



LAPORAN TUGAS AKHIR

***RE-DESIGN* JEMBATAN IC AKSES KERTAJATI STA 3+074 BERBASIS *BULIDING INFORMATION MODELING* MENGUNAKAN METODE 5D**

Oleh

Rizal Prima Rafinanda 40030521650100

Muhammad Rizki Paula 40030521650128

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

2025

HALAMAN PENGESAHAN



LAPORAN TUGAS AKHIR

RE-DESIGN JEMBATAN IC AKSES KERTAJATI STA 3+074 BERBASIS BUILDING INFORMATION MODELING MENGGUNAKAN METODE 5D

Oleh :

Rizal Prima Rafinanda 40030521650100

Muhammad Rizki Paula 40030521650128

Laporan ini telah disusun berdasarkan masukan dari dosen pembimbing dan dinyatakan dapat diajukan untuk ujian tugas akhir pada tanggal 05 Juni 2025

Semarang, 05 Juni 2025

Menyetujui,

Pembimbing 1

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

Pembimbing 2

(Muh Bakrul Ulum Al Karimi, S.Pd., M.T.)
NIP.199506082024061001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur

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



LAPORAN TUGAS AKHIR

RE-DESIGN JEMBATAN IC AKSES KERTAJATI STA 3+074 BERBASIS *BUILDING INFORMATION MODELING* MENGUNAKAN METODE 5D

Oleh :

Rizal Prima Rafinanda
Muhammad Rizki Paula

40030521650100
40030521650128

Laporan ini telah diperbaiki dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi
saat pelaksanaan ujian tugas akhir pada tanggal 12 Juni 2025

Semarang, 23 Juni 2025

Mahasiswa I

(Rizal Prima Rafinanda)
NIM. 40030521650100

Mahasiswa II

(Muhammad Rizki Paula)
NIM. 40030521650128

Penguji I

(Shifa Fauziyah, S.T., M.T.)

NIP. H.7.199110152018072001

Menyetujui,

Penguji II

(Asri Nurdiana, S.T., M.T.)

NIP. 198512092012122001

Penguji III

(Muh Bahrul Ulum Al Karimi,
S.Pd., M.T.)

NIP. 199506082024061001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur

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

ABSTRAK

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) adalah inovasi teknologi konstruksi yang menunjang perkembangan revolusi industri 5.0 sehingga perancangan desain konstruksi dapat saling terintegrasi yang membuat pekerjaan konstruksi menjadi efektif dan efisien. Perencanaan ini bertujuan untuk merencanakan struktur bawah dan struktur atas jembatan, memodelkan 3D dan perhitungan volume pekerjaan, merencanakan penjadwalan pekerjaan, membuat rencana anggaran biaya, serta mengintegrasikan menggunakan BIM yang kemudian dibandingkan dengan desain eksisting. Metodologi untuk merencanakan perencanaan ulang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 yang meliputi perhitungan pembebanan dan pembesian struktur dengan menggunakan *Microsoft Excel* sesuai dengan SNI 1725–2016, pemodelan 3D serta perhitungan volume pekerjaan menggunakan Autodesk Revit, serta perancangan anggaran biaya dan penjadwalan dengan menggunakan Microsoft Project dan Autodesk Naviswork. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh desain pekerjaan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 aman terhadap beban yang bekerja dengan bentang jembatan 43 meter menggunakan PCI-Girder dan pondasi *borepile* berjumlah 63 buah, total biaya pekerjaan Rp29.128.966.000,00 dengan rencana durasi pekerjaan selama 44 minggu. Perbandingan yang signifikan meliputi perubahan gelagar dari U-Girder menjadi I-Girder, pengurangan pilar yang semula tiga pilar menjadi satu pilar, dan pondasi yang semula 150 tiang diameter 600 mm menjadi 63 tiang diameter 1000 mm.

Kata Kunci : BIM, Jembatan, Microsoft Project, Autodesk Naviswork, Autodesk Revit.

ABSTRACT

The implementation of Building Information Modeling (BIM) supports Industrial Revolution 5.0 by enabling more effective and efficient integrated construction planning. This project involves the redesign of Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074, covering substructure and superstructure design, 3D modeling, quantity take-off, scheduling, cost estimation, and integration using BIM. Load and reinforcement calculations follow SNI 1725–2016 using Excel; 3D modeling and volume calculations are done with Autodesk Revit; cost estimation and scheduling use Microsoft Project and Navisworks. The redesigned bridge spans 43 meters, using PCI-Girders and 63 bored piles, and is structurally safe under the applied loads. The total project cost is Rp. 29.128.966.000, with a planned duration of 44 weeks. Major design changes include replacing U-Girders with I-Girders, reducing piers from three to one, and modifying the foundation from 150 piles (600 mm) to 63 piles (1000 mm).

Keywords : BIM, Bridge, Micosoft Project, Autodesk Nafiswork, Autodesk Revit

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir berjudul “*RE-DESIGN JEMBATAN IC AKSES KERTAJATI STA 3+074 BERBASIS BUILDING INFORMATION MODELING MENGGUNAKAN METODE 5D*”.

Laporan Tugas Akhir ini disusun guna melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir sekaligus sebagai syarat kelulusan untuk menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Diploma IV Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Penulis menyadari dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan, pengalaman yang penulis miliki. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini tidak akan dapat tersusun dan terselesaikan dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini izinkan penulis mengucapkan terima kasih secara khusus pada pihak-pihak berikut:

1. Tuhan Yang Maha Esa. Segala puji syukur penulis haturkan, atas petunjuk, karunia dan kasih sayang-Nya, sehingga penulis deiberi kemudahan dan kekuatan untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis dan keluarga yang telah mendidik, memberi nasehat, dan mendampingi baik secara material dan sebagai *support system* setiap saat.
3. Ibu Asri Nurdiana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Universitas Diponegoro sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan memberi masukan selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Muh Bahrul Ulum Al Karimi, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan memberi masukan baik dalam masa perkuliahan maupun selama penyusunan Laporan Tugas Akhir ini sehingga laporan ini dapat tersusun dengan baik.

5. Bapak Bambang Setiabudi S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyelesaian berkas untuk keperluan administratif.
6. Seluruh dosen atau tenaga pengajar dan seluruh staf Program Studi Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur yang telah memberi ilmu dan memfasilitasi seluruh proses perkuliahan sehingga penulis dapat menjalani seluruh rangkaian perkuliahan dengan lancar sekaligus mendukung dan menjadi pedoman ilmu dalam menyusun tugas akhir ini.
7. Kepada kakak dari Penulis 1: Annisa Prisma Chaerani yang menjadi penyemangat sekaligus membantu dalam menyelesaikan perkuliahan ini
8. Kepada Anggita Ni'matun Zulfa yang selalu mendukung dan memberikan semangat penulis 1 dalam menyelesaikan pendidikan serta membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Kepada Ayahanda tercinta dari penulis 2 : Alm. Ayah Muhammad Latif yang menjadi sosok yang tak tergantikan dalam kehidupan Penulis 2 dan walaupun telah tiada namun hasil kerja kerasnya selama hidup membuat kehidupan Penulis 2 masih dapat tercukupi dan bisa menyelesaikan pendidikan.
10. Kepada Adik-Adik tercinta dari penulis 2 : M. Ridho Surya Tama dan Muhammad Alfahrezy yang menjadi penyemangat dari penulis untuk menyelesaikan perkuliahan dengan tepat waktu.
11. Kepada Fadhilah. U yang senantiasa mendukung penulis 2 dan memberikan semangat kepada penulis 2 untuk menyelesaikan pendidikan.
12. Seluruh kerabat Seluruh mahasiswa Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, khususnya Arunika Resmantara 21 yang telah bersama-sama berjuang dalam masa perkuliahan.

Penulis menyadari akan ketidaksempurnaan maupun kekurangan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan masukan yang membangun guna kesempurnaan laporan ini.

Semarang, 10 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Tujuan.....	18
1.4 Manfaat.....	18
1.5 Batasan Masalah.....	19
1.6 Ruang Lingkup	19
1.7 Sistematika Penulisan.....	19
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	21
2.1. <i>Building Information Modelling (BIM)</i>	21
2.2. Autodesk Revit	21
2.3. Autodesk Navisworks.....	22
2.4. SAP 2000 Structure	22
2.5. Syarat Perencanaan Jembatan	22
2.6. Perencanaan Struktur Jembatan.....	23
2.6.1. Nilai Kekuatan Struktur.....	23
2.6.2 Keadaan Batas.....	24
2.6.3 Jenis – jenis pembebanan jembatan	25
2.7 Pemodelan 3D	34
2.8 Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya.....	35
2.9 Penjadwalan.....	35
2.10 <i>Research Gap</i>	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	46
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	46
3.2 Jenis Penelitian	47

3.3	Pengumpulan Data	48
3.3.1	<i>Detail Engineering Design</i>	48
3.3.2	Data Informasi Proyek	48
3.3.3	Data Tanah	49
3.3.4	Standar Desain	49
3.3.5	Harga Satuan Material, Upah, dan Sewa Alat.....	50
3.4	<i>Preliminary Design</i>	51
3.5	Analisa Struktur.....	51
3.5.1	Analisa Struktur Atas	52
3.5.2	Analisa Struktur Bawah	65
3.6	Pemodelan DED	71
3.7	Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) konstruksi	72
3.8	Penjadwalan Pekerjaan.....	73
3.9	Integrasi Perencanaan dengan BIM.....	73
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		74
4.1	Perencanaan Struktur Jembatan.....	74
4.1.1	Pengumpulan Data	74
4.1.2	<i>Preliminary Design</i>	74
4.1.3	Standar Desain	85
4.1.4	Analisa Struktur	86
4.2	Pemodelan 3D Menggunakan Autodesk Revit	210
4.3	Perhitungan Biaya Menggunakan Microsoft Excel.....	215
4.4	Penjadwalan Proyek Menggunakan Microsoft Project	217
4.5	Integrasi 3D dan 5D Menggunakan Autodesk Naviswork.....	219
4.6	Perbandingan desain baru dengan desain <i>eksisting</i>	220
BAB V PENUTUP.....		226
5.1	Kesimpulan.....	226
5.2	Saran	227
DAFTAR PUSTAKA		228

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Beban Garis Terpusat	29
Gambar 2. 2 Beban Truk	29
Gambar 2. 3 Faktor Beban Dinamis	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 3. 2 Peta Lokasi Proyek	49
Gambar 3. 3 Brosur PCI Girder	56
Gambar 3. 4 Dimensi PCI Girder Non-Komposit	57
Gambar 3. 5 Dimensi PCI Girder Komposit	57
Gambar 3. 6 Faktor Beban Dinamis	59
Gambar 3. 7 Bagan Alir Perencanaan Sambungan Siar Muai	64
Gambar 3. 8 Tiang Ditinjau dari Cara Mendukung Bebannya	69
Gambar 3. 9 Tahanan Ujung Ultimit pada Tanah Non-Kohesif	70
Gambar 3. 10 Tahanan Selimut Ultimit pada Tanah Non-Kohesif	71
Gambar 4. 1 Potongan Memanjang Desain Eksisting	74
Gambar 4. 2 Potongan Memanjang Desain Rencana	75
Gambar 4. 3 Desain Gelagar Eksisting	76
Gambar 4. 4 Gambar PC U-Girder	76
Gambar 4. 5 Parapet	87
Gambar 4. 6 Penulangan Parapet	90
Gambar 4. 7 Beban Lalu Lintas Truk	91
Gambar 4. 8 Pembagian Beban Truk	92
Gambar 4. 9 Gaya Angin yang Bekerja pada Kendaraan	92
Gambar 4. 10 Momen Beban Mati Sendiri	93
Gambar 4. 11 Momen Beban Mati Tambahan	93
Gambar 4. 12 Beban Truk Kondisi 1	93
Gambar 4. 13 Beban Truk Kondisi 2	93
Gambar 4. 14 Beban Truk Kondisi 3	94
Gambar 4. 15 Beban Truk Kondisi 4	94
Gambar 4. 16 Momen Beban Angin	94
Gambar 4. 17 Momen Akibat Beban Barrier	94
Gambar 4. 18 Penulangan Pelat Lantai	99
Gambar 4. 19 Penulangan Diafragma	103
Gambar 4. 20 Penulangan Pelat Deck	109
Gambar 4. 21 Potongan Melintang Jembatan	109
Gambar 4. 22 Gelagar Non-Komposit	110
Gambar 4. 23 Gelagar Komposit	112
Gambar 4. 24 Gambar Diagram Momen Prategang	124
Gambar 4. 25 Gambar Diagram Gaya Geser Balok Prategang	124
Gambar 4. 26 Denah Tendon	127
Gambar 4. 27 Denah Posisi Tendon Tumpuan	128
Gambar 4. 28 Koordinat Tendon	131
Gambar 4. 29 Penulangan PCI-Girder	143
Gambar 4. 30 Potongan Memanjang Penulangan PCI-Girder	144
Gambar 4. 31 Spesifikasi Elastomer Bearing Pad	146

Gambar 4. 32 Gambar Rencana Elastomer Bearing Pad	151
Gambar 4. 33 Detail Penulangan Pelat Injak	156
Gambar 4. 34 Gambar Rencana Dimensi Abutment.....	158
Gambar 4. 35 Detail Penulangan Abutment	178
Gambar 4. 36 Detail Penulangan Wing Wall.....	179
Gambar 4. 37 Gambar Rencana Dimensi Pilar	179
Gambar 4. 38 Detail Penulangan Pilar	200
Gambar 4. 39 Gambar Rencana Denah Pondasi Abutment	200
Gambar 4. 40 Gambar Detail Penulangan Pondasi Borepile Abutment	204
Gambar 4. 41 Gambar Renacan Denah Pondasi Pilar.....	205
Gambar 4. 42 Gambar Detail Penulangan Pondasi Borepile Pilar.....	209
Gambar 4. 43 Pekerjaan Pondasi Borepile.....	211
Gambar 4. 44 Pekerjaan Pilecap dan Abutment.....	212
Gambar 4. 45 Pekerjaan Pilar.....	212
Gambar 4. 46 Pekerjaan Bearing Pad	212
Gambar 4. 47 Pekerjaan Wingwall dan Pelat Injak	213
Gambar 4. 48 Pekerjaan Gelagar	213
Gambar 4. 49 Pekerjaan Diafragma	213
Gambar 4. 50 Pekerjaan Pelat Deck.....	214
Gambar 4. 51 Pekerjaan Pelat Lantai	214
Gambar 4. 52 Pekerjaan Aspal dan Parapet.....	214
Gambar 4. 53 Time Schedule Pekerjaan Konstruksi Jembatan IC Kertajati 3+074	218
Gambar 4. 54 Integrasi menggunakan Autodesk Naviswork.....	220
Gambar 4. 55 Denah Pondasi Eksisting.....	220
Gambar 4. 56 Gambar Denah Pondasi Re-desain.....	221
Gambar 4. 57 Gambar pilar Eksisting.....	221
Gambar 4. 58 Gambar Pilar Re-desain	221
Gambar 4. 59 Gambar Gelagar Eksiting.....	223
Gambar 4. 60 Gambar Gelagar Re-desain	223

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kombinasi Pembebanan.....	25
Tabel 2. 2 Jenis Pembebanan	26
Tabel 2. 3 Berat Jenis dan Kerapatan.....	26
Tabel 2. 4 Faktor Beban dalam Keadaan Batas Layan dan Ultimit Beban Struktur	27
Tabel 2. 5 Faktor Beban dalam Keadaan Batas Layan dan Ultimit Beban Mati Tambahan.....	27
Tabel 2. 6 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah	28
Tabel 2. 7 Beban Tumbukan Kendaraan Berdasarkan Jenisnya	30
Tabel 2. 8 Kecepatan Angin (Vw) berdasarkan Lokasi Jembatan	31
Tabel 2. 9 Koefisien Seret (CW) Berdasarkan Dimensi Struktur Bangunan Atas Jembatan.....	31
Tabel 2. 10 Faktor Modifikasi berdasarkan untuk bawah bangunan	33
Tabel 2. 11 Faktor Modifikasi berdasarkan untuk hubungan antar elemen struktur	33
Tabel 2. 12 Penelitian Terdahulu	36
Tabel 3. 1 Pembebanan Akibat Tumbukan.....	52
Tabel 3. 2 Strands Cable- Standar VSL	60
Tabel 3. 3 Koefisien Susut Selisih Antara Pengecoran dan Stressing	61
Tabel 3. 4 Pemeriksaan Kekuatan Gelagar	62
Tabel 3. 5 Kontrol Bearing Pad.....	63
Tabel 3. 6 Pemilihan Jenis Sambungan Siar Muai.....	65
Tabel 3. 7 Faktor Modifikasi berdasarkan untuk bawah bangunan	66
Tabel 3. 8 Faktor Modifikasi Berdasarkan Hubungan Elemen Struktur.....	67
Tabel 3. 9 Hubungan Secara Pendekatan Cu dengan N-SPT untuk lempung (AASHTO, 1998).....	70
Tabel 4. 1 Data Jembatan Eksisting	76
Tabel 4. 2 Gaya Geser dan Momen Akibat Beban Sendiri (MS).....	77
Tabel 4. 3 Gaya Geser dan Momen Akibat Beban Mati Tambahan (MA).....	77
Tabel 4. 4 Beban Garis Terpusat (BGT)	78
Tabel 4. 5 Beban Akibat Gaya Rem (TB).....	79
Tabel 4. 6 Beban Angin	79
Tabel 4. 7 Resume Gaya yang Bekerja pada Balok	81
Tabel 4. 8 Momen pada Balok	82
Tabel 4. 9 Kombinasi Momen pada Balok.....	83
Tabel 4. 10 Hasil Kombinasi Terbesar Momen pada Balok	83
Tabel 4. 11 Gaya Geser pada Balok.....	84
Tabel 4. 12 Kombinasi Gaya Geser pada Balok	84
Tabel 4. 13 Hasil Kombinasi Gaya Geser Terbesar pada Balok.....	85
Tabel 4. 14 Beban Mati Parapet.....	87
Tabel 4. 15 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai.....	91
Tabel 4. 16 Jenis Beban yang Diterima Pelat Lantai	95
Tabel 4. 17 Kombinasi Beban Layan I.....	95
Tabel 4. 18 Kombinasi Beban Layan II	95

Tabel 4. 19 Kombinasi Beban Kuat I.....	96
Tabel 4. 20 Kombinasi Beban Kuat II	96
Tabel 4. 21 Beban yang Bekerja pada Pelat Deck	104
Tabel 4. 22 Dimensi I-Girder	110
Tabel 4. 23 Propertis I-Girder Non Komsit	110
Tabel 4. 24 Propertis I-Girder Komposit	112
Tabel 4. 25 Beban Sendiri (MS)	114
Tabel 4. 26 Beban Mati Tambahan (MA).....	114
Tabel 4. 27 Beban Garis Terpusat (BGT)	115
Tabel 4. 28 Beban Akibat Gaya Rem (TB).....	115
Tabel 4. 29 Beban Angin	116
Tabel 4. 30 Resume Momen dan Gaya Geser pada Balok Pretegang.....	118
Tabel 4. 31 Momen pada Balok Prategang	119
Tabel 4. 32 Kombinasi Momen pada Balok Prategang.....	120
Tabel 4. 33 Hasil Kombinasi Terbesar Momen pada Balok Prategang	121
Tabel 4. 34 Gaya Geser pada Balok Prategang	121
Tabel 4. 35 Kombinasi Gaya Geser pada Balok Prategang	123
Tabel 4. 36 Hasil Kombinasi Terbesar Gaya Geser pada Balok Prategang.....	124
Tabel 4. 37 Data Strands Cable Standar VSL	125
Tabel 4. 38 Jumlah Tendon pada Tengah Bentang	127
Tabel 4. 39 Jumlah Tendon pada Tumpuan Bentang.....	128
Tabel 4. 40 Momen Statis Terhadap Pusat Tendon Terbawah	128
Tabel 4. 41 Eksentrisitas pada Tendon	129
Tabel 4. 42 Koordinat tendon n di Jarak X	130
Tabel 4. 43 Eksentrisitas Tengah Tendon n di Jarak X.....	130
Tabel 4. 44 Eksentrisitas rata – rata Tendon di Jarak X.....	130
Tabel 4. 45 Koefisien Susut Ksh.....	132
Tabel 4. 46 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Tendon	133
Tabel 4. 47 Rekapitulasi Tegangan pada Saat Transfer dan Konstruksi.....	134
Tabel 4. 48 Kombinasi Pembebanan.....	135
Tabel 4. 49 Distribusi Beban.....	136
Tabel 4. 50 Hasil As Minimum.....	138
Tabel 4. 51 Perencanaan Tulangan Bursting zone	139
Tabel 4. 52 Perencanaan Tulangan Bursting Zone	139
Tabel 4. 53 Perencanaan Tulangan Shear Connector.....	140
Tabel 4. 54 Kombinasi Kuat I.....	141
Tabel 4. 55 Tulangan Shear Connector pada Jarak X.....	142
Tabel 4. 56 Beban yang Bekerja pada Bearing Pad	145
Tabel 4. 57 Beban Horizontal yang Bekerja pada Parapet.....	145
Tabel 4. 58 Propertis Bering Pad	146
Tabel 4. 59 Dimensi Vertikal dan Horizontal	148
Tabel 4. 60 Beban yang Diterima Plat Injak	152
Tabel 4. 61 Koefisien Rangkak Beton	157
Tabel 4. 62 Propertis Abutment	158
Tabel 4. 63 Beban Mati Sendiri	159
Tabel 4. 64 Analisa Beban Mati Struktur Atas	159
Tabel 4. 65 Parameter Perencanaan Beban Gempa pada Jembatan	161
Tabel 4. 66 Rekapitulasi Beban Abutment	163

Tabel 4. 67 Kombinasi Beban.....	164
Tabel 4. 68 Cek Stabilitas Abutment	165
Tabel 4. 69 Beban Mati Struktur Sendiri	165
Tabel 4. 70 Analisis Beban Mati Struktur Diatasnya.....	166
Tabel 4. 71 Beban Mati Struktur Sendiri	168
Tabel 4. 72 Beban Hidup yang Bekerja	168
Tabel 4. 73 Tulangan Susut Badan Abutment	170
Tabel 4. 74 Beban Mati Struktur Sendiri	171
Tabel 4. 75 Beban Hidup Wingwall.....	171
Tabel 4. 76 Perencanaan Tulangan Pilecap Abutment.....	176
Tabel 4. 77 Properti Pilar.....	180
Tabel 4. 78 Beban Mati Struktur Sendiri	180
Tabel 4. 79 Analisa Beban Struktur Atas dari Arah Kanan	181
Tabel 4. 80 Analisa Beban Struktur Atas dari Arah Kiri	181
Tabel 4. 81 Parameter Perencanaan Gempa pada Jembatan	183
Tabel 4. 82 Rekapitulasi Pembebanan dari Arah Kanan	186
Tabel 4. 83 Rekapitulasi Pembebanan dari Arah Kiri	186
Tabel 4. 84 Kombinasi Pembebanan.....	186
Tabel 4. 85 Cek Stabilitas Pilar.....	187
Tabel 4. 86 Beban Mati Struktur Sendiri	188
Tabel 4. 87 Beban Hidup Kendaraan	188
Tabel 4. 88 Beban Mati dari Arah Kanan	190
Tabel 4. 89 Beban Mati dari Arah Kiri	190
Tabel 4. 90 Beban Hidup dari Arah Kanan.....	191
Tabel 4. 91 Beban Hidup dari Arah Kiri.....	191
Tabel 4. 92 Beban Mati Struktur Sendiri	193
Tabel 4. 93 Beban hidup dari Arah Kanan.....	194
Tabel 4. 94 Beban Hidup dari Arah Kiri.....	194
Tabel 4. 95 Tulangan Susut Pilar	196
Tabel 4. 96 Perencanaan Penulangan Pilecap Pilar	197
Tabel 4. 97 Beban Vertikal Akibat Struktur Atas	202
Tabel 4. 98 Kombinasi Pembebanan.....	202
Tabel 4. 99 Cek Kontrol.....	203
Tabel 4. 100 Beban Vertikal Akibat Struktur Atas.....	207
Tabel 4. 101 Kombinasi Pembebanan.....	207
Tabel 4. 102 Cek Kontrol.....	207
Tabel 4. 103 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya.....	216
Tabel 4. 104 Perbandingan Desain Eksisting dengan Hasil Re-Desain.....	224

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan kehidupan manusia saat ini hampir mencapai *revolusi industri 5.0* disetiap sektor. *Revolusi industri 5.0* adalah digitalisasi dan otomatisasi sistem dengan mengikuti perkembangan teknologi terkini agar pekerjaan manusia lebih efektif, inovatif, dan efisien dengan mengkolaborasikan *Artificial Intelligence*, *Internet of Things*, dan keahlian manusia (Suryadi & Nasution, 2023). Salah satu pengaruh revolusi industri 5.0 merambah pada bidang konstruksi. Teknologi Konstruksi merupakan segala perkembangan yang mengalami kemajuan di bidang konstruksi, baik dari material, alat penunjang konstruksi, dan juga metode konstruksi (Rizky Utama & Sekarsari, 2019). Teknologi Konstruksi berperan penting bagi dunia proyek agar tercapainya target proyek dengan waktu yang efektif, biaya yang efisien, dan mutu yang maksimal (Berlian P. et al., 2016). Bentuk dari perkembangan teknologi konstruksi yang menunjang *revolusi industri 5.0* adalah penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan proyek konstruksi.

Building Information Modeling (BIM) merupakan proses perencanaan konstruksi yang bersifat virtual dimana seluruh informasi dibuat dalam pemodelan yang terintegrasi dengan baik secara digital yang berlandaskan pada teknologi (Nur Prasetyo et al., 2021). Perkembangan *Building Information Modeling* (BIM) dapat digunakan pada semua bidang konstruksi yang salah satunya adalah perencanaan transportasi yang meliputi perencanaan geometrik jalan dan perencanaan jembatan. Dalam perencanaan geometrik jalan dan perencanaan jembatan, Dalam BIM terdapat beberapa pengelompokan sesuai dengan tiap tahapan dalam perencanaan proyek sebagai berikut, BIM 2D (Sketsa), BIM 3D (Pemodelan), BIM 4D (Penjadwalan), dan BIM 5D (Perkiraan Biaya. Adapun keberlanjutan BIM 5D adalah BIM level 3 yaitu 6D dan 7D yang merupakan *sustainability* dan *facility management application* (Nugraha & Elfrida, 2023). Namun dalam sebuah proses perencanaan sekaligus pelaksanaan konstruksi masih belum memiliki tingkat urgensi yang tinggi. Alasan lain memilih BIM 5D karena lebih detail dan

terintegrasi dalam perencanaan menggunakan BIM 5D jauh tinggi dibandingkan dengan metode konvensional seperti perubahan desain 2D ke 3D. Selain itu, lebih cepat dan mudah, perkiraan waktu penjadwalan proyek yang lebih efektif, dan estimasi biaya yang lebih efisien (Berlian P. et al., 2016; Filza Wiranti et al., 2022).

Jembatan adalah struktur yang direncanakan sebagai infrastruktur dan memberikan lintasan bagi manusia, kendaraan ataupun hewan di daerah yang berupa jurang sungai ataupun jalan (M. J. Ryall, G. A. R. Parke, dan J. E. Harding, 2021). Sedangkan menurut Undang – Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang jalan, Jembatan adalah konstruksi bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat yang lain, memungkinkan lintasan bagi benda bergerak. Jembatan dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu berdasarkan struktur, fungsi, serta berdasarkan bahan pembuatnya. Jenis jembatan berdasarkan fungsi terbagi menjadi 4 yaitu, jembatan jalan raya, jembatan kereta api, jembatan pejalan kaki, dan jembatan *interchange*. Jembatan interchange adalah suatu jembatan berbentuk persimpangan jalan tidak sebidang dan kendaraan dapat berpindah dari satu jalan ke jalan yang lain tanpa terganggu lampu lalu lintas (Aprisiana, n.d., 2022).

Pada masa perkembangan teknologi seperti zaman sekarang proses perencanaan konstruksi jembatan sangat memerlukan penerapan BIM. Pentingnya BIM dalam proses perencanaan ataupun proses pelaksanaan konstruksi jembatan karena memberikan nilai lebih dari segi efisiensi, akurasi serta manajemen proyek yang lebih baik (Berlian P. et al., 2016). Kelebihan tersebut dapat memberikan dampak positif bagi *owner* atau pemilik proyek dalam hal ini untuk proyek jembatan rata – rata dibawah Kementerian Pekerjaan Umum atau bisa disebut Pemerintah agar anggaran yang dikeluarkan untuk sebuah proyek dapat tepat guna untuk melaksanakan proyek.

Penelitian ini akan melakukan perencanaan pekerjaan konstruksi jembatan beton prategang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 yang meliputi analisa struktur menggunakan SAP 2000 Structures, pemodelan 3D dan *drafting* menggunakan Autodesk Revit, serta perencanaan anggaran biaya dan time schedule menggunakan Microsoft Project dan Naviswork. Dalam melakukan perencanaan

ini, penulis merumuskan perencanaan ini yang meliputi, cara memilih struktur yang efektif agar jembatan mampu menahan beban kendaraan dan dapat memenuhi umur rencana konstruksi yang telah ditetapkan, cara mencari hasil pemodelan 3D dari jembatan dan hasil perhitungan volume menggunakan *software* Autodesk Revit dalam memvisualisasikan proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074, cara mencari hasil perhitungan biaya menggunakan Microsoft Project dan hasil simulasi 4D dan 5D menggunakan *software* Navisworks pada *re-design* proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074. Pemilihan BIM 5D dalam perencanaan pekerjaan konstruksi jembatan beton prategang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 karena lebih detail dan terintegrasi dalam perencanaan menggunakan BIM 5D jauh tinggi dibandingkan dengan metode konvensional seperti perubahan desain 2D ke 3D. Selain itu, lebih cepat dan mudah, perkiraan waktu penjadwalan proyek yang lebih efektif, dan estimasi biaya yang lebih efisien (Nur Prasetyo et al., 2021).

Dasar untuk melakukan desain ulang adalah implementasikan inovasi pada teknologi konstruksi yaitu digital BIM (*Building Information Modelling*) yang disesuaikan sesuai dengan pedoman konstruksi dan bangunan kementerian pekerjaan umum nomor 0/P/BM/2013 tentang penyusunan kerangka acuan kerja (KAK) perencanaan dan pengawasan teknis jalan dan jembatan (PUPR, 2021). Tugas ini diharapkan dapat bermanfaat untuk meningkatkan efisiensi dan meminimalisasi kesalahan terhadap pelaksanaan proyek.

Building Information Modeling (BIM) merupakan inovasi yang sangat berdampak positif bagi dunia konstruksi. Dalam dunia pendidikan, *Building Information Modeling* (BIM) dapat dijadikan sebagai alat untuk mengevaluasi proyek konstruksi, salah satunya pada Proyek Perencanaan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074. Pada perencanaan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074, menggunakan PCI Girder tipe U dengan Panjang 21,7 meter sebagai penyalur beban dari pelat lantai jembatan. Sehingga untuk membuat Jembatan IC Kertajati STA 3+074 dengan Panjang 86 meter membutuhkan 4 bentang dengan 3 pilar jembatan dan membuat lahan dibawah jembatan yang seharusnya bisa lebih luas menjadi berkurang akibat adanya pilar. Dengan kondisi eksisting yang kurang efektif, sehingga menjadi dasar untuk melakukan desain ulang struktur atas dengan

mengganti Girder tipe U menjadi Girder tipe I dengan fokus utama untuk efisiensi kebutuhan material dan mengoptimalkan lahan dibawah jembatan dengan menghilangkan pilar jembatan.

Penggunaan beton prategang dalam proyek konstruksi jembatan menengah sudah sangat banyak digunakan dan memiliki berbagai macam jenis (Caesar et al., 2024). Pada proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074, memakai Girder Tipe U yang menggunakan bentang pendek sehingga memerlukan pilar sebagai struktur tambahan. Oleh karena itu, efisiensi struktur dilakukan sebagai komparasi terhadap kondisi eksisting dengan mengganti struktur atas menggunakan Girder Tipe I. Girder Tipe I dengan tinggi 2,1 m memiliki kehilangan gaya prategang lebih rendah sebesar 32,825% dibanding Girder Tipe U yang memiliki 1,85 m memiliki kehilangan gaya prategang sebesar 34,5 % (Darwis, 2016). Selain itu, Girder Tipe I memiliki volume dimensi yang lebih kecil dibandingkan Girder Tipe U sehingga jumlah kebutuhan tendon bisa lebih sedikit dibanding Girder Tipe U. Berdasarkan perbandingan, Girder Tipe I jauh lebih ekonomis dibandingkan Girder Tipe U (Propika Jaka, 2022).

Dengan adanya perubahan struktur yang semula menggunakan Girder Tipe U yang diganti dengan Girder Tipe I dan penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dalam melakukan proses perencanaan konstruksi yang meliputi pembebanan struktur yang menggunakan SAP2000, pemodelan 3D dengan menggunakan Autodesk Revit, penjadwalan proyek 4D menggunakan Autodesk Nafiswork dan Microsoft Project, serta perhitungan rencana anggaran biaya 5D dengan menggunakan Microsoft Excel, diharapkan mendapatkan hasil perencanaan yang lebih efektif dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan latar belakang di atas, kami merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan struktur atas dan bawah pada Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074?
2. Bagaimana pemodelan 3D menggunakan revit pada Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074?

3. Bagaimaimana perhitungan biaya (5D) menggunakan Microsoft Excel pada Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074?
4. Bagaimana penjadwalan (4D) pada Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074?
5. Bagaimana pengintegrasian hasil pemodelan, penjadwalan dan perhitungan biaya menggunakan Naviswork pada Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074?
6. Bagaimana hasil perbandingan setelah melakukan perencanaan ulang dengan desain sebelumnya?

1.3 Tujuan

Dalam tugas ini, ada beberapa tujuan untuk dicapai yakni sebagai berikut :

1. Melakukan perhitungan ulang struktur Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 dengan efektif
2. Melakukan pemodelan secara 3D menggunakan Autodesk Revit pada *re-design* Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074
3. Merencanakan penjadwalan pekerjaan proyek dengan menggunakan Microsoft Project
4. Melakukan perhitungan biaya menggunakan Microsoft Excel pada *re-design* Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074
5. Mengintegrasikan perhitungan struktur, pemodelan 3D dan analisis perhitungan, serta membuat Rencana Anggaran Biaya, dan Penjadwalan dalam *re-design* Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 menggunakan Naviswork.
6. Melakukan perbandingan hasil desain baru dengan desain yang sebelumnya.

1.4 Manfaat

Beberapa manfaat yang bisa di harapkan dari penyusunan tugas ini adalah

1. Memberikan hasil pemodelan 3D dengan bantuan *software Autodesk Revit*.
2. Memberikan hasil re-design perencanaan struktur dengan bantuan *software SAP 2000* untuk pembebanan pelat lantai, *Microsoft Excel* dan hasil perhitungan volume menggunakan bantuan dari *software Autodesk Revit*.

3. Memberikan hasil perencanaan waktu visual 4D dan 5D *modeling* dengan menggunakan bantuan *software Naviswork* dan perencanaan biaya menggunakan *Microsoft Excel*.
4. Memberikan referensi terhadap pembaca terkait pemodelan 3D, 4D dan 5D serta perhitungan struktur mengenai proyek jembatan.
5. Meningkatkan pemahaman penulis maupun pembaca tentang perencanaan ulang suatu jembatan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas ini sebagai berikut :

1. Perencanaan perhitungan dan Analisa struktur yang dilakukan menggunakan manual dan bantuan *software* SAP 2000.
2. Pemodelan 3D *modelling* dan *drafting* DED menggunakan *software* Autodesk Revit.
3. Tugas akhir ini tidak meninjau metode pelaksanaan konstruksi
4. Estimasi biaya menggunakan Microsoft Excel sesuai AHSP yang berlaku.
5. Simulasi penjadwalan (4D) dan estimasi biaya (5D) menggunakan Naviswork.

1.6 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada perencanaan ini sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur atas dan bawah
2. Pemodelan *visual 3D modelling*
3. Pemodelan *visual struktur 3D modelling*
4. RAB (Rencana Anggaran Biaya) pekerjaan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074
5. Simulasi 4D dan 5D

1.7 Sistematika Penulisan

1. BAB I. PENDAHULUAN

Bab 1 pendahuluan meliputi tentang latar belakang masalah dan poin mengenai permasalahan yang nantinya akan dibahas dalam penelitian pada laporan tugas akhir ini.

2. BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 ini meliputi tentang variable yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini.

3. BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bab 3 berisi tentang langkah-langkah dalam melakukan penelitian untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Didalam bab ini terdiri dari konsep metode, tahapan serta diagram alir penelitian

4. BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini merupakan bab yang meliputi pembahasan yang telah dilakukan. Hasil tersebut terdiri atas perhitungan struktur jembatan, pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit, Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB), dan penjadwalan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074.

5. BAB V. PENUTUP

Pada bab 5 ini merupakan hasil dari perencanaan jembatan meliputi perhitungan struktur, pemodelan 3D, rancangan anggaran biaya (RAB), penjadwalan, jawaban dari tujuan yang berada pada bab 1, serta saran yang diberikan untuk penulis lain jika nantinya penelitian ini digunakan sebagai referensi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Building Information Modelling* (BIM)

Konsep *Building Information Modeling* (BIM) pada awalnya hadir pada tahun 1970, yang saat itu BIM adalah metodologi kolaboratif untuk mengintegrasikan arsitektural, struktural, dan teknikal suatu proyek konstruksi agar efektif dan efisien (Anandita, 2023). Industri arsitektur, ketekniksipilan, dan konstruksi sedang dihadapkan pada tantangan besar mengenai penerapan kemajuan teknologi sebagai upaya pembangunan berkelanjutan (Kensek, 2014). Dalam beberapa tahun terakhir, *Building Information Modeling* (BIM) menjadi solusi yang layak untuk membuat model tiga dimensi berdasarkan parameter-parameter yang telah direncanakan pada gambar kerja (3D), penjadwalan (4D), estimasi biaya (5D), keberlanjutan proyek (6D), serta pemeliharaan dan *life-circle management* (7D) (Anandita, 2023). *Building Information Modeling* (BIM) ada berdasarkan pada gagasan model pembangunan digital yang berkelanjutan pada siklus hidup bangunan, mulai dari desain perencanaan, hingga fase pelaksanaan konstruksi, dan fase pengoperasian bangunan jangka panjang (Forth et al., 2023).

Dalam prinsipnya, *Building Information Modeling* (BIM) bisa mengelola informasi yang diperoleh dari pemodelan tiga dimensi yang dibuat menjadi data-data terkait spesifikasi material, biaya, prosedur pemeliharaan, parameter struktural, dan fungsionalnya (Biancardo et al., 2020).

2.2. Autodesk Revit

Revit di desain untuk para arsitek, kontraktor maupun pekerja konstruksi untuk membantu pekerjaan mereka untuk membuat model 3D parametrik secara lebih terperinci yang berisi informasi konstruksi. Sejarah awal revit di dirikan pada tanggal 31 oktober 1997 oleh Leonid Rainz dan Irwin Jungreis. Pada tahun 2002 Revit technology di beli oleh perusahaan yang yang sudah terkenal dengan produk Autocad nya yaitu Autodesk.

Autodesk Revit merupakan perangkat lunak dari Autodesk yang membantu manusia dalam membuat model desain bangunan, arsitektur, dan MEP menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) (Christiandava et al., 2023).

Autodesk Revit juga memiliki dukungan untuk analisis struktur, *green building*, *heat load* dan berbagai analisis konstruksi lainnya. Menurut Aniendhita R.A.,(2023) dalam model *Revit*, *Revit structure* dapat mengkoordinasikan ke semua pihak yang terlibat dalam konstruksi mengenai informasi yang bersangkutan dalam proyek tersebut, setiap perubahan yang terjadi dalam gambar, penjadwalan, potongan dan perencanaan akan berubah secara otomatis.

2.3. Autodesk Navisworks

Autodesk Navisworks Manage merupakan *software* yang menyediakan solusi ulasan proyek yang komprehensif dalam mewujudkan koordinasi, analisis, dan komunikasi desain dan konstruksi. Hal ini berkemungkinan terjadi integrasi data desain multidisiplin yang dibuat dalam berbagai software desain BIM yang berbeda ke model proyek tunggal. Ini juga menjadi solusi untuk mengantisipasi dan menghindari potensi masalah dalam proyek karena memiliki manajemen kesalahan dan fungsi deteksi benturan sehingga dapat meminimalisir penundaan dan pengerjaan ulang. Selain itu, menyediakan simulasi dan analisis 4D dan 5D dengan mengkombinasikan model parametrik dengan jadwal dan biaya proyek (Autodesk, 2012).

Dalam dunia konstruksi, Autodesk Navisworks digunakan untuk melengkapi paket desain 3D (seperti, Revit, AutoCAD, dan MicroStation) yang memungkinkan untuk membuka dan mengkombinasikan model 3D, bernavigasi secara real-time dan menggunakan perangkat alat termasuk *comments*, *redlining*, *viewpoint*, dan pengukuran. Navisworks juga dapat menambahkan deteksi interferensi, simulasi 4D, rendering fotorealistik, dan penerbitan dalam bentuk pdf (Autodesk, 2023).

2.4. SAP 2000 Structure

SAP 2000 Structure adalah aplikasi yang dikembangkan oleh SAP 2000 corporation sebagai keperluan perhitungan dan rekayasa struktur termasuk fitur-fitur komprehensif yang bisa diakses bagi para detailer, fabrikator, manufaktur, dan konstruktor (Christiandava et al., 2023).

2.5.Syarat Perencanaan Jembatan

Dasar perencanaan pada Surat Edaran Direktur Jendral Bina Marga Nomor 06/SE/Db/2021 tentang Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, selain itu

juga berdasar pada SNI 1725 – 2016 tentang Pembebanan Jembatan. Untuk perencanaan terhadap beban gempa berdasar kepada SNI 2833:2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa. Untuk perencanaan struktur beton mengacu kepada SNI T-12-2004.

2.6. Perencanaan Struktur Jembatan

2.6.1. Nilai Kekuatan Struktur

Nilai kekuatan struktur adalah nilai yang ditentukan oleh struktur tersebut serta beban yang diterima oleh struktur tersebut. Struktur bisa dikatakan memenuhi syarat apabila mampu menahan beban yang bekerja pada struktur selama umur rencana. Berikut adalah syarat kekuatan struktur:

$$PR \geq PU$$

$$MR \geq MU$$

$$VR \geq VU$$

$$TR \geq TU$$

keterangan :

P : Gaya aksial (kN)

M : Momen lentur (kNm)

V : Gaya geser (kN)

T : Momen torsi (kNm)

R : Kuat rencana

U : Kuat perlu

2.6.1.1 Kuat Nominal

Kuat nominal merupakan kemampuan maksimum struktur dalam menerima beban atau gaya. Nilai tersebut dapat diketahui dari material dan dimensi penampang. Dalam perencanaan harus mempertimbangkan kualitas material dilapangan dengan cara menambahkan factor reduksi. Kuat rencana dihasilkan dari kuat nominal dikalikan dengan factor reduksi.

$$R = \phi N$$

Keterangan :

R : Kuat rencana

$\emptyset$: Faktor reduksi

N : Kuat nominal

2.6.1.2 Kuat Perlu (U)

Kuat perlu adalah besar beban yang diterima oleh suatu struktur. Pada perencanaan harus ditingkatkan dengan menambahkan factor beban sesuai dengan jenis beban. Pemberian factor bertujuan menjaga apabila terjadi perubahan beban di lapangan.

$$U = \gamma_i Q_i$$

Keterangan :

U : Kuat perlu

γ_i : Faktor beban i

Q_i : Beban jenis i

2.6.2 Keadaan Batas

Keadaan batas adalah kondisi dimana yang direncanakan dapat terjadi pada struktur jembatan. Kondisi ini dapat ditentukan melalui kombinasi pembebanan dan factor beban yang berbeda. Kondisi tersebut memungkinkan perencanaan menganalisis kemungkinan yang terjadi pada struktur berdasarkan investigasi lapangan. Kondisi dengan nilai besar dapat digunakan untuk menentukan desain struktur.

