban Bekerja Pada Breast Wall	200
Table 4. 92 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat I Pada Breast Wall	202
Table 4. 93 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat II Pada	203
Table 4. 94 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat III Pada.....	204
Table 4. 95 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat IV Pada	205
Table 4. 96 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat V Pada.....	206
Table 4. 97 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Ekstrem I Pada Breast Wall.....	208
Table 4. 98 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan I Pada...	209

Table 4. 99 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan II Pada	.209
Table 4. 100 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan III Pada	210
Table 4. 101 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan IV Pada	211
Table 4. 102 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Fatik Pada Breast Wall	213
Table 4. 103 Rekapitulasi Beban Ultimit Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Breast Wall.....	214
Table 4. 104 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Back Wall Bawah.....	214
Table 4. 105 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Back Wall Bawah.....	215
Table 4. 106 Penentuan Jumlah Minimum Tiang Pancang.....	227



BAB I

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan merupakan sarana pendukung transportasi yang berfungsi menghubungkan jalan yang terpotong oleh sungai, rawa, danau, lembah, maupun jalan lainnya. Pembangunan jalan dan jembatan merupakan bagian dari perkembangan moda transportasi yang bertujuan untuk memperlancar arus kendaraan sehingga, dapat meningkatkan efisiensi waktu dalam menjalankan aktivitas sehari – hari. Saat ini, jembatan tidak hanya berfungsi sebagai penghubung antara bagian-bagian suatu tempat yang terpisah oleh sungai atau lembah. Para ahli kini telah mengembangkan jembatan yang dapat menghubungkan antar pulau maupun antar negara karena meningkatnya kebutuhan masyarakat. Sebuah jembatan terdiri dari bagian bawah dan bagian atas. Bagian bawah mendukung atau menanggung bagian atas jembatan serta meneruskan beban bagian atas dan beban lalu lintas ke bagian bawah. Bagian bawah terdiri dari abutment, pilar (jika ada), dan pondasi. Jembatan harus dibangun dengan kekuatan yang memadai karena kerusakan pada jembatan dapat mengganggu atau menghambat lalu lintas, terutama di jalan dengan arus lalu lintas yang padat. Meskipun demikian, ini tidak berarti jembatan harus dibuat sangat kokoh secara berlebihan. Sebaiknya digunakan konstruksi jembatan yang ekonomis tetapi memiliki kekuatan yang baik, dengan mutu bahan yang tinggi dan waktu pembangunan yang cepat. Ada banyak cara yang dapat dipilih dalam membangun jembatan sesuai dengan perencanaan.

Dalam laporan akhir proyek Penggantian Jembatan Pang Jembatan Callender Hamilton (CH) merupakan jembatan dengan rangka baja yang dipatenkan oleh Mr. Callender dan Mr. Hamilton. Jembatan ini memiliki kelebihan yaitu dapat dipasang dan dibongkar secara cepat. Menurut para ahli pembangunan jembatan Callender Hamilton dinilai lebih efisien secara waktu dan biaya karena dalam pembangunannya Jembatan Callender Hamilton menggunakan komponen dari pabrik. Namun, seiring berjalannya waktu para ahli menemukan adanya indikasi

bahwa jembatan berjenis Callender Hamilton memiliki titik kelelahan bahan (*fatigue*), sehingga jembatan memerlukan pembaharuan berkala.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis merumuskan beberapa rumusan masalah yang akan dibahas pada laporan tugas akhir ini, yaitu :

1. Bagaimana perhitungan analisa struktur atas dan struktur bawah Jembatan Kalipang 2?
2. Bagaimana pemodelan 3D pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2 menggunakan *Revit Autodesk*?
3. Bagaimana perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2 menggunakan *Microsoft Project*?
4. Bagaimana penyusunan *time schedule* menggunakan *Microsoft Project* untuk pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2?

1.3. Tujuan

Dari 5 (lima) rumusan masalah tersebut, maka harapannya akan memenuhi beberapa tujuan dibawah ini.

1. Menghitung pembebanan dan analisa struktur untuk merencanakan konstruksi struktur atas dan bawah Jembatan Kalipang 2,
2. Memodelkan 3D pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2 menggunakan *Revit Autodesk*,
3. Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2 menggunakan *Microsoft Project*, dan
4. Menyusun perencanaan *time schedule* menggunakan *Microsoft Project* untuk pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2.
5. Menintegrasikan model 3D dengan *schedulling* menggunakan *Naviswork*

1.4. Manfaat

Penerapan metode Building Information Modeling (BIM) dapat menghasilkan perencanaan konstruksi lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan metode

konvensional. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan Building Information Modeling (BIM) keseluruhan proses perencanaan dapat dilakukan secara terintegrasi dari software yang satu dan yang lainnya, sehingga misalnya jika terjadi perubahan desain modeling 3D maka perencanaan waktu dan biayanya juga ikut berubah.

1.5. Batasan Masalah

Ruang lingkup permasalahan perlu dipersempit agar proses penelitiannya tidak terlalu jauh pembahasannya serta lebih sistematis, maka dari itu diperlukan batasan. Adapun pembatasan tersebut sebagai berikut.

1. Jembatan yang dimodelkan merupakan jembatan beton dengan PCI Girder.
2. Software berbasis BIM yang digunakan dalam penelitian ini ialah Autodesk Revit 2025 untuk memodelkan pekerjaan struktural ke dalam 3D.
3. Perhitungan volume beton dan tulangan menggunakan *Revit Autodesk* sedangkan untuk perhitungan PCI Girder dan Elastomeric Bearing Pad menggunakan *Microsoft Project*.
4. Rancangan Anggaran Biaya (RAB) dihitung dan disusun menggunakan *Microsoft Project*.
5. Perencanaan jadwal pelaksanaan (*time schedule, network planning, dan gantt chart*) konstruksi jembatan prategang menggunakan *Microsoft Project*.

1.6. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari tugas akhir perencanaan ulang jembatan kalipang 2 berbasis BIM ini adalah sebagai berikut.

1. Analisa studi.
2. Perhitungan konstruksi.
3. Gambar konstruksi.
4. Rencana kerja dan syarat - syaratnya.
5. Rencana Anggaran Biaya (RAB).
6. Network Planning dan Time Schedule pelaksanaan.

1.7. Sistematika Penulisan

Table 1. 1 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN	Pada bab ini menyajikan pengenalan pokok permasalahan dari penelitian ini. Pada bab ini terdapat enam sub – bab, terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Bab kedua ini menyajikan variabel – variable yang akan dibahas dan menjadi pokok permasalahan pada penelitian ini.
BAB III METODE PENELITIAN	Bab ketiga ini menyajikan penjelasan rinci mengenai penelitian yang dilakukan, mencakup metode dan langkah – langkah dalam penelitian. Pada bab ini terdapat konsep metode penelitian, tahapan penelitian, dan diagram alir penelitian.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Bab keempat ini menyajikan hasil dan analisis dari penelitian, mencakup pengumpulan data, perencanaan geometri jembatan, perhitungan beban dan pembesian struktur Jembatan Kalipang, pemodelan 3D menggunakan <i>Autodesk Revit</i> , perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB), dan perencanaan jadwal pelaksanaan konstruksi Jembatan Baja Kalipang.
BAB V PENUTUP	Bab kelima ini menyajikan kesimpulan dari hasil perencanaan ulang yang dilakukan serta rekomendasi perencanaan dan penerapan BIM pada proyek serupa dikemudian hari.

Sumber : Penulis (2026)



BAB II

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Building Information Modelling (BIM)

BIM merupakan teknologi untuk mengelola data secara digital dengan terintegrasi untuk memvisualisasikan model tiga dimensi dari sebuah konstruksi bangunan ataupun infrastruktur. BIM adalah representasi digital yang mencerminkan karakteristik fisik dan sifat fungsional bangunan. Dengan demikian, BIM mencakup semua informasi mengenai elemen-elemen bangunan yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup bangunan, mulai dari konsep hingga pembongkaran (Amelia et al, 2021). Dalam arti lain yang lebih singkat, *Building Information Modeling* (BIM) adalah aspek fundamental yang harus dipahami dalam pemodelan konstruksi yang berbasis revolusi industri 4.0. Untuk menghasilkan pemodelan yang akurat, diperlukan pemahaman tentang konsep pemodelan serta alur kerja pemodelan bangunan (Asri Nurdiana, 2022).

Sejarah BIM sendiri dimulai sejak tahun akhir 1970an dimana BIM muncul sebagai konsep representasi dalam grafis yang dapat digunakan sebagai analisis pada suatu bangunan. Seiring berkembangnya waktu, muncul perangkat - perangkat lunak dan *workstation* seperti *Chuck Eastman Building Description System*, *GLIDE*, *RUCAPS*, *Sonata*, *Reflex* dan *Gable 4D Series*. Dengan didorongnya perkembangan CAD, teknologi BIM berkembang dengan pesat. Penerapan teknologi BIM pada kegiatan konstruksi baru dimulai pada tahun 2000an.

Terdapat beberapa parameter dalam BIM yang disebut sebagai dimensi. Dimana setiap dimensi memiliki aspek – aspek tersendiri dalam membantu merencanakan keperluan selama kegiatan konstruksi. Gambar kerja (3D), Penjadwalan (4D), Estimasi Biaya (5D), Analisis Energi (6D), Pemeliharaan (7D). Untuk pekerjaan seperti konstruksi sederhana tipikal jembatan dan konstruksi bangunan yang tidak terbatas dapat menggunakan metode berbasis BIM ini.

BIM 3D memungkinkan penampilan seluruh model bangunan serta memudahkan perhitungan volume bangunan (Zikril et al, 2023). Dengan

menggunakan perangkat lunak pemodelan bangunan 3D yang dinamis, real-time, dan mencakup kuantitas komponen, BIM meningkatkan produktivitas dalam desain dan konstruksi bangunan. Konsep BIM ini dapat memprediksi konstruksi melalui simulasi sebelum pelaksanaan konstruksi sebenarnya, sehingga mengurangi ketidakpastian dan meminimalkan kesalahan dalam proyek (Yenisa et al, 2023). Selama proses desain, BIM sangat penting karena hampir semua keputusan dibuat pada tahap ini. BIM mendukung proyek konstruksi dengan melakukan analisis lokasi, orientasi bangunan, konfigurasi massa bangunan, konstruksi, analisis biaya, serta membantu mencapai desain bangunan yang berkelanjutan dan hemat energi. Dengan menggunakan metode BIM, kebutuhan sumber daya dapat diminimalkan, karena metode konvensional memerlukan lebih banyak pekerja sementara BIM memungkinkan setiap pekerja fokus pada tugasnya sendiri. Meskipun demikian, BIM memiliki kekurangan, yaitu memerlukan penguasaan berbagai disiplin ilmu untuk memaksimalkan penggunaannya (Fibria et al, 2020).

Sistem level BIM yang umum digunakan biasanya dibagi menjadi beberapa tingkatan, yang menunjukkan kematangan adopsi BIM dalam proyek konstruksi. Berikut adalah penjelasan tentang level-level BIM yang sering diterapkan, yaitu :

1. Level 0: Pre-BIM

Tidak ada kolaborasi digital. Informasi proyek disimpan dan dikelola dalam bentuk dokumen tradisional seperti gambar 2D (CAD), spreadsheet, dan dokumen cetak. Komunikasi proyek dilakukan secara manual tanpa penggunaan teknologi BIM.

2. Level 1: BIM 2D

Penggunaan CAD (Computer-Aided Design) untuk membuat gambar 2D yang sering kali disertai dengan beberapa elemen 3D. Dokumentasi digital digunakan, tetapi tidak ada kolaborasi yang signifikan antara berbagai disiplin ilmu. Data masih diisolasi dan pertukaran informasi masih terjadi secara manual.

3. Level 2: BIM 3D

Penggunaan model 3D untuk merancang dan mendokumentasikan proyek. Kolaborasi antar disiplin ilmu mulai terjadi dengan berbagi model yang berbeda yang dapat diintegrasikan. Informasi yang dikandung model dapat diakses dan

digunakan oleh berbagai tim dalam proyek untuk tujuan yang berbeda, seperti analisis struktural, simulasi, dan manajemen konstruksi.

4. Level 3: Integrated BIM

Penggunaan satu model 3D terintegrasi yang diakses oleh semua disiplin ilmu dalam proyek. Kolaborasi sepenuhnya tercapai dengan semua data yang terpusat dan dikelola dalam Common Data Environment (CDE). Level ini memungkinkan real-time collaboration dan pemanfaatan teknologi cloud untuk berbagi informasi secara efisien. Model yang terintegrasi mencakup semua informasi terkait siklus hidup proyek, mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan.

5. Level 4: BIM 4D

Integrasi model 3D dengan data waktu (jadwal proyek). Model ini memungkinkan visualisasi dari tahapan konstruksi dan simulasi jadwal proyek secara real-time. Dengan BIM 4D, manajer proyek dapat merencanakan dan mengelola waktu dengan lebih efektif, mengidentifikasi potensi penundaan, dan meningkatkan efisiensi waktu dalam pelaksanaan proyek.

6. Level 5: BIM 5D

Integrasi model 3D dengan data biaya (estimasi biaya). BIM 5D memungkinkan perhitungan biaya yang lebih akurat dan efisien, serta pengelolaan anggaran proyek yang lebih baik. Informasi biaya terkait bahan, tenaga kerja, dan peralatan dapat diakses dan dianalisis secara real-time, membantu dalam pengambilan keputusan finansial.

7. Level 6: BIM 6D

Menggabungkan model 3D dengan data terkait operasional dan pemeliharaan. Level ini mencakup informasi tentang pengelolaan bangunan pasca konstruksi, seperti pemeliharaan, efisiensi energi, dan manajemen fasilitas. BIM 6D membantu pemilik bangunan dalam mengelola dan memelihara aset mereka secara lebih efektif selama siklus hidup bangunan.

8. Level 7: BIM 7D

Fokus pada pengelolaan dan pemeliharaan berkelanjutan dari bangunan, termasuk aspek lingkungan dan keberlanjutan. Level ini mencakup analisis energi

dan keberlanjutan, serta pengelolaan sumber daya yang lebih baik untuk mencapai bangunan hijau dan ramah lingkungan.

Setiap level BIM memberikan manfaat yang semakin besar dalam hal kolaborasi, efisiensi, dan pengelolaan proyek, serta memerlukan peningkatan teknologi dan keterampilan yang lebih tinggi.

2.2. Autodesk Revit

Autodesk Revit adalah perangkat lunak berbasis *Building Information Modeling* (BIM) yang mendukung pemodelan struktur, arsitektur, mekanikal, elektrik, dan perpipaan. Program ini menghasilkan berbagai informasi seperti detail proyek konstruksi, kuantitas material, tahapan proyek, dan pemeliharaan proyek (Ilyas et al, 2022). Dengan Revit, pengguna dapat membuat model digital dari sebuah bangunan atau infrastruktur yang mencakup berbagai aspek seperti arsitektur, struktur, mekanikal, elektrik, dan plumbing. Perangkat lunak ini memungkinkan visualisasi 3D, simulasi, dan analisis yang sangat detail, yang semuanya berkontribusi pada pengambilan keputusan yang lebih baik dan efisien dalam proyek konstruksi.

Perangkat ini memiliki kelebihan dan kekurangannya dalam penggunaan walaupun disisi lain juga bermanfaat seperti yang dijelaskan sebelumnya. Kelebihan dan kekurangan dari autodesk revit ini tercantum dalam tabel dibawah berikut.

Table 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan Autodesk Revit

No.	Kelebihan	Kekurangan
1.	Integrasi multi disiplin → membantu dalam koordinasi dan kolaborasi antar tim proyek karena memiliki satu model terpusat.	Kurva pembelajaran yang curam → memerlukan waktu dan upaya yang signifikan untuk dikuasai karena fiturnya yang kompleks.
2.	Detailing yang akurat → mampu untuk menghasilkan gambar kerja dan dokumentasi yang sangat	Kebutuhan spesifikasi perangkat keras tinggi yang terkadang menjadi kendala bagi pengguna.

	detail dan akurat dalam proses konstruksi.	
3.	Efisiensi waktu dan biaya → membantu mengidentifikasi potensi masalah sebelum konstruksi dimulai, sehingga mengurangi risiko penundaan dan pembengkakan biaya.	Biaya lisensi yang cukup tinggi bisa menjadi penghalang perusahaan.
4.	Kemampuan visualisasi → dengan adanya visualisasi 3D yang realistis pada proyek maka memudahkan dalam komunikasi dan presentasi dengan klien.	Kompatibilitas dengan perangkat lunak lain → integrasi dengan beberapa perangkat lunak dengan format file yang berbeda terkadang berhasil namun juga bisa jadi gagal pada situasi tertentu.
5.	Estimasi kuantitas dan biaya → dapat digunakan untuk menghitung volume material dan estimasi biaya dalam perencanaan anggaran proyek.	

Sumber : Penulis (2026)

Ada 4 (empat) jenis-jenis autodesk revit, yaitu: Revit Arsitektur, Revit Struktur, Revit MEP, dan Revit LT. Pertama, untuk revit arsitektur fokus pada desain dan dokumentasi arsitektur. Memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D dari bangunan dan menghasilkan gambar kerja yang diperlukan untuk konstruksi. Kedua, *Revit Structure* dirancang untuk insinyur struktur, memberikan alat untuk mendesain dan menganalisis elemen-elemen struktural dari sebuah bangunan, seperti balok, kolom, dan pondasi. Ketiga, revit MEP menyediakan alat untuk desain sistem mekanikal, elektrik, dan plumbing. Ini termasuk desain HVAC, sistem pencahayaan, jaringan listrik, dan sistem perpipaan. Dan keempat, revit LT adalah versi yang lebih terjangkau dari Revit dengan fitur-fitur dasar untuk

arsitektur dan desain interior, cocok untuk pengguna dengan kebutuhan yang lebih sederhana.

2.3. Microsoft Project

Microsoft project (MS Project) adalah perangkat lunak manajemen proyek yang dikembangkan oleh Microsoft, dirancang untuk membantu manajer proyek merencanakan, mengelola, dan melacak proyek secara lebih efisien. Dengan berbagai fitur canggih, perangkat ini memfasilitasi pengelolaan jadwal proyek, anggaran, sumber daya, dan risiko. Dalam penerapannya, Microsoft Project sangat berguna dalam manajemen proyek konstruksi. Perangkat lunak ini memungkinkan perencanaan dan pengelolaan biaya serta waktu proyek dilakukan secara efisien dalam satu platform yang terintegrasi. Dengan Microsoft Project, tim proyek dapat membuat jadwal yang detail, mengalokasikan sumber daya, dan menetapkan anggaran dengan mudah. Setiap perubahan dalam satu aspek, seperti jadwal atau biaya, secara otomatis diperbarui dan tercermin dalam keseluruhan rencana proyek, memastikan bahwa semua informasi tetap sinkron dan up-to-date. Fitur pelaporan dan analisis yang kuat juga membantu dalam memantau kemajuan proyek dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum menjadi hambatan serius. Secara keseluruhan, Microsoft Project mendukung koordinasi yang lebih baik dan pengambilan keputusan yang lebih cepat, sehingga meningkatkan efisiensi dan keberhasilan proyek konstruksi (Asri Nurdiana, 2019). Dengan kelengkapan fasilitas dan kemampuan luar biasa dalam mengolah data proyek, software ini menjadi yang paling banyak digunakan oleh operator komputer. Keberadaannya benar-benar mampu membantu dan memudahkan pengguna dalam menyelesaikan pekerjaan, terutama pekerjaan yang berhubungan dengan data proyek.

2.4. Naviswork

Autodesk Naviswork merupakan perangkat lunak dalam manajemen proyek yang dapat digunakan untuk meninjau hasil pemodelan 3D secara menyeluruh. Perangkat ini dapat menggabungkan berbagai macam format file CAD dan BIM seperti (.rvt, .dwg, .ifc). Perangkat lunak ini juga dapat mendeteksi adanya tabrakan

antar elemen seperti struktur dan MEP sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kemungkinan terjadi *defect* selama pengerjaan proyek.

2.5. Jembatan Beton Prategang

Pada dasarnya, struktur jembatan dibagi menjadi dua bagian, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Jembatan komposit adalah salah satu jenis jembatan yang didasarkan pada jenis materialnya. Jembatan ini memiliki pelat lantai beton yang terhubung dengan girder atau gelagar baja yang bersama-sama menopang beban sebagai satu kesatuan. Balok girder digunakan untuk menahan tarikan, sedangkan pelat beton menahan momen pada lendutan.

Jenis jembatan ini mengkombinasikan elemen jembatan baja dan berbagai jenis unsur jembatan beton. Jembatan komposit memiliki struktur yang ringan, sehingga beban pada tiang dan pondasi relatif kecil. Selain itu, jembatan komposit dianggap lebih tahan terhadap getaran dan tidak memicu kebisingan. Namun, pengerjaannya memerlukan biaya yang lebih tinggi karena harga struktur baja yang cukup mahal.

Dalam melakukan perencanaan jembatan komposit terdapat tahapan - tahapan sebagai berikut:

2.5.1 Pengumpulan Data Analisis Lapangan

Sebelum melakukan perencanaan konstruksi, diperlukan data - data analisis lapangan agar dapat menentukan pekerjaan konstruksi yang efisien dan aman. Data - data yang dikumpulkan meliputi:

a. Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)

Data lalu lintas harian rata - rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari dari cara memperoleh data dikenal 2 jenis lalu lintas harian rata-rata, yaitu lalu lintas harian rata-rata tahunan dan lalu lintas rata-rata harian. Lalu lintas Harian Rata-rata dapat dihitung dengan cara menjumlahkan volume lalu lintas dalam satu periode tertentu yang lebih dari satu hari dan kurang dari satu tahun. Dengan mengetahui lalu lintas harian rata-ratanya, maka dapat diketahui pula fungsi dari jembatan itu sendiri.

b. Data Pengujian Tanah (*Soil Test*)

Hasil pengujian tanah digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap jembatan, jenis pondasi, dan kedalaman pondasi yang ideal untuk menahan beban (*Nurdiana, 2007*).

c. Data Topografi

Topografi berguna untuk mengetahui situasi, bentang, dan posisi jembatan (*Nurdiana, 2007*).

d. Data Hidrologi

Data hidrologi berguna untuk mengetahui karakteristik aliran sungai dan tinggi air banjirnya, sehingga dapat diketahui tinggi ideal jembatan agar tidak terkena banjir serta struktur dan material yang tepat (*Nurdiana, 2007*).

2.5.2 Penentuan Jenis Struktur Jembatan

Setelah menentukan dan memperhitungkan aspek geometrinya, selanjutnya dapat ditentukan jenis struktur jembatan yang akan digunakan berdasarkan bentang jembatan yang direncanakan. Untuk struktur jembatan prategang sendiri digunakan untuk jembatan dengan bentang 25 hingga 50 meter.

2.5.3 Pembebanan Jembatan

Untuk menentukan perencanaan struktur yang sesuai, diperlukan analisa pembebanan pada jembatan. Mengacu pada SNI 1725:2016 mengenai pembebanan jembatan, jenis beban yang dianalisa pada jembatan sebagai berikut:

Beban Tetap

Beban tetap atau beban permanen terdiri dari beban-beban berikut :

- Beban sendiri (MS), merupakan beban yang dihasilkan dari setiap elemen elemen struktural dan nonstruktural jembatan itu sendiri (Pusat Litbang 13 Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Beban struktural dan nonstruktural tersebut dihitung berdasarkan dimensi struktur tersebut dan berat jenisnya. Untuk mendapatkan nilai ultimitnya hasil perhitungan beban tersebut perlu dikalikan dengan faktor beban yang mana diatur dalam SNI 1725 2016.

- Beban mati tambahan (MA), merupakan elemen non-struktural dari jembatan yang besarnya dapat berubah selama umur jembatan (Badan Standardisasi Nasional, 2016) Contoh dari beban mati tambahan tersebut 14 misalnya adalah beban aspal, yang mana aspal tersebut sewaktu-waktu dapat terkikis (berkurang) dan dilapisi kembali (bertambah) serta beban air hujan.
- Beban akibat tekanan tanah (TA), dapat diperhitungkan berdasarkan karakteristik tanah tersebut yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian tanah. Karakteristik tanah tersebut meliputi berat jenis, kohesi, sudut geser, dan sebagainya. Dalam perhitungan tekanan tanah umumnya data-data yang dibutuhkan meliputi meliputi berat jenis, kohesi, dan sudut geser. Hasil perhitungan tekanan tanah tersebut nantinya akan ditinjau berdasarkan kondisi layan dan ultimitnya dengan cara mengalikan nilai tekanan tanah tersebut dengan faktor beban pada kondisi layan dan ultimit sebagaimana yang telah diatur pada SNI 1725 2016.
- Beban akibat pelaksanaan (PL), merupakan beban yang terjadi akibat pelaksanaan konstruksi pada pekerjaan jembatan. Beban yang terjadi akibat pelaksanaan tersebut nantinya ditinjau berdasarkan masing-masing kondisi peninjauannya dengan mengalikan nilai bebannya dengan faktor beban pada 15 kondisi layan dan ultimit sebagaimana yang telah diatur pada SNI 1725:2016.

Beban Lalu Lintas

- Umum

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban "D" yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan.

- Lajur Lalu Lintas Rencana

Secara umum, jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian integer dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencanaan harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan di masa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan.

Table 4. 1 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan	Lebar Bersih Jembatan (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (<i>n</i>)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10000$	3
	$10000 \leq w < 12500$	4
	$12500 \leq w < 15250$	5
	$w \geq 15250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10750$	3
	$11000 \leq w \leq 13500$	4
	$13750 \leq w \leq 16250$	5
	$w \geq 16500$	6
<p>Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.</p> <p>Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median untuk banyak arah.</p>		

Sumber : SNI 1725:2016

Berdasarkan Tabel 2.2, bila lebar bersih jembatan berkisar antara 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana dan lebar jalur rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika

jembatan mempunyai lebar bersih antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7750 mm dan 10000 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki tiga lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi tiga.

- **Beban Lajur “D”**

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 24. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.3.

Table 4. 2 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		
	Box Girder	1,00	1,80
	Baja	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725:2016

i. **Intesitas Beban “D”**

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

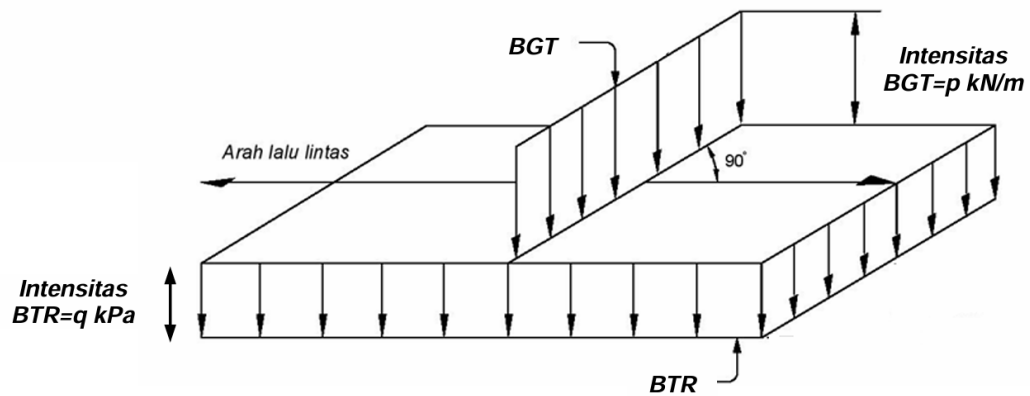
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

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

Keterangan:

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

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



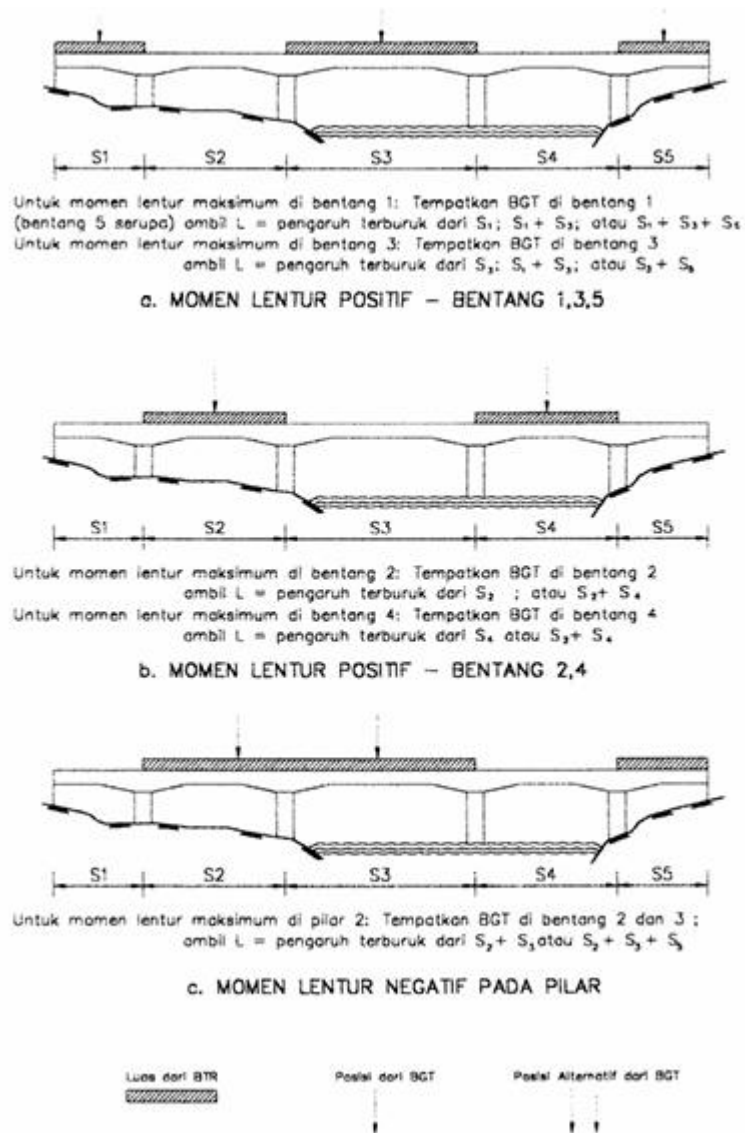
Gambar 2. 1 Beban Lajur "D"

Sumber : SNI 1725:2016

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

ii. Distribusi Beban "D"

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 24. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 25



Gambar 2. 2 Alternatif Penempatan Beban "D" Dalam Arah Memanjang

Sumber : SNI 1725:2016

iii. Respon Terhadap Beban "D"

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur "D" tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

- Beban Truk “T”

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.4.

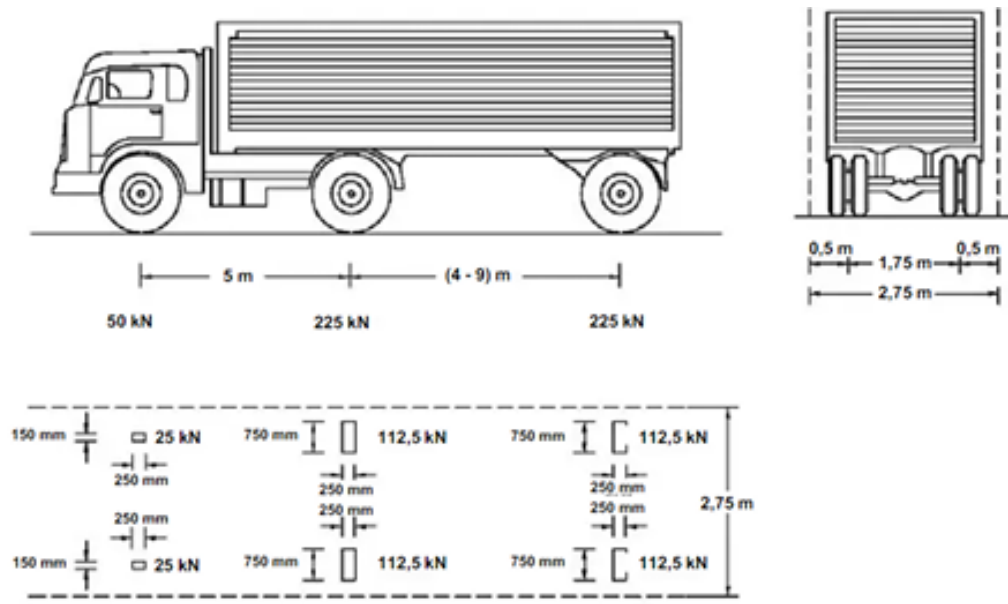
Tabel 2. 1 Faktor Beban Untuk Beban Lajur “T”

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

Sumber : SNI 1725:2016

- Besarnya Pembebanan Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.2. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 22 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2. 3 Pembebanan Truk "T" (500 kN)

Sumber : SNI 1725:2016

ii. Posisi dan penyebaran pembebanan truk "T" dalam arah melintang

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.2.

• Beban Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan Pasal 8.2 dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang di masa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung

besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada Pasal 8.4.3 berlaku untuk menghitung gaya rem.

- **Beban Tumbukan**

Berdasarkan SNI 1725:2016 beban tumbukan yang terjadi pada *railing* atau pembatas lainnya direncanakan dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Kriteria Kinerja *railing* terhadap tumbukan

Parameter	Mobil		Truk Pick-up	Truk Van	Truk Trailer Tipe Van		Truk Trailer Tipe Traktor-Tanker
	W (N)	7000	8000	20000	80000	220000	355000
B (mm)	1700	1700	2000	2300	2450	2450	2450
G (mm)	550	550	700	1250	1630	1850	2050
Sudut Tumbukan (θ)	20°	20°	25°	15°	15°	15°	15°

Sumber : SNI 1725:2016

Beban Akibat Lingkungan

- **Beban Angin**

Beban angin merupakan beban yang terjadi pada jembatan akibat tekanan angin yang dapat diperhitungkan dengan rumus berikut:

$$TEW = 0.0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b$$

Keterangan:

V_w = kecepatan angin rencana (m/s)

C_w = koefisien seret

A_b = koefisien luas bagian samping jembatan (m²)

Tabel 2. 3 Kecepatan Angin Rencana (V_w) Berdasarkan Lokasi Jembatan

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari Pantai	5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber : SNI 1725:2016

Tabel 2. 4 Koefisien Seret (CW) Berdasarkan Dimensi Struktur Bangunan Atas Jembatan

Tipe Jembatan	Cw
Bangunan Atas Masif: (1), (2)	
b/d = 1,0	2,1
b/d = 2,0	1,5
b/d = 6,0	1,25
Bangunan Atas Rangka	1,2
CATATAN: b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = lebar bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran	

Sumber : SNI 1725:2016

- **Beban Gempa**

Beban gempa merupakan beban yang terjadi pada jembatan akibat tekanan ketika terjadinya bencana gempa. Pengaruh beban gempa biasanya akan diperhitungkan pada jembatan dengan keadaan ekstrem. Pembebanan gempa pada jembatan diatur pada SNI 2833 2016 dengan rumus berikut:

$$EQ = \frac{Csm}{R} \times W_t$$

Keterangan:

EQ = Gaya beban gempa horizontal statis (kN)

Csm = Koefisien lentur elastik

R = Faktor modifikasi respon

W_t = Beban yang bekerja pada struktur (kN)

Pada perencanaan struktur bawah perlu ditentukan rencana material dan tipe struktur abutment berdasarkan tinggi abutment serta penentuan tipe pondasi yang digunakan berdasarkan jarak kedalaman tanah keras dari permukaan tanah.

Tabel 2. 5 Ketentuan Pemakaian Jenis Pondasi Berdasarkan Kedalaman Tanah Keras

Kedalaman Tanah Keras	Tipe Pondasi
2 – 3 meter	Pondasi Telapak, Sumuran
10 meter	Pondasi Tiang Kayu

20 meter	Pondasi Tiang Pancang, Pondasi Beton/Baja, <i>Bore Pile</i>
30 meter	Pondasi Tiang Pancang, Pondasi Beton/Baja, <i>Bore Pile</i>
> 40 meter	Pondasi Tiang Pancang, Pondasi Beton/Baja, <i>Bore Pile</i>

Sumber : Penulis (2026)

2.5.4 Perhitungan Struktur

Untuk memeriksa apakah struktur yang dipakai mampu menahan beban yang bekerja, diperlukan perhitungan analisa pembebanan pada setiap komponennya. Struktur Jembatan Beton Prategang Kalipang terdiri dari komponen struktur sebagai berikut:

Railing

Railing pada Jembatan Beton Prategang Kalipang menggunakan model pipa sandaran baja dengan tiang sandaran yang terbuat dari beton. Pada *railing* beban yang bekerja yaitu beban mati (beban dari pipa sandaran dan tiang sandaran) dan beban hidup. Mengacu pada PPPPJR Bab III pasal 1.2.5.c halaman 10, desain tiang sandaran dirancang untuk dapat menahan beban horizontal 100 kg/m pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoar.

- **Beban Mati**

Beban mati pada *railing* diakibatkan dari berat *railing* itu sendiri. Beban tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$q_U = A_{TIANG\ SANDARAN} \times B_{JBETON} \times \gamma_{MS}^U$$

$$q_U = A_{PIPA\ SANDARAN} \times B_{JBAJA} \times \gamma_{MS}^U$$

- **Beban Hidup**

Mengacu pada PPPPJR Bab III pasal 1.2.5.c halaman 10, beban hidup yang terjadi pada *railing* sebesar 100 kg/m pada ketinggian 90 cm di atas trotoar

$$q_H = 100\text{ kg/m}$$

$$M_H = q_H \times 0,9 \times \gamma_{PL}^U$$

Setelah memperhitungkan bebannya, selanjutnya dilakukan perhitungan tulangan parapet dengan terlebih dahulu merencanakan parameter-parameter berikut ini:

- Mutu beton
- Mutu baja tulangan
- Selimut beton
- Tebal efektif
- Lebar yang ditinjau
- Faktor reduksi lentur
- Diameter tulangan lentur
- Diameter tulangan bagi

Setelah parameter-parameter tersebut direncanakan, selanjutnya dapat langsung menghitung tulangan letur parapet dengan rumus-rumus berikut ini:

$$(1) Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$(2) Rn = \frac{Mn}{b \times d}$$

$$(3) \rho b = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times f_c}{f_y}$$

$$(4) \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$(5) \rho_{max} = 0,75 \times \rho b$$

$$(6) M = \frac{f_y}{0,85 \times f_c}$$

$$(7) \rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

Setelah itu, bandingkan antar nilai ρ dan ρ_{min} mana nilai yang paling besar, kemudian masukkan nilai tersebut untuk mencari luas tulangan utama yang dibutuhkan ke dalam rumus berikut:

$$As = \rho \times b \times d$$

Setelah menghitung luas tulangan utama yang dibutuhkan, selanjutnya dapat diperiksa diameter tulangan rencana terhadap luas tulangan utama yang dibutuhkan dan ditentukan jarak tulangnya berdasarkan luas penampang nominal yang terdapat pada tabel SNI 2052-2014 sesuai dengan ketentuan luas penampang nominal tulangan yang dibutuhkan. Setelah menghitung tulangan utama, selanjutnya dihitung luas penampang nominal tulangan bagi yang dibutuhkan dengan persamaan berikut ini:

$$As' = 50 \% \times As$$

Kemudian lakukan hal yang sama dengan memeriksa luas penampang nominal tulangan rencana dan jumlah tulangnya terhadap luas penampang nominal tulangan bagi yang dibutuhkan.

Trotoar

Trotoar merupakan bagian jembatan yang berguna untuk melayani pejalan kaki yang berada pada pinggir kiri – kanan lantai kendaraan dan dibuat lebih tinggi dari lantai kendaraan. Mengacu pada PPPJR Bab III pasal 1.2.5.a halaman 10, pada perencanaan trotoar harus memperhitungkan beban hidup merata yang terjadi sebesar 500 kg/m^2 .

Kerb

Mengacu pada PPPJR Bab III pasal 1.2.5.b halaman 10, pada perencanaan kerb harus memperhitungkan beban hidup horizontal yang terjadi, sebesar 500 kg/m pada 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan.