Dibawah ini merupakan jenis – jenis keadaan batas yang ditetapkan SNI 1725 – 2016 :

- a Keadaan batas kekuatan; dalam kondisi ini struktur tetap terjaga namun terjadi kerusakan. Keadaan ini kemungkinan dapat terjadi selama masa layan jembatan.
- b Keadaan batas ekstrem; kondisi ini memperhitungkan beban gempa yang terjadi
- c Keadaan batas layan; dalam kondisi ini struktur jembatan direncanakan agar bekerja dengan baik dan maksimal selama umur rencana.

- d Keadaan batas fatik dan fraktur; keadaan dimana untuk mencegah kegagalan akibat beban yang besar selama umur rencana.

Tabel 2. 1 Kombinasi Pembebanan

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EWS	EWL	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_P	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_P	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_P	-	1,00	1,4	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_P	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_P	-	1,00	0,1	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_P	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_P	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,0
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,3	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,7	-	1,00	1,00/1,20	-	1,0	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Catatan	: γ_P dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , γ_{SH} tergantung beban yang ditinjau γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa											

Sumber : SNI 1725-2016

2.6.3 Jenis – jenis pembebanan jembatan

Jenis pembebanan pada jembatan telah diatur dalam SNI 1725 – 2016 dengan sub jenis dan pasal tersendiri, sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Jenis Pembebanan

Tipe Beban	Nama Beban	Simbol	Pasal
Beban permanen	Berat sendiri	MS	7.2
	Beban mati tambahan	MA	7.3
	Beban akibat tekanan tanah	TA / TP	7.4
Beban lalu lintas			8
Beban transien	Beban lajur "D"	TD	8.3
	Beban truk "T"	TT	8.4
	Gaya rem	TB	8.7
	Beban tumbukan kendaraan	TC	8.10
Aksi lingkungan			9
Beban transien	Gaya akibat deformasi		9.3
	Pengaruh susut dan rangkai	SH	9.3.2
	Pengaruh prategang	PR	9.3.3
Beban transien	Beban angin		9.6
	Beban angin pada struktur	EWs	9.6.1.1
	Gaya angin pada kendaraan	EWI	9.6.1.2
Beban transien	Pengaruh gempa	EQ	9.7
Aksi-aksi lainnya			10
Beban transien	Gaya friksi	BF	10.1

Sumber : SNI 1725-2016

2.6.3.1 Beban Permanen

- a. Beban mati (MS) adalah beban yang terjadi akibat beban dari elemen-elemen struktural dan nonstruktural dari jalan dan jembatan tersebut. Beban struktural dan nonstruktural tersebut dihitung berdasarkan dimensi struktur dan berat jenisnya.

Tabel 2. 3 Berat Jenis dan Kerapatan

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Massa (Kg/m ³)
1	Timbunan Tanah yang dipadatkan	26,7	2720
2	Kerikil dipadatkan	18,8 - 22,7	1920 - 2320
3	Aspal beton	22,0	2240
4	Beton ringan	12,25 - 19,6	1250 - 2000

5	Beton	22,0 - 25,0	2240 - 2560
6	Beton Prategang	25,0 - 26,0	2560 - 2640
7	Beton Bertulang	23,5 - 25,5	2400 - 2600
8	Batu pasangan	23,5	2400
9	Pasir kering	15,7 - 17,2	1600 - 1760
10	Pasir basah	18,0 - 18,8	1840 - 1920

Sumber : SNI 1725-2016

Tabel 2. 4 Faktor Beban dalam Keadaan Batas Layan dan Ultimit Beban Struktur

Tipe Beban	Faktor Beban			
	Keadaan Batas Layan		Keadaan Batas Ultimit	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI 1725-2016

- b. Beban mati tambahan (MA) adalah berat yang terjadi pada bangunan yang berasal dari elemen nonstruktural dan besarnya berubah sesuai umur bangunan. Contohnya lapisan perkerasan jalan.

Tabel 2. 5 Faktor Beban dalam Keadaan Batas Layan dan Ultimit Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor beban			
	Keadaan Batas Layan		Keadaan Batas Ultimit	
	Keadaan		Biasa	Terkurang
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Sumber : SNI 1725-2016

- c. Beban akibat tekanan tanah (TA/TP) adalah beban yang diakibatkan tanah yang berada di sekitar struktur. Besar beban yang bekerja didasarkan pada

sifat dari tanah yang ada, seperti kepadatan, kohesi, dan lain sebagainya sifat dari tanah dapat ditentukan melalui uji tanah baik dilakukan di lapangan maupun laboratorium. Semua ketentuan mengenai pembebanan tanah diatur dalam SNI 1725 – 2016

Tabel 2. 6 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Kondisi Batas Layan		Kondisi Batas Ultimit	
Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
Tekanan tanah lateral			
-Aktif	1,00	1,25	0,80
-Pasif	1,00	1,40	0,70
-Diam	1,00	(1)	
Catatan (1) : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.			

Sumber : SNI 1725-2016

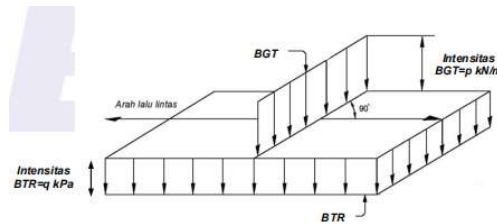
2.6.3.2 Beban lalu lintas

Beban lalu lintas adalah suatu beban yang bekerja pada struktur yang disebabkan oleh aktivitas lalu lintas pada jembatan. Beban lalu lintas dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

- a. Beban lajur D adalah beban yang bekerja pada jalur yang dilewati kendaraan sehingga dapat mempengaruhi kekuatan struktur dari bangunan. Menurut SNI 1725:2016, Beban lajur D terdiri dari :
 - Beban terbagi rata (BTR), yaitu beban yang terjadi searah dengan bentang pelat lantai kendaraan L.

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

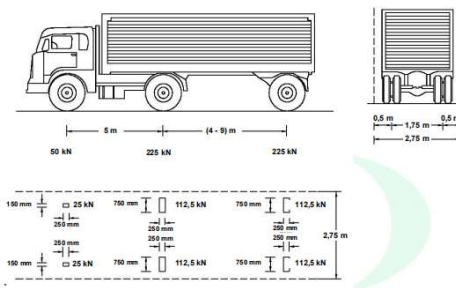
Jika $L > 30 \text{ m}$: $q = 9,0 (0,5 + \frac{15}{L}) \text{ kPa}$
 - Beban garis terpusat (BGT), yaitu beban yang terjadi tegak lurus dengan arah lalu lintas yang memiliki nilai sebesar 39,0 kN/m.



Gambar 2. 1 Beban Garis Terpusat

Sumber : SNI 1725-2016

- b. Beban Truk “T” adalah beban terpusat yang terjadi pada pelat lantai kendaraan karena roda kendaraan berat sehingga dapat mempengaruhi kekuatan struktur bangunan.



Gambar 2. 2 Beban Truk

Sumber : SNI 1725-2016

Berdasarkan gambar diatas, terlihat beban T yang berasal dari roda depan, tengah, dan belakang Sehingga besar beban pada pelat lantai tersebut adalah $50 + 225 + 225 = 500 \text{ kN}$.

- c. Beban Rem (TB), yaitu beban horizontal yang terjadi akibat pengereman kendaraan sehingga mempengaruhi kekuatan struktur bangunan. Beban rem dihitung dari 25 % beban T dan 5% beban T ditambah BTR. Beban rem bekerja 180 cm diatas permukaan pelat lantai kendaraan yang arahnya berlawanan dengan lajur kendaraan.
- d. Beban Sentrifugal, yaitu beban yang terjadi akibat gaya radial atau efek guling dari beban roda sehingga mempengaruhi kekuatan struktur bangunan. Gaya sentrifugal dapat dihitung

$$C = f \frac{v^2}{g R l}$$

Keterangan :

v = kecepatan rencana (m/s)

f = faktor kombinasi beban

G = gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

R_l = jari-jari kelengkungan (m)

- e. Beban Tumbukan, yaitu beban yang biasanya bekerja pada pembatas jalan (*railing*). Menurut SNI 1725:2016, besar beban tumbukan sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Beban Tumbukan Kendaraan Berdasarkan Jenisnya

Parameter	Mobil		Truk Pick-Up	Truk Van	Truk trailer tipe van		Truk trailer tipe Traktor- Tanker
W (N)	7000	8000	20000	80000	220000	355000	355000
B (mm)	1700	1700	2300	2300	2450	2450	2450
G (mm)	550	550	700	1250	1630	1850	2050

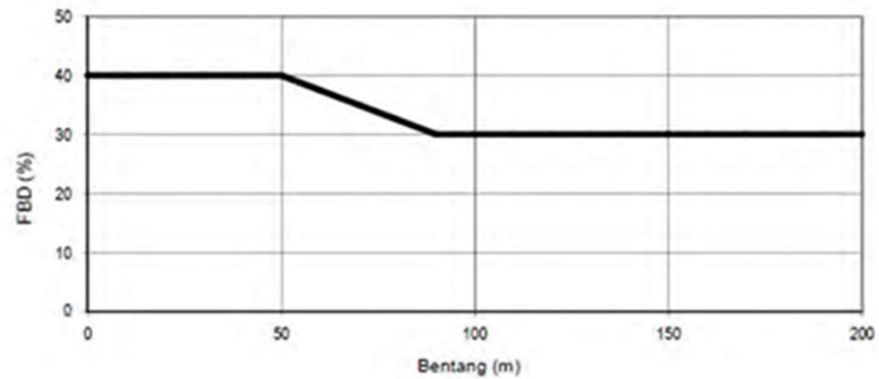
Sumber : SNI 1725-2016

- f. Faktor Beban Dinamis (FBD) adalah factor untuk simulasi imteraksi beban lalu lintas pada jembatan. Nilai FBD digunakan untuk beban “T” dan Beban Garis Terpusat (BGT). Besar factor beban dinamis untuk beban “T” ditetapkan sebesar 30%. Sedangkan nilai factor untuk BGT ditentukan pada pasal 8.6 SNI 1725 – 2016 dengan bentang sebagai

acuan

nilai

FBD.



Gambar 2. 3 Faktor Beban Dinamis

Sumber : SNI 1725-2016

2.6.3.3 Beban akibat lingkungan

Beban ini terjadi disebabkan karena beban yang ditimbulkan oleh keadaan lingkungan yang dipengaruhi oleh alam.

- a. Beban angin, beban horizontal yang terjadi akibat tekanan angin yang dapat diiperhitungkan dengan rumus berikut :

$$TEW = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b$$

Keterangan :

V_w = Kecepatan angin rencana (m/s)

C_w = Koefisien seret

A_b = Koefisien luas bagian samping (m²)

Tabel 2. 8 Kecepatan Angin (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 : RSNI-T-02-2005

Tabel 2. 9 Koefisien Seret (C_w) Berdasarkan Dimensi Struktur Bangunan Atas Jembatan

Tipe Jembatan	C_w
---------------	-------

Bangunan atas masif :	
b/d = 1,0	2,1
b/d = 2,0	1,5
b/d = 6,0	1,25
Bangunan rangka atas	1,2
Catatan :	
b = lebar seluruh jembatan dihitung dari sisi luar sandaran	
d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang massif	

Sumber : RSNI-T-02-2005

- b. Beban gempa, yaitu beban yang terjadi akibat pergerakan lempeng bumi sehingga menyebabkan terjadinya pergerakan yang dapat mempengaruhi kekuatan dari struktur jembatan. Beban gempa diformulasikan sebagai berikut :

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

Keterangan :

E_Q = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = Koefisien respon elastik

R = faktor modifikasi respons

W_t = berat total struktur (kN)

- Menurut SNI 2833:2016, Koefisien respon gempa elastik sebagai berikut :

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

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s$$

1. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respon gempa elastik (C_{sm}) sama dengan S_{DS} .

2. Untuk periode lebih besar T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan :

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

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

$T_0 = 0,2 T_s$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

- Menurut SNI 2833:2016, faktor modifikasi respon sebagai berikut :

a. Untuk bawah bangunan

Tabel 2. 10 Faktor Modifikasi berdasarkan untuk bawah bangunan

Bangunan Bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/kolom bertulang			
Tiang Vertikal	1,5	2,0	3,0
Tiang Miring	1,5	1,5	2,0
Kolom Tunggal	1,5	2,0	3,0
Tiang baja dan komposit			
Tiang Vertikal	1,5	3,5	5,0
Tiang Miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Sumber : SNI 2833-2016

b. Untuk hubungan antar elemen struktur

Tabel 2. 11 Faktor Modifikasi berdasarkan untuk hubungan antar elemen struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8

Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Sumber : SNI 2833-2016

- Menurut SNI 2833:2016, kombinasi pembebanan pengaruh gaya gempa sebagai berikut :

$$1. DL + \gamma_{EQ} LL \pm EQ_x \pm 0,3 EQ_y$$

$$2. DL + \gamma_{EQ} LL \pm EQ_y \pm 0,3 EQ_x$$

Keterangan :

DL = Beban mati yang bekerja (kN)

γ_{EQ} = faktor beban hidup kondisi gempa

$$\gamma_{EQ} = 0,5 \text{ (jembatan sangat penting)}$$

$$\gamma_{EQ} = 0,3 \text{ (jembatan penting)}$$

$$\gamma_{EQ} = 0 \text{ (jembatan lainnya)}$$

LL = beban hidup yang bekerja (kN)

EQ_x = beban gempa yang bekerja arah x

EQ_y = beban gempa yang bekerja arah y

2.6.3.4 Aksi – Aksi Lainnya

Beban akibat aksi – aksi lainnya seperti gaya friksi (BF). Gaya friksi adalah suatu gaya yang terjadi akibat gesekan pada struktur. Gaya gesek tersebut terjadi pada bearing pad dengan struktur di atasnya. Nilai gaya gesek didapatkan dari perkalian antara 10% berat vertical struktur di atasnya dengan koefisien gesek. Koefisien gesek bearing pad memiliki nilai antara 0,15 hingga 0,18.

2.7 Pemodelan 3D

Setelah perhitungan struktur dilakukan proses pemodelan desain. Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pemodelan 3D. Pemodelan dilakukan menggunakan Autodesk Revit untuk memudahkan pengintegrasian antar pekerjaan serta menerapkan sistem *building information*

modelling. Pemodelan bertujuan untuk penggambaran secara visual sekaligus untuk perhitungan BOQ (*Bill Of Quantity*). Serta dapat digunakan sebagai aspek untuk spek perencanaan (Filza Wiranti et al., 2022).

2.8 Perhitungan Rancangan Anggaran Biaya

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga Kementrian Pekerjaan Umum (2021), Rancangan Anggaran Biaya adalah dokumen perhitungan yang memuat semua biaya pelaksanaan pekerjaan konstruksi berdasarkan spesifikasi dan desain yang telah dibuat serta jumlah kuantitas pekerjaan meliputi material, upah tenaga kerja serta sewa alat. Secara garis besar RAB terdiri dari dua jenis antara lain anggaran perkiraan (*cost estimate*) dan anggaran biaya pasti (Berlian P. et al., 2016). Komponen terpenting dalam perhitungan renacan anggaran biaya sebagai berikut:

- a. Volume pekerjaan
- b. Harga satuan dasar
- c. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

Analisis harga satuan pekerjaan didapatkan dengan melakukan perhitungan koefisien pada 3 komponen yaitu tenaga kerja, bahan dan peralatan (Akbar, 2021). Perhitungan koefisien didapatkan dengan menghitung kebutuhan masing – masing komponen kemudian dikonversi ke dalam satuan koefisien missal per meter ataupun per unit. Perhitungan AHSP selanjutnya adalah koefisien yang sudah didapat dikalikan dengan harga satuan dasar sesuai dengan daerah proyek berasal (Piter & I Ketut, 2024).

2.9 Penjadwalan

Penjadwalan proyek adalah suatu bagian dari perencanaan proyek yang meliputi rencana waktu proyek dari awal proyek hingga proyek berakhir. Penjadwalan proyek juga berisi jenis kegiatan, susunan urutan, serta durasi yang diperlukan untuk kegiatan proyek yang akan dilaksanakan (Muzdalifah et al., 2019). Manfaat dari penjadwalan proyek adalah waktu pekerjaan proyek lebih terstruktur dan terjadwal, sehingga memudahkan dalam pengawasan saat proyek berjalan .

2.10 Research Gap

Tabel 2. 12 Penelitian Terdahulu

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari	Saran/ Kekurangan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	Her Afriyandi dan Torang Sitorus	2016	Perencanaan Jembatan Komposit Metode LFRD (<i>load and resistance factor design</i>)	a. Tujuan merencanakan jembatan dengan bahan komposit baja dan beton atau komposit dengan metode LFRD b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data, perhitungan stuktur dan detail struktur. c. Hasil Dari hasil analisa dan perhitungan jembatan komposit ini diperoleh beban ultimit yang dapat ditahan oleh balok komposit, momen ultimit yang terjadi akibat adanya beban ultimit, dan juga untuk mengetahui besarnya lendutan sehingga jembatan aman digunakan.	Perencanaan ini masih menggunakan perhitungan konvensional belum menggunakan BIM menjadikan untuk penjadwalan dan RAB belum terintegrasikan dengan model kerja.

2.	Adi Susanto, Yosef Cahyo, Sigit Winarto	2018	Studi Perencanaan Jembatan Cumpleng Dengan Metode Pratekan Di Kec. Slahung Kabupaten Ponorogo	a. Tujuan Untuk mengetahui keunggulan metode pembangunan jembatan pratekan b. Metode Menggunakan metode pratekan untuk menghitung perhitungan sandaran dan tiang sandaran, lantai kendaraan, gelagar induk dan abutment/bangunan bawah. c. Hasil Hasil dari perencanaan jembatan ini meliputi : perencanaan tiang sandaran, lantai kendaraan, balok induk dan balok melintang. Balok induk menggunakan beton pratekan komposit metode pasca tarik (<i>post-tensioning</i> dengan tinggi, 1,10 meter, mutu beton (fc) 40 Mpa, terdiri 2 buah tendon dipakai jenis VSL tipe 12 dengan kabel untaian sebanyak 10 buah dan bangunan yang lain menggunakan beton bertulang biasa).	Perencanaan ini belum terintegrasi dengan BIM
3	BAROKAH SAKTI S W	2019	Tugas Akhir Pemodelan 3D Struktur Jembatan Beton menggunakan Aplikasi SAP 2000 <i>Structures</i>	a. Tujuan yaitu melakukan pemodelan untuk mendapatkan BIM (<i>Buuildng Information Modeling</i>) struktur jembatan beton b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data, perhitungan stuktur dan detail struktur. c. Hasil Hasil dari tugas akhir ini berupa BIM (<i>Building Information Modeling</i>) pemodelan 3D dan detail komponen struktur jembatan beton. Dengan penyajian BIM diperoleh informasi mengenai	Perencanaan ini hanya sampai metode 3D. sehingga kekuarangan dari perencanaan ini adalah belum diketahuinya rangkaian penjadwalan proyek dan rancangan anggaran biaya (RAB).

				struktur jembatan beton secara detail.	
4	Dwi Aneka Kartini	2020	Re-design Jembatan Nambangan Bantul menggunakan Baja <i>type</i> Prategang	a. Tujuan Mengetahui alternatif perencanaan struktur atas menggunakan struktur rangka baja dengan jenis pratt dan perencanaan struktur bawah jembatan b. Metode Metode penelitian pengumpulan data, analisa data, dan perencanaan struktur. c. Hasil Hasil dari redesain ini didapatkan Jembatan rangka baja <i>Type</i> Prategang yang menjadi 2 bentang dengan panjang jembatan 140 m.	Perencanaan jembatan ini belu m menggunakan BIM. Perencanaan ini hanya sampai metode 3D. sehingga kekuarangan dari perencanaan ini adalah belum diketahuinya rangkaian penjadwalan proyek dan rancangan anggaran biaya (RAB).
5	Mega Safitri	2021	Analisis Kinerja Waktu dan Penerapan <i>building information modeling</i> (BIM) untuk <i>Project Visualization</i> (4d) pada Proyek Jembatan Cipamingkis 2 Kota Deltamas	a. Tujuan bertujuan untuk menganalisis kinerja waktu dengan membandingkan bobot pekerjaan pada kurva S rencana dan kurva S realisasi sehingga mengetahui faktor penyebab utama dari keterlambatan dan menerapkan <i>building information modeling</i> (BIM) dengan cara mengaplikasikan <i>project visualizaton</i> (4D) untuk mengetahui progres pekerjaan b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data, c. Hasil Hasil analisis data dengan menggunakan kurva S didapatkan bahwa proyek ini mengalami keterlambatan dengan nilai deviasi tertinggi pada bulan September 2018 sebesar -36,425% dan hasil wawancara serta diskusi dengan pihak owner factor	Kekuarangan penelitian ini, penulis tidak mengkaji sampai perancangan anggaran biaya (RAB).

				penyebab keterlambatan pada proyek ini adalah keterlambatan alat, keadaan cuaca dan perubahan desain yang di minta oleh pihak kontraktor	
6	Ilyas Sadad, Fery Hendi Jaya, Ican Wahyu Januar	2022	Implementasi BIM <i>take off quantity</i> Material Struktur Abutment Jembatan terhadap Volume Rencana	a. Tujuan untuk mengetahui implementasi <i>Building Information Modelling</i> dalam perbandingan hasil perhitungan QTO (<i>Quantity Take Off</i>) menggunakan perhitungan manual. b. Metode untuk mengetahui implementasi <i>Building Information Modelling</i> dalam perbandingan hasil perhitungan QTO (<i>Quantity Take Off</i>) menggunakan perhitungan manual. c. Hasil Penelitian ini menghasilkan kesimpulan Pengaruh penerapan implementasi BIM dari sudut pandang pengguna mengungkapkan pengaplikasian konsep BIM mampu meminimalkan terjadinya kesalahan dalam perencanaan <i>dan re-work</i>, mampu mendeteksi ketidaksesuaian dini, mampu mengefisiensi biaya proyek, dan memudahkan dalam perencanaan kebutuhan material pekerjaan	Perencanaan ini hanya membahas mengenai produktivitas dan rancangan anggaran biaya. Perencanaan ini tidak membahas secara detail perhitungan dari kekuatan strukturnya.

7	Agung Nusanoro, Eksi Widyanto, Muhammad Taufik, Rizki Heriyanto	2022	Redesain Struktur Atas Jembatan Hargorojo menggunakan <i>software</i> Midas Civil	a. Tujuan mengetahui hasil analisa struktur jembatan baja komposit menggunakan <i>software</i> midas civil dan untuk Mengetahui hasil dimensi profil baja Serta detail sambungan struktur jembatan baja komposit b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data, perhitungan stuktur dan detail struktur. c. Hasil Hasil analisa struktur jembatan baja komposit menggunakan <i>software</i> Diatas didapatkan momen terbesar 2085,3 kN.m, gaya geser terbesar 562,1 kN, Dan lendutan terbesar 76 mm.	Perencanaan ini sudah menggunakan BIM dalam pengerjaannya yaitu, Midas Civil. Sehingga dapat mempermudah membuat 4D, dan 5D
8	Gabriel Henry, Supani Supani, Tri Joko Wahyu Adi	2022	Perencanaan Penjadwalan dengan Aplikasi BIM menggunakan Analisa Probabilistik (Studi Kasus Proyek Jembatan Bedadung)	a. Tujuan Tujuannya yaitu melakukan penjadwalan yang terintegrasi dengan desain rancangan menggunakan aplikasi BIM b. Metode Metode yang digunakan adalah metode PERT untuk Analisa jadwal probabilistiknya. c. Hasil Dari hasil analisa yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa jadwal dengan metode <i>Service Crane</i> dan <i>Launcher Girder</i> perlu dilakukan iterasi penjadwalan dengan durasi 843 hari untuk metode <i>service crane</i> dan 853 hari untuk <i>Launcher Girder</i> agar memiliki tingkat keyakinan 75%.	Perencanaan ini hanya merencanakan penjadwalan tanpa mrnghitung kekuatan struktur dan tidak diketahui untuk rancangan anggaran biaya (RAB).

9	Rizky Ilham Mardhani, Anik Ratnaningsih, Syamsul Arifin	2022	Perencanaan Ulang Anggaran Biaya dan Waktu Pelaksanaan Gedung Perkuliahan dengan Menggunakan Metode BIM	a. Tujuan Mengetahui BIM meningkatkan produktivitas dalam desain dan konstruksi bangunan. b. Metode Metode penelitian studi literatur, pengumpulan data, dan eksperimen. c. Hasil Hasil dari penelitian ini meliputi Volume yang dibutuhkan setelah hasil validasi menunjukkan program bantu BIM $\leq$ Perhitungan Manual, yaitu total elemen struktur adalah 1.345,93 m³. dengan rancangan anggaran biaya sebesar Rp. 9.400.450.878,04 dan lama waktu pengerjaan adalah 189 hari setara dengan 6 bulan 9 hari.	Perencanaan ini hanya membahas mengenai produktivitas dan rancangan anggaran biaya. Perencanaan ini tidak membahas secara detail perhitngan dari kekuatan strukturnya.
---	---	------	--	---	--

10.	Hidayat, Hastian Khoirul	2022	Studi Perencanaan Jembatan Krandegan Desa Kalidawir menggunakan Sistem Gelagar Baja IWF.	a. Tujuan Tujuan dari studi ini yaitu untuk mengetahui perhitungan pembebanan, lantai beton, dan gelagar baja profil. Kemudian, dijelaskan juga mengenai dasar perencanaan jembatan yang menggunakan pedoman dari RSNI-T-02-2005 serta BMS 1992. b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data, perhitungan stuktur dan detail struktur. c. Hasil Dari hasil perencanaan yaitu diperoleh pelat lantai jembatan komposit, dengan tebal pelat beton bertulang 250 mm. Gelagar melintang menggunakan profil baja IWF 808.302.16.30 dengan mutu baja BJ 50 dengan mutu beton K-450. Diafragma menggunakan profil baja IWF 300.150.6,5.9 dan pelat siku sebagai penyambung gelagar 150.150.18. Bentang total jembatan sepanjang 32 m dan lebar 7 m dengan 2 lajur kendaraan.	Perencanaan ini hanya sampai metode 3D dan belum menggunakan integrasi BIM sehingga untuk rangkaian penjadwalan dan rancangan anggaran biaya belum terintegrasi dengan model kerja.
-----	--------------------------------	------	---	---	---

11.	Jeffry Daud Barrung, Kristian Joshua H. Napitupulu	2022	Implementasi <i>Building Information Modeling</i> Direktorat Preservasi Jalan dan Jembatan Wilayah ii	a. Tujuan Tujuan penelitiannya adalah mampu mengetahui implementasi BIM pada level 1 dan level 2 yaitu BIM 3D,4D, dan 5D b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data c. Hasil Hasil kajian ini menunjukkan implementasi BIM pada paket yang sudah berjalan dengan penggunaan platform CDE (<i>Common Data Environment</i>) membantu setiap paket mempunyai data digital yang terintegrasi, percepatan dalam proses reuiu dokumen, dan as-built 3D model sebagai manajemen aset jalan.	Pada penelitian ini hanya berisi teori tanpa memberikan contoh perhitungan 3D, 4D, 5D.
12.	Fauzi Antoni, Dikpride Despa, Ratna Widyawati	2023	Peran Implementasi <i>Building Information Modelling</i> (BIM) Terhadap Kinerja Proyek Jalan Tol Kayuagung – Palembang – Betung Tahap Ii Sta 67+400 – 75+000	a. Tujuan Tujuan mempermudah bagi setiap pemegang kepentingan di proyek dalam mengambil keputusan. b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data c. Hasil Berdasarkan hasil analisa pada kegiatan ini dapat disimpulkan bahwa penerapan BIM di proyek Jalan Tol Kayuagung-Palembang-Betung Tahap II STA 67+000 –75+000 telah dilaksanakan sesuai permintaan pemilik pekerjaan dengan mengaplikasikan proses BIM 3D modelling, 4DSequence, 5D Quantity Take-off, serta koordinasi dan kolaborasi antar stakeholderpada Common Data Environment.Implementasi BIM di proyek telah mengacu terhadap ISO 19650, panduan BIM dari Kementerian PUPR, surat edaran	Penelitian ini adalah proyek jalan yang tidak melewati jembatan.

				mengenai penerapan BIM, serta prosedur perusahaan di bidang BIM	
13.	Mikhael Agustinus Piter	2023	Perbandingan Analisis Quantity Take Off Berbasis BIM dengan Metode Konvensional pada Pekerjaan Struktur Jembatan Underpass	a. Tujuan Tujuannya adalah untuk mengetahui perbedaan quantity takeoff dengan metode konvensional dan perbandingan menggunakan basis BIM . b. Metode Metode penelitian dengan studi literatur, pengumpulan data, perhitungan stuktur dan detail struktur. c. Hasil Hasil dari penelitian tersebut adalah diketahui selisih volume antara konvensional dan berbasis BIM dan factor factor yang mempengaruhi devisiasi tersebut.sepanjang 32 m dan lebar 7 m dengan 2 lajur kendaraan.	Penelitian ini tidak merencanakan pemodelan hanya mengetahui perbedaan quantiti takeoff sehingga masih banyak hal dalam perencanaan yang belum diketahui
14.	Lactania Vella, Muhammad Nazar.	2023	Evaluasi Terhadap Implemenasi <i>Building Information Modelling</i> (Bim) Sebagai Strategi Percepatan Perencanaan Pada Proyek Konstruksi Jalan Tol (Studi Kasus proyek pembangunan jalan tol Sigli Banda Aceh)	a. Tujuan Mengevaluasi tingkat perbedaan pelaksanaan system pekerjaan manual dengan implementasi BIM pada studi kasus proyek tol Sigli banda aceh. b. Metode Metode penelitian studi literatur. c. Hasil Menjelaskan bahwa implementasi BIM lebih baik dari pada system kerja manual dari segala sisi karena mendapatkan manfaat yaitu dapat mengontrol proyek konstruksi lebih baik, proses desain dan konstruksi akan lebih transparan, efektif dan efisien.Selain itu BIM juga dapat mendeteksi lebih awal ketidaksesuaian antara perancangan dengan proyek fisik dan mampu mencegahnya karena	Penelitian ini tidak membahas sistematika perencanaan, melainkan hanya tentang seputar umum mengenai BIM

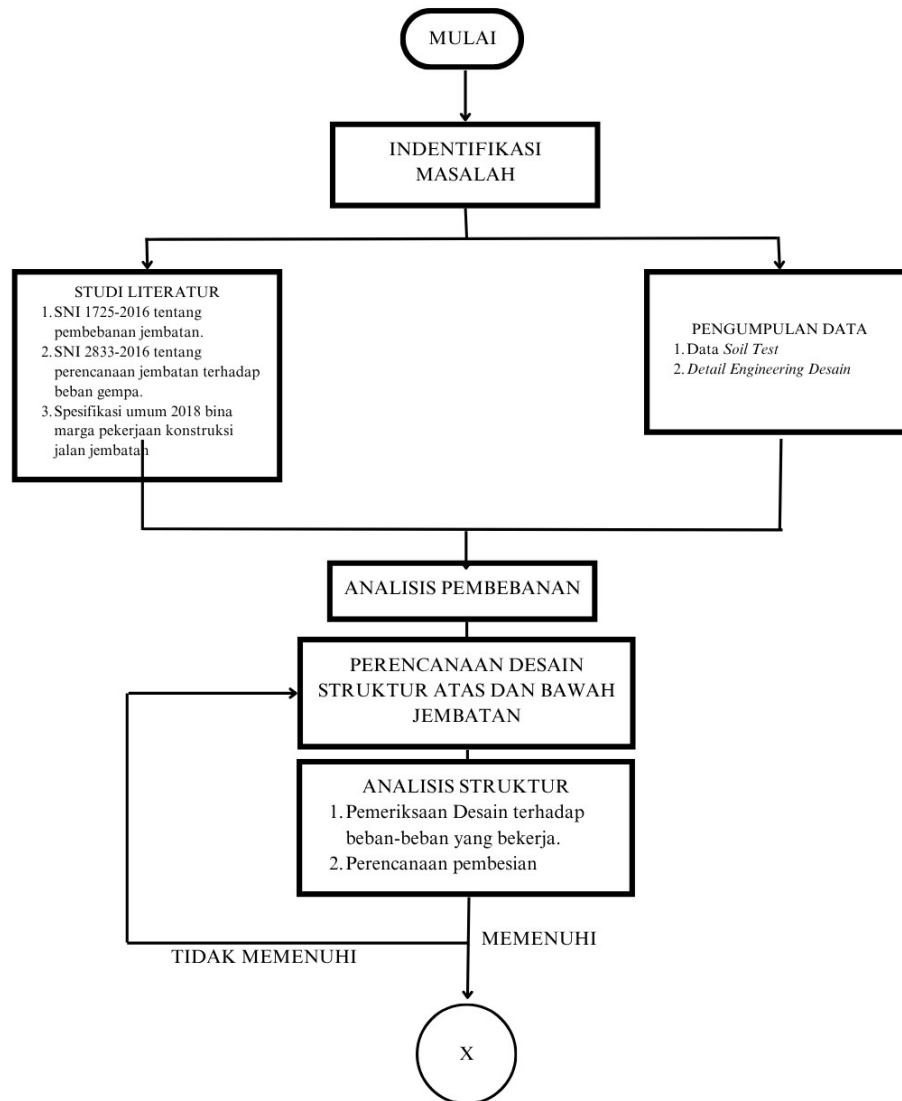
				pada BIM terdapat fitur Clash Defection. Sedangkan Kekurangan BIM sejauh ini belum ditemukan.	
--	--	--	--	---	--

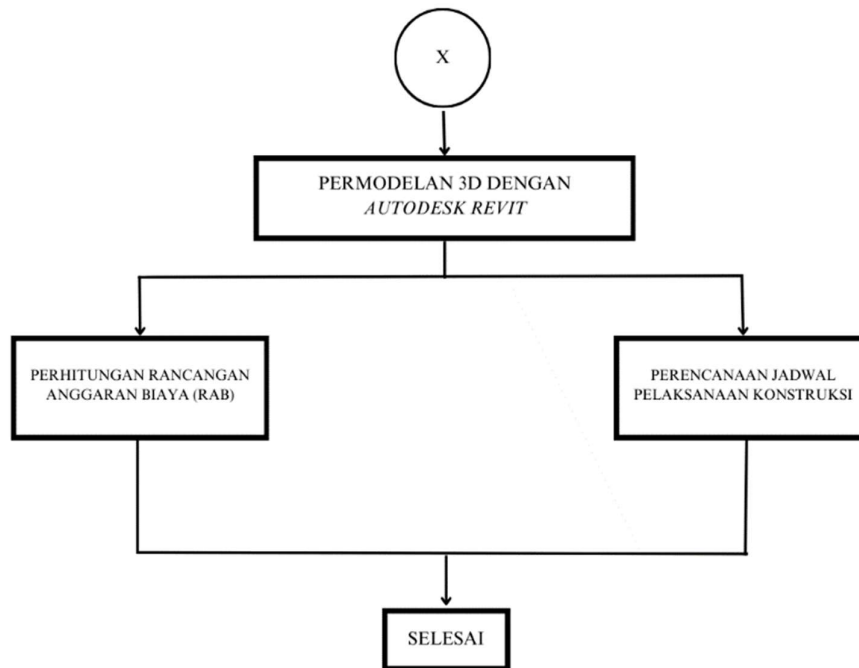
Berdasarkan jurnal terdahulu dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa penggunaan *Building Information Modeling* harus diselenggarakan secara masif sehingga pekerjaan dapat lebih efektif dan efisien. Oleh karena itu, diperlukannya pembelajaran lebih lanjut mengenai metode *Building Information Modeling* agar *engineer* bisa mengimplementasikan *Building Information Modeling* (BIM) secara maksimal. Sebelum melakukan pemodelan pada penelitian ini, dilakukan analisa struktur sesuai dengan peraturan yang berlaku.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian
Sumber: Penulis

3.2 Jenis Penelitian

Perencanaan ini menggunakan pengaplikasian sistem *Building Information Modelling* (BIM) yaitu merencanakan ulang atau re-desain sebuah jembatan yang dalam proses pembangunan ataupun jembatan yang sudah terbangun. Metode yang kita gunakan dalam menyusun tugas ini adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif adalah metode penelitian yang menghasilkan penemuan yang dicapai menggunakan prosedur statistik ataupun cara pengukuran. (Wiratna S.2014). Sedangkan menurut Sugiono (2017) metode kuantitatif adalah metode yang digunakan untuk meneliti populasi atau pengumpulan data analisis bersifat kuantitatif yang bertujuan menguji hipotesis yang ditetapkan. Kami menggunakan metode kuantitatif dikarenakan kami memerlukan data data dalam proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 untuk melakukan perencanaan ulang menggunakan sistem *Building Information Modelling* (BIM).

3.3 Pengumpulan Data

Untuk metode pengumpulan data yang menunjang dalam melakukan perencanaan ulang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 menggunakan 2 sumber yaitu data proyek dan data deskriptif. Data deskriptif adalah data yang dikumpulkan dari jurnal ataupun bacaan lain seperti SNI dan buku panduan bina marga yang digunakan sebagai referensi ataupun pembelajaran dan melengkapi informasi dalam kami menyusun tugas ini.

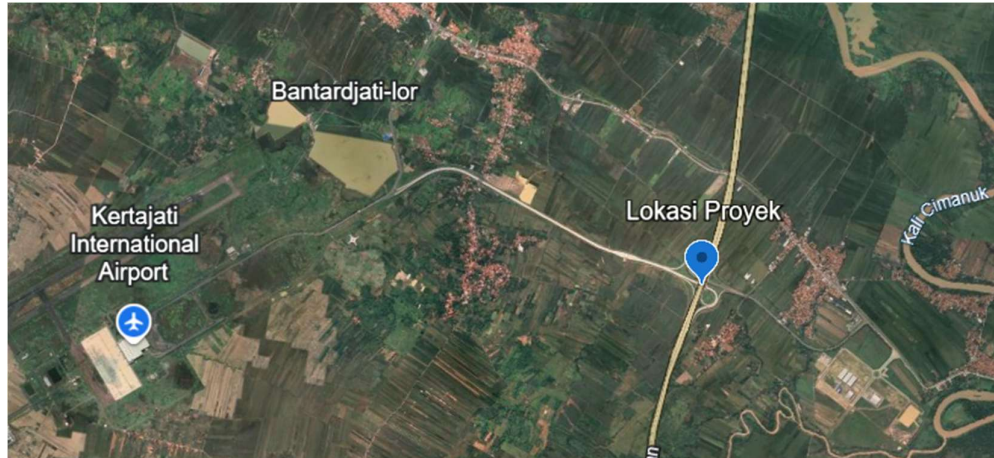
3.3.1 *Detail Engineering Design*

Detail Engineering Design (DED) adalah suatu dokumen yang dikeluarkan sebagai acuan desain teknis perencanaan. Dalam DED terdapat beberapa bagian yaitu, detail gambar kerja, spesifikasi teknis, dan spesifikasi umum. *Detail Engineering Design* digunakan penulis sebagai acuan dalam merencanakan ulang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 dengan melihat beberapa parameter berupa data uji tanah dan elevasi jembatan.

3.3.2 Data Informasi Proyek

Data informasi yang diperoleh dari Proyek Pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 diperoleh dari pihak kontraktor. Data yang didapat antara lain data umum seperti berikut:

Nama Proyek	: Pembangunan Jalan Tol Akses Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB)
Lokasi Proyek	: Kecamatan Kertajati, Kabupaten Majalengka, Jawa Barat
Konfigurasi Jalan	: 4/ 2 D
Lebar Jembatan	: 17,850 meter
Panjang Jembatan	: 86,93 Meter terbagi menjadi 4 bentang yaitu 21,7 Meter per bentang



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Proyek
Sumber: Penulis

3.3.3 Data Tanah

Data tanah yang diperoleh untuk perencanaan ulang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah data SPT atau *Standart Penetration Test*. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui kedalaman tanah keras dilokasi pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 serta pengambilan sample tanah untuk pengujian laboratorium guna mengetahui properties tanah.

3.3.4 Standar Desain

Standar desain dalam perencanaan ulang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah gambar DED yang telah diperoleh sebagai acuan utama dalam proses perencanaan ulang oleh penulis. Serta standar yang dijadikan acuan dalam melakukan perencanaan jembatan sebagai berikut:

- a Standar Pembebanan Jembatan
 Standar pembebanan jembatan didasarkan pada SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.
- b Standar Pembebanan terhadap Gempa
 Standar perencanaan struktur jembatan terhadap beban gempa didasarkan SNI 2833:2016
- c Standar Perencanaan Struktur Beton
 Standar perencanaan struktur beton didasarkan pada SNI T-12-2004 tentang struktur beton untuk jembatan

d Standar Perencanaan Geoteknik untuk Jembatan

Standar geoteknik untuk jembatan didasarkan pada SNI 8460:2017 tentang stabilitas tanah, daya dukung tanah, dan perencanaan pondasi abutment

3.3.5 Harga Satuan Material, Upah, dan Sewa Alat

Untuk standar pedoman penyusunan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi diatur dalam regulasi yaitu Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) Nomor 1 Tahun 2022 dan diperbarui dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 yang mencakup ketentuan umum, Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), Analisis biaya Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi, Sistem Informasi Harga Pekerjaan Sendiri, dan ketentuan – ketentuan lainnya. Dalam penyusunan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) dibutuhkan analisis yang meliputi harga satuan bahan, material, dan upah yang berdasarkan pada Permen PUPR No 8 Tahun 2023 yang dijelaskan ke masing masing sub topik, antara lain:

3.3.5.1 Harga Material

Analisis harga material merupakan perhitungan harga yang berdasarkan volume material berdasarkan biaya yang digunakan dalam menyelesaikan per satuan item pekerjaan. Dalam analisis harga material terdapat 2 item, antara lain:

- a. Harga satuan bahan merupakan harga bahan yang telah ditetapkan pemerintah pada daerah tersebut serta mengacu pada harga yang beredar di daerah tersebut saat Rencana Anggaran Biaya (RAB) dibuat.
- b. Koefisien Bahan merupakan koefisien yang dapat memperlihatkan kebutuhan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan suatu item pekerjaan.

$$\Sigma \text{ Bahan} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien Analisis}$$

3.3.5.2 Harga Upah

Analisis harga upah tenaga kerja merupakan perhitungan tenaga kerja serta biaya yang digunakan dalam menyelesaikan suatu item pekerjaan. Dalam analisis harga upah terdapat 2 item, antara lain:

- a. Harga satuan upah tenaga kerja, merupakan upah yang diberikan pada tenaga kerja dalam melakukan suatu pekerjaan proyek dengan periode pembayaran perhari sesuai dengan pekerjaan yang telah dikerjakan.

- b. Koefisien upah tenaga kerja, merupakan koefisien yang memperlihatkan kebutuhan tenaga kerja yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan.

$$\Sigma \text{ Tenaga kerja} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien Tenaga Kerja}$$

3.3.5.2 Harga Sewa Alat

Harga sewa alat merupakan perhitungan untuk jumlah alat yang digunakan berdasarkan biaya untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Terdapat 2 item dalam analisis harga sewa alat, antara lain:

- a. Harga satuan alat, merupakan harga alat yang ditetapkan sesuai harga pasar saat pembuatan Rencana Anggaran Biaya
- b. Koefisien alat, merupakan angka yang menunjukkan kebutuhan alat dalam melakukan suatu item pekerjaan.

$$\Sigma \text{ alat} = \text{Volume Pekerjaan} \times \text{Koefisien Analisis Alat}$$

3.4 Preliminary Design

Preliminary design merupakan tahap pertama dalam melakukan perencanaan ulang proyek pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 yang digunakan pada analisis struktur dengan acuan data dari DED Jembatan Akses Kertajati STA 3+074. Desain yang memenuhi analisis struktur kemudian dapat digunakan dalam pemodelan 3D BIM.

3.5 Analisa Struktur

Analisis Struktur merupakan tahap lanjutan setelah menemukan dimensi yang diperlukan untuk rancangan bangunan ketika *preliminary design* sebelumnya. Analisis struktur bertujuan untuk menguji kebenaran apakah struktur yang diperkirakan sebelumnya mampu menahan beban yang diterima oleh struktur bangunan atau tidak (Firdaus,2023). Dalam proses ini, diperoleh dimensi yang tepat, gaya lintang, gaya momen, gaya normal, gaya lintang, dan lain sebagainya. Dalam hal ini dapat menggunakan software untuk membantu menganalisa struktur yaitu SAP 2000 Structures dalam perhitungan plat lantai Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074. Jika syarat struktural sesuai SNI telah terpenuhi, kemudian dapat dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan untuk struktur Jembatan tersebut.

3.5.1 Analisa Struktur Atas

Struktur atas Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 terdiri dari komponen sebagai berikut:

3.5.1.1 Parapet

Parapet adalah suatu bagian dari jembatan yang memiliki fungsi untuk keamanan pengguna jalan. Parapet juga sebagai pembatas yang memisahkan antara plat lantai dengan ruang kosong disebelahnya. Dalam perencanaan parapet dilakukan berdasarkan aturan pembebanan pasal 11 SNI 1725 ; 2016. Dibawah ini merupakan tabel nilai untuk pembebanan parapet:

Tabel 3. 1 Pembebanan Akibat 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	355000
B (mm)	1700	1700	2300	2300	2450	2450	2450
G (mm)	550	550	700	1250	1630	1850	2050

Sumber: SNI 1725-2016

Beban yang bekerja pada parapet terdiri dari beban mati dan beban hidup. Berikut merupakan Analisa pembebanan melalui langkah – langkah berikut (Ali,2016):

1. Beban Mati

$$q_u = A_{\text{PARAPET}} \times B_{\text{J}_{\text{BETON}}} \times M S \gamma^U$$

2. Beban Hidup

Beban hidup pada parapet diasumsikan beban tubrukan kendaraan karena parapet merupakan struktur yang menjaga agar kendaraan tidak keluar jembatan (Ali, 2016). Pada perhitungan diasumsikan menggunakan beban tumbukan mobil dengan total 15KN yang bekerja pada setengah tinggi parapet.

$$M_H = qH \times 1/2h \times \gamma_{PL}^U$$

Setelah perhitungan beban, dihitung penulangan untuk parapet dengan parameter seperti mutu beton, faktor reduksi, mutu baja, tebal efektif dan lebar yang ditinjau.

Setelah melakukan penentuan terhadap parameter tersebut dilakukan perhitungan tulangan sebagai berikut

- $M_n = \frac{M_u}{\phi}$
- $R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$
- $\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$
- $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$
- $\rho_{max} = 0.75 \rho_b$
- $\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$

Setelah diketahui nilai ρ dan ρ_{min} digunakan nilai yang paling besar, kemudian digunakan untuk mencari luas tulangan utama dengan rumus sebagai berikut:

$$A_s = \rho \times b \times d$$

Ketentuan luas penampang nominal dapat dilihat pada tabel SNI 2052-2014 sesuai dengan ketentuan luas penampang nominal tulangan yang dibutuhkan. Kemudian dilanjutkan untuk menghitung luas penampang nominal tulangan bagi dengan rumus berikut:

$$A_s' = 50\% \times A_s$$

Lakukan hal sama untuk memeriksa luas penampang nominal yang sesuai dengan luas penampang nominal yang dibutuhkan.

3.5.1.2 Pelat Lantai Jembatan

Pelat lantai adalah struktur yang langsung menahan beban kendaraan. Dalam merencanakan pelat lantai dimodelkan seperti balok satu dimensi yang berada pada tumpuan arah melintang jembatan. Pengaruh beban hidup truk memiliki ketentuan letak sebagai berikut:

- a. Beban roda terluar pada jarak 300 mm dari sisi dalam parapet
- b. Jarak antar roda ditetapkan sebesar 1750 mm
- c. Pada perencanaan dua kendaraan, jarak antar roda minimal 1000 mm.

1) Desain rencana

Tahapan dalam perencanaan desain pelat lantai adalah menentukan parameter seperti mutu beton, tebal pelat, tinggi efektif, berat jenis beton, tebal aspal, dimensi lebar pelat, selimut beton, mutu baja, dan berat jenis aspal.

2) Analisa pembebanan

Analisa pembebanan jembatan dilakukan menggunakan software SAP2000 sehingga didapatkan hasil momen ultimit

3) perhitungan penulangan

selanjutnya dilakukan perhitungan penulangan arah x dan penulangan arah y dengan rumus sebagai berikut:

- $M_n = \frac{M_u}{\phi}$
- $R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$
- $\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$
- $\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$
- $\rho_{max} = 0.75 \rho_b$
- $\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$

setelah mendapatkan nilai ρ dan ρ_{min} , dilanjutkan untuk mencari luas As tulangan menggunakan nilai niali terbesar antara ρ dan ρ_{min} dengan rumus sebagai berikut:

$$A_s = \rho \times b \times d$$

3.5.1.3 Diafragma

Diafragma adalah komponen jembatan yang memiliki fungsi utama mengikat antar girder. Dalam perencanaan, diafragma dimodelkan dengan beban merata pada girder atau gelagar. Beban diafragma diperoleh dari total berat pada diafragma dibagi dengan panjang gelagar. Beban tersebut kemudian dibagi secara rata ke gelagar

Dalam melakukan perhitungan diafragma hanya memperhitungkan beban diafragma itu sendiri tanpa ada beban hidup serta beban mati di atasnya. Dikarenakan diafragma tidak memangku beban apapun. Sebelum melakukan

perencanaan diafragma dilakukan perencanaan parameter seperti mutu beton, tinggi diafragma, tebal diafragma, selimut beton, mutu baja, dan tinggi efektif.

dalam pembebanan diafragma digunakan rumus sebagai berikut:

$$q_{DIA} = 1,2 \times t \times h \times B_{JBETON}$$

$$M_{uDIA} = 1/8 \times Q_{DIAFRAGMA} \times b^2$$

Setelah melakukan perhitungan momen pada arah X dan arah Y kemudian menentukan faktor distribusi tegangan, dilanjutkan menghitung luas penampang nominal dan memeriksa luas penampang yang digunakan memenuhi nilai dari luas penampang yang dibutuhkan.

3.5.1.4 Plat Deck

Plat deck adalah suatu struktur yang berada dibawah plat lantai jembatan yang juga berfungsi sebagai bekisting untuk plat lantai. Selain itu plat deck juga memudahkan pekerja untuk nantinya ketika melakukan proses pengecoran plat lantai. Plat deck memiliki beberapa jenis salah satunya adalah plat deck dari beton bertulang cor di tempat. Sebelum melakukan perhitungan pembebanan dilakukan perencanaan mengenai parameter seperti mutu beton, lebar plat deck, tebal plat deck, dan panjang plat deck.

Perhitungan plat deck memperhitungkan beban yang berada diatasnya termasuk plat lantai, lapisan aspal dan plat deck tersebut. Untuk memperhitungkan penulangan plat deck yang dilakukan pertama adalah melakukan perhitungan berat dan dilanjutkan perhitungan momen ultimit dengan langkah sebagai berikut (Nurdiana, 2007):

$$(1) M_u = \frac{1}{8} q_{tot} \times L^2$$

$$(2) I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$(3) E_c = 4700 \sqrt{f_c}$$

$$(4) \Delta_{maks} = \frac{1}{300} L$$

$$(5) \Delta = \frac{M \times L^2}{6 \times E_c \times I}$$

Untuk pemeriksaan lendutan apabila nilai $\Delta < \Delta_{maks}$ maka plat deck telah memenuhi syarat dan mampu menahan lendutan akibat beban diatasnya. Kemudian

dilanjutkan menghitung tulangan untuk menentukan diameter tulangan yang dipakai dan jarak tulangannya.

3.5.1.5 Gelagar

Gelagar atau girder adalah suatu struktur atas jembatan yang memiliki fungsi menopang beban dari struktur atas dan menyalurkan pada struktur bawahnya. Tahapan dalam merencanakan gelagar adalah menentukan kapasitas lentur dan geser dari gelagar pratekan. Dalam penentuan kapasitas lentur digunakan dua cara, yaitu batas layan dan batas ultimit. Sedangkan untuk penentuan kapasitas geser digunakan untuk mendapatkan tulangan geser pada gelagar pratekan. Sebelum melakukan perhitungan pembebanan dilakukan tahapan perencanaan parameter sebagai berikut:

- Mutu beton gelagar
- Panjang bentang jembatan
- Tinggi girder + plat deck
- Jarak antar girder
- Lebar jembatan

Dalam melaksanakan perencanaan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 yang akan digunakan adalah produk dari WIKA beton. Dimensi girder mengacu pada brosur dari PT Wijaya Karya Beton Tbk.

GIRDER SHAPE & DIMENSION | PC-I GIRDER

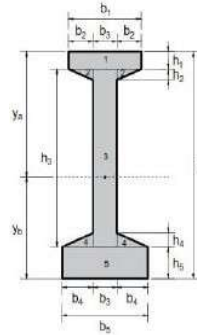
POST-TENSION PC-I GIRDER SPECIFICATION

Sp	PC I 80-80				PC I 10-120				PC I 10-160				PC I 10-170				PC I 10-210			
	Sp	Height (mm)	Top Flange (mm)	Bottom Flange (mm)	Sp	Height (mm)	Top Flange (mm)	Bottom Flange (mm)	Sp	Height (mm)	Top Flange (mm)	Bottom Flange (mm)	Sp	Height (mm)	Top Flange (mm)	Bottom Flange (mm)	Sp	Height (mm)	Top Flange (mm)	Bottom Flange (mm)
10	100	110	120	130	10	120	130	140	10	160	170	180	10	170	180	190	10	210	220	230
11	100	110	120	130	11	120	130	140	11	160	170	180	11	170	180	190	11	210	220	230
12	100	110	120	130	12	120	130	140	12	160	170	180	12	170	180	190	12	210	220	230
13	100	110	120	130	13	120	130	140	13	160	170	180	13	170	180	190	13	210	220	230
14	100	110	120	130	14	120	130	140	14	160	170	180	14	170	180	190	14	210	220	230
15	100	110	120	130	15	120	130	140	15	160	170	180	15	170	180	190	15	210	220	230
16	100	110	120	130	16	120	130	140	16	160	170	180	16	170	180	190	16	210	220	230
17	100	110	120	130	17	120	130	140	17	160	170	180	17	170	180	190	17	210	220	230
18	100	110	120	130	18	120	130	140	18	160	170	180	18	170	180	190	18	210	220	230
19	100	110	120	130	19	120	130	140	19	160	170	180	19	170	180	190	19	210	220	230
20	100	110	120	130	20	120	130	140	20	160	170	180	20	170	180	190	20	210	220	230
21	100	110	120	130	21	120	130	140	21	160	170	180	21	170	180	190	21	210	220	230
22	100	110	120	130	22	120	130	140	22	160	170	180	22	170	180	190	22	210	220	230
23	100	110	120	130	23	120	130	140	23	160	170	180	23	170	180	190	23	210	220	230
24	100	110	120	130	24	120	130	140	24	160	170	180	24	170	180	190	24	210	220	230
25	100	110	120	130	25	120	130	140	25	160	170	180	25	170	180	190	25	210	220	230
26	100	110	120	130	26	120	130	140	26	160	170	180	26	170	180	190	26	210	220	230
27	100	110	120	130	27	120	130	140	27	160	170	180	27	170	180	190	27	210	220	230
28	100	110	120	130	28	120	130	140	28	160	170	180	28	170	180	190	28	210	220	230
29	100	110	120	130	29	120	130	140	29	160	170	180	29	170	180	190	29	210	220	230
30	100	110	120	130	30	120	130	140	30	160	170	180	30	170	180	190	30	210	220	230
31	100	110	120	130	31	120	130	140	31	160	170	180	31	170	180	190	31	210	220	230
32	100	110	120	130	32	120	130	140	32	160	170	180	32	170	180	190	32	210	220	230
33	100	110	120	130	33	120	130	140	33	160	170	180	33	170	180	190	33	210	220	230
34	100	110	120	130	34	120	130	140	34	160	170	180	34	170	180	190	34	210	220	230
35	100	110	120	130	35	120	130	140	35	160	170	180	35	170	180	190	35	210	220	230
36	100	110	120	130	36	120	130	140	36	160	170	180	36	170	180	190	36	210	220	230
37	100	110	120	130	37	120	130	140	37	160	170	180	37	170	180	190	37	210	220	230
38	100	110	120	130	38	120	130	140	38	160	170	180	38	170	180	190	38	210	220	230
39	100	110	120	130	39	120	130	140	39	160	170	180	39	170	180	190	39	210	220	230
40	100	110	120	130	40	120	130	140	40	160	170	180	40	170	180	190	40	210	220	230
41	100	110	120	130	41	120	130	140	41	160	170	180	41	170	180	190	41	210	220	230
42	100	110	120	130	42	120	130	140	42	160	170	180	42	170	180	190	42	210	220	230
43	100	110	120	130	43	120	130	140	43	160	170	180	43	170	180	190	43	210	220	230
44	100	110	120	130	44	120	130	140	44	160	170	180	44	170	180	190	44	210	220	230
45	100	110	120	130	45	120	130	140	45	160	170	180	45	170	180	190	45	210	220	230
46	100	110	120	130	46	120	130	140	46	160	170	180	46	170	180	190	46	210	220	230
47	100	110	120	130	47	120	130	140	47	160	170	180	47	170	180	190	47	210	220	230
48	100	110	120	130	48	120	130	140	48	160	170	180	48	170	180	190	48	210	220	230
49	100	110	120	130	49	120	130	140	49	160	170	180	49	170	180	190	49	210	220	230
50	100	110	120	130	50	120	130	140	50	160	170	180	50	170	180	190	50	210	220	230

Note: Based on bridge load refers to SNI 1725:2010 and ultimate bridge cross section parameters. Attention for CIP-GBB, please concrete deck slab and bottom slab type.

Gambar 3. 3 Brosur PCI Girder
Sumber: PT. Wijaya Karya

Penampang balok harus dihitung dalam dua kondisi yaitu pada saat non-komposit (tanpa pelat) dan kondisi komposit (menggunakan pelat). Pertama yang harus dihitung adalah penampang non-komposit berdasarkan aspek sebagai berikut:



Gambar 3. 4 Dimensi PCI Girder Non-Komposit
Sumber: Dokumentasi Pribadi

- a Luas penampang melintang balok (A_g)
- b Jarak titik berat balok pada sisi bawah (y_b) dan sisi atas (y_a)
- c momen inersia (I_x)
- d Modulus penampang gelagar

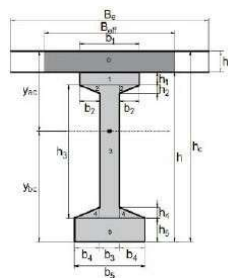
$$\text{Modulus penampang atas (Sa)} = \frac{I_x}{y_a}$$

$$\text{Modulus Penampang Bawah (Sb)} = \frac{I_x}{y_b}$$

- e Jarak terhadap alas balok (y)

$$\text{Statis momen} = A_g \times y$$

Kemudian gelagar komposit atau gelagar dengan kondisi plat deck dan plat lantai sudah mengeras dengan langkah sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Dimensi PCI Girder Komposit
Sumber: Dokumentasi Pribadi

- a Tinggi balok komposit (hcg) $hcg = h_{gelagar} + h_{plat}$
- b Lebar plat efektif (Be)
 $Be = \text{jarak antar girder}$
- c Modulus elastisitas
- d Lebar plat ekivalen
- e Luas penampang balok komposit (A_{cg})
- f Letak titik berat (y)
- g Momen inersia
- h Modulus penampang

Selanjutnya menghitung beban yang diterima gelagar yakni sebagai berikut

1. Beban struktur (MS)

Beban struktur terdiri dari berat sendiri girder, berat plat lantai, berat plat deck, dan berat diafragma.

$$qS = h \times Be \times BJ$$

$$MS = 1/8 \times qS \times L^2$$

$$VS = 1/2 \times q \times L$$

2. Beban struktur tambahan

Beban struktur tambahan terdiri dari berat aspal dan air hujan.

$$qA = h \times Be \times BJ$$

$$MA = 1/8 \times qA \times p_{GELAGAR}^2$$

$$VA = 1/2 \times MA \times p_{GELAGAR}$$

3. beban terbagi rata (BTR)

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

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

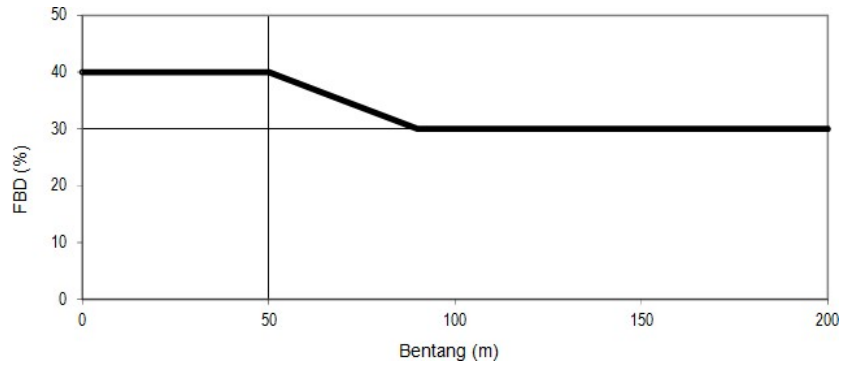
4. Beban garis terpusat (BGT)

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

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

$$P = 49.00 \text{ kN/m (Berdasarkan SNI 1725 2016)}$$

$$FBD = \text{Faktor beban dinamis}$$



Gambar 3. 6 Faktor Beban Dinamis
Sumber: SNI 1725-2016

5. Beban angin

Menurut RSNI T-02-2005 beban angin tidak berlaku untuk jembatan besar atau penting karena jembatan besar maupun penting memerlukan analisa lebih lanjut tentang beban angin.

perhitungan momen dan beban kemudian dilakukan kombinasi pembebanan yang didasarkan pada peraturan SNI 1725:2016 pasal 6.1. dengan mempertimbangkan batas yang mampu ditopang oleh struktur tersebut seperti yang dijelaskan sebagai berikut

1. Kuat I, merupakan kombinasi pembebanan yang memperkirakan ketika jembatan pada kondisi normal tanpa pembebanan angin.
2. Layan I, merupakan kombinasi pembebanan yang memperkirakan perhitungan tegangan Tarik pada arah memanjang jembatan beton pra tegang dan memperhitungkan beban angin.
3. Layan III, merupakan kombinasi pembebanan yang memperkirakan perhitungan tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pra tegang untuk mengurangi terjadinya retakan dan tegangan.

Kombinasi yang digunakan pada Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah kombinasi Kuat I, Layan I, dan Layan III. Setelah perhitungan momen dan kombinasi yang bekerja pada girder, kemudian dilakukan perhitungan perencanaan tendon dan strand. Spesifikasi tendon dan strand yang digunakan dihitung berdasar gaya yang bekerja. Gaya prategang ditentukan berdasarkan tegangan tarik pada kombinasi layan III. Untuk memperhitungkan gaya prategang secara efektif dilakukan sebagai berikut:

1. Perhitungan gaya prategang akibat pembebanan layan III
2. Tegangan izin pada kondisi layan
3. Tegangan yang dibutuhkan pada bagian bawah gelagar
4. Gaya prategang efektif pada bagian bawah gelagar

Setelah seluruh gaya prategang dihitung kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan tendon dan strands. Jenis strand yang digunakan adalah ASTM A-416 Grade 270 Super Strand Uncoated 7 Wire, dengan standarisasi jenis stand adalah ASTM A416M-06, seperti dibawah ini:

Tabel 3. 2 Strands Cable- Standar VSL

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL		
Jenis strands: <i>Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270</i>		
Tegangan leleh strand $f_{py} =$	1580	Mpa
Kuat tarik strand $f_{pu} =$	1860	Mpa
Diameter nominal strands	12.7	mm
Luas tampang nominal satu strands $A_{st} =$	98.7	mm ²
Beban putus minimal satu strands $P_{bs} =$	187.32	kN (100% UTS)
Jumlah kawat untai (strands cable)	12	kawat untai / tendon
Diameter selubung ideal	84	mm
Luas tampang strands	1184.4	mm ²
Beban putus satu tendon $P_{bl} =$	2247.8	kN (100% UTS)
Modulus elastis strands $E_s =$	193000	Mpa
Tipe dongkrak	VSL19	

Sumber: ASTM A416M-06

Hal yang dilakukan selanjutnya adalah perencanaan jumlah dan perletakan tendon dan strand serta gaya prategang. Dalam perencanaan ini acuan yang digunakan sebagai dasar adalah AASHTO LFRD 2017 pasal 5.9.2.2, metode yang digunakan dalam perhitungan jumlah strand sebagai berikut:

1. Perhitungan gaya awal
2. Gaya prategang pada strand
3. Jumlah strand minimum

Setelah melakukan perhitungan gaya prategang dilanjutkan penentuan tipe angkur yang digunakan untuk menghitung jumlah tendon yang dipasang. Selanjutnya rencanakan layout tendon dan jumlah strand setiap tendon dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Rencanakan letak tendon pada pangkal dan tengah penampang gelagar
2. Hitung eksentrisitas tendon
3. Hitung jarak vertikal tendon pangkal ke tendon tengah
4. Hitung luas total dan masing masing tendon
5. Eksentrisitas rata rata tendon
6. Jarak rata – rata tendon pada potongan tengah penampang melintang gelagar

Selanjutnya melakukan perhitungan kehilangan gaya prategang jangka panjang yang dialami pada saat proses stressing sebagai berikut:

- a Akibat perpendekan elastis

$$\Delta f_{pES} = \frac{n - P_i}{A_c + (n \times A_s)}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

E_s = Modulus elastisitas strand

E_c = Modulus elastisitas beton

A_c = Luas penampang gelagar beton

A_s = Luas penampang strand

P_i = $A_s \times f_{pbt}$

- b Akibat susut pada gelagar

- 1) rasio volume terhadap luas

$$r_{VS} = \frac{V_g}{A_{surf} g} = \frac{A_g \times L_b}{K_g \times L_b + 2A_g}$$

- 2) faktor pengaruh rasio terhadap komponen yang ditinjau

$$\varepsilon_{SH} = 8,2 \times 10^{-6} \times (1 - 0,06r_{VS}) \times (100 - RH)$$

- 3) nilai koefisien susut, berdasar selisih waktu antara proses pengecoran dan stressing, seperti pada tabel berikut:

Tabel 3. 3 Koefisien Susut Selisih Antara Pengecoran dan Stressing

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

7 hari	0.77
10 hari	0.73
20 hari	0.64
30 hari	0.58
60 hari	0.45

4) Nilai kehilangan prategang akibat susut gelagar

$$\Delta fp_{SH} = \varepsilon_{SH} \times E_s \times K_{SH}$$

c Akibat rangkai pada gelagar

$$\Delta fp_{CR} = \frac{E_s}{E_c} \times f_c \times 1,6$$

d Nilai relaksasi strand pada gelagar berdasarkan AASHTO LFRD 2017 pasal 5.9.3.4.2c sebesar 8 MPa.

Selanjutnya melakukan perhitungan total kehilangan gaya prategang ($\sum fp$) dan menghitung presentase kehilangan gaya prategang ($\% \sum fp$) terhadap gaya prategang saat awal. Setelah menghitung presentase kehilangan gaya prategang, dilanjutkan pemeriksaan gelagar dengan kontrol sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Pemeriksaan Kekuatan Gelagar

No	Pemeriksaan	Kontrol
1	Gaya prategang efektif di tengah bentang terhadap prategang efektif maksimum	$0.75f_{pu} - \sum fp \leq f_{pmax}$
2	Pemeriksaan terhadap tegangan kontrol saat jacking dan konstruksi	$\sigma_c \geq \sigma_{ci}$ $\sigma_t \leq \sigma_{ti}$
3	Lendutan yang terjadi akibat beban yang diampu gelagar non-komposit	$\delta < \delta_{izin}$ $\frac{5}{384} \times \frac{M \times L^4}{E_c \times I_c} < L/300$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk gelagar meliputi tulangan bagi, tulangan geser, tulangan *end block*, tulangan *bursting zone* dan *shear connector*.

3.5.1.6 Pelat Injak

Pelat injak merupakan suatu struktur yang memiliki fungsi dalam menjaga kestabilan tanah timbunan dibawah struktur plat jembatan. Pada proses perencanaan beban yang langsung diterima oleh pelat injak adalah beban sendiri, beban mati tambahan, serta beban lalu lintas. perhitungan plat injak dilakukan sebagai berikut:

$$q_s = t \times L \times BJ$$

Keterangan:

t = tebal struktur

L = lebar struktur

BJ = Berat jenis material struktur

Setelah melakukan perhitungan beban kemudian, menghitung momen ultimit dengan arah X dan arah Y yang bekerja di plat injak

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

Kemudian hasil perhitungan momen tersebut digunakan sebagai acuan dalam perhitungan tulangan plat injak dengan menghitung faktor distribusi tegangan dan menentukan diameter tulangan dan jarak tulangan di arah X maupun arah Y.

3.5.1.7 Bearing Pad

Perencanaan bearing pad dapat dihitung dengan beban yang diterima. Beban yang diterima oleh bearing pad antara lain beban vertikal dan horizontal, beban vertical sendiri didapat dari beban struktur diatasnya seperti beban parapet, pelat lantai, gelagar, diafragma. Sedangkan untuk beban horizontal didapatkan dari beban rem, beban gesekan, serta beban gempa. Dalam perencanaan dimensi bearing pad disesuaikan dengan yang tertera dalam BMS BDM pada 7.1.1 dan kemudian dilakukan pemeriksaan sesuai table yang ditetapkan pada BMS BDM pasal 7.1.1 tabel 7.6

Tabel 3. 5 Kontrol Bearing Pad

No	Jenis Pemeriksaan	Kontrol
1	Pemeriksaan luas efektif minimum	$\frac{A_{eff}}{0.8 \times A} \geq 1$
2	Pemeriksaan regangan total maksimum	$\varepsilon T \leq \frac{1,6}{\sqrt{G}}$
3	Pemeriksaan regangan maksimum	$\frac{\varepsilon_{shmaks}}{\varepsilon_{sh}} > 1$

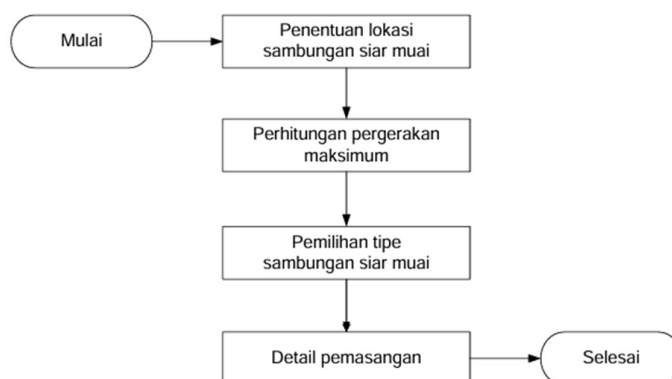
4	Pemeriksaan batas leleh	$\frac{1.4 \times V}{\varepsilon \times V_{LL}} \times \sqrt{\frac{0.69}{G}} \geq 1$
5	Pemeriksaan tegangan maksimum rata-rata	$\frac{15 \times At}{V} \geq 1$
6	Pemeriksaan perputaran maksimum	$\frac{\alpha a \times a + \alpha b \times b}{4 \times dc} \geq 1$
7	Pemeriksaan stabilitas tekan	$\frac{2 \times b_e \times G \times S \times A_{eff}}{1000 \times V} \geq 1$
8	Pemeriksaan tebal baja minimum	$\frac{ts}{3} \geq 1$ $\frac{ts \times A \times f_{sy}}{3000 \times V \times t_i} \geq 1$
9	Pemeriksaan tahanan gesek terhadap geseran	$\frac{0.1 \times V + (3000 \times A_{eff})}{H} \geq 1$

Sumber: BMS BDM

3.5.1.8 Expansion Joint

Perencanaan *expansion joint* dapat dilakukan dengan melakukan analisis mutu beton pada plat lantai jembatan, beban maksimum pada sambungan jembatan, serta melakukan pengukuran temperature maksimum dan minimum pada plat lantai jembatan. Pedoman perencanaan *expansion joint* berdasar pada Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 11/SE/M/2015 tentang Pedoman Perencanaan Sambung Siar Muai Pada Lantai Jembatan.

Berikut ini merupakan prosedur perencanaan sambungan siar muai:



Gambar 3. 7 Bagan Alir Perencanaan Sambungan Siar Muai

Sumber: Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 11/SE/M/2015

Dalam melakukan perhitungan pergerakan sambungan siar muai ada beberapa tahapan sebagai berikut

- a perubahan panjang akibat rangkai (creep)
- b Perubahan panjang akibat shrinkage(susut beton)
- c Perubahan panjang akibat perubahan temperatur
- d Perhitungan celah sambungan siar muai

Setelah melakukan perhitungan dilakukan pemilihan jenis sambungan siar muai sesuai dengan celah dengan berdasarkan pada tabel berikut:

Tabel 3. 6 Pemilihan Jenis Sambungan Siar Muai

Jenis sambungan siar muai	Pergerakan total memanjang yang diizinkan		Pergerakan vertikal maksimum yang diizinkan (mm)	Jenis pergerakan
	Minimum (mm)	Maksimum (mm)		
Sambungan tertanam	5	20	1,3	Kecil
<i>Asphaltic plug</i>	5	20	3	Kecil
Sambungan tipe <i>seal</i> yang dituang	5	12	3	Kecil
<i>Compression seal</i>	5	40	3	Menengah
Elastomer yang diperkuat	5	* > 40	3	Menengah
Modular	5	* > 40	3	Menengah
<i>Finger plate</i>	25	* > 40	3	Besar

*Tergantung pada spesifikasi setiap produk sambungan siar muai

Sumber: Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 11/SE/M/2015

3.5.2 Analisis Struktur Bawah

3.5.2.1 Abutmen dan Pilar

Dalam melakukan perencanaan abutmen hal yang pertama dilakukan adalah merekap seluruh gaya yang bekerja pada abutmen. Beban tersebut merupakan struktur atas dan beban dari abutment, pengaruh tanah, beban gempa, serta beban angin. Beban tersebut harus dapat ditahan abutment tanpa membuatnya terjadi kegagalan stabilitas. Dalam pengecekan stabilitas dilakukan pada kondisi Ekstrem I, Kuat I, dan Kuat III. Berikut merupakan identifikasi beban yang bekerja pada abutmen:

- a Beban mati akibat sendiri

Perhitungan beban mati akibat struktur sendiri dibagi berdasarkan masing – masing bagian, seperti kepala abutmen, dinding, *wingwall*, dan pilecap abutment.

$$q_s = A \times B_J$$

$$M_S = q_s \times \text{Lengan Gaya}$$

- b Beban akibat struktur atas Abutment

$$q_s = 1/2 \times \text{Vol/L} \times B_J$$

$$M_S = q_s \times \text{Lengan Gaya}$$

- c Beban akibat struktur atas Pilar

$$q_s = \text{Vol/L} \times B_J$$

$$M_S = q_s \times \text{Lengan Gaya}$$

- d Beban hidup akibat beban D

Beban hidup akibat beban D meliputi beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Beban tersebut bekerja pada masing – masing abutmen diasumsikan bekerja pada setengah bentang jembatan.

- e Beban hidup akibat rem

Beban rem (TB) dihitung berdasarkan 25% beban T atau 5% beban T ditambah dengan beban terbagi rata (BTR). Beban rem sendiri bekerja pada 1.8 meter dari permukaan jembatan dengan arah horizontal berlawanan dengan arah lajur kendaraan.

- f Beban hidup akibat beban gempa

Beban gempa yang perhitungan meliputi beban gempa struktur atas dan beban gempa struktur bawah. Beban gempa akibat struktur atas bekerja pada tumpuan struktur atas, sedangkan beban gempa struktur bawah bekerja pada setengah dinding abutment.

$$EQ = C_{sm}/R \times W_t$$

Keterangan :

EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = Koefisien respons elastic berdasarkan letak tinjauan gempa

R = Faktor modifikasi respons

W_t = Beban yang bekerja pada struktur (kN)

Tabel 3. 7 Faktor Modifikasi berdasarkan untuk bawah bangunan

Elemen Struktur	Tingkat Kepentingan		
	SP	P	Lain2

Pilar tipe dinding	1.5	1.5	2
Tiang/kolom beton bertulang			
• Tiang vertikal	1.5	2	3
• Tiang miring	1.5	1.5	2
Kolom tunggal	1.5	2	3
Tiang baja dan komposit			
• Tiang vertikal	1.5	3.5	5
• Tiang miring	1.5	2	3
Kolom majemuk	1.5	3.5	5

Sumber: SNI 2833-2016

Tabel 3. 8 Faktor Modifikasi Berdasarkan Hubungan Elemen Struktur

Hubungan Elemen Struktur	Faktor Modifikasi Respon (R)
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0.8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0.8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1
Kolom atau pilar dengan pondasi	1

Sumber: SNI 2833-2016

g Beban hidup akibat beban tanah aktif

Analisa tekanan tanah menggunakan metode rankie, yang mana Analisa tekanan tanah ditinjau dari kohesi tanah (c) dan sudut geser tanah (ϕ)

- Tekanan tanah aktif untuk $c \neq 0$ dan $\phi \neq 0^\circ$

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi / 2)$$

$$P_a = \gamma \times H \times K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

- Tekanan tanah aktif untuk $c \neq 0$ dan $\phi = 0^\circ$

$$K_a = \tan^2 (45^\circ) = 1$$

$$P_a = \gamma \times H - 2c$$

- Tekanan tanah aktif untuk $c \neq 0$ dan $\phi \neq 0^\circ$

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi / 2)$$

$$P_a = \gamma \times H \times K_a$$

h. Beban hidup akibat beban tanah pasif

Analisa tekanan tanah menggunakan metode rankie, yang mana Analisa tekanan tanah ditinjau dari kohesi tanah (c) dan sudut geser tanah (ϕ)

Tekanan tanah aktif untuk $c \neq 0$ dan $\phi \neq 0^\circ$

$$K_p = \tan^2 (45^\circ - \phi / 2)$$

$$P_a = \gamma \times H \times K_p$$

Setelah diperhitungkan masing – masing beban, selanjutnya melakukan rekapitulasi beban berdasarkan arah beban. Pada tahap Analisa terdapat 4 tinjauan untuk stabilitas abutment dan pilar. Kondisi pengecekan tersebut menggunakan kombinasi yang telah ditetapkan pada SNI 1725 2016 meliputi kondisi Ekstrem I, Kuat I, dan Kuat III.

1. Tinjauan terhadap guling

$$F_g = \frac{\sum MV}{\sum MH} > 1.5$$

2. Tinjauan terhadap geser

$$F_g = \frac{\sum V \times \tan \phi + c.B.D}{\sum H} > 1.5$$

3. Tinjauan terhadap eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum MV - \sum MH}{\sum V} < \frac{1}{6} B$$

4. Tinjauan pada dasar abutment

$$\sigma = \frac{\sum V}{A} \pm \frac{\sum MV + \sum MH}{W} < q_{all}$$

Keterangan :

ϕ = Sudut geser dalam tanah asli

c = Kohesi tanah

B = Lebar pile-cap abutment

L = Panjang pile-cap abutment

A = Luas pile-cap abutment

setelah seluruh beban dipastikan aman terhadap tinjauan diatas selanjutnya direncanakan penulangan pada setiap bagian pilar sesuai dengan momen ultimit yang bekerja pada masing – masing bagian struktur.

3.5.2.3 Borepile

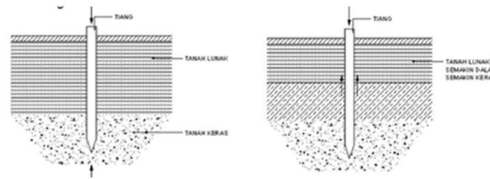
Daya dukung dalam pondasi terbagi menjadi 2 jenis tergantung dari bagaimana pondasi tersebut menopang beban (Hardiyanto, 2002)

1. Tiang gesek (*friction pile*)

Tahanan gesek antara dinding tiang dengan tanah di sekitarnya menentukan daya dukung tiang gesek

2. Tiang penyangga ujung (*end-supporting pile*)

Tahanan ujung tiang menentukan daya dukung penyangga ujung. Pondasi ini ditempatkan pada atas tanah keras. Daya dukung lapisan keras sangat menentukan kapasitas tiang pancang.



Gambar 3. 8 Tiang Ditinjau dari Cara Mendukung Bebannya
Sumber: Hadiyatmo, 2002

Penulis pada proses perencanaan ini menggunakan persamaan yang diusulkan Reese & Wright (1997) untuk menghitung kapasitas dukung tiang.

$$Q_u = Q_p + Q_s = q_p \cdot A_p + f \cdot L \cdot P$$

Keterangan :

Q_u = Kapasitas daya dukung aksial ultimit tiang.

Q_p = Kapasitas tahanan di ujung tiang.

Q_s = Kapasitas tahanan selimut.

q_p = Tahanan ujung tiang persatuan luas.

A_p = Luas di ujung tiang.

f = Gesekan selimut tiang persatuan luas.

L = Panjang tiang.

P = Keliling penampang tiang.

Tahanan ujung persatuan luas (q_p) pada tanah kohesif didapat dari perhitungan sembilan kali kuat geser tanah (C_u). Untuk mendapatkan nilai C_u dapat dicari dengan nilai N -SPT seperti table dibawah ini:

Tabel 3. 9 Hubungan Secara Pendekatan C_u dengan N -SPT untuk lempung (AASHTO, 1998)

Nilai Pendekatan C_u (kPa)	Peneliti
$C_u = 12,5 N$	Sanglerat (1972)
$C_u = 7 N$	Reese et al (1976)
$C_u = 4 - 6 N$	Stroud dan Butler (1975)
$C_u = 6 N$	Kulhawy dan Mayne

Sumber: Hadiyatmo, 2002

Sedangkan untuk tanah non-kohesif reese mengusulkan hubungan antara q_p dan N -SPT seperti gambar dibawah. Untuk jenis karakteristik geser tanah berdampak pada selimut tiang per satuan luas (f). untuk tanah kohesif diperoleh dari persamaan berikut:

$$f = \alpha \cdot C_u$$

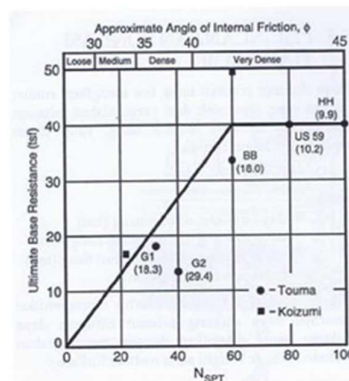
Ketereangan :

F = gesekan selimut

α = faktor adhesi (didapat 0,55)

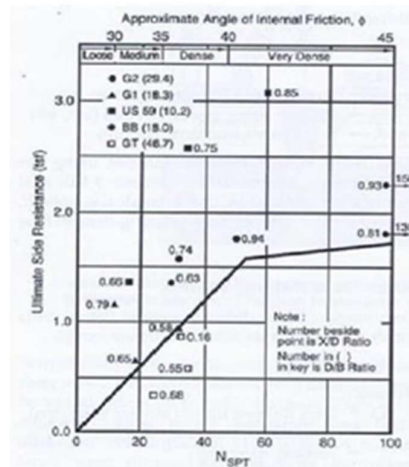
C_u = Kohesi tanah.

Untuk tanah non-kohesif nilai gesekan selimut per satuan luas (f) dari korelasi langsung dengan N -SPT, seperti gambar dibawah



Gambar 3. 9 Tahanan Ujung Ultimit pada Tanah Non-Kohesif

Sumber: Paulus, 2016



Gambar 3. 10 Tahanan Selimut Ultimit pada Tanah Non-Kohesif
Sumber: Paulus, 2016

3.6 Pemodelan DED

Setelah melakukan perhitungan struktur, proses selanjutnya adalah pemodelan 3D yang menggunakan *software* Autodesk Revit. Pemodelan dilakukan dengan beberapa tahapan, sebagai berikut:

- Membuat *template* project baru
- Membuat *grid* dan *level* untuk mengatur batas vertikal dan horizontal
- Membuat *family* baru sesuai dengan struktur jembatan yang telah direncanakan
- Memasukan jenis material ke dalam *properties family*
- Menggabungkan semua *family* yang telah dibuat sebelumnya kedalam *project*
- Membuat pembesian pada struktur pada *family* yang sudah dibuat dan dimasukan kedalam *project*, serta memberi nama pada setiap pembesian dengan acuan seperti perhitungan analisis struktur yang sebelumnya dilakukan.

Selanjutnya melakukan perhitungan volume tulangan dan beton pada jembatan yang sudah dibuat pemodelan 3D menggunakan fitur – fitur dalam revit, antara lain, *Quantities* dan *material take off*.

3.7 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) konstruksi

Dalam melakukan perhitungan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) dilakukan beberapa tahap, antara lain:

a Perhitungan Volume

Dalam melakukan perhitungan volume, penulis menggunakan dua *software* yaitu Autodesk Revit dan Microsoft excel. Perhitungan volume pada Autodesk revit dilakukan menggunakan fitur Quantities dan Material take off. Quantities Take off adalah fitur untuk menghitung pembesian (kg) serta Material take off untuk menghitung volume beton (m³). Sementara untuk perhitungan PCI Girder dan elastomer Bearing pad menggunakan Microsoft excel dikarenakan Autodesk Revit belum memiliki item pekerjaan tersebut.

b Analisis Harga Satuan dan Pekerjaan (AHSP)

Pembuatan AHSP dilakukan dengan *software* Microsoft Excel, dengan langkah – langkah sebagai berikut:

1. Merangkum harga satuan semua item pekerjaan dalam proyek Pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 yang tercantum pada website pemerintahan terkait dalam hal ini Provinsi Jawa Barat ke dalam Microsoft Excel.
2. Merangkum semua harga material, harga upah tenaga kerja, serta harga sewa alat.
3. Melakukan perbandingan harga dengan daerah lain apabila tidak menemukan data harga di daerah terkait. Perbandingan tersebut dengan membandingkan Upah Minimum suatu daerah dengan daerah tersebut.

c Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Dalam tahap ini, adalah dengan memasukan volume pekerjaan yang sudah dihitung dengan analisis harga satuan pekerjaan. Rencana anggaran biaya di klasifikasikan sesuai divisi dalam Spesifikasi Jalan dan Jembatan 2018. Kemudian *file* Microsoft Excel yang mencakup Rencana Anggaran Biaya di import kedalam *software* Microsoft Project untuk dibuat RAB dengan versi Microsoft Project untuk memudahkan penjadwalan pekerjaan.