Plat Lantai

Plat injak merupakan bagian jembatan yang berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas yang terjadi di atasnya. Dalam merencanakan plat lantai yang sesuai SNI T-02-2005, tebal plat lantai jembatan dirumuskan menggunakan persamaan berikut:

$$200 \leq h_{PLAT} \geq 100 + 0,04L$$

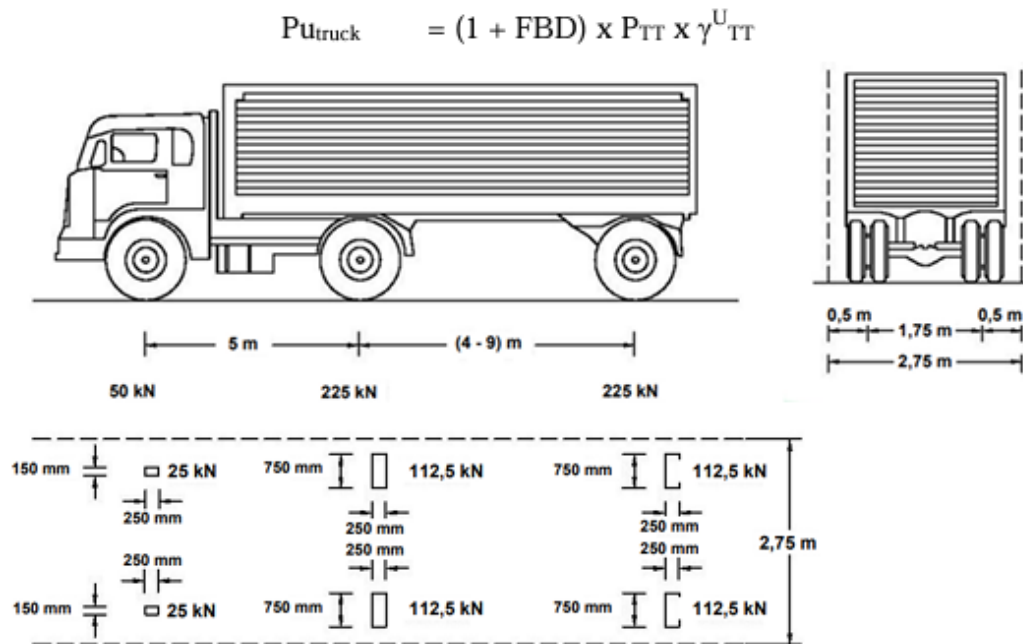
Setelah menentukan tebal plat lantai jembatan, selanjutnya dilakukan perencanaan parameter-parameter berikut untuk analisa pembebanan terhadap plat lantai:

$$\Sigma qu = \Sigma (h \times \text{berat jenis} \times \gamma^u)$$

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

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

Pada Plat Lantai terjadi momen akibat Beban Truk. Mengacu pada SNI 1725 2016 perhitungan momen beban lantai sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Momen Akibat Beban Truk

Sumber: SNI 1725 2016

Keterangan:

DLA = Faktor beban dinamis diambil 30% untuk beban T

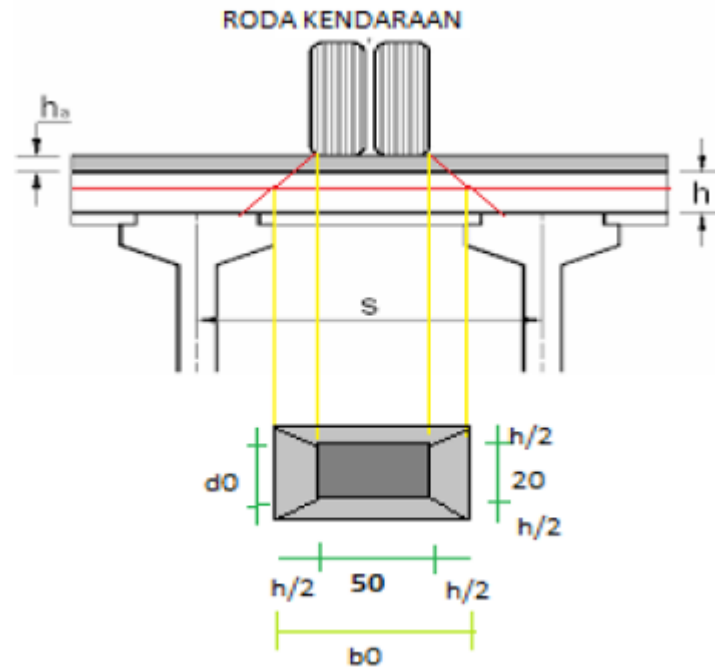
P_{TT} = Beban kritis roda truk

γ^U = Faktor beban truk berdasarkan material jembatan

Setelah menghitung beban truk, selanjutnya diperiksa kekuatan nominal plat lantai terhadap beban truck. Ketebalan plat lantai yang diizinkan harus memiliki nilai kekuatan nominal yang lebih dari nilai beban truk.

$$V_u > P_{u_{truk}}$$

Dengan V_u dapat dihitung berdasarkan rumus-rumus berikut:



Gambar 2. 5 Distribusi Beban Roda Kendaraan

- (1) $b_0 = 200 + (2 \times h_{aspal}) + h_{plat}$
- (2) $d_0 = 500 + (2 \times h_{aspal}) + h_{plat}$
- (3) $b' = (2 \times b) + (2 \times d_0)$
- (4) $A = b' \times d$
- (5) $V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b' \times d$
- (6) $V_u = \phi \times V_c$

Keterangan:

- b_0 : Panjang efektif dari keliling kritis (mm)
- d_0 : Lebar efektif dari keliling kritis (mm)
- h : Tebal plat lantai kendaraan (mm)
- t_a : Tebal lapisan aspal dan overlay (mm)
- A : Luas penampang kritis (mm)
- d : Tebal plat lantai efektif ($h_{plat} -$ selimut beton)

Momen akibat beban hidup yang bekerja pada plat lantai perlu diperhitungkan pada arah x dan y menggunakan tabel bittner dengan rumus berikut:

$$M_{hx} = f_{xm} \times P_u \times t_x \times t_y$$

$$M_{hy} = f_{ym} \times P_u \times t_x \times t_y$$

Tulangan plat lantai yang diperhitungkan terdiri dari tulangan utama dan tulangan bagi dengan langkah-langkah perhitungan tulangan sama seperti proses perhitungan tulangan parapet, yakni dengan menghitung momen nominal, faktor distribusi tegangan, diameter dan jarak tulangnya.

Diagfragma

Perhitungan beban pada diafragma hanya mempertimbangkan beban yang ditanggung oleh diafragma itu sendiri, karena diafragma tidak menahan beban lain. Sebelum melakukan perhitungan beban, terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter perhitungannya sebagai berikut:

- Tebal diafragma
- Panjang diafragma
- Tinggi diafragma
- Mutu beton
- Mutu baja tulangan
- Mutu baja tulangan sengkang
- Berat jenis beton
- Tebal selimut beton
- Diameter tulangan utama
- Diameter tulangan sengkang

Untuk menentukan tulangan yang digunakan pada diafragma, digunakan rumus – rumus berikut:

$$q_{DIA} = 1,2 \times t \times g \times BJ_{BETON}$$

$$Mu_{DIA} = \frac{1}{8} \times Q_{DIA} \times h^2$$

Setelah dilakukan perhitungan pembebanan, dilanjutkan dengan menentukan tulangan dengan menghitung momen nominal, factor tegangan, diameter tulangan, dan jarak tulangnya.

Gelagar (PC-I Girder)

Gelagar berfungsi untuk menopang berbagai beban, termasuk beban pelat lantai, beban perkerasan jalan, beban genangan air, beban dek jembatan, beban lalu lintas "D", dan beban truk "T". Dalam desain jembatan ini, digunakan balok penopang memanjang berupa balok prategang PCI. Penampang balok prategang harus dianalisis dalam dua kondisi, yaitu kondisi komposit (dengan pelat) dan kondisi non-komposit (tanpa pelat). Dalam desain balok penopang prategang,

terdapat sejumlah parameter yang perlu dipertimbangkan untuk perhitungan beban, sebagai berikut:

- a. Lebar jembatan
- b. Panjang jembatan (L)
- c. Tinggi girder + plat deck
 $h = 0,45L$ (Menurut AASHTO LRFD 2017)
- d. Jarak antar girder (s)
- e. Mutu beton (f_c')

Dalam merencanakan gelagar, diperhitungkan juga beban - beban yang terjadi, sebagai berikut:

i. Beban Mati

- Beban Struktur (MS)

Beban Struktur merupakan beban yang terdiri dari berat sendiri girder, berat plat lantai, berat plat deck, dan berat diafragma.

$$q_s = h * B_e * B_j$$

$$M_s = \frac{1}{8} * q_s * L^2$$

$$V_s = \frac{1}{2} * q * L$$

- Beban Struktur Tambahan (MA)

Beban struktur tambahan merupakan beban yang terdiri dari berat aspal dan air hujan.

$$q_A = h * B_e * B_j$$

$$M_A = \frac{1}{8} * q_A * P_{GELAGAR}^2$$

$$V_A = \frac{1}{2} * M_A * P_{GELAGAR}$$

ii. Beban Hidup

Beban hidup diperhitungkan dengan perhitungan sebagai berikut:

- Beban Terbagi Rata (BTR)

$$q = 9 * \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{L} \right) * B_e$$

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

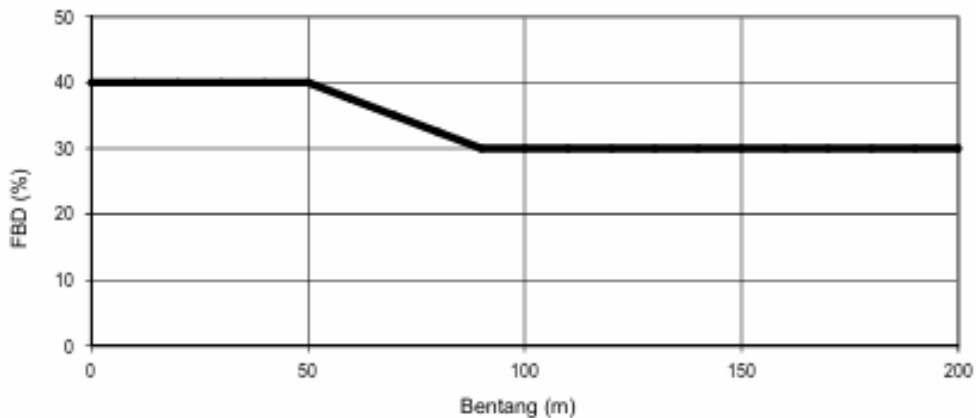
- Beban Garis Terpusat (BGT)

$$q_{BGT} = (1 + DLA) * P * Be$$

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

P = 49,00 kN/m (Berdasarkan SNI 1725:2016)

FBD = Faktor Beban Dinamis



Gambar 2. 6 Grafik Faktor Beban Dinamis

Sumber : SNI 1725:2016

- iii. Beban Angin

Mengacu pada SNI 1725 2016, gaya total beban angin pada gelagar tidak boleh kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap untuk struktur rangka dan pelengkung, sedangkan untuk balok atau gelagar gaya total beban angin tidak boleh kurang dari 4,4 kN/mm.

Bearing Pad

Desain bantalan penahan beban mempertimbangkan beban vertikal dan horizontal yang ditopang oleh bantalan tersebut. Beban vertikal yang dipertimbangkan meliputi beban parapet, beban mati seragam, beban pelat lantai, beban lalu lintas, beban diafragma, dan beban balok, sedangkan beban horizontal meliputi beban akibat gaya pengereman, gaya gesekan, dan gaya gempa (Ali, 2016).

Setelah mempertimbangkan beban yang ditopang oleh bantalan penahan beban, dimensi bantalan penahan beban elastomer dapat dirancang sesuai dengan spesifikasi yang tercantum dalam Pasal 7.1.1 BMS BDM. Selanjutnya, verifikasi dimensi bantalan penahan beban elastomer yang dipilih terhadap kriteria inspeksi kontrol yang ditetapkan dalam Tabel 7.6 Pasal 7.1.1 BMS BDM sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Pemeriksaan Kontrol Bearing Pad

No.	Jenis Pemeriksaan	Kontrol
1	Pemeriksaan luas efektif minimum	$\frac{A_{eff}}{0,8 * A} \geq 1$
2	Pemeriksaan regangan total maksimum	$\varepsilon T \leq \frac{1,6}{\sqrt{G}}$
3	Pemeriksaan regangan maksimum	$\frac{\varepsilon_{shamks}}{\varepsilon_{sh}} > 1$
4	Pemeriksaan batas leleh	$\frac{1,4 * V}{\varepsilon * V_{LL}} * \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$
5	Pemeriksaan tegangan maksimum rata-rata	$\frac{15 * At}{V} \geq 1$
6	Pemeriksaan perputaran maksimum	$\frac{aa * a + ab * b}{4 * dc} \geq 1$
7	Pemeriksaan stabilitas tekan	$\frac{2 * be * G * S * A_{eff}}{1000 * V} \geq 1$
8	Pemeriksaan tebal baja minimum	$\frac{ts}{3} \geq 1$ $\frac{ts * A * fsy}{3000 * V * ti} \geq 1$
9	Pemeriksaan tahanan gesek terhadap geseran	$\frac{0,1 * V(3000 * A_{eff})}{H} \geq 1$

Sumber : BMS BDM Pasal 7.1.1

Plat Injak

Saat mendesain pelat pijakan, diperlukan analisis beban yang bekerja pada dan ditopang oleh pelat pijakan tersebut. Beban-beban ini meliputi pelat pijakan itu sendiri, beban aspal, dan beban tanah, yang dihitung sebagai berikut:

$$q_s = t * L * BJ$$

Keterangan:

t = Tebal struktur

L = Lebar struktur

BJ = Berat jenis materila struktur

Setelah menghitung masing-masing beban yang ditopang plat injak, selanjutnya dihitung momen ultimit (Mu) yang bekerja pada plat injak.

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

Selanjutnya dilakukan perhitungan tulangan bagi dan tulangan lentur, yakni dengan menghitung faktor distribusi tegangan dan menentukan diameter dan jarak tulangannya sesuai dengan syarat yang telah ditentukan pada perhitungan faktor distribusi nominal.

Abutment

Desain abutmen harus disesuaikan dengan jenis pondasi yang digunakan dan elevasi jembatan yang direncanakan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, beban yang bekerja pada abutmen meliputi beban struktur atas dan tekanan tanah. Tekanan tanah aktif adalah gaya horizontal yang bekerja pada dinding abutmen; saat dinding bergerak menuju tanggul di belakangnya, tekanan ini secara bertahap meningkat hingga mencapai nilai konstan. Sebaliknya, tekanan tanah pasif adalah tegangan horizontal yang berlawanan arah dengan tekanan tanah aktif. Di belakang abutmen terdapat massa tanah yang juga harus diperhitungkan sebagai beban tambahan akibat lalu lintas yang melewatinya. Beban lalu lintas ini umumnya diasumsikan setara dengan 0,6 m tanah yang bekerja secara merata di area lahan yang dilaluinya.

2.5.5 Penggambaran dan Penyusunan Spesifikasi

Dari perencanaan struktur atas dan struktur bawah jembatan yang telah diperhitungkan, selanjutnya dilakukan penggambaran desain atau yang bisa disebut juga sebagai preliminary design. Dimana preliminary design tersebut bertujuan untuk menggambarkan visual jembatan yang telah diperhitungkan sebagai bahan

untuk mempertimbangkan nilai ekonomi, aplikasi, dan rasionalitasnya (Supriyadi & Muntohar, 2007).

2.5.6 Perhitungan Volume Pekerjaan dan Rancangan Anggaran Biaya

Pada tahap perhitungan volume pekerjaan dan rancangan anggaran biaya, terdapat tahapan - tahapan sebagai berikut :

- a. Perhitungan Volume Pekerjaan
- b. Analisa Harga Satuan Dasar
- c. Analisa Harga Satuan Pekerjaan
- d. Perhitungan Bill of Quantity (BoQ) dan Rancangan Anggaran Pekerjaan (RAP)

2.5.7 Lokasi Jembatan Baja Kalipang

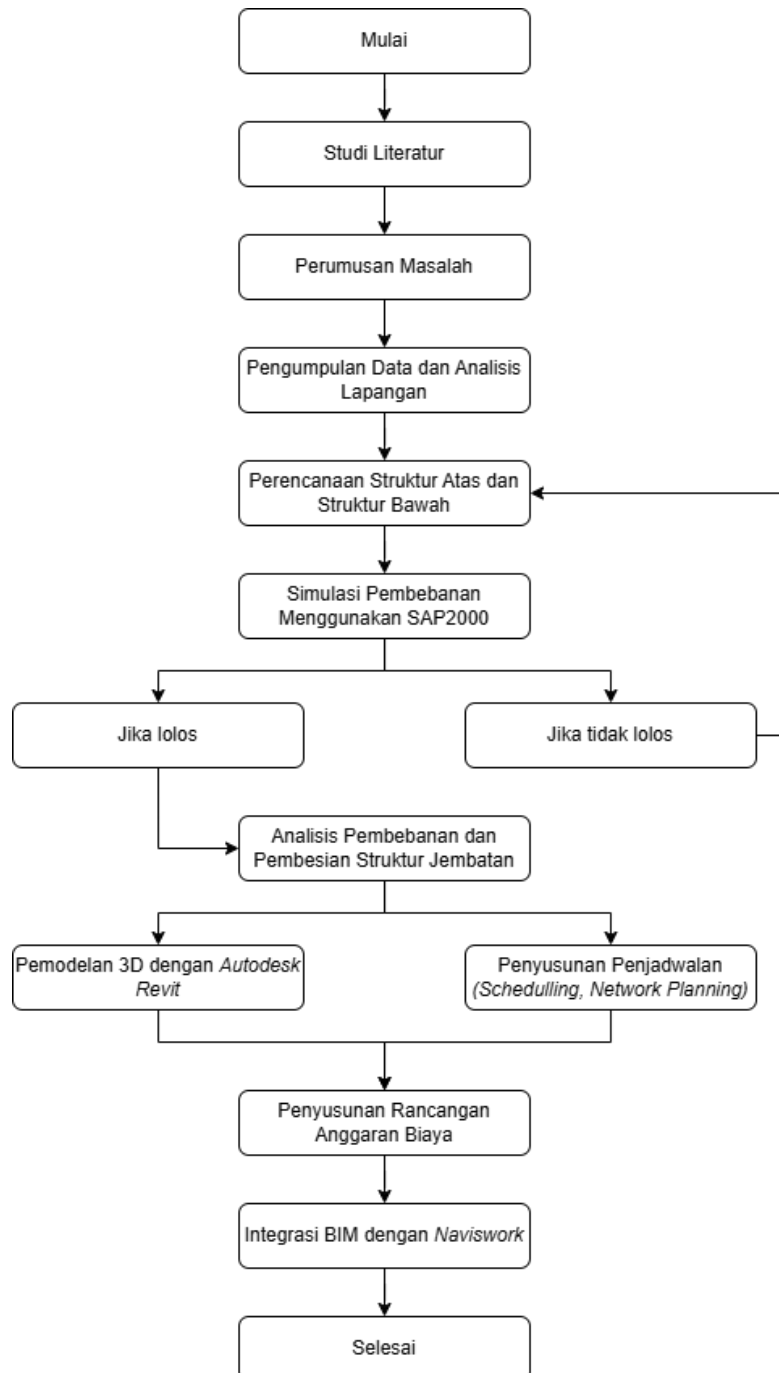
Pekerjaan konstruksi jembatan baja kalipang berlokasi di Jalan Raya Tuban - Semarang, Kecamatan Sarang, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah. Jembatan ini memiliki bentang 50 meter dan lebar keseluruhan 13 meter.



BAB III

BAB III

METODE PENELITIAN



Gambar 3. 1 Diagram Alur Tahapan Perencanaan Jembatan

Sumber : Penulis (2026)

Pada dasarnya, struktur jembatan dibagi menjadi dua bagian, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Jembatan komposit adalah salah satu jenis jembatan yang didasarkan pada jenis materialnya. Jembatan ini memiliki pelat lantai beton yang terhubung dengan girder atau gelagar baja yang bersama-sama menopang beban sebagai satu kesatuan. Gelagar baja digunakan untuk menahan tarikan, sedangkan pelat beton menahan momen pada lendutan.

Jenis jembatan ini mengkombinasikan elemen jembatan baja dan berbagai jenis unsur jembatan beton. Jembatan komposit memiliki struktur yang ringan, sehingga beban pada tiang dan pondasi relatif kecil. Selain itu, jembatan komposit dianggap lebih tahan terhadap getaran dan tidak memicu kebisingan. Namun, pengerjaannya memerlukan biaya yang lebih tinggi karena harga struktur baja yang cukup mahal.

Dalam melakukan perencanaan jembatan komposit terdapat tahapan - tahapan sebagai berikut:

3.1. Pengumpulan Data Analisis Lapangan

Sebelum melakukan perencanaan konstruksi, diperlukan data - data analisis lapangan agar dapat menentukan pekerjaan konstruksi yang efisien dan aman. Data - data yang dikumpulkan meliputi:

a. Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)

Data lalu lintas harian rata - rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari dari cara memperoleh data dikenal 2 jenis lalu lintas harian rata-rata, yaitu lalu lintas harian rata-rata tahunan dan lalu lintas rata-rata harian. Lalu lintas Harian Rata-rata dapat dihitung dengan cara menjumlahkan volume lalu lintas dalam satu periode tertentu yang lebih dari satu hari dan kurang dari satu tahun. Dengan mengetahui lalu lintas harian rata-ratanya, maka dapat diketahui pula fungsi dari jembatan itu sendiri.

b. Data Pengujian Tanah (*Soil Test*)

Hasil pengujian tanah digunakan untuk menentukan daya dukung tanah terhadap jembatan, jenis pondasi, dan kedalaman pondasi yang ideal untuk menahan beban (*Nurdiana,2007*).

c. Data Topografi

Topografi berguna untuk mengetahui situasi, bentang, dan posisi jembatan (Nurdiana, 2007).

d. Data Hidrologi

Data hidrologi berguna untuk mengetahui karakteristik aliran sungai dan tinggi air banjirnya, sehingga dapat diketahui tinggi ideal jembatan agar tidak terkena banjir serta struktur dan material yang tepat (Nurdiana, 2007).

3.2. Penentuan Jenis Struktur Jembatan

Setelah menentukan dan memperhitungkan aspek geometrinya, selanjutnya dapat ditentukan jenis struktur jembatan yang akan digunakan berdasarkan bentang jembatan yang direncanakan. Untuk struktur jembatan prategang sendiri digunakan untuk jembatan dengan bentang 25 hingga 40 meter.

3.3. Konsep Metode Perencanaan

Metode Perencanaan Jembatan Kalipang 2 meliputi, pengumpulan data *soil test*, topografi, dan hidrologi, analisa struktur dan preliminary design, modeling 3D menggunakan Revit Autodesk, perencanaan Rancangan Anggaran Biaya (RAB), dan perencanaan time schedule menggunakan Microsoft Project, simulasi konstruksi 4D sertavisualisasi model menggunakan *Naviswork*.

3.4. Tahapan Penelitian

3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur diperlukan agar perencanaan memenuhi aturan yang berlaku baik teknis maupun non-teknis. Dalam perencanaan ulang atau *redesign* Jembatan Kalipang 2, digunakan PCI-Girder untuk struktur atasnya dan metode Building Modeling Informasi (BIM), diperlukan beberapa studi literatur dimana tercantum aturan dan teori yang berkaitan dengan perencanaan ini. Beberapa standar yang digunakan dalam pengerjaan adalah sebagai berikut:

- 1) SNI 1725:2016 – Standar Pembebanan untuk Jembatan
- 2) SNI 2833:2016 – Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan

- 3) SNI 8460:2017 – Persyaratan Perancangan Geoteknik
- 4) SNI 2832:2016 – Spesifikasi Umum untuk Perencanaan Jembatan Beton
- 5) SNI 7656:2018 – Standar Perencanaan Perkerasan Jalan dan Jembatan
- 6) 02/M/BM/2011 – Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan

3.4.2 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan untuk perencanaan jembatan komposit Kalipang 2 terdiri sebagai berikut:

1. Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata (LHR)
2. Data Pengujian Tanah
3. Data Topografi

Analisa Struktur Jembatan Baja Kalipang 2

Analisis struktural dilakukan sesuai dengan standar Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku untuk desain jembatan. Desain struktural meliputi perhitungan beban dan tulangan yang dibutuhkan untuk struktur jembatan. Desain ulang jembatan ini akan menganalisis struktur atas dan struktur bawah secara detail, sebagai berikut:

1. Railing

Langkah – langkah dalam menganalisis *railing* sebagai berikut:

- a. Menentukan dimensi *railing*
- b. Menentukan *properties material* yang digunakan
- c. Analisis beban yang bekerja
- d. Perhitungan tulangan yang dibutuhkan

2. Pelat Lantai

Langkah – langkah dalam menganalisis plat lantai sebagai berikut:

- a. Menentukan ketebalan plat lantai jembatan
- b. Merencanakan spesifikasi material yang digunakan
- c. Menganalisa pembebanan
- d. Menghitung kebutuhan tulangan

3. Diafragma

Langkah – langkah dalam menganalisis diafragma sebagai berikut:

- a. Menentukan *properties* material yang digunakan beserta dimensinya
- b. Menghitung pembebanan yang diterima
- c. Menghitung kebutuhan tulangan

4. PCI Girder

Langkah – langkah dalam menganalisis gelagar memanjang dalam perencanaan ini menggunakan jenis PCI – Girder sebagai berikut:

- a. Menentukan *properties* material beserta dimensi balok girder yang akan digunakan
- b. Menganalisis pembebanan yang terjadi dan meninjau kondisi batas kuat I, layan I, dan layan III
- c. Menganalisis gaya prategangnya dan menghitung tendon yang diperlukan serta penempatannya
- d. Menghitung kehilangan gaya prategang yang terjadi
- e. Menghitung kebutuhan tulangan dan *shear connector* yang diperlukan

5. Elastomer Bearing Pad

Langkah – langkah dalam menganalisis *Elastomer Bearing Pad* sebagai berikut:

- a. Menghitung beban vertikal yang bekerja
- b. Menghitung beban horizontal yang bekerja
- c. Merencanakan dimensi perletakan yang mengacu pada BMS BDM pasal 7.1.1
- d. Melakukan kontrol dan verifikasi sesuai BMS BDM pasal 7.1.1

6. Pelat Injak

Langkah – langkah dalam menganalisis pelat injak sebagai berikut:

- a. Menghitung beban yang bekerja
- b. Menghitung momen ultimit
- c. Menghitung kebutuhan tulangan

7. Abutment

Langkah – langkah dalam menganalisis abutment sebagai berikut:

- a. Menghitung beban mati
- b. Menghitung beban hidup

- c. Evaluasi stabilitas abutment terhadap gaya geser, guling, eksentrisitas, dan daya dukung tanah
 - d. Menghitung momen ultimit
 - e. Menghitung kebutuhan tulangan
8. Pondasi Spun Pile
- Dalam merencanakan pondasi, langkah yang perlu dilakukan yaitu menghitung kapasitas daya dukung tiang pondasi.

3.4.3 Pemodelan 3 Dimensi Jembatan

Setelah proses perencanaan struktur jembatan telah selesai, selanjutnya jembatan dimodelkan secara tiga dimensi (3D) menggunakan software berbasis BIM, yakni Autodesk Revit. Berikut langkah-langkah membuat permodelan 3D menggunakan Autodesk Revit:

- (1) Membuat project baru
- (2) Membuat grid dan level untuk batasan vertikal dan horizontal bagian struktur
- (3) Membuat family baru
- (4) Dikarenakan struktur jembatan di Revit belum lengkap, maka diperlukan membuat family baru sesuai dengan struktur jembatan yang telah direncanakan dan namai setiap family yang telah dibuat sesuai dengan bagian-bagian strukturnya.
- (5) Memasukan jenis material ke dalam properties family
- (6) Gabungkan family struktur yang telah dibuat ke dalam project
- (7) Membuat pembesian struktur pada family yang telah digabungkan ke dalam project, namai setiap pembesian sesuai dengan dimensi dan jarak antar tulangnya

Setelah proses modeling keseluruhan struktur selesai hingga pembesian, selanjutnya dapat dilanjutkan perhitungan volume beton dan pembesian menggunakan fitur Quantities atau Material Takeoff.

3.4.4 Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) Jembatan Komposit

Kalipang 2

Dalam melakukan perhitungan Rancangan Anggaran Biaya Proyek Jembatan Komposit Kalipang 2, terdapat beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Perhitungan Volume

Perhitungan volume dilakukan menggunakan *software Autodesk Revit* dengan mengandalkan fitur *schedule* yang dapat memunculkan volume dari elemen - elemen bangunan yang terdapat pada pemodelan 3D. Untuk satuan volume pembesian menggunakan kilogram (kg), volume beton menggunakan satuan meter kubik (m³), dan luas bekisting menggunakan satuan meter persegi (m²)

b. Analisis Harga Satuan Bahan dan Pekerjaan

Harga satuan yang digunakan berdasarkan website <https://maspetruk.dpubinmarcipka.jatengprov.go.id/> lalu dimasukkan ke dalam rekap volume pada *Microsoft Project*.

c. Rancangan Anggaran Biaya

Setelah harga satuan pekerjaan diperoleh dari perhitungan AHSP, Rencana Anggaran Biaya (RAB) dapat dihitung dengan mengalikan harga satuan dengan volume pekerjaan yang tersedia. Total biaya untuk setiap pekerjaan akan dijumlahkan, kemudian ditambahkan Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 12%.

3.4.5 Perencanaan Jadwal Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Baja Kalipang 2

Penyusunan jadwal pelaksanaan pekerjaan di *Microsoft Project*, sejatinya dilakukan bersamaan dengan penyusunan analisa harga satuan. Langkah-langkah penyusunan jadwal pekerjaan di *Microsoft project* dijelaskan sebagai berikut:

- (1) Mengatur waktu kerja Untuk mengatur lama jam kerja per hari, hari kerja, dan hari libur yang 54 diterapkan pada satu periode pekerjaan konstruksi, maka dapat menggunakan menu *project, properties, dan change working time*. Dengan mengatur hal tersebut, maka durasi pekerjaan yang diinput akan otomatis melewati hari-hari libur.
- (2) Membuat jadwal pekerjaan
- (3) *Network Diagram dan Gantt Chart*

3.4.6 Penyusunan Rencana Kerja dan Syarat – Syarat (RKS)

Rencana kerja dan syarat-syarat (RKS) yang direncanakan hanya persyaratan teknis meliputi karakteristik fisik, detail desain, toleransi, material yang digunakan, dan metodologi konstruksi yang tercantum pada gambar kerja, anggaran biaya, dan penjadwalan.



BAB IV

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengumpulan Data

Data – data yang telah dikumpulkan pada perencanaan ini meliputi sebagai berikut:

4.1.1 Data Lalu Lintas Harian Rata – Rata (LHR)

Proyek konstruksi jembatan Kalipang memiliki data LHR sebagai berikut :

Table 4. 3 Data Lalu Lintas Harian Rata - Rata

No.	Ruas Jalan	Jenis Kendaraan	Kendaraan (smp/jam)	Persentase
1.	Jalan Raya Nasional 1 Arah Barat ke Timur	Sepeda Motor (MC)	217,26	43%
		Kendaraan Ringan (LV)	282,95	53%
		Kendaraan Berat (HV)	3,54	0,7%
		Tak Bermotor (UM)	1,5	0,3%
2.	Jalan Raya Nasional 1 Arah Timur ke Barat	Sepeda Motor (MC)	157,27	53%
		Kendaraan Ringan (LV)	133,533	45%

4.1.2 Data Pengujian Tanah (*Soil Test*)

Terdapat beberapa jenis pengujian tanah yang dilakukan dalam proyek konstruksi jembatan Kalipang meliputi :

1. Pengujian CPT (Sondir), untuk mengetahui kedalaman tanah keras dari permukaan dan sifat daya lekat maupun daya dukung pada setiap kedalaman.

Table 4. 4 Hasil Uji Sondir

Titik Sondir	Kedalaman Penyondiran (m)	Kedalaman Pada $q_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ (m)	Nilai t_f pada Nilai $q_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ (kg/cm)	Nilai q_c pada kedalaman 1.00 m (kg/cm^2)
S1	8.20	8.20	834	4
S2	12.60	12.40	1824	3

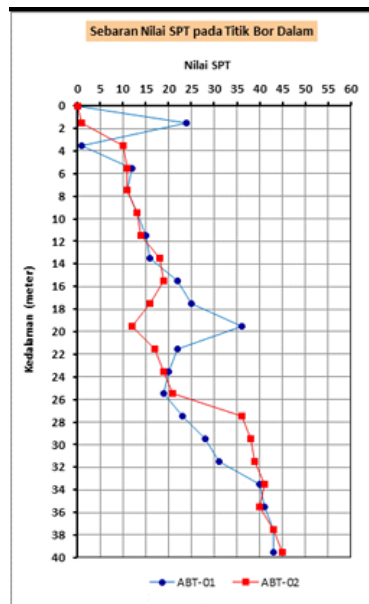
Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

2. Pengujian Corring Drill, memberikan ilustrasi nilai N-SPT dan konsistensi lapisan tanah.

Table 4. 5 Nilai N-SPT Pada 2 Titik Bor

Depth (m)	Sebaran Nilai N-SPT		Depth (m)	Sebaran Nilai N-SPT	
	ABT-01	ABT-02		ABT-01	ABT-02
1,50	24	1	21,50	22	17
3,50	1	10	23,50	20	19
5,50	12	11	25,50	19	21
7,50	11	11	27,50	23	36
9,50	13	13	29,50	28	38
11,50	15	14	31,50	31	39
13,50	16	18	33,50	40	41
15,50	22	19	35,50	41	40
17,50	25	16	37,50	43	43
19,50	36	12	39,50	43	45

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK



Gambar 4. 1 Sebaran Nilai SPT

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

Titik Bore	Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah (Soil Type)	Keterangan
BH-1 (ABT-01)	0,00 - 0,25	N-SPT = 24	Fill of material	GWL berada pada kedalaman -3.00 m
	2,50 - 5,50	N-SPT = 1	Very soft sandy clay mix clamshell	
	5,50 - 7,00	N-SPT = 12	Stiff sandy clay mix clamshell	
	7,00 - 10,50	11<N-SPT≤13	Stiff clay	
	10,50 - 19,50	15<N-SPT≤25	Very stiff silty clay mix sand	
	19,50 - 21,50	N-SPT = 36	Hard silty clay mix sand	
	21,50 - 26,50	19<N-SPT≤22	Very stiff silty clay mix sand	
	26,50 - 30,00	23<N-SPT≤28	Very stiff clay stone	
	30,00 - 40,45	31<N-SPT≤43	Hard clay stone	
BH-2 (ABT-02)	0,00 - 2,00	N-SPT = 1	Very soft sandy clay	GWL berada pada kedalaman -1.50 m
	2,00 - 7,50	11<N-SPT≤14	Stiff silty clay mix sand & clamshell	
	7,50 - 12,00	10<N-SPT≤14	Stiff sandy clay	
	12,00 - 18,50	16<N-SPT≤19	Very stiff clay stone	
	18,50 - 26,50	12<N-SPT≤21	Stiff to very stiff clay	
	26,50 - 40,45	36<N-SPT≤45	Hard clay stone	

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

3. Pengujian laboratorium, untuk mengetahui nilai properties tanah pada tiap lapisan.

Table 4. 6 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-1 (UDS1 & UDS2)

SOIL PARAMETER	TESTING	SYMBOL	Parameter of Value (m)	
			3.00–3.50	9.00–9.50
INDEX PROPERTIES	WATER CONTENT	W (%)	68	29
	UNIT WEIGHT	(ton/m ³)	1,63	1,92
	VOID RATIO	e	1,6	0,68
	SPECIFIC GRAVITY	Gs	2,53	2,49
	DEGREE OF SATURATION	Sr (%)	100,00	100,00
	ATTERBERG	LL (%)	44,9	77,2
		PI (%)	23,6	45,66
	GRAND SIZE DISTRIBUTIONS & UCS	Gravel (%)	0	2,48
		Sand (%)	5,09	12,3
		Silt (%)	57,76	34,31
Clay (%)		37,15	50,91	
ENGINEERING PROPERTIES _{xx}	TRIAXIAL UU	C (kg/cm ²)	0,22	0,82
		(°)	1,39	6,4
	CONSOLIDATION	Cc	0,712	0,286
		Pc (kg/cm ²)	1,16	1,14
		Cv (cm ² /sec)	0,001104	0,002364
UNIFIED CLASSIFICATION			Clay of Low Plasticity (CL)	Clay of Low Plasticity (CL)

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

Table 4. 7 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-1 (UDS3 & UDS4)

SOIL PARAMETER	TESTING	SYMBOL	Parameter of Value (m)	
			17.00–17.50	25.00–25.50
INDEX PROPERTIES	WATER CONTENT	W (%)	29	32
	UNIT WEIGHT	(ton/m ³)	1,99	1,87
	VOID RATIO	e	0,69	0,81
	SPECIFIC GRAVITY	Gs	2,61	2,56
	DEGREE OF SATURATION	Sr (%)	100,00	100,00
	ATTERBERG	LL (%)	38	37,7
		PI (%)	14,91	17,58
	GRAND SIZE DISTRIBUTIONS & UCS	Gravel (%)	0	0
Sand (%)		1,84	10,23	

		Silt (%)	84,01	81,45
		Clay (%)	14,15	8,32
ENGINEERING PROPERTIES	TRIAXIAL UU	C (kg/cm ²)	0,46	0,56
		(°)	9,58	12,49
		Cc	0,154	0,187
	CONSOLIDATION	Pc (kg/cm ²)	1	1,07
		Cv (cm ² /sec)	0,005727	0,004604
		UNIFIED CLASSIFICATION	<i>Clay of Low Plasticity (CL)</i>	<i>Clay of Low Plasticity (CL)</i>

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

Table 4. 8 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-2 (UDS1 & UDS2)

SOIL PARAMETER	TESTING	SYMBOL	Parameter of Value (m)	
			1.00–1.50	8.00–8.50
INDEX PROPERTIES	WATER CONTENT	W (%)	46	17
	UNIT WEIGHT	(ton/m ³)	1,78	2,11
	VOID RATIO	e	1,07	0,44
	SPECIFIC GRAVITY	Gs	2,51	2,59
	DEGREE OF SATURATION	Sr (%)	100,00	100,00
	ATTERBERG	LL (%)	35,9	32,5
		PI (%)	18,82	17,97
	GRAND SIZE DISTRIBUTIONS	Gravel (%)	1,09	0,8
		Sand (%)	27,66	56,68
		Silt (%)	49,24	19,75
Clay (%)		22,02	22,77	
ENGINEERING PROPERTIES	TRIAXIAL UU	C (kg/cm ²)	0,23	0,78
		(°)	0,76	10,95
	CONSOLIDATION	Cc	0,456	0,177
		Pc (kg/cm ²)	0,72	1
		Cv (cm ² /sec)	0,000347	0,004112
UNIFIED CLASSIFICATION			<i>Clay of Low Plasticity (CL)</i>	<i>Clay of Low Plasticity (CL)</i>

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

Table 4. 9 Soil Properties dari Hasil Tes Laboratorium BH-2 (UDS3 & UDS4)

SOIL PARAMETER	TESTING	SYMBOL	Parameter of Value (m)	
			19.00–19.50	25.00–25.50
INDEX PROPERTIES	WATER CONTENT	W (%)	29	32
	UNIT WEIGHT	(ton/m ³)	1,97	1,89

	VOID RATIO	e	0,70	0,82
	SPECIFIC GRAVITY	Gs	2,60	2,60
	DEGREE OF SATURATION	Sr (%)	100,00	100,00
	ATTERBERG	LL (%)	45,20	39,90
		PI (%)	25,63	18,29
	GRAND SIZE DISTRIBUTIONS & UCS	Gravel (%)	0,00	0,00
		Sand (%)	1,56	9,56
		Silt (%)	83,23	82,05
		Clay (%)	15,21	8,38
	ENGINEERING PROPERTIES	TRIAXIAL UU	C (kg/cm ²)	0,63
(°)			10,05	12,49
CONSOLIDATION		Cc	0,206	0,199
		Pc (kg/cm ²)	1,12	1,24
		Cv (cm ² /sec)	0,001805	0,004361
UNIFIED CLASSIFICATION			<i>Clay of Low Plasticity (CL)</i>	<i>Clay of Low Plasticity (CL)</i>

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

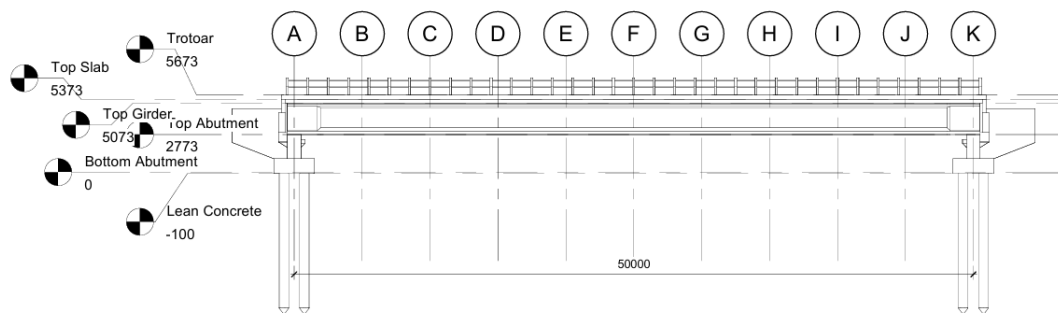
Dari data tabel di atas, direkomendasikan untuk menggunakan jenis pondasi tiang pancang *spun pile* dengan kedalaman 32,00 m – 34,00 m.

Table 4. 10 Rekomendasi Perkiraan Daya Dukung Izin Fondasi Tiang Pancang Spun Pile Berdasarkan Hasil Uji N-SPT

Titik Bor	Depth (m)	Q all Axial, Load Square Pile (Ton)		Q all Pull Out, Spun Pile (Ton)		Remarks
		Ø 40 cm	Ø 50 cm	Ø 40 cm	Ø 50 cm	
BH - 1	34,00	151 ton	151 ton	151 ton	151 ton	
BH - 2	32,00	125 ton	125 ton	125 ton	125 ton	

Sumber: Data Tanah Kalipang Oleh PT. BUKK

4.2. Data Desain Jembatan



Gambar 4. 2 Potongan Melintang Jembatan

4.2.1 Data Desain

Table 4. 11 Data Jalan

Nama Jembatan	Jembatan Kali Pang
Lokasi Jembatan	7JMR+W7G, Belitung, Kalipang, Kec. Sarang, Kabupaten Rembang, Jawa Tengah 59274
Konstruksi Jembatan	
Bentang Jembatan	50 Meter
Lebar Jembatan	13 Meter

4.3. Sandaran

4.3.1 Desain Pipa Sandaran

Mutu Baja = BJ-37 (σ ijin = 1600 kg/cm²)

qL = 100 Kg/m

Dimensi Pipa = Pipa Baja Galvanis Ø3"

Data Teknis Profil

- D = 7,63 cm
- W = 11,5 cm³
- G = 5,08 kg/m
- t = 43,7 cm⁴
- A = 6,465 cm²
- g = 9,8 m/det²

4.3.2 Pembebanan Pipa Sandaran

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned} qU &= 1,2qD + 1,6 qL \\ &= 1,2 (5,08)(9,8) + 1,6 (100) \\ &= 219,741 \text{ N} \\ &= 0,220 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RA = RB &= \frac{q \cdot l}{2} \\ &= \frac{0,220 \cdot 2}{2} \\ &= 0,220 \text{ kN } (\uparrow) \end{aligned}$$

Momen Ultimit

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} * q * L^2 \\ &= \frac{1}{8} * 0,220 * 1,8^2 \\ &= 0,088 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Geser Ultimit

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} * q * L \\
 &= \frac{1}{2} * 0,220 * 1,8 \\
 &= 0,200 \text{ kN} \\
 \sigma_{\text{ijin}} &= 1600 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 160 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$E \text{ Baja} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

Terhadap Momen:

$$\begin{aligned}
 \sigma_u &< \sigma_{\text{ijin}}, \frac{Mu}{w} < \sigma_{\text{ijin}} \\
 &= \frac{6726,900}{11,5} < 1600 \text{ kg/cm} \\
 &= 584,9478 < 1600 \text{ kg/cm} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Kontrol Lendutan:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{5qL^4}{384EI} < \frac{L}{300} \\
 q &= G + qL \\
 &= 5,08 + 100 \\
 &= 105,08 \text{ kg/m} \\
 &= 1,0508 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } &= \frac{5qL^4}{384EI} < \frac{L}{300} \\
 &= \frac{5 * 1,0508 * 200^4}{384 * 2,1 \times 10^6 * 43,7} < \frac{200}{300} \\
 &= 0,2385 < 0,6667 \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Jadi, pipa galvanis Ø 3” dapat digunakan sebagai pipa sandaran.

4.3.3 Desain Parapet

Parameter Material Rencana

a) Kekuatan Material

Table 4. 12 Kekuatan Material Untuk Parapet

No.	Parameter	Notasi	Hasil	Satuan
1.	Kuat tekan beton rencana	f'c	25	MPa

1.	Kuat leleh baja	f_y	420	MPa
----	-----------------	-------	-----	-----

b) Berat Jenis,

Berikut adalah parameter berat jenis terhadap material yang ada atau digunakan pada perencanaan parapet:

Table 4. 13 Berat Jenis Material Parapet

No.	Berat Jenis Material	Notasi	Hasil	Satuan
1.	Berat beton bertulang	γ_{beton}	25	kN/m^3
2.	Berat baja	ρ_{baja}	78,5	kN/m^3

c) Ukuran Parapet

- Tinggi Parapet $h = 700 \text{ mm}$
- Tebal Parapet $d = 300 \text{ mm}$
- Lebar Tinjauan $b = 1000 \text{ mm}$
- Tebal Selimut Beton $c = 40 \text{ mm}$
- \emptyset Tulangan Utama $= 22 \text{ mm}$
- \emptyset Tulangan Sengkang $= 16 \text{ mm}$
- Tebal Efektif $= 700 - 400 - \left(\frac{1}{2} * 16\right)$
 $= 649 \text{ mm}$
- Beban Horizontal $= 1 \text{ kN}$

4.3.4 Pembebanan Parapet

a) Berat Sendiri

$$\begin{aligned} \text{Muatan Horizontal (H}_{TP}\text{)} &= H \times L \\ &= 1 \times 2 \\ &= 2 \text{ kNm} \\ \text{Jarak Lengan, } y &= 90 + 20 \\ &= 1,1 \text{ m} \\ \text{Momen Parapet (M}_P\text{)} &= H_{TP} \times y \\ &= 2 \times 1,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,2 \text{ kN.m} \\
 \text{Faktor Beban Ultimit, (K}_P\text{)} &= 1,8 \\
 \text{Momen Ultimit (M}_U\text{)} &= M_{TP} \times K_{TP} \\
 &= 2,2 \times 1,8 \\
 &= 3,96 \text{ kN.m} \\
 \text{Gaya Geser Ultimit (V}_u\text{)} &= H_{TP} \times K_{TP} \\
 &= 2 \times 1,8 \\
 &= 3,60 \text{ kN.m} \\
 \text{Momen Nominal (M}_N\text{)} &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{3,96}{0,8} \\
 &= 4,95 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

4.3.5 Penulangan Tiang Sandaran

$$\begin{aligned}
 R_I &= 0,85 * f'c \\
 &= 0,85 * 25 \\
 &= 21,25 \text{ MPa} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b * d^2} \\
 &= \frac{4950000}{200 * 147^2} \\
 &= 1,1453 \text{ MPa} \\
 \rho_b &= \frac{\beta * 0,85 * f'c}{f_y} * \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 * 0,85 * 25}{400} * \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,027 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033 \\
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \times 0,027 \\
 &= 0,02 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{19,765} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times 19,765 \times 1,1453}{420}} \right) \\
 &= 0,034
 \end{aligned}$$

$\rho_{min} > \rho$, maka dipakai ρ_{min}

$$\begin{aligned}
 A_{s_{min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{min} \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 1000 \times 649 \\
 &= 2141,7 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Dipakai D22-150}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{min}} \text{ Tul. Bagi} &= \frac{1}{2} \times A_{s_{min}} \text{ Tul. Utama} \\
 &= \frac{1}{2} \times 2141,7 \\
 &= 1070,85 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \text{Dipakai D16-150}
 \end{aligned}$$

Tulangan geser

$$\phi V_c < V_u$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 1000 \times 649 \\
 &= 540833,333 \text{ N} \\
 &= 540,833 \text{ kN} > V_u
 \end{aligned}$$

Sehingga, parapet tidak memerlukan tulangan geser tambahan

4.3.6 Rekapitulasi Sandaran dan Parapet

Pipa Sandaran

Table 4. 14 Rekapitulasi Beban, Momen, dan Gaya Geser Pipa Sandaran

No.	Analisa	Kode	Hasil	Satuan
-----	---------	------	-------	--------

1.	Berat Sendiri	MS	0,220	kN/m
2.	Momen Ultimit	Mu	0,088	kN.m
3.	Momen Nominal	Mn	0,11	kN.m
4.	Geser Ultimit	Vu	0,200	kN

Parapet

Table 4. 15 Rekapitulasi Beban, Momen, dan Gaya Geser Parapet

No.	Analisa	Kode	Hasil	Satuan
1.	Berat Sendiri	MS	3,96	kN/m
2.	Momen Ultimit	Mu	3,40	kN.m
3.	Momen Nominal	Mn	4,95	kN.m
4.	Geser Ultimit	Vu	4,95	kN

Tulangan Utama	D22-150
Tulangan Sengkang	D16-150

4.4. Trotoar

Mengacu pada PPPJR Bab III pasal 1.2.5.a halaman 10, pada perencanaan trotoar harus memperhitungkan beban hidup merata yang terjadi sebesar 500 kg/m^2 .

Direncanakan:

- Lebar Trotoar = 100 cm
- Tebal Trotoar = 20 cm
- Diameter Tul. Utama = 12 mm
- Diameter Tul. Bagi = 10 mm
- Tebal Selimut Beton = 30 mm
- Kuat Tekan Beton = 25 MPa
- Tegangan Leleh Baja = 320 MPa
- Berat Isi Beton Bertulanga = 25 kN/m^3
- Berat Isi Beton Tak Bertulang = 24 kN/m^3

4.4.1 Pembebanan Trotoar

Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri, } q_1 &= b \times h_1 \times W'c \\ &= 1 \times 0,2 \times 25 \\ &= 5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat lantai, } q_2 &= b \times h_2 \times W'c \\ &= 1 \times 0,3 \times 25 \\ &= 7,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Mati, } q_D = 12,5 \text{ kN/m}$$

Beban Hidup

$$\text{Beban pejalan kaki} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Hidup, } q_L &= b \times q \\ &= 1 \times 5 \\ &= 5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Analisa Struktur

$$\begin{aligned} M_D &= \frac{1}{8} \times q_D \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 12,5 \times 1^2 \\ &= 1,563 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_L &= q_L \times L^2 \\ &= 5 \times 1^2 \\ &= 5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_U &= 1,3M_D + 1,8M_L \\ &= (1,3 \times 1,562) + (1,8 \times 5) \\ &= 11,032 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

4.4.2 Penulangan Trotoar

$$\begin{aligned} d &= h - d' - \frac{1}{2} \text{Ø tul. utama} - \text{Ø tul. Bagi} \\ &= 200 - 30 - \frac{1}{2} \times 12 - 10 \\ &= 154 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{11,032}{0.8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 13,789 \text{ kNm} \\
&= 13789062,5 \text{ Nmm} \\
R_n &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\
&= \frac{13789062,5}{1000 \times 154^2} \\
&= 0,582 \text{ N/mm}^2 \\
\rho_b &= \frac{\beta \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
&= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{320} \times \frac{600}{600 + 320} \\
&= 0,0368 \\
\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
&= \frac{1,4}{320} \\
&= 0,0044 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
&= 0,75 \times 0,0368 \\
&= 0,0276 \\
m &= \frac{320}{0,85 \times 25} \\
&= 15,06 \\
\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{15,06} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,06 \times 0,582}{320}} \right) \\
&= 0,002
\end{aligned}$$

Dikarenakan $\rho \leq \rho_{\min}$, maka digunakan $\rho = 0,0044$

$$\begin{aligned}
A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} \times b \times d \\
&= 0,0044 \times 1000 \times 154 \\
&= 677,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \emptyset 12 - 150
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{S_{\max}} \text{ Tul. Bagi} &= \frac{1}{2} A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} \\
&= \frac{1}{2} \times 677,6 \\
&= 338,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \emptyset 10 - 200
\end{aligned}$$

4.4.3 Rekapitulasi Trotoar

Trotar

Table 4. 16 Rekapitulasi Analisa Trotoar

No.	Analisa	Kode	Hasil	Satuan
1.	Beban Mati	M_D	5	kN/m
2.	Beban Hidup	M_L	7,5	kN/m
3.	Momen Ultimit	M_u	11,032	kN.m
4.	Momen Nominal	M_n	13,79	kN.m
5.	Geser Ultimit	V_u		kN

Tulangan Utama	D12-150
Tulangan Sengkang	D10-200

4.5. Kerb

Direncanakan:

- Tinggi Kerb = 25 cm
- Lebar Kerb = 20 cm
- Diameter Tul. Utama = 12 mm
- Diameter Tul. Bagi = 8 mm
- Tebal Selimut Beton = 30 mm
- Kuat Tekan Beton = 25 MPa
- Tegangan Leleh Baja = 420 MPa
- Berat Isi Beton Bertulangan = 25 kN/m³
- Berat Isi Beton Tak Bertulang = 24 kN/m³

4.5.1 Pembebanan Kerb

- Beban Mati
 Berat Sendiri (P) = $h \times B J_{\text{beton}} \times \gamma$
 = $0,25 \times 25 \times 1,3$
 = 8,125 kN/m

- Beban Hidup

$$\begin{aligned}\text{Beban Horizontal (P}_H\text{)} &= h \times q_p \\ &= 0,25 \times 5 \\ &= 1,25 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Analisis Struktur

$$\begin{aligned}M_U &= P \times L \times \gamma \times y \\ &= 5 \times 1 \times 1,6 \times 0,25 \\ &= 2 \text{ kNm}\end{aligned}$$

4.5.2 Penulangan Kerb

$$\begin{aligned}d &= h - d' - \frac{1}{2} \text{Ø tul. utama} - \text{Ø tul. Bagi} \\ &= 250 - 40 - \frac{1}{2} \times 12 - 10 \\ &= 194 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{2}{0,75} \\ &= 2,667 \text{ kNm} \\ &= 2666666,67 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{2666666,67}{1000 \times 194^2} \\ &= 0,071 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \cdot f_c'}}\right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 25}{420} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,071}{0,85 \cdot 25}}\right) \\ &= 0,0464\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} ; \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} ; \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} \\ &= 0,0033 ; 0,0029 \quad \rightarrow \text{digunakan yang nilai terbesar, } 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0464 \\ &= 0,0348\end{aligned}$$

Dikarenakan $\rho_b > \rho_{\min}$, maka digunakan $\rho = 0,0464$

$$\begin{aligned}A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0464 \times 1000 \times 194 \\ &= 677,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \varnothing 12 - 150\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{S_{\max}} \text{ Tul. Bagi} &= \frac{1}{2} A_{S_{\min}} \text{ Tul. Utama} \\ &= \frac{1}{2} \times 677,6 \\ &= 338,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai } \varnothing 10 - 200\end{aligned}$$

4.6. Plat Lantai

Sesuai dengan **RSNI T-12-2004 Pasal 5.5.2.**, persyaratan tebal plat lantai dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$200 \leq t_s \leq 100 + 0,04 L$$

$$200 \leq t_s \leq 100 + 0,04 \times 7400$$

$$200 \leq t_s \leq 396 \text{ mm}$$

Berdasarkan persamaan tersebut dapat disimpulkan, tebal plat yang direncanakan harus melebihi dari 200 mm dan kurang dari 396 mm.

Direncanakan:

Lebar Plat	= 1300 mm
Tebal Plat	= 250 mm
Tebal Selimut	= 30 mm
Tebal Efektif Plat	= 220 mm
Tebal Aspal	= 100 mm
f_c	= 25 MPa
f_y	= 400 MPa
BJ Beton	= 2400 kg/m ³
BJ Aspal	= 2200 kg/m ³

4.6.1 Pembebanan Plat Lantai

a) Beban Mati Merata

$$\begin{aligned} \text{Beban Plat Lantai} &= h_{\text{PL}} \times B_{\text{J}_{\text{BETON}}} \times \gamma \\ &= 0,25 \times 25 \times 1,3 \\ &= 8,125 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Aspal} &= h_{\text{ASPAL}} \times B_{\text{J}_{\text{ASPAL}}} \times \gamma \\ &= 0,02 \times 22 \times 2 \\ &= 2,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Air Hujan} &= h_{\text{AIR}} \times B_{\text{J}_{\text{AIR}}} \times \gamma \\ &= 0,05 \times 9,8 \times 2 \\ &= 0,98 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban} = 11,305 \text{ kN}$$

b) Beban Truk

Mengacu pada SNI 1725 2016, beban truk dijabarkan sebagai berikut:

- Faktor Dinamis BGT (DLA) = 30 % (untuk perhitungan beban truk)
- Beban Kritis Roda Truk (P_{TT}) = 112,5 kN
- Faktor Beban untuk jenis struktur gelagar beton = 1,8

$$\begin{aligned} P_{\text{U TRUK}} &= (1 + \text{DLA}) \times P_{\text{TT}} \times \text{Faktor Beban} \\ &= (1 + 0,3) \times 112,5 \times 1,8 \\ &= 263,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

Selanjutnya hitung, keseluruhan beban yang akan ditopang oleh plat lantai jembatan, selanjutnya hitung kekuatan nominal plat lantai dalam menahan beban:

$$\begin{aligned} t_y &= 250 + (2 \times h_{\text{aspal}}) + h_{\text{plat}} \\ &= 200 + (2 \times 50) + 250 \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_x &= 750 + (2 \times h_{\text{aspal}}) + h_{\text{plat}} \\ &= 500 + (2 \times 50) + 250 \\ &= 1100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t' &= (2 \times t_x) + (2 \times t_y) \\ &= (2 \times 110) + (2 \times 600) \\ &= 3400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_u = \phi \times 1/6 \times \sqrt{f_c'} \times t' \times t_y$$

$$= 0.8 \times 1/6 \times \sqrt{(25 \times 3400 \times 600)}$$

$$= 576.580 \text{ kN}$$

Periksa syarat kekuatan nominal plat lantai terhadap beban truck

$$V_u > P_{u_{\text{truck}}}$$

$$576.580 \text{ kN} > 263.25 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Setelah plat lantai dipastikan sudah memenuhi persyaratan dalam menopang beban hidup dan mati, selanjutnya dilakukan perhitungan momen ultimitnya menggunakan tabel bittner:

- Momen Beban Mati

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

$$= \frac{1}{10} \times 11,305 \times 13^2$$

$$= 191,055 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{1}{30} \times 11,305 \times 13^2$$

$$= 63,685 \text{ kNm}$$

- Momen Beban Truk

$$L_x = 3,25 \text{ m}$$

$$L_y = 5 \text{ m}$$

$$t_x/L_x = 0,338 \rightarrow \text{dibulatkan menjadi } 0,4$$

$$t_y/L_x = 0,12 \rightarrow \text{dibulatkan menjadi } 0,2$$

$$f_{xm} = 0,1675$$

$$M_{hx} = f_{xm} \times P_u \times t_x \times t_y$$

$$= 0,1675 \times 263,25 \times 0,6 \times 1,1$$

$$= 29,103 \text{ kNm}$$

$$f_{ym} = 0,1186$$

$$M_{hy} = f_{ym} \times P_u \times t_x \times t_y$$

$$= 0,1186 \times 283,5 \times 0,6 \times 1,1$$

$$= 22,192 \text{ kNm}$$

- Momen Ultimit

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 191,055 + 29,103 \\ &= 220,158 \text{ kNm kontrol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 63,685 + 22,192 \\ &= 85,877 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.6.2 Pengaplikasian SAP2000 dan Pengkombinasian Pembebanan

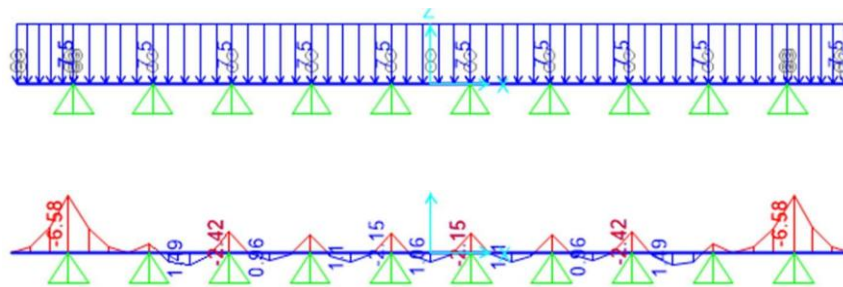
Berdasarkan analisa struktur yang dilakukan, berikut adalah rekapitulasi dari beban-beban yang diperhitungkan kedalam pelat lantai:

Table 4. 17 Rekapitulasi Komponen Beban Pada Pelat lantai

No	Komponen Beban	Kode	Arah Beban	Hasil	Satuan
1	Beban mati sendiri pelat lantai	MS	Q (merata)	7,5	kN/m
2	Beban mati tambahan				
	Lapisan aspal	MA	Q (merata)	1,1	kN/m
	Air genangan	MA	Q (merata)	0,49	kN/m
	Parapet/dudukan PJU	MA	P (terpusat)	6,75	kN
	Tiang PJU + lampu	MA	P (terpusat)	0,88	kN
	Railing	MA	P (terpusat)	1,07	kN
3	Beban transien				
	Beban lalulintas akibat truk "T"	TT	P (terpusat)	157,5	kN
	Beban khusus akibat pejalan kaki	TP	Q (merata)	5,5	kN/m
	Beban angin pada kendaraan	EW _L	P (terpusat)	18,4	kN

Tahap berikutnya adalah proses pemodelan dan penempatan beban pada struktur menggunakan SAP2000. Setiap komponen beban yang telah direkap akan diinput dan diaplikasikan pada wilayah struktur yang relevan, baik secara merata pada area pelat maupun terpusat pada titik-titik tertentu, sesuai dengan karakteristik bebannya.

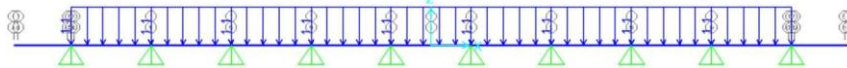
- i. Beban mati sendiri pelat lantai Pemodelan:



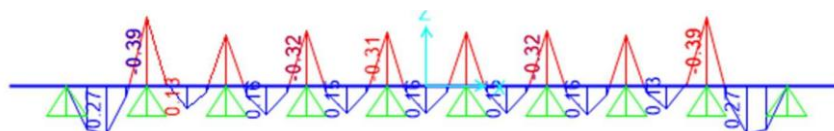
Momen tumpuan: 6,58 kNm

Momen lapangan: 1,49 kNm

- ii. Beban mati tambahan oleh lapisan aspal Pemodelan:



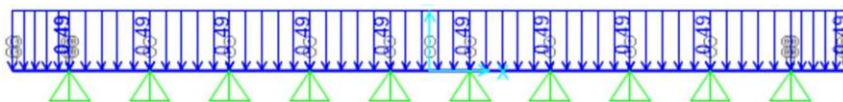
Hasil diagram momen:



Momen tumpuan: 0,39 kNm

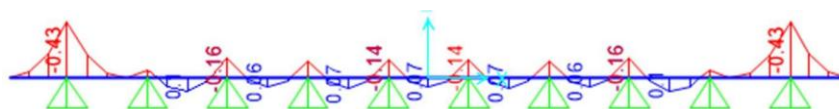
Momen lapangan: 0,27 kNm

- iii. Beban mati tambahan oleh air genangan Pemodelan:



Gambar 4. 3 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Air Genangan

Hasil diagram momen:

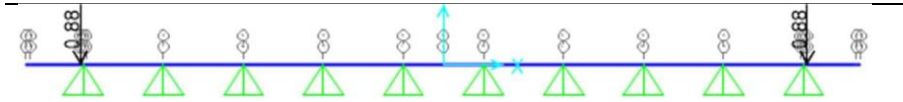


Gambar 4. 4 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Air Genangan

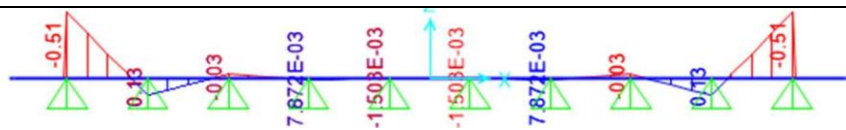
Momen tumpuan: 0,43 kNm

Momen lapangan: 0,10 kNm

iv. Beban mati tambahan oleh parapet Pemodelan:

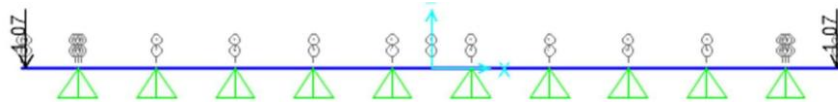


Hasil diagram momen:



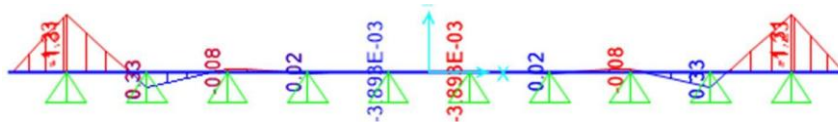
Momen lapangan: 0,13 kNm

v. Beban mati tambahan oleh railing Pemodelan:



Gambar 4. 5 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Railing

Hasil diagram momen:



Gambar 4. 6 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Mati Tambahan Railing

Momen tumpuan: 1,31 kNm

Momen lapangan: 0,33 kNm

vi. Beban lalu lintas akibat truk "T"

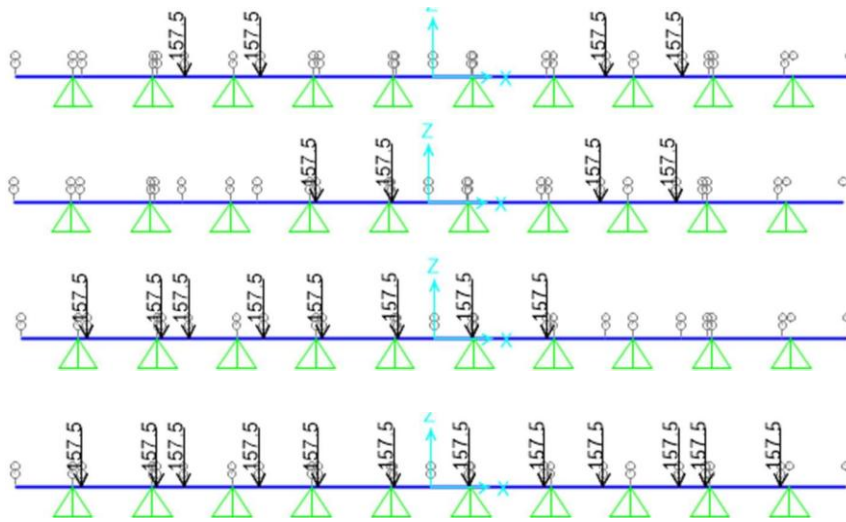
Pada pemodelan atau penempatan beban lalu lintas akibat truk dirancang sebanyak 4 (empat) model dengan penjelasan kondisi per-model sebagai berikut:

- Model I, penempatan 2 kendaraan dengan roda jauh dari support/girder.
- Model II, penempatan 2 kendaraan dengan pengkombinasian titik roda (jauh dari support/girder dan dekat dengan support/girder).
- Model III, penempatan kendaraan berdasarkan kondisi lalu lintas arah pergi lebih banyak daripada lalu lintas arah pulang.

- Model IV, penempatan kendaraan berdasarkan kondisi lalulintas kedua arah (pergi/pulang) terisi padat.

Pemodelan:

Model I - IV



Gambar 4. 7 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk

Model I-IV

Hasil diagram momen:

Model I

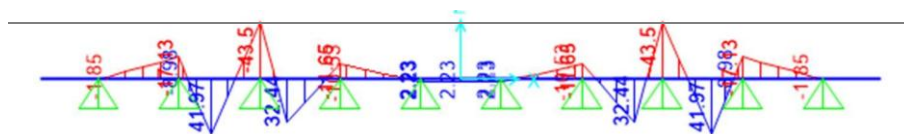


Table 4. 18 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model I

Momen tumpuan: 43,50 kNm

Momen lapangan: 41,97 kNm

Model II

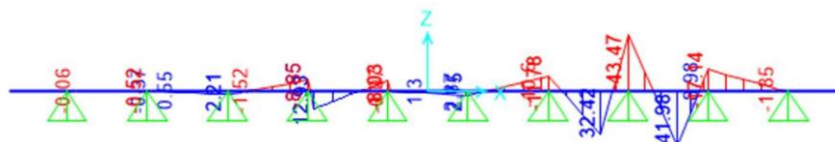
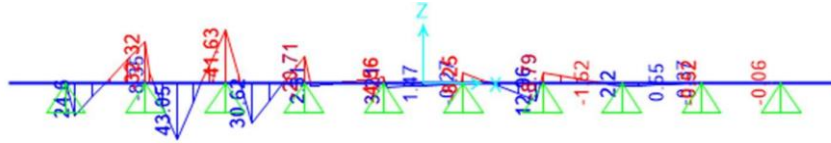


Table 4. 19 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model II

Momen tumpuan: 43,47 kNm

Momen lapangan: 41,98 kNm

Model III

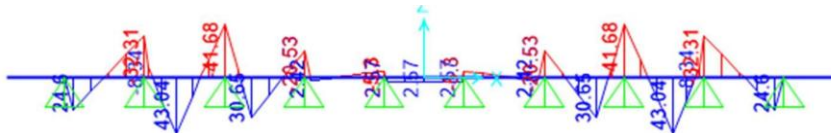


Gambar 4. 8 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model III

Momen tumpuan: 41,63 kNm

Momen lapangan: 43,05 kNm

Model IV



Gambar 4. 9 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Truk Model IV

Momen tumpuan: 41,68 kNm

Momen lapangan: 43,04 kNm

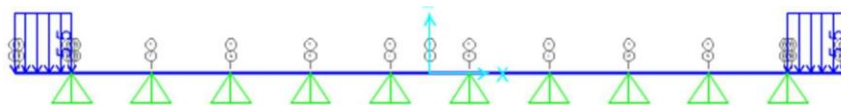
Berdasarkan tipe I hingga tipe IV, berikut didapatkan momen tumpuan dan lapangan terbesar:

Momen tumpuan $_{MAX}$ = 43,50 kNm (Tipe I)

Momen lapangan $_{MAX}$ = 43,05 kNm (Tipe III)

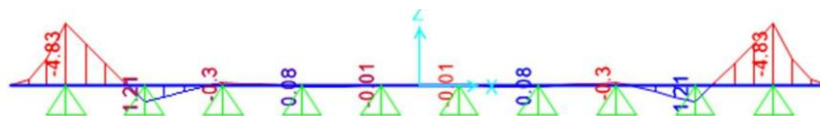
i. Beban khusus akibat pejalan kaki

Pemodelan:



Gambar 4. 10 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Pejalan Kaki

Hasil diagram momen:



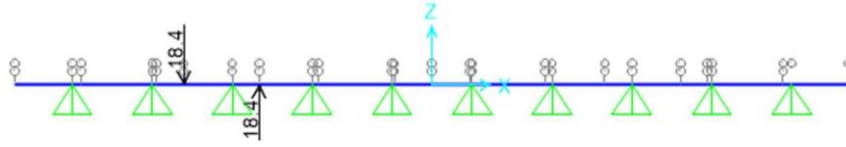
Gambar 4. 11 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lalu Lintas Akibat Pejalan Kaki

Momen tumpuan: 4,83 kNm

Momen lapangan: 1,21 kNm

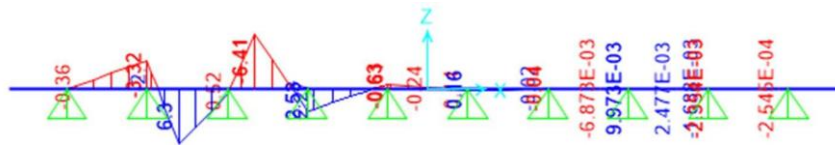
ii. Beban angin pada kendaraan

Pemodelan:



Gambar 4. 12 Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lingkungan Akibat Angin Kendaraan

Hasil diagram momen:



Gambar 4. 13 Hasil Pemodelan SAP2000 Terhadap Beban Lingkungan Akibat Angin Kendaraan

Momen tumpuan: 6,41 kNm

Momen lapangan: 6,30 kNm

Table 4. 20 Hasil Analisa Momen Melalui SAP2000 Pada Struktur Pelat lantai

Komponen Beban	Kode	Q (kN)	P (kN)	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)
Beban mati sendiri pelat lantai	MS	7,50		6,58	1,49
Beban mati tambahan					
Lapisan aspal	MA	1,10		0,39	0,27
Air genangan	MA	0,49		0,43	0,10
Parapet	MA		6,75	0,51	0,13
Railing	MA		1,07	1,31	0,33
Beban transien					
Beban lalulintas akibat truk "T"	TT		157,50	41,68	43,04

Komponen Beban	Kode	Q (kN)	P (kN)	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)
Beban khusus akibat pejalan kaki	TP	5,50		4,83	1,21
Beban angin pada kendaraan	EWL		6,41	6,41	6,3

Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan (Momen Ultimate)

Table 4. 21 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat I

Kuat I						
Komponen Beban	Kode	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Fk	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)
<input type="checkbox"/> Beban mati sendiri						
Pelat Lantai	MS	6,58	1,49	1,3	8,55	1,9
<input type="checkbox"/> Beban mati tambahan						
Lapisan aspal	MA	0,39	0,27	2	0,78	0,54
Air genangan	MA	0,43	0,10	2	0,86	0,20
Parapet	MA	0,51	0,13	2	1,02	0,26
PJU	MA	0,07	0,02	2	0,14	0,04
Railing	MA	1,31	0,33	2	2,62	0,66
<input type="checkbox"/> Beban transien						
Truk "T"	TT	41,68	43,04	1,8	75,02	77,47
Pejalan kaki	TP	4,83	1,21	1,8	8,69	2,18
Angin Kendaraan	EWL	6,41	6,3	-	0,00	0,00
Jumlah =					97,70	83,29

Table 4. 22 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat II

Kuat II						
Komponen Beban	Kode	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Fk	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)
□ Beban mati sendiri						
Pelat Lantai	MS	6,58	1,49	1,3	8,55	1,9
□ Beban mati tambahan						
Lapisan aspal	MA	0,39	0,27	2	0,78	0,54
Air genangan	MA	0,43	0,10	2	0,86	0,20
Parapet	MA	0,51	0,13	2	1,02	0,26
PJU	MA	0,07	0,02	2	0,14	0,04
Railing	MA	1,31	0,33	2	2,62	0,66
□ Beban transien						
Truk "T"	TT	41,68	43,04	1,4	58,35	60,26
Pejalan kaki	TP	4,83	1,21	1,4	6,76	1,69
Angin Kendaraan	EWL	6,41	6,3	-	0,00	0,00
Jumlah =					79,09	65,59

Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Daya Layan I

Table 4. 23 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat III

Kuat III						
Komponen Beban	Kode	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Fk	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)
Beban mati sendiri						
Pelat Lantai	MS	6,58	1,49			8,55
			1,9			
Beban mati tambahan						
Lapisan aspal	MA	0,39	0,27	2	0,78	0,54
Air genangan	MA	0,43	0,10	2	0,86	0,20
Parapet	MA	0,51	0,13	2	1,02	0,26
Railing	MA	1,31	0,33	2	2,62	0,66
Beban transien						
Truk "T"	TT	41,68	43,04	-	0,00	0,00
Pejalan kaki	TP	4,83	1,21	-	0,00	0,00
Angin Kendaraan	EWL	6,41	6,3	1,4	8,97	8,82
Jumlah =					22,95	12,46
Daya Layan I						
• Beban mati sendiri						
Pelat Lantai	MS	6,58	1,49	1	6,58	1,49
• Beban mati tambahan						
Lapisan aspal	MA	0,39	0,27	1	0,39	0,27
Air genangan	MA	0,43	0,10	1	0,43	0,10
Parapet	MA	0,51	0,13	1	0,51	0,13
Railing	MA	1,31	0,33	1	1,31	0,33
• Beban transien						
Truk "T"	TT	41,68	43,04	1	41,68	43,04

Kuat III						
Komponen Beban	Kode	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Fk	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)
Pejalan kaki	TP	4,83	1,21	1	4,83	1,21
Angin Kendaraan	EWL	6,41	6,3	0.3	1,92	1,89
Jumlah =					57,73	48,48

Table 4. 24 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Daya Layan II

Daya Layan II						
Komponen Beban	Kode	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Fk	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)
□ Beban mati sendiri						
Pelat Lantai	MS		6,58		1,49	6,58
			1,49			
□ Beban mati tambahan						
Lapisan aspal	MA	0,39	0,27	1	0,39	0,27
Air genangan	MA	0,43	0,10	1	0,43	0,10
Parapet	MA	0,51	0,13	1	0,51	0,13
Tiang PJU + lampu	MA	0,07	0,02	1	0,07	0,02
Railing	MA	1,31	0,33	1	1,31	0,33
□ Beban transien						
Truk "T"	TT	41,68	43,04	1,3	54,18	55,95
Pejalan kaki	TP	4,83	1,21	1,3	6,28	1,57
Angin Kendaraan	EWL	6,41	6,3	-	0,00	0,00
Jumlah =					69,76	59,87

Table 4. 25 Pengkombinasian Momen Terhadap Faktor Pembebanan Kuat II

Fatik						
Komponen Beban	Kode	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)	Fk	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)
<input type="checkbox"/> Beban mati sendiri						
Pelat Lantai	MS	6,58	1,49	-	-	-
<input type="checkbox"/> Beban mati tambahan						
Lapisan aspal	MA	0,39	0,27	-	-	-
Air genangan	MA	0,43	0,10	-	-	-
Parapet	MA	0,51	0,13	-	-	-
PJU	MA	0,07	0,02	-	-	-
Railing	MA	1,31	0,33	-	-	-
<input type="checkbox"/> Beban transien						
Truk "T"	TT	41,68	43,04	0,75	31,26	32,28
Pejalan kaki	TP	4,83	1,21	0,75	3,62	0,91
Angin Kendaraan	EWL	6,41	6,3	-	-	-
Jumlah =					34.89	33.19

Tabel berikut menyajikan rekapitulasi nilai momen ultimit pada tumpuan dan lapangan berdasarkan berbagai kombinasi keadaan batas pembebanan. Setiap kombinasi disusun untuk mengevaluasi aspek berbeda dari perilaku struktur, seperti kekuatan, layanan, serta kelelahan, guna memastikan kinerja pelat secara menyeluruh sesuai dengan ketentuan perencanaan jembatan.

Table 4. 26 Rekapitulasi Nilai Momen Ultimate Akibat Kombinasi

No.	Keadaan Batas	Mu Tumpuan (kNm)	Mu Lapangan (kNm)	Keterangan
1	Kuat I	97,70	83,29	Akan digunakan untuk perencanaan penulangan.
2	Kuat II	79,09	65,59	
3	Kuat III	22,95	12,46	
4	Daya layan I	57,73	48,48	
5	Daya layan II	69,76	59,87	Akan digunakan untuk evaluasi defleksi.
6	Fatik	34,89	33,19	

Setelah diketahui momen ultimitnya, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan tulangan pada plat lantai.

Tulangan arah melintang x

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{220,198}{0,8} \\
 &= 275,248 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{275,248 \times 10^6}{1000 \times 220^2} \\
 &= 5,6893 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{\beta \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{320} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,027
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,004$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,027 = 0,02$$

$$m = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,824$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 x m x Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 18,824 x 5,6893}{400}} \right) \\ &= 0,0017\end{aligned}$$

Dikarenakan $\rho \leq \rho_{\min}$, maka digunakan $\rho = 0,0044$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} x b x d \\ &= 0,0044 x 1000 x 220 \\ &= 1098,326 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D19-200 (1418 mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

Tulangan arah melintang y

$$\begin{aligned}Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\ &= \frac{85,877}{0.8} \\ &= 107,346 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{Mn}{b.d^2} \\ &= \frac{107,346 x 10^6}{1000 x 220^2} \\ &= 2,2179 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{\beta x 0,85 x f_c'}{fy} x \frac{600}{600+fy} \\ &= \frac{0,85 x 0,85 x 25}{320} x \frac{600}{600+400} \\ &= 0,027\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,004\end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 x \rho_b = 0,75 x 0,027 = 0,02$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{400}{0,85 x 25} \\ &= 18,824\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 x m x Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 18,824 x 2,2179}{400}} \right) \\ &= 0,0058\end{aligned}$$

Dikarenakan $\rho \geq \rho_{\min}$, maka digunakan $\rho = 0,0058$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 220 \\ &= 1291,167 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai}\end{aligned}$$

4.7. Diafragma

4.7.1 Parameter Material Rencana

a) Material Beton,

Digunakan mutu beton dengan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa pada diafragma. Parameter lainnya yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table 4. 27 Parameter Material Beton Untuk Diafragma

No.	Parameter	Notasi	Rumus	Hasil	Satuan
1.	Kuat tekan beton rencana	$f'c$		25	MPa
2.	Modulus elastis	E_c	$4700 * \sqrt{f'c}$	23500	MPa
3.	Angka poisson	u		0,20	MPa
4.	Modulus geser	G	$\frac{E_c}{2 * (1 + u)}$	9791,67	MPa
5.	Koefisien muai panjang untuk beton	a		$10 * 10^{-6}$	$^{\circ}C$

b) Material Baja,

Material baja yang khususnya digunakan pada perencanaan penulangan diafragma digunakan sepenuhnya kelas baja tulangan 420B dengan parameter lainnya sebagai berikut:

Table 4. 28 Parameter Material Baja Untuk Diafragma

No.	Parameter	Notasi	Hasil	Satuan
-----	-----------	--------	-------	--------

1.	Kuat leleh baja	f_y	420	MPa
2.	Kuat tarik maksimum	f_u	540	MPa
3.	Perbandingan f_u/f_y	f_u/f_y	1,25	
4.	Renggangan luluh (<i>elongation</i>)	G	$\geq 10\%$	
5.	Modulus elastisitas	E	200000	MPa

c) Berat Jenis,

Berikut adalah parameter berat jenis terhadap material yang ada atau digunakan pada perencanaan diafragma:

Table 4. 29 Parameter Berat Jenis Untuk Diafragma

No.	Berat Jenis Material	Notasi	Hasil	Satuan
1.	Berat beton bertulang	γ_{beton}	25	kN/m^3
2.	Beton aspal	γ_{aspal}	22	kN/m^3
3.	Berat jenis air	γ_{air}	9,8	kN/m^3
4.	Berat baja	ρ_{baja}	78,5	kN/m^3

4.7.2 Pembebanan Diafragma

Pada diafragma, beban yang diperhitungkan hanya berasal dari berat sendiri elemen, karena elemen ini tidak secara langsung menerima beban lalu lintas maupun beban tambahan lainnya.