3.8 Penjadwalan Pekerjaan

Dalam melakukan penjadwalan pekerjaan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 penulis menggunakan *software* Microsoft Project. Berikut merupakan tahapan dalam penyusunan penjadwalan menggunakan Ms Project, sebagai berikut:

a Setting Waktu Kerja

Hal yang pertama harus dilakukan adalah mengatur berapa lama jam kerja per hari, lama hari kerja, dan penentuan hari libur yang berada dalam suatu periode pekerjaan konstruksi. Cara mengatur fitur tersebut terletak pada menu *project, properties*, kemudian *change working time*.

b Jadwal pekerjaan

Jadwal pekerjaan dibuat dengan memasukkan nama sesuai pekerjaan, durasi lama pekerjaan, waktu memulai pekerjaan serta penyusunan atau urutan pekerjaan yang nantinya dilakukan pada proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 ke dalam setiap kolom yang ada dalam tampilan.

c *Network diagram* dan *Gantt chart*

Network diagram dan *Gantt chart* dapat tersusun otomatis ketika jadwal atau urutan pekerjaan telah di masukkan. *Network diagram* dan *Gantt chart* Dapat dilihat pada kolom di kiritampilan *software* Ms Project

3.9 Integrasi Perencanaan dengan BIM

Setelah melakukan tahapan desain, biaya dan penjadwalan. Selanjutnya dilakukan proses integrasi ketiga komponen tersebut dengan menggunakan *software* Naviswork. Tahapan dalam melakukan integrasi dengan Naviswork, sebagai berikut:

- a Mengekspor *file* dalam Autodesk Revit ke dalam bentuk file NWC
- b Memasukkan *file* NWC yang sudah diekspor kedalam *software* Naviswork
- c Memasukkan penjadwalan proyek yang sudah dibuat dengan menggunakan *software* Ms. Project ke dalam *timeliner* Naviswork
- d Mendefinisikan item pekerjaan pada penjadwalan
- e Membuat simulasi yang telah didefinisikan dengan penjadwalan yang sudah dibuat untuk mengetahui terjadinya *clash* atau tidak dalam penyusunan penjadwalan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Struktur Jembatan

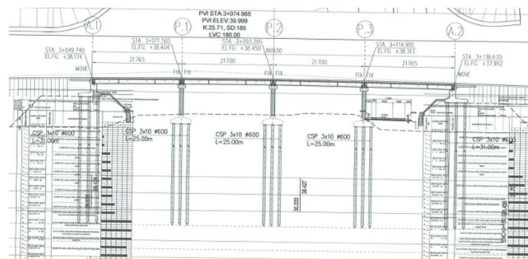
4.1.1 Pengumpulan Data

Data yang didapatkan dari proyek Pembangunan Jalan Tol Akses Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB) sebagai berikut:

- Rencana Teknik Akhir Simpang Susun Kertajati ke Jalan Tol Akses Bandara Internasional Jawa Barat (BIJB), Jembatan IC AKses Kertajati STA. 3+074

4.1.2 Preliminary Design

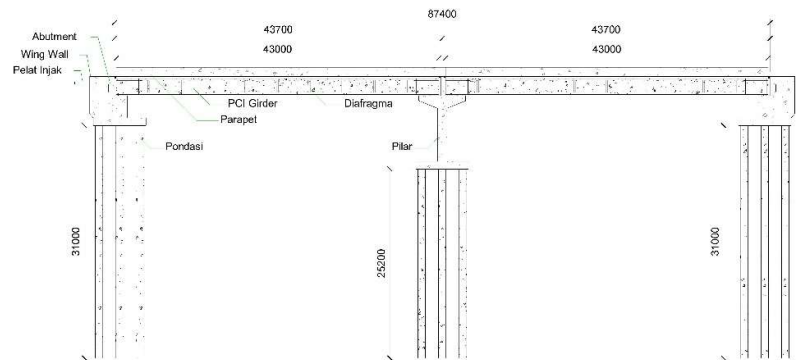
4.1.2.1 Desain Eksisting



Gambar 4. 1 Potongan Memanjang Desain Eksisting
Sumber: Dokumen Proyek

- | | | |
|--------------------------------------|---|---------------|
| 1) Nilai SPT tanah | : | N= 60 |
| 2) Tanah keras pada kedalaman | : | 21 Meter |
| 3) Elevasi <i>eksisting</i> abutment | : | +38.174 |
| 4) Dimensi abutment | | |
| • Pilecap: | L | : 5,5 meter |
| | P | : 16,99 meter |
| • Badan abutment: | t | : 2,93 meter |
| | L | : 1,55 meter |
| 5) Panjang total jembatan | : | 86,930 meter |
| 6) Jumlah bentang | : | 4 bentang |
| 7) Jumlah abutment | : | 2 buah |
| 8) Jumlah pilar | : | 3 buah |

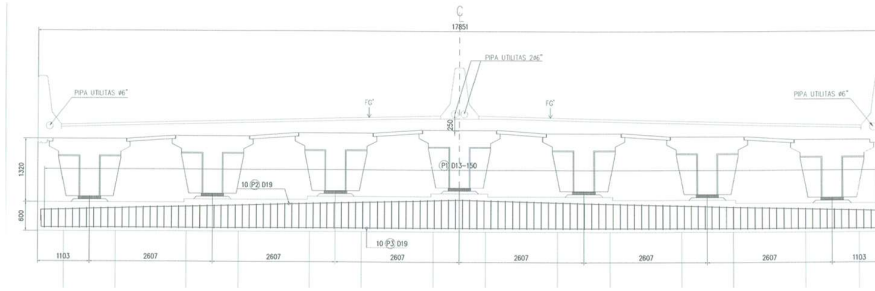
4.1.2.2 Desain Rencana



Gambar 4. 2 Potongan Memanjang Desain Rencana
Sumber: Penulis

- 1) Nilai SPT tanah : N= 60
- 2) Tanah keras pada kedalaman : 21 Meter
- 3) Elevasi rencana abutment : +40.274
- 4) Dimensi abutment
 - Pilecap: L : 7 meter
P : 18 meter
 - Badan abutment: t : 3 meter
L : 2 meter
- 5) Dimensi pilar
 - Pilecap: L : 7 meter
P : 18 meter
 - Badan pilar t : 7,1 meter
L : 1,25 meter
- 6) Panjang total jembatan : 87,4 meter
- 7) Jumlah bentang : 2 bentang
- 8) Jumlah abutment : 2 buah
- 9) Jumlah pilar : 1 buah

4.1.2.3 Perhitungan PC U- Girder Jembatan Eksisting



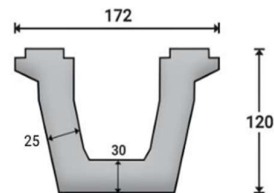
Gambar 4. 3 Desain Gelagar Eksisting

Sumber: Dokumen Proyek

Berikut merupakan perhitungan momen PC U-Girder jembatan eksisting:

Tabel 4. 1 Data Jembatan Eksisting

Uraian	Notasi	Dimensi
Panjang balok prategang	L	21.6 m
Jarak antar balok	s	2.6 m
Tebal pelat jembatan	h_0	0.25 m
Tebal aspal	h_a	0.05 m
Genangan air hujan	t_h	0.05 m



PC U H-120

Area : 8.356 cm²

Inertia : 11.702.976 cm⁴

Gambar 4. 4 Gambar PC U-Girder

Sumber : PT. Wakita Karya Beton

$$\text{Area} = 0.8354 \text{ m}^2$$

$$\text{Inersia} = 0.11703 \text{ m}^4$$

a. Berat Sendiri (MS)

1. Berat Balok

$$\text{Panjang balok} = 21.6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang (A)} &= 0.8354 \text{ m}^2 \\
 \text{Berat balok (W)} &= A \times L \times W \\
 &= 0.8354 \times 21.6 \times 25 \\
 &= 451.2 \text{ kN} \\
 \text{Q balok} &= W / L \\
 &= 451.2 / 21.6 \\
 &= 20.890 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

2. Gaya geser dan momen akibat beban sendiri (MS)

Tabel 4. 2 Gaya Geser dan Momen Akibat Beban Sendiri (MS)

No.	Jenis beban	Lebar	Tebal	Luas	Berat satuan	Beban	Geser	Momen
		b	h	A	W	Q _{MS}	V _{MS}	M _{MS}
		(m)	(m)	(m ²)	(kN/m ³)	(kN/m)	(kN)	(kNm)
1	Balok					20.890	225.612	1218.305
2	Pelat lantai	2.60	0.25	0.650	25.00	16.250	175.500	947.700
3	Deck slab	2.27	0.07	0.159	25.00	3.973	42.903	231.676
Total						41.113	444.015	2397.681

Rumus perhitungan gaya geser dan momen pada berat sendiri (MS)

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L \text{ (kN)}$$

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2 \text{ (kNm)}$$

b. Beban mati tambahan (MA)

Tabel 4. 3 Gaya Geser dan Momen Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

No.	Jenis beban	Lebar	Tebal	Luas	Berat satuan	Beban	Geser	Momen
		b	h	A	W	Q _{MA}	V _{MA}	M _{MA}
		(m)	(m)	(m ²)	(kN/m ³)	(kN/m)	(kN)	(kNm)
1	Aspal + overlay	2.60	0.05	0.13	22.000	2.860	30.888	166.795
2	Air hujan	2.60	0.05	0.13	9.800	1.274	13.759	74.300
Total						4.134	44.647	241.095

Rumus perhitungan gaya geser dan momen pada berat sendiri (MS)

$$V_{MA} = \frac{1}{2} \times Q_{MA} \times L \text{ (kN)}$$

$$M_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{MA} \times L^2 \text{ (kNm)}$$

c. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur terdiri dari beban lajur terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Perhitungan beban lajur sebagai berikut:

1. Beban terbagi rata (BTR)

$$(1) q = 8.0 \text{ kPa untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$(2) q = 8.0 \times \left(0.5 + \frac{15}{L} \right) \text{ untuk } L > 30 \text{ m}$$

perhitungan beban terbagi rata pada perencanaan ini menggunakan rumus 2 dikarenakan panjang dari jembatan lebih dari 30 m.

$$q = 8.0 \times \left(0.5 + \frac{15}{L} \right)$$

$$= 9.56 \text{ kPa}$$

$$QTD = q \times \text{jarak antar girder}$$

$$= 9.56 \times 2.6$$

$$= 24.84 \text{ kN/m}$$

2. Beban garis terpusat (BGT)

Menurut SNI 1725 : 2016 beban garis terpusat sebesar $p = 49 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis untuk beban garis terpusat sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Beban Garis Terpusat (BGT)

DLA = 0,4	untuk $L \leq 50 \text{ m}$
DLA = $0,4 - 0,0025 \times (L - 50)$	untuk $50 < L < 90 \text{ m}$
DLA = 0,3	untuk $L \geq 50 \text{ m}$

Sumber: SNI 1725 - 2016

Perhitungan factor beban dinamis (DLA)

$$DLA = 0.40$$

$$PTD = (1 + DLA) \times p \times s$$

$$= 178.96 \text{ kN}$$

3. Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur (TD):

$$V_{TD} = 1/2 \times Q_{TD} \times L + 1/2 \times P_{TD} = 357.5 \text{ kN}$$

$$NM_{TD} = 1/8 \times Q_{TD} \times L^2 + 1/4 \times P_{TD} \times L = 2412.07 \text{ kNm}$$

d. Beban akibat gaya rem (TB)

Beban gaya rem dihitung sebagai gaya dalam arah horizontal yang bekerja pada jarak 1.8 meter diatas permukaan jembatan berikut merupakan perhitungan besar gaya rem:

Tabel 4. 5 Beban Akibat Gaya Rem (TB)

Gaya rem, $H_{TB} =$	250 kN	untuk $L_t < 80$ m
Gaya rem, $H_{TB} =$	$250 + 2,5 * (L_t - 80)$ kN	untuk , $80 < L_t < 180$ m
Gaya rem, $H_{TB} =$	500 kN	untuk $L_t > 180$ m

Sumber: SNI 1725 - 2016

Karena jembatan memiliki bentang kurang dari 80 m untuk besarnya gaya rem adalah 250 kN

1. Gaya rem untuk $L < 80$ m

$$T_{TB} = H_{TB} / n_{\text{balok}} = 35.71 \text{ kN}$$

2. Gaya rem, $T_{TB} = 5 \%$ beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis

$$P_{TD} = p \times \text{jarak antar girder} = 127.4 \text{ kN}$$

$$T_{TB} = 0,05 * (Q_{TB} * L + P_{TB}) = 33.2 \text{ kN}$$

Diambil nilai terbesar yaitu 35.71 kN

3. Beban momen akibat gaya rem

$$\begin{aligned} y &= 1.80 + h_0 + h_a + y_{ac} \\ &= 3.02 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Gaya geser dan momen maksimum akibat gaya rem

$$M = T_{TB} \times y = 107.83 \text{ kNm}$$

$$V_{TB} = M / L = 4.99 \text{ kN}$$

$$M_{TB} = 1/2 * M = 53.91 \text{ KNm}$$

e. Beban Angin (EW)

Beban angin adalah beban garis merata arah horizontal pada permukaan lantai kendaraan akibat angin yang meniup. Perhitungan beban angin sebagai berikut:

$$T_{EW} = 0,0012 * C_w * (V_w)^2$$

Tabel 4. 6 Beban Angin

C_w = koefisien seret	= 1.20
V_w = kecepatan angin rencana	= 35 m/dt

$T_{EW} = 0,0012 * C_w * (V_w)^2 =$	$= 1.76 \text{ kN/m}$
-------------------------------------	-----------------------

Sumber: SNI 1725 – 2016

Bidang vertikal tinggi 2m diatas lantai jembatan h = 2 m
 Jarak antar roda kendaraan = 1.75 m
 Transfer beban angin ke lantai jembatan Q_{EW} = 1.006 kN/m
 Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin

$$\begin{aligned}
 V_{EW} &= 1/2 * Q_{EW} * L \\
 &= 1/2 * 1.006 * 21.6 \\
 &= 21.623 \text{ kN} \\
 M_{EW} &= 1/8 * Q_{EW} * L^2 \\
 &= 1/8 * 1.006 * 21.6^2 \\
 &= 232.45 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

f. Beban gempa

Beban gempa adalah beban dengan gaya vertikal pada balok prategang dengan perhitungan sebagai berikut:

Berat total yang bekerja berupa berat sendiri dan berat mati tambahan

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri} &= 41.113 \text{ kNm} \\
 \text{Beban mati tambahan} &= 4.134 \text{ kNm} \\
 \text{Total berat} &= (\text{Beban sendiri} + \text{beban tambahan}) * L \\
 &= (41.113 + 4.113) * 21.6 \\
 &= 977.32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen inersia balok prategang} &= 0.058 \text{ m}^4 \\
 \text{Modulus elastisitas} &= 29725410 \text{ MPa} \\
 \text{Kekakuan balok prategang} &= 8199 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Waktu getar

$$\begin{aligned}
 T &= 2 * \pi * \sqrt{W_t / (g * K_p)}^{1/2} \\
 &= 2 * 3.14 * \sqrt{977.32 / (9.81 * 8199)}^{1/2} \\
 &= 0.6927 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Nilai C untuk daerah kabupaten majalengka adalah 0.125

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis beton prategang penuh dengan $F = 1.25 - 0,0225 * n$

Untuk $n = 1$

$$F = 1,25 - 0,025 * n = 1.225$$

$$\text{Faktor tipe untuk strukur } S = 1.3 \times F = 1.5925$$

$$\text{Koefisien beban gempa horizontal } K_h = C \times S = 0.1991$$

$$\text{Koefisien beban gempa vertikal } K_v = 50\% \times K_h = 0.0995 < 0.10$$

Maka diambil $K_v = 0.10$

a Gaya gempa vertikal

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= K_v * W_t \\ &= 0.10 \times 977.32 \\ &= 97.732 \text{ kN} \end{aligned}$$

b Beban gempa vertikal

$$\begin{aligned} Q_{EQ} &= T_{EQ} / L \\ &= 977.32 / 21.6 \\ &= 4.5247 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c Gaya geser

$$\begin{aligned} V_{EQ} &= 1/2 * Q_{EQ} * L \\ &= 1/2 \times 4.525 \times 21.6 \\ &= 48.866 \text{ kN} \end{aligned}$$

d Momen maksimum

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= 1/8 * Q_{EQ} * L^2 \\ &= 1/8 \times 4.525 \times 21.6^2 \\ &= 263.88 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Tabel 4. 7 Resume Gaya yang Bekerja pada Balok

No	Jenis beban	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat balok	balok	20.890	-	-	Beban merata Q_{balok}
2	Berat pelat	pelat	16.250	-	-	Beban merata Q_{pelat}
3	Berat sendiri	MS	41.113	-	-	Beban merata Q_{MS}
4	Beban mati tambahan	MA	4.134	-	-	Beban merata Q_{MA}
5	Lajur "D"	TD	24.84	178.36	-	Beban Q_{TD} dan P_{TD}
6	Gaya rem	TB	-	-	107.83	Beban merata Q_{TB}
7	Angin	EW	1.006	-	-	Beban merata Q_{EW}
8	Gempa	EQ	4.525	-	-	Beban merata Q_{EQ}

a Momen maksimum akibat berat balok:

$$\begin{aligned} M_{\text{balok}} &= 1/8 * Q_{\text{balok}} * L^2 \\ &= 1/8 \times 20.890 \times 21.6^2 \\ &= 1218.3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b Momen maksimum akibat berat plat :

$$\begin{aligned} M_{\text{pelat}} &= 1/8 * Q_{\text{pelat}} * L^2 \\ &= 1/8 \times 16.250 \times 21.6^2 \\ &= 947.7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c Momen pada balok

Tabel 4. 8 Momen pada Balok

Jarak	Momen pada balok akibat beban						
x (m)	Berat Balok (kN/m)	Berat Sendiri MS (kNm)	Mati tambahan MA (kNm)	Lajur "D" TD (kNm)	Rem TB (kNm)	Angin EW (kNm)	Gempa EQ (kNm)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	215.17	423.46	42.58	345.08	4.99	10.36	46.60
2.0	409.44	805.81	81.03	665.31	9.98	19.71	88.68
3.0	582.83	1147.04	115.34	960.70	14.98	28.06	126.24
4.0	735.33	1447.16	145.52	1231.24	19.97	35.40	159.27
5.0	866.94	1706.17	171.56	1476.94	24.96	41.74	187.77
6.0	977.65	1924.07	193.47	1697.80	29.95	47.07	211.75
7.0	1067.48	2100.85	211.25	1893.81	34.94	51.39	231.21
8.0	1136.42	2236.52	224.89	2064.98	39.94	54.71	246.14
9.0	1184.46	2331.08	234.40	2211.30	44.93	57.02	256.55
10.0	1211.62	2384.53	239.77	2332.78	49.92	58.33	262.43
10.8	1218.30	2397.68	241.09	2412.07	53.91	58.65	263.88
11.0	1217.89	2396.86	241.01	2429.41	54.91	58.63	263.79
12.0	1203.26	2368.08	238.12	2501.20	59.90	57.93	260.62
13.0	1167.75	2298.19	231.09	2548.14	64.90	56.22	252.93
14.0	1111.35	2187.19	219.93	2570.24	69.89	53.50	240.71
15.0	1034.06	2035.07	204.63	2567.50	74.88	49.78	223.97
16.0	935.87	1841.84	185.20	2539.91	79.87	45.06	202.70
17.0	816.80	1607.50	161.64	2487.48	84.87	39.32	176.91
18.0	676.84	1332.05	133.94	2410.20	89.86	32.59	146.60
19.0	515.98	1015.48	102.11	2308.08	94.85	24.84	111.76
20.0	334.24	657.80	66.14	2181.11	99.84	16.09	72.39
21.0	131.61	259.01	26.04	2029.30	104.83	6.34	28.51
21.6	0.00	0.00	0.00	1926.29	107.83	0.00	0.00

d. Kombinasi momen pada balok

Tabel 4. 9 Kombinasi Momen pada Balok

Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
x	$MS*1,3 + MA*2 + TD*1,8 + TB*1,8$	$MS*1 + MA*1 + TD*1 + TB*1 + EW*0,3$	$MS*1 + MA*1 + TD*0,8 + TB*0,8$	$MS*1,3 + MA*2 + TD*1 + TB*1 + EQ*1$
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	1265.78	819.22	746.09	1032.33
2.0	2425.13	1568.04	1427.07	1973.58
3.0	3478.04	2246.47	2042.92	2823.74
4.0	4424.52	2854.51	2593.65	3582.82
5.0	5264.57	3392.16	3079.25	4250.82
6.0	5998.18	3859.41	3499.74	4827.73
7.0	6625.36	4256.27	3855.10	5313.56
8.0	7146.10	4582.74	4145.34	5708.31
9.0	7560.41	4838.81	4370.46	6011.97
10.0	7868.28	5024.49	4530.46	6224.55
10.8	8037.95	5122.36	4611.56	6329.04
11.0	8069.72	5139.78	4625.33	6346.05
12.0	8164.73	5184.68	4655.08	6376.47
13.0	8153.30	5159.19	4619.71	6315.80
14.0	8035.44	5063.30	4519.22	6164.04
15.0	7811.14	4897.02	4353.61	5921.21
16.0	7480.41	4660.34	4122.87	5587.29
17.0	7043.24	4353.28	3827.01	5162.28
18.0	6499.64	3975.82	3466.03	4646.20
19.0	5849.61	3527.97	3039.93	4039.03
20.0	5093.14	3009.72	2548.71	3340.77
21.0	4230.24	2421.09	1992.36	2551.44
21.6	3661.41	2034.12	1627.29	2034.12

Tabel 4. 10 Hasil Kombinasi Terbesar Momen pada Balok

Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
x	$MS*1,3 + MA*2 + TD*1,8 + TB*1,8$	$MS*1 + MA*1 + TD*1 + TB*1 + EW*0,3$	$MS*1 + MA*1 + TD*0,8 + TB*0,8$	$MS*1,3 + MA*2 + TD*1 + TB*1 + EQ*1$
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
12.0	8164.73	5184.68	4655.08	6376.47

Kombinasi momen maksimal U-Girder eksisting pada Proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah kondisi Kombinasi Kuat 1 pada Jarak 12 meter sebesar 8164,73 kNm.

e. Gaya geser pada balok

Tabel 4. 11 Gaya Geser pada Balok

Jarak	Momen pada balok akibat beban						
	Berat	Berat Sendiri	Mati tambah	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
x	Balok	MS	MA	TD	TB	EW	EQ
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0.0	225.61	444.02	44.65	357.50	4.99	10.86	48.87
1.0	204.72	402.90	40.51	332.66	4.99	9.86	44.34
2.0	183.83	361.79	36.38	307.81	4.99	8.85	39.82
3.0	162.94	320.68	32.25	282.97	4.99	7.84	35.29
4.0	142.05	279.57	28.11	258.12	4.99	6.84	30.77
5.0	121.16	238.45	23.98	233.28	4.99	5.83	26.24
6.0	100.27	197.34	19.84	208.43	4.99	4.83	21.72
7.0	79.38	156.23	15.71	183.59	4.99	3.82	17.19
8.0	58.49	115.12	11.58	158.74	4.99	2.82	12.67
9.0	37.60	74.00	7.44	133.90	4.99	1.81	8.14
10.0	16.71	32.89	3.31	109.06	4.99	0.80	3.62
10.8	0.00	0.00	0.00	89.18	4.99	0.00	0.00
11.0	-4.18	-8.22	-0.83	84.21	4.99	-0.20	-0.90
12.0	-25.07	-49.34	-4.96	59.37	4.99	-1.21	-5.43
13.0	-45.96	-90.45	-9.09	34.52	4.99	-2.21	-9.95
14.0	-66.85	-131.56	-13.23	9.68	4.99	-3.22	-14.48
15.0	-87.74	-172.67	-17.36	-15.17	4.99	-4.22	-19.00
16.0	-108.63	-213.79	-21.50	-40.01	4.99	-5.23	-23.53
17.0	-129.52	-254.90	-25.63	-64.86	4.99	-6.24	-28.05
18.0	-150.41	-296.01	-29.76	-89.70	4.99	-7.24	-32.58
19.0	-171.30	-337.12	-33.90	-114.54	4.99	-8.25	-37.10
20.0	-192.19	-378.24	-38.03	-139.39	4.99	-9.25	-41.63
21.0	-213.08	-419.35	-42.17	-164.23	4.99	-10.26	-46.15
21.6	-225.61	-444.02	-44.65	-179.14	4.99	-10.86	-48.87

f. Kombinasi pembebanan gaya geser pada balok prategang

Tabel 4. 12 Kombinasi Gaya Geser pada Balok

Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
x	MS*1,3 + MA*2 + TD*1,8 +TB*1,8	MS*1 + MA*1 + TD*1 + TB*1 + EW*0,3	MS*1 + MA*1 + TD*0,8 + TB*0,8	MS*1,3 + MA*2 + TD*1 + TB*1 + EQ*1

(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	1319.00	854.41	778.66	1077.87
1.0	1212.57	784.02	713.53	986.79
2.0	1106.13	713.63	648.41	895.71
3.0	999.70	643.23	583.29	804.62
4.0	893.26	572.84	518.17	713.54
5.0	786.83	502.45	453.05	622.46
6.0	680.39	432.06	387.92	531.37
7.0	573.96	361.66	322.80	440.29
8.0	467.53	291.27	257.68	349.21
9.0	361.09	220.88	192.56	258.12
10.0	254.66	150.49	127.44	167.04
10.8	169.51	94.17	75.34	94.17
11.0	148.22	80.09	62.31	75.96
12.0	41.79	9.70	-2.81	-15.13
13.0	-64.65	-60.69	-67.93	-106.21
14.0	-171.08	-131.08	-133.05	-197.29
15.0	-277.51	-201.48	-198.17	-288.38
16.0	-383.95	-271.87	-263.30	-379.46
17.0	-490.38	-342.26	-328.42	-470.54
18.0	-596.82	-412.66	-393.54	-561.63
19.0	-703.25	-483.05	-458.66	-652.71
20.0	-809.69	-553.44	-523.79	-743.79
21.0	-916.12	-623.83	-588.91	-834.88
21.6	-979.98	-666.07	-627.98	-889.53

Tabel 4. 13 Hasil Kombinasi Gaya Geser Terbesar pada Balok

Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
x	MS*1,3 + MA*2 + TD*1,8 +TB*1,8	MS*1 + MA*1 + TD*1 + TB*1 + EW*0,3	MS*1 + MA*1 + TD*0,8 + TB*0,8	MS*1,3 + MA*2 + TD*1 + TB*1 + EQ*1
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	1319.00	854.41	778.66	1077.87

Kombinasi Gaya Geser maksimal U-Girder eksisting pada Proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah kondisi Kombinasi Kuat 1 pada Jarak 0 meter sebesar 1319,00 kNm.

4.1.3 Standar Desain

Standar desain dalam perencanaan ulang Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah gambar DED yang telah diperoleh sebagai acuan utama dalam proses

perencanaan ulang oleh penulis. Serta standar yang dijadikan acuan dalam melakukan perencanaan jembatan sebagai berikut:

- a Standar Pembebanan Jembatan
Standar pembebanan jembatan didasarkan pada SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.
- b Standar Pembebanan terhadap Gempa
Standar perencanaan struktur jembatan terhadap beban gempa didasarkan SNI 2833:2016
- c Standar Perencanaan Struktur Beton
Standar perencanaan struktur beton didasarkan pada SNI T-12-2004 tentang struktur beton untuk jembatan
- d Standar Perencanaan Geoteknik untuk Jembatan
Standar geoteknik untuk jembatan didasarkan pada SNI 8460:2017 tentang stabilitas tanah, daya dukung tanah, dan perencanaan pondasi abutment

4.1.4 Analisis Struktur

Dalam melakukan perencanaan struktur suatu bangunan dilakukan perhitungan Analisa dari struktur bagian atas lalu dilanjutkan systruktur dibawahnya. Jembatan IC AKses Kertajati STA. 3+074 terdiri dari beberapa struktur sebagai berikut:

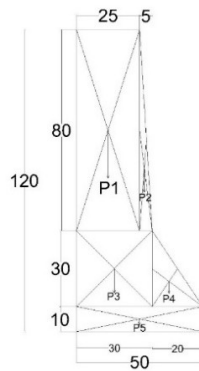
4.1.4.1 Parapet

Dalam melakukan perhitungan suatu struktur sebelumnya perencana harus menentukan parameter sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c' 25 \text{ MPa}$
- BJbeton = 2500 kg/m^3
- Mutu baja = $f_y 400 \text{ MPa}$
- Koef. Red = 1.3 (SNI 1725-2016)
- Selimut beton = 25 mm
- Lebar (b) = 1000 mm
- T efektif = 200 mm

Beban yang bekerja pada struktur parapet, terdiri beban mati dan beban hidup akibat tumbukan kendaraan. Perhitungan pembebanan mengacu pada peraturan di dalam SNI 1725:2016.

a Beban mati



Gambar 4. 5 Parapet
Sumber: Penulis

$$\begin{aligned}
 \text{Bagian 1} &= A \times \text{BJ Beton} \\
 &= (0.8 \times 0.25) \times 25 \\
 &= 5 \\
 \text{Bagian 2} &= A \times \text{BJ Beton} \\
 &= (0.5 \times 0.05 \times 0.8) \times 25 \\
 &= 0.5 \\
 \text{Bagian 3} &= A \times \text{BJ Beton} \\
 &= (0.3 \times 0.3) \times 25 \\
 &= 2.25 \\
 \text{Bagian 4} &= A \times \text{BJ Beton} \\
 &= (0.5 \times 0.2 \times 0.3) \times 25 \\
 &= 0.75 \\
 \text{Bagian 5} &= A \times \text{BJ Beton} \\
 &= (0.1 \times 0.5) \times 25 \\
 &= 1.25
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 14 Beban Mati Parapet

Beban (kN)	Faktor Beban	Beban Ultimit (kN)	Momen Ultimit (kNm)
5	1.3	6.5	0.8125
0.3	1.3	0.65	0.65
2.25	1.3	2.925	0.438
0.75	1.3	0.975	0.39
1.25	1.3	1.625	0.406
Jumlah		12.675	2.22625

Keterangan :

$$\text{Beban (P)} = A \times BJB_{\text{Beton}}$$

$$\text{Momen} = P \times \text{Jarak ke tumpuan}$$

b Beban hidup

Beban hidup pada struktur parapet diperhitungkan akibat tumbukan kendaraan mobil yakni sebesar 15kN karena parapet mewakili fungsi kerb sebagai struktur penahan dan menjaga agar kendaraan tidak keluar dari jembatan (Ali, 2016)

Faktor beban ulimit untuk beban kendaraan sebesar = 1

$$q_{TC} = 15 \text{ kN (Tabel 2.8)}$$

$$q_u = 15 \times \text{Faktor Beban}$$

$$MTC = 15 \times l \times h$$

$$= 15 \times 1 \times 0.55$$

$$= 8.25 \text{ kNm}$$

Setelah perhitungan pembebanan selesai kemudian dilakukan perhitungan tulangan pada struktur parapet sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{2.225 + 9}{0.8} \\ &= 114.031 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{14.031 \times 10^6}{1000 \times 200^2} \\ &= 0.974 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \end{aligned}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.764$$

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

$$= \frac{1}{19.764} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.764 \times 0.974}{420}} \right)$$

$$= 0.002$$

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

$$A_{s\min} \text{ Tul. Utama} = \rho_{\min} \times b \times d$$

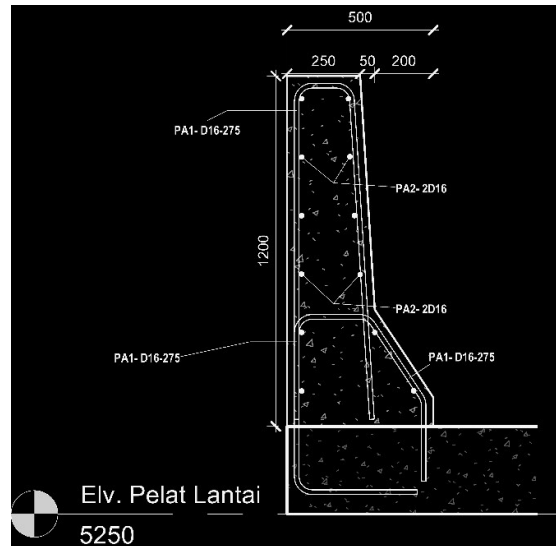
$$= 0.003 \times 200 \times 1000$$

$$= 666.7 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D16-275 (731 mm}^2\text{)}$$

$$A_{s\min} \text{ Tul. Bagi} = 0.5 A_{s\min} \text{ Tul. Utama}$$

$$= 0.5 \times 666.7$$

$$= 333.3 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai 2D16 (402 mm}^2\text{)}$$



Gambar 4. 6 Penulangan Parapet
Sumber: Penulis

4.1.4.2 Plat Lantai

Perhitungan plat lantai dilakukan dengan menghitung beban mati yaitu berat plat lantai sendiri dan beban mati tambahan yang terdiri dari beban aspal dan parapet. Selain beban mati plat lantai juga menahan beban hidup yaitu dari beban lalu lintas dan beban angin. Sebelum melakukan perhitungan terlebih dahulu menentukan parameter perhitungan sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c'25$
- BJbeton = 2500 kg/m³
- Mutu baja = $f_y 420$ MPa
- Koef. Red = 1.3 (SNI 1725-2016)
- Selimut beton = 35 mm
- Lebar total jembatan = 17.85 m
- Tebal plat lantai = 0.3 m
- Panjang bentang = 43 m
- Tebal aspal = 0.05 m
- Jarak antar girder = 1.85 m

Setelah menentukan parameter perhitungan dilanjutkan untuk melakukan perhitungan analisa beban plat lantai jembatan sebagai berikut:

a Beban mati akibat berat sendiri

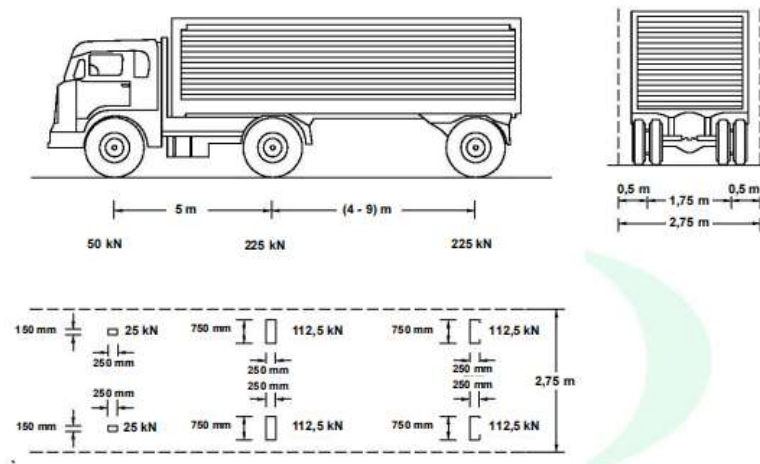
$$\begin{aligned}
 Q &= b \times h \times BJ \\
 &= 1 \times 0.3 \times 25 \\
 &= 7.5 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b Beban mati tambahan

Tabel 4. 15 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

No	JENIS	TEBAL	BERAT	BEBAN
		(m)	(kN/m ³)	kN/m
1.	Lapisan aspal	0.05	22.00	1.10
2.	Air hujan	0.05	9.80	0.49
Beban mati tambahan				1.59

c Beban lalu lintas truk



Gambar 4. 7 Beban Lalu Lintas Truk

Sumber: SNI 1725-2016

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya $T = 125 \text{ kN}$

Faktor beban batas layan ultimit $yU = 1.8$

Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil, $DLA = 0.30$

Beban truk "T"

$$\begin{aligned}
 PTT &= T \times (1 + DLA) \times yU \\
 &= 125 \times (1 + 0.30) \times 1.8 \\
 &= 292.5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d Beban angin

Faktor beban ultimit $E_w = 1.46 \text{ kN/m}$

Beban angin kendaraan diterapkan tegak lurus terhadap arah beban kendaraan dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan. Tekanan angin diterapkan sebagai beban merata sebesar 1,46 kN/m

$$C_w = 1.2$$

$$LT1 = \text{Lebar tangkapan angin gandar depan} = 4 \text{ m}$$

$$LT2 = \text{Lebar tangkapan angin gandar tengah} = 4.5 \text{ m}$$

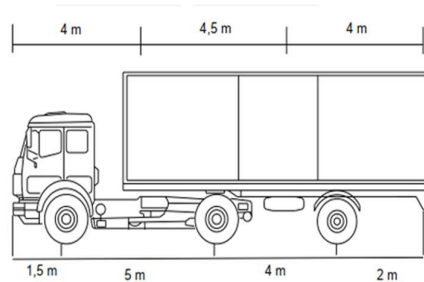
$$LT3 = \text{Lebar tangkapan angin gandar belakang} = 4 \text{ m}$$

$$T_{EW} = E_w \times LT$$

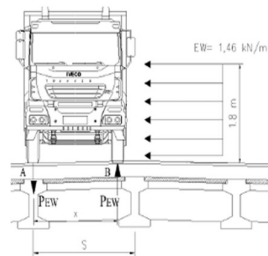
$$T_{EW1} = 5.84$$

$$T_{EW2} = 6.57$$

$$T_{EW3} = 5.84$$



Gambar 4. 8 Pembagian Beban Truk
Sumber: Penulis



Gambar 4. 9 Gaya Angin yang Bekerja pada Kendaraan
Sumber: SNI 1725-2016

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2,00 m diatas lantai jembatan, $h = 1.8 \text{ m}$

Jarak antar roda kendaraan, $x = 1.75 \text{ m}$

Transfer beban angin ke lantai jembatan

$$P_{EW} = \left[\left(\frac{h}{x} \right) T_{EW} \right]$$

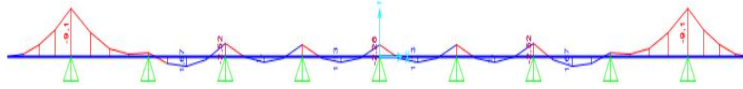
$$P_{EW} = 6.76 \text{ kN}$$

e Beban terpusat barrier

Berasal dari beban parapet = 9.75 kN

Setelah seluruh beban dihitung dilanjutkan melakukan perhitungan momen plat lantai kendaraan menggunakan aplikasi SAP2000 sebagai berikut:

1. Momen beban mati beban sendiri



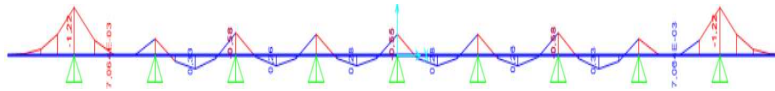
Gambar 4. 10 Momen Beban Mati Sendiri

Sumber: Penulis

$$\text{Momen tumpuan} = 9.100 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 1.670 \text{ kNm}$$

2. Momen beban mati tambahan



Gambar 4. 11 Momen Beban Mati Tambahan

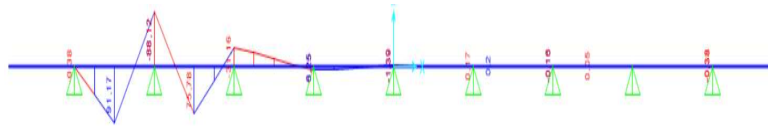
Sumber: Penulis

$$\text{Momen tumpuan} = 1.220 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan} = 0.330 \text{ kNm}$$

3. Momen beban Truk

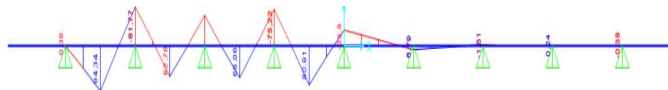
a Beban truk kondisi 1



Gambar 4. 12 Beban Truk Kondisi 1

Sumber: Penulis

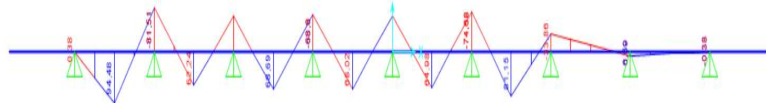
b Beban truk kondisi 2



Gambar 4. 13 Beban Truk Kondisi 2

Sumber: Penulis

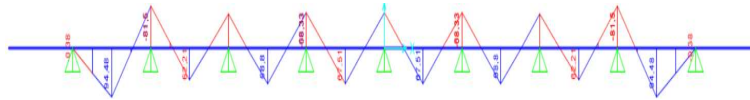
c Beban truk kondisi 3



Gambar 4. 14 Beban Truk Kondisi 3

Sumber: Penulis

d Beban truk kondisi 4



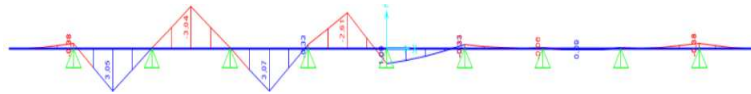
Gambar 4. 15 Beban Truk Kondisi 4

Sumber: Penulis

Momen tumpuan = 88.12 kNm

Momen lapangan = 94.48 kNm

4. Momen beban angin



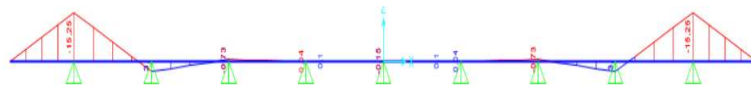
Gambar 4. 16 Momen Beban Angin

Sumber: Penulis

Momen tumpuan = 3.040 kNm

Momen lapangan = 3.050 kNm

5. Momen akibat barrier



Gambar 4. 17 Momen Akibat Beban Barrier

Sumber: Penulis

Momen tumpuan = 15.250 kNm

Momen lapangan = 3.000 kNm

Tabel 4. 16 Jenis Beban yang Diterima Pelat Lantai

No.	Jenis Beban	Faktor Beban	M tumpuan (kNm)	M lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	K_{MS}	9.100	1.670
2	Beban mati tambahan	K_{MA}	16.470	0.330
3	Beban truk "T"	K_{TT}	88.120	94.480
4	Beban angin	K_{EW}	3.040	3.050
5	Beban Terpusat Barrier	K_{br}	15.250	3.000

Setelah dilakukan perhitungan momen selanjutnya dilakukan perhitungan pembebanan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan peraturan SNI 1725:2016 sebagai berikut

1. Kombinasi beban layan I

Tabel 4. 17 Kombinasi Beban Layan I

No	Jenis Beban	Faktor Beban	M _{tumpuan} (kNm)	M _{lapangan} (kNm)	M _{u tumpuan} (kNm)	M _{u lapangan} (kNm)
1	Berat sendiri	1.00	9.100	1.670	9.100	1.670
2	Beban mati tambahan	1.00	16.470	0.330	16.470	0.330
3	Beban truk "T"	1.00	88.120	94.480	88.120	94.480
4	Beban angin	0.30	3.040	3.050	0.912	0.915
5	Beban Barrier	1.00	15.250	3.000	15.250	3.000
Total momen ultimit pelat, M _u =					114.602	97.395

2. Kombinasi beban layan II

Tabel 4. 18 Kombinasi Beban Layan II

No	Jenis Beban			Faktor	M	M	M _u	M _u
				Beban	tumpuan (kNm)	lapangan (kNm)	tumpuan (kNm)	lapangan (kNm)
1	Berat sendiri			1.00	9.100	1.670	9.100	1.670
2	Beban mati tambahan			1.00	16.470	0.330	16.470	0.330
3	Beban truk "T"			0.80	88.120	94.480	70.496	75.584
4	Beban angin			0.00	3.040	3.050	0.000	0.000
5	Beban Barrier			1.00	15.250	3.000	15.250	3.000
Total momen ultimit pelat, M _u =							96.066	77.584

3. Kombinasi beban kuat I

Tabel 4. 19 Kombinasi Beban Kuat I

No.	Jenis Beban	Faktor Beban	M tumpuan (kNm)	M lapangan (kNm)	M _u tumpuan (kNm)	M _u lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	1.30	9.100	1.670	11.830	2.171
2	Beban mati tambahan	2.00	16.470	0.330	32.940	0.660
3	Beban truk "T"	1.80	88.120	94.480	158.616	170.064
4	Beban angin	0.00	3.040	3.050	0.000	0.000
5	Beban Barrier	2.00	15.250	3.000	30.500	6.000
Total momen ultimit pelat, M _u =					203.386	172.895

4. Kombinasi beban kuat II

Tabel 4. 20 Kombinasi Beban Kuat II

No.	Jenis Beban	Faktor Beban	M tumpuan (kNm)	M lapangan (kNm)	M _u tumpuan (kNm)	M _u lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	1.30	9.100	1.670	11.830	2.171
2	Beban mati tambahan	2.00	16.470	0.330	32.940	0.660
3	Beban truk "T"	1.40	88.120	94.480	123.368	132.272
4	Beban angin	0.00	3.040	3.050	0.000	0.000
5	Beban Barrier	2.00	15.250	3.000	30.500	6.000
Total momen ultimit pelat, M _u =					168.138	135.103

Setelah melakukan perhitungan momen dan perhitungan pembebanan pada plat lantai, selanjutnya melakukan perhitungan penulangan untuk plat lantai dengan langkah sebagai berikut:

a. Penulangan lentur negatif (Tumpuan)

Kombinasi Pembebanan yang digunakan adalah Kuat I

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{203.386}{0.8} \\
 &= 254.233 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{254.233 \times 10^6}{1000 \times 265^2}$$

$$= 3.620 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.764$$

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

$$= \frac{1}{19.764} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.764 \times 3.620}{420}} \right)$$

$$= 0.009$$

$\rho_{min} < \rho$, maka dipakai ρ

$$\begin{aligned} A_{smin} \text{ Tul. Utama} &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0.009 \times 265 \times 1000 \\ &= 2552 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D22-150 (2535 mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} \text{ Tul. Bagi} &= 0.5 A_{smin} \text{ Tul. Utama} \\ &= 0.5 \times 2552 \\ &= 1261 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D16 - 150 (1341 mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

b. Penulangan lentur positif (Lapangan)

Kombinasi Pembebanan yang digunakan adalah Kuat I

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{172.89}{0.8} \\ &= 216.119 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{216.119 \times 10^6}{1000 \times 265^2} \\ &= 3.077 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0.025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{1.4}{f_y} \\ &= \frac{1.4}{420} \\ &= 0.003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.764$$

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

$$= \frac{1}{19.764} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.764 \times 3.077}{420}} \right)$$

$$= 0.007$$

$\rho_{\min} < \rho$, maka dipakai ρ

$$A_{s\min} \text{ Tul. Utama} = \rho_{\min} \times b \times d$$

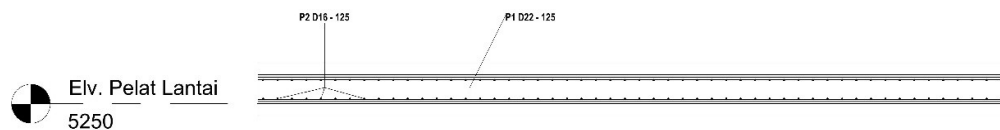
$$= 0.007 \times 265 \times 1000$$

$$= 2108 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D22-150 (2535 mm}^2\text{)}$$

$$A_{s\min} \text{ Tul. Bagi} = 0.5 A_{s\min} \text{ Tul. Utama}$$

$$= 0.5 \times 2108$$

$$= 1054 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D16 - 150 (1341 mm}^2\text{)}$$



Gambar 4. 18 Penulangan Pelat Lantai

4.1.4.3 Diafragma

Perhitungan diafragma dilakukan dengan menghitung berat diafragma itu sendiri dan tidak menahan beban apapun di atasnya. Dalam melakukan perhitungan ini hal yang dilakukan pertama adalah menentukan parameter perhitungannya terlebih dahulu.