- a) Berat Sendiri Diafragma Tengah
- b) Berat Sendiri Diafragma Ujung
- c) Penulangan Diafragma

Perhitungan pembebanan diafragma hanya memperhitungkan beban diafragma itu sendiri, hal ini dikarenakan diafragma tidak memangku beban apapun. Sebelum menghitung pembebanan, terlebih dahulu direncanakan parameter – parameter perhitungannya sebagai berikut :

Direncanakan:

Tinggi Diafragma = 1,850 m

Lebar Diafragma = 1,650 m

Tebal Diafragma = 0,2 m

$$\begin{aligned}
 \text{Selimut Beton} &= 0,03 \text{ m} \\
 W_{\text{DIAFRAGMA}} &= b \times h \times t \times BJ \\
 &= 1,850 \times 1,650 \times 0,2 \times 25 \\
 &= 15,2625 \text{ kN} \\
 Mu &= \frac{1}{12} \times W_{\text{DIAFRAGMA}} \times h^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 15,2625 \times 1,650^2 \\
 &= 2,426 \text{ kNm} \\
 Vu &= \frac{1}{2} \times Q_{\text{DIAFRAGMA}} \times h \\
 &= \frac{1}{2} \times 8,25 \times 1,850 \\
 &= 7,632 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.7.3 Penulangan Diafragma-

Selanjutnya dilakukan perhitungan tulangan diafragma sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{2,426}{0,8} \\
 &= 3,0325 \text{ kN.m} \\
 Rn &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{3,0325 \times 10^6}{1000 \times 1615^2} \\
 &= 1,8777 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho_b &= \frac{\beta \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{320} \times \frac{600}{600+400} \\
 &= 0,027 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,004
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,027 \\ &= 0,02\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{400}{0,85 \times 25} \\ &= 18,824\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,824} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,824 \times 1,8777}{400}} \right) \\ &= 0,0065\end{aligned}$$

Dikarenakan $\rho \geq \rho_{\min}$, maka digunakan $\rho = 0,0065$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{\min} \times b_{\text{eff}} \times d \\ &= 0,0065 \times 1586 \times 220 \\ &= 2268 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D16 - 200}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s_{\min}} \text{ Tul. Bagi} &= 0,5 \times A_{s_{\min}} \text{ Tul. Utama} \\ &= 0,5 \times 2268 \\ &= 1134 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D13 - 250}\end{aligned}$$

$$\text{Tul. Praktis} = 2 \times 4D13$$

4.7.4 Rekapitulasi Diafragma

Table 4. 30 Rekapitulasi Momen dan Gaya Diafragma

No.	Analisa	Kode	Hasil	Satuan
1.	Momen Ultimit	Mu	2,426	kN.m
2.	Momen Nominal	Mn	3,0325	kN.m
3.	Geser Ultimit	Vu	7,362	kN

Tulangan Utama arah x	D22-150
Tulangan Utama arah y	D16-150
Tulangan Praktis	2 x 4D13

4.8. Gelagar Memanjang (PCI-Girder)

4.8.1 Parameter PCI - Girder

Sebelum merencanakan PCI-Girder, terlebih dahulu direncanakan parameter awal, sebagai berikut :

Direncanakan:

Lebar Jembatan,	L	= 13 m
Bentang Jembatan,	P	= 50 m
Tinggi Girder min,	h	= 0,045L(AASHTO 2012) = 0,045 x 5000 cm = 225 cm
Tinggi Girder,	h	= 210 cm
Jarak Girder,	s	= 1850 mm

1. Parameter material balok beton prategang (PCI-Girder) yang digunakan sebagai dasar perencanaan sebagai berikut:

Table 4. 31 Parameter Material Beton Gelagar

Parameter	Notasi	Rumus	Nilai
Kuat tekan beton,	f_c'		= 50 MPa
Modulus elastis beton,	E_c	$4700\sqrt{f_c'}$	= 33234 MPa
Angka poisson,	s		= 0,15
Modulus geser,	G	$\frac{E_c}{2(1+s)}$	= 14449,6 MPa
Koefisien muai panjang untuk beton	β		= $1,10 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Kuat tekan beton pada keadaan awal (saat transfer)	f_c''	$0,80f_c'$	= 40 MPa

Parameter	Notasi	Rumus	Nilai
Tegangan iji beton saat penarikan :			= 30 MPa
Tegangan ijin tekan,		$0,60f_c'$	= 3,54 MPa
Tegangan ijin tarik,		$0,50\sqrt{f_c'}$	
Tegangan beton pada keadaan akhir :			= 22,50 MPa
Tegangan ijin tekan,		$0,60f_c'$	= 3,54 MPa
Tegangan ijin tarik,		$0,50\sqrt{f_c'}$	

2. Parameter material pelat lantai berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, sebagai berikut:

Table 4. 32 Parameter Material Pelat Lantai

Parameter	Notasi	Rumus	Nilai
Kuat tekan beton,	f_c'		= 25 MPa
Modulus elastis beton,	E_c	$4700\sqrt{f_c'}$	= 23500 MPa
Angka poisson,	u		= 0,2
Modulus geser,	G	$\frac{E_c}{2(1+u)}$	= 9791,6 MPa
Koefisien muai panjang untuk beton	β		= $1,10 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

3. Parameter material baja strands yang digunakan untuk dasar perencanaan sebagai berikut:

Table 4. 33 Parameter Material Baja Strands

Jenis Strands,		=	Uncirated 7 wire strands ASTM A – 416 grade 270
Tegangan leleh strand,	f_{py}	=	1580 MPa
Kuat tarik strand,	f_{pu}	=	1860 MPa
Diameter nominal strand,		=	12,7 mm (1/2")
Luas penampang 1 strand,	A_{st}	=	98,7 mm ²

Beban putus minimal 1 strand,	P_{bst}	=	183,6 kN (100% UTS)
Jumlah kawat untaian (strand cable),		=	18/tendon 22/tendon
Diameter selubung ideal,		=	90 mm
Luas penampang strands,		=	1875,3 mm ²
Beban putus 1 tendon,	P_{b1}	=	3559,1 kN (100% UTS)
Modulus elastis strands,	E_s	=	193000 MPa
Tipe dongkrak		=	VSL 19

4. Menentukan material baja tulangan dan berat jenis, untuk baja tulangan yang digunakan sebagai berikut:

- i. Untuk baja tulangan ulir $D > 13$ mm, dengan tegangan leleh 420 MPa
- ii. Untuk baja tulangan polos $D \leq 13$ mm, dengan tegangan leleh 240 MPa

Parameter berat jenis terhadap material yang direncanakan pada gelagar memanjang jembatan sebagai berikut:

Table 4. 34 Parameter Berat Jenis Baja

Material	Notasi		Nilai
Beton bertulang,	γ_{beton}	=	25 kN/m ³
Aspal,	γ_{aspal}	=	22 kN/m ³
Air,	γ_{air}	=	9,8 kN/m ³
Baja,	γ_{baja}	=	77 kN/m ³

5. Menentukan lebar efektif pelat lantai (B_{eff}), dengan mengambil nilai terkecil di antara:

$\frac{L}{4}$	$= \frac{50}{4}$	$= 12,5 m$
Jarak antar balok prategang (s)	$= 1,85 m$	
12 x tebal pelat lantai (t_{plat})	$= 12 \times 0,25$	$= 3 m$

Dari perhitungan di atas, diambil nilai terkecil yaitu 1,85 m. Antara pelat lantai dan girder memiliki modulus elastisitas yang berbeda yang berarti kekakuan materialnya juga berbeda. Agar dapat digabungkan sebagai beton komposit, makan luas atau lebar elemen yang lebih lemah (dalam hal ini pelat lantai) harus diubah menjadi luas ekuivalen sesuai modulus elastisitas girder. Untuk menghitungnya digunakan rumus prinsip transformasi luas dalam analisis penampang gabungan. Dijabarkan sebagai berikut:

Uraian	Notasi	Rumus	Nilai
Kuat tekan beton pelat lantai,	$f'_{c\text{slab}}$		25 MPa
Kuat tekan beton balok prategang,	$f'_{c\text{girder}}$		50 MPa
Modulus elastisitas pelat lantai	$E_{c\text{slab}}$	$4700\sqrt{f'_{c'}}$	23500 MPa
Modulus elastisitas balok prategang	$E_{c\text{girder}}$	$0,043Wc^{1,5}\sqrt{f'_{c'}}$	35749,53 MPa
Nilai perbandingan modulus elastis pelat dan balok	N	$\frac{E_{c\text{slab}}}{E_{c\text{girder}}}$	0,66
Lebar efektif akhir (dipakai)	B_{trans}	$B_{\text{eff}} \times n$	1,221 m

4.8.2 Perhitungan Momen Struktur

1. Menghitung momen pada struktur PCI – Girder (non – komposit). Diperlukan data *section properties* balok prategang sebagai berikut:

Table 4. 35 Data Section Properties PC-I Girder Non - Komposit

No. Section	Dimensi		A (m ²)	y (m)	Q (m ³)	Io (m ⁴)	Ig _{trans} (m ⁴)
	b (m)	h (m)	(b x h)		(A x y)	$\left(\frac{1}{12} \times b \times h^3\right)$	(A x y ²)
	0,64	0,07	0,0448	2,065	0,092512	0,00002	0,19104
	0,80	0,13	0,0104	1,965	0,20436	0,00015	0,40157
	0,30	0,12	0,0360	1,860	0,06696	0,00004	0,12455
	0,20	1,65	0,3300	1,075	0,35475	0,07487	0,38136

No. Section	Dimensi		A (m ²)	y (m)	Q (m ³)	I _o (m ⁴)	I _{gtrans} (m ⁴)
	b (m)	h (m)	(b x h)		(A x y)	$\left(\frac{1}{12} x b x h^3\right)$	(A x y ²)
	0,25	0,25	0,0625	0,333	0,02083	0,00033	0,00694
	0,70	0,25	0,1750	0,125	0,02188	0,00091	0,00273
TOTAL			0,7523		0,76129	0,07631	1,10819

Rekapitulasi dan analisa lanjut momen pada kondisi struktur non – komposit.

Tinggi balok prategang,	h_{girder}	= 2,100 m
Luas penampang balok prategang,	A	= 0,7523 m ²
Letak titik berat,	y_b	= $\Sigma Q / \Sigma A$ = 1,012 m
	h_{slab}	= 0,25 m
	B_{eff}	= 1,850 m
	y_a	= $h_{girder} - y_b$ = 1,088 m
Momen inersia terhadap alas balok,	I_b	= $\Sigma I_{gtrans} + \Sigma I_o$ = 1,1845 m ⁴
Momen inersia terhadap titik berat balok,	I_x	= $I_b - (A \cdot y_b^2)$ = 0,4141 m ⁴
Modulus penampang gelagar sisi atas,	W_a	= I_x / y_a = 0,3806 m ³
Modulus penampang gelagar sisi bawah,	W_b	= I_x / y_b = 0,4092 m ³

2. Menghitung momen pada struktur PCI – Girder (komposit).

Diperlukan data *section properties* balok prategang sebagai berikut:

Table 4. 36 Data Section Properties PC-I Girder Komposit

No. Section	Dimensi		A (m ²)	y (m)	Q (m ³)	Io (m ⁴)	Ig _{trans} (m ⁴)
	b (m)	h (m)	(b x h)		(A x y)	$\left(\frac{1}{12} x b x h^3\right)$	(A x y ²)
	1,221	0,25	0,3053	2,225	0,679181	0,00159	1,51117
	0,64	0,07	0,0448	2,065	0,092512	0,00002	0,19104
	0,80	0,13	0,0104	1,965	0,20436	0,00015	0,40157
	0,30	0,12	0,0360	1,860	0,06696	0,00004	0,12455
	0,20	1,65	0,3300	1,075	0,35475	0,07487	0,38136
	0,25	0,25	0,0625	0,333	0,02083	0,00033	0,00694
	0,70	0,25	0,1750	0,125	0,02188	0,00091	0,00273
TOTAL			0,9640		1,44047	0,07791	2,61936

Rekapitulasi dan analisa lanjut momen pada kondisi struktur non – komposit.

Tinggi balok komposit, $h_c = 2,350 \text{ m}$

Luas penampang balok komposit, $A_c = 0,9640 \text{ m}^2$

Letak titik berat, $y_{bc} = \Sigma Q / \Sigma A$
 $= 1,494 \text{ m}$
 $a_c = h_c - y_{bc}$
 $= 0,856 \text{ m}$

Momen inersia terhadap alas balok, $I_{bc} = \Sigma I_{c_{trans}} + \Sigma I_{c_0}$
 $= 2,6973 \text{ m}^4$

Momen inersia terhadap titik berat balok, $I_{xc} = I_{bc} - (A_c * y_{bc}^2)$
 $= 0,5456 \text{ m}^4$

Modulus penampang gelagar sisi atas, $S_{ac} = I_{xc} / y_{ac}$
 $= 0,6374 \text{ m}^3$

Modulus penampang gelagar sisi bawah, $S_{bc} = I_{xc} / y_{bc}$
 $= 0,3652 \text{ m}^3$

4.8.3 Analisa Pembebanan

1. Analisis pembebanan dan gaya akibat berat sendiri (MS)

Beban mati yang diterima girder terdiri dari beban dari girder itu sendiri, beban mati pelat lantai, beban mati pelat deck, dan beban mati diafragma. Perhitungannya sebagai berikut:

Berat PCI – Girder

Bentang balok, $L = 50 \text{ m}$

Luas penampang, $A = 0,753 \text{ m}^2$

Berat Jenis, $BJ = 25 \text{ kN/m}^3$

$$\begin{aligned} W_{\text{balok}} &= A \times L \times BJ \\ &= 50 \times 0,753 \times 25 \\ &= 941,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok}} &= \frac{W_{\text{balok}}}{L} \\ &= \frac{941,25}{50} \\ &= 18,825 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Table 4. 37 Analisa Pembebanan Girder Akibat Beban Sendiri

No.	Beban	b (m)	h (m)	A (m ²)	BJ (kN/m ³)	QMS (kN/m)	VMS (kN)	MMS (kNm)
				(b x h)		(A x BJ)	$\left(\frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L\right)$	$\left(\frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L^2\right)$
1.	Balok Prategang					18,825	470,625	23531,25
2.	Pelat Lantai	1,85	0,25	0,463	25	11,575	289,375	144468,75
3.	Pelat Deck	1,21	0,07	0,085	25	2,125	53,125	2656,25
4.	Diafragma	1,85	0,20	0,370	25	9,25	231,25	11562,5
TOTAL						41,775	1044.375	182218.75

2. Analisa pembebanan dan gaya berat mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah beban yang ditimbulkan komponen non – struktural yang diterima struktur jembatan seperti lapisan aspal dan genangan air akibat curah hujan yang tidak terkelola dengan baik. Direncanakan beban mati tambahan sebagai berikut:

1. Lapisan aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan aspal kembali (*overlay*) di kemudian hari.
2. Genangan air hujan setinggi 50 mm apabila seluruh drainase tidak bekerja dengan baik.

Table 4. 38 Analisa pembebanan dan gaya berat mati tambahan

No.	Beban	b (m)	h (m)	BJ (kN/m ³)	Q _{MA} (kN/m)	V _{MA} (kN)	M _{MA} (kNm)
					$(b \times h \times BJ)$	$(\frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L)$	$(\frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2)$
1.	Lap. Aspal + Overlay	1,85	0,05	22,00	2,035	50,875	635,938
2.	Air Hujan	1,85	0,05	9,80	0,9065	22,663	283,282
TOTAL					2,9415	73,538	919,22

3. Analisa Pembebanan dan Gaya Akibat Beban Lalu Lintas

Beban Lajur “D” (TD)

Berdasarkan pengklasifikasian pembebanan pada bab tiga, telah dipilih batas – batas berdasarkan kriteria bentang jembatan, sebagai berikut:

- Untuk $L > 30$ m, $q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right)$
- Intensitas BGT, $p = 49 \text{ kN/m}$
- DLA $= 0,4 - 0,0025(L - 50)$

Diketahui,

Panjang balok, $L = 50$ m

Jarak antar balok prategang, $s = 1,85$ m

Maka beban merata dan terpusat pada balok dapat diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Beban merata,} \quad q &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \\
 &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{50}\right) \\
 &= 7,2 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban merata pada balok,} \quad q_{TD} &= q \times s \\
 &= 7,2 \times 1,85 \\
 &= 13,32 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban pada garis,} \quad P = 49 \text{ kN/m}$$

$$\text{Faktor beban dinamis,} \quad DLA = 0,4$$

Beban terpusat pada balok

$$\begin{aligned}
 \text{PTD} &= (1 + DLA) \times P \times s \\
 &= (1 + 0,4) \times 49 \times 1,85 \\
 &= 126,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur “D”

i. Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned}
 \text{VTD} &= \frac{1}{2} \times [(QTD \times L) + PTD] \\
 &= \frac{1}{2} \times [(13,32 \times 50) + 126,91] \\
 &= 396,455 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ii. Momen maksimum pada balok

$$\begin{aligned}
 \text{MTD} &= \frac{1}{8} \times QTD \times L^2 + \frac{1}{4} \times PTD \times L \\
 &= \frac{1}{8} \times 13,31 \times 50^2 + \frac{1}{4} \times 126,91 \times 50 \\
 &= 5745,75 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Beban Rem (TB)

Berdasarkan pengklasifikasian pembebanan pada bab tiga, gaya rem (H_{TB}) yang digunakan adalah 250 kN, dan gaya rem yang terjadi pada PCI-Girder dipilih nilai yang terbesar diantara:

$$\begin{aligned}
 3. \quad T_{TB1} &= \frac{H_{TB}}{n \text{ balok}} \\
 &= \frac{250}{10} \\
 &= 25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad T_{TB2} &= 5\% \text{ beban lajur "D" tanpa beban faktor dinamis} \\
 &= 0,05 \times (QTD \times L + PTD)
 \end{aligned}$$

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 QTD &= q * s \\
 &= 7,2 * 1,85 \\
 &= 13,32 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PTD &= p * s \\
 &= 49 * 1,85 \\
 &= 90,85 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga, disubstitusikan menjadi:

$$\begin{aligned}
 &= 0,05 * (13,32 * 50 + 90,85) \\
 &= 37,843 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka, diambil nilai gaya rem terbesar diantara T_{TB1} dan T_{TB2} yaitu sebesar 37,843 kN, maka besar beban momen dan gaya geser yang dihasilkan sebagai berikut:

i. Lengan terhadap titik berat balok

$$\begin{aligned}
 y &= 1,80 + h_o + h_a + y_{ac} \\
 &= 3,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ii. Beban momen akibat gaya rem

$$\begin{aligned}
 M_{TB} &= T_{TB} * y \\
 &= 37,843 * 3,1 \\
 &= 117,313 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

iii. Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat gaya rem:

$$\begin{aligned}
 V_{TB} &= \frac{M}{L} \\
 &= \frac{117,313}{50} \\
 &= 2,346 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{TB} &= \frac{1}{2} * M \\
 &= \frac{1}{2} * 117,313 \\
 &= 58,657 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4. Analisa Pembebanan dan Gaya Akibat Beban Lingkungan

Beban Angin Kendaraan (EW)

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada bab tiga, beban angin kendaraan (T_{EWL}) yang terjadi sebesar 1,46 kN/m dengan tinggi bidang kendaraan (h) sebesar 1,8 m dan jarak antar roda (x) 1,75 m, sehingga menghasilkan:

Transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$\begin{aligned} Q_{EW} &= \frac{1}{2} * (h * x) * T_{EW} \\ &= \frac{1}{2} * (1,8 * 1,75) * 1,46 \\ &= 0,751 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin:

i. Gaya geser maksimum,

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{2} * Q_{EW} * L \\ &= \frac{1}{2} * 0,751 * 50 \\ &= 18,775 \text{ kN} \end{aligned}$$

ii. Gaya momen maksimum,

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{8} * Q_{EW} * L^2 \\ &= \frac{1}{8} * 0,751 * 50^2 \\ &= 234,687 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal (*vertical earthquake force*) pada balok prategang dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal (*vertical acceleration*) ke bawah minimum sebesar $0,10 * g$ (g = percepatan gravitasi/*gravity acceleration*) atau dapat diambil sebesar 50% dari koefisien gempa horizontal statik ekuivalen (*equivalent static horizontal seismic coefficient*):

$$K_h = C * S \text{ (m/det}^2\text{)}$$

$$C = A_s + (SDS - A_s) * T/T_0, \text{ jika } T < T_0$$

$$C = SDS, \text{ jika } T_0 < T < T_s$$

Keterangan,

Kh : koefisien beban gempa horizontal

C : Koefisien respons gempa elastis spektrum desain

S : faktor tipe struktur yang berhubungan dengan kapasitas penyerapan energi gempa (daktilitas) dari struktur

A_s : Koefisien percepatan spektrum minimum

SDS : Spektral percepatan desain untuk periode pendek

T : Waktu getar struktur

T₀ : Batas awal spektrum menurun

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus:

$$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{W_t}{g * K_p}}$$

Keterangan,

W_t : berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan

K_p : kekakuan struktur yang merupakan gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan

g : percepatan gravitasi, sebesar 9,81 m/det²

Diketahui dari perhitungan poin sebelumnya,

- Berat sendiri, QMS = 11,02 kNm
- Momen inersia balok prategang, I_{xc} = 0,8135 m⁴
- Modulus elastis, E_c = 3,92 x 10⁷ kPa
- Panjang bentang balok, L = 50 m
- Grafik respon spektra (hasil dari justifikasi pembebanan pada bab tiga):
 - A_s = 0,347
 - SDS = 0,724
 - T_s = 1,865
 - T₀ = 0,373

Sehingga,

Beban struktur total (beban sendiri + beban mati tambahan),

$$\begin{aligned} Wt &= (QMS + QMA) * L \\ &= (41,775 + 2,4915) * 50 \\ &= 2213,325 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kekakuan balok prategang,

$$\begin{aligned} Kp &= 48 * Ec * \frac{Ixc}{L^3} \\ &= 48 * 3,92 \times 10^7 * \frac{0,8135}{50^3} \\ &= 12245,453 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Waktu getar,

$$\begin{aligned} T &= 2 * \pi * \sqrt{\frac{Wt}{g * Kp}} \\ &= 2 * \pi * \sqrt{\frac{2213,325}{9,81 * 12245,453}} \\ &= 0,85 \text{ s} > T_0, \text{ maka } C = \text{SDS} \end{aligned}$$

Koefisien geser datar,

$$\begin{aligned} C &= \text{SDS} \\ &= 0,724 \end{aligned}$$

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis (*plastic hinge region*) pada beton prategang penuh (*fully prestressed concrete*), maka nilai S ditetapkan sebesar 1,3F. Nilai F dihitung dengan rumus $F = 1,25 - 0,025n$. Hasil perhitungan F harus digunakan apabila nilainya lebih dari 1.

Keterangan,

F : faktor perangkaan

n : jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral

Untuk jembatan dengan bearing elastomer, maka tidak punya sendi plastis pada girder, sehingga $n = 0$, maka:

$$F = 1,25 - 0,025n$$

$$= 1,25 - 0,025 * 0$$

$$= 1,25$$

Faktor tipe struktur,

$$S = 1,3 * F$$

$$= 1,3 * 1,25$$

$$= 1,625$$

Koefisien beban gempa horizontal,

$$K_h = C * S$$

$$= 0,724 * 1,625$$

$$= 1,177$$

Koefisien beban gempa vertical,

$$K_v = 50\% * K_h$$

$$= 50\% * 1,177$$

$$= 0,588$$

Gaya gempa vertical,

$$T_{EQ} = K_v * W_t$$

$$= 0,588 * 2213,325$$

$$= 1301,435 \text{ kN}$$

Beban gempa vertical,

$$Q_{EQ} = \frac{T_{EQ}}{L}$$

$$= \frac{1301,435}{50}$$

$$= 26,03 \text{ kN/m}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin:

i. Gaya geser maksimum

$$V_{EQ} = \frac{1}{2} * Q_{EQ} * L$$

$$= \frac{1}{2} * 26,03 * 50$$

$$= 650,717 \text{ kN}$$

ii. Gaya momen maksimum

$$M_{EQ} = \frac{1}{8} * Q_{EQ} * L^2$$

$$= \frac{1}{8} * 26,03 * 50^2$$

$$= 8133,969 \text{ kNm}$$

4.8.4 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser pada Balok Prategang

Table 4. 39 Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser pada Balok Prategang

No.	Jenis Beban	Kode Beban	Q	P	M	Keterangan
			(kN/m)	(kN)	(kNm)	
1.	Balok Prategang	Balok	18,825			Berat merata, Q_{balok}
2.	Berat Pelat	Pelat	11,575			Berat merata, Q_{pelat}
3.	Berat Sendiri	MS	41,775			Berat merata, Q_{MS}
4.	Mati Tambahan	MA	2,9415			Berat merata, Q_{MA}
5.	Lajur "D"	TD	13,32	126,91		Berat merata, Q_{MA} dan terpusat P_{TD}
6.	Gaya Rem	TB			117,313	Berat merata, M_{TB}
7.	Angin	EW	0,751			Berat merata Q_{EW}
8.	Gempa	WQ	26,03			Berat merata Q_{EQ}

Rumus persamaan momen dan gaya geser semua beban yang berada pada balok prategang per-meter panjang dihitung sebagai berikut:

Table 4. 40 Rumus persamaan momen dan gaya geser

No.	Jenis Beban	Persamaan Momen	Persamaan Gaya Geser
1.	Berat Balok	$Mx = \frac{1}{2} * Q_{balok} * (L * x - x^2)$	$Vx = Q_{balok} * (L/2 - x)$
2.	Berat Sendiri (MS)	$Mx = \frac{1}{2} * Q_{MS} * (L * x - x^2)$	$Vx = Q_{MS} * (L/2 - x)$
3.	Mati Tambahan (MA)	$Mx = \frac{1}{2} * Q_{MA} * (L * x - x^2)$	$Vx = Q_{MA} * (L/2 - x)$
4.	Lajur "D" (TD)	$Mx = \frac{1}{2} * Q_{TD} * (L * x - x^2) + \frac{1}{2} * P_{TD} * x$	$Vx = Q_{TD} * (L/2 - x) + \frac{1}{2} * P_{TD}$
5.	Gaya Rem (TB)	$Mx = \left(\frac{x}{L}\right) * M_{TB}$	$Vx = \frac{M_{TB}}{L}$
6.	Angin (EW)	$Mx = \frac{1}{2} * Q_{EW} * (L * x - x^2)$	$Vx = Q_{EW} * (L/2 - x)$
7.	Gempa (EQ)	$Mx = \frac{1}{2} * Q_{EQ} * (L * x - x^2)$	$Vx = Q_{EQ} * (L/2 - x)$

1. Momen Balok Prategang Tak Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

Table 4. 41 Momen Balok Prategang Tak Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

Jarak	Berat Balok	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
		MS	MA	TD	TB	EW	EQ
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	461,21	1023,49	72,07	389,80	2,35	18,40	637,74
2	903,60	2005,20	141,19	766,27	4,69	36,05	1249,44
3	1327,16	2945,14	207,38	1129,43	7,04	52,95	1835,12
4	1731,90	3843,30	270,62	1479,26	9,39	69,09	2394,76
5	2117,81	4699,69	330,92	1815,78	11,73	84,49	2928,38
6	2484,90	5514,30	388,28	2138,97	14,08	99,13	3435,96
7	2833,16	6287,14	442,70	2448,85	16,42	113,03	3917,52
8	3162,60	7018,20	494,17	2745,40	18,77	126,17	4373,04
9	3473,21	7707,49	542,71	3028,64	21,12	138,56	4802,54
10	3765,00	8355,00	588,30	3298,55	23,46	150,20	5206,00
11	4037,96	8960,74	630,95	3555,15	25,81	161,09	5583,44
12	4292,10	9524,70	670,66	3798,42	28,16	171,23	5934,84
13	4527,41	10046,89	707,43	4028,38	30,50	180,62	6260,22
14	4743,90	10527,30	741,26	4245,01	32,85	189,25	6559,56
15	4941,56	10965,94	772,14	4448,33	35,19	197,14	6832,88
16	5120,40	11362,80	800,09	4638,32	37,54	204,27	7080,16
17	5280,41	11717,89	825,09	4815,00	39,89	210,66	7301,42
18	5421,60	12031,20	847,15	4978,35	42,23	216,29	7496,64
19	5543,96	12302,74	866,27	5128,39	44,58	221,17	7665,84
20	5647,50	12532,50	882,45	5265,10	46,93	225,30	7809,00
21	5732,21	12720,49	895,69	5388,50	49,27	228,68	7926,14
22	5798,10	12866,70	905,98	5498,57	51,62	231,31	8017,24
23	5845,16	12971,14	913,34	5595,33	53,96	233,19	8082,32
24	5873,40	13033,80	917,75	5678,76	56,31	234,31	8121,36
25	5882,81	13054,69	919,22	5748,88	58,66	234,69	8134,38
26	5873,40	13033,80	917,75	5805,67	61,00	234,31	8121,36
27	5845,16	12971,14	913,34	5849,15	63,35	233,19	8082,32

Jarak	Berat Balok	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
		MS	MA	TD	TB	EW	EQ
28	5798,10	12866,70	905,98	5879,30	65,70	231,31	8017,24
29	5732,21	12720,49	895,69	5896,14	68,04	228,68	7926,14
30	5647,50	12532,50	882,45	5899,65	70,39	225,30	7809,00
31	5543,96	12302,74	866,27	5889,85	72,73	221,17	7665,84
32	5421,60	12031,20	847,15	5866,72	75,08	216,29	7496,64
33	5280,41	11717,89	825,09	5830,28	77,43	210,66	7301,42
34	5120,40	11362,80	800,09	5780,51	79,77	204,27	7080,16
35	4941,56	10965,94	772,14	5717,43	82,12	197,14	6832,88
36	4743,90	10527,30	741,26	5641,02	84,47	189,25	6559,56
37	4527,41	10046,89	707,43	5551,30	86,81	180,62	6260,22
38	4292,10	9524,70	670,66	5448,25	89,16	171,23	5934,84
39	4037,96	8960,74	630,95	5331,89	91,50	161,09	5583,44
40	3765,00	8355,00	588,30	5202,20	93,85	150,20	5206,00
41	3473,21	7707,49	542,71	5059,20	96,20	138,56	4802,54
42	3162,60	7018,20	494,17	4902,87	98,54	126,17	4373,04
43	2833,16	6287,14	442,70	4733,23	100,89	113,03	3917,52
44	2484,90	5514,30	388,28	4550,26	103,24	99,13	3435,96
45	2117,81	4699,69	330,92	4353,98	105,58	84,49	2928,38
46	1731,90	3843,30	270,62	4144,37	107,93	69,09	2394,76
47	1327,16	2945,14	207,38	3921,45	110,27	52,95	1835,12
48	903,60	2005,20	141,19	3685,20	112,62	36,05	1249,44
49	461,21	1023,49	72,07	3435,64	114,97	18,40	637,74
50	0,00	0,00	0,00	3172,75	117,31	0,00	0,00

2. Momen Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan

- Kombinasi Kuat I = $1,3 * MS + 2 * MA + 1,8 * TD + 1,8 * TB$
- Kombinasi Ekstrem I = $1,3 * MS + 2 * MA + 1 * TD + 1 * TB + 1 * EQ$
- Kombinasi Layan I = $1 * MS + 1 * MA + 1 * TD + 1 * TB + 0,3 * EW$
- Kombinasi Layan III = $1 * MS + 1 * MA + 0,8 * TD + 0,8 * TB$

Hasil Momen Terkombinasi Pembebanan Pada Balok Prategang Per-meter Panjang

Table 4. 42 Hasil Momen Terkombinasi Pembebanan Pada Balok Prategang Per-meter Panjang

Jarak	Kombinasi Kuat I	Kombinasi Layan I	Kombinasi Layan III	Kombinasi Ekstrim I
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	2180,52	1493,22	1409,27	2504,54
2	4276,88	2928,17	2763,16	4909,55
3	6289,07	4304,86	4061,68	7215,01
4	8217,09	5623,29	5304,83	9420,93
5	10060,94	6883,46	6492,61	11527,31
6	11820,63	8085,37	7625,02	13534,15
7	13496,15	9229,01	8702,05	15441,45
8	15087,51	10314,39	9723,71	17249,21
9	16594,70	11341,51	10690,00	18957,43
10	18017,72	12310,37	11600,91	20566,11
11	19356,58	13220,97	12456,45	22075,25
12	20611,27	14073,31	13256,62	23484,85
13	21781,79	14867,38	14001,42	24794,91
14	22868,15	15603,19	14690,84	26005,42
15	23870,34	16280,74	15324,90	27116,40
16	24788,36	16900,03	15903,58	28127,84
17	25622,22	17461,06	16426,88	29039,73
18	26371,91	17963,82	16894,82	29852,09
19	27037,44	18408,32	17307,38	30564,90
20	27618,80	18794,57	17664,57	31178,18
21	28115,99	19122,54	17966,39	31691,91
22	28529,01	19392,26	18212,83	32106,10
23	28857,87	19603,72	18403,90	32420,75
24	29102,56	19756,91	18539,60	32635,87
25	29263,09	19851,84	18619,93	32751,44
26	29339,45	19888,51	18644,89	32767,47

Jarak	Kombinasi Kuat I	Kombinasi Layan I	Kombinasi Layan III	Kombinasi Ekstrim I
27	29331,64	19866,92	18614,47	32683,96
28	29239,67	19787,07	18528,68	32500,91
29	29063,53	19648,95	18387,52	32218,32
30	28803,22	19452,58	18190,98	31836,19
31	28458,74	19197,94	17939,07	31354,52
32	28030,10	18885,04	17631,79	30773,30
33	27517,30	18513,88	17269,14	30092,55
34	26920,33	18084,45	16851,11	29312,26
35	26239,19	17596,77	16377,72	28432,43
36	25473,88	17050,82	15848,95	27453,05
37	24624,41	16446,61	15264,80	26374,14
38	23690,77	15784,14	14625,29	25195,68
39	22672,96	15063,41	13930,40	23917,69
40	21570,99	14284,41	13180,14	22540,15
41	20384,85	13447,15	12374,51	21063,07
42	19114,55	12551,64	11513,50	19486,46
43	17760,08	11597,86	10597,12	17810,30
44	16321,44	10585,81	9625,37	16034,60
45	14798,63	9515,51	8598,25	14159,36
46	13191,66	8386,94	7515,76	12184,58
47	11500,52	7200,12	6377,89	10110,26
48	9725,22	5955,03	5184,65	7936,40
49	7865,75	4651,68	3936,04	5663,00
50	5922,11	3290,06	2632,05	3290,06

3. Gaya Geser Balok Prategang Tak Terkombinasi Per-meter Panjang

Table 4. 43 Gaya Geser Balok Prategang Tak Terkombinasi Per-meter Panjang

Jarak	Berat Balok	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
		MS	MA	TD	TB	EW	EQ
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0	470,63	1044,38	73,54	396,46	2,35	18,78	650,75
1	451,80	1002,60	70,60	383,14	2,35	18,02	624,72
2	432,98	960,83	67,65	369,82	2,35	17,27	598,69
3	414,15	919,05	64,71	356,50	2,35	16,52	572,66
4	395,33	877,28	61,77	343,18	2,35	15,77	546,63
5	376,50	835,50	58,83	329,86	2,35	15,02	520,60
6	357,68	793,73	55,89	316,54	2,35	14,27	494,57
7	338,85	751,95	52,95	303,22	2,35	13,52	468,54
8	320,03	710,18	50,01	289,90	2,35	12,77	442,51
9	301,20	668,40	47,06	276,58	2,35	12,02	416,48
10	282,38	626,63	44,12	263,26	2,35	11,27	390,45
11	263,55	584,85	41,18	249,94	2,35	10,51	364,42
12	244,73	543,08	38,24	236,62	2,35	9,76	338,39
13	225,90	501,30	35,30	223,30	2,35	9,01	312,36
14	207,08	459,53	32,36	209,98	2,35	8,26	286,33
15	188,25	417,75	29,42	196,66	2,35	7,51	260,30
16	169,43	375,98	26,47	183,34	2,35	6,76	234,27
17	150,60	334,20	23,53	170,02	2,35	6,01	208,24
18	131,78	292,43	20,59	156,70	2,35	5,26	182,21
19	112,95	250,65	17,65	143,38	2,35	4,51	156,18
20	94,13	208,88	14,71	130,06	2,35	3,76	130,15
21	75,30	167,10	11,77	116,74	2,35	3,00	104,12
22	56,48	125,33	8,82	103,42	2,35	2,25	78,09
23	37,65	83,55	5,88	90,10	2,35	1,50	52,06
24	18,83	41,78	2,94	76,78	2,35	0,75	26,03
25	0,00	0,00	0,00	63,46	2,35	0,00	0,00
26	-18,83	-41,78	-2,94	50,14	2,35	-0,75	-26,03

Jarak	Berat Balok	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
		MS	MA	TD	TB	EW	EQ
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
27	-37,65	-83,55	-5,88	36,82	2,35	-1,50	-52,06
28	-56,48	-125,33	-8,82	23,50	2,35	-2,25	-78,09
29	-75,30	-167,10	-11,77	10,18	2,35	-3,00	-104,12
30	-94,13	-208,88	-14,71	-3,15	2,35	-3,76	-130,15
31	-112,95	-250,65	-17,65	-16,47	2,35	-4,51	-156,18
32	-131,78	-292,43	-20,59	-29,79	2,35	-5,26	-182,21
33	-150,60	-334,20	-23,53	-43,11	2,35	-6,01	-208,24
34	-169,43	-375,98	-26,47	-56,43	2,35	-6,76	-234,27
35	-188,25	-417,75	-29,42	-69,75	2,35	-7,51	-260,30
36	-207,08	-459,53	-32,36	-83,07	2,35	-8,26	-286,33
37	-225,90	-501,30	-35,30	-96,39	2,35	-9,01	-312,36
38	-244,73	-543,08	-38,24	-109,71	2,35	-9,76	-338,39
39	-263,55	-584,85	-41,18	-123,03	2,35	-10,51	-364,42
40	-282,38	-626,63	-44,12	-136,35	2,35	-11,27	-390,45
41	-301,20	-668,40	-47,06	-149,67	2,35	-12,02	-416,48
42	-320,03	-710,18	-50,01	-162,99	2,35	-12,77	-442,51
43	-338,85	-751,95	-52,95	-176,31	2,35	-13,52	-468,54
44	-357,68	-793,73	-55,89	-189,63	2,35	-14,27	-494,57
45	-376,50	-835,50	-58,83	-202,95	2,35	-15,02	-520,60
46	-395,33	-877,28	-61,77	-216,27	2,35	-15,77	-546,63
47	-414,15	-919,05	-64,71	-229,59	2,35	-16,52	-572,66
48	-432,98	-960,83	-67,65	-242,91	2,35	-17,27	-598,69
49	-451,80	-1002,60	-70,60	-256,23	2,35	-18,02	-624,72
50	-470,63	-1044,38	-73,54	-269,55	2,35	-18,78	-650,75

4. Gaya Geser Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan

- Kombinasi Kuat $I = 1,3 * MS + 2 * MA + 1,8 * TD + 1,8 * TB$
- Kombinasi Ekstrem $I = 1,3 * MS + 2 * MA + 1 * TD + 1 * TB + 1 * EQ$

- Kombinasi Layan I = 1 * MS + 1 * MA + 1 * TD + 1 * TB + 0,3 * EW
- Kombinasi Layan III = 1 * MS + 1 * MA + 0,8 * TD + 0,8 * TB

Hasil Gaya Geser Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

Table 4. 44 Hasil Gaya Geser Balok Prategang Terkombinasi Pembebanan Per-meter Panjang

Jarak	Kombinasi Kuat I	Kombinasi Layan I	Kombinasi Layan III	Kombinasi Ekstrim I
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0	2222,60	1522,35	1436,95	2554,31
1	2138,44	1464,08	1381,58	2454,77
2	2054,27	1405,82	1326,21	2355,23
3	1970,11	1347,56	1270,84	2255,69
4	1885,94	1289,30	1215,46	2156,15
5	1801,77	1231,04	1160,09	2056,61
6	1717,61	1172,78	1104,72	1957,07
7	1633,44	1114,51	1049,35	1857,53
8	1549,27	1056,25	993,97	1757,99
9	1465,11	997,99	938,60	1658,45
10	1380,94	939,73	883,23	1558,91
11	1296,77	881,47	827,86	1459,37
12	1212,61	823,20	772,48	1359,83
13	1128,44	764,94	717,11	1260,29
14	1044,27	706,68	661,74	1160,75
15	960,11	648,42	606,37	1061,21
16	875,94	590,16	550,99	961,67
17	791,77	531,90	495,62	862,13
18	707,61	473,63	440,25	762,58
19	623,44	415,37	384,88	663,04
20	539,27	357,11	329,50	563,50
21	455,11	298,85	274,13	463,96
22	370,94	240,59	218,76	364,42
23	286,78	182,32	163,39	264,88

Jarak	Kombinasi Kuat I	Kombinasi Layan I	Kombinasi Layan III	Kombinasi Ekstrim I
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
24	202,61	124,06	108,01	165,34
25	118,44	65,80	52,64	65,80
26	34,28	7,54	-2,73	-33,74
27	-49,89	-50,72	-58,10	-133,28
28	-134,06	-108,98	-113,48	-232,82
29	-218,22	-167,25	-168,85	-332,36
30	-302,39	-225,51	-224,22	-431,90
31	-386,56	-283,77	-279,59	-531,44
32	-470,72	-342,03	-334,97	-630,98
33	-554,89	-400,29	-390,34	-730,52
34	-639,06	-458,55	-445,71	-830,06
35	-723,22	-516,82	-501,08	-929,60
36	-807,39	-575,08	-556,46	-1029,14
37	-891,56	-633,34	-611,83	-1128,68
38	-975,72	-691,60	-667,20	-1228,23
39	-1059,89	-749,86	-722,57	-1327,77
40	-1144,06	-808,13	-777,95	-1427,31
41	-1228,22	-866,39	-833,32	-1526,85
42	-1312,39	-924,65	-888,69	-1626,39
43	-1396,55	-982,91	-944,06	-1725,93
44	-1480,72	-1041,17	-999,44	-1825,47
45	-1564,89	-1099,43	-1054,81	-1925,01
46	-1649,05	-1157,70	-1110,18	-2024,55
47	-1733,22	-1215,96	-1165,55	-2124,09
48	-1817,39	-1274,22	-1220,93	-2223,63
49	-1901,55	-1332,48	-1276,30	-2323,17
50	-1985,72	-1390,74	-1331,67	-2422,71

4.8.5 Prategang

1. Gaya Prategang

Kuat tekan beton,	f_c'	=	50 MPa
Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer),	f_{ci}' ($0,80 * f_c'$)	=	40 MPa
Section properties,	W_a	=	$0,3806 \text{ m}^3$
	W_b	=	$0,40922 \text{ m}^3$
	A	=	$0,7523 \text{ m}^2$
Ditetapkan jarak titik berat tendon terhadap alas balok,	z_0	=	0,25 m
Eksentrisitas tendon,	$es = y_b - z_0$	=	$1,012 - 0,250$ = 0,762 m
Momen akibat berat sendiri balok,	M_{balok}	=	5882,81 kNm

Gaya prategang kondisi awal (transfer)

Tengan di serat atas,

$$-\frac{Pt}{A} + \frac{Pt * Es}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a} = 0 \quad \dots\dots \text{persamaan (1)}$$

$$-\frac{Pt}{A} + \frac{Pt * Es}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b} = 0,6 * f_{ci}' \quad \dots\dots \text{persamaan (2)}$$

Besarnya gaya prategang awal,

$$\begin{aligned} \text{Dari persamaan (1): } Pt &= \frac{M_{balok}}{\left(es - \frac{W_a}{A}\right)} \\ &= \frac{5882,81}{\left(0,762 - \frac{0,3806}{0,7523}\right)} \\ &= 22972,12 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dari persamaan (2): } Pt &= \frac{(0,6 * f_{ci}' * W_b) + M_{balok}}{\frac{W_b}{A} + Es} \\ &= \frac{(0,6 * 40000 * 0,40922) + 5882,81}{\frac{0,40922}{0,7523} + 0,762} \\ &= 12024,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil gaya prategang terkecil yaitu sebesar, $Pt = 12024,95 \text{ kN}$

Gaya prategang kondisi akhir

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untaian "*Strands cable*" standar VSL, dengan data tersaji pada poin 2c atau tabel 4. Gaya prategang jacking:

$$P_j = \frac{Pt_1}{0,85} \quad \dots \text{persamaan (1)}$$

$$P_j = 0,80 * P_{b1} * nt \quad \dots \text{persamaan (2)}$$

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh jumlah tendon yang diperlukan:

$$\begin{aligned} nt &= \frac{Pt}{(0,85 * 0,80 * P_{b1})} \\ &= \frac{12024,95}{0,85 * 0,80 * 3559,1} \\ &= 4,87 \approx 5 \text{ tendon} \end{aligned}$$

Jumlah kawat untaian (*strands cable*) yang diperlukan:

$$\begin{aligned} N_s &= \frac{Pt}{(0,85 * 0,80 * P_{bs})} \\ &= \frac{12024,96}{0,85 * 0,80 * 183,6} \\ &= 96,32 \approx 98 \text{ strands} \end{aligned}$$

Rencana Awal Pembagian Strands Pada Tendon

Table 4. 45 Rencana Awal Pembagian Strands Pada Tendon

Jumlah Tendon		Jumlah Strands	
nt_1	= 3	18 strands/tendon	= 54 strands
nt_2	= 1	22 strands/tendon	= 22 strands
nt_3	= 1	22 strands/tendon	= 22 strands
nt_{total}	= 5		= 98 strands

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (*% Jacking Force*):

$$\begin{aligned} p_o &= \frac{Pt}{(0,85 * N_s * P_{bs})} \\ &= \frac{12024,96}{0,85 * 98 * 183,6} \\ &= 0,7863 = 78,63\% < 80\% \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking*:

$$\begin{aligned}
 P_j &= p_o * N_s * P_{bs} \\
 &= 0,7863 * 98 * 183,6 \\
 &= 14147,74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diperkirakan kehilangan prategang (*loss of prestress*) = 15%

Gaya prategang akhir setelah kehilangan prategang (*loss of prestress*) sebesar 15%:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{eff}} &= 85\% * P_j \\
 &= 85\% * 14147,738 \\
 &= 12025,58 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Pembesian Balok Prategang

a) Tulangan arah memanjang digunakan besi diameter 13 mm,

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\pi}{4} * D^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} * 13^2 = 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

b) Pembesian bagian bawah

$$\text{Luas penampang bagian bawah, } (A_{\text{bawah}}) = 287500 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan bagian bawah, } (A_{s_{\text{bawah}}}) &= 0,5\% * A_{\text{bawah}} \\
 &= 0,5\% * 287500 \\
 &= 1437,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= \frac{A_{s_{\text{bawah}}}}{\frac{\pi}{4} * D^2} \\
 &= \frac{1437,5}{\frac{\pi}{4} * 13^2} \\
 &= 10,83 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

maka, digunakan tulangan 12D13

c) Pembesian bagian atas

$$\text{Luas penampang bagian atas } (A_{\text{atas}}) = 208800 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan bagian atas, } (A_{s_{\text{atas}}}) &= 0,5\% * A_{\text{atas}} \\
 &= 0,5\% * 208800 \\
 &= 1044 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan} = = \frac{A_{s_{\text{atas}}}}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$= \frac{1044}{\frac{\pi}{4} * 13^2}$$

$$= 7,86 \text{ buah}$$

maka, digunakan tulangan 8D13

d) Pembesian bagian badan

$$\text{Luas penampang bagian atas } (A_{\text{badan}}) = 330000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan bagian atas, } (A_{S_{\text{badan}}}) &= 0,5\% * A_{\text{badan}} \\ &= 0,5\% * 330000 \\ &= 1650 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan} &= \frac{A_{S_{\text{badan}}}}{\frac{\pi}{4} * D^2} \\ &= \frac{1650}{\frac{\pi}{4} * 13^2} \\ &= 12,43 \text{ buah} \end{aligned}$$

maka, digunakan tulangan 14D13

3. Posisi Tendon dan Eksentrisitas

a) Posisi tendon di tengah bentang

Diambil jarak dari alas balok ke as tendon baris ke – 1, $a = 0,1 \text{ m}$

- Jumlah tendon baris ke – 1, $n_{t1} = 3$ tendon 18 strands = 54 strands
- Jumlah tendon baris ke – 2, $n_{t2} = 1$ tendon 22 strands = 22 strands
- Jumlah tendon baris ke – 3, $n_{t3} = 1$ tendon 22 strands = 22 strands

b) Eksentrisitas

$$\begin{aligned} es &= 0,762 \\ z_o &= yb - es \\ &= 1,012 - 0,762 \\ &= 0,25 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Momen statis tendon terhadap alas

$$\begin{aligned} ns * z_o &= n_1 * a + n_2(a + yd) + n_3 * (a + 2 * yd) \\ yd &= \frac{ns * (z_o - a)}{n_2 + (2 * n_3)} \end{aligned}$$

$$= \frac{98 \cdot (0,25 - 0,1)}{22 + (2 \cdot 22)}$$

$$= 0,223 \text{ m} \quad (\text{dipakai } y_d = 0,150 \text{ m})$$

Keterangan,

y_d : jarak vertikal antara as ke as tendon

d) Diameter selubung tendon

$$d_1 = 0,090 \text{ m}$$

$$d_2 = 0,090 \text{ m}$$

Sehingga,

$$d_t = \frac{1}{2} \cdot (d_1 + d_2)$$

$$= 0,090 \text{ m}$$

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon,

$$y_d - d_t = 0,06 \text{ m} > 0,025 \text{ m (OK)}$$

e) Posisi tendon di tumpuan

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke - 4, $a' = 0,35 \text{ m}$

- Jumlah tendon baris ke -1, $n_{t1} = 1$ tendon, 18 strands = 18 strands
- Jumlah tendon baris ke -2, $n_{t2} = 1$ tendon, 18 strands = 18 strands
- Jumlah tendon baris ke -3, $n_{t3} = 1$ tendon, 18 strands = 18 strands
- Jumlah tendon baris ke -4, $n_{t4} = 1$ tendon, 22 strands = 22 strands
- Jumlah tendon baris ke -5, $n_{t5} = 1$ tendon, 22 strands = 22 strands

$$y_e = y_b - a'$$

keterangan,

y_e : Letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah

y_b : Letak titik berat penampang balok terhadap alas, $y_b = 1,012 \text{ m}$

f) Momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah

Perhitungan momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah

Table 4. 46 Jarak tendon terhadap pusat tendon terbawah

Baris ke-	n_i	$y_{d'}$	$n_i \cdot y_{d'}$
1	18	0	0
2	18	$1 \cdot y_{d'}$	18

3	18	$2 * yd'$	36
4	22	$3 * yd'$	66
5	22	$4 * yd'$	88
ns	98	$\frac{\Sigma ni * yd'}{yd'}$	208

$$\Sigma ni * yd' = ns * ye$$

$$ye / yd' = \frac{[\Sigma ni * yd']}{ns}$$

$$= \frac{208}{98}$$

$$= 2,122 \text{ m}$$

$$ye = yb - a'$$

$$= 1,012 - 0,35$$

$$= 0,662 \text{ m}$$

$$yd' = \frac{ye}{[\frac{ye}{yd'}]}$$

$$= \frac{0,662}{2,122}$$

$$= 0,312 \text{ m}$$

$$Zo = a' + ye = yb$$

$$= 0,35 + 0,662$$

$$= 1,012 \text{ m}$$

g) Eksentrisitas masing – masing tendon

Table 4. 47 Eksentrisitas masing – masing tendon

Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan $x = 0,00 \text{ m}$	z_i'	Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang $x = 25,00 \text{ m}$	z_i	f_i $= z_i' - z_i$
1.	$z_1' = a' + 4 * yd'$	1,348	1.	$z_1' = a' + 2 * yd'$	0,724	0,624
2.	$z_2' = a' + 3 * yd'$	1,036	2.	$z_2' = a' * yd'$	0,412	0,624
3.	$z_3' = a' + 2 * yd'$	0,724	3.	$z_3' = a'$	0,10	0,624
4.	$z_4' = a' + yd'$	0,412	4.	$z_4' = a'$	0,10	0,312
5.	$z_5' = a'$	0,350	5.	$z_5' = a'$	0,10	0,250

h) Lintasan

- Panjang Balok, $L = 50 \text{ m}$
- Eksentrisitas, $es = 0,762$

i) Persamaan c

$$Y = 4 * f * x / L^2 * (L - X), \quad \text{dengan } f = es$$

Table 4. 48 Eksentrisitas masing – masing tendon

X	Y	X	Y
(m)	(m)	(m)	(m)
-0,25	0,015		
d0	0,000		
1	0,060	26	0,761
2	0,117	27	0,757
3	0,172	28	0,751
4	0,224	29	0,742
5	0,274	30	0,732
6	0,322	31	0,718
7	0,367	32	0,702
8	0,410	33	0,684
9	0,450	34	0,663
10	0,488	35	0,640
11	0,523	36	0,614
12	0,556	37	0,586
13	0,586	38	0,556
14	0,614	39	0,523
15	0,640	40	0,488
16	0,663	41	0,450
17	0,684	42	0,410
18	0,702	43	0,367
19	0,718	44	0,322
20	0,732	45	0,274
21	0,742	46	0,224

X	Y	X	Y
(m)	(m)	(m)	(m)
22	0,751	47	0,172
23	0,757	48	0,117
24	0,761	49	0,060
25	0,762	50	0,000
		+0,25	-0,015

$$x_o = 0,25 \text{ m}$$

$$L/2 + x_o = 25,25 \text{ m}$$

$$e_o = 0,015 \text{ m}$$

$$es + e_o = 0,777 \text{ m}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \alpha_{AB} &= 2 * \frac{(es+e_o)}{\frac{L}{2}+x_o} \\ &= 2 * \frac{0,777}{25,25} \\ &= 0,0615 \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{BC} &= 2 * \frac{(es+e_o)}{\frac{L}{2}+x_o} \\ &= 2 * \frac{0,777}{25,25} \\ &= 0,0615 \text{ rad} \end{aligned}$$

j) Sudut angkur

Persamaan lintasan,

$$Y = 4 * f * \frac{x}{L^2} * (L - X)$$

Untuk $X = 0$ (posisi angkur di tumpuan), maka:

$$dY/dX = 4 * \frac{f}{L}$$

Persamaan sudut angkur,

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{dY}{dX} \right)$$

Table 4. 49 Sudut angkur

d	Jumlah Strand	Diameter Selubung	es = fi (m)	dY/dX	Sudut Angkur
1	18		0,893	0,07141	$\alpha_1 = 0,07129 \text{ rad} = 4,084^\circ$
2	18	48	0,792	0,06336	$\alpha_2 = 0,06327 \text{ rad} = 3,625^\circ$
3	18	48	0,691	0,05530	$\alpha_3 = 0,05525 \text{ rad} = 3,165^\circ$
4	22	48	0,471	0,03765	$\alpha_4 = 0,03765 \text{ rad} = 2,156^\circ$
5	22	48	0,025	0,02000	$\alpha_5 = 0,02000 \text{ rad} = 1,146^\circ$

k) Tata letak dan trace kabel strand

- $L = 50 \text{ m}$
- $f_o = e_s = 0,709 \text{ m}$
- $y_b = 1,012 \text{ m}$

Posisi masing – masing kabel (Z) dicari dengan rumus berikut:

$$Z_i = Z_i' - 4 * d_i * X / L^2 (L - X)$$

Dihasilkan:

$$Z_1' = 1,23 \text{ m}$$

$$Z_2' = 1,01 \text{ m}$$

$$Z_3' = 0,79 \text{ m}$$

$$Z_4' = 0,57 \text{ m}$$

$$Z_5' = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Trace } Z_o = y_b - 4 * f_o * \frac{X}{L} (L - X)$$

4. Kehilangan Tegangan Pada Cable

a) Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur

$$\text{Gaya prategang akibat jacking, } P_j = 14147,74 \text{ kN}$$

b) Kehilangan gaya akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat jacking, $P_o = 97\%P_j = 13723,31 \text{ kN}$

Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (Jack Friction) Sudut lintasan tendon tengah :

$$\alpha_{AB} = 0,0224 \text{ rad}$$

$$\alpha_{BC} = 0,0224 \text{ rad}$$

$$\text{Total} = 0,0448 \text{ rad}$$

Berdasarkan table koefisien wobble dan kelengkungan (Nawy, 2001)

$$\mu = 0,2 \text{ dan } \beta = 0,003$$

Gaya prategang akibat jacking setelah memperhitungkan kehilangan prategang akibat gesekan ankur, dengan $P_o = 13723,31 \text{ kN}$. Kehilangan prategang akibat gesekan kabel dihitung dengan rumus berikut:

$$P_x = P_o * e^{-\mu * (\alpha + \beta * L_x)}, e = 2,7183 \text{ (bilangan natural)}$$

$$P_x = 14062,48 \text{ kN,} \quad \text{dengan } L_x = 25,25 \text{ m}$$

$$P_x = 13849,79 \text{ kN,} \quad \text{dengan } L_x = 50,50 \text{ m}$$

c) Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis

Table 4. 50 Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat penampang balok	es		= 0,762 m
Momen inersi penampang balok	I _x		= 0,41411 m ⁴
Luas penampang balok	A		= 0,7523 m ²
Modulus elastis balok	E _{balok}		= 3,92 x 10 ⁷ kPa
Modulus elastis baja prategang	E _s		= 1,93 x 10 ⁷ kPa
Jumlah total strands	ns		= 98 buah
Luas penampang 1 strand	A _{st}		= 98,7 mm ²
Beban putus satu strand	P _{bs}		= 182,28 kN
Momen akibat berat sendiri balok girder	M _{balok}		= 5882,81 kNm
Luas penampang tendon baja prategang	A _t	$ns * A_{st}$	= 0,009673 mm ²
Modulus rasio antara baja prategang dengan balok girder	n		= 0,493

Jari – jari inersia penampang balok beton	i	$\sqrt{Ix/A}$	= 0,742 m
Koefisien eksentrisitas	Ke	$At/A * \left(1 + \frac{es^2}{i^2}\right)$	= 0,0128
Tegangan baja prategang sebelum kehilangan prategang (tengah bentang)	σ_{pi}	$ns * \frac{Pbs}{At}$	= $1,79 \times 10^6$
Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri	$\Delta\sigma_{pe}'$	$\sigma_{pi} * n * \frac{Ke}{1 + n * Ke}$	= 11,298 MPa
Tegangan beton pada level baja oleh pengaruh gaya prategang Pt	$\Delta\sigma_{pt}$	$\frac{\Delta\sigma_{pe}'}{n} - M_{balok} * \frac{es}{Ix}$	= 12,092 MPa
Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri	$\Delta\sigma_{pe}$	$\frac{1}{2} * n * \Delta\sigma_{pt}$	= 2,98 kPa
Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis	Δp_e	$\Delta\sigma_{pe} * At$	= 28,825 kN

d) Kehilangan tegangan akibat pengangkutan

Table 4. 51 Kehilangan tegangan akibat pengangkutan

Uraian Perhitungan		Rumus	Hasil
Panjang tarik masuk (berikisar antara 2 - 7 mm), diambil 5 mm	ΔL		= 0,005 m
Modulus elastisitas baja prategang	E_s		= $1,93 \times 10^7$ kPa
Luas penampang tendon baja prategang	A_t		= 0,009673 m ²

Kehilangan tegangan akibat gesekan ankur	P_o		= 14406,96 kN
Kehilangan tegangan akibat gesekan kabel	P_x		= 14062,48 kN
Jarak dari ujung sampai tengah bentang balok prategang	L_x		= 25,40 m
Kemiringan diagram gaya	a	$\tan \omega = \frac{P_o - P_x}{L_x}$	= 13,56 kNm
Jarak pengaruh kritis slip ankur dari ujung	L_{max}	$\sqrt{\left(\Delta L * E_s * \frac{A_t}{m}\right)}$	= 8,76 m
Kehilangan tegangan akibat ankur	ΔP	$2 * L_{max} * \tan \omega$	= 237,56 kN
	P'_{max}	$P_o - \Delta P / 2$	= 14288 kN
	P_{max}	$P'_{max} - \Delta p_e$	= 14180 kN

e) Kehilangan tegangan akibat *relaxation of tendon*

i. Pengaruh Susut (*Shrinkage*)

$$\Delta \epsilon_{su} = \epsilon_b * k_b * k_e * k_p$$

dengan,

ϵ_b : Regangan dasar susut (*basic shrinkage strain*), untuk kondisi kering udara dengan kelembaban <50%.

k_b : koefisien yang tergantung pada pemakaian air semen (*water cement ratio*)

k_e : koefisien yang tergantung pada tebal teoritis (em)

Berdasarkan *NAASRA Bridge Design Specification*

$$\epsilon_b = 0,0006$$

$$k_b = 0,91$$

$$k_e = 0,73$$

$$k_p = \frac{100}{(100+20*p)}, \quad p = 0,5\%$$

$$= 0,999$$

Substitusi ke perhitungan $\Delta\epsilon_{su}$,

$$\Delta\epsilon_{su} = 0,0004$$

$$E_s \text{ baja prategang} = 19300000 \text{ kPa}$$

Tegangan susut,

$$\Sigma sh = \Delta\epsilon_{su} * E_s$$

$$= 7684,56 \text{ kPa}$$

ii. Pengaruh Rayapan (*Creep*)

P initial (keadaan saat transfer) di tengah bentang:

$$P_i = P_x - \Delta p_e$$

$$= 13954 \text{ kN}$$

$$\frac{P_i}{(n_s * P_{bs})} = 69,59\% \text{ UTS}$$

Berdasarkan data sebelumnya:

$$E_{girder} = 39152881,36$$

$$e_s = 0,71 \text{ m}$$

$$A = 0,75 \text{ m}^2$$

$$M_{girder} = 5994,89 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,38060 \text{ m}$$

$$W_b = 0,40922 \text{ m}$$

Maka tegangan beton di serat atas,

$$\Sigma_{atas} = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i * e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$= -8311,06 \text{ kPa}$$

Dan tegangan beton serat bawah,

$$\sigma_{bawah} = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i * e_s}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b}$$

$$= -28070,57 \text{ kPa}$$

Regangan akibat creep,

$$\epsilon_{cr} = \left(\frac{\sigma_c}{E_{balok}} \right) * k_b * k_c * k_d * k_e * k_{tn}$$

Keterangan,

kc : koefisien yang tergantung pada kelembaban udara, untuk perhitungan diambil kondisi dengan kelembaban <50% Berdasarkan Tabel (*NAASRA Bridge Design Spesification*) diambil kc = 3,00

kd : koefisien yang tergantung pada derajat pengerasan beton saat dibebani dan pada suhu rata-rata di sekelilingnya selama pengerasan beton. Suhu rata-rata di Indonesia umumnya >20°C, maka perlu koreksi waktu pengerasan beton sebagai berikut:

- Jumlah hari terjadi pengerasan pada suhu rata-rata T,

$$t = 28 \text{ hari}$$

- Temperatur udara rata-rata,

$$T = 27,5^\circ\text{C}$$

- Umur pengerasan beton terkoreksi saat dibebani,

$$t' = t * \frac{T+10}{30}$$

$$= 35 \text{ hari}$$

Sehingga, berdasarkan Kurva (*NAASRA Bridge Design Spesification*)

$$\text{diambil kd} = 0,938$$

ktn : koefisien yang tergantung pada waktu (t) dimana pengerasan terjadi dan tebal teoritis (em). Direncanakan t = 28 hari, em = 0,2640 m.

Sehingga, berdasarkan Kurva (*NAASRA Bridge Design Spesification*)

untuk pengkategorian semen nominal tipe I, ktn = 0,20

Maka substitusi ke perhitungan regangan akibat *creep*:

$$\varepsilon_{cr} = \left(\frac{\sigma_c}{E_{girder}} \right) * kb * kc * kd * ke * ktn$$

$$= 0,00027$$

$$\sigma_{cr} = \varepsilon_{cr} * Es$$

$$= 5173,01 \text{ kPa}$$

$$\Delta\sigma_{sc} = \sigma_{cr} + \sigma_{sh}$$

$$= 12857,58 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{pi} = \frac{Pi}{At}$$

$$= 1294461,03 \text{ kPa}$$

$$X = 0, \quad \sigma_{pi} < 50\% \text{ UTS}$$

$$X = 1, \quad \sigma_{pi} = 50\% \text{ UTS}$$

$$X = 2, \quad \sigma_{pi} = 75\% \text{ UTS}$$

Karena didapatkan besar tegangan sebesar 69,59% UTS maka untuk mendapatkan nilai X dibutuhkan interpolasi linear:

$$X = X_1 + \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)} * (X_2 - X_1) \text{ dengan,}$$

$$Y = 69,59\%$$

$$Y_1 = 50 \text{ (saat } X = 1)$$

$$Y_2 = 75 \text{ (saat } X = 2)$$

$$X_1 = 1$$

$$X_2 = 2$$

Didapatkan nilai X dari perhitungan interpolasi diatas 1,78

Relaksasi setelah 1000 jam pada 70% beban putus (UTS): $c = 2,5\%$ Maka, kehilangan gaya prategang total dapat diketahui dengan uraian perhitungan pada tabel berikut:

No.	Uraian Perhitungan	Hasil
1.	$\sigma_r = X * c * (\sigma_{pi} - \Delta\sigma_{sc})$	= 12816,035 kPa
2.	Kehilangan Tegangan Jangka Panjang = $\Delta\sigma_{sc} + \sigma_r$	= 25673,61 kPa
3.	$\Delta P = (\Delta\sigma_{sc} + \sigma_r) * A_t$	= 276,76 kN
4.	Gaya efektif di tengah bentang balok, $P_{eff} = P_i - \Delta P$	= 13677,53 kN
5.	Kehilangan gaya prategang total = $(\frac{P_j P_{eff}}{P_j}) * 100\%$	= 11,12%

Hasil menunjukkan kehilangan gaya prategang total berada di bawah perkiraan sebesar 15% yang sebelumnya telah ditentukan. Dengan ini, perhitungan memenuhi.

Kontrol tegangan pada tendon baja pasca tarik segera setelah penyaluran gaya prategang:

i. Tegangan ijin tendon pasca tarik,

$$= 0,70 * f_{pu}$$

$$= 1395000 \text{ kPa}$$

ii. Tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik,

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \frac{P_{eff}}{A_t} \\ &= 1268787 \text{ kPa (OK < 70\%fpu)} \end{aligned}$$

5. Rekapitulasi Terhadap Kehilangan Prategang yang Terjadi

Table 4. 52 Rekapitulasi Terhadap Kehilangan Prategang yang Terjadi

Gaya	Besaran (kN)	Penyebab Kehilangan	%UTS
Pj	14852,54	Anchorage Friction	74,07%
Po	14406,96	Jack Friction	71,85%
Px	14062,48	Elastic Shortening	70,13%
Pi	13954,29	Relaxation of Tendon	69,59%
Peff	13677,53		68,21%
		Kehilangan Prategang Total Terjadi =	11,12%
		Kehilangan Prategang Total Perkiraan =	15%
		Hasil =	Memenuhi

6. Tegangan pada Penampang Balok

Menurut Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (*Bridge Design Code*), tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadi kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- Tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0.60 * f_{ci}'$; dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$
- Tegangan serat tarik terluar harus $\leq 0.50 * \sqrt{f_{ci}'}$; dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$

Tegangan beton pada kondisi beban layan (setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan) tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut:

- Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati, dan beban hidup $\leq 0.45 * f_c'$
- Tegangan serat tarik terluar yang pada awalnya mengalami tekan, $\leq 0.50 * \sqrt{f_c}'$

a) Keadaan Awal (Transfer)

Berdasarkan data sebelumnya:

Kuat tekan beton, f_c'	= 50 MPa
Kuat tekan saat transfer, f_{ci}'	= 40 MPa
Tegangan ijin tekan, $0,6 * f_{ci}'$	= 24 MPa
Tegangan ijin Tarik, $0,5 * \sqrt{f_{ci}'}$	= 0,1 MPa
Pt	= 12624,66 kN
M_{balok}	= 5994,89 kNm
A	= 0,7523 m ²
es	= 0,70884 m
Wa	= 0,38059 m
Wb	= 0,40922 m

Tegangan serat atas,

$$\begin{aligned}\sigma_a &= -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt*es}{Wa} - \frac{M_{balok}}{Wa} \\ &= -\frac{12624,66}{0,7523} + \frac{12624,66*0,70884}{0,38059} - \frac{5994,89}{0,38059} \\ &= -9019,99 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tegangan serat bawah,

$$\begin{aligned}\sigma_b &= -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt*es}{Wb} - \frac{M_{balok}}{Wb} \\ &= -\frac{12624,66}{0,7523} + \frac{12624,66*0,70884}{0,40922} - \frac{5994,89}{0,40922} \\ &= 24000 \text{ kN}\end{aligned}$$

b) Keadaan setelah Kehilangan Prategang

Berdasarkan data sebelumnya:

Kuat tekan beton, f_c'	= 50000 KPa
Tegangan ijin tekan, $0,45 * f_c'$	= 22500 KPa
Tegangan ijin Tarik, $0,5 * \sqrt{f_c'}$	= 111,80 KPa
P_{eff}	= 13677,53 kN
M_{balok}	= 5994,89 kNm
A	= 0,7523 m ²
es	= 0,70884 m

$$W_a = 0,38059 \text{ m}$$

$$W_b = 0,40922 \text{ m}$$

Tegangan serat atas,

$$\begin{aligned} \sigma_a &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,38059} - \frac{5994,89}{0,38059} \\ &= -8458,62 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah,

$$\begin{aligned} \sigma_b &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,40922} - \frac{5994,89}{0,40922} \\ &= 9138,61 \text{ kPa} \end{aligned}$$

c) Keadaan Setelah Pelat Selesai Dilakukan Pengecoran (Beton Muda)

Berdasarkan data sebelumnya:

$$\text{Kuat tekan beton, } f_c' = 50000 \text{ KPa}$$

$$\text{Tegangan ijin tekan, } 0,45 \cdot f_c' = 22500 \text{ KPa}$$

$$\text{Tegangan ijin Tarik, } 0,5 \cdot \sqrt{f_c'} = 111,80 \text{ KPa}$$

$$P_{eff} = 13677,53 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 5994,89 \text{ kNm}$$

$$A = 0,7523 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,70884 \text{ m}$$

$$W_a = 0,38059 \text{ m}$$

$$W_b = 0,40922$$

$$M_{plat} = 4335,94 \text{ kNm}$$

$$M_{balok} + M_{plat} = 10330,83 \text{ kNm}$$

Tegangan serat atas,

$$\begin{aligned} \sigma_a &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_a} - \frac{M_{balok} + M_{plat}}{W_a} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,38059} - \frac{10330,83}{0,38059} \\ &= -19851,02 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah,

$$\begin{aligned}\sigma_b &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_b} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{W_b} \\ &= -\frac{13677,53}{0,7523} + \frac{13677,53 \cdot 0,70884}{0,40922} - \frac{10330,83}{0,40922} \\ &= 19734,21 \text{ kPa}\end{aligned}$$

d) Keadaan Setelah Plat dan Balok Menjadi Komposit

Berdasarkan data sebelumnya:

Kuat tekan beton, f_c'	= 50000 KPa
Kuat tekan plat, f_c'	= 35000 KPa
Tegangan ijin beton balok, $0,45 * f_c'$	= 22500 KPa
Tegangan ijin beton plat, $0,45 * f_c'$	= 15,75 KPa
Tegangan ijin tarik, $0,5 * \sqrt{f_c'}$	= 111,80 KPa
P_{eff}	= 13677,53 kN
M_{balok}	= 5994,89 kNm
A_c	= 1,14645 m ²
$e's$	= 1,13448 m
W_{ac}	= 0,84538 m
W'_{ac}	= 1,27607 m
W_b	= 0,56588 m ³
M_{plat}	= 4335,94 kNm
$M_{balok} + M_{plat}$	= 10330,83 kNm

Tegangan serat atas plat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{W_{ac}} \\ &= -\frac{13677,53}{1,14645} + \frac{13677,53 \cdot 1,13448}{0,84538} - \frac{10330,83}{0,84538} \\ &= -5794,87 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Tegangan serat atas balok

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W'_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{W'_{ac}} \\ &= -\frac{13677,53}{1,14645} + \frac{13677,53 \cdot 1,13448}{1,27607} - \frac{10330,83}{1,27607}\end{aligned}$$

$$= - 7866,22 \text{ kPa}$$

Tegangan serat bawah komposit,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= - \frac{P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff} * e'IS}{Wb} - \frac{M_{balok} + M_{pelat}}{Wb} \\ &= - \frac{13677,53}{1,14645} + \frac{13677,53 * 1,13448}{0,56588} - \frac{10330,83}{0,56588} \\ &= 21095,01 \text{ kPa} \end{aligned}$$

7. Tegangan yang Terjadi pada Balok Komposit

a) Tegangan akibat berat sendiri (MS)

Berdasarkan data sebelumnya:

$$\text{Momen akibat berat sendiri, } M_{MS} = 12091,45 \text{ kNm}$$

$$Ac = 1,14645 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

Tegangan serat atas plat,

$$\begin{aligned} \sigma_{ac} &= - \frac{M_{MS}}{W_{ac}} \\ &= -12090,60 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= - \frac{M_{MS}}{W'_{ac}} \\ &= 12090,17 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= + \frac{M_{MS}}{W_{bc}} \\ &= 21367,55 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b) Tegangan akibat beban mati tambahan (MA)

Berdasarkan data sebelumnya:

$$M_{MA} = 919,219 \text{ kNm}$$

$$Ac = 1,14645 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

Tegangan serat atas plat,

$$\begin{aligned} \sigma_{ac} &= -\frac{M_{MA}}{W_{ac}} \\ &= -1087,47 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= -\frac{M_{MA}}{W'_{ac}} \\ &= -720,35 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= -\frac{M_{MA}}{W_{bc}} \\ &= 1624,41 \text{ kPa} \end{aligned}$$

8. Tegangan Akibat Susut dan Rangkak (SR)

a) Tegangan Akibat Susut Beton (Shrinkage)

Gaya internal yang timbul akibat susut (menurut *NAASRA Bridge Design Specification*) dinyatakan dengan:

$$P_s = A_{plat} * E_{balok} * \Delta \epsilon_{su} * n * \frac{1-e^{-cf}}{cf}$$

Dari data sebelumnya:

$$\begin{aligned} A_{Plat} &= B_{eff} * h_o \\ &= 0,39415 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$E_{Balok} = 3,92 \times 10^7 \text{ kPa}$$

$$e = 2,7183$$

$$\begin{aligned} n &= E_{pelat}/E_{balok} \\ &= 0,7102 \end{aligned}$$

$$k_b = 0,905$$

$$k_c = 3,00$$

$$k_d = 0,938$$

$$k_{tn} = 0,734$$

$$\begin{aligned} A_c &= 0,20 \\ W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Eksentrisitas tendon

$$\begin{aligned} e &= y_{ac} - h_o/2 \\ &= 0,812 \text{ m} \end{aligned}$$

Gaya internal yang timbul akibat susut

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_{su} &= \varepsilon_b * k_b * k_e * k_p \\ &= 0,0004 \\ c_f &= k_b * k_c * k_d * k_e * (1 - k_{tn}) \\ &= 1,495 \\ P_s &= A_{plat} * E_{balok} * \Delta \varepsilon_{su} * n * \frac{1 - e^{-c_f}}{c_f} \\ &= 3709,59 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tegangan akibat susut yang terjadi:

i. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned} \sigma_{ac} &= \frac{P_s}{A_{pelat}} - \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W_{ac}} \\ &= 2610,58 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ii. Tegangan beton serat bawah pelat,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= \frac{P_s}{A_{pelat}} - \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W'_{ac}} \\ &= 3814,21 \text{ kPa} \end{aligned}$$

iii. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W'_{ac}} \\ &= -5597,42 \text{ kPa} \end{aligned}$$

iv. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\begin{aligned} \Sigma_{bc} &= \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s * e}{W_{bc}} \\ &= 2089,98 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b) Tegangan Akibat Rangka Beton (Creep)

Dari data sebelumnya:

P_{eff}	= 11139,40 kN
M_{balok}	= 5994,89 kNm
M_{plat}	= 4335,94 kNm
$M_{balok} + M_{plat}$	= 10330,83 kNm
A_c	= 1,14645 m ²
W_{ac}	= 0,84528 m ³
W'_{ac}	= 1,27607 m ³
W_{bc}	= 0,56588 m ³
$e's$	= 1,13448 m

Residual creep (menurut NAASRA Bridge Design Specification) dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma_{cr} = (1 - e - cf) * (\sigma_2 - \sigma_1)$$

dengan,

- σ_1 : Tegangan pada girder setelah pelat lantai selesai dicor (beton muda)
- σ_2 : Tegangan pada girder setelah pelat lantai dan balok menjadi komposit
- cf : The residual creep factor, $cf = 1,4954$
- e : Bilangan natural, $e = 2,7183$

Table 4. 53 Tegangan Beton

Tegangan Beton		σ_2 (kPa)	σ_1 (kPa)	σ_{cr} (kPa)
Tegangan beton serat atas plat	Σ_{ac}	-6987,58		-5940
Tegangan beton serat bawah plat	σ'_{ac}	-7908,82		-6723
Tegangan beton serat atas balok	$\sigma''_{ac} ; \sigma_a$	-7908,82	-21204,29	11303
Tegangan beton serat bawah balok	$\sigma_{bc} ; \sigma_b$	-13792,65	-8857,40	-4195

Table 4. 54 Tegangan Beton

Tegangan Beton		Susut (kPa)	Rangkak (kPa)	Susut dan Rangkak (kPa)
Tegangan beton serat atas plat	σ_{ac}	2610,58	-5940,16	-3330
Tegangan beton serat bawah plat	σ'_{ac}	3814,212	-6723,31	-2909
Tegangan beton serat atas balok	σ''_{ac}	-5597,42	11302,50	5705
Tegangan beton serat bawah balok	σ_{bc}	2089,98	-4195,47	-2105

9. Tegangan Akibat Prategang (PR)

$$\begin{aligned}
 P_{eff} &= 11139,40 \text{ kN} \\
 M_{balok} &= 5994,89 \text{ kNm} \\
 M_{plat} &= 4335,94 \text{ kNm} \\
 M_{balok} + M_{plat} &= 10330,83 \text{ kNm} \\
 A_c &= 1,14645 \text{ m}^2 \\
 W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\
 W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\
 W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3 \\
 e's &= 1,13448 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga tegangan akibat prategang:

a. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W_{ac}} \\
 &= 5234,21 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

b. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned}
 \sigma'_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W'_{ac}} \\
 &= 186,99 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

c. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\sigma_{bc} = -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e's}{W_{bc}}$$

$$= -32048,89 \text{ kPa}$$

10. Tegangan Akibat Beban Lalu Lintas

a) Tegangan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

Dari data sebelumnya,

$$M_{TD} = 4717,50 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

Sehingga tegangan akibat beban lajur "D":

i. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned} \Sigma_{ac} &= -M_{TD}/W_{ac} \\ &= 5581 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ii. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= -M_{TD}/W'_{ac} \\ &= -3696,90 \text{ kPa} \end{aligned}$$

iii. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\begin{aligned} \sigma_{bc} &= M_{TD}/W_{bc} \\ &= 8336,59 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b) Tegangan Akibat Gaya Rem (TB)

Dari data sebelumnya,

$$M_{TB} = 38,91 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 0,84528 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,27607 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,56588 \text{ m}^3$$

i. Tegangan beton serat atas pelat,

$$\begin{aligned} \Sigma_{ac} &= -M_{TB}/W_{ac} \\ &= -46,03 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ii. Tegangan beton serat atas balok,

$$\begin{aligned} \sigma'_{ac} &= -M_{TB}/W'_{ac} \\ &= -30,49 \text{ kPa} \end{aligned}$$

iii. Tegangan beton serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= MTB/W_{bc} \\ &= 68,75 \text{ kPa}\end{aligned}$$

11. Tegangan Akibat Beban Lingkungan

a) Tegangan Akibat Beban Angin (EW)

Dari data sebelumnya,

$$\begin{aligned}M_{EW} &= 315,00 \text{ kNm} \\ W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3\end{aligned}$$

i. Tegangan serat atas pelat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= -M_{EW}/W_{ac} \\ &= -372,66 \text{ kPa}\end{aligned}$$

ii. Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= -M_{EW}/W'_{ac} \\ &= -246,85 \text{ kPa}\end{aligned}$$

iii. Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= +M_{EW}/W_{bc} \\ &= 556,66 \text{ kPa}\end{aligned}$$

b) Tegangan Akibat Beban Gempa (EQ)

Dari data sebelumnya,

$$\begin{aligned}M_{EQ} &= 2566,9 \text{ kNm} \\ W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3\end{aligned}$$

i. Tegangan serat atas pelat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= -M_{EQ}/W_{ac} \\ &= -3036,74 \text{ kPa}\end{aligned}$$

ii. Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= -M_{EQ}/W'_{ac} \\ &= -2011,57 \text{ kPa}\end{aligned}$$

iii. Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= +MEQ/Wbc \\ &= 4536,12 \text{ kPa}\end{aligned}$$

c) Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya internal akibat perbedaan temperatur:

$$Pt = At * Ebalok * (\Delta ta + \Delta Tb)/2$$

Dari data sebelumnya,

$$\begin{aligned}\Delta T &= 15^{\circ}\text{C} \\ Ebalok &= 3,9 \times 10^7 \text{ kPa} \\ \beta &= 1,1 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C} \\ A_c &= 1,14645 \text{ m}^2 \\ y_{ac} &= 0,9624 \text{ m} \\ y_{bc} &= 1,4376 \text{ m} \\ W_{ac} &= 0,84528 \text{ m}^3 \\ W'_{ac} &= 1,27607 \text{ m}^3 \\ W_{bc} &= 0,56588 \text{ m}^3 \\ B_{eff} &= 1,31 \text{ m} \\ h_c &= 2,40 \text{ m} \\ h'4 &= 0,85 \text{ m}\end{aligned}$$

Keterangan,

$$\begin{aligned}b &: \text{Lebar (m)} \\ h &: \text{Tinggi (m)} \\ A &: \text{Luas Penampang (m}^2\text{)} \\ \Delta T &: \text{Rata – Rata Suhu (}^{\circ}\text{C)} \\ z_i &: \text{Panjang lengan (m)}\end{aligned}$$

Eksentrisitas

$$\begin{aligned}e_p &= \sum MPt / \sum Pt \\ &= 0,68 \text{ m}\end{aligned}$$

i. Tegangan serat atas pelat,

$$\begin{aligned}\sigma_{ac} &= - (E_{girders} * \beta * \Delta T1) - (\sum Pt / Ac) + (\sum Pt * ep / Wac) \\ &= -4222,45 \text{ kPa}\end{aligned}$$

ii. Tegangan serat atas balok,

$$\begin{aligned}\sigma'_{ac} &= - (E_{girders} * \beta * \Delta T2) - (\sum Pt / Ac) + (\sum Pt * ep / W'ac) \\ &= -2011,57 \text{ kPa}\end{aligned}$$

iii. Tegangan serat bawah balok,

$$\begin{aligned}\sigma_{bc} &= (\sum Pt / Ac) - (\sum Pt * ep / Wbc) \\ &= -1012,14 \text{ kPa}\end{aligned}$$

12. Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi Pembebanan

- Kuat tekan balok, f_c' = 50000 kPa
- Kuat ijin tekan, $-0,45 * f_c'$ = 22500 kPa
- Kuat ijin tarik, $0,50 * \sqrt{f_c'}$ = 111,80 kPa

Aksi/Beban	Simbol	Kombinasi Pembebanan				
		1	2	3	4	5
A. Aksi Tetap						
Berat Sendiri	MS	✓	✓	✓	✓	✓
Beban Mati Tambahan	MA	✓	✓	✓	✓	✓
Susut dan Rangkak	SR	✓	✓	✓	✓	✓
Prategang	PR	✓	✓	✓	✓	✓
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	TD	✓	✓	✓	✓	
Gaya Rem	TB	✓	✓	✓	✓	
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	ET		✓		✓	
Beban Angin	EW			✓	✓	
Beban Gempa	EW					✓

Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 1

Teg	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ	Tegangan Kombinasi	Tegangan Izin	
σ_{ac}	-12090,60	-1087,47	-3330	5234,21	-5581,00	-46,03				-16900	-22500	OK
σ'_{ac}	-12090,17	-720,35	-2909	186,99	-3696,90	-30,49				-19260	-22500	OK
σ''_{ac}	-12090,17	-720,35	5705	186,99	-3696,90	-30,49				-10646	-22500	OK
σ_{bc}	21367,55	1624,41	-2105	-32048,89	8336,59	68,75				-2757	-22500	OK

Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 2

Teg	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ	Tegangan Kombinasi	Tegangan Izin	
σ_{ac}	-12090,60	-1087,47	-3330	5234,21	-5581,00	-46,03	-4222,45			-21123	-22500	OK
σ'_{ac}	-12090,17	-720,35	-2909	186,99	-3696,90	-30,49	910,44			-18350	-22500	OK
σ''_{ac}	-12090,17	-720,35	5705	186,99	-3696,90	-30,49	910,44			-9735	-22500	OK
σ_{bc}	21367,55	1624,41	-2105	-32048,89	8336,59	68,75	-1012,14			-3769	-22500	OK

Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 3

Teg	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ	Tegangan Kombinasi	Tegangan Izin	
σ_{ac}	-12090,60	-1087,47	-3330	5234,21	-5581,00	-46,03		-372,66		-17273	-22500	OK
σ'_{ac}	-12090,17	-720,35	-2909	186,99	-3696,90	-30,49		-246,85		-19507	-22500	OK
σ''_{ac}	-12090,17	-720,35	5705	186,99	-3696,90	-30,49		-246,85		-10893	-22500	OK
σ_{bc}	21367,55	1624,41	-2105	-32048,89	8336,59	68,75		556,66		-2200	-22500	OK

Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 4

Teg	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ	Tegangan Kombinasi	Tegangan Izin	
σ_{ac}	-12090,60	-1087,47	-3330	5234,21	-5581,00	-46,03	-4222,45	-372,66		-21496	-22500	OK
σ'_{ac}	-12090,17	-720,35	-2909	186,99	-3696,90	-30,49	910,44	-246,85		-18596	-22500	OK
σ''_{ac}	-12090,17	-720,35	5705	186,99	-3696,90	-30,49	910,44	-246,85		-9982	-22500	OK
σ_{bc}	21367,55	1624,41	-2105	-32048,89	8336,59	68,75	-1012,14	556,66		-3212	-22500	OK