- Mutu beton = $f_c' 25$
- Mutu baja = $f_y 420$ MPa
- Selimut beton = 25 mm
- Tebal diafragma = 0.2 m
- b diafragma = 1.650 m
- BJbeton = 2500 kg/m³
- Koef. Red = 1.3 (SNI 1725-2016)
- h diafragma = 1.645 m
- h efektif = 1.595 m
- b efektif = 1.600 m

$$\begin{aligned}
 Q &= 1.3 \times h \times t \times B_J \\
 &= 1.3 \times 1.645 \times 0.2 \times 25 \\
 &= 10.693 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilanjutkan untuk perhitungan tulangan diafragma sebagai berikut:

Penulangan Arah X

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{8} \times Q_{\text{diafragma}} \times \frac{1}{2} L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 10.693 \times 0.825^2 \\
 &= 0.910 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{0.910}{0.8} \\
 &= 1.137 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{1.137 \times 10^6}{200 \times 1000^2} \\
 &= 0.006 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.765$$

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

$$= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 1.137}{420}} \right)$$

$$= 0.00005$$

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

$$\text{Asmin Tul. Utama Arah X} = \rho_{\min} \times t \times b_{\text{ef}}$$

$$= 0.003 \times 200 \times 1600$$

$$= 1067 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D16-175 (1149 mm}^2\text{)}$$

Penulangan Arah Y

$$M_u = \frac{1}{8} \times Q_{\text{diafragma}} \times \frac{1}{2} L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 10.693 \times 0.8225^2$$

$$= 0.904 \text{ kN/m}$$

$$M_{nx} = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{0.904}{0.8}$$

$$= 1.130 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{1.130 \times 10^6}{200 \times 1000^2}$$

$$= 0.006 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.765$$

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

$$= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 1.130}{420}} \right)$$

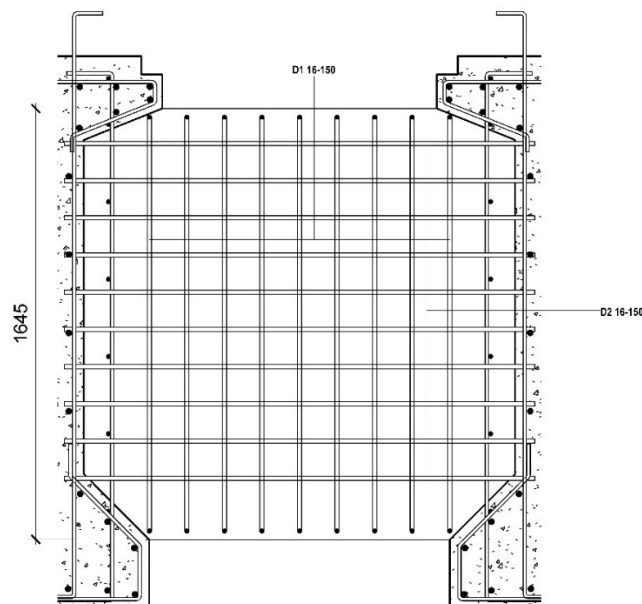
$$= 0.00005$$

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

Asmin Tul. Utama Arah Y = $\rho_{min} \times t \times b_{ef}$

$$= 0.003 \times 200 \times 1595$$

$$= 1063 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D16-175 (1149 mm}^2\text{)}$$



Gambar 4. 19 Penulangan Diafragma

4.1.4.4 Plat Deck

Untuk melakukan perhitungan plat deck, hal yang dilakukan adalah menentukan parameter untuk pembebanan plat deck sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c' 25 \text{ MPa}$
- BJbeton = 2500 kg/m^3
- Mutu baja = $f_y 420 \text{ MPa}$
- Lebar plat deck (L) = 1210 mm
- Selimut beton = 30 mm
- Panjang plat deck (P) = 1000 mm
- Tebal diafragma = 70 mm
- tebal efektif = 40 mm

Perhitungan beban hidup plat deck diasumsikan orang dan beban mati yaitu beban plat lantai dan beban plat deck sendiri, seperti perhitungan yang berada dibawah:

Tabel 4. 21 Beban yang Bekerja pada Pelat Deck

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kg/m ³)	γ	q (kN/m)
Beban Hidup				
Orang			1	1
			qDTOTAL	1
Beban mati				
Plat lantai	0.30	25	1.3	9.75
Air Hujan	0.05	0.99	0.99	0.0490
Plat Deck	0.07	25	1.3	2.275
			qDTOTAL	12.0740

Setelah menghitung beban dilanjutkan perhitungan momen di arah x dan arah y, dengan langkah – langkah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{a } M_u &= \frac{1}{8} q_{\text{tot}} \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 12.074 \times 0.6^2 \\
 &= 0.543 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

b Inersia Diafragma

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 1210 \times 0.07^2
 \end{aligned}$$

$$= 0.0000345 \text{ kN/m}$$

c Modulus Elastisitas Beton

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{25} \\ &= 235000000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

d Lendutan Maksimal

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{maks}} &= \frac{1}{300} b \\ &= \frac{1}{300} \times 1200 \\ &= 0.004 \text{ m} \\ &= 4 \text{ mm} \end{aligned}$$

e Lendutan Ijin

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{M \times L^2}{6 \times E_c \times I} \\ &= \frac{0.543 \times 1.2^2}{6 \times 235000000 \times 0.0000343} \\ &= 0.0000665 \text{ m} \\ &= 0.066 \text{ mm} \end{aligned}$$

$\Delta < \Delta_{\text{maks}}$ OK, plat dek mampu menahan lendutan akibat beban-beban diatasnya.

Setelah dilakukan perhitungan lendutan dilanjutkan perhitungan plat lantai sebagai berikut:

Penulangan Arah X

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{8} \times Q_{\text{tot}} \times \frac{1}{2} L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 12.074 \times 0.6^2 \end{aligned}$$

$$= 0.543 \text{ kN/m}$$

$$M_{nx} = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{0.543}{0.8}$$

$$= 0.679 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{0.679 \times 10^6}{1000 \times 40^2}$$

$$= 0.354 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.765$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 0.351}{420}} \right) \\ &= 0.00008\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\text{Asmin Tul. Utama Arah X} &= \rho_{min} \times t_{ef} \times L \\ &= 0.003 \times 40 \times 1210 \\ &= 161.33 \text{ mm}^2 \text{ Dipakai D10-250 (314 mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

Penulangan Arah Y

$$\begin{aligned}M_u &= \frac{1}{8} \times Q_{tot} \times \frac{1}{2} L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 12.074 \times 0.5^2 \\ &= 0.377 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{nx} &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{0.377}{0.8} \\ &= 0.472 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{0.472 \times 10^6}{1000 \times 40^2} \\ &= 0.295 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.765$$

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

$$= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 0.295}{420}} \right)$$

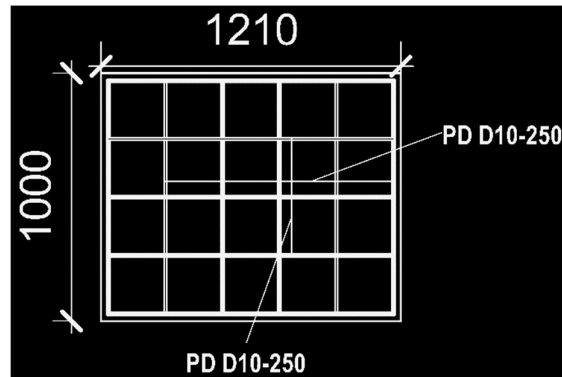
$$= 0.00007$$

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

$$\text{Asmin Tul. Utama Arah Y} = \rho_{\min} \times t_{ef} \times p$$

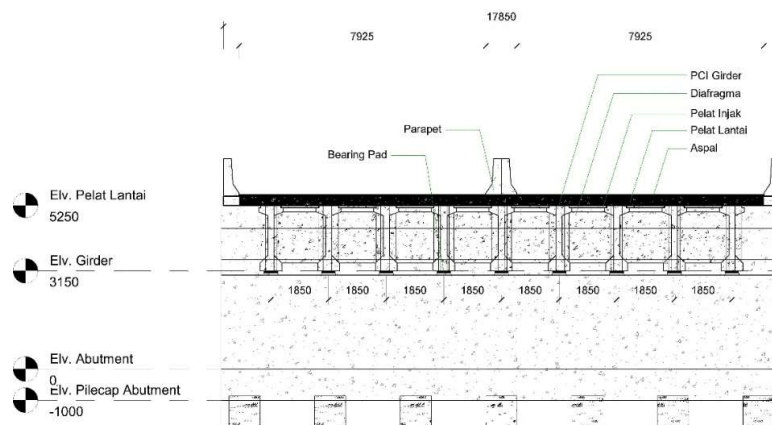
$$= 0.003 \times 40 \times 1000$$

$$= 133.33 \text{ mm}^2 \text{ Dipakai D10-250 (314 mm}^2\text{)}$$



Gambar 4. 20 Penulangan Pelat Deck

4.1.4.5 PCI Girder



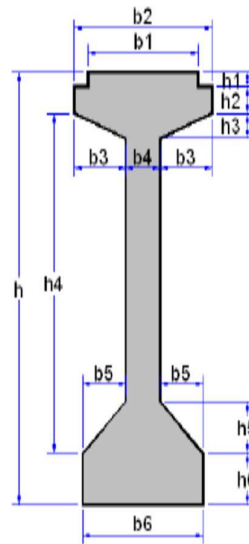
Gambar 4. 21 Potongan Melintang Jembatan

Sebelum melakukan perencana PCI Girder, perencana menetapkan parameter untuk menjadi acuan dalam perhitungan perencanaan sebagai berikut:

- L Jembatan = 17850 mm
- Bentang Jembatan = 43000 mm
- H girder = 2100 mm
- BJ Beton = 25 kN/m³
- Jarak Girder = 1850 mm
- f_c' gelagar stressing = 40 MPa
- E_c gelagar 28 hari = 33234 MPa
- E_c prestressing = 29725.41 MPa
- f_c' gelagar 28 hari = 50 MPa

Parameter tersebut mengacu pada spesifikasi produk PT. Wijaya Karya Beton. Dalam melakukan perhitungan perencanaan gelagar, dilakukan dalam

dua kondisi yaitu kondisi non-komposit dan kondisi komposit, seperti dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 4. 22 Gelagar Non-Komposit

Tabel 4. 22 Dimensi I-Girder

Kode	Lebar (m)	Kode	Lebar (m)
b_1	0.64	h_1	0.07
b_2	0.80	h_2	0.13
b_3	0.30	h_3	0.12
b_4	0.20	h_4	1.645
b_5	0.25	h_5	0.25
b_6	0.70	h_6	0.255
h		2.100	m

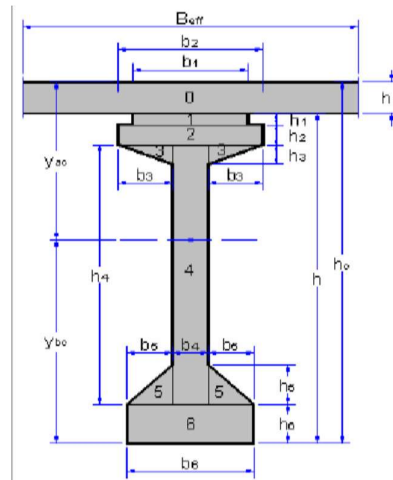
Tabel 4. 23 Propertis I-Girder Non Kompsit

No	Dimensi		Luas Tampang (A) (m ²)	Jarak thd Alas y (m)	Statis Momen A * y (m ³)	Inertia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _o (m ⁴)
	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)					
1	0.64	0.07	0.0448	2.065	0.09251	0.19104	0.00002
2	0.80	0.13	0.1040	1.965	0.20436	0.40157	0.00015
3	0.30	0.12	0.0360	1.860	0.06696	0.12455	0.00003
4	0.20	1.65	0.3290	1.078	0.35450	0.38197	0.07419

No	Dimensi		Luas Tampang (A) (m ²)	Jarak thd Alas y (m)	Statis Momen A * y (m ³)	Inertia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen Io (m ⁴)
	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)					
5	0.25	0.25	0.0625	0.338	0.02115	0.00715	0.00022
6	0.70	0.26	0.1785	0.128	0.02276	0.00290	0.00097
Total			0.7548		0.76223	1.10918	0.07557

- a Luas Penampang balok prategang (A) = 0.7548 m²
- b Letak titik berat dari sisi bawah gelagar (yb) = $\frac{\sum Axy}{\sum A}$
= $\frac{0,762}{0,754}$
= 1.010 m
- c Jarak titik berat dari sisi atas gelagar (ya) = h – yb
= 2,1 – 1,010
= 1,090 m
- d Modulus penampang gelagar sisi atas (Sa) = $\frac{Ix}{Ya}$
= 0,3806 m³
- e Modulus penampang gelagar sisi bawah (Sb) = $\frac{Ix}{Yb}$
= 0,4109 m³
- f Momen inersia terhadap alas balok (Ib) = 1.18475 m⁴
- g Momen inersia terhadap titik berat balok(Ix) = 0.41500 m⁴

Setelah perhitungan balok non-komposit dilanjutkan melakukan perhitungan kondisi gelagar prategang komposit atau kondisi ketika plat deck dan plat lantai sudah sesuai dengan kuat rencana. Perhitungan balok prategang komposit seperti dibawah ini:



Gambar 4. 23 Gelagar Komposit
Sumber: Penulis

Tabel 4. 24 Propertis I-Girder Komposit

No	Dimensi		Luas	Jarak	Statis	Inertia	Inersia
	Lebar	Tinggi	Tampang	thd	Alas	Momen	Momen
	(b)	(h)	(A _c)	y	A _c * y	A _c * y ²	I _{co}
	(m)	(m)	(m ²)	(m)	(m ³)	(m ⁴)	(m ⁴)
0	1.31	0.30	0.3917	2.250	0.88123	1.98277	0.00294
1	0.64	0.07	0.0448	2.065	0.09251	0.19104	0.00002
2	0.80	0.13	0.1040	1.965	0.20436	0.40157	0.00015
3	0.30	0.12	0.0360	1.860	0.06696	0.12455	0.00003
4	0.20	1.65	0.3290	1.078	0.35450	0.38197	0.07419
5	0.25	0.25	0.0625	0.338	0.02115	0.00715	0.00022
6	0.70	0.26	0.1785	0.128	0.02276	0.00290	0.00097
Total			1.1465		1.64347	3.09195	0.07851

- a Tinggi gelagar komposit (h_{cg}) = h_{gelagar} + h_{plat}
= 2,1 + 0,3
= 2,4 m
- b Lebar plat efektif balok komposit (B_e) = Jarak antar gelagar
= 1,85 m

- c Luas Penampang balok prategang (A) = 1.1465 m²
- d Letak titik berat dari sisi bawah gelagar (ybc) = $\frac{\sum Axy}{\sum A}$
 $= \frac{1.643}{1.1465}$
 $= 1.434 \text{ m}$
- e Jarak titik berat dari sisi atas gelagar (yac) = $h_{\text{GELAGAR}} - ybc$
 $= 1.310 \text{ m}$
 $= 2,1 - 1.434$
 $= 0.966 \text{ m}$
- f Lebar plat ekivalen balok komposit (B_{eff}) = 1.310 m
- g Momen inersia terhadap alas balok (I_{bc}) = 3.17045 m⁴
- h Momen inersia terhadap titik berat balok komposit(I_{xc})= 0.8145 m⁴
- i Tahanan momen sisi atas pelat (W_{ac}) $W_{ac} = I_{xc} / y_{ac} = 0.84277 \text{ m}^3$
- j Tahanan momen sisi atas balok(W'_{ac}) $W'_{ac} = I_{xc} / (y_{ac} - h_0) = 1.22212 \text{ m}^3$
- k Tahanan momen sisi bawah balok (W_{bc}) = 0.56820 m³

Setelah melakukan perhitungan komponen gelagar, selanjutnya dilakukan perhitungan pembebanan yang ditumpu gelagar. Beban tersebut terdiri dari beban hidup dan beban mati, seperti dijelaskan sebagai berikut:

g. Berat sendiri (MS)

1. Berat balok prategang

$$\begin{aligned} \text{Panjang balok prategang} &= 43.00 \text{ m} \\ \text{Luas penampang (A)} &= 0.755 \text{ m}^2 \\ \text{Berat balok prategang (W)} &= A \times L \times W \\ &= 0.755 \times 43 \times 25 \\ &= 811.4 \text{ kN} \\ Q \text{ balok} &= W / L \\ &= 811.4 / 43 \\ &= 18.870 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Tabel 4. 25 Beban Sendiri (MS)

No.	Jenis beban	Lebar	Tebal	Luas	Berat satuan	Beban	Geser	Momen
		b	h	A	W	Q_{MS}	V_{MS}	M_{MS}
		(m)	(m)	(m ²)	(kN/m ³)	(kN/m)	(kN)	(kNm)
1	Balok prategang					18.870	405.705	4361.329
2	Pelat lantai	1.85	0.30	0.555	25.00	13.875	298.313	3206.859
3	Deck slab	1.21	0.07	0.085	25.00	2.118	45.526	489.407
4	Diafragma					4.388	94.341	1014.163
Total						39.250	843.885	9071.758

Rumus perhitungan gaya geser dan momen pada berat sendiri (MS)

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L \text{ (kN)}$$

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2 \text{ (kNm)}$$

h. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan adalah beban yang ditumpu suatu struktur dalam hal ini girder yang merupakan beban elemen non struktural dan besarnya mungkin dapat berubah selama masa umur jembatan. Perhitungan beban mati girder sebagai berikut:

Tabel 4. 26 Beban Mati Tambahan (MA)

No.	Jenis beban	Lebar	Tebal	Luas	Berat satuan	Beban	Geser	Momen
		b	h	A	W	Q_{MA}	V_{MA}	M_{MA}
		(m)	(m)	(m ²)	(kN/m ³)	(kN/m)	(kN)	(kNm)
1	Aspal + overlay	1.85	0.05	0.0925	22.000	2.035	43.753	470.339
2	Air hujan	1.85	0.05	0.0925	9.800	0.907	19.490	209.515
Total						2.942	63.242	679.854

Rumus perhitungan gaya geser dan momen pada berat sendiri (MS)

$$V_{MA} = \frac{1}{2} \times Q_{MA} \times L \text{ (kN)}$$

$$M_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{MA} \times L^2 \text{ (kNm)}$$

i. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur terdiri dari beban lajur terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Perhitungan beban lajur sebagai berikut:

4. Beban terbagi rata (BTR)

$$(3) q = 8.0 \text{ kPa untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$(4) q = 8.0 \times \left(0.5 + \frac{15}{L} \right) \text{ untuk } L > 30 \text{ m}$$

perhitungan beban terbagi rata pada perencanaan ini menggunakan rumus 2 dikarenakan panjang dari jembatan lebih dari 30 m.

$$q = 8.0 \times \left(0.5 + \frac{15}{L} \right) \\ = 6.79 \text{ kPa}$$

$$QTD = q \times \text{jarak antar girder} \\ = 12.56 \text{ kN/m}$$

5. Beban garis terpusat (BGT)

Menurut SNI 1725 : 2016 beban garis terpusat sebesar $p = 49 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis untuk beban garis terpusat sebagai berikut:

Tabel 4. 27 Beban Garis Terpusat (BGT)

DLA = 0,4	untuk $L \leq 50 \text{ m}$
DLA = $0,4 - 0,0025 \cdot (L - 50)$	untuk $50 < L < 90 \text{ m}$
DLA = 0,3	untuk $L \geq 50 \text{ m}$

Sumber: SNI 1725 - 2016

Perhitungan factor beban dinamis (DLA)

$$DLA = 0.40$$

$$PTD = (1 + DLA) \times p \times s \\ = 126.91 \text{ kN}$$

6. Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur (TD):

$$V_{TD} = 1/2 \times Q_{TD} \times L + 1/2 \times P_{TD} = 333.56 \text{ kN}$$

$$M_{TD} = 1/8 \times Q_{TD} \times L^2 + 1/4 \times P_{TD} \times L = 4267.86 \text{ kNm}$$

j. Beban akibat gaya rem (TB)

Beban gaya rem dihitung sebagai gaya dalam arah horizontal yang bekerja pada jarak 1.8 meter diatas permukaan jembatan berikut merupakan perhitungan besar gaya rem:

Tabel 4. 28 Beban Akibat Gaya Rem (TB)

Gaya rem, $H_{TB} =$	250 kN	untuk $L_t < 80 \text{ m}$
Gaya rem, $H_{TB} =$	$250 + 2,5 \cdot (L_t - 80) \text{ kN}$	untuk $80 < L_t < 180 \text{ m}$

Gaya rem, H_{TB} =	500 kN	untuk $L_t > 180$ m
----------------------	--------	---------------------

Sumber: SNI 1725 - 2016

Karena jembatan memiliki bentang kurang dari 80 m untuk besarnya gaya rem adalah 250 kN

1. Gaya rem untuk $L < 80$ m

$$T_{TB} = H_{TB} / n_{\text{balok}} = 27.78$$

2. Gaya rem, $T_{TB} = 5\%$ beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis

$$P_{TD} = p \times \text{jarak antar girder} = 90.65 \text{ kN}$$

$$T_{TB} = 0,05 * (Q_{TB} * L + P_{TB}) = 31.54 \text{ kN}$$

Diambil nilai terbesar yaitu 31.54 kN

3. Beban momen akibat gaya rem

$$\begin{aligned} y &= 1.80 + h_0 + h_a + y_{ac} \\ &= 3.12 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Gaya geser dan momen maksimum akibat gaya rem

$$M = T_{TB} \times y = 98.30 \text{ kNm}$$

$$V_{TB} = M / L = 2.29 \text{ kN}$$

$$M_{TB} = 1/2 * M = 49.15 \text{ KNm}$$

k. Beban Angin (EW)

Beban angin adalah beban garis merata arah horizontal pada permukaan lantai kendaraan akibat angin yang meniup. Perhitungan beban angin sebagai berikut:

$$T_{EW} = 0,0012 * C_w * (V_w)^2$$

Tabel 4. 29 Beban Angin

C_w = koefisien seret	= 1.20
V_w = kecepatan angin rencana	= 35 m/dt
$T_{EW} = 0,0012 * C_w * (V_w)^2 =$	= 1.76 kN/m

Sumber: SNI 1725 – 2016

Bidang vertikal memiliki tinggi 2m diatas lantai jembatan $h = 2$ m

$$\text{Jarak antar roda kendaraan} = 1.75 \text{ m}$$

$$\text{Transfer beban angin ke lantai jembatan } Q_{ew} = 1.006 \text{ kN/m}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin

$$V_{EW} = 1/2 * Q_{EW} * L = 21.623 \text{ kN}$$

$$M_{EW} = 1/8 * Q_{EW} * L^2 = 232.45 \text{ kNm}$$

1. Beban gempa

Beban gempa adalah beban dengan gaya vertikal pada balok prategang dengan perhitungan sebagai berikut:

Berat total yang bekerja berupa berat sendiri dan berat mati tambahan

$$\text{Berat sendiri} = 39.25 \text{ kNm}$$

$$\text{Beban mati tambahan} = 2.942 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Total berat} &= (\text{Beban sendiri} + \text{beban tambahan}) \times L \\ &= (39.925 + 2.942) \times 43 \\ &= 1814.25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Momen inersia balok prategang} = 0.815 \text{ m}^4$$

$$\text{Modulus elastisitas} = 33234 \text{ MPa}$$

$$\text{Kekakuan balok prategang} = 16343 \text{ kN/m}$$

Waktu getar

$$\begin{aligned} T &= 2 * \pi * \sqrt{W_t / (g * K_p)} \\ &= 2 * 3.14 * \sqrt{1814.25 / (9.81 * 16343)}^{1/2} \\ &= 0.6685 \text{ detik} \end{aligned}$$

Nilai C untuk daerah kabupaten majalengka adalah 0.125

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis beton prategang penuh dengan $F = 1.25 - 0.0225 \times n$

Untuk $n = 1$

$$F = 1.25 - 0.025 * n = 1.225$$

$$\text{Faktor tipe untuk struktur } S = 1.3 \times F = 1.5925$$

$$\text{Koefisien beban gempa horizontal } K_h = C \times S = 0.1991$$

$$\text{Koefisien beban gempa vertikal } K_v = 50\% \times K_h = 0.0995 < 0.10$$

Maka diambil $K_v = 0.10$

e Gaya gempa vertikal

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= K_v * W_t \\ &= 0.10 \times 1814.25 \\ &= 181.4254 \text{ kN} \end{aligned}$$

f Beban gempa vertikal

$$\begin{aligned} Q_{EQ} &= T_{EQ} / L \\ &= 181.4254 / 43 \\ &= 4.219 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

g Gaya geser

$$\begin{aligned} V_{EQ} &= 1/2 * Q_{EQ} * L \\ &= 1/2 * 4.219 * 43 \\ &= 90.713 \text{ kN} \end{aligned}$$

h Momen maksimum

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= 1/8 * Q_{EQ} * L^2 \\ &= 1/8 * 4.219 * 43^2 \\ &= 975.16 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Resume momen dan gaya geser pada balok prategang

Tabel 4. 30 Resume Momen dan Gaya Geser pada Balok Prategang

No	Jenis beban	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat balok prategang	balok	18.870	-	-	Beban merata Q_{balok}
2	Berat pelat	pelat	13.875	-	-	Beban merata Q_{pelat}
3	Berat sendiri	MS	39.250	-	-	Beban merata Q_{MS}
4	Beban mati tambahan	MA	2.942	-	-	Beban merata Q_{MA}
5	Lajur "D"	TD	12.56	126.9	-	Beban Q_{TD} dan P_{TD}
6	Gaya rem	TB	-	-	98.30	Beban merata Q_{TB}
7	Angin	EW	1.006	-	-	Beban merata Q_{EW}
8	Gempa	EQ	4.219	-	-	Beban merata Q_{EQ}

d Momen maksimum akibat berat balok:

$$\begin{aligned} M_{balok} &= 1/8 * Q_{balok} * L^2 \\ &= 1/8 * 18.870 * 43^2 \\ &= 4361.33 \text{ kNm} \end{aligned}$$

e Momen maksimum akibat berat plat :

$$\begin{aligned} M_{pelat} &= 1/8 * Q_{pelat} * L^2 \\ &= 1/8 * 13.875 * 43^2 \\ &= 3206.86 \text{ kNm} \end{aligned}$$

f Momen pada balok prategang

Tabel 4. 31 Momen pada Balok Prategang

Jarak	Momen pada balok prategang akibat beban						
	Berat	Brst Sendiri	Mati tambh	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
x	Balok	MS	MA	TD	TB	EW	EQ
(m)	(kN/m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	396.27	824.26	61.77	327.27	2.29	21.12	88.60
2.0	773.67	1609.27	120.60	641.98	4.57	41.23	172.99
3.0	1132.20	2355.03	176.49	944.13	6.86	60.34	253.15
4.0	1471.86	3061.53	229.44	1233.72	9.14	78.45	329.10
5.0	1792.65	3728.79	279.44	1510.74	11.43	95.54	400.82
6.0	2094.57	4356.80	326.51	1775.20	13.72	111.63	468.33
7.0	2377.62	4945.56	370.63	2027.10	16.00	126.72	531.62
8.0	2641.80	5495.06	411.81	2266.43	18.29	140.80	590.69
9.0	2887.11	6005.32	450.05	2493.20	20.57	153.87	645.54
10.0	3113.55	6476.32	485.35	2707.41	22.86	165.94	696.17
11.0	3321.12	6908.08	517.70	2909.06	25.15	177.01	742.58
12.0	3509.82	7300.58	547.12	3098.14	27.43	187.06	784.77
13.0	3679.65	7653.84	573.59	3274.66	29.72	196.11	822.74
14.0	3830.61	7967.84	597.12	3438.62	32.01	204.16	856.50
15.0	3962.70	8242.59	617.72	3590.01	34.29	211.20	886.03
16.0	4075.92	8478.10	635.36	3728.84	36.58	217.23	911.35
17.0	4170.27	8674.35	650.07	3855.11	38.86	222.26	932.44
18.0	4245.75	8831.35	661.84	3968.82	41.15	226.29	949.32
19.0	4302.36	8949.10	670.66	4069.96	43.44	229.30	961.98
20.0	4340.10	9027.60	676.55	4158.54	45.72	231.31	970.41
21.0	4358.97	9066.85	679.49	4234.56	48.01	232.32	974.63
21.5	4361.33	9071.76	679.85	4267.86	49.15	232.45	975.16
22.0	4358.97	9066.85	679.49	4298.01	50.29	232.32	974.63
23.0	4340.10	9027.60	676.55	4348.91	52.58	231.31	970.41
24.0	4302.36	8949.10	670.66	4387.24	54.87	229.30	961.98
25.0	4245.75	8831.35	661.84	4413.00	57.15	226.29	949.32
26.0	4170.27	8674.35	650.07	4426.21	59.44	222.26	932.44
27.0	4075.92	8478.10	635.36	4426.85	61.72	217.23	911.35
28.0	3962.70	8242.59	617.72	4414.93	64.01	211.20	886.03
29.0	3830.61	7967.84	597.12	4390.44	66.30	204.16	856.50
30.0	3679.65	7653.84	573.59	4353.39	68.58	196.11	822.74
31.0	3509.82	7300.58	547.12	4303.78	70.87	187.06	784.77
32.0	3321.12	6908.08	517.70	4241.61	73.15	177.01	742.58
33.0	3113.55	6476.32	485.35	4166.88	75.44	165.94	696.17

34.0	2887.11	6005.32	450.05	4079.58	77.73	153.87	645.54
35.0	2641.80	5495.06	411.81	3979.72	80.01	140.80	590.69
36.0	2377.62	4945.56	370.63	3867.29	82.30	126.72	531.62
37.0	2094.57	4356.80	326.51	3742.30	84.59	111.63	468.33
38.0	1792.65	3728.79	279.44	3604.76	86.87	95.54	400.82
39.0	1471.86	3061.53	229.44	3454.64	89.16	78.45	329.10
40.0	1132.20	2355.03	176.49	3291.97	91.44	60.34	253.15
41.0	773.67	1609.27	120.60	3116.73	93.73	41.23	172.99
42.0	396.27	824.26	61.77	2928.93	96.02	21.12	88.60
43.0	0.00	0.00	0.00	2728.57	98.30	0.00	0.00

g Kombinasi momen pada balok prategang

Tabel 4. 32 Kombinasi Momen pada Balok Prategang

Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
x	MS*1,3 + MA*2 + TD*1,8 +TB*1,8	MS*1 + MA*1 + TD*1 + TB*1 + EW*0,3	MS*1 + MA*1 + TD*0,8 + TB*0,8	MS*1,3 + MA*2 + TD*1 + TB*1 + EQ*1
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1.0	1788.29	1221.93	1149.68	1613.24
2.0	3497.05	2388.80	2247.11	3152.80
3.0	5126.30	3500.61	3292.31	4618.66
4.0	6676.02	4557.37	4285.26	6010.83
5.0	8146.22	5559.07	5225.97	7329.31
6.0	9536.90	6505.71	6114.44	8574.10
7.0	10848.06	7397.30	6950.66	9745.20
8.0	12079.70	8233.83	7734.65	10842.61
9.0	13231.81	9015.31	8466.39	11866.33
10.0	14304.40	9741.72	9145.89	12816.35
11.0	15297.47	10413.09	9773.14	13692.69
12.0	16211.02	11029.39	10348.16	14495.34
13.0	17045.05	11590.64	10870.93	15224.29
14.0	17799.56	12096.83	11341.46	15879.56
15.0	18474.54	12547.97	11759.75	16461.13
16.0	19070.01	12944.05	12125.80	16969.02
17.0	19585.95	13285.07	12439.60	17403.21
18.0	20022.37	13571.04	12701.16	17763.72
19.0	20379.27	13801.95	12910.48	18050.53
20.0	20656.65	13977.80	13067.56	18263.65
21.0	20854.50	14098.60	13172.39	18403.08
21.5	20923.61	14138.35	13205.22	18445.16
22.0	20972.84	14164.34	13224.99	18468.82

23.0	21011.65	14175.03	13225.34	18460.87
24.0	20970.94	14130.66	13173.44	18379.23
25.0	20850.71	14031.23	13069.31	18223.90
26.0	20650.96	13876.74	12912.94	17994.88
27.0	20371.68	13667.20	12704.32	17692.17
28.0	20012.89	13402.60	12443.46	17315.77
29.0	19574.57	13082.95	12130.35	16865.68
30.0	19056.73	12708.24	11765.01	16341.89
31.0	18459.37	12278.47	11347.42	15744.42
32.0	17782.49	11793.65	10877.59	15073.25
33.0	17026.08	11253.77	10355.52	14328.40
34.0	16190.16	10658.83	9781.21	13509.85
35.0	15274.71	10008.84	9154.65	12617.62
36.0	14279.74	9303.79	8475.86	11651.69
37.0	13205.25	8543.69	7744.82	10612.07
38.0	12051.24	7728.52	6961.54	9498.76
39.0	10817.71	6858.31	6126.01	8311.77
40.0	9504.65	5933.03	5238.25	7051.08
41.0	8112.08	4952.70	4298.24	5716.70
42.0	6639.98	3917.31	3305.99	4308.63
43.0	5088.36	2826.87	2261.49	2826.87

Tabel 4. 33 Hasil Kombinasi Terbesar Momen pada Balok Prategang

Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
23.0	21011.65	14175.03	13225.34	18460.87

Kombinasi momen maksimal I-Girder desain pada Proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah kondisi Kombinasi Kuat 1 pada Jarak 23 meter sebesar 21011,65 kNm.

h Gaya geser pada balok prategang

Tabel 4. 34 Gaya Geser pada Balok Prategang

Jarak	Momen pada balok prategang akibat beban						
	Berat	Brk Sendiri	Mati tambh	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
x	Balok	MS	MA	TD	TB	EW	EQ
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0.0	405.71	843.88	63.24	333.56	2.29	21.62	90.71
1.0	386.84	804.63	60.30	320.99	2.29	20.62	86.49
2.0	367.97	765.38	57.36	308.43	2.29	19.61	82.27
3.0	349.10	726.13	54.42	295.87	2.29	18.61	78.06

4.0	330.23	686.88	51.48	283.30	2.29	17.60	73.84
5.0	311.36	647.63	48.53	270.74	2.29	16.59	69.62
6.0	292.49	608.38	45.59	258.18	2.29	15.59	65.40
7.0	273.62	569.13	42.65	245.62	2.29	14.58	61.18
8.0	254.75	529.88	39.71	233.05	2.29	13.58	56.96
9.0	235.88	490.63	36.77	220.49	2.29	12.57	52.74
10.0	217.01	451.38	33.83	207.93	2.29	11.57	48.52
11.0	198.14	412.13	30.89	195.36	2.29	10.56	44.30
12.0	179.27	372.88	27.94	182.80	2.29	9.55	40.08
13.0	160.40	333.63	25.00	170.24	2.29	8.55	35.86
14.0	141.53	294.38	22.06	157.68	2.29	7.54	31.64
15.0	122.66	255.13	19.12	145.11	2.29	6.54	27.42
16.0	103.79	215.88	16.18	132.55	2.29	5.53	23.21
17.0	84.92	176.63	13.24	119.99	2.29	4.53	18.99
18.0	66.05	137.38	10.30	107.42	2.29	3.52	14.77
19.0	47.18	98.13	7.35	94.86	2.29	2.51	10.55
20.0	28.31	58.88	4.41	82.30	2.29	1.51	6.33
21.0	9.44	19.63	1.47	69.74	2.29	0.50	2.11
21.5	0.00	0.00	0.00	63.46	2.29	0.00	0.00
22.0	-9.44	-19.63	-1.47	57.17	2.29	-0.50	-2.11
23.0	-28.31	-58.88	-4.41	44.61	2.29	-1.51	-6.33
24.0	-47.18	-98.13	-7.35	32.05	2.29	-2.51	-10.55
25.0	-66.05	-137.38	-10.30	19.49	2.29	-3.52	-14.77
26.0	-84.92	-176.63	-13.24	6.92	2.29	-4.53	-18.99
27.0	-103.79	-215.88	-16.18	-5.64	2.29	-5.53	-23.21
28.0	-122.66	-255.13	-19.12	-18.20	2.29	-6.54	-27.42
29.0	-141.53	-294.38	-22.06	-30.77	2.29	-7.54	-31.64
30.0	-160.40	-333.63	-25.00	-43.33	2.29	-8.55	-35.86
31.0	-179.27	-372.88	-27.94	-55.89	2.29	-9.55	-40.08
32.0	-198.14	-412.13	-30.89	-68.45	2.29	-10.56	-44.30
33.0	-217.01	-451.38	-33.83	-81.02	2.29	-11.57	-48.52
34.0	-235.88	-490.63	-36.77	-93.58	2.29	-12.57	-52.74
35.0	-254.75	-529.88	-39.71	-106.14	2.29	-13.58	-56.96
36.0	-273.62	-569.13	-42.65	-118.71	2.29	-14.58	-61.18
37.0	-292.49	-608.38	-45.59	-131.27	2.29	-15.59	-65.40
38.0	-311.36	-647.63	-48.53	-143.83	2.29	-16.59	-69.62
39.0	-330.23	-686.88	-51.48	-156.39	2.29	-17.60	-73.84
40.0	-349.10	-726.13	-54.42	-168.96	2.29	-18.61	-78.06
41.0	-367.97	-765.38	-57.36	-181.52	2.29	-19.61	-82.27
42.0	-386.84	-804.63	-60.30	-194.08	2.29	-20.62	-86.49
43.0	-405.71	-843.88	-63.24	-206.65	2.29	-21.62	-90.71

i Kombinasi gaya geser pada balok prategang

Tabel 4. 35 Kombinasi Gaya Geser pada Balok Prategang

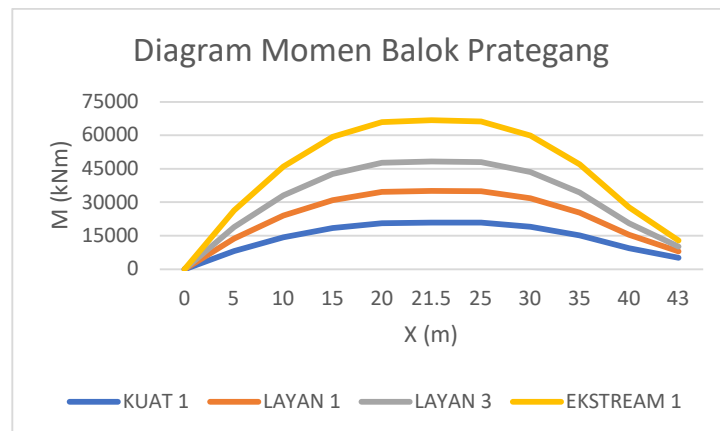
Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
x	$MS*1,3 + MA*2 + TD*1,8 + TB*1,8$	$MS*1 + MA*1 + TD*1 + TB*1 + EW*0,3$	$MS*1 + MA*1 + TD*0,8 + TB*0,8$	$MS*1,3 + MA*2 + TD*1 + TB*1 + EQ*1$
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	1828.05	1249.45	1175.80	1650.09
1.0	1748.53	1194.40	1123.56	1576.40
2.0	1669.01	1139.34	1071.32	1502.71
3.0	1589.48	1084.29	1019.07	1429.02
4.0	1509.96	1029.23	966.83	1355.33
5.0	1430.44	974.17	914.59	1281.64
6.0	1350.92	919.12	862.35	1207.94
7.0	1271.40	864.06	810.10	1134.25
8.0	1191.88	809.00	757.86	1060.56
9.0	1112.35	753.95	705.62	986.87
10.0	1032.83	698.89	653.38	913.18
11.0	953.31	643.83	601.14	839.49
12.0	873.79	588.78	548.89	765.80
13.0	794.27	533.72	496.65	692.11
14.0	714.75	478.66	444.41	618.42
15.0	635.22	423.61	392.17	544.73
16.0	555.70	368.55	339.92	471.04
17.0	476.18	313.50	287.68	397.35
18.0	396.66	258.44	235.44	323.66
19.0	317.14	203.38	183.20	249.97
20.0	237.62	148.33	130.96	176.28
21.0	158.09	93.27	78.71	102.59
21.5	118.33	65.74	52.59	65.74
22.0	78.57	38.21	26.47	28.90
23.0	-0.95	-16.84	-25.77	-44.79
24.0	-80.47	-71.90	-78.01	-118.49
25.0	-159.99	-126.96	-130.25	-192.18
26.0	-239.51	-182.01	-182.50	-265.87
27.0	-319.03	-237.07	-234.74	-339.56
28.0	-398.56	-292.13	-286.98	-413.25
29.0	-478.08	-347.18	-339.22	-486.94
30.0	-557.60	-402.24	-391.47	-560.63
31.0	-637.12	-457.30	-443.71	-634.32
32.0	-716.64	-512.35	-495.95	-708.01
33.0	-796.16	-567.41	-548.19	-781.70
34.0	-875.69	-622.46	-600.43	-855.39

35.0	-955.21	-677.52	-652.68	-929.08
36.0	-1034.73	-732.58	-704.92	-1002.77
37.0	-1114.25	-787.63	-757.16	-1076.46
38.0	-1193.77	-842.69	-809.40	-1150.15
39.0	-1273.29	-897.75	-861.65	-1223.84
40.0	-1352.82	-952.80	-913.89	-1297.53
41.0	-1432.34	-1007.86	-966.13	-1371.22
42.0	-1511.86	-1062.92	-1018.37	-1444.92
43.0	-1591.38	-1117.97	-1070.61	-1518.61

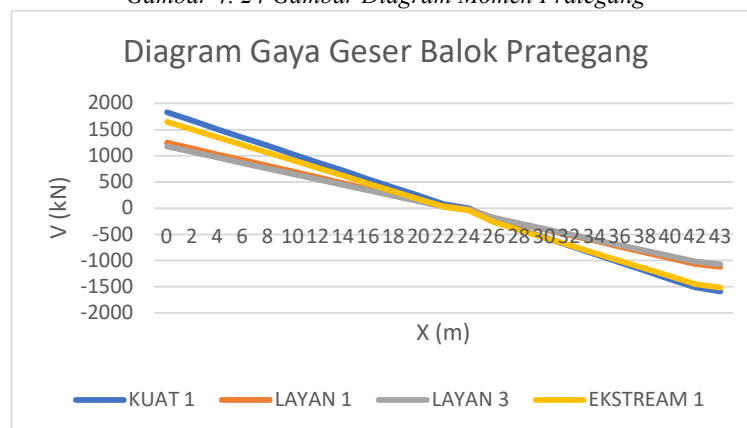
Tabel 4. 36 Hasil Kombinasi Terbesar Gaya Geser pada Balok Prategang

Jarak	Komb Kuat 1	Komb. Layan 1	Komb. Layan 3	Komb. Ekstrem 1
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0.0	1828.05	1249.45	1175.80	1650.09

Kombinasi Gaya Geser maksimal I-Girder eksisting pada Proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah kondisi Kombinasi Kuat 1 pada Jarak 0 meter sebesar 1828,05 kN.