Kontrol Tegangan terhadap Kombinasi 5

Teg	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ	Tegangan Kombinasi	Tegangan Izin	
σ_{ac}	-12090,60	-1087,47	-3330	5234,21					-3036,74	-11274	-22500	OK
σ'_{ac}	-12090,17	-720,35	-2909	186,99					-2011,57	-15533	-22500	OK
σ''_{ac}	-12090,17	-720,35	5705	186,99					-2011,57	-6919	-22500	OK
σ_{bc}	21367,55	1624,41	-2105	-32048,89					-4536,12	-11162	-22500	OK

13. Pembesian End Block

Gaya prategang akibat *jacking* pada masing-masing kabel:

$$P_j = p_o * n_s * P_{bs}$$

No.	Angkur Hidup		Angkur Mati		ns	P _{bs}	p _o	P _j	Sudut
	VSL		VSL						
	Sc	Dim	P	Dim					
	(ton)	(mm)	(ton)	(mm)		(kN)		(kN)	(°)
1	22	265	19	250	22	182,28	75%	3007,62	4,084
2	22	265	19	250	22	182,28	75%	3007,62	3,625
3	22	265	19	250	22	182,28	75%	3007,62	3,165
4	22	265	19	250	22	182,28	75%	3007,62	2,156
5	22	265	19	250	22	182,28	75%	3007,62	1,146

a) Momen Statis Penampang Balok

Letak titik berat:

- $y_a = 1,088$ m
- $y_b = 1,012$ m

Momen Statis Luasan Bagian Atas (S_{xa})

No.	Lebar	Tinggi	Bangunan	Luas	Lengan	Momen
	b	h		A	y	A*y
	(m)	(m)		(m ²)	(m)	(m ³)
1	0,64	0,07	1	0,045	1,053	0,0472
2	0,80	0,13	1	0,104	0,953	0,0991
3	0,30	0,12	1	0,036	0,848	0,0305
4	0,20	0,89	1	0,178	0,443	0,0789
					S _{xa}	0,2557

Momen Statis Luasan Bagian Bawah (S_{xb})

No.	Lebar	Tinggi	Bangunan	Luas	Lengan	Momen
	b	h		A	y	A*y
	(m)	(m)		(m ²)	(m)	(m ³)
4'	0,20	0,76	1	0,152	0,632	0,0961

No.	Lebar	Tinggi	Bangunan	Luas	Lengan	Momen
5	0,25	0,25	1	0,063	0,887	0,0554
6	0,70	0,25	1	0,175	0,127	0,0222
					Sxb	0,1737

b) Perhitungan Sengkang untuk Busting Force

Berdasarkan data sebelumnya:

$$P_j = 3007,62 \text{ kN}$$

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah vertikal,

$$r_a = a_1/a$$

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah horizontal,

$$r_b = b_1/b$$

Bursting force untuk sengkang arah vertikal,

$$P_{bta} = 0,30 \cdot (1 - r_a) \cdot P_j$$

Bursting force untuk sengkang arah horizontal,

$$P_{btb} = 0,30 \cdot (1 - r_b) \cdot P_j$$

Luas tulangan sengkang arah vertikal yang diperlukan,

$$A_{ra} = P_{bta} / (0,85 \cdot f_s)$$

Luas tulangan sengkang arah horizontal yang diperlukan,

$$A_{rb} = P_{btb} / (0,85 \cdot f_s)$$

Tegangan leleh baja sengkang,

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$= 420000 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin baja sengkang,

$$f_s = 0,578 \cdot f_y$$

$$= 242760 \text{ kPa}$$

Digunakan sengkang tertutup berdiameter: 2 D13

i. Luas penampang sengkang:

$$A_s = 2 \cdot \pi / 4 \cdot D^2$$

$$= 256,46 \text{ mm}^2$$

$$= 0,000265 \text{ m}^2$$

ii. Jumlah sengkang vertikal yang diperlukan:

$$n = \text{Ara/As}$$

iii. Jumlah sengkang horizontal yang diperlukan:

$$n = \text{Arb/As}$$

c) Perhitungan sengkang arah vertikal

No.	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		Pj (kN)	a1 (mm)	a (mm)	ra (kN)	Pbta (kN)	Ara (m ²)	Jumlah sengkang
	Sc (ton)	Dim (mm)	P (ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,001	4
2	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4
3	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4
4	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4
5	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4

d) Perhitungan sengkang arah horizontal

No.	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		Pj (kN)	b1 (mm)	b (mm)	rb (kN)	Pbtb (kN)	Arb (m ²)	Jumlah sengkang
	Sc (ton)	Dim (mm)	P (ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,001	4
2	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4
3	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4
4	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4
5	19	265	19	265	3007,62	250	340	0,735	238,8	0,002	4

e) Jumlah sengkang yang digunakan untuk *busting force*

No.	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		Jumlah sengkang
	Sc (ton)	Dim (mm)	P (ton)	Dim (mm)	
1	19	265	19	265	6
2	19	265	19	265	6

No.	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		Jumlah senggang
	Sc	Dim	P	Dim	
	(ton)	(mm)	(ton)	(mm)	
3	19	265	19	265	6
4	19	265	19	265	6
5	19	265	19	265	6

14. Tinjauan terhadap Geser

Komponen yang diperlukan antara lain:

- V = Gaya geser akibat beban
- M = Momen akibat beban
- Eksentrisitas tendon (e) = $Y = 4 * f * (X / L2) * (L - X)$
- Sudut kemiringan tendon (α) = $ATAN [4 * f * (L-2 * X) / L2]$
- Komponen gaya arah x (P_x) = $P_{eff} * \cos \alpha$
- Komponen gaya arah y (P_y) = $P_{eff} * \sin \alpha$
- Resultan gaya geser (V_r) = $V - P_y$
- Tegangan geser terjadi (σ_v) = $V_r * S_x / (b * I_x)$

Dari data sebelumnya:

f	= 0,7088 m
L	= 50 m
P_{eff}	= 11139,40 kN
b	= 0,30 m
A	= 0,75230 m ²
I_x	= 0,41411 m ⁴
S_x	= 0,21470 m ³
W_a	= 0,38060 m ³
W_b	= 0,40922 m ³

Untuk tinjauan geser di atas garis netral, beberapa data ditentukan dengan cara pada tabel berikut:

Data	Notasi	Rumus
Tegangan beton di serat atas	σ_a	$= - P_x/A + P_x \cdot e / W_a - M/W_a$
Sudut bidang geser serat atas	γ_{atas}	$= 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_a)$
Jarak sengkang yang diperlukan pada serat atas	a_{atas}	$= \sigma_a \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$
Tegangan beton di serat bawah	σ_b	$= - P_x/A + P_x \cdot e / W_b - M/W$
Sudut bidang geser serat bawah	γ_{bawah}	$= 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_b)$
Jarak sengkang yang diperlukan pada serat bawah	a_{bawah}	$= \sigma_b \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$

Untuk tulangan geser digunakan sengkang berdiameter $D = 13 \text{ mm}$, maka luas tulangan geser,

$$A_t = \pi/4 \cdot D^2 = 132,73 \text{ mm}^2$$

Resume Persamaan Tinjauan Geser

Persamaan	Rumus
Persamaan 1	$e = Y = 4 \cdot f \cdot (X/L^2) \cdot (L-X)$
Persamaan 2	$\alpha = \text{ATAN} [4 \cdot f \cdot (L-2 \cdot X)/L^2]$
Persamaan 3	$P_x = P_{eff} \cdot \cos \alpha$
Persamaan 4	$P_y = P_{eff} \cdot \sin \alpha$
Persamaan 5	$V_r = V - P_y$
Persamaan 6	$\sigma_v = V_r \cdot S_x / (b \cdot I_x)$
Untuk Serat Atas	
Persamaan 7	$\sigma_a = - P_x/A + P_x \cdot e / W_b - M/b$
Persamaan 8	$\gamma = 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_b)$
Persamaan 9	$a_s = \sigma_a \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$
Untuk Serat Bawah	
Persamaan 7'	$\sigma_b = - P_x/A + P_x \cdot e / W_a - M/W_a$
Persamaan 8'	$\gamma = 1/2 \cdot \text{ATAN}(2 \cdot \sigma_v / \sigma_a)$
Persamaan 9'	$a_b = \sigma_b \cdot A_t / (\sigma_v \cdot b \cdot \tan \gamma)$

- a) Tinjauan Geser di atas Garis Netral
- b) Tinjauan Geser di bawah Garis Netral

c) Jarak Sengkang yang digunakan

15. Perhitungan Shear Connector

Tegangan geser horizontal akibat gaya lintang pada penampang yang ditinjau dihitung dengan rumus :

$$f_v = V_i * S_x / (b_v * I_{xc})$$

dengan,

- V_i : Gaya lintang pada penampang yang ditinjau
- S_x : Momen statis luasan plat terhadap titik berat penampang komposit
- S_x : $b_{eff} * h_o * (y_{ac} - h_o / 2)$
- b_v : Lebar bidang gesek (lebar bidang kontak antara pelat dan balok)
- b_{eff} : Lebar efektif pelat
- h_o : Tebal pelat
- I_{xc} : Inersia penampang balok komposit

Luas total shear connector,

$$A_{st} = n_s * A_s$$

dengan,

- n_s : Jumlah shear connector
- A_s : Luas satu shear connector

Jarak antara shear connector,

$$A_s = f_s * A_{st} * k_t / (f_v * b_v)$$

dengan,

- k_f : Koefisien gesek pada bidang kontak (1 – 1,14)
- f_s : Tegangan ijin baja shear connector, $f_s = 0,578 * f_y$
- f_{ci} : Tegangan ijin beton komposit

Jika $f_v > 0,2 * f_{ci}$, maka penampang harus diperbesar.

Berdasarkan data sebelumnya:

- b_{eff} = 1,31 m
- h_o = 0,3 m
- b_v = 0,64 m

$$\begin{aligned}
 y_{ac} &= 0,9624 \text{ m} \\
 I_{xc} &= 0,81359 \text{ m}^4 \\
 f_{c'} &= 50000 \text{ kPa} \\
 f_{ci} &= 0,30 * f_{c'} \\
 &= 15000 \text{ kPa} \\
 f_{vi} &= 0,20 * f_{c'} \\
 &= 10000 \text{ kPa} \\
 f_y &= 320000 \text{ kPa} \\
 f_s &= 0,578 * f_y \\
 &= 184960 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Untuk shear connector digunakan tulangan D13, dengan jumlah besi tulangan $n_s =$

2. Sehingga:

$$A_s = \pi/4 * D^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = n_s * A_s = 0,00027 \text{ m}^2$$

$$S_x = b_{eff} * h_o * (y_{ac} - h_o/2) = 0,32021 \text{ m}^3$$

16. Rekapitulasi Struktur Atas

a) Plat Lantai

h	= 250 mm
f _c	= 25 MPa
f _y	= 400 MPa
M _u	= 220,158 kNm
M _n	= 275,248 kNm
Tulangan	= D19-200

b) Diafragma

f _c	= 25 MPa
f _y	= 400 MPa
Ketebalan	= 20 cm
Tulangan	= D16-150

c) Gelagar

Jenis Gelagar	= PCI-Girder
Ukuran Gelagar	= H-210
Jumlah Tendon	= 5
Jumlah Strands	= 98 strands <ul style="list-style-type: none"> • $n_1 = 18$ strands • $n_2 = 18$ strands • $n_3 = 18$ strands • $n_4 = 22$ strands • $n_5 = 22$ strands
Ukuran Strands	= 12,7 mm (1/2")
f_c	= 50 MPa
f_y	= 400 MPa
Tulangan	= D13
μ	=
M_n	=

4.9. Elastomer Bearing Pad

Perencanaan meliputi analisa pembebanan yang bekerja pada bearing pad yang dibagi menjadi beban vertikal dan horizontal.

a) Beban vertikal yang bekerja pada *bearing pad* yakni sebagai berikut:

Beban	Rumus	q (kN)
Tiang Sandaran	$V_{\text{TIANG SANDARAN}} * B_{\text{BETON}}^{1/2} L$	191,5225
Plat Lantai	$H_{\text{PLAT}} * 0,75 * B_{\text{BETON}}^{1/2} L$	97,266
Diafragma	$q_{\text{DIA}} * n_{\text{DIA}}$	59,220
Gelagar	$q_{\text{GELAGAR}} * B_{\text{BETON}}^{1/2} L$	505,444
Aspal	$H_{\text{ASPAL}} * 0,75 * B_{\text{ASPAL}}^{1/2} L$	17,119
Air Hujan	$H_{\text{HUJAN}} * 0,75 * B_{\text{HUJAN}}^{1/2} L$	7,626
Lalu Lintas	$\Sigma q_{\text{LL}}^{1/2} L$	161,017
Total		1056,333

b) Beban horizontal yang bekerja pada *bearing pad* yakni sebagai berikut:

Beban		q (kN)
Rem	$q_{REM} * n_{GELAGAR}$	62,5
Total		62,5

Direncanakan dimensi elastomer bearing pad yang digunakan sesuai dengan spesifikasi pada BMS BDM yaitu

Table 4. 55. Tabel Spesifikasi BMS BDM

Plan Size 480 mm x 380 mm Steel Plate Thickness 5									
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 at Max Shear kN	Rated Load at Zero Shear kN	Rated Load at Max Rotation at Max Shear kN	Rated Load at Max Rotation 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

Data spesifikasi

Parameter	Simbol	Rumus	Nilai
Kekerasan karet	IHRD		= 53
Modulus Geser	G		= 0,69 MPa
p bearing pad	B		= 2000 mm
l bearing pad	b		= 480 mm
h bearing pad	d		= 380 mm
h selimut sisi	hc		= 10 mm
h selimut sisi efektif	hc _{ef}	$1,4 * hc$	= 14 mm
h selimut atas bawah	htb		= 6 mm
n Karet	nr		= 3 buah
h lapis dalam karet	hi		= 36 mm

Parameter	Simbol	Rumus	Nilai
h lapis dalam karet efektif	h_{ef}		= 36 mm
h plat baja	hp		= 5 mm
n plat baja	np		= 4 buah
h total	h		= 68 mm
Luas total	A	$b * d$	= 182400 mm ²

Pemeriksaan dimensi elastomer bearing pad yang dipilih terhadap pemeriksaan kontrol yang telah ditetapkan pada BMS BDM pasal 7.1.1 sebagai berikut:

a) Pemeriksaan *Elastomeric Bearing Pad* terhadap Luas Efektif Maksimum

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{qH * h}{A * G} \\ &= \frac{62500 * 68}{182400 * 0,69} \\ &= 0,034\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{eff} &= A * \left(1 - \frac{\delta}{b} - \frac{\delta}{d}\right) \\ &= 182400 * \left(1 - \frac{0,034}{0,48} - \frac{0,034}{0,38}\right) \\ &= 182370,959\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{eff}}{0,8A} &\geq 1 \\ \frac{182370,959}{0,8 * 182400} &\geq 1 \\ 1,250 &\geq 1\end{aligned}$$

b) Pemeriksaan *Elastomeric Bearing Pad* terhadap Bentuk

$$\begin{aligned}S &= \frac{b * d}{2 * (b + d) * h_{cef}} \\ &= \frac{480 * 380}{2 * (480 + 380) * 14} \\ &= 7,575\end{aligned}$$

Syarat $4 \leq S \leq 12$, maka nilai $S = 7,575$ memenuhi syarat

c) Pemeriksaan *Elastomeric Bearing Pad* terhadap Regangan Total Maksimum

Tabel Syarat Ketebalan Maksimum dan Minimum (SNI 3976 2013)

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

$$\alpha = \frac{H_{max} - H_{min}}{b}$$

$$= \frac{6 - 0}{480}$$

$$= 0,013 \text{ rad}$$

$$\epsilon_{SR} = \frac{(\alpha * b^2) + (\alpha * d^2)}{2 * h_i * h}$$

$$= \frac{(0,013 * 480^2) + (0,013 * 380^2)}{2 * 36 * 68}$$

$$= 0,957$$

$$\epsilon_{SC} = \frac{6 * S * V}{3 * A_{eff} * G * (1 + 2S^2)}$$

$$= \frac{6 * 7,575 * 1056332,782}{3 * 182370,959 * 0,69 * (1 + 2 * 7,575^2)}$$

$$= 1,099$$

$$\epsilon_{SH} = \frac{2 * A_{eff}}{A} - 1,1 \text{ (untuk } A > A_{eff} > 0,8A \text{ menurut BMS BDM)}$$

$$= \frac{2 * 1822370,959}{182400} - 1,1$$

$$= 0,9$$

$$\epsilon_{\text{total}} = \epsilon_{SR} + \epsilon_{SC} + \epsilon_{SH}$$

$$= 0,957 + 1,099 + 0,9$$

$$= 2,955$$

$$\epsilon_{\text{total}} \leq 2,6\sqrt{G}$$

$$2,955 \leq 2,6\sqrt{0,69}$$

$$2,955 \leq 3,130 \text{ (OK)}$$

d) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Batas Leleh

$$V = 1056,333 \text{ kN}$$

$$V_{LL} = 161,017 \text{ kN}$$

$$\frac{1,4*V}{\epsilon_{SC}*V_{LL}} * \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$$

$$\frac{1,4*1056,333}{1,099*161,017} * \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$$

$$8,360 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

e) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Tegangan Maksimum Rata Rata

$$\frac{15*A}{V} \geq 1$$

$$\frac{15*182400}{1056332,782} \geq 1$$

$$2,590 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

f) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Perputaran Maksimum

$$\begin{aligned} EH &= A * G * \frac{1}{\frac{b}{d} + \frac{d}{b}} \\ &= 182400 * 0,69 * \frac{1}{\frac{480}{380} + \frac{380}{480}} \\ &= 99359,551 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 4 + \frac{b}{d} * 6 * \frac{3,3*b}{d} \\ &= 4 + \frac{480}{380} * 6 * \frac{3,3*480}{380} \\ &= 35,592 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= EH + \frac{C*G*S^2}{1 + \frac{C*G*S^2}{0,75d}} \\ &= 99359,551 + \frac{35,592*0,69*7,575^2}{1 + \frac{35,592*0,69*7,575^2}{0,75*380}} \\ &= 125855,515 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dc &= hief * \frac{V*10^3}{E*A} \\ &= 36 * \frac{1056332,782*10^3}{125855,51*1882400} \\ &= 1,657 \end{aligned}$$

Cek Syarat:

$$\frac{(\alpha*b)+(\alpha*d)}{4*dc} \geq 1$$

$$\frac{(0,013*480)+(0,013*380)}{4*1,657} \geq 1$$

$$1,622 \geq 1$$

g) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Stabilitas Tekan

$$\frac{2*d*G*S*Aeff}{1000*V} \geq 1$$

$$\frac{2*380*0,69*7,575*182370,959}{1000*1056332,782} \geq 1$$

$$818,718 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

h) Pemeriksaan Elastomeric Bearing Pad terhadap Tebal Plat Baja Minimum

$$\frac{hp}{3} \geq 1$$

$$\frac{5}{3} \geq 1$$

$$1,667 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

$$\frac{hp*A*fy \text{ plat baja}}{3000*V*hi} \geq 1$$

$$\frac{5*182400*950}{3000*1056332,782*36} \geq 1$$

$$7,594 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

i) Pemeriksaan Tahanan Gesek Elastomeric Bearing Pad terhadap Geseran

$$\frac{0,1*V+(3000+Aeff)}{H} \geq 1$$

$$\frac{0,1*1056332,782+(3000+182370,959)}{62500} \geq 1$$

$$8756,89 \geq 1 \quad (\text{OK})$$

4.10. Abutment

4.10.1 Parameter

Diperhitungkan:

Table 4. 56 Preliminary Abutment

1. Lebar area lalu lintas,	b_{lalin}	=	13,00	m
2. Lebar area pedestrian,	b_{pedest}	=	1,20	m

3. Lebar total jembatan,	b	=	10,60	m
4. Lebar pelat lantai jembatan,	t _{slab}	=	0,25	m
5. Tebal lapisan aspal dan overlay,	t _a	=	0,05	m
6. Tinggi genangan air rencana,	h _w	=	0,05	m
7. Tinggi balok prategang,	h _{girder}	=	2,10	m
8. Tinggi bidang struktur samping,	h _a	=		m
9. Jarak antara balok prategang,	s	=	1,85	m
10. Panjang bentang jembatan tumpuan-tumpuan,	L	=	50,00	m
11. Panjang bentang balok prategang aktual,	L _a	=		m
12. Panjang bentang pelat lantai aktual,	L _{slab}	=		m

1. Parameter Material Rencana

a) Material Beton,

Digunakan mutu beton dengan kuat tekan rencana sebesar 35 MPa pada pelat abutment. Parameter lainnya yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table 4. 57 Parameter Material Beton Abutment

No.	Parameter	Notasi	Rumus	Hasil	Satuan
1.	Kuat tekan beton rencana	f'c		35	MPa
2.	Modulus elastis	E _c	$4700 * \sqrt{f'c}$	27805,6	MPa
3.	Angka poisson	u		0,20	MPa
4.	Modulus geser	G	$\frac{Ec}{2 * (1 + u)}$	12089,4	MPa
5.	Koefisien muai panjang untuk beton	a		10*10 ⁻⁶	/°C

b) Material Baja,

Material baja yang khususnya digunakan pada perencanaan penulangan abutment digunakan sepenuhnya kelas baja tulangan 420B dengan parameter lainnya sebagai berikut:

Table 4. 58 Parameter Material Baja Abutment

No.	Parameter	Notasi	Hasil	Satuan
1.	Kuat leleh baja	f_y	420	MPa
2.	Kuat tarik maksimum	f_u	540	MPa
3.	Perbandingan f_u/f_y	f_u/f_y	1,25	
4.	Renggangannya luluh (<i>elongation</i>)	G	$\geq 10\%$	
5.	Modulus elastisitas	E	200000	MPa

c) Berat Jenis,

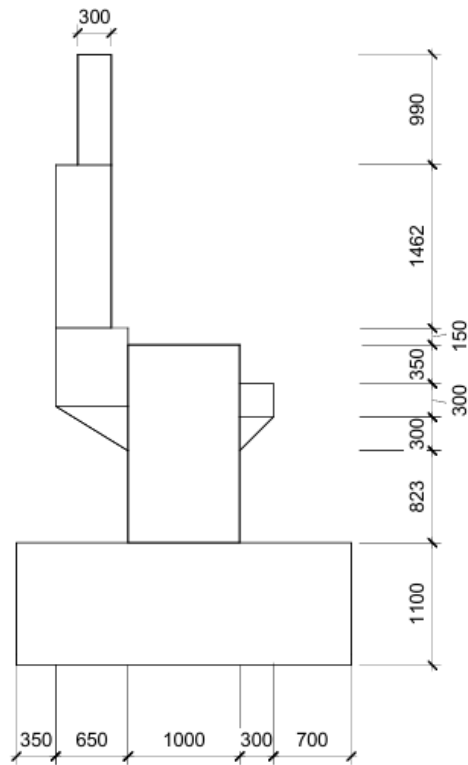
Berikut adalah parameter berat jenis terhadap material yang ada atau digunakan pada perencanaan abutment:

Table 4. 59 Parameter Berat Jenis Material Abutment

No.	Berat Jenis Material	Notasi	Hasil	Satuan
1.	Berat beton bertulang	γ_{beton}	25	kN/m^3
2.	Beton aspal	γ_{aspal}	22	kN/m^3
3.	Berat jenis air	γ_{air}	9,8	kN/m^3
4.	Berat baja	ρ_{baja}	78,5	kN/m^3
5.	Berat isi tanah	γ_{tanah}	17	kN/m^3

2. Detail Data *Preliminary Design* dan Dimensi *Abutment*

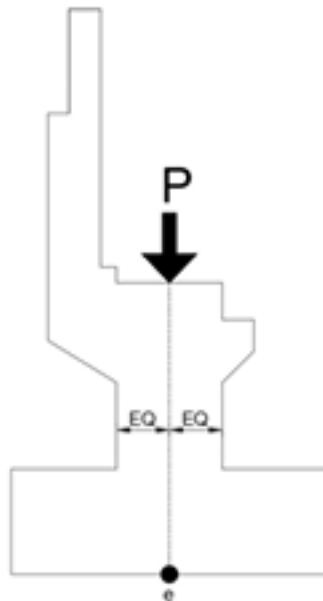
a) *Footing dan Badan Abutment,*



Gambar 4. 14 Desain Abutment

b) *Wing Wall Abutment dan Material Pengisi/ Backfill pada Abutment,*

3. Design Eksentrisitas *Abutment*



Gambar 4. 15 Eksentrisitas Abutment

4.10.2 Analisa Pembebanan Berat Sendiri

4. Analisa Beban Kerja Berat Sendiri (MS) pada *Abutment*

a) Berat sendiri struktur atas,

Table 4. 60 Analisa Berat Sendiri *Abutment*

No.	Jenis		Volume				Berat Jenis	Berat
			b (m)	t (m)	La (m)	n	(kN/m ³)	(kN)
1.	Pelat Lantai	(cast in situ)	13,00	0,25	50,00	1	24	3900,000
2.	Deck Slab	(cast in situ)	1,21	0,07	50,00	9	24	914,760
3.	Girder	(precast)			50,00	7	19,19	6716,500
4.	Diafragma Tumpuan	(cast in situ)	1,25			18	19,00	427,500
5.	Diafragma Bentang	(cast in situ)	1,25			63	8,25	649,688
Total berat sendiri struktur atas <i>precast</i>							$W_{MS PRECAST}$	6716,500
Total berat sendiri struktur atas <i>cast in situ</i>							$W_{MS CAST IN SITU}$	5891,448

b) Beban yang diterima 1 *Abutment*,

$$P_{MS PRECAST} = \frac{W_{MS PRECAST}}{2}$$

$$= 3358,250 \text{ kN}$$

$$P_{MS CAST IN SITU} = \frac{W_{MS CAST IN SITU}}{2}$$

$$= 2945,724 \text{ kN}$$

c) Eksentrisitas tumpuan terhadap pondasi,

$$e = 0,00 \text{ m}$$

d) Momen yang timbul pada pondasi akibat berat sendiri struktur atas,

$$M_{MS PRECAST} = P_{MS PRECAST} * e$$

$$= 0,00 \text{ kNm}$$

$$M_{MS SITU} = P_{MS SITU} * e$$

$$= 0,00 \text{ kNm}$$

5. Analisa Beban Berat Sendiri (MS) Struktur Bawah

a) *Abutment (cast in situ)*,

Table 4. 61 Analisa Berat Sendiri Abutment

No.	Parameter Bagian				Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
	b (m)	t (m)	Shape	Direc			
1.	0,30	0,99	1	-1,00	143,30	0,800	-114,64
2.	0,50	1,46	1	-1,00	352,71	0,900	-317,44
3.	0,65	0,70	1	-1,00	219,54	0,825	-181,12
4.	0,65	0,40	0,5	-1,00	62,73	0,717	-44,95
5.	0,30	0,30	1	1,00	43,43	0,650	28,23
6.	0,30	0,30	0,5	1,00	21,71	0,600	13,13
7.	1,00	2,77	1	-1,00	1337,97	0,000	0,00
8.	1,00	1,00	1	-1,00	482,50	1,000	-482,50
9.	1,00	1,00	1	1,00	482,50	1,000	482,50
10.	1,00	0,35	1	-1,00	168,88	0,000	
$P_{MS \text{ abutment}} = 3315,26$					$M_{MS \text{ abutment}} = -616,90$		

Hasil:

$$P_{MS \text{ pada Abutment}} = 3315,26 \text{ kN}$$

$$M_{MS \text{ pada Abutment}} = -616,90 \text{ kNm}$$

b) *Wing Wall (cast in situ)*,

Table 4. 62 Analisa Berat Sendiri Wing Wall

No.	Parameter Bagian				Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
	b (m)	t (m)	Shape	Direc			
11.	5,10	0,693	1,00	-1,00	105,95	3,500	-530,15
12.	4,90	2,562	1,00	-1,00	376,61	3,600	-1355,81
13.	0,65	0,300	0,50	-1,00	5,85	0,933	-5,46

14.	4,55	0,823	0,50	-1,00	112,34	4,533	-509,27
15.	1,00	0,823	1,00	-1,00	24,69	1,000	-24,69
				P _{MS} wall	670,97	M _{MS} wall	-2425,40

Hasil:

P_{MS} pada *Wingwall* = 670,97 kN

M_{MS} pada *Wingwall* = -2425,40 kNm

c) Tanah Pengisi *Abutment/Backfill*,

Table 4. 63 Analisa Berat Sendiri Back Wall

No.	Parameter Bagian				Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
	b (m)	t (m)	Shape	Direc			
16.	0,55	0,990	1	-1,00	167,54	1,225	-205,24
17.	0,35	3,385	1	-1,00	364,55	1,325	-483,03
18.	0,65	0,400	0,5	-1,00	40,00	0,933	-37,33
19.	0,65	0,823	1	-1,00	164,60	0,825	-165,80
				P _{MS} Tanah =	736,70	M _{MS} Tanah =	-861,40

Hasil:

P_{MS} pada *Backfill* = 736,70 kN

M_{MS} pada *Backfill* = -861,40 kNm

Rekapitulasi Beban Akibat Beban Sendiri (MS) Struktur Atas dan Struktur Bawah

Table 4. 64 Rekapitulasi Analisa Beban Akibat Berat Sendiri Abutment

No.	Berat Sendiri	P _{MS} (kN)	M _{MS} (kN)
1	Struktur Atas		
	- Precast	4874,26	0,00
	- Cast In Situ	4816,57	0,00
2	Struktur Bawah		
	- Abutment	3315,26	-616,90
	- Wingwall	670,97	-2425,40

	- Backfill	736,70	-861,40
	Total precast =	4874,26	0,00
	Total cast in situ =	9539,50	-3903,70

4.10.3 Analisa Beban Mati Tambahan (MA) pada *Abutment*

Table 4. 65 Analisa Beban Mati Tambahan *Abutment*

Jenis	Parameter Volume				Berat	Satuan	Berat (kN)
	b (m)	t (m)	L (m)	n			
Lapis Aspal dan Overlay	10,50	0,05	50,00	1	22,00	kN/m ³	577,50
Genangan Air Hujan	13,00	0,05	50,00	1	9,80	kN/m	318,50
Parapet			50,00	2	6,75	kN/m	675,00
Railing			50,00	2	0,86	kN/m	86,00
						$W_{MA} =$	1657,00

a) Beban yang diterima pada 1 *abutment*,

$$\begin{aligned}
 P_{MA} &= W_{MA}/2 \\
 &= 1657/2 \\
 &= 828,50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b) Eksentrisitas tumpuan terhadap pondasi,

$$e = 0,00 \text{ m}$$

c) Momen yang timbul pada pondasi akibat beban mati tambahan,

$$\begin{aligned}
 M_{MA} &= P_{MA} * e \\
 &= 828,50 * 0 \\
 &= 0 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Analisa Tekanan Tanah pada *Abutment*, Evaluasi Penggunaan Tanah Eksisting Sebagai *Backfill Abutment*

Table 4. 66 Analisa Tekanan Tanah Pada Abutment

Komponen Tekanan	Notasi	Rumus	Titik Kerja Momen
Berat Sendiri Tanah	(T _r)	$\frac{\gamma}{2} * H^2 * Ka$	$\frac{H}{3}$
Kohesi Tanah	(T _c)	$-2 * c * \sqrt{Ka * H}$	$\frac{H}{2}$
Beban Luar Dari Permukaan	(T _q)	$q * Ka * H$	$\frac{H}{2}$

a) Parameter/data tanah eksisting

Berat volume (γ_s eksisting) = 18,00 kN/m³

Sudut geser (ϕ) = 18,00°

Kohesi (c) = 50,00 kPa

b) Perencanaan desain

Tinggi Abutment (H) = 5,375 m

Tinggi *Bottom Level* Pelat Injak ke Perkerasan (H_q) = 4,26 m

c) Detail perencanaan desain *bottom level* pelat injak ke perkerasan

Lebar Bidang Kontak Roda Truk (B_{KR}) = 500 mm

Tebal Lapis AC-WC = 40 mm

Tebal AC-BC = 60 mm

Tebal AC Base = 170 mm

Tebal Agregat Kelas A = 172,5 mm

Total Tebal Lapis Atas Pelat Injak = 442,5 mm

Tebal Pelat Injak = 300 mm

Sehingga, lebar bidang kontak roda truk (b')

= $b_{kr} + 442,5$

= 942,5 mm

d) Analisa beban dan gaya

Lebar kendaraan truk (SNI 1725:2016) = 9 hingga 14 m

= diasumsikan 12 m

Berdasarkan perhitungan pelat lantai sebelumnya, ban truk total (terfaktor FBD)

= 157,5 kN

Sehingga, koefisien Tekanan Aktif *Rankine* (K_a):

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\theta}{2} \right)$$

$$= 0,53 \text{ rad}$$

i. Tekanan akibat berat tanah

$$T_\gamma = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_a$$

$$= 137,81 \text{ kN/m}$$

ii. Tekanan akibat kohesi tanah

$$T_c = -2 * c * \sqrt{K_a} * H$$

$$= -391,31 \text{ kN/m}$$

iii. Tekanan akibat beban luar (truk)

$$T_q = q * K_a * H_q$$

dengan,

$$q = \frac{\text{Beban truk total}}{A}$$

$$= \frac{\text{Beban truk total}}{B_{kr} * b'}$$

$$= 13,125 \text{ kPa}$$

Seubtitusi q ke rumus tekanan akibat beban luar

$$T_q = 29,633 \text{ kN/m}$$

e) Perhitungan dan akumulasi tekanan

Dengan:

Panjang bersih ruang backfill *abutment*, $B_a = 18,10 \text{ m}$

Tekanan aktif tanah sepanjang *abutment* (TTA) = $T * B_a$

Table 4. 67 Akumulasi Tekanan

No.	Uraian Tekanan	Notasi	T (kN/m)	TTA (kN)	Titik Kerja Momen	y	MTA (kNm)
1.	Tekanan akibat berat tanah	T_γ	137,8	2494,3	$y = \frac{H}{2}$	2,7	6703,5
2.	Tekanan akibat kohesi tanah	T_c	391,3	7082,6	$y = \frac{H}{3}$	1,8	- 12689,7
3.	Tekanan beban luar (truk)	T_q	29,6	429,1	$y = \frac{H}{4}$	1,8	768,8
			Total =	- 4159,2			Total = - 5217,4

Direct =	-1,00	
Total =	4159,2	Total = 5217,4

Analisa Tekanan Tanah pada Abutment dengan Penggunaan Tanah Timbunan
Sebagai *Backfill*

Tinggi abutment (H)	= 5,38 m
Tinggi <i>back wall</i> atas	= h1
Tinggi <i>back wall</i> bawah	= h2
Tinggi <i>breast wall</i>	= h7
Tinggi <i>pilecap</i>	= h8
Lebar timbunan tanah (By')	= 11,80 m
Berat volume tanah (γ_s <i>granular</i>)	= 17,00 kN/m ³
Sudut gesek dalam (φ)	= 35,00°
Sudut gesek antara urugan dan dinding (δ)	= 25,00°
Sudut pada urugan (β)	= 0,00°
Sudut <i>back wall</i> terhadap garis horizontal (θ)	= 90,00°
Faktor pengurangan kekuatan ($K\varphi R$)	= 0,7
Sudut gesek efektif tanah,	
$\varphi'f$	= $\tan^{-1}(K\varphi R * \tan\varphi)$
	= $\tan^{-1}(0,7 * \tan 35^\circ)$
	= 26,11°

Koefiesin tekanan tanah aktif metode Mononobe Okabe,

$$K_{AE} = \frac{\sin^2(\theta + \varphi'f)}{\Gamma \sin^2 \theta \sin(\theta + \delta)}$$

dengan,

$$\begin{aligned} \Gamma &= \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi'f + \delta) \sin(\varphi'f - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \right] \\ &= \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(26,11^\circ + 25^\circ) \sin(26,11^\circ - 0^\circ)}{\sin(90^\circ - 25^\circ) \sin(90^\circ + 0^\circ)}} \right] \\ &= 1,61 \end{aligned}$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \varphi'f)}{\Gamma \sin^2 \theta \sin(\theta + \delta)}$$

$$= \frac{\sin^2(90^\circ + 26,11^\circ)}{\Gamma \sin^2 90^\circ \sin(90^\circ + 0^\circ)}$$

$$= 0,553$$

a) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi:

i. Gaya tekanan tanah aktif akibat beban tambahan (T_{TA1})

$$T_{TA1} = 0,7 * \gamma_s \text{ gran} * K_a * B y' * H$$

$$= 0,7 * 17 * 0,553 * 12,80 * H$$

$$= 84,233 * H$$

ii. Gaya tekanan tanah aktif akibat timbunan tanah (T_{TA2})

$$T_{TA2} = 0,5 * \gamma_s \text{ gran} * K_a * B y' * H$$

$$= 0,5 * 17 * 0,553 * 12,80 * H$$

$$= 60,166 * H$$

b) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Pilecap*

dengan

$$H'_{pilecap} = H$$

$$= 5,375 \text{ m}$$

No.	Uraian Tekanan	TTA (kN)	Titik Kerja Momen/ y (m)	MTA (kNm)
1.	$T_{TA1} = 84,233 * H'_{pilecap}$	452,752	$y = \frac{H'_{pilecap}}{2} = 2,69$	1217,903
2.	$T_{TA2} = 60,166 * H'_{pilecap}^2$	1738,233	$y = \frac{H'_{pilecap}}{3} = 1,79$	578,872
$TTA_{pilecap} =$		2190,985	$MTA_{pilecap} =$	1796,775

c) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Breast Wall*

dengan

$$H'_{breast} = H - H_8$$

$$= 4,375 \text{ m}$$

No.	Uraian Tekanan	TTA (kN)	Titik Kerja Momen/ y (m)	MTA (kNm)
1.	$T_{TA1} = 85,08 * H'_{breast}$	372,22	$y = \frac{H'_{breast}}{2} = 2,19$	814,23

No.	Uraian Tekanan	TTA (kN)	Titik Kerja Momen/ y (m)	MTA (kNm)
2.	$T_{TA2} = 85,08 * H'_{breast}{}^2$	1628,47	$y = \frac{H'_{breast}}{3} = 1,46$	2374,85
TTA <i>breast wall</i> =		2000,69	MTA <i>breast wall</i> =	3189,08

- d) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Back Wall* Bawah dengan

$$H'_{back\ wall\ bawah} = H_1 + H_2$$

$$= 2,452\ m$$

No.	Uraian Tekanan	TTA (kN)	Titik Kerja Momen/ y (m)	MTA (kNm)
1.	$T_{TA1} = 85,08 * H'_{bwb}$	208,61	$y = \frac{H'_{bwb}}{2} = 1,23$	255,76
2.	$T_{TA2} = 85,08 * H'_{bwb}{}^2$	511,52	$y = \frac{H'_{bwb}}{3} = 0,82$	418,08
TTA <i>back wall bawah</i> =		720,13	MTA <i>back wall bawah</i> =	673,84

- e) Analisa Gaya Tekanan Tanah yang Terjadi Pada *Back Wall* Atas dengan

$$H'_{back\ wall\ atas} = H_1$$

$$= 0,99\ m$$

No.	Uraian Tekanan	TTA (kN)	Titik Kerja Momen/ y (m)	MTA (kNm)
1.	$T_{TA1} = 85,08 * H'_{bwa}$	84,23	$y = \frac{H'_{bwa}}{2} = 0,50$	41,69
2.	$T_{TA2} = 85,08 * H'_{bwa}{}^2$	83,39	$y = \frac{H'_{bwa}}{3} = 0,33$	27,52
TTA <i>back wall atas</i> =		167,61	MTA <i>back wall atas</i> =	69,21

6. Analisa Beban Lalu Lintas pada *Abutment*

- a) Beban Terpusat Lajur "D"

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada bab tiga, telah dipilih batas-batas berdasarkan kriteria panjang bentang jembatan, sebagai berikut:

- Untuk $L > 30$ m, $q = 9 * \left(\frac{0,5+15}{L}\right)$
- Intensitas BGT, $p = 49 \text{ kN/m}$
- DLA $= 0,4 - 0,0025 * (L - 50)$

diketahui, Panjang balok, $L = 50$ m

Lebar area lalu lintas $= 16,50$ m

Maka beban beban terpusat lajur 'D',

$$WTD = (q * b_{lalin} * L * Fb) + (p * b_{lalin} * Fb * (1 + FBD))$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment, $P_{TD} = \frac{1}{2} * WTD$
- ii. Momen yang terjadi pada 1 abutment, $M_{TD} = P_{TD} * e$
Jarak eksentrisitas beban dari pusat fondasi, $e = 0,00$ m

Uraian	Notasi	Identitas Beban	Hasil	Satuan
Beban terpusat lajur "D"	P_{TD}	Beban Vertikal	3535,95	kN
	M_{TD}	Momen	0	kNm

b) Beban Pejalan Kaki

- Bentang jembatan (tumpuan-tumpuan), $L = 50$ m
- Lebar area pejalan kaki, $b_{ped} = 1,00$ m
- Jumlah area pedestrian, $n = 2$ area

Luas bidang pedestrian,

$$A = L * b_{ped} * n$$

$$= 50 * 1,4 * 2$$

$$= 140,00 \text{ m}^2 > 100 \text{ m}^2, \text{ sehingga } q = 2,00 \text{ kPa} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment, $P_{TP} = \frac{1}{2} * A * q$
- ii. Momen yang terjadi pada 1 abutment, $M_{TP} = P_{TD} * e$
Jarak eksentrisitas beban dari pusat fondasi, $e = 0,00$ m

Uraian	Notasi	Identitas Beban	Arah	Hasil	Satuan
Beban Pejalan Kaki (TP)	P_{TP}	Beban Vertikal	↓ atau +	140	kN
	M_{TP}	Momen	⊙ atau +	0	kNm

c) Gaya Rem (TB)

Berdasarkan klasifikasi pembebanan pada bab tiga, gaya rem (H_{TB}) yang digunakan adalah 250 kN, dianggap bekerja horizontal pada ketinggian 1,8 m ($y_{TB} = 1,8$ m) di atas permukaan jalan.