Gambar 4. 24 Gambar Diagram Momen Prategang



Gambar 4. 25 Gambar Diagram Gaya Geser Balok Prategang

Setelah menghitung momen dan gaya geser pada balok prategang, selanjutnya dilanjutkan perhitungan jumlah tendon sebagai berikut:

Tabel 4. 37 Data Strands Cable Standar VSL

Data strands cable - Standart VSL			
Jenis strands	Uncoate 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270		
Tegangan leleh strand	$f_{py} =$	1676	MPa
Kuat tarik strand	$f_{pu} =$	1860	MPa
Diameter nominal strand		15.24	mm (=0,6 ")
Luas tampang nominal satu strand	$A_{st} =$	146.0	mm ²
Beban putus minimal satu strand	$P_{bs} =$	260.7	kN
Jumlah kawat untai (strands cable)		22	kawat untai / tendon
Diameter selubung ideal		110	mm
Luas tampang strands		9498.5	mm ²
Beban putus satu tendon	$P_{b1} =$	4953	kN
Modulus elastis strands	$E_s =$	193000	MPa
Tipe dongkrak		VSL-19	

a Perkiraan gaya prategang dan luas tendon

Jumlah strand prategang yang diperlukan biasanya ditentukan berdasarkan tegangan tarik pada serat bawah gelagar akibat kombinasi pembebanan Kuat 1 dimana besarnya tegangan tarik pada sisi bawah tersebut akibat kombinasi beban Kuat 1 adalah:

$$f_{bserv} = \frac{(M_{MS_G} + M_{MS_S} + M_{MS_D}) \cdot y_b}{I} + \frac{(M_{h_TD} + M_{h_TB} + M_{h_ew} \cdot M_{Eq}) \cdot y_{bcg}}{I_{cg}}$$

$$f_{bserv} = \frac{(4361,33 + 9071,76 + 679,85) \cdot 1,010}{0.415}$$

$$+ \frac{(4267,8 + 49,15 + 232,45 + 975,16) \cdot 1,434}{0,814}$$

$$F_{bserv} = 37.072 + 9.72$$

$$= 46.8 \text{ MPa}$$

Batasan tegangan yang terjadi pada saat beban layan , yaitu:

Tegangan izin saat kondisi beban layan

$$F_{tallow\text{servis}} = 3.536 \text{ MPa}$$

Dengan demikian, besar tegangan pratekan yang dibutuhkan, f_{pb} , pada bagian bawah

$$\begin{aligned} f_{pb} &= f_{b\text{serv}} - f_{tallow\text{servis}} \\ &= 46.8 - 3.536 \\ &= 43.260 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Lokasi pusat gaya prategang diasumsikan sekitar 5-15 persen dari tinggi gelagar yang diukur:

Jarak pusat penampang prategang ke sisi terbawah gelagar

$$y_{bs} = 10\% \times h_g = 0.21 \text{ m}$$

$$e_c = y_b - y_{bs} = 0.8 \text{ m}$$

Tegangan pada dasar gelagar akibat gaya prategang efektif, P_e , bisa ditentukan dengan persamaan berikut:

$$P_e = \frac{f_{pb} \cdot A_g \cdot S_b}{S_b + e_c \cdot A_g}$$

Keterangan:

$$P_e = 13224.647 \text{ kN}$$

$$\text{Losses} = 22 \%$$

Catatan: *losses* adalah kehilangan gaya prategang Diasumsikan kehilangan prategang sebesar 22% dan tegangan prategang awal adalah 0.75 f_{pu} sehingga prategang efektif adalah 53%.

Untuk perhitungan awal nilai f_{pi} yang digunakan sama dengan nilai f_{pbt} , namun setelah jumlah strand diketahui digunakan nilai f_{pi} sebenarnya

Gaya prategang akhir di tiap strand

$$\begin{aligned} P_{e_strand} &= A_{strand} \cdot f_{pbt} \cdot (1 - \text{losses}) \\ &= 158.83 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jumlah strand yang diperlukan adalah

$$P_e / P_{e_strand} = 13224.647 / 158.83$$

$$= 83.247 \text{ kN}$$

Jumlah strand yang diperlukan

$$n = 88 \text{ buah}$$

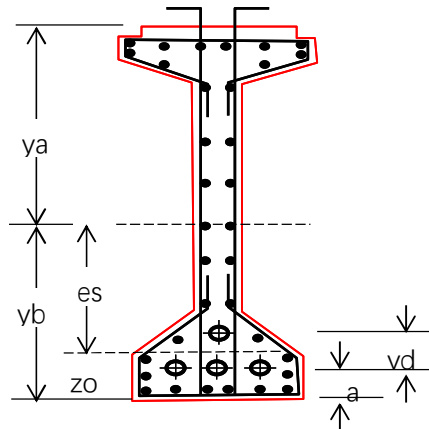
Luas baja prategang yang digunakan

$$A_{ps} = n_{strand} \times A_{strand}$$

$$= 88 \times 146$$

$$= 12847 \text{ mm}^2$$

b Posisi tendon pada tengah bentang



Gambar 4. 26 Denah Tendon

Tabel 4. 38 Jumlah Tendon pada Tengah Bentang

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1				a =	0.10	m	
Jumlah tendon baris ke-1	$N_{t1} =$	3	tendon	22	strands/tdn	66	strands
Jumlah tendon baris ke-2	$N_{t2} =$	1	tendon	22	strands/tdn	22	strands
$N_t =$		4	tendon		$N_s =$	88	strands

$$y_d = \text{jarak vertikal antara as ke as tendon} = 0.150 \text{ m}$$

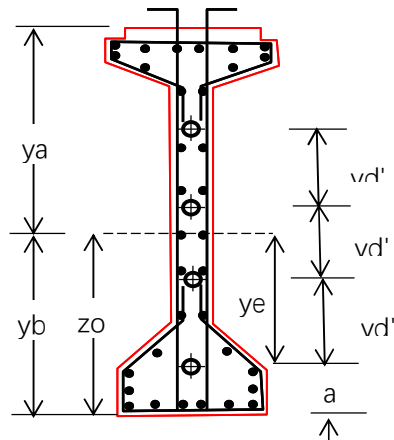
$$e_{mid} = \frac{A_{ps1} \cdot e_{c1} + A_{ps2} \cdot e_{c2} + A_{ps3} \cdot e_{c3} + A_{ps4} \cdot e_{c4}}{A_{ps_tot}}$$

$$= 0.8973 \text{ m}$$

$$y_{mid} = \frac{c_1 \cdot A_{ps1} + c_2 \cdot A_{ps2} + c_3 \cdot A_{ps3} + c_4 \cdot A_{ps4}}{A_{ps_tot}}$$

$$= 0.1125 \text{ m}$$

c Posisi tendon pada tumpuan



Gambar 4. 27 Denah Posisi Tendon Tumpuan

Tabel 4. 39 Jumlah Tendon pada Tumpuan Bentang

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tenondi ke-4				a' =	0.35 m				
Jumlah tendon bari ke-1	$N_{t1} =$	1	tendon	22	strands/tdn	22	strands	3211.936802	mm2
Jumlah tendon bari ke-2	$N_{t2} =$	1	tendon	22	strands/tdn	22	strands	3211.936802	mm2
Jumlah tendon bari ke-3	$N_{t3} =$	1	tendon	22	strands/tdn	22	strands	3211.936802	mm2
Jumlah tendon bari ke-4	$N_{t4} =$	1	tendon	22	strands/tdn	22	strands	3211.936802	mm2
Jumlah strands =						88		12847.74721	mm2

y_e = Letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah =

1.010 m

Letak titik berat penampang balok terhadap alas

Momen statis terhadap pusat tendon terbawah ;

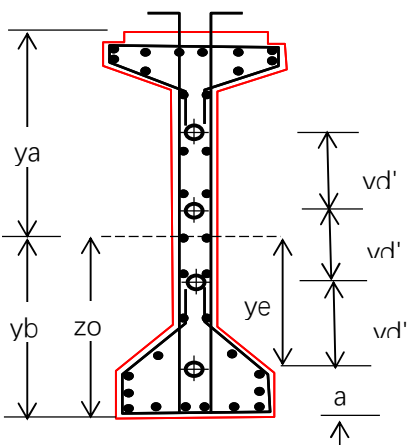
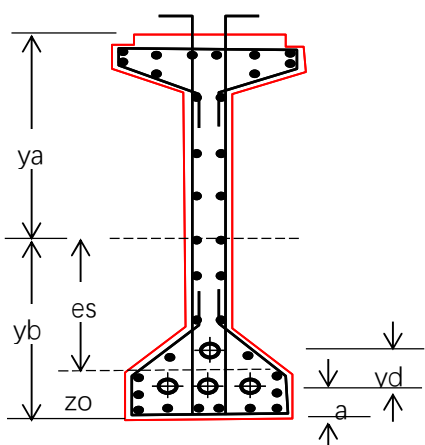
Tabel 4. 40 Momen Statis Terhadap Pusat Tendon Terbawah

n_i	$y_{d'}$	$n_i * y_{d'}$
22	0	0
22	1	22
22	2	44
22	3	66
$\sum n_i * y_{d'} =$		132

d Eksentrisitas masing masing tendon

Tabel 4. 41 Eksentrisitas pada Tendon

No	Posisi tendon ditumpuan	z_r	No	Posisi tendon ditumpuan	z_i	$f_1 = z_r - z_i$
Tnd	$x = 0$ mm	(m)	Tnd	$x = 21.5$ mm	(m)	(m)
1	$z_1' = a' + 3 * y_{d'}$	1.670	1	$z_1 = a + y_d$	0.150	1.520
2	$z_2' = a' + 2 * y_{d'}$	1.230	2	$z_2 = a$	0.100	1.130
3	$z_3' = a' + 1 * y_{d'}$	0.790	3	$z_3 = a$	0.100	0.690
4	$z_4' = a'$	0.350	4	$z_4 = a$	0.100	0.250

Koordinat tendon pada masing-masing jarak dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$y_i = c_{en} - \frac{4 \cdot (c_{en} - c_n) \cdot X_i (L_b - X_i)}{(L_b)^2}$$

Keterangan,

C_{en} = Jarak pusat penampang tendon n ke serat terbawah gelagar pada tumpuan

C_n = Jarak pusat penampang tendon n ke serat terbawah gelagar bentang

e Koordinat tendon n di jarak X

Tabel 4. 42 Koordinat tendon n di Jarak X

X _i (mm)	Y _i (mm)			
	Tendon 1	Tendon 2	Tendon 3	Tendon 4
0	1.670	1.230	0.790	0.350
4.3	1.123	0.823	0.542	0.260
8.6	0.697	0.507	0.348	0.190
12.9	0.393	0.281	0.210	0.140
17.2	0.211	0.145	0.128	0.110
21.5	0.150	0.100	0.100	0.100
25.8	0.211	0.145	0.128	0.110
30.1	0.393	0.281	0.210	0.140
34.4	0.697	0.507	0.348	0.190
38.7	1.123	0.823	0.542	0.260
43	1.670	1.230	0.790	0.350

f Eksentrisitas tengah tendon n di jarak X

$$y_b = 1.010 \text{ m}$$

Tabel 4. 43 Eksentrisitas Tengah Tendon n di Jarak X

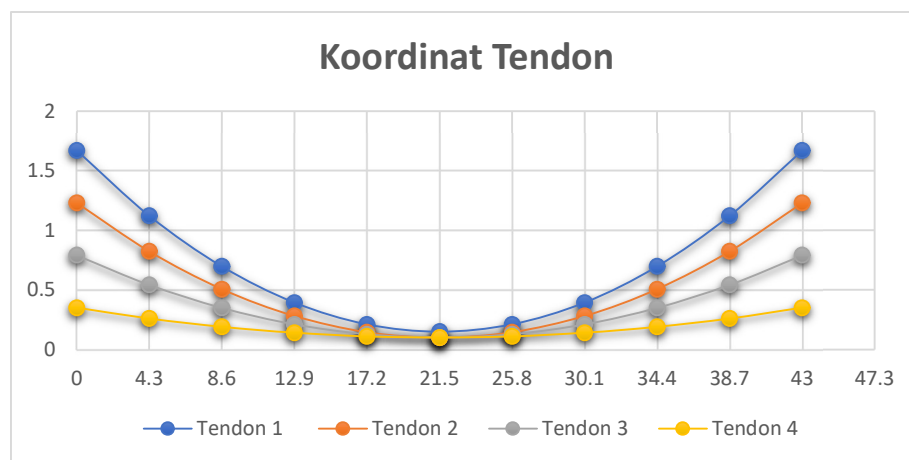
X _i (mm)	e _{cptn} (mm)			
	Tendon 1	Tendon 2	Tendon 3	Tendon 4
0	-0.660	-0.220	0.220	0.660
4.3	-0.113	0.187	0.468	0.750
8.6	0.313	0.503	0.661	0.820
12.9	0.617	0.729	0.799	0.870
17.2	0.799	0.865	0.882	0.900
21.5	0.860	0.910	0.910	0.910
25.8	0.799	0.865	0.882	0.900
30.1	0.617	0.729	0.799	0.870
34.4	0.313	0.503	0.661	0.820
38.7	-0.113	0.187	0.468	0.750
43	-0.660	-0.220	0.220	0.660

g Eksentrisitas rata – rata tendon di jarak X

Tabel 4. 44 Eksentrisitas rata – rata Tendon di Jarak X

X _i (mm)	e _{xi} (mm)
0	0.000
4.3	0.323

X_i (mm)	e_{xi} (mm)
8.6	0.574
12.9	0.754
17.2	0.861
21.5	0.897
25.8	0.861
30.1	0.754
34.4	0.574
38.7	0.323
43	0.000



Gambar 4. 28 Koordinat Tendon

h Kehilangan gaya prategang

- Akibat perpendekan elastis

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= 5.807$$

$$P_i = A_{st} \times 0.75 p_u \times n_{st} \times N_t$$

$$= 17922607.35 \text{ N}$$

$$f_c = \frac{P_i}{A_c}$$

$$= 23.745 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pES} = 0.5 n \times f_c$$

$$= 68.947 \text{ MPa}$$

- Akibat susut pada gelagar

- 1) Rasio volume terhadap luas permukaan

$$\begin{aligned}
 r_{vs} &= \frac{V_g}{A_{surfg}} \\
 &= \frac{A \times L}{K_g \times L + 2A} \\
 &= 102.430 \text{ mm} \\
 &= 4.026 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

- 2) Susut efektif

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{SH} &= 8,2 \times 10^{-6} \times (1 - 0,06r_{vs})(100 - RH) \\
 &= 0.000124384 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

- 3) Menentukan koefisien susut Ksh

Tabel 4. 45 Koefisien Susut Ksh

Selisih Waktu	Koefisien Susut (KSH)
1 Hari	0.92
3 Hari	0.85
5 Hari	0.8
7 Hari	0.77
10 Hari	0.73
20 Hari	0.64
30 Hari	0.58
60 Hari	0.45

- 4) Kehilangan prategang akibat susut

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{pSH} &= \varepsilon_{SH} \times E_s \times K_{sh} \\
 &= 0.000124384 \times 193000 \times 0.64 \\
 &= 15.364 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Akibat rangkai pada gelagar

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{6} \times A g^2 \\
 &= 95861760000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$f_{ci} = \frac{P}{A} + \frac{P_i \times e}{W}$$

$$= 16.963 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pCR} = \frac{E_s}{E_c} \times f_{ci} \times 1.6$$

$$= 157.61 \text{ MPa}$$

- Kehilangan prategang akibat relaksasi tendon

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

Setelah menghitung seluruh gaya kehilangan prategang, selanjutnya rekap keseluruhan gaya kehilangan prategangnya dan hitung gaya prategang efektif setelah kehilangan prategang (P_{ef}):

Tabel 4. 46 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Tendon

Akibat Kehilangan Gaya Prategang	Kehilangan Gaya Prategang	%Kehilangan Gaya Prategang
Perpendekan Elastis	68.947	3.71%
Susut	15.364	0.83%
Rangkak	157.6175854	8.47%
Relaksasi	8.000	0.43%
Total	249.928	13.44%

$$\begin{aligned}
 P_{ef} &= (0,75 f_{pu} - \Sigma f_p) \times \Sigma A_{TENDON} \\
 &= (0,75 \times 1860 - 249.928) \times 7584 \\
 &= 8684.23 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Setelah kehilangan gaya pra tegang = 7517064.364 N

a Kontrol tegangan

1. Kontrol gaya prategang efektif maksimum

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &\leq f_{pe \text{ max}} \\
 0,75 f_{pu} - \Sigma f_p &\leq 0,8 f_{py} \\
 1145.072 &\leq 1340.8 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

2. Kontrol tegangan saat jacking dan konstruksi

$$\begin{aligned}
 P_{JACKING} &= 0,75 \times f_{pu} \times \Sigma A_{TENDON} \\
 &= 10579680 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_{TRANSFER} = P_{JACKING} - (\Sigma fp \times \Sigma A_{TENDON})$$

$$= 8684224.081 \text{ N}$$

$$A_g = 754800 \text{ mm}^2$$

$$e_{c'} = 800 \text{ mm}$$

$$S_a = 122211500.295 \text{ mm}^3$$

$$S_b = 568198317.94 \text{ mm}^3$$

$$M_{gelagar} = 392504419 \text{ Nmm}$$

$$\text{Teg. Izin Tekan (sci)} = -0,6 \times f_{ci}$$

$$= -0,6 \times 40$$

$$= -24 \text{ MPa}$$

$$\text{Teg. Izin Tekan (sci)} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}}$$

$$= 0,25 \times \sqrt{40}$$

$$= 1,581 \text{ MPa}$$

$$\text{Teg. Izin Tekan (sci)} = -0,6 \times f_{c'}$$

$$= -0,6 \times 50$$

$$= -30 \text{ MPa}$$

$$\text{Teg. Izin Tekan (sci)} = 0,5 \times \sqrt{f_{c'}}$$

$$= 0,5 \times \sqrt{50}$$

$$= 1.768 \text{ MPa}$$

Tabel 4. 47 Rekapitulasi Tegangan pada Saat Transfer dan Konstruksi

Kondisi	Lokasi	P Transfer/Ag	Ptransfer x ec/S	Mg/S	F	Kontrol Izin	Ket.
Transfer	Sisi Atas Gelagar	11.505	56.847	1.606	-1.781	≤ -24	OK
	Sisi Bawah Gelagar	11.505	12.227	0.345	0.399	$\leq 1,581$	OK
Konstruksi	Sisi Atas Gelagar	9.959	49.207	3.212	-3.561	≤ -30	OK
	Sisi Bawah Gelagar	9.959	10.584	0.691	0.678	$\leq 1,768$	OK

Dari seluruh perhitungan kontrol diatas, tegangan girder pada saat *transfer* dan konstruksi tidak melebihi batas tegangan Tarik dan tekan. Menjadikan tegangan yang ada pada girder dinyatakan aman.

b Kontrol lendutan

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan izin} &= \frac{L}{300} \\
 &= \frac{43}{300} \\
 &= 0.143 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek Lendutan} = \frac{5}{48} ((M \times \gamma)(L^2/(E_c \times I_o)))$$

Keterangan :

L = Panjang Bentang

M = Momen

γ = Daya Layan

E_c = Modulus Elastisitas Beton

I_o = Luas Penampang

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Lendutan Kuat 1} &= \frac{5}{48} ((9071.76 \times 1,3)((43000)^2/(33234,02 \times 75568006181)) \\
 &= 0,090 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Lendutan Layan 1} &= \frac{5}{48} ((9071.76 \times 1,3)((43000)^2/(33234,02 \times 75568006181)) \\
 &= 0,070 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Lendutan Layan 3} &= \frac{5}{48} ((9071.76 \times 1,3)((43000)^2/(33234,02 \times 75568006181)) \\
 &= 0,070 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Lendutan Ekstrem 1} &= \frac{5}{48} ((9071.76 \times 1,3)((43000)^2/(33234,02 \times 75568006181)) \\
 &= 0,090 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 48 Kombinasi Pembebanan

Jenis Beban	Momen	Lendutan Pada kondisi			
		KUAT 1	LAYAN 1	LAYAN 3	EKSTREM 1
MS	9071.76	0.090	0.070	0.070	0.090
MA	679.85	0.007	0.005	0.005	0.007
TD	4267.86	0.043	0.033	0.026	0.033
TB	49.15	0.000	0.000	0.000	0.000
Total		0.140	0.108	0.101	0.130
Cek terhadap izin		oke	oke	oke	oke

Setelah melakukan perhitungan kontrol dan dipastikan gelagar memenuhi syarat, proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan tulangan pada PCI Girder. Dalam melakukan perencanaan penulangan dilakukan dalam beberapa bagian yaitu tulangan pokok, tulangan utama, tulangan *bursting zone*, dan tulangan *shear connector*. Berikut merupakan tahapan dalam perhitungan tulangan pada gelagar :

Tabel 4. 49 Distribusi Beban

Parameter	1/4L = 10.75	1/2 = 21.5
Mu (kNm)	5230.90	10461.80
Vu (kN)	457.01	914.02
Mn	6538.63	13077.26
Vn	609.35	1218.70
Rn	2266.71	4533.43

$$Mn = \frac{Mu}{0,8}$$

$$Mn_{1/4} = \frac{5230,90}{0,8} = 6538,63 \text{ kN/m}^2$$

$$Mn_{1/2} = \frac{10461,80}{0,8} = 13077,26 \text{ kN/m}^2$$

$$Vn = \frac{Vu}{0,8}$$

$$Vn_{1/4} = \frac{457,01}{0,8} = 609.35 \text{ kN/m}$$

$$Vn_{1/2} = \frac{914,02}{0,8} = 1218,70 \text{ kN/m}$$

$$Rn = Mn/(b \times d^2)$$

$$Rn_{1/4} = 6538,63/(0,7 \times (2,1-0,07)^2) = 2266.71 \text{ N/mm}^2$$

$$Rn_{1/2} = 13077.26/(0,7 \times (2,1-0,07)^2) = 4533.43 \text{ N/mm}^2$$

a. Tulangan pokok

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 50}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0.054 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{400}$$

$$= 0.004$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.054$$

$$= 0.041$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{400}{0.85 \times 50}$$

$$= 9.412$$

Untuk penulangan $\frac{1}{4} L$

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

$$= \frac{1}{9.412} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9.412 \times 2.266}{400}} \right)$$

$$= 1.097$$

Untuk penulangan $\frac{1}{2} L$

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

$$= \frac{1}{9.412} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9.412 \times 4.533}{400}} \right)$$

$$= 1.552$$

Didapatkan hasil A_s minimum seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 50 Hasil A_s Minimum

Nilai	Dengan jarak	
	1/2 L_b	1/4 L_b
ρ_{req}	1.097	1.552
ρ_{min}	0.004	0.004
ρ_{max}	0.041	0.041
ρ_{use}	0.041	0.041
$A_{s_{use}}$	58888.27	58888.27
$A_{s_{use}} \text{ per mm}^2$	1369.49	1369.49

Jadi digunakan tulangan:

1. Pada $\frac{1}{2}$ bentang
22 D13 ($A_s = 2920.11037 \text{ mm}^2$)
2. Pada $\frac{1}{4}$ bentang
22 D13 ($A_s = 2920.11037 \text{ mm}^2$)
- b. Tulangan Geser

Faktor reduksi tulangan geser $\phi_v = 0.75$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_{cg}} \times b \times d$$

$$= 1.675 \text{ kN}$$

- 1) Cek gaya geser pada $\frac{1}{2} L$ bentang

$$V_u < \phi_v \times V_c$$

$$914.02 < 1255.998 \text{ (dipakai Sengkang praktis)}$$

$$D_v = \frac{V_u}{\phi_v} - V_c$$

$$\text{Dipakai D 13 - 200 (} A_s = 664 \text{ m}^2 \text{)}$$

- 2) Cek gaya geser pada $\frac{1}{2} L$ bentang

$$V_u < \phi_v \times V_c$$

$$457.01 < 1255.998 \text{ (dipakai Sengkang praktis)}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi_v} - V_c$$

Dipakai D 13 – 200 ($A_s = 664 \text{ mm}^2$)

c. Tulangan *bursting zone*

$$P_{\text{jacking}} = 10579.68 \text{ kN}$$

Tabel 4. 51 Perencanaan Tulangan Bursting zone

Tendon	Jumlah Strand (nst)	Pj (kN)
1	22	2644.92
2	22	2644.92
3	22	2644.92
4	22	2644.92
Total	88	10579.68

Diameter tulangan geser Bursting (D_v) = 13 mm

Luas penampang sengkang (A_s) = 132.732 mm

Tegangan leleh baja (f_y) = 400 MPa

Tegangan ijin baja Sengkang (f_s) = 231.2 MPa

Tabel 4. 52 Perencanaan Tulangan Bursting Zone

Tendon	Pj (kN)	a _l (mm)	a (mm)	Y _a -	P _{bt} (kN)	A _{Y_a} (mm ²)	n _{req} buah	n _{use} buah
1	2644.92	200	330	0.606	312.581	1590.583	5.992	6
2	2644.92	200	330	0.606	312.581	1590.583	5.992	6
3	2644.92	200	330	0.606	312.581	1590.583	5.992	6
4	2644.92	200	330	0.606	312.581	1590.583	5.992	6

Keterangan

1) Rasio perbandingan diameter *anchor blok* dengan sengkang merupakan hasil dari ($Y = a_l - a$)

a. a_l adalah diameter achor block

b. a adalah lebar Sengkang yang digunakan

2) Besarnya gaya yang diterima area *bursting zone* merupakan persamaan

$$P_{bt} = (0.30) \times (1 - r) \times P_i$$

3) Luas tulangan sengkang yang diperlukan merupakan hasil dari

$$A_r = \frac{P_{bt}}{0.85 \cdot f_s}$$

4) Jumlah sengkang yang dibutuhkan menggunakan persamaan

$$n_{req} = A_Y / A_s$$

d. *Shear connector*

Jarak yang digunakan pada penentuan *shear connector* didasarkan pada gaya yang bekerja pada penampang gelagar komposit pada kondisi Kuat I, beban yang bekerja adalah beban sendiri (MS), beban mati tambahan (MA), dan beban lalu lintas (TD)

Tabel 4. 53 Perencanaan Tulangan Shear Connector

Lebar efektif pelat lantai	b _{eff}	=	1305.529	mm
Tebal pelat lantai	t _s	=	300	mm
Jarak serat atas pelat lantai terhadap garis netral penampang komposit	y _{td}	=	966.48	mm
Momen statis pelat lantai efektif terhadap garis netral penampang komposit	S _x	=	319783251.99	mm ³
Letak bidang gesek (panjang kontak pelat terhadap gelagar)	b _v	=	200	mm
Momen inersia penampang komposit	I _{xc}	=	785054455948.24	mm ⁴
Diameter shear conector yang digunakan	D _{sc}	=	13	mm
Jumlah shear connector yang digunakan	n _{sc}	=	2	buah
Luas shear connector yang digunakan	A _{sc}	=	265.4645792	mm ²
Mutu baja shear connector	f _y	=	400	Mpa
Tegangan izin baja shear connector	f _s	=	231.2	Mpa
Koefisien gesek	k _t	=	1.4	
Mutu beton gelagar	f _{cg}	=	50.00	Mpa
Tegangan izin beton	f _{cit}	=	15	Mpa
Tegangan izin geser	f _{vi}	=	4.50	Mpa
	L _b	=	43.00	m
Statis Momen pelat lantai terhadap sumbu netral penampang komposit	S _x	=	319783252	m ³

Tabel 4. 54 Kombinasi Kuat I

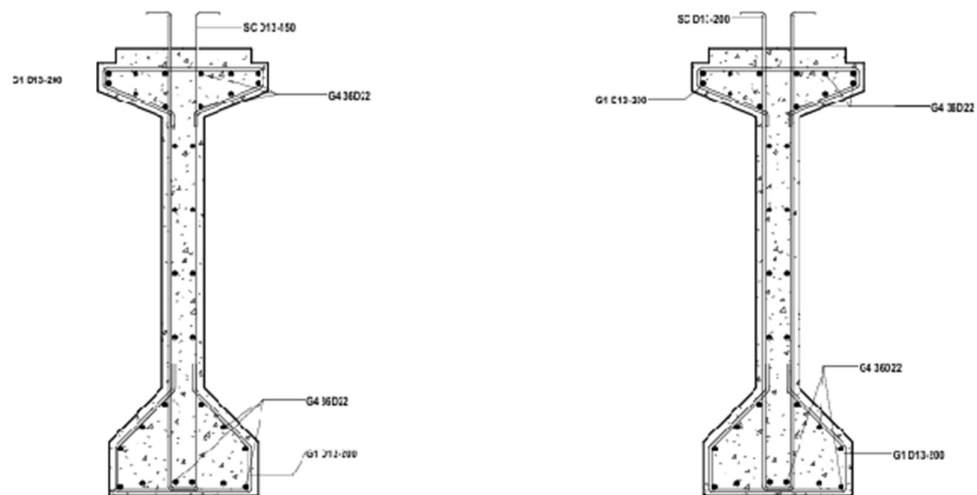
Jarak	Komb Kuat 1
x	$MS*1,3 + MA*2 + TD*1,8 + TB*1,8$
(m)	(kNm)
0.0	1828.05
1.0	1748.53
2.0	1669.01
3.0	1589.48
4.0	1509.96
5.0	1430.44
6.0	1350.92
7.0	1271.40
8.0	1191.88
9.0	1112.35
10.0	1032.83
11.0	953.31
12.0	873.79
13.0	794.27
14.0	714.75
15.0	635.22
16.0	555.70
17.0	476.18
18.0	396.66
19.0	317.14
20.0	237.62
21.0	158.09
21.5	118.33
22.0	78.57
23.0	-0.95
24.0	-80.47
25.0	-159.99
26.0	-239.51
27.0	-319.03
28.0	-398.56
29.0	-478.08
30.0	-557.60
31.0	-637.12
32.0	-716.64
33.0	-796.16
34.0	-875.69
35.0	-955.21

36.0	-1034.73
37.0	-1114.25
38.0	-1193.77
39.0	-1273.29
40.0	-1352.82
41.0	-1432.34
42.0	-1511.86
43.0	-1591.38

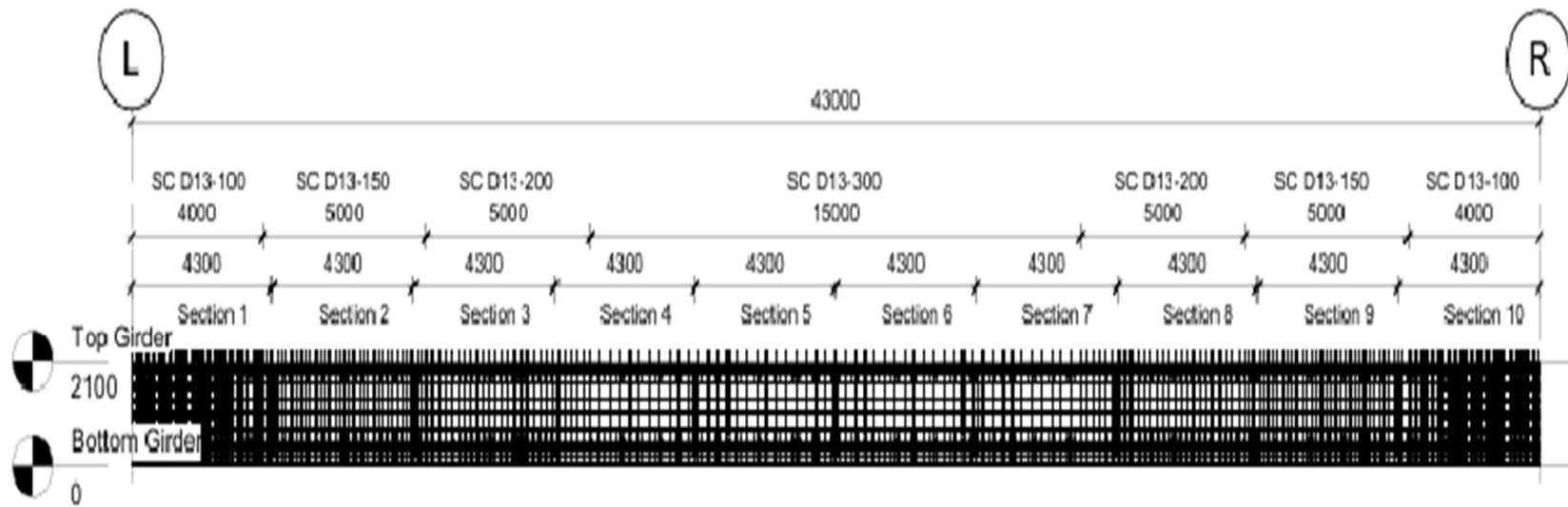
Tabel 4. 55 Tulangan Shear Connector pada Jarak X

Jarak	Gaya Geser	Tegangan geser horizontal	Tegangan izin geser	Jarak maximum yang dibutuhkan	Digunakan Jarak
(x)	(vi)	(fv)	(fvi > fv)	(as)	(s)
m	kN	Mpa		mm	mm
0.0	1828.05	3.723	OKE	115.39	100
1.0	1748.53	3.561	OKE	120.64	100
2.0	1669.01	3.399	OKE	126.39	100
3.0	1589.48	3.237	OKE	132.71	100
4.0	1509.96	3.075	OKE	139.70	100
5.0	1430.44	2.913	OKE	147.47	150
6.0	1350.92	2.751	OKE	156.15	150
7.0	1271.40	2.589	OKE	165.91	150
8.0	1191.88	2.427	OKE	176.98	150
9.0	1112.35	2.266	OKE	189.64	150
10.0	1032.83	2.104	OKE	204.24	200
11.0	953.31	1.942	OKE	221.27	200
12.0	873.79	1.780	OKE	241.41	200
13.0	794.27	1.618	OKE	265.58	200
14.0	714.75	1.456	OKE	295.13	200
15.0	635.22	1.294	OKE	332.08	300
16.0	555.70	1.132	OKE	379.60	300
17.0	476.18	0.970	OKE	442.99	300
18.0	396.66	0.808	OKE	531.80	300
19.0	317.14	0.646	OKE	665.15	300
20.0	237.62	0.484	OKE	887.75	300
21.0	158.09	0.322	OKE	1334.29	300
21.5	118.33	0.241	OKE	1782.61	300
22.0	78.57	0.160	OKE	2684.68	300
23.0	-0.95	0.002	OKE	222411.01	300
24.0	-80.47	0.164	OKE	2621.39	300

25.0	-159.99	0.326	OKE	1318.47	300
26.0	-239.51	0.488	OKE	880.72	300
27.0	-319.03	0.650	OKE	661.19	300
28.0	-398.56	0.812	OKE	529.27	300
29.0	-478.08	0.974	OKE	441.23	200
30.0	-557.60	1.136	OKE	378.31	200
31.0	-637.12	1.298	OKE	331.09	200
32.0	-716.64	1.460	OKE	294.35	200
33.0	-796.16	1.622	OKE	264.95	200
34.0	-875.69	1.784	OKE	240.89	150
35.0	-955.21	1.945	OKE	220.84	150
36.0	-1034.73	2.107	OKE	203.86	150
37.0	-1114.25	2.269	OKE	189.31	150
38.0	-1193.77	2.431	OKE	176.70	150
39.0	-1273.29	2.593	OKE	165.67	100
40.0	-1352.82	2.755	OKE	155.93	100
41.0	-1432.34	2.917	OKE	147.27	100
42.0	-1511.86	3.079	OKE	139.53	100
43.0	-1591.38	3.241	OKE	132.55	100



Gambar 4. 29 Penulangan PCI-Girder



Gambar 4. 30 Potongan Memanjang Penulangan PCI-Girder

4.1.4.6 Bearing Pad

Perencanaan bearing pad meliputi perhitungan beban yang bekerja baik beban horizontal maupun beban vertical. Beban vertikal yang bekerja pada bearing pad dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 4. 56 Beban yang Bekerja pada Bearing Pad

Beban	q (kN)
Parapet	272.5125
Plat Lantai	120.9375
Plat Deck	28.21875
Diafragma	92.5
Gelagar	407.43
Aspal	17.7375
Air Hujan	7.90125
Lalu lintas	164.26
Total (kN)	1111.493
Total (N)	1111493

Keterangan :

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

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

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

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

$$q_{\text{LL}} = \sum q_{\text{LL}} \times \frac{1}{2}L \quad q_{\text{diafragma}} = q_{\text{DIA}} \times n_{\text{DIA}}$$

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

Untuk beban horizontal yang bekerja pada bearing pad sebagai berikut:

$$T = 292.5 \text{ kN}$$

$$q_{\text{Rem}} = 25\% \times \text{Beban } T$$

$$= 25\% \times 292.5$$

$$= 73.13 \text{ kN}$$

Tabel 4. 57 Beban Horizontal yang Bekerja pada Parapet

Beban	q (kN)
Rem	73.13

Beban	q (kN)
Total (N)	73130.000

Keterangan :

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

untuk selanjutnya direncanakan dimensi dari bearing pad dengan berpedoman kepada BMS BDM pada pasal 7.1.1. dalam perencanaan ini penulis memilih bearing pad dengan dimensi 480 x380 mm.

Plan Size 480 mm x 380 mm		Side Cover Thickness 10				Top and Bottom Cover Thickness 6			
Steel Plate Thickness 5		Calc Comp Stiffness at Zero Shear	Mean Shear Stiffness	Calc Rotation Stiffness	Shear Deflection Capacity	Rated Load at Zero Rotation		Rated Load at Max Rotation	
Number of Internal Rubber Layers	Height Overall					at Max Shear	at Zero Shear	at Max Shear	at Zero Shear
	mm	10 ³ kN/m	10 ³ kN/m	kNm/rad	mm	kN	kN	kN	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	1518
10	157	661	1.23	2605	51.3	2484	2484	1255	1594
Internal Rubber Thickness 12									
3	68	976	2.62	3620	33.6	2133	2484	1004	1353
5	102	641	1.75	2358	44.6	2129	2484	1012	1341
7	136	477	1.31	1748	50.6	2066	2404	1036	1335
10	187	344	0.95	1260	66.0	1428	1748	1018	1331
Internal Rubber Thickness 15									
3	77	593	2.21	2113	38.7	1702	2434	857	1157
5	117	376	1.45	1329	48.9	1726	2122	869	1136
7	157	275	1.08	969	58.5	1321	1578	868	1126
9	197	217	0.86	763	72.0	1005	1256	848	1120

Gambar 4. 31 Spesifikasi Elastomer Bearing Pad

Sumber: BMS BDM

Tabel 4. 58 Propertis Bering Pad

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

Sumber: BMS BDM

Untuk memastikan elastomer bearing pad sesuai dilakukan pemeriksaan control sesuai dengan yang telah ditetapkan pada BMS BDM pasal 7.1.1 sebagai beriku:

a Pemeriksaan terhadap luas efektif minimum

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{qH \times h}{A \times G} \\
 &= \frac{73130.00 \times 68}{182400 \times 0,69} \\
 &= 0,039 \\
 A_{eff} &= A \left(1 - \frac{\delta}{b} - \frac{\delta}{d} \right) \\
 &= 182400 \times \left(1 - \left(\frac{0,039}{480} - \frac{0,039}{380} \right) \right) \\
 &= 182366.46 \\
 \frac{A_{eff}}{0,8A} &\geq 1 \\
 \frac{182366.46}{0,8 \times 182400} &\geq 1 \\
 1,250 &\geq 1
 \end{aligned}$$

b Pemeriksaan terhadap regangan total maksimum

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{H_{MAX} - H_{MIN}}{b} \\
 &= \frac{6-0}{480} \\
 &= 0,013 \text{ rad}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

α = nilai mutlak perputaran sudut lapisan atas dan bawah untuk ketebalan karet ≥ 5 mm

Hmax = toleransi ketebalan maksimum (Tabel)

Hmin = toleransi ketebalan minimum (Tabel)

Tabel 4. 59 Dimensi Vertikal dan Horizontal

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

Sumber: BMS BDM

$$\epsilon_{sr} = \frac{\alpha \times b^2 + \alpha \times d^2}{2 \times h_i \times h}$$

$$= \frac{0,013 \times 480^2 + 0,013 \times 380^2}{2 \times 36 \times 68}$$

$$= 0,996$$

$$\epsilon_{sc} = \frac{6 \times S \times V}{3 \times A_{eff} \times G \times (1 + 2S^2)}$$

$$= \frac{6 \times 7,176 \times 1111,493}{3 \times 182366,46 \times 0,69 \times (1 + 2 \times 7,176^2)}$$

$$= 1,220$$

$$\epsilon_{sh} = \frac{2 \times A_{eff}}{A} - 1,1$$

$$= \frac{2 \times 182366,46}{182400} - 1,1$$

$$= 0,9$$

$$\epsilon_{total} = \epsilon_{sr} + \epsilon_{sc} + \epsilon_{sh}$$

$$= 0,996 + 1,220 + 0,9$$

$$= 3,116$$

$$\epsilon_{total} \leq \frac{2,6}{\sqrt{G}}$$

$$3,116 \leq \frac{2,6}{\sqrt{0,69}}$$

$$3,116 \leq 3,130 \quad (\text{OK})$$

c Pemeriksaan terhadap batas leleh

$$V = 1111,493 \text{ kN}$$

$$V_{LL} = 164.26 \text{ kN}$$

$$\frac{1,4 \times V}{\epsilon_{sc} \times V_{LL}} \times \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1,0$$

$$\frac{1,4 \times 1111.493}{1,099 \times 164.26} \times \sqrt{\frac{0,69}{0,69}} \geq 1,0$$

$$7.760 \geq 1,0 \quad (\text{OK})$$

d Pemeriksaan terhadap tegangan maksimum rata – rata

$$\frac{15 \times A}{V} \geq 1,0$$

$$\frac{15 \times 182400}{1111.493} \geq 1,0$$

$$2.462 \geq 1,0 \quad (\text{OK})$$

e Pemeriksaan terhadap perputaran maksimum

$$EH = A \times G \times \frac{1}{\frac{b}{d} + \frac{d}{b}}$$

$$= 182400 \times 0,69 \times \frac{1}{\frac{480}{380} + \frac{380}{480}}$$

$$= 99359,551$$

$$C = 4 + \frac{b}{d} \times 6 \times \frac{3,3b}{d}$$

$$= 4 + \frac{480}{380} \times 6 \times \frac{3,3 \times 480}{380}$$

$$= 35,592$$

$$E = EH + \frac{C \times G \times S^2}{1 + \frac{C \times G \times S^2}{0,75d}}$$

$$= 99359,551 + \frac{35,592 \times 0,69 \times 7,176^2}{1 + \frac{35,592 \times 0,69 \times 7,176^2}{0,75 \times 380}}$$

$$= 99592.021$$

$$dc = hief \times \frac{V \times 10^3}{E \times A}$$

$$= 36 \times \frac{1111493 \times 10^3}{99592.021 \times 182400}$$

$$= 2.203$$

$$\frac{\alpha \times b + \alpha \times d}{4 \times d_c} \geq 1,0$$

$$\frac{0,013 \times 480 + 0,013 \times 380}{4 \times 12.203} \geq 1,0$$

$$1.267 \geq 1.0 \quad (\text{OK})$$

f Pemeriksaan terhadap stabilitas tekan

$$\frac{2 \times d \times G \times S \times A_{eff}}{1000 \times V} \geq 1,0$$

$$\frac{2 \times 380 \times 0,69 \times 7,176 \times 182366.460}{1000 \times 1111493} \geq 1,0$$

$$617.424 \geq 1,0 \quad (\text{OK})$$

g Pemeriksaan terhadap tebal plat baja minimum

$$\frac{h_p}{3} \geq 1,0$$

$$\frac{5}{3} \geq 1,0$$

$$1,667 \geq 1,0 \quad (\text{OK})$$

$$\frac{h_p \times A \times f_y \text{ plat baja}}{3000 \times V \times h_i} \geq 1,0$$

$$\frac{5 \times 182400 \times 950}{3000 \times 1111493 \times 36} \geq 1,0$$

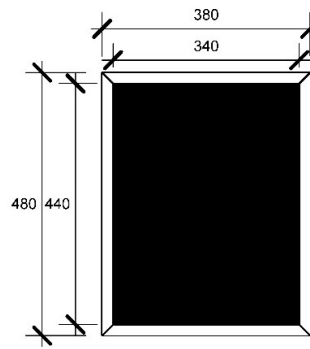
$$7.216 \geq 1,0 \quad (\text{OK})$$

h Pemeriksaan terhadap geseran

$$\frac{0,1 \times V + (3000 \times A_{eff})}{H} \geq 1,0$$

$$\frac{0,1 \times 1111493 + (3000 \times 182366.460)}{73130} \geq 1,0$$

$$749.64 \geq 1,0 \quad (\text{OK})$$



Gambar 4. 32 Gambar Rencana Elastomer Bearing Pad

4.1.4.7 Plat Injak

Dalam melakukan perencanaan plat injak yang harus diperhitungkan adalah beban plat injak itu sendiri, beban aspal dan beban tanah diatas struktur plat injak. Sebelum merencanakan hal yang perlu diperhatikan adalah penentuan parameter terkait perhitungan plat injak seperti dibawah ini:

- Mutu beton = $f_c' 25 \text{ MPa}$
- BJbeton = 2500 kg/m^3
- Mutu baja = $f_y 420 \text{ MPa}$
- Koef. Red = 1.3
- Selimut beton = 25 mm
- Panjang plat = 5 m
- Tebal plat = 300 mm
- lebar plat = 17.85 m

Beban yang diterima oleh plat injak sebagai berikut:

Tabel 4. 60 Beban yang Diterima Plat Injak

Beban	Tebal (m)	BJ	Faktor	q_u (kN/m)	M_u (kNm)
Plat Injak	0.3	25	1.3	9.75	24.375
Timbunan	0.3	17.2	2	10.32	25.8
Agregat Kelas A	0.2	22.7	2	9.08	22.7
AC Base	0.1	22	2	4.4	11
AC -- BC	0.08	22	2	3.52	8.8
AC - WC	0.05	22	2	2.2	5.5
BTR				126.36	315.9
				165.63	414.075

Setelah melakukan perhitungan beban yang diterima plat injak dilanjutkan untuk merencanakan tulangan untuk plat injak sebagai berikut:

Penulangan Arah X

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= \frac{1}{8} \times Q_{tot} \times \frac{1}{2} L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 165.63 \times 2.5^2
 \end{aligned}$$

$$= 129.4 \text{ kN/m}$$

$$= \frac{129.4}{L}$$

$$= 25.88 \text{ kN/m}$$

$$M_{nx} = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{25.88}{0.8}$$

$$= 32.350 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{32.350 \times 10^6}{1000 \times 250^2}$$

$$= 0.444 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{420}{0.85 \times 25} \\
&= 19.765 \\
\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 0.444}{420}} \right) \\
&= 0.001
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\text{Asmin Tul. Utama Arah X} &= \rho_{min} \times t \times h_{ef} \\
&= 0.003 \times 1000 \times 250 \\
&= 883 \text{ mm}^2 \text{ Dipakai D16-200 (1005 mm}^2\text{)}
\end{aligned}$$

Penulangan Arah Y

$$\begin{aligned}
M_u &= \frac{1}{8} \times Q_{tot} \times \frac{1}{2} L^2 \\
&= \frac{1}{8} \times 165.63 \times 8.925^2 \\
&= 1649.170 \text{ kN/m} \\
&= \frac{1649.17}{b} \\
&= 92.390 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{nx} &= \frac{M_u}{\phi} \\
&= \frac{92.390}{0.8} \\
&= 115.488 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
&= \frac{115.488 \times 10^6}{17850 \times 250^2}
\end{aligned}$$

$$= 1.584 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0.025\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} \\ &= \frac{1.4}{420} \\ &= 0.003\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75\rho_b \\ &= 0.75 \times 0.025 \\ &= 0.02\end{aligned}$$

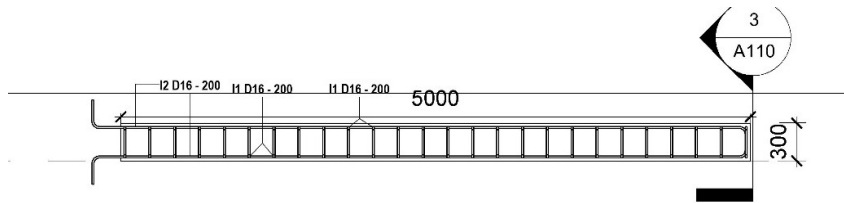
$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0.85f_c} \\ &= \frac{420}{0.85 \times 25} \\ &= 19.765 \\ \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 1.584}{420}} \right) \\ &= 0.004\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho$, maka dipakai ρ

$$\text{Asmin Tul. Utama Arah Y} = \rho_{\min} \times t \times \text{hef}$$

$$= 0.004 \times 1000 \times 250$$

$$= 1000 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D16-200 (1005 mm}^2\text{)}$$



Gambar 4. 33 Detail Penulangan Pelat Injak

4.1.4.8 Expansion Joint

Dalam perhitungan sambungan siar muai hal yang dilakukan adalah penentuan parameter untuk menentukan jenis sambungan dan perhitungan celah sambungan. Parameter dalam penentuan sambungan siar muai sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c' 25$
- Suhu maksimum = 40°C
- Beban maksimum = 112,5 kN
- Suhu minimum = 27°C

Setelah penentuan parameter dilanjutkan perhitungan sambungan siar muai sebagai berikut:

a perubahan panjang akibat rangkak (creep)

Rangkak merupakan regangan jangka panjang yang tergantung pada suatu kondisi tegangan tetap. Perhitungan creep (RSNI T-12-2004):

$$\Delta L_{cr} = \epsilon_{cc} \cdot t \cdot L$$

$$\Phi_{cc}(t) = (t^{0.6} / (10 + t^{0.6})) \cdot C_u$$

$$\Phi_{cc}(t) = (3650.6 / (10 + 3650.6)) \cdot 2.5$$

$$\Phi_{cc}(t) = 2.3301$$

$$\epsilon_c = 0.7 \sqrt{f_c'} / 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$\epsilon_c = 0.0001489$$

$$\Delta_{cr} = 2.295 \cdot 0.0001489 \cdot 43000$$

$$\Delta_{cr} = 14.919$$

Keterangan:

E_e = adalah regangan elastis sesaat akibat bekerjanya tegangan tetap.

t = adalah umur rencana pembebanan (10 tahun atau 3650 hari).