- Jumlah beban yang ditahan 1 abutment, $P_{TB} = \frac{1}{2} * TB$
- Momen yang terjadi pada 1 abutment, $M_{TB} = P_{TB} * y$
Jarak eksentrisitas beban dari pusat fondasi, $e = 0,00$ m
- Tinggi titik kerja momen yang terjadi.

$$y' = y_{TB} + Ht'_x = 1,8 + Ht'_x$$

Diketahui:

$$Ht'_{pilecap} = 5,375 \text{ m}$$

$$Ht'_{breastwall} = 4,375 \text{ m}$$

No.	Gaya Rem	P_{TB} (kN/m)	Arah	y' (m)	MTA (kNm)
a	b	$c = \frac{b}{2}$	d	e	f = c * e
1.	TB <i>pilecap</i> = 250 kN	125,00	⊙ atau +	$y = y_{TB} + Ht'_{pilecap} = 7,18$	896,88
2.	TB <i>breastwall</i> = 250 kN		⊙ atau +	$y = y_{TB} + Ht'_{breastwall} = 6,18$	771,88

7. Analisa Beban Akibat Lingkungan pada *Abutment*

a) Temperatur (ET)

Berdasarkan justifikasi pembebanan pada bab tiga, gaya temperatur digunakan/dipilih:

- $T_{max} = 40,00$
- $T_{min} = 15,00$

Data lain yang diperlukan:

- Koefisien muai panjang untuk beton, $\alpha = 0,00001^\circ\text{C}$

- Kekakuan geser elastomer bearing pad, $k = 17300 \text{ kN/m}$
- Panjang total girder, $L_{\text{balok}} = 50 \text{ meter}$
- Banyak girder, $n_{\text{balok}} = 7 \text{ buah}$

Perbedaan temperatur, ΔT

Beban temperatur, ET

- Jumlah beban yang ditahan 1 abutment, $TET = \frac{1}{2} * ET$
- Momen yang terjadi, $MET = TET * yET$
- Tinggi titik kerja momen yang terjadi, $y' = yET = Ht'_x$

Diketahui,

Pilecap, $Ht'_{\text{pilecap}} = 5,375 \text{ m}$

Breast wall, $Ht'_{\text{breastwall}} = 4,375 \text{ m}$

No.	Gaya Temperatur	TET (kN)	y' (m)	MET (kNm)
a	b	$c = \frac{b}{2}$	e	$f = c * e$
1.	$ET_{\text{pilecap}} = 1208,41 \text{ kN}$	604,20	5,375	671,88
2.	$ET_{\text{breastwall}} = 1208,41 \text{ kN}$		4,375	546,88

b) Beban Angin Struktur (EW)

Berdasarkan justifikasi pembebanan pada bab tiga, gaya temperatur digunakan/dipilih:

- Koefisien seret, $C_w = 1,20$
- Kecepatan angin rencana, $V_w = 35,00 \text{ m/s}$
- Titik kerja beban angin struktur terhitung dari titik tertinggi bidang samping jembatan

$y_{EW_{\text{str}}} = h_a$

Data lain yang diperlukan:

- Panjang bentang jembatan, $L = 50,00 \text{ m}$
- Tinggi bidang samping struktur, $h_a = h_{\text{balok}} + t_{\text{slab}} + t_{\text{railing}} = 4,00 \text{ m}$

Luas bidang samping,

$$Ab = L * ha$$

$$= 200,00 \text{ m}^2$$

Beban angin struktur,

$$EW_{str} = 0,006 * Cw * (Vw)^2 * Ab$$

$$= 176,40 \text{ kN}$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment, $TEW_{str} = \frac{1}{2} * EW_{str}$
- ii. Momen yang terjadi, $MEW_{str} = TEW_{str} * yEW_{str}$
- iii. Tinggi titik kerja momen yang terjadi, $y' = yEW_{str} = Ht'$

Diketahui,

$$Pilecap, \quad Ht'_{pilecap} = 5,375 \text{ m}$$

$$Breast wall, \quad Ht'_{breast wall} = 4,375 \text{ m}$$

No.	Beban Angin Struktur	TEW_{str} (kN)	y' (m)	MEW_{str} (kNm)
a	b	$c = \frac{b}{2}$	e	$f = c * e$
1.	$EW_{str} \text{ pilecap} = 176,40 \text{ kN}$	88,20	9,375	1171,88
2.	$EW_{str} \text{ breastwall} = 176,40 \text{ kN}$		8,375	1046,88

c) Beban Angin Kendaraan (EW_K)

Berdasarkan analisa awal terkait beban angin struktur (pada sub 4.1) digunakan/dipilih:

- Koefisien seret, $Cw = 1,20$
- Kecepatan angin rencana, $Vw = 35,00 \text{ m/s}$
- Titik kerja beban angin struktur terhitung dari titik tertinggi bidang samping jembatan, $yEW_k = hb$

Data lain yang diperlukan:

- Panjang bentang jembatan, $L = 50,00 \text{ m}$
- Tinggi bidang samping kendaraan, $hb = h_{balok} + t_{slab} + t_a$
 $= 2,45 \text{ m}$

Beban angin kendaraan,

$$EW_k = 0,0012 * Cw * (Vw)^2 * \frac{L}{2}$$

$$= 44,10 \text{ kN}$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment, $TEW_k = \frac{1}{2} * EW_k$
- ii. Momen yang terjadi, $MEW_k = TEW_k * yEW_k$
- iii. Tinggi titik kerja momen yang terjadi, $y' = yEW_k = Ht'_x$

Diketahui,

$$Pilecap, \quad Ht'_{pilecap} = 5,375 \text{ m}$$

$$Breast wall, \quad Ht'_{breast wall} = 4,375 \text{ m}$$

No.	Beban Angin Kendaraan	TEW_k (kN)	y' (m)	MEW_k (kNm)
a	b	$c = \frac{b}{2}$	e	$f = c * e$
1.	$EW_k \text{ pilecap} = 44,10 \text{ kN}$	22,05	7,83	172,54
2.	$EW_k \text{ breastwall} = 44,10 \text{ kN}$		6,83	150,49

d) Beban Vertikal Angin Akibat Transfer ke Pelat Lantai

Berdasarkan analisa awal terkait beban angin vertikal (pada sub 4.1) digunakan/dipilih:

- Koefisien seret, $Cw = 1,20$
- Kecepatan angin rencana, $Vw = 35,00 \text{ m/s}$
- Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2.00 m di atas lantai
- Jarak antara roda kendaraan, $x_{roda} = 1,75 \text{ m}$

Data lain yang diperlukan

- Panjang bentang jembatan, $L = 50,00 \text{ m}$
- Beban angin struktur, $EW_{str} = 88,20 \text{ kN}$

Beban angin vertikal,

$$EW = \left(\frac{h}{x_{roda}} * T * EW_{str} \right) * \frac{L}{2}$$

$$= 154,25 \text{ kN}$$

- i. Jumlah beban yang ditahan 1 abutment, $TEW = \frac{1}{2} * EW$

- ii. Momen yang terjadi, $MEW = TEW * e$
 iii. Jarak eksentris beban dari pusat pondasi, $e = 0,00 m$

Diketahui,

$$Pilecap, \quad Ht'_{pilecap} = 5,375 m$$

$$Breast wall, \quad Ht'_{breast wall} = 4,375 m$$

No.	Beban Angin Kendaraan	TEW_k (kN)
a	b	$c = \frac{b}{2}$
1.	$EW_{pilecap} = kN$	
2.	$EW_{breastwall} = kN$	

- e) Beban Gempa Vertikal (EQ_v)

Berdasarkan SNI 2833 (2016) gempa vertikal dihitung dari 10% reaksi beban permanen, dimana beban permanen merupakan beban mati sendiri dan beban mati tambahan. Dari perhitungan sebelumnya diperoleh data sebagai berikut:

- Reaksi perletakan beban mati struktur atas, $PMS_{atas} = 9690,83 kN$
- Reaksi perletakan beban mati tambahan, $PMA = 1076,18 kN$

Adapun perhitungan gempa vertikal adalah sebagai berikut:

$$P_{EQ_v} = 10\% * (PMS_{atas} + PMA)$$

$$= 1076,70 kN$$

Jarak eksentrisitas beban dari pusat pondasi:

$$e = 0,00$$

Sehingga momen akibat gempa vertikal:

$$M_{EQ_v} = P_{EQ_v} * e$$

$$= 0 kNm$$

- f) Beban Gempa Horizontal Arah X (EQ_x) dan Arah Y (EQ_y)

- i. Beban Gempa Horizontal Arah X (EQ_x)

$$\text{Tinggi } breast wall, \quad L_{brwall} = h7 - \text{tebal pilecap}$$

$$= 1,77 m$$

$$\text{Ukuran } breast wall, \quad b = 13,00 m$$

$$h = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Inersia } breast \text{ wall, } I_{c_{brwall}} = \frac{1}{12} * b * h^3 = 1,61 \text{ m}^4$$

$$\text{Kuat tekan beton rencana, } f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton, } E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 27805,57 \text{ MPa}$$

$$\text{Nilai kekakuan, } K_{p_x} = 3 * E_c * I_c / L_{bwall}^3 = 24071490,97 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tetapan besaran gravitasi, } g = 9,80 \text{ m/det}$$

Rekapitulasi perhitungan berat struktur:

No.	Jenis Beban	Notasi	Besaran (kN)
1.	Total beban sendiri struktur atas	P MS _{atas}	9690,83 kN
2.	Total beban sendiri struktur bawah	P MS _{bawah}	4722,93 kN
3.	Beban mati tambahan	P MA	1076,18 kN
4.	Beban lajur	P TD	3535,95 kN

Berat total yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan

$$W_t = P MS_{atas} + \frac{1}{2} * P MS_{bawah} = 12052,30 \text{ kN}$$

Waktu getar alami struktur kondisi arah x

$$T_x = 2 * \pi * \left(\frac{\sqrt{W_t}}{g * K_{p_x}} \right) = 0,04 \text{ detik}$$

Koefisien respon gempa elastis spektrum desain

$$C = A_s + (SDS - A_s) * \frac{T_x}{T_0} = 0,39$$

Faktor modifikasi gempa

$$R = 2,0$$

Tekanan akibat gaya gempa

$$TEQ_x = \frac{C}{R} * (PMS_{atas} + PMA + (0,3 * PTD)) = 2321,507 \text{ kN}$$

Momen akibat tekanan gaya gempa

$$MEQ_x = TEQ_x * y_3$$

Gaya Gempa Horizontal Arah X (EQhx)	TEQhx (kN)	$y = Ht'_x$ (m)	MEQhx (kNm)
a	b	c	d = b x c
Pada <i>breast wall</i>	2321,51	1,77	4116,03

ii. Beban Gempa Horizontal Arah Y (EQy)

Inersia *breast wall*, $I_{cbrwall}$

Nilai kekakuan, K_{py}

Waktu getar alami struktur kondisi arah y

$$T_y = 2 * \pi * \left(\frac{\sqrt{Wt}}{g * K_{py}} \right)$$

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

Koefisien respon gempa elastis spektrum desain

$$C = A_s + (SDS - A_s) * \frac{T_y}{T_0}$$

$$= 0,35$$

Faktor modifikasi gempa

$$R = 2,0$$

Tekanan akibat gaya gempa

$$TEQ_y = \frac{C}{R} * (PMS_{atas} + PMA + (0,3 * PTD))$$

Momen akibat tekanan gaya gempa

$$MEQ_y = TEQ_y * y$$

Gaya Gempa Horizontal Arah Y (EQhy)	TEQhy (kN)	$y = Ht'_y$ (m)	MEQhy (kNm)
a	b	c	d = b x c
Pada <i>breast wall</i>	2321,51	1,77	4116,03

g) Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa

Dari perhitungan tekanan gaya gempa arah x dan perhitungan tekanan tanah pada sebelumnya didapatkan:

- Koefisien respon gempa elastis, $C = 0,39$

Berdasarkan data sebelumnya:

- Tinggi struktur abutment, $H = 5,375 \text{ m}$
- Tinggi tanah rencana/tinjauan:
 - H' *back wall atas* $= h1 = 0,990 \text{ m}$
 - H' *back wall bawah* $= h1 + h2 = 2,452 \text{ m}$
 - H' *breast wall* $= H - h8 = 4,375 \text{ m}$
 - H' *pilecap* $= H = 5,375 \text{ m}$
- Lebar timbunan tanah, $B'y' = By - 2 * h_{ww} = 11,80$
- Berat volume tanah timbunan, $ws = 17,00 \text{ kN/m}^3$
- Sudut gesek dalam tanah timbunan, $\varphi = 35,00^\circ$
- Sudut gesek antara urugan dan dinding, $\delta = 25^\circ$
- Sudut kemiringan timbunan, $i = 0^\circ$
- Koefisien percepatan vertikal, $kv = 0^\circ$
- Kemiringan dinding abutment, $\beta a = 0^\circ$

Besar sudut tekanan gempa (θ) akibat koefisien respon gempa elastis

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1}(Csmx) \\ &= 21,43^\circ\end{aligned}$$

Koefisien tekanan aktif seismik dihitung dengan,

$$\begin{aligned}KAE &= \frac{\cos^2(\varphi - \theta - \beta a)}{\cos\theta \cos^2\beta a \cos(\delta + \theta + \beta a)} * \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \theta - i)}{\cos(\delta + \theta + \beta a) \cos(i - \beta a)}} \right) \\ &= 0,619 \\ B' &= \frac{(\gamma s * H * (1 - k) * KAE) * (h2 - h1)}{h2} \\ &= \frac{(17 * 5,375 * 0,619) * (5,375 - H' \text{tinjauan})}{5,375}\end{aligned}$$

Untuk:

$$B' \text{ tekanan aktif seismik pada } \textit{back wall atas}, \quad B' \text{bwa} = 46,122 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 B' \text{ tekanan aktif seismik pada } \textit{back wall bawah}, & \quad B'_{bwb} = 30,744 \text{ kN/m}^2 \\
 B' \text{ tekanan aktif seismik pada } \textit{breast wall}, & \quad B'_{brwall} = 10,518 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan tanah dinamis akibat gempa sebagai berikut:

- i. TEQ_1 (*pilecap, breast wall, back wall atas, back wall bawah*)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} * (ws * H' \textit{tinjauan} * (1 - kv) * KAE) * H' \textit{tinjauan} * By \\
 &= 95,32 * (H' \textit{tinjauan})^2
 \end{aligned}$$
- ii. TEQ_2 (*breast wall, back wall atas, back wall bawah*)

$$\begin{aligned}
 &= B' \textit{tinjauan} * H' \textit{tinjauan} * By \\
 &= 11,8 * B' \textit{tinjauan} * H' \textit{tinjauan}
 \end{aligned}$$

Table 4. 68 Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada Struktur

Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada Pilecap					
No.	Tekanan Tanah Dinamis	T _{TEQ} (kN)	Titik Kerja Momen	y (m)	M _{TA} (kNm)
a	b	c	d	e	f = c x e
1.	$TEQ_1 = 95,32 * H'_{pilecap}$	2750,96	$y = 2 * \frac{H'_{abutment}}{3}$	3,58	9855,56
	TTEQ _{pilecap} =	2750,39	MTEQ _{pilecap} =		9855,56

Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada <i>Breast Wall</i>					
No.	Tekanan Tanah Dinamis	T _{TEQ} (kN)	Titik Kerja Momen	y (m)	M _{TA} (kNm)
a	b	c	d	e	f = c x e
1.	$TEQ_1 = 95,32 * H'_{breast}$	1822,19	$y = \frac{H'_{breast\ wall}}{2}$	2,19	3986,04
2.	$TEQ_2 = 18,1 * B'_{breast} * H'_{breast}$	832,91	$y = \frac{H'_{breast\ wall}}{3}$	1,46	1214,67
	TTEQ _{breast} =	2655,10	MTEQ _{breast} =		5200,70

Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada <i>Back Wall</i> Bawah					
No.	Tekanan Tanah Dinamis	T _{TEQ} (kN)	Titik Kerja Momen	y (m)	M _{TA} (kNm)
a	b	c	d	e	f = c x e
1.	TEQ1 = 95,32 x H' bwall bawah	572,37	$y = \frac{H' \text{back wall bawah}}{2}$	1,23	701,73
2.	TEQ2 = 18,1 x B' bwall bawah x H' bwall bawah =	1364,49	$y = \frac{H' \text{back wall bawah}}{3}$	0,82	1115,25
	TTEQ bwall bawah =	1936,86		MTEQ bwall bawah =	1816,97

Tinjauan Tekanan Tanah Dinamis Pada <i>Back Wall</i> Atas					
No.	Tekanan Tanah Dinamis	T _{TEQ} (kN)	Titik Kerja Momen	y (m)	M _{TA} (kNm)
a	b	c	d	e	f = c x e
1.	TEQ1 = 95,32 x H' bwall atas	93,31	$y = \frac{H' \text{back wall atas}}{2}$	0,50	46,19
2.	TEQ2 = 18,1 x B' bwall atas x H' bwall atas =	826,47	$y = \frac{H' \text{back wall atas}}{3}$	0,33	272,73
	TTEQ bwall atas =	919,77		MTEQ bwall atas =	318,92

6. Analisa Beban Akibat Aksi Lainnya, Gesekan Pada Perletakan (FB)

Direncanakan elastomer berdimensi 600 x 450 x 120 mm, dengan berdasarkan lembar pengujian pada Lampiran x. didapatkan kekakuan geser sebesar 17300 kN/m, kelengkapan profil antara lain sebagai berikut:

- Tebal pelat baja = 5 mm
- Tebal lapisan karet = 12 mm
- Jumlah lapisan karet = 5 buah

Data lain yang dibutuhkan:

- Koefisien muai panjang beton pada pelat lantai, α = 0,000011
- Panjang bentang jembatan, L = 50,00 m
- Suhu maksimum desain, T_{max} = 40
- Suhu minimum desain, T_{min} = 15

Nilai kekakuan geser (K)

$$K = \text{kekakuan geser} \times \text{jumlah lapis} \\ = 86500 \text{ kN/m}^3$$

Muai jembatan akibat temperatur (ΔT)

$$\Delta T = \alpha \times L \times (T_{max} - T_{min}) \\ = 0,01$$

a) Gaya gesek pada perletakan (TFB)

$$TFB = \Delta T \times K \\ = 1189,38 \text{ kN}$$

Lengan terhadap fondasi (YFB_{pcap})

$$YFB_{pcap} = h_7 + \text{tebal elastomer} \\ = 2,88 \text{ m}$$

Lengan terhadap breast wall (YFB_{breast})

$$YFB_{breast} = YFB_{pcap} - \text{tebal } h_8$$

$$= 1,88 \text{ m}$$

b) Momen yang terjadi:

$$MFB_i = TFB \times YFB_i$$

$$\text{Momen pada fondasi, } MFB_{pcap} = 3428,97 \text{ kN}$$

$$\text{Momen pada breast wall, } MFB_{breast} = 2239,59 \text{ kN}$$

7. Rekapitulasi beban pada abutment

Table 4. 69 Rekapitulasi Beban Pada Abutment

No	Beban	Kode	Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	
6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	

No	Beban	Kode	Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	77,18		88,20	0,00	1171,88
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL			22,05		172,54
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	1076,70			0,00	
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh		2321,51	2067,20	4116,03	3665,15
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ		2750,39		9855,56	
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	

8. Kombinasi Pembebanan Tak Terfaktor

Table 4. 70 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat I

No	Beban	Kode	KUAT I				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			- 3903,70	

No	Beban	Kode	KUAT I				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	
6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			19165,89	4833,86	0,00	4283,10	0,00

Table 4. 71 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat II

No	Beban	Kode	KUAT II				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	P (kN)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	
6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					

10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			15567,11	4708,86	88,20	3386,22	1171,88

Table 4. 73 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat IV

No	Beban	Kode	KUAT IV				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD					
6	Beban Pedestrian	TP					
7	Gaya Rem	TB					

C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			15489,94	4708,86	0,00	3386,22	0,00

Table 4. 74 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Kuat V

No	Beban	Kode	KUAT V				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	

B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD					
6	Beban Pedestrian	TP					
7	Gaya Rem	TB					
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	77,18		88,20		1171,88
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL			22,05		172,54
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			15567,11	4708,86	110,25	3386,22	1344,42

Table 4. 75 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Ekstrem I

No	Beban	Kode	EKSTREM I				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					

2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	
6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG					
9	Beban Angin pada Struktur	EWS					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	1076,70			0,00	
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh		2321,51	2067,20	4116,03	3665,15
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ		2750,39		9855,56	
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			20242,59	9301,56	2067,20	17582,81	3665,15

Table 4. 76 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan I

No	Beban	Kode	LAYAN I				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	
6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	77,18		88,20		1171,88
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL			22,05		172,54
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					

12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			19243,06	4833,86	110,25	4283,10	1344,42

Table 4. 77 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan II

No	Beban	Kode	LAYAN II				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	
6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG					

9	Beban Angin pada Struktur	EWS					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			19165,89	4229,66	0,00	3611,22	0,00

Table 4. 78 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan III

No	Beban	Kode	LAYAN III				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	

6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			19165,89	4833,86	0,00	4283,10	0,00

Table 4. 79 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Layan IV

No	Beban	Kode	LAYAN IV				
			Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
A	Akibat Tetap						
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS					
1.a	Beton pracetak		4874,26			0,00	
1.b	Beton cor di tempat		4816,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak		0,00			0,00	
2.b	Beton cor di tempat		4722,93			-3903,70	

3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18			0,00	
4	Tekanan Tanah	TA		2915,29		3189,08	
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD					
6	Beban Pedestrian	TP					
7	Gaya Rem	TB					
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	77,18		88,20		1171,88
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF		1189,38		3428,97	
			15567,11	4708,86	88,20	3386,22	1171,88

Table 4. 80 Rekapitulasi Pembebanan Tak Terfaktor Kombinasi Fatik

No	Beban	Kode	FATIK			
			Vertikal	Horisontal		Momen
			P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)
A	Akibat Tetap					
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS				

1.a	Beton pracetak						
1.b	Beton cor di tempat						
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS					
2.a	Beton pracetak						
2.b	Beton cor di tempat						
3	Beban Mati Tambahan	MA					
4	Tekanan Tanah	TA					
B	Akibat Beban Lalu Lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95			0,00	
6	Beban Pedestrian	TP	140,00			0,00	
7	Gaya Rem	TB		125,00		896,88	
C	Akibat Lingkungan						
8	Temperatur	TG					
9	Beban Angin pada Struktur	EWS					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh					
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ					
D	Akibat Lainnya						
14	Gesekan Perletakan	BF					
			3675,95	125,00	0,00	896,88	0,00

9. Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan Tak Terfaktor Pada Pilecap

Tabel 4. 105 Rekapitulasi Kombinasi Pembebanan Tak Terfaktor Pada Pilecap

No.	Keadaan Batas	Vertikal	Horisontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	Kuat I	19165,89	4833,86	0,00	4283,10	0,00
2	Kuat II	19165,89	4833,86	0,00	4283,10	0,00
3	Kuat III	15567,11	4708,86	88,20	3386,22	1171,88
4	Kuat IV	15489,94	4708,86	0,00	3386,22	0,00
5	Kuat V	15567,11	4708,86	110,25	3386,22	1344,42
6	Ekstrem I	20242,59	9301,56	2067,20	17582,81	3665,15
8	Daya Layan I	19243,06	4833,86	110,25	4283,10	1344,42
9	Daya Layan II	19165,89	4229,66	0,00	3611,22	0,00
10	Daya Layan III	19165,89	4833,86	0,00	4283,10	0,00
11	Daya Layan IV	15567,11	4708,86	88,20	3386,22	1171,88
12	Fatik	3675,95	125,00	0,00	896,88	0,00

10. Perhitungan Kapasitas Struktur Penahan (Sebagai Kontrol Stabilitas

Abutment)

Eksentrisitas beban terhadap fondasi, $e = m$

-1,50

Badan Abutment

Table 4. 81 Analisa Perhitungan Berat Sendiri Abutment sebagai Kapasitas Penahan

No.	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
	b	h	Shape	Direc			
1	0,30	0,99	1,00	-1,00	143,30	2,30	-329,60
2	0,50	1,46	1,00	-1,00	352,71	2,40	-846,50
3	0,65	0,70	1,00	-1,00	219,54	2,32	-510,42
4	0,65	0,40	0,50	-1,00	62,73	2,22	-139,04
5	0,30	0,30	1,00	1,00	43,43	2,15	93,36
6	0,30	0,30	0,50	1,00	21,71	2,10	45,60
7	1,00	2,77	1,00	-1,00	1337,97	1,50	-2006,96
8	1,00	1,00	1,00	-1,00	482,50	2,50	-1206,25
9	1,00	1,00	1,00	1,00	482,50	2,50	1206,25
10	1,00	0,35	1,00	-1,00	168,88	1,50	-253,31
P MS ₁ =					3315,26	M MS ₁ =	-3946,88

Wing Wall

Table 4. 82 Analisa Perhitungan Berat Sendiri Wing Wall sebagai Kapasitas Penahan

NO	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
	b	h	Shape	Direc			
16	0,55	0,99	1,00	-1,00	167,54	5,000	-837,71
17	0,35	3,39	1,00	-1,00	364,55	5,100	-1859,19
18	0,65	0,40	0,50	-1,00	40,00	2,433	-97,34
19	0,65	0,82	1,00	-1,00	164,60	6,033	-993,11
PMS _{ww1} =					736,70	MMS _{ww1} =	-3787,36

$$\Sigma PMS = 4051,96 \quad \Sigma MMS = -7734,24$$

11. Rekapitulasi Beban Vertikal Dengan Lengan Gaya Pada Ujung Pilecap Untuk Kontrol Stabilitas

Table 4. 83 Rekapitulasi Beban Vertikal Akibat Lengan Gaya Pada Ujung Pilecap

No	Beban	Kode	P/Vertikal (kN)	Lengan O (m)	Momen (kNm)
A	Akibat Tetap				
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS			
1.a	Beton pracetak		4874,26	-1,50	-7311,39
1.b	Beton cor di tempat		4816,57	-1,50	-7224,86
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS			
2.a	Beton pracetak		0,00	Varies	0,00
2.b	Beton cor di tempat		4051,96	Varies	-7734,24
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18	-1,50	-1614,26
4	Tekanan Tanah	TA			
B	Akibat Beban Lalu Lintas				
5	Beban Lajur	TD	3535,95	-1,50	-5303,93
6	Beban Pedestrian	TP	140,00	-1,50	-210,00
7	Gaya Rem	TB			
C	Akibat Lingkungan				
8	Temperatur	TG			
9	Beban Angin pada Struktur	EWS			
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL			
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	1076,70	-1,50	-1615,05
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh			
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ			
D	Akibat Lainnya				
14	Gesekan Perletakan	BF			
		$\Sigma P =$	19571,62	$\Sigma M =$	-31013,73

Table 4. 84 Faktor Pembebanan SNI 1725:2016

No	Aksi / Beban	Kode	FAKTOR PEMBEBANAN SNI 1725:2016										
			K.I	K.II	K.III	K.IV	K.V	E.I	L.I	L.II	L.III	L.IV	F
A	Aksi Tetap												
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS											
1a	Beton pracetak		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	-
1b	Beton cor di tempat		1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	-
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS											
2a	Beton pracetak		1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	-
2b	Beton cor di tempat		1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,00	1,00	1,00	1,00	-
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,00	1,00	1,00	1,00	-
4	Tekanan Tanah	TA	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	-
B	Beban Lalu-lintas												
5	Beban Lajur	TD	1,80	1,40	-	-	-	0,30	1,00	1,30	0,80	-	0,75
6	Beban Pedestrian	TP	1,80	1,40	-	-	-	0,30	1,00	1,30	0,80	-	0,75
7	Gaya Rem	TB	1,80	1,40	-	-	-	0,30	1,00	1,30	0,80	-	0,75
C	Aksi Lingkungan												
8	Temperatur	TG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,50	-	0,50	1,00	-
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-	-	1,40	-	0,40	-	0,30	-	-	0,70	-
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-	-	-	-	1,00	-	1,00	-	-	-	-
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-

D	Aksi Lainnya												
14	Gesekan	BF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-

218

12. Faktor Pembebanan Untuk Struktur Penahan (Beban Vertikal Dengan Lengan Eksentris $\frac{1}{2}$ Bx)

Table 4. 85 Kombinasi dan Faktor Pembebanan Terhadap Struktur Penahan Dengan Lengan Eksentris $\frac{1}{2}$ Bx

No	Kode	TAK TERFAKTOR		K.I	K.II	K.III	K.IV	K.V	E.I	L.I	L.II	L.III	L.IV	F
		P (kN)	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
A														
1	MS													
1a		4874,26	-7311,39	-8773,67	-8773,67	-8773,67	-8773,67	-8773,67	-8773,67	-7311,39	-7311,39	-7311,39	-7311,39	-
1b		4816,57	-7224,86	-9392,31	-9392,31	-9392,31	-9392,31	-9392,31	-9392,31	-7224,86	-7224,86	-7224,86	-7224,86	-
2	MS													
2a		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2b		4051,96	-7734,24	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-7734,24	-7734,24	-7734,24	-7734,24	-
3	MA	1076,18	-1614,26	-2905,67	-2905,67	-2905,67	-2905,67	-2905,67	-2905,67	-1614,26	-1614,26	-1614,26	-1614,26	-
4	TA													
B														
5	TD	3535,95	-5303,93	-9547,07	-7425,50	-	-	-	-1591,18	-5303,93	-6895,10	-4243,14	-	-3977,94
6	TP	140,00	-210,00	-378,00	-294,00	-	-	-	-63,00	-210,00	-273,00	-168,00	-	-157,50
7	TB													
C														
8	TG													
9	EWS													
10	EWL													
11	EQv	1076,70	-1615,05	-	-	-	-	1076,70	-1615,05	-	-	-	-	-
12	EQh													
13	TTEQ													
D														
14	BF													
	$\Sigma =$	19571,62	-31013,73	-41051,23	-38845,66	-31126,17	-31126,17	-30049,47	-34395,39	-29398,67	-31052,85	-28295,89	-23884,75	-4135,44

17. Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Memanjang Jembatan

Table 4. 86 Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Memanjang Jembatan

No.	Keadaan Batas	Penahan	Pengguling	SF	Keterangan
		ΣM_w (kN.m)	ΣM_x (kN.m)		
a	b	c	d	e = c/d	f
1	Kuat I	-41051,23	4283,10	9,584	OK, SF > 1,5
2	Kuat II	-38845,66	4283,10	9,070	OK, SF > 1,5
3	Kuat III	-31126,17	3386,22	9,192	OK, SF > 1,5
4	Kuat IV	-31126,17	3386,22	9,192	OK, SF > 1,5
5	Kuat V	-30049,47	3386,22	8,874	OK, SF > 1,5
6	Ekstrem I	-34395,39	17582,81	1,956	OK, SF > 1,5
7	Daya Layan I	-29398,67	4283,10	6,86	OK, SF > 1,5
8	Daya Layan II	-31052,85	3611,22	8,60	OK, SF > 1,5
9	Daya Layan III	-28295,89	4283,10	6,61	OK, SF > 1,5
10	Daya Layan IV	-23884,75	3386,22	7,05	OK, SF > 1,5
111	Fatik	-4135,44	896,88	4,61	OK, SF > 1,5

18. Stabilitas Guling Abutment Arah Melintang Jembatan

Table 4. 87 Rekapitulasi Beban Vertikal Akibat Lengan Gaya Pada 1/2 By Abutment

No	Aksi / Beban	Kode	Gaya P/Vertikal (kN)	Lengan O (m) = 1/2 By	Momen (kNm)
A	Aksi Tetap				
1	Berat Sendiri Struktur Atas	MS			
1a	Beton pracetak		4874,26	-9,65	-47036,61
1b	Beton cor di tempat		4816,57	-9,65	-46479,91
2	Berat Sendiri Struktur Bawah	MS			
2a	Beton pracetak		0,00	-9,65	0,00
2b	Beton cor di tempat		4051,96	-9,65	-7734,24
3	Beban Mati Tambahan	MA	1076,18	-9,65	-10385,09
4	Tekanan Tanah	TA			
B	Beban Lalu-lintas				
5	Beban Lajur	TD	3535,95	-9,65	-34121,92
6	Beban Pedestrian	TP	140,00	-9,65	-1351,00
7	Gaya Rem	TB			
C	Aksi Lingkungan				
8	Temperatur	TG			
9	Beban Angin pada Struktur	EWS			
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL			
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	1076,70	-9,65	-10390,16
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh			
13	Tekanan Tanah Dinamis	TTEQ			
D	Aksi Lainnya				
14	Gesekan	BF			
		Σ =	19571,62		-157498,93

Table 4. 88 Kombinasi dan Faktor Pembebanan Terhadap Struktur Penahan Dengan Lengan Eksentris 1/2 By

No	Kode	TAK TERFAKTOR		K.I	K.II	K.III	K.IV	K.V	E.I	L.I	L.II	L.III	L.IV	F
		P (kN)	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
A														
1	MS													
1a		4874,26	-47036,61	-56443,93	-56443,93	-56443,93	-56443,93	-56443,93	-56443,93	-47036,61	-47036,61	-47036,61	-47036,61	-
1b		4816,57	-46479,91	-60423,89	-60423,89	-60423,89	-60423,89	-60423,89	-60423,89	-46479,91	-46479,91	-46479,91	-46479,91	-
2	MS													
2a		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
2b		4051,96	-7734,24	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-10054,51	-7734,24	-7734,24	-7734,24	-7734,24	-
3	MA	1076,18	-10385,09	-18693,16	-18693,16	-18693,16	-18693,16	-18693,16	-18693,16	-10385,09	-10385,09	-10385,09	-10385,09	-
4	TA													
B														
5	TD	3535,95	-34121,92	-61419,45	-47770,68	-	-	-	-10236,58	-34121,92	-44358,49	-27297,53	-	-25591,44
6	TP	140,00	-1351,00	-2431,80	-1891,40	-	-	-	-405,30	-1351,00	-1756,30	-1080,80	-	-1013,25
7	TB													
C														
8	TG													
9	EWS													
10	EWL													
11	EQv	1076,70	-10390,16	-	-	-	-	-	-10390,16	-	-	-	-	-
12	EQh													
13	TTEQ													
D														
14	BF													
	Σ =	19571,62	-157498,93	-209466,74	-195277,57	-145615,49	-145615,49	-145615,49	-166647,53	-147108,77	-157750,64	-140014,18	-111635,85	-26604,69

Table 4. 89 Kontrol Stabilitas Guling Abutment Arah Melintang Jembatan

No.	Keadaan Batas	Penahan	Pengguling	SF	Keterangan
		ΣM_w (kN.m)	ΣM_x (kN.m)		
a	B	c	d	e = c/d	f
1	Kuat I	209466,74	-	-	My = 0
2	Kuat II	195277,57	-	-	My = 0
3	Kuat III	145615,49	1171,88	124,26	OK, SF > 1,5
4	Kuat IV	145615,49	-	-	My = 0
5	Kuat V	145615,49	1344,42	108,31	OK, SF > 1,5
6	Ekstrem I	166647,53	3665,15	45,47	OK, SF > 1,5
7	Daya Layan I	147108,77	1344,42	109,42	OK, SF > 1,5
8	Daya Layan II	157750,64	-	-	My = 0
9	Daya Layan III	140014,18	-	-	My = 0
10	Daya Layan IV	111635,85	1171,88	95,26	OK, SF > 1,5
11	Fatik	26604,69	-	-	My = 0

19. Stabilitas Abutment Terhadap Geser

a) Stabilitas Geser Memanjang Abutment

$$B_x = 3,00 \text{ m}$$

$$B_y = 19,30 \text{ m}$$

Profil tanah backfill:

- Kohesi, c = 0,00
- Sudut gesek dalam, Φ = 35
- Tan Φ = 0,70

Tabel 4. 115 Kontrol Stabilitas Geser Abutment Arah Memanjang Jembatan

No.	Keadaan Batas	Beban Tak Terfaktor			SF (tanah eksisting)	Keterangan
		ΣP (kN)	Gaya penahan geser ΣHP (kN)	ΣT_x (kN)		
a	b	c	$d = c * B_x * B_y + \Sigma P * \tan \Phi$	e	$f = d/e$	g
1	Kuat I	19165,89	13420,10	4833,86	2,78	OK, SF > 1,5
2	Kuat II	19165,89	13420,10	4833,86	2,78	OK, SF > 1,5
3	Kuat III	15567,11	10900,21	4708,86	2,31	OK, SF > 1,5
4	Kuat IV	15489,94	10846,17	4708,86	2,30	OK, SF > 1,5
5	Kuat V	15567,11	10900,21	4708,86	2,31	OK, SF > 1,5
6	Ekstrem I	20242,59	14174,01	9301,56	1,52	OK, SF > 1,5
8	Daya Layan I	19243,06	13474,14	4833,86	2,79	OK, SF > 1,5
9	Daya Layan II	19165,89	13420,10	4229,66	3,17	OK, SF > 1,5
10	Daya Layan III	19165,89	13420,10	4833,86	2,78	OK, SF > 1,5
11	Daya Layan IV	15567,11	10900,21	4708,86	2,31	OK, SF > 1,5
12	Fatik	3675,95	2573,93	125,00	20,59	OK, SF > 1,5

Tabel 4. 116 Kontrol Stabilitas Geser Abutment Arah Melintang Jembatan

No.	Keadaan Batas	Beban Tak Terfaktor			SF (tanah eksisting)	Keterangan
		ΣP (kN)	Gaya penahan geser ΣHP (kN)	ΣT_x (kN)		
a	b	c	$d = c * B_x * B_y + \Sigma P * \tan \Phi$	e	$f = d/e$	g
1	Kuat I	19165,89	13420,10	-	-	$T_y = 0$
2	Kuat II	19165,89	13420,10	-	-	$T_y = 0$
3	Kuat III	15567,11	10900,21	123,48	88,28	OK, SF > 1,5
4	Kuat IV	15489,94	10846,17	-	-	$T_y = 0$
5	Kuat V	15567,11	10900,21	57,33	190,13	OK, SF > 1,5
6	Ekstrem I	20242,59	14174,01	2067,20	6,86	OK, SF > 1,5
8	Daya Layan I	19243,06	13474,14	48,51	277,76	OK, SF > 1,5
9	Daya Layan II	19165,89	13420,10	-	-	$T_y = 0$
10	Daya Layan III	19165,89	13420,10	-	-	$T_y = 0$
11	Daya Layan IV	15567,11	10900,21	61,74	176,55	OK, SF > 1,5
12	Fatik	3675,95	2573,93	-	-	$T_y = 0$

20. Breast Wall

a) Berat sendiri breast wall

- $B_y = 19,30 \text{ m}$
- $\gamma_{\text{beton}} = 25,00 \text{ kN/m}^3$

Table 4. 90 Analisa Berat Sendiri Breast Wall

No.	Parameter		Berat (kN)
	b	h	
1	0,30	0,990	143,30
2	0,50	1,462	352,71
3	0,65	0,700	219,54
4	0,65	0,400	125,45
5	0,30	0,300	43,43
6	0,30	0,300	43,43
7	1,00	2,773	1337,97
P MS =			2265,82
e =			0,00
M MS = e x P MS =			0,00

b) Rekapitulasi beban yang bekerja pada breast wall (tak terfaktor)

Table 4. 91 Rekapitulasi Beban Bekerja Pada Breast Wall

No	Aksi / Beban	Kode	Vertikal	Horisontal		Momen	
			P (kN)	Tx	Ty	Mx	My
A	Aksi Tetap						
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	2265,82			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}					
2a	Beton pracetak		4874,26				
2b	Beton cor di		4816,57				
3	Beban Mati	MA	1076,18				
4	Tekanan Tanah	TA		2000,69		3189,08	
B	Beban Lalu-lintas						
5	Beban Lajur	TD	3535,95				
6	Beban	TP	140,00				
7	Gaya Rem	TB		125,00		771,88	

C	Aksi Lingkungan						
8	Temperatur	TG		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	77,18		88,20		1046,88
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL			22,05		150,49
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	1076,70			0,00	
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh		2321,51	2067,20	4116,03	3665,15
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ		2655,10		5200,70	
D	Aksi Lainnya						
14	Gesekan	BF		1189,38		2239,59	

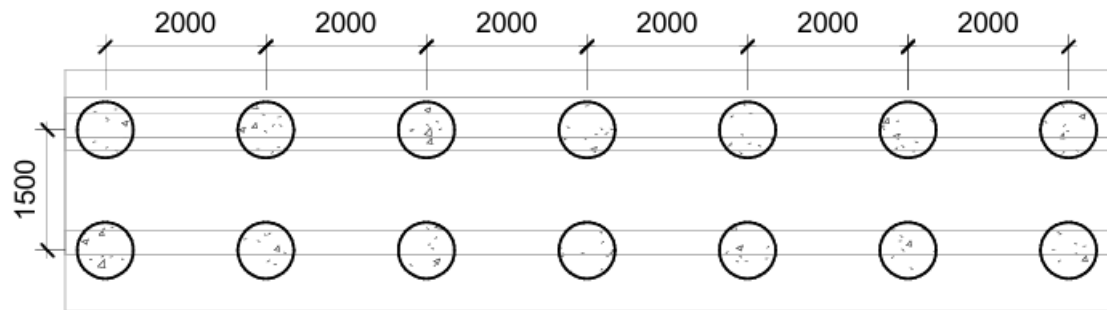


Table 4. 92 Rekapitulasi Faktor Pembebanan K

ombinasi Kuat I Pada Breast Wall

Kuat I								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A Aksi Tetap								
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,30	2945,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,20	5849,11				
2b	Beton cor di tempat		1,30	6261,54				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,80	1937,12				
4	Tekanan Tanah	TA	1,20		2400,82		3826,90	
B Beban Lalu-lintas								
5	Beban Lajur	TD	1,80	6364,71				
6	Beban Pedestrian	TP	1,80	252,00				

7	Gaya Rem	TB	1,80		225,00		1389,38		
C	Aksi Lingkungan								
8	Temperatur	TG	0,00		0,00		0,00		
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-						
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-						
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-						
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-						
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-						
D	Aksi Lainnya								
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59		
Total					23610,05	3815,20	0,00	7455,86	0,00

Table 4. 93 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat II Pada

Kuat II								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A	Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,30	2945,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,20	5849,11				
2b	Beton cor di tempat		1,30	6261,54				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,80	1937,12				
4	Tekanan Tanah	TA	1,20		2400,82		3826,90	

B	Beban Lalu-lintas								
5	Beban Lajur	TD	1,40	4950,33					
6	Beban Pedestrian	TP	1,40	196,00					
7	Gaya Rem	TB	1,40		175,00		1080,63		
C	Aksi Lingkungan								
8	Temperatur	TG	0,00		0,00		0,00		
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-						
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-						
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-						
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-						
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-						
D	Aksi Lainnya								
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59		
Total					19194,10	3765,20	0,00	7147,11	0,00

Table 4. 94 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat III Pada

Kuat III								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A	Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,30	2945,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						

2a	Beton pracetak		1,20	5849,11				
2b	Beton cor di tempat		1,30	6261,54				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,80	1937,12				
4	Tekanan Tanah	TA	1,20		2400,82		3826,90	
B	Beban Lalu-lintas							
5	Beban Lajur	TD	-					
6	Beban Pedestrian	TP	-					
7	Gaya Rem	TB	-					
C	Aksi Lingkungan							
8	Temperatur	TG	0,00		0,00		0,00	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	1,40	108,05		123,48		1465,63
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-					
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-					
D	Aksi Lainnya							
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59	
Total				14155,81	3590,20	123,48	6066,49	1465,63

Table 4. 95 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat IV Pada

Kuat IV								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A	Aksi Tetap							

1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,30	2945,57			0,00		
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}							
2a	Beton pracetak		1,20	5849,11					
2b	Beton cor di tempat		1,30	6261,54					
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,80	1937,12					
4	Tekanan Tanah	TA	1,20		2400,82		3826,90		
B	Beban Lalu-lintas								
5	Beban Lajur	TD	-						
6	Beban Pedestrian	TP	-						
7	Gaya Rem	TB	-						
C	Aksi Lingkungan								
8	Temperatur	TG	0,00		0,00		0,00		
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-						
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-						
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-						
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-						
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-						
D	Aksi Lainnya								
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59		
Total					14047,77	3590,20	0,00	6066,49	0,00

Table 4. 96 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Kuat V Pada

Kuat V

No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A	Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,30	2945,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,20	5849,11				
2b	Beton cor di tempat		1,30	6261,54				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,80	1937,12				
4	Tekanan Tanah	TA	1,20		2400,82		3826,90	
B	Beban Lalu-lintas							
5	Beban Lajur	TD	-					
6	Beban Pedestrian	TP	-					
7	Gaya Rem	TB	-					
C	Aksi Lingkungan							
8	Temperatur	TG	0,00		0,00		0,00	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	0,40	30,87		35,28		418,75
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	1,00			22,05		150,49
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-					
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-					
D	Aksi Lainnya							
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59	
Total				17024,21	3590,20	57,33	6066,49	569,24

Table 4. 97 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Ekstrem I Pada Breast Wall

Ekstrem I								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A	Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,30	2945,57			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,20	5849,11				
2b	Beton cor di tempat		1,30	6261,54				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,80	1937,12				
4	Tekanan Tanah	TA	1,20		2400,82		3826,90	
B	Beban Lalu-lintas							
5	Beban Lajur	TD	0,30	1060,79				
6	Beban Pedestrian	TP	0,30	42,00				
7	Gaya Rem	TB	0,30		37,50		231,56	
C	Aksi Lingkungan							
8	Temperatur	TG	-					
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	1,00	1076,70			0,00	
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	1,00		2321,51	2067,20	4116,03	3665,15
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	1,00		2655,10		5200,70	
D	Aksi Lainnya							
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59	
Total				16227,26	8604,31	2067,20	15614,78	3665,15

Table 4. 98 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan I Pada

Daya Layan I								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A	Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,00	2265,82			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,00	4874,26				
2b	Beton cor di tempat		1,00	4816,57				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,00	1076,18				
4	Tekanan Tanah	TA	1,00		2000,69		3189,08	
B	Beban Lalu-lintas							
5	Beban Lajur	TD	1,00	3535,95				
6	Beban Pedestrian	TP	1,00	140,00				
7	Gaya Rem	TB	1,00		125,00		771,88	
C	Aksi Lingkungan							
8	Temperatur	TG	0,50		302,10		335,94	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	0,30	23,15		26,46		314,06
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	1,00			22,05		150,49
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-					
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-					
D	Aksi Lainnya							
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59	
Total				14466,11	3617,16	48,51	6536,49	464,55

Table 4. 99 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan II Pada

Daya Layan II								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A Aksi Tetap								
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,00	2265,82			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,00	4874,26				
2b	Beton cor di tempat		1,00	4816,57				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,00	1076,18				
4	Tekanan Tanah	TA	1,00		2000,69		3189,08	
B Beban Lalu-lintas								
5	Beban Lajur	TD	1,30	4596,74				
6	Beban Pedestrian	TP	1,30	182,00				
7	Gaya Rem	TB	1,30		162,50		1003,44	
C Aksi Lingkungan								
8	Temperatur	TG	-					
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-					
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-					
D Aksi Lainnya								
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59	
Total				15545,74	3352,56	0,00	6432,11	0,00

Table 4. 100 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan III Pada

Daya Layan III

No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A	Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,00	2265,82			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,00	4874,26				
2b	Beton cor di tempat		1,00	4816,57				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,00	1076,18				
4	Tekanan Tanah	TA	1,00		2000,69		3189,08	
B	Beban Lalu-lintas							
5	Beban Lajur	TD	0,80	2828,76				
6	Beban Pedestrian	TP	0,80	112,00				
7	Gaya Rem	TB	0,80		100,00		617,50	
C	Aksi Lingkungan							
8	Temperatur	TG	0,50		302,10		335,94	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-					
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-					
D	Aksi Lainnya							
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59	
Total				13707,77	3592,16	0,00	6382,11	0,00

Table 4. 101 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Daya Layan IV Pada

Daya Layan IV								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)

A	Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	1,00	2265,82			0,00	
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		1,00	4874,26				
2b	Beton cor di tempat		1,00	4816,57				
3	Beban Mati Tambahan	MA	1,00	1076,18				
4	Tekanan Tanah	TA	1,00		2000,69		3189,08	
B	Beban Lalu-lintas							
5	Beban Lajur	TD	-					
6	Beban Pedestrian	TP	-					
7	Gaya Rem	TB	-					
C	Aksi Lingkungan							
8	Temperatur	TG	1,00		604,20		671,88	
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	0,70	54,02		61,74		732,81
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-					
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-					
D	Aksi Lainnya							
14	Gesekan	BF	1,00		1189,38		2239,59	
Total				10821,03	3794,26	61,74	6100,55	732,81

Table 4. 102 Rekapitulasi Faktor Pembebanan Kombinasi Fatik Pada Breast Wall

Fatik								
No	Aksi / Beban	Kode	Faktor	Pu (kN)	Vux (kN)	Vuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
A Aksi Tetap								
1	Berat Sendiri Breast Wall (cast in situ)	MS _{breast}	-					
2	Berat Sendiri Struktur Atas	MS _{atas}						
2a	Beton pracetak		-					
2b	Beton cor di tempat		-					
3	Beban Mati Tambahan	MA	-					
4	Tekanan Tanah	TA	-					
B Beban Lalu-lintas								
5	Beban Lajur	TD	0,75	2651,96				
6	Beban Pedestrian	TP	0,75	105,00				
7	Gaya Rem	TB	0,75		93,75		578,91	
C Aksi Lingkungan								
8	Temperatur	TG	-					
9	Beban Angin pada Struktur	EWS	-					
10	Beban Angin pada Kendaraan	EWL	-					
11	Beban Gempa Arah Vertikal	EQv	-					
12	Beban Gempa Arah Horizontal	EQh	-					
13	Tekanan Tanah Dinamis	T TEQ	-					
D Aksi Lainnya								
14	Gesekan	BF	-					
Total				2756,96	93,75	0,00	578,91	0,00

Table 4. 103 Rekapitulasi Beban Ultimit Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Breast Wall

No.	Keadaan Batas	Vertikal	Horisontal		Momen	
		P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	Kuat I	23610,05	3815,20	0,00	7455,86	0,00
2	Kuat II	19194,10	3765,20	0,00	7147,11	0,00
3	Kuat III	14155,81	3590,20	123,48	6066,49	1465,63
4	Kuat IV	14047,77	3590,20	0,00	6066,49	0,00
5	Kuat V	17024,21	3590,20	57,33	6066,49	569,24
6	Ekstrem I	16227,26	8604,31	2067,20	15614,78	3665,15
8	Daya Layan I	14466,11	3617,16	48,51	6536,49	464,55
9	Daya Layan II	15545,74	3352,56	0,00	6432,11	0,00
10	Daya Layan III	13707,77	3592,16	0,00	6382,11	0,00
11	Daya Layan IV	10821,03	3794,26	61,74	6100,55	732,81
12	Fatik	2756,96	93,75	0,00	578,91	0,00

21. Back Wall Bawah

- Tekanan Tanah, TTA = 720,13 kN
- Momen Tekanan Tanah, MTTA = 6673,84 kN
- Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa, TTEQ = 1936,86 kN
- Momen Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa, MTEQ = 1816,97 kN

Beban ultimate back wall bawah,

Table 4. 104 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Back Wall Bawah

No	Kode	F	T (kN)	M (kN)	Vu (kN)	Mu (kNm)
1	TA	1,25	720,13	673,84	900,17	842,30
2	EQ	1,00	1936,86	1816,97	1936,86	1816,97
Beban ultimit back wall =					2837,03	2659,28

22. Back Wall Atas

- Tekanan Tanah, TTA = 167,61 kN
- Momen Tekanan Tanah, MTTA = 69,21 kN
- Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa, TTEQ = 919,77 kN

- Momen Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa, $MTEQ = 318,92$ kN

Beban ultimate back wall atas,

Table 4. 105 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Back Wall Bawah

No	Kode	F	T (kN)	M (kN)	Vu (kN)	Mu (kNm)
1	TA	1,25	167,61	69,21	209,52	86,51
2	EQ	1,00	318,92	318,92	318,92	318,92
Beban ultimit backwall =					528,44	405,43

23. Corbel

- P MS Corbel = 65,14 kN
- Eksentrisitas (e) = $b/2 = 0,15$ m

Beban ultimate corbel,

Tabel 4. 133 Analisa Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Corbel

No	Aksi / Beban	Kode	F	P (kN)	Vu (kN)	e (kN)	Mu (kNm)
1	Berat sendiri struktur atas	MS	1,30	9690,83	12598,08	0,15	1889,71
2	Beban mati sendiri corbel	MS	1,30	65,14	84,68	0,15	12,70
3	Beban mati tambahan	MA	1,80	1076,18	1937,12	0,15	290,57
Total =					14619,87		2192,98

24. Wing Wall Dimensi:

- $H_{wwy} = h1 + h2 + h3 + h4 + c = 4,08$ m
- $H_{wwx} = 5,55$ m
- $t_{ww} = 0,60$ m

Analisa tekanan tanah pada wing wall,

Tabel 4. 134 Analisa Tekanan Tanah Terjadi Pada Wing Wall

No.	Tekanan Tanah	TTA (kN)	Titik Kerja Momen	y (m)	MTA (kNm)
a	b	c	e	f	g = c x f
1	Akibat beban tambahan (TTA1) = 85,08 x Hx wingwall	472,19	y = Hx wingwall / 2	2,78	1310,34
2	Akibat beban tambahan (TTA2) = 85,08 x Hx wingwall ²	472,19	y = Hx wingwall / 3	1,85	873,56
TTA wingwall =		944,39	MTA wingwall =		2183,90

Tabel 4. 135 Analisa Tekanan Tanah Dinamis Terjadi Pada Wing Wall

vNo.	Tekanan Tanah Dinamis	TTA (kN)	Titik Kerja Momen	y (m)	MTA (kNm)
a	b	c	e	f	g = c x f
1	TEQ1 = 149,14 x H' abutment	1822,19	y = H' abutment / 2	2,19	3986,04
2	TEQ2 = 18,1 x B' abutment x H' abutment	832,91	y = H' abutment / 3	1,46	1214,67
TTEQ pilecap =		2655,10	MTEQ pilecap =		5200,70

Beban ultimate wing wall,

Tabel 4. 136 Analixz Beban Ultimate Akibat Kombinasi Pembebanan Pada Corbel

No.	Aksi / Beban	Kode	F	T (kN)	My (kNm)	Vu (kNm)	Muy (kNm)
1	Tekanan tanah	TA	1,25	944,39	2183,90	1180,49	2729,87
3	Gempa tekanan tanah dinamis	EQ	1,00	2655,10	5200,70	2655,10	5200,70
Total =						3835,59	7930,57

4.10.4 Penulangan Abutment

1. Penulangan Pilecap

- Kuat tekan beton rencana (f_c') = 35 MPa
- Kelas baja tulangan 420B,

- Tegangan leleh (f_y) = 420 MPa
- Modulus elastisitas beton (E_c) = 27805,75 MPa
= 27805575 kPa
- Modulus elastitas baja (E) = 200000 MPa
- Selimut beton (c) = 50 cm
- Faktor distribusi tegangan (β_1) = 0,81, karena $f_c' > 28$ MPa.

Detail pada bab tiga

- Faktor reduksi (ϕ) kuat lentur = 0,9
- Faktor reduksi (ϕ) kuat geser = 0,75

Rasio penulangan (ρ) minimum dan maksimum, berdasarkan perhitungan sebelumnya akibat kesamaan mutu beton dan baja tulangan yang digunakan:

- ρ_{min} = 0,00352
- ρ_b = 0,00387
- ρ_{max} = 0,02540 ($0,75 * \rho_b$)
- Rasio maks = $0,75 * \rho_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0,75 * \rho_b * f_y / (0,85 * f_c')]$
= 8,76

a) Pilecap arah x Dimensi:

$$\text{Tebal} = h_8 = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = B_y = 19,30 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = B_x = 3,00 \text{ m} =$$

$$\text{Mu arah x} = 16581,16 \text{ kNm}$$

$$\text{Vu} = \text{Pu} = 22367,06 \text{ kN}$$

Tegangan yang muncul pada pilecap

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{pilecap}_x} &= V_u / (B_y + B_x) + M_{u_x} (1/6 * B_y * B_x^2) \\ &= 1575,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk penulangan, momen dihitung per 1 meternya, sehingga:

$$\begin{aligned} Q_u &= \sigma_{\text{pilecap}_x} * 1 \\ &= 1578,76 * 1 \\ &= 1575,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{pakai}}} &= \frac{1}{2} * Q_u * \text{tebal} \\ &= 787,88 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= M_{u_{\text{pakai}}} / \phi_{\text{lentur}} \\ &= 787,88 / 0,9 \\ &= 875,42 \text{ kNm/m} \\ &= 875,42 * 10^6 \end{aligned}$$

Nmm/m

$$\begin{aligned} \text{Tebal beton (h)} &= 1000 \text{ mm} \\ \text{Tebal efektif (d)} &= h - \text{selimut beton (c)} \\ &= 950 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio penulangan yang diperlukan (ρ_{butuh})

(digunakan ρ_{min})

i. Tulangan lentur:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan (As) diperlukan} &= \rho_{\text{min}} * b * d \\ &= 0,00352 * 1000 * 950 \\ &= 3345,40 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan rencana (D)} = D29 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan (s) rencana} = \pi / 4 * D^2 * b / A_s$$

$$= 197,52 \text{ mm Jarak tulangan (s') aktual} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan aktual (As')} &= \pi / 4 * D^2 * b / s \\ &= 4405,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ii. Tulangan susut:

Luas tulangan susut (A_{s_s}) diperlukan

$$= 0,0018 * b * h$$

$$= 1800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter tulangan direncanakan (D)} = D19$$

mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut} \\ (s_s) \text{ rencana} &= \pi / 4 * D^2 * b / A_{s_s} \\ &= 157,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut} \\ (s_s') \text{ aktual} &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan susut aktual (A_{s_s}') = 1890,95 mm² iii. Tulangan geser:

$$\text{Geser rencana } (V_u) = 1575760 \text{ N}$$

$$\text{Kapasitas geser } (V_c) = 1/6 * \sqrt{f_c'} * b * d$$

$$= 936712,63 \text{ N}$$

$$\text{Kapasitas geser terfaktor reduksi } (\phi V_c) \phi V_c = 936712,63 * 0,75$$

$$= 702534,47 \text{ N} < V_u$$

(memerlukan tulangan geser)

Kebutuhan tulangan geser (V_s)

$$V_s = (V_u - \phi V_c) / \phi$$

$$= (1575760 - 702534,47) / 0,75 = 1164299,22 \text{ N}$$

Diameter tulangan direncanakan (D) = D25

$$\text{Luas tulangan geser rencana } (A_v) = \pi / 4 * D^2 = 491,07 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan geser rencana } (s_v) = A_v * f_y * d / V_s = 168,29$$

$$\text{Jarak tulangan geser aktual } (s_v) = 150 \text{ mm}$$

iv. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, penulangan pilecap arah x berupa:

- Tulangan lentur = D29 – 150 mm □ Tulangan susut = D19 – 150 mm
- Tulangan geser = D25 – 150 mm

b) Pilecap arah Y Dimensi:

$$\text{Tebal} = h = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = B_y = 19,30 \text{ m}$$

$$\text{Panjang} = B_x = 3,00 \text{ m} =$$

$$\text{Mu arah y} = 3665,15 \text{ kNm}$$

$$V_u = P_u = 22367,06 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan yang muncul pada pilecap } \sigma_{\text{pilecap}_x} &= V_u / (B_y + B_x) + \\ & M_{u,y} / (1/6 * B_y * B_x^2) \\ &= 1129,61 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk penulangan, momen dihitung per 1 meternya, sehingga:

$$\begin{aligned} Q_u &= \sigma_{\text{pilecap}_x} * 1 \\ &= 1129,61 * 1 \\ &= 1129,61 \text{ kN/m} \\ M_{u_{\text{pakai}}} &= 1/2 * Q_u * \text{tebal} \\ &= 564,81 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal (Mn)} &= M_{u_{\text{pakai}}} / \phi_{\text{lentur}} \\ &= 564,81 / 0,9 \\ &= 627,56 \text{ kNm/m} \\ &= 627,56 * 10^6 \text{ Nmm/m} \end{aligned}$$

$$\text{Tebal beton (h)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif (d)} = h - c = 950 \text{ mm}$$

Rasio penulangan yang diperlukan (ρ_{butuh})

$$\begin{aligned} \rho_{\text{butuh}} &= \frac{M_n}{b * d^2} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{f_y}} \right) \text{ , dengan } R_n = \frac{M_n}{b * d^2} \\ R_n &= \frac{627,56 * 10^6}{1000 * 950^2} \\ &= 0,695 < R_{\text{max}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{butuh}} &= \frac{0,85 * 35}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 0,695}{0,85 * 35}} \right) \\ &= 0,00168 < \rho_{\text{min}} \text{ (digunakan } \rho_{\text{min}}) \end{aligned}$$

i. Tulangan lentur:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan (A_s) diperlukan} &= \rho_{\text{min}} * b * d \\ &= 0,00352 * 1000 * \\ & 950 \\ &= 3345,40 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan rencana (D)} = D29 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan (s) rencana} &= \pi / 4 * D^2 * b / A_s \\ &= 197,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan (s') aktual} = 150 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan aktual (A_s')} &= \pi / 4 * D^2 * b / s \\ &= 4405,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ii. Tulangan susut:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan susut (A}_{s_s}\text{) diperlukan} &= 0,0018 * b * h \\ &= 1800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter tulangan direncanakan (D)} = D19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan susut (s}_s\text{) rencana} &= \pi / 4 * D^2 * b / A_{s_s} \\ &= 157,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan susut (s}_s'\text{) aktual} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Luas tulangan susut aktual (A}_{s_s}') = 1890,95 \text{ mm}^2 \quad \text{iii. Tulangan geser:}$$

$$\text{Geser rencana (V}_u\text{)} = 1129610,4 \text{ N}$$

$$\text{Kapabilitas geser (V}_c\text{)} = 1/6 * \sqrt{f_c'} * b * d$$

$$\begin{aligned} &= 936712,63 \text{ N} \quad \text{Kapabilitas geser terfaktor reduksi } (\phi V_c) \quad \phi V_c = 936712,63 * \\ &0,75 \end{aligned}$$

$$= 702534,47 \text{ N} < V_u \text{ (memerlukan tulangan geser)}$$

Kebutuhan tulangan geser (V_s)

$$\begin{aligned} V_s &= (V_u - \phi V_c) / \phi \\ &= (1129610,4 - 702534,47) / 0,75 \\ &= 569434,09 \text{ N} \end{aligned}$$

Diameter tulangan direncanakan (D) = D19

$$\text{Luas tulangan geser rencana (A}_v\text{)} = \pi / 4 * D^2 = 283,64 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan geser rencana (s}_v\text{)} = A_v * f_y * d / V_s = 198,75$$

Jarak tulangan geser aktual (s_v) = 150 mm iv. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, penulangan pilecap arah x berupa:

□ Tulangan lentur = D29 – 150 mm □ Tulangan susut = D19 – 150 mm □ Tulangan geser = D19 – 150 mm

2. Penulangan Breast Wall
Rekapitulasi kombinasi beban pada breast wall

Tabel 4. 137 Rekapitulasi Kombinasi Beban Ultimate Pada Breast Wall

No.	Keadaan Batas	Lebar = 19,3 m		
		Vertikal	Horisontal	Momen Sumbu X
		P (kN)	Tx (kN)	Mx (kNm)
1	Kuat I	23610,05	3815,20	7455,86
2	Kuat II	19194,10	3765,20	7147,11
3	Kuat III	14155,81	3590,20	6066,49
4	Kuat IV	14047,77	3590,20	6066,49
5	Kuat V	17024,21	3590,20	6066,49
6	Ekstrem I	16227,26	8604,31	15614,78
8	Daya Layan I	14466,11	3617,16	6536,49
9	Daya Layan II	15545,74	3352,56	6432,11
10	Daya Layan III	13707,77	3592,16	6382,11
11	Daya Layan IV	10821,03	3794,26	6100,55
12	Fatik	2756,96	93,75	578,91

Tabel 4. 138 Beban Ultimate Pada Breast Wall Per-1 Meter

No.	Keadaan Batas	Lebar = 1 m		
		Vertikal	Horisontal	Momen Sumbu X
		P (kN)	Tx (kN)	Mx (kNm)
1	Kuat I	1223,32	197,68	386,31
2	Kuat II	994,51	195,09	370,32
3	Kuat III	733,46	186,02	314,33
4	Kuat IV	727,86	186,02	314,33
5	Kuat V	882,08	186,02	314,33
6	Ekstrem I	840,79	445,82	809,06
8	Daya Layan I	749,54	187,42	338,68
9	Daya Layan II	805,48	173,71	333,27
10	Daya Layan III	710,25	186,12	330,68
11	Daya Layan IV	560,68	196,59	316,09
12	Fatik	142,85	4,86	30,00

Nilai momen terbesar terjadi pada breast wall ketika dalam keadaan batas ekstrem I, yaitu sebesar:

- Pu = 840,79 kN
- Tu = 445,82 kN
- = 809,06
- Mx kNm

a) Analisa penampang breast wall

$$\sqrt{\frac{I_c}{A_c}} \quad , I_c = \text{momen inersia (m}^4\text{)}$$

Dimensi breast wall,

$$\text{Lebar arah x} = b_7 = 1,00 \text{ m}$$

$$\text{Lebar arah y} = B_y = 19,30 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 1,77 \text{ m}$$

Luas penampang (Ac)

$$= b_7 \times B_y$$

$$= 1 \times 19,30$$

$$= 19,30 \text{ m}^2$$

$$\text{Jari-jari girasi (rc)} = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} \quad , I_c = \text{momen inersia (m}^4\text{)}$$

$$= \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times B_y \times b_7^3}{19,30}}$$

$$= \sqrt{\frac{1,608 \text{ m}^4}{19,30}}$$













$$= 0,289 \text{ m}$$

Dalam penentuan kelangsingan elemen breastwall/abutment, faktor panjang efektif kkk dipilih berdasarkan kondisi pembebanan dan kondisi penahanan ujung-ujung elemen sesuai pedoman (lihat gambar pola tekuk dan nilai k pada Gambar 4.x).

Untuk breastwall pada kondisi perancangan ini, kedua ujung kolom/dinding diperlakukan sebagai ujung yang relatif tidak terjepit terhadap rotasi karena:

- Bagian atas breastwall bersinggungan dengan tanah timbunan/backfill yang tidak memberikan momen end restraint signifikan terhadap rotasi ujung
- Basis fondasi meskipun translasi dibatasi, tidak selalu memberikan kekangan momen yang sempurna terhadap ujung bawah pada kondisi pemuatan tertentu. Oleh karena itu konfigurasi pembebanan dan penahanan lebih menyerupai kasus “kolom bergoyang” dengan rotasi bebas.

Pada perencanaan ini, breastwall dianggap sebagai kolom bergoyang dengan kekangan rotasi yang lemah. Oleh karena itu, faktor panjang efektif dipilih sebesar $k = 2,2$ sesuai pada Gambar 4.. Nilai ini kemudian digunakan dalam perhitungan kelangsingan.

	Kolom Tak Bergoyang			Kolom Bergoyang		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif (k)	0.70	0.85	1.00	1.2	2.2	2.2
Simbol untuk keadaan penahan ujung	 = Rotasi terjepit, translasi terjepit	 = Rotasi bebas, translasi terjepit	 = Rotasi terjepit, translasi bebas	 = Rotasi bebas, translasi bebas	 = Rotasi bebas, translasi bebas	 = Rotasi bebas, translasi bebas

4.11. Pondasi Tiang Pancang

Gambar spesifikasi teknis spun pile katalog

Spun Pile Specification Adhibeton								
Outside Diameter (mm)	Wall Thickness (mm)	Class	Concrete Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	Length (m)	Bending Moment		Allowed Axial Load (ton)
						crack (ton.m)	ultimate (ton.m)	
300	60	A2	452	113	6-13	2,50	3,75	72,60
		A3				3,00	4,50	70,75
		B				3,50	6,30	67,50
		C				4,00	8,00	65,40
350	65	A1	582	145	6-15	3,50	5,25	93,10
		A3				4,20	6,30	89,50
		B				5,00	9,00	86,40
		C				6,00	12,00	85,00
400	75	A2	765	191	6-16	5,50	8,25	121,10
		A3				6,50	9,75	117,60
		B				7,50	13,50	114,40
		C				9,00	18,00	111,50
450	80	A1	930	232	6-16	7,50	11,25	149,50
		A2				8,50	12,75	145,80
		A3				10,00	15,00	143,80
		B				11,00	19,80	139,10
500	90	A1	1159	290	6-16	12,50	25,00	134,90
		A2				10,50	15,75	185,30
		A3				12,50	18,75	181,70
		B				14,00	21,00	178,02
600	100	A1	1570	393	6-16	15,00	27,00	174,90
		A2				17,00	34,00	169,00
		A3				17,00	25,50	252,70
		B				19,00	28,50	249,00
800	120	A1	2564	641	6-18	22,00	33,00	243,20
		A2				25,00	45,00	238,30
		A3				29,00	58,00	229,50
		B				40,13	60,20	409,17
1000	140	A1	3782	945	6-20	46,56	69,84	400,12
		A2				52,11	78,16	390,58
		A3				60,51	108,92	384,35
		B				71,25	128,25	367,76
1200	150	A1	4948	1236	6-24	74,10	111,15	605,00
		A2				85,05	127,57	593,00
		A3				97,67	145,05	578,00
		B				112,75	202,95	568,00
		C				131,09	235,96	547,00
		A1				124,10	186,00	794,70
		A2				139,58	208,50	777,80
		A3				149,99	223,50	766,70
		B				183,23	329,40	732,30
		C				208,00	414,00	708,20

Gambar 4. 16 Spesifikasi Spun Pile

i. Rekapitulasi Beban Ultimit Pilecap (Terfaktor)

No.	Keadaan Batas	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	Kuat I	26084,29	5058,48		3954,88	
2	Kuat II	25333,91	5008,48		3596,13	
3	Kuat III	20295,62	4833,48	123,48	2340,51	1640,63
4	Kuat IV	20187,58	4833,48		2340,51	
5	Kuat V	20218,45	4833,48	57,33	2340,51	641,29
6	Ekstrem I	22367,06	9942,88	2067,2	16581,16	3665,15

8	Daya Layan I	19189,04	4531,76	48,51	3947,16	524,1
9	Daya Layan II	20268,67	4267,16		3880,29	
10	Daya Layan III	18430,7	4506,76		3767,79	
11	Daya Layan IV	15543,96	4708,86	61,74	3386,22	820,31
12	Fatik	2756,96	93,75		672,66	

ii. Pemilihan Spesifikasi *Spun Pile*

Diameter,	D	= 0,6 m
Kelas,	c	= C
Daya dukung izin,	Qp'	= 229,5 ton
Momen ultimit tiang,	Mu	= 58 ton
Kedalaman tiang,	L	= 34 m
Keliling selimut tiang,	p	= $\pi * D$ = 1,886 m
Luas tiang,	Ap	= $\frac{1}{4} * \pi * D^2$ = 0,283 m ²
Berat per-meter tiang,		= 393 kg/m
Berat tiang,	Wp	= <i>berat per meter * L</i> = 115,6 kN

iii. Kapasitas Ujung Tiang

Nilai N di bawah ujung tiang,

2. N1 A1 = 39

3. N1 A2 = 38

Nilai N di atas ujung tiang,

4. N2 A1 = 36

5. N2 A2 = 27

Rata – rata nilai N (Nb):

6. A1 = 57

7. A2 = 51,5

Daya dukung ujung tiang, = $400 * Ap * Nb$
= 6449,14 kN

$$= 658,08 \text{ ton}$$

Luas selimut dinding tiang, $= p * L$

$$= 56,57 \text{ m}^2$$

Daya dukung friksi tiang, $Q_s = \frac{A_s * N_b}{50}$

$$= 694,19 \text{ ton}$$

$$= 6809,96 \text{ kN}$$

iv. Kapasitas Tahanan Iizin Tiang

Daya dukung ultimate tiang,

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

$$= 7532,8 \text{ kN}$$

Safety factor = 3

Daya dukung iizin tiang,

$$Q_{all}' = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= 2450,79 \text{ kN}$$

Daya dukung iizin tiang fabrikator,

$$= Q_p * 9,81$$

$$= 2251,395 \text{ kN}$$

v. Penentuan Jumlah Tiang Minimal

Jumlah beban pada pondasi (P_u') = P_u kombinasi + T_x kombinasi

Table 4. 106 Penentuan Jumlah Minimum Tiang Pancang

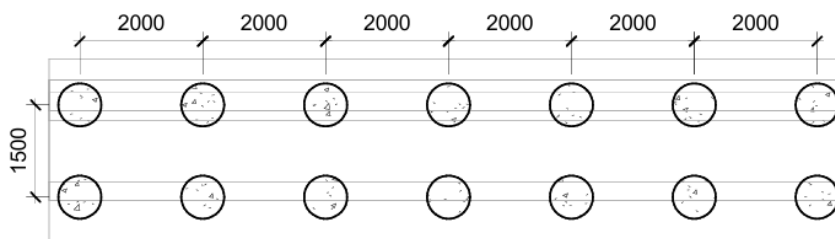
No.	Keadaan Batas	P (kN)	Tx (kN)	$P_u + T_x$ (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	Kuat I	26084,29	5058,48		3954,88	
2	Kuat II	25333,91	5008,48		3596,13	
3	Kuat III	20295,62	4833,48	123,48	2340,51	1640,63
4	Kuat IV	20187,58	4833,48		2340,51	
5	Kuat V	20218,45	4833,48	57,33	2340,51	641,29
6	Ekstrem I	22367,06	9942,88	2067,2	16581,16	3665,15
8	Daya Layan I	19189,04	4531,76	48,51	3947,16	524,1
9	Daya Layan II	20268,67	4267,16		3880,29	

10	Daya Layan III	18430,7	4506,76		3767,79	
11	Daya Layan IV	15543,96	4708,86	61,74	3386,22	820,31
12	Fatik	2756,96	93,75		672,66	

Kebutuhan tiang terbanyak yakni pada kondisi ekstrem sebesar 14, 351 buah atau digenapkan menjadi 16 buah.

vi. Percobaan Konfigurasi Awal

Dicoba konfigurasi tiang pancang dengan konfigurasi 2 baris dengan perbaris sebanyak tiang, sehingga total tiang (n) sebanyak 14 buah.



Gambar 4. 17 Peletakan Tiang Pancang

vii. Kontrol Gaya Pada *Spun Pile*

Syarat dikatakan memenuhi apabila reaksi beban pada masing-masing tiang lebih kecil dari daya dukung izin tiang yang digunakan (Q_{allow}). Atau dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{\text{tiang } x} = \frac{P_{\text{kondisi}}}{n} + M_x \left(\frac{x_i}{\sum x_i^2} \right) + M_y \left(\frac{y_i}{\sum y_i^2} \right)$$

dengan,

P_{kondisi} : Total gaya aksial pada suatu kondisi beban (beban tetap/penuh)

n : Total tiang

$M_x \left(\frac{x_i}{\sum x_i^2} \right)$: Tambahan beban akibat momen arah-x (M_x)

$M_y \left(\frac{y_i}{\sum y_i^2} \right)$: Tambahan beban akibat momen arah-y (M_y)

h) Ketika kondisi beban tetap (Kondisi Kuat I)

Gaya tekan ultimit, $P_{\text{Kuat I}} = 2804,29 \text{ kN}$

Momen ultimit, $M_{x \text{ Kuat I}} = 3954,88 \text{ kN}$

$M_{y \text{ Kuat I}} = 0,00 \text{ kN}$

Daya dukung izin tiang digunakan,	Q_{izin}	= 2251,40 kN
Ketika kondisi beban penuh (Kondisi Ekstrem I)		
Gaya tekan ultimit,	$P_{Ekstrem 1}$	= 22367,06 kN
Momen ultimit,	$M_{x Ekstrem 1}$	= 16581,16 kN
	$M_{y Ekstrem 1}$	= 3665,15 kN
Daya dukung izin tiang digunakan,	Q_{izin}	= 2251,40 kN

viii. Kontrol Terhadap Kelompok *Spun Pile*

Kontrol kelompok tiang dapat diuraikan sebagai berikut:θ

Jarak as ke as tiang (terjauh),	S	= 2,2 m
Jumlah baris grup tiang,	m	= 2 baris
Jumlah tiang per-baris,	n'	= 9 buah
Jumlah tiang total,	n	= 2 x 9 = 18 buah
Diameter tiang,	D	= 0,6 m

a) Efisiensi grup tiang,

$$\eta = 1 - \theta \left(\frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 * m * n'} \right)$$

dengan,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{D}{S}$$

$$= 15,26^\circ$$

maka,

$$\eta = 1 - \theta \left(\frac{(n'-1)m + (m-1)n'}{90 * m * n'} \right)$$

$$= 0,765 < 1 \text{ (OK)}$$

b) Daya dukung grup tiang,

$$Q_{grup} = Q_{izin} * n * \eta$$

$$= 30984,75 \text{ kN}$$

Kontrol terhadap aksial beban tetap dan penuh, tidak perlu pembagian kembali terhadap safety factor (SF) dikarenakan penggunaan data daya dukung izin berasal dari katalog fabrikator dimana telah dikenai SF.

$$P_{u \text{ KUAT } 1} = 26804,29 \text{ kN} < Q_{group} \text{ (OK)}$$

$$P_{u \text{ EKSTREM } 1} = 22367,06 \text{ kN} < Q_{group} \text{ (OK)}$$

c) Kontrol gaya lateral

Gaya geser terbesar,	V_u	$= T_x$ $= 9942,88 \text{ kN}$
Gaya lateral 1 tiang,		$= \frac{V_u}{n}$ $= 552,38 \text{ kN}$
Momen ultimate 1 tiang,	M	$= 568,98 \text{ kNm}$
Nilai N rata – rata,	N_b	$= 57 > 30$ sehingga $c_u = 200 \text{ kN/m}^2$
Kapasitas momen ultimate,		$= \frac{M}{c_u * D^3}$ $= 13,17$
Gaya lateral ultimate,	H_u	$= c_u * D^2$ $= 864 \text{ kN}$
<i>Safety Factor,</i>	SF	$= 1,5$
Daya dukung lateral izin,	H_{izin}	$= \frac{H_u}{SF}$ $= 576 \text{ kN}$



BAB V

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Perencanaan Ulang Jembatan Kalipang 2 berbasis *Building Information Modelling* 5D, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan pembebanan dan analisa struktur Jembatan Kalipang 2 menggunakan SAP2000 diperoleh dimensi struktur atas berupa gelagar PC-I dengan tinggi 2,1 meter berjumlah 7 gelagar yang masing – masing berjarak 1,85 meter dengan momen maksimum sebesar 8133,969 kNm, dan gaya geser maksimum sebesar 650,717 dan untuk struktur bawah berupa pondasi menggunakan Spun Pile berdiameter 45 cm berjumlah 14 per *abutment* yang disusun dengan jumlah 2 x 7 tiang pancang. Masing masing tiang pancang, dipancang sampai kedalaman 34 meter, semuanya telah memenuhi syarat kekuatan dan stabilitas sesuai SNI 1725:2016, SNI 2833:2016.
2. Pemodelan 3D pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2 menggunakan Autodesk Revit menghasilkan model informasi bangunan (BIM) yang memuat elemen struktur atas dan bawah secara detail, sehingga mempermudah visualisasi, deteksi *clash* antar elemen, dan koordinasi desain sebelum tahap konstruksi.
3. Hasil perhitungan RAB pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2 yang diperoleh dari integrasi *quantity take-off* model BIM dengan Microsoft Project menghasilkan total biaya konstruksi sebesar Rp 5,95 miliar
4. Penyusunan *time schedule* pekerjaan konstruksi Jembatan Kalipang 2 menggunakan Microsoft Project menghasilkan durasi pelaksanaan proyek selama 40 minggu
5. Integrasi model 3D dengan *scheduling* menggunakan Autodesk Navisworks menghasilkan simulasi konstruksi 5D yang menggambarkan urutan pelaksanaan pekerjaan terhadap waktu dan biaya secara visual, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu monitoring dan pengendalian proyek yang lebih efektif dibanding metode konvensional.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian atau pekerjaan selanjutnya:

1. Perlu dilakukan studi lanjutan terkait efisiensi biaya dengan menggunakan harga satuan terbaru.
2. Penggunaan software BIM lain dapat dicoba untuk pembandingan hasil integrasi 5D.
3. Perlu ditinjau aspek manajemen risiko, aspek lingkungan, dan lain lain yang belum dibahas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, A. S., Diah. L., Wahidin. (2021). Aplikasi Bim Pada Pembangunan Proyek Jembatan Umbul Kaji Kabupaten Malang. *JOS – MRK*, 02(03), 304- 309.
- Asri Nurdiana, P. U. P., 2022. *REVIT UNTUK BIM : PEMODELAN ARSITEKTURAL DAN STRUKTURAL*. Semarang : UNDIP PRESS.
- Fibria, C. N., Teddy, A. P. (2020). Building information modelling (BIM) dalam tahapan desain dan konstruksi di indonesia, peluang dan tantangan (studi kasus perluasan t1 bandara juanda surabaya). *Agregat*, 05(20), 459-467.
- Ilyas, S., Fery, H. J., Ican, W. J. (2022). Implementasi bim take off quantity material struktur abutment jembatan terhadap volume rencana. *Jurnal Teknik Sains*, 07(02), 91-97.
- Seftiani, N., Irika W., Intan P.W. 2024. Pemanfaatan BIM dalam Integrasi Arsitektur dan MEP pada Proyek Konstruksi Gedung Lab PUT PNJ. *Jurnal Talenta Sipil : Vol 7, No 1: Februari*, 232-237. ISSN 2615-1634 (online), DOI 10.33087/talantasipil.v7i1.432
- Yenisa, J. G., Rudy, W., Subrata, A. K. A. U. (2023). Perancangan model struktur bangunan ruko bertingkat di lahan gambut menggunakan metode building information modelling. *Jurnal Basement*, 01(01), 67-32
- Zikril, H., Adhi, P., Rezi, B. Y. (2023). Struktur bangunan gedung menggunakan software bim revit (studi kasus: pembangunan gedung graha pemuda kompleks katedral jakarta). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 07(03), 26292-26299.
- Caesar, A. J. & Wananta, I. A. (2024). PERENCANAAN ULANG PROYEK PEMBANGUNAN JEMBATAN SUNGAI BAJING (TOL SOLO – YOGYAKARTA STA 19+648) DENGAN BERBASIS BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) 5D. (Undergraduate thesis, Universitas Diponegoro).
- Darajatun, B. K., & Nuranita, B. (2024). Kajian Analisis Struktur PC-I Girder

Prestressed pada Jembatan Bentang 35, 8 meter. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 10(1), 1.

Nugraha, A. A. (2024). Implementasi Konsep Building Information Modeling (BIM) 4D Dalam Tahap Perencanaan Penjadwalan Proyek Pembangunan Jembatan (Studi Kasus: Penggantian Jembatan Pening Kloji Kabupaten Mojokerto) (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

Pradana, S. D. A., & Fakrurrahman, T. (2024). REDESAIN JEMBATAN BETON PRATEGANG GEMPOLSEWU KECAMATAN ROWOSARI KABUPATEN KENDAL DENGAN MENGGUNAKAN BUILDING INFORMATION MODELLING (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).

PRATAMA, M. D. F., & WIDYANINGSIH, E. (2024). TINJAUAN LENDUTAN PADA STRUKTUR ATAS JEMBATAN PCI GIRDER BETON DENGAN DAN TANPA BEBAN SENTRIFUGAL. *Prosiding FTSP Series*, 294-299.

Prayogo, M. F. S., Manurung, E. H., & Purwanto, D. (2024). Jembatan konstruksi. *Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi*, 2(10), 161–166.

Sari, T. L., & Putra, W. K. (2024). Implementasi BIM Dalam Peninjauan Kapasitas Struktur Atas Jembatan. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 9(1), 1-13.

Sutiono, A., & Puspasari, V. H. (2024). Perancangan Tipikal Jembatan Menggunakan Metode Building Information Modeling. *Basement: Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 76-83.



LAMPIRAN