C_u = adalah koefisien rangkai maksimum. Diasumsikan pada suatu kondisi standar. Untuk $f_c' = 25$ MPa, nilai $C_u = 2.5$ (RSNI T-12-2004).

L = adalah Panjang bentang = 43000 mm

Tabel 4. 61 Koefisien Rangkai Beton

Kekuatan karakteristik f_c' [MPa]	20	25	30	35	40 – 60
Koef. Rangkai maksimum C_u	2,8	2,5	2,3	2,15	2,0

Sumber: Permen PUPR

- b Perubahan panjang akibat shrinkage (susut beton)

Perhitunganshrinkage:

$$\Delta L_{sh} = \epsilon_{cs}.t.L$$

$$\epsilon_{cs}.t = (t/(35+t)).\epsilon_{cs}.u$$

$$\epsilon_{cs}.t = (50 / (35 + 50)) * 0.00017$$

$$\epsilon_{cs}.t = 0.0001$$

$$\Delta L_{sh} = 0.0001 * 43000$$

$$\Delta L_{sh} = 4.3 \text{ mm}$$

- c Perubahan panjang akibat temperature

$$\Delta L_{temp} = L.\alpha.\Delta T$$

$$\Delta T = (T_{max} - T_{min}) / 2 = 6.5^\circ\text{C}$$

$$\Delta L_{temp} = 43000 * 10 * 10^{-6} * 6.5$$

$$\Delta L_{temp} = 2.795 \text{ mm}$$

- d Perhitungan celah sambungan siar muai

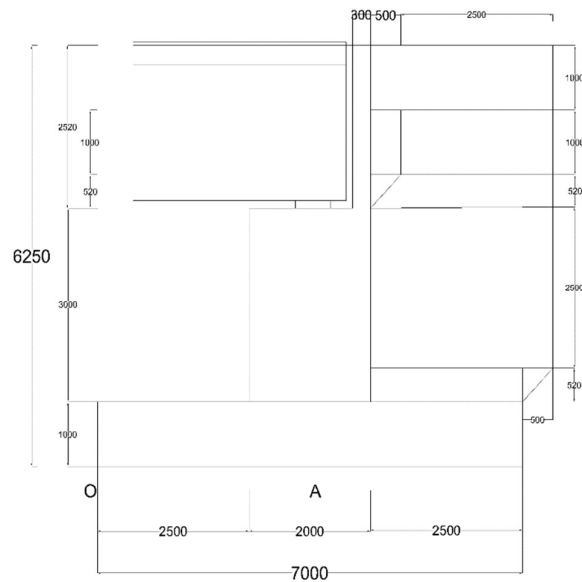
$$\Delta L_{sambungan \text{ siar muai}} = (\Delta L_{cr} + \Delta L_{sh} + \Delta L_{Temp}) / 2$$

$$\Delta L_{sambungan \text{ siar muai}} = (14.919 + 4.3 + 2.795) / 2$$

$$\Delta L_{sambungan \text{ siar muai}} = 11.007 \text{ mm}$$

Jenis sambungan siar muai atau *Expansion joint* pada Pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 adalah jenis *Asphaltic Plug*.

4.1.4.9 Abutment



Gambar 4. 34 Gambar Rencana Dimensi Abutment

Sebelum merencanakan sebuah abutment perencana harus menentukan dimensi serta parameter yang terkait dalam perencanaan abutment, sebagai berikut:

Tabel 4. 62 Propertis Abutment

Mutu Beton (f_c')	= 35 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	= 420 MPa
Tebal Selimut Beton (s)	= 75 mm
Tinggi Abutment (h)	= 6.25 m
Lebar Pile-Cap (bp)	= 18 m
Tinggi Pile-Cap (hp)	= 1 m
Panjang Pile-Cap (dp)	= 7 m
Lebar Dinding Abutment (bd)	= 2 m
Tinggi Dinding Abutment (hd)	= 3 m
Panjang Dinding Abutment (dd)	= 18 m

Setelah penentuan dimensi serta parameter kemudian menganalisa beban yang bekerja pada abutment sebagai berikut:

a Beban mati akibat abutment sendiri

Tabel 4. 63 Beban Mati Sendiri

Bag. Struktur	h (m)	b (m)	Luas (m ²)	BJ (kn/m ³)	Beban (kN)	Jarak ke A	Momen (kNm)
Kepala 1	2.52	0.3	0.756	25	18.9	0.75	14.175
Kepala 2	1	0.5	0.5	25	12.5	1.25	15.625
Kepala 3	0.52	0.5	0.13	25	3.25	1.125	3.656
Dinding 1	3	2	6	25	150	0	0.000
Wingwall 1	1	2.5	2.5	25	62.5	2.5	156.250
Wingwall 2	1	2	2	25	50	2.7	135.000
Wingwall 3	0.52	2	1.04	25	26	2.7	70.200
Wingwall 4	0.52	0.5	0.13	25	3.25	1.125	3.656
Wingwall 5	2.5	2.5	6.25	25	156.25	2.5	390.625
Wingwall 6	0.52	2.5	1.3	25	32.5	2.25	73.125
Wingwall 7	0.52	0.5	0.13	25	3.25	3.625	11.781
Pile-Cap 1	1	7	7	25	175	0	0.000
Total			27.736		693.4		874.094

Sumber: Penulis

Setelah melakukan perhitungan beban dilanjutkan identifikasi momen abutment pada titik O:

$$\text{Jarak terhadap titik O} = \frac{874.094}{693.4} = 1.261 \text{ m}$$

$$\text{Momen terhadap titik O} = 693.4 \times 1.261 = 874.094 \text{ kNm}$$

Beban mati akibat struktur atas

$$\text{Jarak ke titik O} = 3.5 \text{ m}$$

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

Tabel 4. 64 Analisa Beban Mati Struktur Atas

No	Jenis Beban	b	h	L	γ	1/ 2 P	Momen
		m	m	m	kN/m ³	kN	kNm
1	Plat lantai	17.85	0.3	43	25	66.9375	234.2813
2	plat deck	0.847		43	25	10.5875	37.05625
3	Diafragma	0.542			25	12.60465116	44.11628
4	PCI girder	0.758		43	25	85.275	298.4625
Jumlah						175.4046512	613.9163
1	Aspal	17.85	0.05	43	22	9.8175	34.36125
2	Parapet	0.465		43	25	5.8125	20.34375

No	Jenis Beban	b	h	L	γ	1/ 2 P	Momen
		m	m	m	kN/m3	kN	kNm
Jumlah						15.63	54.705

Sumber: Penulis

b Beban hidup akibat beban D

Beban hidup dibagi menjadi 2 yaitu Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Gaya Terpusat (BGT). Hal tersebut dijelaskan seperti berikut:

1) Beban terbagi rata (BTR)

$$\begin{aligned}
 q &= 9 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{L} \right) \times \frac{1}{2} \\
 &= 9 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{43} \right) \times \frac{1}{2} \\
 &= 3.82
 \end{aligned}$$

$$M_{BTR} = 3.82 \times 3.5 = 13.37 \text{ kNm}$$

2) Beban garis terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
 q_{BGT} &= (1 + DLA) \times P \\
 &= \frac{(1 + 40\%) \times 49}{2} \\
 &= 34.40
 \end{aligned}$$

$$M_{BGT} = 34.40 \times 3.5 = 120.05$$

c Beban hidup akibat beban rem

Menurut SNI 1725:2016 beban rem diambil beban terbesar dari persamaan berikut:

$$(1) \quad 25\% \text{ Beban T} = 25\% \times 295.5 = 73.125$$

$$(2) \quad 5\% (\text{Beban T} + \text{BTR}) = 5\% (292.5 + 7.64) = 15$$

Persamaan terbesar adalah persamaan nomer satu. Pada perhitungan abutment diasumsikan abutment menopang $\frac{1}{2}$ beban struktur atas. Beban tersebut adalah termasuk beban akibat rem, sehingga beban akibat rem pada abutment adalah 36.5625 kN. Pada SNI 1725:2016 perhitungan beban rem bekerja pada 1.8 meter dari atas perkerasan dikarenakan beban rem bekerja pada arah horizontal maka lengan gaya adalah jarak dengan titik A abutment. Sehingga perhitungan momen beban rem dapat dihitung

sebagai berikut:

$$\text{Lengan Gaya} = H_{\text{abutemt}} + H_{\text{Pilecap}} + 1.8 = 8.050 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 8.050 \times 36.5625 = 294.3 \text{ kNm}$$

d. Beban akibat gempa

Untuk menghitung perencanaan struktur jembatan akibat beban gempa didasarkan pada peraturan SNI 20833:2016. Sebelum melakukan perhitungan terlebih dahulu menganalisa lokasi rencana pembangunannya. Pada perencanaan ini jembatan akan dibangun pada Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat. Maka ditentukan parameter sebagai berikut sesuai dengan peraturan yang ada di SNI 20833:2016.

Tabel 4. 65 Parameter Perencanaan Beban Gempa pada Jembatan

Parameter	Sumber	Nilai
Percepatan Puncak Batuan Dasar (PGA)	Peta Gempa SNI 2833 2016	0.25
Respons Spektra Percepatan Gempa 0.2 Detik (Ss)	Peta Gempa SNI 2833 2016	0.5
Respons Spektra Percepatan Gempa 1 Detik (S1)	Peta Gempa SNI 2833 2016	0.25
Faktor Situs (Fa/FPGA)	Tabel 3 SNI 2833 2016	1.3
Faktor Amplifikasi 1 Detik (Fv)	Tabel 4 SNI 2833 2016	2.56
Koefisien Percepatan Puncak Muka Tanah (As)	FPGA x PGA	0.325
Nilai Spektra Muka Tanah 0.2 Detik (SDS)	Fa x Ss	0.65
Nilai Spektra Muka Tanah 1 Detik (SD1)	Fv x S1	0.64
(Ts)	$D1 / SD$	0.985
(T0)	$0.2T_s$	0.197
(T)	Gambar 4 SNI 2833 2016	0.2
Koefisien Respon Elastik (Csm)	Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, maka $C_{sm} = SDS$	0.65

Sumber: SNI 2833-2016

Setelah menentukan nilai nilai tersebut dilanjutkan untuk menghitung beban akibat gempa pada jembatan sebagai berikut:

1. Beban gempa akibat struktur atas

$$\begin{aligned} W_t &= \text{Beban struktur atas} \\ &= 191.03 \text{ kN} \\ R &= 0.8 \text{ (Tabel 7 SNI 2833 2016)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{Q-SA} &= \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \\ &= \frac{0.65}{0.8} \times 191.03 \\ &= 155.22 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{E_{Q-SA}} &= 155.22 \times 3.5 \\ &= 543.25 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Beban gempa akibat struktur bawah

$$\begin{aligned} W_t &= \text{Beban struktur bawah} \\ &= 693.4 \text{ kN} \\ R &= 3 \text{ (Tabel 7 SNI 2833 2016)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{Q-SA} &= \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \\ &= \frac{0.65}{3} \times 693.4 \\ &= 150.24 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{E_{Q-SA}} &= 150.24 \times 3.5 \\ &= 525.83 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- e. Beban akibat tekanan tanah aktif

Berikut ini merupakan parameter jenis tanah timbunan yang digunakan:

$$\begin{aligned} H \text{ timbunan} &= 6.25 \text{ m} \\ B_J \text{ Tanah } (\gamma) &= 17.2 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Sudut geser } (\Theta) &= 25^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Kohesi (c)} = 12$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\theta}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{25}{2} \right)$$

$$= 0.405$$

$$P_{TA-1} = \frac{1}{2} \times \gamma \times H \times K_a$$

$$= \frac{1}{2} \times 17.2 \times 6.25 \times 0.405$$

$$= 21.769 \text{ Kn}$$

$$M_{TA-1} = \frac{1}{3} \times H \times P_{TA-1}$$

$$= \frac{1}{3} \times 6.25 \times 21.769$$

$$= 45.352 \text{ kNm}$$

$$P_{TA-2} = \gamma \times H \times K_a$$

$$= 17.2 \times 6.25 \times 0.405$$

$$= 43.538 \text{ Kn}$$

$$M_{TA-2} = \frac{1}{2} \times H \times P_{TA-2}$$

$$= \frac{1}{2} \times 6.25 \times 43.538$$

$$= 136.035 \text{ kNm}$$

Setelah seluruh beban dihitung, kemudian rekapitulasi hasil pembebanan berdasarkan arah gaya:

Tabel 4. 66 Rekapitulasi Beban Abutment

Jenis Beban	Beban (kN)	Momen (kNm)
Momen Vertikal		
Abutment Sendiri	693.4	874.094

Struktur Atas	175.4046512	613.916279
Struktur Atas Tambahan	15.63	54.705
BTR	3.82	13.37
BGT	34.30	120.05
Jumlah	922.55	1676.1
Momen Horizontal		
Rem	36.5625	294.328
Gempa Akibat Struktur Bawah	150.24	525.83
Tek. Tanah	65.306	181.406
Gempa Akibat Struktur Atas	155.22	543.25
Jumlah	407.321	1544.817

Tabel 4. 67 Kombinasi Beban

Kondisi	Arah			
	q Vertikal (kN)	M Vertikal (kNm)	q Horizontal (kN)	M Horizontal (kNm)
Ekstrem 1	884.43	3347.66	357.70	1214.21
Kuat 1	953.05	3352.27	147.45	674.92
Kuat 2	937.80	3272.22	132.82	557.18

Setelah melakukan perhitungan kombinasi pembebanan selanjutnya di periksa terhadap stabilitas abutment:

$$\begin{aligned}
 SF &= 3 & \text{Nilai } N_c, N_q, \text{ dan } N_\gamma \text{ untuk sudut geser } 25^\circ \\
 \text{Kohesi (c)} &= 12 & \text{berdasarkan Tabel Terzaghi} \\
 \text{BJ Tanah} &= 17.2 \text{ kN/m}^2 & N_c = 25.1 \\
 \text{Sudut geser} &= 25^\circ & N_q = 12.7 \\
 D_f &= 2 & N_\gamma = 9.7 \\
 B &= 7
 \end{aligned}$$

$$q_u = cN_c + D_f\gamma N_q + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma$$

$$= 12 \times 25.1 + 2 \times 17.2 \times 12.7 + \frac{1}{2} \times 17.2 \times 7 \times 9.7$$

$$= 1326.94$$

$$q_{all} = \frac{1}{SF} \times q_u$$

$$= \frac{1}{3} \times 1326.94$$

$$= 442.313$$

Selanjutnya cek stabilitas abutment

Tabel 4. 68 Cek Stabilitas Abutment

Kondisi	Cek Stabilitas							
	Guling		Geser		Eksentrisitas		Daya Dukung Tanah	
Ekstrem I	2.757	≥ 1.5	1.62	≥ 1.5	1.088	< 1.17	30.89911	< 442.313
Kuat I	4.967	≥ 1.5	4.15	≥ 1.5	0.691	< 1.17	28.64481	< 442.313
Kuat II	5.873	≥ 1.5	4.56	≥ 1.5	0.605	< 1.17	27.48847	< 442.313

Untuk rencana dimensi abutment telah memenuhi cek stabilitas abutment terhadap guling, geser, eksentrisitas, dan daya dukung tanah kemudian direncanakan penulangan di setiap bagian abutment

1) Kepala Abutment

Sebelum melakukan perhitungan kepala abutment, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh kepala abutment sebagai berikut:

- 3. Mutu beton = $f_c'35$
 - BJbeton = 2500 kg/m³
- Mutu baja = $f_y 420$ MPa
 - $d = 800$ mm
- Selimut beton = 25 mm
 - $b = 1000$ mm
- d efektif = 750 mm

Setelah menentukan parameter serta dimensi kepala abutment, selanjutnya adalah perhitungan beban yang akan diterima oleh kepala abutment sebagai berikut:

a Beban mati akibat struktur sendiri

Tabel 4. 69 Beban Mati Struktur Sendiri

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
Kepala 1	18.9	4.35	82.215
Kepala 2	12.5	4.74	59.25
Kepala 3	3.25	4.83	15.6975
Jumlah	34.65		157.1625

b Beban mati akibat struktur diatasnya

Tabel 4. 70 Analisis Beban Mati Struktur Diatasnya

Beban	Tebal (m)	BJ	γ	qu (kN/m)	Lengan Gaya	Mu (kNm)
Plat Injak 1	0.3	25	1.3	9.75	0.15	1.4625
Timbunan	0.3	17.2	1.3	6.708	0.45	3.0186
Agregat Kelas A	0.2	22.7	2	9.08	0.55	4.994
AC Base	0.1	22	2	4.4	0.6	2.64
AC - BC	0.08	22	2	3.52	0.64	2.2528
AC - WC	0.05	22	2	2.2	0.624	1.3728
Jumlah				35.658		15.7407

c Beban hidup akibat beban terbagi rata (BTR)

$$q_{BTR} = 7.64 \text{ kN/m}$$

$$m_{BTR} = 3.82 \text{ kNm}$$

d Perencanaan tulangan kepala abutment

$$\begin{aligned} M_u &= m_{BTR} + M_S + M_A \\ &= 3.82 + 15.740 + 157.1625 \\ &= 36.0732 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{176.732}{0.8} \\ &= 220.90 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{220.9 \times 10^6}{1000 \times 650^2} \\ &= 0.522 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \end{aligned}$$

$$= 0.035$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.035$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 35}$$

$$= 14.118$$

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

$$= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0.029}{420}} \right)$$

$$= 0.001$$

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

$$\begin{aligned} \text{Tul. Utama} &= \rho_{\min} \times b \times d_{\text{ef}} \\ &= 0.003 \times 1000 \times 750 \\ &= 2500 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D19-100 (2835 mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asmin Tul. Bagi} &= 0.5 \text{Asmin Tul. Utama} \\ &= 0.5 \times 2500 \\ &= 1250 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D16-150 (1340 mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

2) Badan Abutment

Sebelum melakukan perhitungan badan abutment, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh badan abutment sebagai berikut:

- 4. Mutu beton = $f_c'35$
 - BJbeton = 2500 kg/m³
- Mutu baja = $f_y 420$ MPa
 - $d = 2000$ mm
- Selimut beton = 25 mm
 - $b = 1000$ mm
- d efektif = 1950 mm

Setelah menentukan parameter serta dimensi badan abutment, selanjutnya adalah perhitungan beban yang akan diterima oleh badan abutment sebagai berikut:

a Beban mati akibat struktur sendiri

Tabel 4. 71 Beban Mati Struktur Sendiri

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
Kepala 1	18.90	4.35	82.22
Kepala 2	12.50	4.74	59.25
Kepala 3	3.25	4.83	15.70
Dinding	150.00	3.50	525.00
Struktur Atas	191.03	3.50	668.62
Jumlah	375.68		1350.78

b Beban hidup yang bekerja pada dinding abutment

Tabel 4. 72 Beban Hidup yang Bekerja

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
BTR	3.82	3.50	13.37
BGT	34.30	3.50	120.05
Gempa Akibat Struktur Atas	155.22	4.00	620.86
Rem	36.56	0.00	0.00
Gempa Akibat Struktur Bawah	150.24	1.00	150.24
Tek. Tanah	65.31	1.00	65.31
Jumlah	445.44		969.83

c Perhitungan penulangan badan abutment

$$\begin{aligned} M_u &= MD + ML \\ &= 1350.78 + 969.83 \\ &= 2320.61 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{2320.61}{0.8} \\ &= 2900.76 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{2900.76 \times 10^6}{1000 \times 1950^2} \\ &= 0.763 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 0.85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420} \\ &= 0.035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} \\ &= \frac{1.4}{420} \\ &= 0.003 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75\rho_b \\ &= 0.75 \times 0.035 \\ &= 0.02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85f_c} \\
 &= \frac{420}{0.85 \times 35} \\
 &= 14.118 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0.763}{420}} \right) \\
 &= 0.001
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Tul. Utama} &= \rho_{min} \times b \times d_{ef} \\
 &= 0.003 \times 1000 \times 1950 \\
 &= 6500 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D29-100 (6605 mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Asmin Tul. Bagi} &= 0.5 \text{Asmin Tul. Utama} \\
 &= 0.5 \times 6500 \\
 &= 3250 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D29-200 (3303 mm}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

2) Tulangan susut

Tabel 4. 73 Tulangan Susut Badan Abutment

	Abutment	satuan
Tinggi abutmen (h _i)	3000	mm
Lebar abutmen (b)	1000	mm
luas tulangan susut (A _{st})	5400	mm ²

Diameter tulangan yang digunakan

$$D = 16 \text{ mm} \quad (A_s = 201.062 \text{ mm}^2)$$

Jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{abt} &= \frac{A_s \times h_i}{A_{st}} \\
 &= \frac{201.062 \times 3000}{5400} \\
 &= 11.701 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan susut D16-100.

3) Wingwall

Sebelum melakukan perhitungan wingwall, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh wingwall sebagai berikut:

- 5. Mutu beton = $f_c'25$
 - BJbeton = 2500 kg/m³
- Mutu baja = f_y 420 MPa
 - $d = 300$ mm
- Selimut beton = 25 mm
 - $b = 3000$ mm
- d efektif = 250 mm

Setelah menentukan parameter serta dimensi wingwall, selanjutnya adalah perhitungan beban yang akan diterima oleh wingwall sebagai berikut:

- a beban mati akibat struktur sendiri

Tabel 4. 74 Beban Mati Struktur Sendiri

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
Wingwall 1	62.50	1.50	93.75
Wingwall 2	50.00	1.75	87.50
Wingwall 3	26.00	1.75	45.50
Wingwall 4	3.25	0.13	0.41
Wingwall 5	156.25	1.50	234.38
Wingwall 6	32.50	1.25	40.63
Wingwall 7	3.25	2.625	8.53
Jumlah	333.75		510.69

Sumber: Penulis

- b Beban hidup yang diterima wingwall

Tabel 4. 75 Beban Hidup Wingwall

Bag. Struktur	Beban	Lengan	Momen
Tek. Tanah 1	21.769	3.4	74.01
Tek. Tanah 2	43.538	1.135	49.42
Jumlah	65.306		123.43

Sumber: Penulis

- c Perhitungan penulangan

$$M_u = M_D + M_L$$

$$= 510.69 + 123.43$$

$$= 634.12 \text{ kNm}$$

Penulangan Arah X

$$M_{ux} = \frac{1}{8} \times M_u \times \frac{1}{2} l^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 634.12 \times 1.5^2$$

$$= 178.345 \text{ kNm}$$

$$M_{nx} = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{178.345}{0.8}$$

$$= 222.93 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{222.93 \times 10^6}{250 \times 3000^2}$$

$$= 0.0901 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.765$$

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

$$= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 0.0901}{420}} \right)$$

$$= 0.0002$$

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

$$\text{Asmin Tul. Utama Arah X} = \rho_{\min} \times b \times h_{ef}$$

$$= 0.003 \times 1000 \times 250$$

$$= 833 \text{ mm}^2 \text{Dipakai D16-200 (1005 mm}^2\text{)}$$

Penulangan Arah Y

$$M_u = \frac{1}{8} \times M_u \times \frac{1}{2} l^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 634.45 \times 2.760^2$$

$$= 603.8 \text{ kN/m}$$

$$M_{nx} = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{603.8}{0.8}$$

$$= 754.76 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{754.76 \times 10^6}{250 \times 1000^2}$$

$$= 3.019 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 25}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.025$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.025$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 25}$$

$$= 19.765$$

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

$$= \frac{1}{19.765} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 19.765 \times 3.109}{420}} \right)$$

$$= 0.007$$

$\rho_{\min} < \rho$, maka dipakai ρ

$$\text{Asmin Tul. Utama Arah Y} = \rho_{\min} \times b \times h_{ef}$$

$$= 0.007 \times 1000 \times 250$$

$$= 1750 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D19-150 (1890 mm}^2\text{)}$$

4) Pilecap Abutment

Sebelum melakukan perhitungan Pilecap abutment, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh pilecap sebagai berikut:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 6. Mutu beton = $f_c' 35$ | • BJbeton = 2500 kg/m ³ |
| • Mutu baja = $f_y 420 \text{ MPa}$ | • $h = 1000 \text{ mm}$ |
| • Selimut beton = 25 mm | • $b = 1000 \text{ mm}$ |
| • $h \text{ efektif} = 950 \text{ mm}$ | |

Setelah menentukan parameter serta dimensi pilecap, selanjutnya adalah perhitungan tegangan pada dasar yang akan diterima oleh pilecap sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M_u}{A}$$

$$= \frac{3347.66 + 1214}{126}$$

$$= 36.21 \text{ kNm}$$

a Selanjutnya hitung momen ultimit yang bekerja pada arah x dan arah y

$$M_{ux} = \frac{1}{8} \times \sigma \times \frac{1}{2} b^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 36.21 \times 3.5^2$$

$$= 55.44 \text{ kN/m}$$

$$M_{uy} = \frac{1}{8} \times \sigma \times \frac{1}{2} d^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 36.21 \times 9^2$$

$$= 366.57 \text{ kN/m}$$

b Perencanaan tulangan

Tabel 4. 76 Perencanaan Tulangan Pilecap Abutment

Parameter	Tul. Atas X	Tul. Atas Y	Tul.Bawah X	Tul. Bawah Y
b	1000	1000	1000	1000
d ef	950	950	950	950
Mn	69.30	458.22	69.299	458.223
Rn	0.077	0.508	0.077	0.508
ρb	0.035	0.035	0.035	0.035
ρmin	0.0033	0.0033	0.003	0.003
ρmax	0.03	0.03	0.027	0.027
m	14.118	14.118	14.118	14.118
ρ	0.00008	0.0005	0.000	0.001
As minimum	3167	3167	3166.667	3166.667
As dipakai	3927	3927	3927.000	3927.000

Sumber: Penulis

$$\begin{aligned}
 M_{nx} &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\
 &= \frac{55.44}{0.8} \\
 &= 69.3 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ny} &= \frac{M_{uy}}{\phi} \\
 &= \frac{366.58}{0.8} \\
 &= 458.2 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{nx} &= \frac{M_{nx}}{b \times d^2} \\
 &= \frac{69.3 \times 10^6}{1000 \times 950^2} \\
 &= 0.077 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$R_{ny} = \frac{M_{ny}}{b \times d^2}$$

$$= \frac{458.2 \times 10^6}{1000 \times 950^2}$$

$$= 0.508 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.035$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.035$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 35}$$

$$= 14.118$$

$$\rho_x = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_{nx}}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0.077}{420}} \right)$$

$$= 0.00008$$

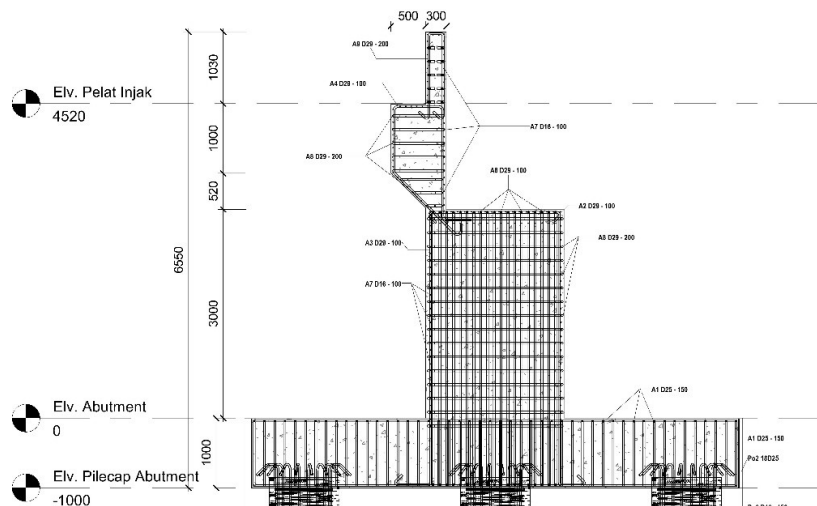
$$\begin{aligned}\rho_y &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_{ny}}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0.508}{420}} \right) \\ &= 0.0005\end{aligned}$$

$\rho_{min} < \rho$, maka dipakai ρ

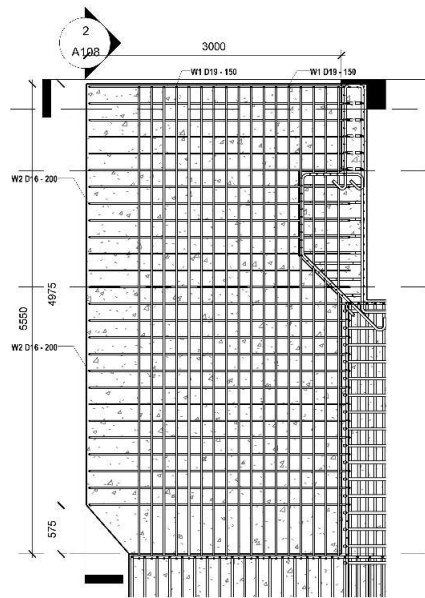
$$\begin{aligned}\text{Asmin Tul. Utama Arah X} &= \rho_{min} \times b \times h_{ef} \\ &= 0.003 \times 1000 \times 950 \\ &= 3167 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D25-150 (3272 mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

$\rho_{min} < \rho$, maka dipakai ρ

$$\begin{aligned}\text{Asmin Tul. Utama Arah Y} &= \rho_{min} \times b \times h_{ef} \\ &= 0.003 \times 1000 \times 925 \\ &= 3167 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D25-150 (3272 mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

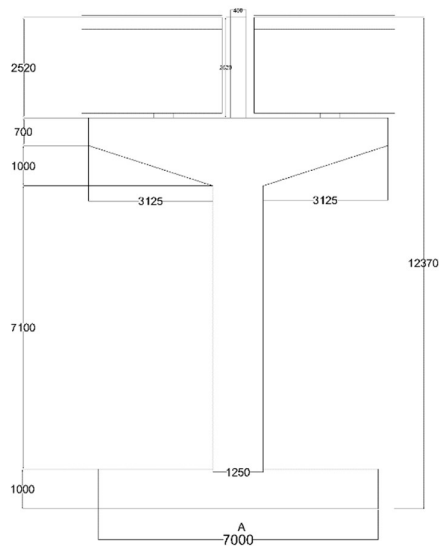


Gambar 4. 35 Detail Penulangan Abutment



Gambar 4. 36 Detail Penulangan Wing Wall

4.1.4.10 Pilar



Gambar 4. 37 Gambar Rencana Dimensi Pilar
Sumber: Penulis

Sebelum merencanakan sebuah pilar perencana harus menentukan dimensi serta parameter yang terkait dalam perencanaan pilar, sebagai berikut:

Tabel 4. 77 Propertis Pilar

Mutu Beton (f_c')	= 35 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	= 420 MPa
Tebal Selimut Beton (s)	= 75 mm
Tinggi Pilar (h)	= 12.37 m
Lebar Pile-Cap (b_p)	= 18 m
Tinggi Pile-Cap (h_p)	= 1 m
Panjang Pile-Cap (d_p)	= 7 m
Lebar Dinding Pilar (b_d)	= 1.25 m
Tinggi Dinding Pilar (h_d)	= 7.1 m
Panjang Dinding Pilar (d_d)	= 18 m

Setelah penentuan dimensi serta parameter kemudian menganalisa beban yang bekerja pada pilar sebagai berikut:

a Beban mati akibat struktur sendiri

Tabel 4. 78 Beban Mati Struktur Sendiri

Bag. Struktur	h (m)	b (m)	Luas (m ²)	BJ (kn/m ³)	Beban (kN)	Jarak ke A	Momen (kNm)
Kepala 1	2.55	0.4	1.02	25	25.5	0	0.000
Kepala 2	0.7	1.25	0.875	25	21.875	0	0.000
Kepala 3	1	1.25	1.25	25	31.25	2.25	70.313
Kepala 4	0.7	3	2.1	25	52.5	2.25	118.125
Kepala 5	0.7	3	2.1	25	52.5	2	105.000
Kepala 6	1	3.125	1.5625	25	39.0625	2	78.125
Kepala 7	1	3.125	1.5625	25	39.0625	0	0.000
Badan Pilar	7.1	1.25	8.875	25	221.875	0	0.000
Pile Cap	1	7	7	25	175	0	0.000
Jumlah					658.625		371.56

Setelah melakukan perhitungan beban dilanjutkan identifikasi momen struktur pada titik A:

Beban mati akibat struktur atas :

Jarak terhadap titik A ke kanan = 1.8 m

Jarak terhadap titik A ke kiri = - 1.8 m

Berat Jenis Beton = 25 kN/m³

b Analisa beban struktur atas dari arah kanan

Tabel 4. 79 Analisa Beban Struktur Atas dari Arah Kanan

No	Jenis Beban	b	h	L	γ	P	Momen
		m	m	m	kN/m3	kN	kNm
1	Plat lantai	17.85	0.3	43	25	66.9375	120.49
2	plat deck	0.847		43	25	10.5875	19.06
3	Diafragma	0.54285			25	12.6244186	22.72
4	PCI girder	0.758		43	25	85.275	153.50
Jumlah						175.4244186	315.76
1	Aspal	17.85	0.05	43	22	9.8175	17.67
2	Parapet	0.465		43	25	5.8125	10.46
Jumlah						15.63	28.13

c Analisa beban struktur atas dari arah kiri

Tabel 4. 80 Analisa Beban Struktur Atas dari Arah Kiri

No	Jenis Beban	b	h	L	γ	P	Momen
		m	m	m	kN/m3	kN	kNm
1	Plat lantai	17.85	0.3	43	25	66.9375	-120.49
2	plat deck	0.847		43	25	10.5875	-19.06
3	Diafragma	0.54285			25	12.62	-22.72
4	PCI girder	0.758		43	25	85.275	-153.50
Jumlah						175.42	-315.76
1	Aspal	17.85	0.05	43	22	9.8175	-17.67
2	Parapet	0.465		43	25	5.8125	-10.46
Jumlah						15.63	-28.134

d Beban hidup akibat beban D dari kanan

Beban hidup dibagi menjadi 2 yaitu Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Gaya Terpusat (BGT). Hal tersebut dijelaskan seperti berikut:

1. Beban terbagi rata (BTR)

$$\begin{aligned}
 q &= 9 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{L} \right) \times \frac{1}{2} \\
 &= 9 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{43} \right) \times \frac{1}{2} \\
 &= 3.82
 \end{aligned}$$

$$M_{BTR} = 3.82 \times 1.8 = 6.876 \text{ kNm}$$

2. Beban garis terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
 q_{BGT} &= (1 + DLA) \times P \\
 &= \frac{(1 + 40\%) \times 49}{2} \\
 &= 34.40
 \end{aligned}$$

$$M_{BGT} = 34.40 \times 1.8 = 61.74$$

e Beban hidup akibat beban D dari kiri

1. Beban terbagi rata (BTR)

$$\begin{aligned}
 q &= 9 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{L} \right) \times \frac{1}{2} \\
 &= 9 \times \left(\frac{1}{2} + \frac{15}{43} \right) \times \frac{1}{2} \\
 &= 3.82
 \end{aligned}$$

$$M_{BTR} = 3.82 \times -1.8 = -6.876 \text{ kNm}$$

2. Beban garis terpusat (BGT)

$$\begin{aligned}
 q_{BGT} &= (1 + DLA) \times P \\
 &= \frac{(1 + 40\%) \times 49}{2} \\
 &= 34.40
 \end{aligned}$$

$$M_{BGT} = 34.40 \times -1.8 = 61.74$$

f Beban hidup akibat beban rem

Menurut SNI 1725:2016 beban rem diambil beban terbesar dari persamaan berikut:

- (1) 25% Beban T = 25% x 295.5 = 73.125
 (2) 5% (Beban T + BTR) = 5% (292.5 + 7.64) = 15

Persamaan terbesar adalah persamaan nomer satu. Pada perhitungan abutment diasumsikan abutment menopang $\frac{1}{2}$ beban struktur atas. Beban tersebut adalah termasuk beban akibat rem, sehingga beban akibat rem pada abutment adalah 36.5625 kN. Pada SNI 1725:2016 perhitungan beban rem bekerja pada 1.8 meter dari atas perkerasan dikarenakan beban rem bekerja pada arah horizontal maka lengan gaya adalah jarak dengan titik A abutment. Sehingga perhitungan momen beban rem dapat dihitung sebagai berikut:

1. Beban gaya rem dari arah kanan

$$\text{Lengan Gaya} = H \text{ abutemt} + H \text{ Pilecap} + 1.8 = 14.170 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 14.170 \times 36.5625 = 518.09 \text{ kNm}$$

2. Beban gaya rem dari arah kiri

$$\text{Lengan Gaya} = H_{\text{abutemt}} + H_{\text{Pilecap}} + 1.8 = 14.170 \text{ m}$$

$$\text{Momen} = 14.170 \times 36.5625 = 518.09 \text{ kNm}$$

g Beban akibat gempa

Untuk menghitung perencanaan struktur jembatan akibat beban gempa didasarkan pada peraturan SNI 20833:2016. Sebelum melakukan perhitungan terlebih dahulu menganalisa lokasi rencana pembangunannya. Pada perencanaan ini jembatan akan dibangun pada Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat. Maka ditentukan parameter sebagai berikut sesuai dengan peraturan yang ada di SNI 20833:2016.

Tabel 4. 81 Parameter Perencanaan Gempa pada Jembatan

Parameter	Sumber	Nilai
Percepatan Puncak Batuan Dasar (PGA)	Peta Gempa SNI 2833 2016	0.25
Respons Spektra Percepatan Gempa 0.2 Detik (Ss)	Peta Gempa SNI 2833 2016	0.5
Respons Spektra Percepatan Gempa 1 Detik (S1)	Peta Gempa SNI 2833 2016	0.25
Faktor Situs (Fa/FPGA)	Tabel 3 SNI 2833 2016	1.3
Faktor Amplifikasi 1 Detik (Fv)	Tabel 4 SNI 2833 2016	2.56
Koefisien Percepatan Puncak Muka Tanah (As)	FPGA x PGA	0.325
Nilai Spektra Muka Tanah 0.2 Detik (SDS)	Fa x Ss	0.65
Nilai Spektra Muka Tanah 1 Detik (SD1)	Fv x S1	0.64
(Ts)	$D1 / SD$	0.985
(T0)	$0.2Ts$	0.197
(T)	Gambar 4 SNI 2833 2016	0.2
Koefisien Respon Elastik (Csm)	Untuk $T0 \leq T \leq Ts$, maka $Csm = SDS$	0.65

Sumber: SNI 2833-2016

Setelah menentukan nilai nilai tersebut dilanjutkan untuk menghitung bbeban akibat gempa pada jembatan sebagai berikut:

- Beban gempa dari arah kanan pilar
- Beban gempa akibat struktur atas

$$W_t = \text{Beban struktur atas}$$

$$= 175.42 \text{ kN}$$

$$R = 1 \text{ (Tabel 7 SNI 2833 2016)}$$

$$E_{Q-SA} = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

$$= \frac{0.65}{1} \times 175.42$$

$$= 114.03 \text{ kN/m}$$

$$ME_{Q-SA} = 114.03 \times 2$$

$$= 228.05 \text{ kNm}$$

- Beban gempa akibat struktur bawah

$$W_t = \text{Beban struktur bawah}$$

$$= 658.625 \text{ kN}$$

$$R = 3 \text{ (Tabel 7 SNI 2833 2016)}$$

$$E_{Q-SA} = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

$$= \frac{0.65}{3} \times 658.6$$

$$= 142.7 \text{ kN/m}$$

$$ME_{Q-SA} = 142.7 \times 4.185$$

$$= 597.21 \text{ kNm}$$

- Beban gempa dari arah kiri pilar

- Beban gempa akibat struktur atas

$$W_t = \text{Beban struktur atas}$$

$$= 175.42 \text{ kN}$$

$$R = 0.8 \text{ (Tabel 7 SNI 2833 2016)}$$

$$E_{Q-SA} = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

$$= \frac{0.65}{1} \times 175.42$$

$$= 114.03 \text{ kN/m}$$

$$ME_{Q-SA} = 114.03 \times 2$$

$$= 228.05 \text{ kNm}$$

- Beban gempa akibat struktur bawah
 $W_t = \text{Beban struktur bawah}$
 $= 658.625 \text{ kN}$
 $R = 3 \text{ (Tabel 7 SNI 2833 2016)}$

$$E_{Q-SA} = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

$$= \frac{0.65}{3} \times 658.6$$

$$= 142.7 \text{ kN/m}$$

$$M_{E_{Q-SA}} = 142.7 \times 4.185$$

$$= 597.21 \text{ kNm}$$

- h Beban hidup akibat tanah pasif

Berikut ini merupakan parameter jenis tanah timbunan yang digunakan:

$$H \text{ timbunan} = 2.5 \text{ m}$$

$$BJ \text{ Tanah } (\gamma) = 17.2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sudut geser } (\Theta) = 25^\circ$$

$$\text{Kohesi } (c) = 12$$

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\Theta}{2} \right)$$

$$= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{25}{2} \right)$$

$$= 0.405$$

$$P_p = \gamma \times H \times K_p$$

$$= 17.2 \times 2.5 \times 0.405$$

$$= 17.415 \text{ Kn}$$

$$M_p = \text{jarak titik } A \times P_p$$

$$= 3.25 \times 17.415$$

$$= 56.6 \text{ kNm}$$

Setelah seluruh beban dihitung, kemudian rekapitulasi hasil pembebanan berdasarkan arah gaya:

- i Pembebanan dari arah kanan pilar

Tabel 4. 82 Rekapitulasi Pembebanan dari Arah Kanan

Jenis Beban	Beban (kN)	Momen (kNm)
Momen Vertikal		
Pilar Sendiri	658.625	371.563
Struktur Atas	175.42	315.76
Struktur Atas Tambahan	15.63	28.13
BTR	3.82	6.876
BGT	34.30	61.74
Jumlah	8899.29	19329.2
Momen Horizontal		
Rem	36.5625	518.091
Gempa Akibat Struktur Bawah	142.70	597.21
Tek. Tanah	17.415	56.60
Gempa Akibat Struktur Atas	114.03	228.05
Jumlah	310.705	1399.949

j Pembebanan dari arah kiri pilar

Tabel 4. 83 Rekapitulasi Pembebanan dari Arah Kiri

Jenis Beban	Beban (kN)	Momen (kNm)
Momen Vertikal		
Struktur Atas	175.42	-315.76
Struktur Atas Tambahan	15.63	-28.13
BTR	3.82	-6.876
BGT	34.30	-61.74
Jumlah	8253.46	-18936.7
Momen Horizontal		
Rem	36.5625	518.091
Gempa Akibat Struktur Bawah	142.70	597.21
Gempa Akibat Struktur Atas	114.03	228.05
Jumlah	179.265	1115.299

Tabel 4. 84 Kombinasi Pembebanan

Kondisi	Arah			
	q Vertikal (kN)	M Vertikal (kNm)	q Horizontal (kN)	M Horizontal (kNm)
Ekstrem 1	1696.67	483.03	604.00	2743.30
Kuat 1	1757.66	483.03	149.04	1935.87
Kuat 2	1727.17	371.56	119.79	1092.78

Setelah melakukan perhitungan kombinasi pembebanan selanjutnya di periksa terhadap stabilitas abutment:

SF = 3	Nilai N_c , N_q , dan N_γ untuk sudut geser 25°
Kohesi (c) = 12	berdasarkan Tabel Terzaghi
BJ Tanah = 17.2 kN/m ²	$N_c = 25.1$
Sudut geser = 25°	$N_q = 12.7$
Df = 2.5	$N_\gamma = 9.7$
B = 7	

$$q_u = cN_c + DfN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

$$= 12 \times 25.1 + 2.5 \times 17.2 \times 12.7 + \frac{1}{2} \times 17.2 \times 7 \times 9.7$$

$$= 1389.53$$

$$q_{all} = \frac{1}{SF} \times q_u$$

$$= \frac{1}{3} \times 1389.53$$

$$= 463.18$$

Selanjutnya cek stabilitas pilar

Tabel 4. 85 Cek Stabilitas Pilar

Kondisi	Cek Stabilitas							
	Guling		Geser		Eksentrisitas		Daya Dukung Tanah	
Ekstrem 1	2.809	≥ 1.5	1.66	≥ 1.5	0.3440	< 1.167	16.57	< 463.18
Kuat 1	11.793	≥ 1.5	6.90	≥ 1.5	0.3299	< 1.167	16.27	< 463.18
Kuat 2	14.418	≥ 1.5	8.47	≥ 1.5	0.3290	< 1.167	15.11	< 463.18

Sumber: Penulis

1) Kepala Pilar

Sebelum melakukan perhitungan kepala pilar, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh kepala pilar sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c'35$
- BJbeton = 2500 kg/m³
- Mutu baja = $f_y 420$ MPa
- d = 400 mm
- Selimut beton = 25 mm
- b = 1000 mm

- $d \text{ efektif} = 350 \text{ mm}$

Setelah menentukan parameter serta dimensi kepala pilar, selanjutnya adalah perhitungan beban yang akan diterima oleh kepala pilar sebagai berikut:

a Beban mati akibat struktur sendiri

Tabel 4. 86 Beban Mati Struktur Sendiri

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
Kepala 1	25.2	0	0

b Beban hidup akibat kendaraan

Tabel 4. 87 Beban Hidup Kendaraan

Beban	Beban	Lengan	Momen
Beban hidup terbagi rata (BTR)	7.64	0	0

Sumber: Penulis

c Perencanaan tulangan kepala abutment

$$\begin{aligned} M_u &= mBTR + MS \\ &= 0 + 0 \\ &= 0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{0}{0.8} \\ &= 0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{0 \times 10^6}{18000 \times 350^2} \\ &= 0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.035$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.035$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 35}$$

$$= 14.118$$

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

$$= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0}{420}} \right)$$

$$= 0$$

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

$\rho_{\min}$ Asmin Tul. Utama

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

$= 0.003 \times 1000 \times 350$

$= 1167 \text{ mm}^2 \rightarrow$ Dipakai D16-150 (1340 mm^2)

Asmin Tul. Bagi = $0.5 \text{ Asmin Tul. Utama}$

$= 0.5 \times 1167$

$$= 583.3 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D13-200 (664 mm}^2\text{)}$$

2) Konsol Pilar

Sebelum melakukan perhitungan konsol pilar, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh kepala konsol pilar sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c' 35$
- BJbeton = 2500 kg/m³
- Mutu baja = $f_y 420 \text{ MPa}$
- $d = 1700 \text{ mm}$
- Selimut beton = 75 mm
- $b = 3000 \text{ mm}$
- $d \text{ efektif} = 1625 \text{ mm}$

Setelah menentukan parameter serta dimensi kepala konsol pilar, selanjutnya adalah perhitungan beban yang akan diterima oleh kepala konsol pilar sebagai berikut:

a beban mati akibat struktur sendiri

1. beban dari arah kanan

Tabel 4. 88 Beban Mati dari Arah Kanan

Bagian Struktur	Beban	momen
Kepala 1	25.50	0.000
Kepala 2	21.875	0.000
Kepala 3	31.25	70.313
Kepala 4	52.5	118.125
Kepala 5	52.5	105
Kepala 6	39.0625	78.125
Kepala 7	39.0625	0.000
Struktur Atas	175.42	315.764
Jumlah	200.92	687.33

2. beban dari arah kiri

Tabel 4. 89 Beban Mati dari Arah Kiri

Bagian Struktur	Beban	momen
Kepala 1	25.50	0
Kepala 2	21.875	0.000
Kepala 3	31.25	-70.313
Kepala 4	52.5	-118.125
Kepala 5	52.5	-105
Kepala 6	39.0625	-78.125

Bagian Struktur	Beban	momen
Kepala 7	39.0625	0.000
Struktur Atas	175.42	-315.76
Jumlah	200.92	-687.33

b Beban hidup

1. Beban dari arah kanan

Tabel 4. 90 Beban Hidup dari Arah Kanan

Bagian Struktur	Beban	momen
BTR	3.82	6.88
BGT	34.30	61.74
Rem	518.091	518.09
jumlah		586.71

2. Beban dari arah kiri

Tabel 4. 91 Beban Hidup dari Arah Kiri

Bagian Struktur	Beban	momen
BTR	3.82	-6.88
BGT	34.30	-61.74
Rem	518.091	518.09
jumlah		449.47

Sumber: Penulis

c Rekapitulasi beban

$$V_u = 0$$

$$M_u = 1036.19 \text{ kNm}$$

d Perhitungan tulangan

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{V_u}{\phi} \\
 &= \frac{0}{0.8} \\
 &= 0 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

e Periksa dimensi konsol bendel

$$V_n < 0.2 \times f_c' \times b \times b_{eff}$$

$$0 < 61425000$$

$$V_n < 5.5 \times b \times h_{eff}$$

$$0 < 26812500$$

f Penentuan tulangan friksi

Konsol monolit = 1.4

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{V_n}{1.4 \times f_y} \\ &= \frac{0 \times 10^3}{1.4 \times 420} \\ &= 0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

g Menentukan luas tulangan A_f dan A_n

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \times A + N_u (h - d) \\ &= 129522500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_f &= \frac{M_u}{0.8 \times f_y \times 0.85 \times d} \\ &= \frac{129522500}{0.8 \times 420 \times 0.85 \times 1625} \\ &= 279.08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{H_u}{0.8 \times f_y} \\ &= \frac{1036.18 \times 10^3}{0.8 \times 420} \\ &= 3083.87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

h Menentukan tulangan pokok A_s dengan memilih persamaan yang terbeser dari perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} 1. \quad A_s &= \frac{2}{3} \times A_{vf} + A_n \\ &= \frac{2}{3} \times 0 + 3083.87 \\ &= 3083.87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad A_s &= A_f + A_n \\ &= 3362.96 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$3. \quad A_{s \text{ min}} = \frac{0.04 \times f_c}{f_y \times b \times h_{eff}}$$

$$= 2400 \text{ mm}^2$$

Sehingga $A_s = 3362.96 \text{ mm}^2 \rightarrow$ Dipakai D25-125 (3927 mm^2)

$$A_{\text{min Tul. Bagi}} = 0.5 A_{\text{min Tul. Utama}}$$

$$= 0.5 \times 3362.96$$

$$= 1681.48 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D19-150 (1890 mm}^2\text{)}$$

i Menentukan tulangan A_h

$$A_h = \frac{1}{2} \times A_s + A_n$$

$$= 139.55 \text{ mm}^2$$

Sehingga $A_h = 139.55 \text{ mm}^2 \rightarrow$ Dipakai 3D13-900 (447 mm^2)

3) Badan Pilar

Sebelum melakukan perhitungan badan pilar, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh badan pilar sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c' 35$
- BJbeton = 2500 kg/m^3
- Mutu baja = $f_y 420 \text{ MPa}$
- $d = 1250 \text{ mm}$
- Selimut beton = 30 mm
- $b = 1000 \text{ mm}$
- $d \text{ efektif} = 1190 \text{ mm}$

Setelah menentukan parameter serta dimensi badan pilar, selanjutnya adalah perhitungan beban yang akan diterima oleh badan pilar sebagai berikut:

a Beban mati akibat struktur sendiri

Tabel 4. 92 Beban Mati Struktur Sendiri

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
Kepala 1	25.50	0.00	0.00
Kepala 2	21.88	0.00	0.00
Kepala 3	31.25	2.25	70.31
Kepala 4	52.50	2.25	118.13
Kepala 5	52.50	2.00	105.00
Kepala 6	39.06	2.00	78.13
Kepala 7	39.06	0.00	0.00
Badan Pilar	221.875	0.00	0.00
Struktur Atas	350.85	1.80	631.53
Jumlah	834.47		1003.09

b. Beban hidup yang diterima badan pilar

1. Beban dari arah kanan

Tabel 4. 93 Beban hidup dari Arah Kanan

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
BTR	7.64	1.80	13.75
BGT	68.60	1.80	123.48
Gempa Akibat Struktur Atas	228.05	3.00	684.16
Rem	73.13	14.17	1036.18
Gempa Akibat Struktur Bawah	285.40	3.18	907.59
Jumlah	662.82		2765.15

2. Beban dari arah kiri

Tabel 4. 94 Beban Hidup dari Arah Kiri

Bagian Struktur	Beban	Lengan	Momen
BTR	7.64	-1.80	-13.75
BGT	68.60	-1.80	-123.48
Gempa Akibat Struktur Atas	228.05	-3.00	-684.16
Rem	73.13	14.17	1036.18
Gempa Akibat Struktur Bawah	285.40	-3.18	-907.59
Jumlah	662.82		-692.79

Sumber: Penulis

c. Rekapitulasi momen yang bekerja

$$\begin{aligned}
 M_u &= M_D + M_L \\
 &= 1003.09 + 2072.36 \\
 &= 3075.45 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

d. Penulangan badan pilar

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{3075.45}{0.8} \\
 &= 3844.32 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{3844.32 \times 10^6}{1000 \times 1190^2}$$

$$= 2.175 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.035$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.035$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 35}$$

$$= 14.118$$

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

$$= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 2.175}{420}} \right)$$

$$= 0.005$$

$\rho_{\min} < \rho$, maka dipakai ρ

1) Asmin Tul. Utama = $\rho_{\min} \times b \times h_{ef}$

$$= 0.005 \times 1000 \times 1190$$

$$= 5950 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D29-100 (6650 mm}^2\text{)}$$

$$\begin{aligned} \text{Asmin Tul. Bagi} &= 0.5 \times \text{Asmin Tul. Utama} \\ &= 0.5 \times 5950 \\ &= 2975 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Dipakai D29-200} \\ &\quad (3303 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

2) Tulangan susut

Tabel 4. 95 Tulangan Susut Pilar

	Pilar	satuan
Tinggi abutmen (hi)	7100	mm
Lebar abutmen (b)	1000	mm
luas tulangan susut (Asst)	12780	mm ²

Diameter tulangan yang digunakan

$$D = 16 \text{ mm} \quad (\text{As} = 201.062 \text{ mm}^2)$$

Jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S_{abt} &= \frac{As \times h_i}{Asst} \\ &= \frac{201.062 \times 7100}{12780} \\ &= 11.701 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan susut D16-100.

4) Pilecap Pilar

Sebelum melakukan perhitungan Pilecap pilar, terlebih dahulu perencana menentukan dimensi dan beban yang akan diterima oleh pilecap sebagai berikut:

- Mutu beton = $f_c'35$
- BJbeton = 2500 kg/m³
- Mutu baja = $f_y 420 \text{ MPa}$
- $h = 1000 \text{ mm}$
- Selimut beton = 25 mm
- $b = 1000 \text{ mm}$
- $h \text{ efektif} = 950 \text{ mm}$

Setelah menentukan parameter serta dimensi pilecap, selanjutnya adalah perhitungan tegangan pada dasar yang akan diterima oleh pilecap sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M_u}{A} \\ &= \frac{483.03 + 2743.3}{126} \\ &= 25.61 \text{ kNm}\end{aligned}$$

- a Selanjutnya hitung momen ultimit yang bekerja pada arah x dan arah y

$$\begin{aligned}M_{ux} &= \frac{1}{8} \times \sigma \times \frac{1}{2} b^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 25.61 \times 3.5^2 \\ &= 39.21 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{uy} &= \frac{1}{8} \times \sigma \times \frac{1}{2} d^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 25.61 \times 9^2 \\ &= 259.26 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

- b Perencanaan penulangan

Tabel 4. 96 Perencanaan Penulangan Pilecap Pilar

Parameter	Tul. Atas X	Tul. Atas Y	Tul.Bawah X	Tul. Bawah Y
b	1000	1000	1000	1000
d ef	950	950	950	950
Mn	49.01	324.07	49.01	324.07
Rn	0.054	0.359	0.054	0.359
ρb	0.035	0.035	0.035	0.035
ρmin	0.0033	0.0033	0.003	0.003
ρmax	0.03	0.03	0.027	0.027
m	14.118	14.118	14.118	14.118
ρ	0.0004	0.001	0.000	0.001
As minimum	3167	3167	3166.667	3166.667
As dipakai	3927	3927	3927	3927

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$= \frac{39.21}{0.8}$$

$$= 49.01 \text{ kNm}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi}$$

$$= \frac{259.26}{0.8}$$

$$= 325.07 \text{ kNm}$$

$$R_{nx} = \frac{M_{nx}}{b \times d^2}$$

$$= \frac{49.01 \times 10^6}{1000 \times 950^2}$$

$$= 0.054 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ny} = \frac{M_{ny}}{b \times d^2}$$

$$= \frac{324.073 \times 10^6}{1000 \times 950^2}$$

$$= 0.359 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_b = \frac{\beta \times 0.85 \times f_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 35}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$= 0.035$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$= \frac{1.4}{420}$$

$$= 0.003$$

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.035$$

$$= 0.02$$

$$m = \frac{f_y}{0.85f_c}$$

$$= \frac{420}{0.85 \times 35}$$

$$= 14.118$$

$$\rho_x = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_{nx}}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0.054}{420}} \right)$$

$$= 0.0001$$

$$\rho_y = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times m \times R_{ny}}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{14.118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14.118 \times 0.359}{420}} \right)$$

$$= 0.0008$$

$\rho_{min} < \rho$, maka dipakai ρ

Asmin Tul. Utama Arah X = $\rho_{min} \times b \times h_{ef}$

$$= 0.003 \times 1000 \times 950$$

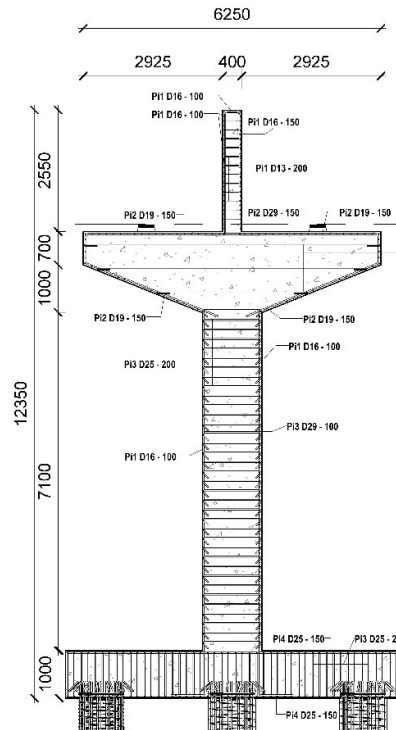
$$= 3167 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D25-150 (3272 mm}^2\text{)}$$

$\rho_{min} < \rho$, maka dipakai ρ

Asmin Tul. Utama Arah Y = $\rho_{min} \times b \times h_{ef}$

$$= 0.003 \times 1000 \times 950$$

$$= 3167 \text{ mm}^2 \quad \text{Dipakai D25-150 (3272 mm}^2\text{)}$$

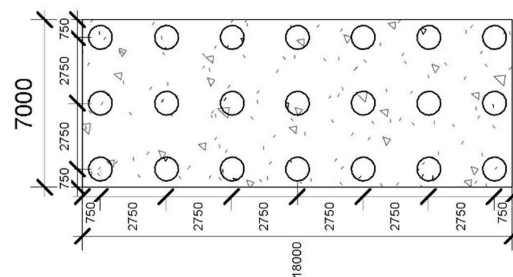


Gambar 4. 38 Detail Penulangan Pilar
Sumber: Penulis

4.1.4.11 Borepile Abutment

Sebelum melakukan perencanaan borepile terlebih dahulu menentukan parameter sebagai berikut:

Diameter,	D	$= 1 \text{ m}$
Panjang	L	$= 31 \text{ m}$
Mutu Beton	f'_c	$= 30 \text{ MPa}$
Mutu Tulangan	f_y	$= 420 \text{ MPa}$



Gambar 4. 39 Gambar Rencana Denah Pondasi Abutment

a Daya dukung ujung tiang

$N = 60$ (Nilai N-SPT kedalaman 23 m)

$$C_u = 4 N$$

$$= 4 \times 60$$

$$= 240 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = 9 C_u$$

$$= 9 \times 240$$

$$= 2160 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p A_p$$

$$= 2160 \times 0,785$$

$$= 1695.6 \text{ kN}$$

b Daya dukung selimut tiang

$\alpha = 0,55$ (menurut Reese & Wright, 1988)

$$f = \alpha C_u$$

$$= 0,55 \times 240$$

$$= 132 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = f L P$$

$$= 132 \times 31 \times 3,142$$

$$= 13961.904 \text{ kN}$$

c Daya dukung ultimit tiang

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 1695.6 + 13961.904$$

$$= 15657.504 \text{ kN}$$

d Daya dukung ijin tiang

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{15657.504}{3}$$

$$= 5219.168 \text{ kN}$$

e Efisiensi kelompok tiang

Perhitungan ini menggunakan metode Converse-Labarre:

$$M = 7 \quad (\text{Jumlah baris tiang})$$

$$N = 3 \quad (\text{Jumlah tiang dalam satu baris})$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{d}{s}$$

$$= \tan^{-1} \frac{1}{2.75}$$

$$= 19.983^\circ$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

$$= 1 - 19.983 \frac{(3-1)5 + (7-1)3}{90 \times 7 \times 3}$$

$$= 0.662$$

f Kapasitas izin kelompok tiang

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a$$

$$= 0.662 \times 21 \times 5219.17$$

$$= 72556.87 \text{ kN}$$

g Perhitungan beban struktur atas

1. Beban vertikal

Tabel 4. 97 Beban Vertikal Akibat Struktur Atas

Jenis Beban	Beban (kN)
Vertikal	
Bore pile	588.25
Struktur Atas	7543.25
Struktur Atas Tambahan	672.09
BTR	3.82
BGT	34.30
Gempa Akibat Struktur Atas	21451.12
Jumlah	30292.83

2. Kombinasi pembebanan

Tabel 4. 98 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Beban	P (kN)
	Vertikal
Layan I	8841.71
Layan III	8834.086
Kuat I	17264.021
Ekstream I	38646.52

h Cek control

Berikut merupakan hasil cek control daya dukung pondasi:

Tabel 4. 99 Cek Kontrol

Kombinasi Beban	Cek Kontrol		Ket.
	P < Qg		
Layan I	8841.71	72556.87	OK
Layan III	8834.09	72556.87	OK
Kuat I	17264.02	72556.87	OK
Ekstream I	38646.52	72556.87	OK

i Penulangan *Longitudinal*

Direncanakan :

Diameter D = 1000 mm

Luas penampang $A = 799130 \text{ mm}^2$

Luas tulangan yang diperlukan :

Diambil $\rho = 1\%$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times A \\
 &= 1\% \times 799130 \\
 &= 7991.3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Diambil tulangan D25 :

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 490.873 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{A_{s1}} \\
 &= \frac{7991.3}{490.873} \\
 &= 16.288 \\
 &= 18 \text{ Batang}
 \end{aligned}$$

j Penulangan geser

Sebelum melakukan perhitungan tulangan geser dilakukan perencanaan parameter sebagai berikut:

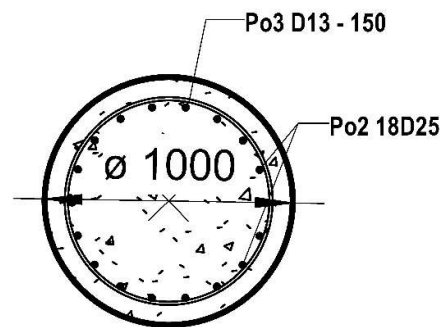
Mutu beton	$f'_c = 30 \text{ MPa}$	D tulangan	$= 13 \text{ mm}$
Mutu baja	$f_y = 420 \text{ MPa}$	A_s	$= 265,46 \text{ mm}^2$
Diameter	$D = 1000 \text{ mm}$	Jarak tulangan	$s = 75 \text{ mm}$
	$D_c = 850 \text{ mm}$		

Digunakan persamaan AASHTO pasal 5.11.4.1.4

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= 0.12 \times \frac{f'_c}{f_y} \\ &= 0.12 \times \frac{30}{420} \\ &= 0.0086 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_s &= \frac{4 \times A_s}{s \times D_c} \\ &= \frac{4 \times 265.46}{75 \times 850} \\ &= 0.0167 > \rho_{\text{perlu}} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan geser D13 – 75 hingga kedalaman 12 m, D13 – 150 untuk kedalaman 12-31 m.



Gambar 4. 40 Gambar Detail Penulangan Pondasi Borepile Abutment

4.1.4.12 Borepile Pilar

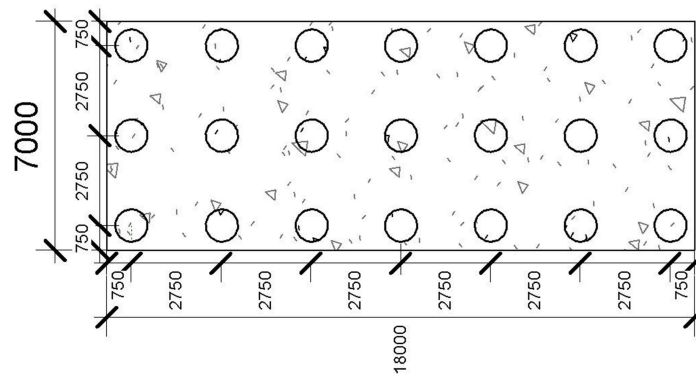
Sebelum melakukan perencanaan borepile terlebih dahulu menentukan parameter sebagai berikut:

Diameter, $D = 1 \text{ m}$

Panjang $L = 25.2 \text{ m}$

Mutu Beton $f_c = 30 \text{ MPa}$

Mutu Tulangan $f_y = 420 \text{ MPa}$



Gambar 4. 41 Gambar Renacan Denah Pondasi Pilar

a Daya dukung ujung tiang

$N = 60$ (Nilai N-SPT kedalaman 23 m)

$$C_u = 4 N$$

$$= 4 \times 60$$

$$= 240 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = 9 C_u$$

$$= 9 \times 240$$

$$= 2160 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_p = q_p A_p$$

$$= 2160 \times 0,785$$

$$= 1695.6 \text{ kN}$$

b Daya dukung selimut tiang

$\alpha = 0,55$ (menurut Reese & Wright, 1988)

$$f = \alpha C_u$$

$$= 0,55 \times 240$$

$$= 132 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_s = f L P$$

$$= 132 \times 25.2 \times 3,142$$

$$= 11349.68 \text{ kN}$$

c Daya dukung ultimit tiang

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 1695.6 + 11349.68$$

$$= 13045.3 \text{ kN}$$

d Daya dukung ijin tiang

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF}$$

$$= \frac{13045.3}{3}$$

$$= 4348.42 \text{ kN}$$

e Efisiensi kelompok tiang

Perhitungan ini menggunakan metode Converse-Labarre:

$$M = 7 \quad (\text{Jumlah baris tiang})$$

$$N = 3 \quad (\text{Jumlah tiang dalam satu baris})$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{d}{s}$$

$$= \tan^{-1} \frac{1}{2.75}$$

$$= 19.983^\circ$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

$$= 1 - 19.983 \frac{(3-1)5 + (7-1)3}{90 \times 7 \times 3}$$

$$= 0.662$$

f Kapasitas ijin kelompok tiang

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a$$

$$= 0,662 \times 21 \times 5219.17$$

$$= 72556.87 \text{ kN}$$

g Perhitungan beban struktur atas

1. Beban vertikal

Tabel 4. 100 Beban Vertikal Akibat Struktur Atas

Jenis Beban	Beban (kN)
Veritikal	
Bore pile	588.25
Struktur Atas	15744.83
Struktur Atas Tambahan	1344.18
BTR	7.64
BGT	68.60
Gempa Akibat Struktur Atas	9806.23
Jumlah	27559.72

2. Kombinasi pembebanan

Tabel 4. 101 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Beban	P (kN)
	Vertikal
Layan I	17753.50
Layan III	17738.247
Kuat I	35079.967
Ekstream I	44748.96

h Cek control

Berikut merupakan hasil cek control daya dukung pondasi:

Tabel 4. 102 Cek Kontrol

Kombinasi Beban	Cek Kontrol		Ket.
	P < Qg		
Layan I	17753.50	60451.81	OK
Layan III	17738.25	60451.81	OK
Kuat I	35079.97	60451.81	OK
Ekstream I	44748.96	60451.81	OK

i Penulangan *Longitudinal*

Direncanakan :

Diameter $D = 1000 \text{ mm}$

Luas penampang $A = 981250 \text{ mm}^2$

Luas tulangan yang diperlukan :

Diambil $\rho = 1\%$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times A \\ &= 1\% \times 981250 \\ &= 9812.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diambil tulangan D29 :

$$\begin{aligned} A_{s1} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 29^2 \\ &= 660.185 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{A_{s1}} \\ &= \frac{9812.5}{660.185} \\ &= 14.86 \\ &= 16 \text{ Batang} \end{aligned}$$

j Penulangan geser

Sebelum melakukan perhitungan tulangan geser dilakukan perencanaan parameter sebagai berikut:

Mutu beton	$f'_c = 30 \text{ MPa}$	D tulangan	$= 13 \text{ mm}$
Mutu baja	$f_y = 420 \text{ MPa}$	A_s	$= 265,46 \text{ mm}$
Diameter	$D = 1000 \text{ mm}$	Jarak tulangan	$s = 75 \text{ mm}$
	$D_c = 850 \text{ mm}$		

Digunakan persamaan AASHTO pasal 5.11.4.1.4

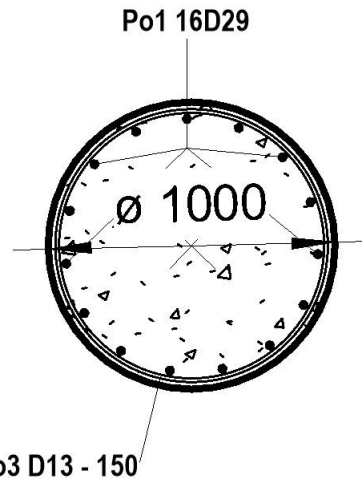
$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= 0.12 \times \frac{f'_c}{f_y} \\ &= 0.12 \times \frac{30}{420} \\ &= 0.0086 \end{aligned}$$

$$\rho_s = \frac{4 \times A_s}{s \times D_c}$$

$$= \frac{4 \times 265.46}{75 \times 850}$$

$$= 0.0167 > \rho \text{ perlu}$$

Digunakan tulangan geser D13 – 75 hingga kedalaman 12 m, D13 – 150 untuk kedalaman 12-25.2 m.



Gambar 4. 42 Gambar Detail Penulangan Pondasi Borepile Pilar

4.2 Pemodelan 3D Menggunakan Autodesk Revit

Setelah pada sub bab 4.1 dilakukan perhitungan struktur Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074 yang dimulai dari parapet hingga *borepile*, tahapan selanjutnya dalam proses perencanaan ini adalah pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit. Pemodelan 3D didasarkan pada hasil perolehan perhitungan struktur yang menghasilkan dimensi yang sesuai dan memenuhi standar. Pemodelan struktur jembatan meliputi komponen struktur seperti struktur beton, pembesian dan komponen jembatan lainnya seperti aspal. Dalam pemodelan Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074 kami menggunakan Autodesk Revit versi 2024. Langkah pemodelan menggunakan Autodesk Revit dapat dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

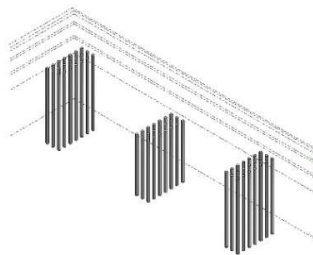
- 1) Membuka Autodesk Revit 2024 dan melakukan pembuatan project baru dengan menekan pilihan "*new*" pada opsi tabel model
- 2) Setelah pemilihan opsi baru, dilanjutkan pemilihan opsi *Structural Template*, kemudian menekan menu *Create New* untuk opsi *Project* dan dilanjutkan menekan OK
- 3) Langkah selanjutnya adalah pembuatan *Grid* sebagai acuan dalam melakukan pemodelan
 6. *Grid* arah x digunakan sebagai penentuan penempatan girder jembatan.
 7. *Grid* arah y digunakan sebagai penentuan penempatan diafragma jembatan.
 8. *Grid* Arah z digunakan sebagai ketinggian elevasi rencana dari struktur jembatan
- 4) Setelah proses pembuatan Grid, tahapan lanjutan adalah pembuatan elevasi untuk struktur seperti pilecap, parapet, plat lantai, PCI Girder dan lain – lain. Pembuatan elevasi dilakukan dengan memilih opsi "*View*" pada menu *Elevations*.
- 5) Tahapan selanjutnya setelah proses pembuatan *Grid* dan elevasi adalah membuat *family* untuk masing – masing item yang ada di Jembatan. Pembuatan *family* ini dikarenakan dalam Autodesk Revit sampai saat ini belum tersedia family khusus untuk struktur jembatan. Item struktur yang

akan dibuat adalah parapet, pelat lantai, pelat injak, gelagar (PCI Girder), plat deck, *bearing pad*, abutmen, pilar, kemudian pondasi berupa pondasi *borepile*. Kemudian struktur tersebut dibuat *family* secara terpisah-pisah dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pilih tab *file* kemudian pilih *New* dan pilih opsi *Famliy*
2. Setelah memilih opsi *family* dilanjutkan memilih salah satu template yaitu opsi *template structural foundation*
3. Tahapan selanjutnya dalah membuat potongan melintang dengan cara memilih opsi *view left/right*, kemudian dilanjutkan tahapan dimensi secara memanjang dengan memilih *tab Properties* dan memilih *Extrusion End*.
4. Setelah model 3D dibuat, tahapan selanjutnya adalah memilih jenis material dengan memilih *tab properties* dan menekan opsi material lalu pilih *Create New Material*, masukan nama material dan memilih jenis material, kemudian tekan OK.
5. Dalam pembuatan setiap *family* lakukan tahapan *input* dalam *project* dengan menekan *load into project*, kemudian *family* yang sudah dibuat diletakkan pada *grid* dan elevasi yang sudah direncanakan sebelumnya.
6. Tahapan berikutnya adalah proses penulangan struktur jembatan dengan cara menekan struktur yang akan dibuat tulangan kemudian pilih opsi *rebar*. Penulangan dapat dilakukan dengan memilih opsi yang disediakan di Autodesk Revit ataupun membuat tulangan melalui *sketch rebar* untuk tulangan yang memiliki kerumitan tertentu.

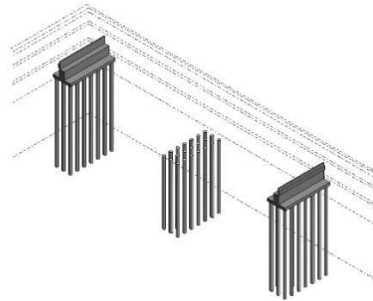
Dibawah ini merupakan hasil dari pembuatan family dari struktur jembatan:

a. Pekerjaan pondasi *borepile*



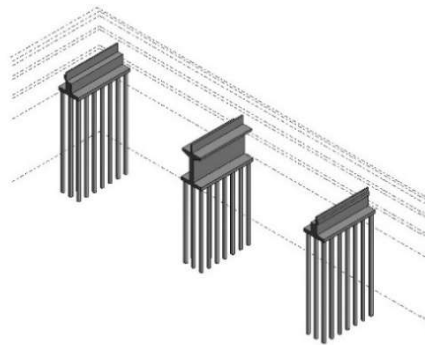
Gambar 4. 43 Pekerjaan Pondasi *Borepile*

b. Pekerjaan pilecap dan abutment



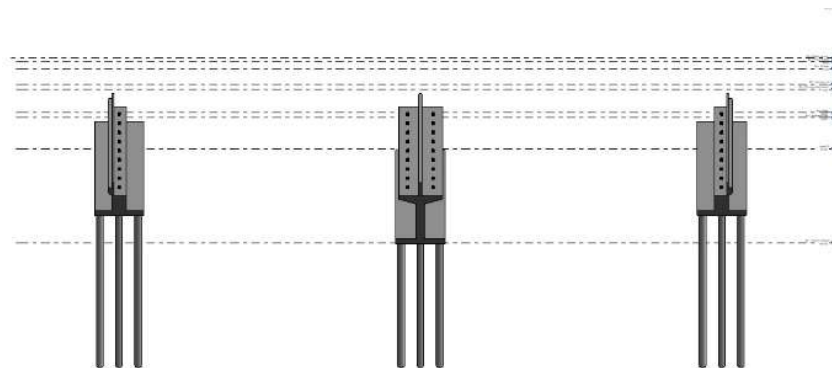
Gambar 4. 44 Pekerjaan Pilecap dan Abutment

c. Pekerjaan pilar



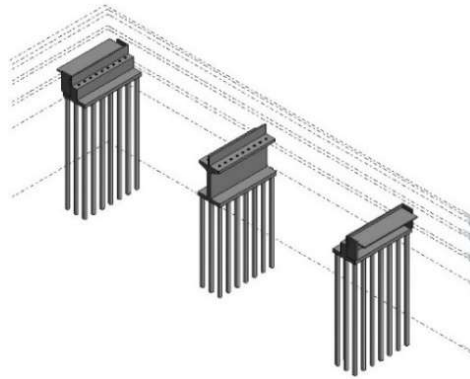
Gambar 4. 45 Pekerjaan Pilar

d. Pekerjaan bearing pad



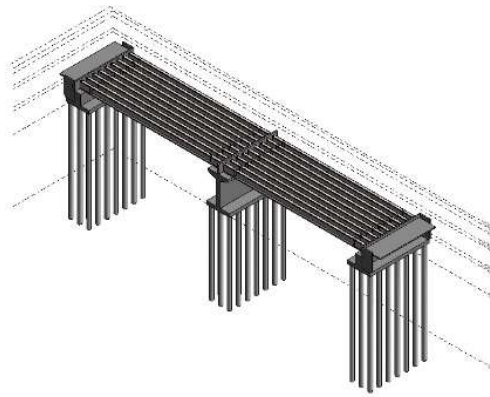
Gambar 4. 46 Pekerjaan Bearing Pad

e. Pekerjaan *wingwall* dan plat injak



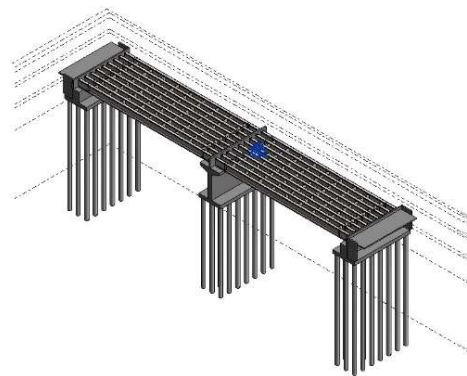
Gambar 4. 47 Pekerjaan Wingwall dan Pelat Injak

f. Pekerjaan gelagar (PCI Girder)



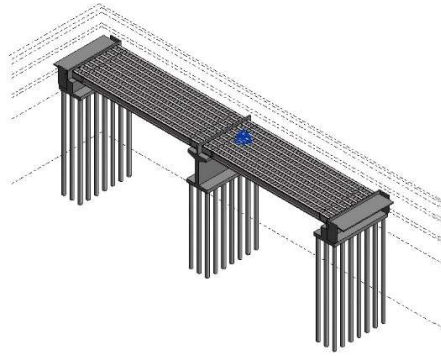
Gambar 4. 48 Pekerjaan Gelagar

g. Pekerjaan diafragma



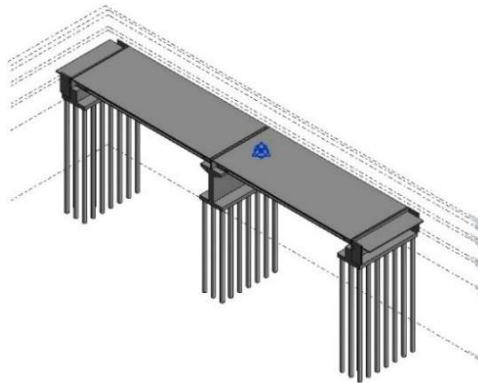
Gambar 4. 49 Pekerjaan Diafragma

h. Pekerjaan plat deck



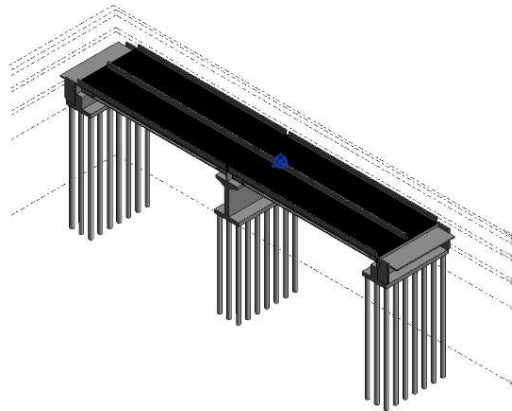
Gambar 4. 50 Pekerjaan Pelat Deck

i. Pekerjaan plat lantai



Gambar 4. 51 Pekerjaan Pelat Lantai

j. Pekerjaan aspal dan parapet



Gambar 4. 52 Pekerjaan Aspal dan Parapet

4.3 Perhitungan Biaya Menggunakan Microsoft Excel

Dalam melakukan perhitungan biaya suatu proyek, perencana harus menyusun item – item pekerjaan yang terkait dengan proses pelaksanaan proyek tersebut. Berikut adalah langkah dalam perhitungan biaya Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074:

- 1) Mengidentifikasi item pekerjaan yang sesuai didasarkan pada Spesifikasi Umum Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol 2022 berdasarkan divisi yang sesuai.
- 2) Menyusun Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) pada item pekerjaan. Acuan harga dalam AHSP dalam proses perencanaan Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074 adalah menggunakan harga acuan Kota Semarang dan dilakukan perbandingan dengan Kabupaten Majalengka dengan perbandingan Upah Minimum Pekerja (UMP). Sedangkan untuk analisis kebutuhan pekerja, bahan dan peralatan mengacu pada Harga Satuan Pekerjaan (HSP) Konstruksi Bina Marga dan Peraturan Wali Kota Semarang tahun 2025.
- 3) Setelah menyusun AHSP, tahapan selanjutnya adalah mengalikan volume tiap item pekerjaan dengan masing-masing AHSP.
- 4) Seluruh total biaya perdivisi yang telah dikelompokkan tadi adalah harga total proyek.
- 5) Harga proyek tersebut ditambahkan dengan PPN atau Pajak Pertambahan Nilai sebesar 12%.
- 6) Hasil harga proyek ditambah dengan PPN tersebut merupakan Rencana Anggaran Biaya Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074.
- 7) Setelah diketahui nilai total seluruh proyek ditambah dengan PPN kemudian dapat dicari bobot pekerjaan dengan cara pembagian antara harga per item pekerjaan dengan nilai keseluruhan proyek dan dilakukan dengan seratus.
- 8) Bobot pekerjaan tersebut dapat digunakan dalam proses selanjutnya yaitu penjadwalan proyek.

REKAPITULASI RANCANGAN ANGGARAN BIAYA

Kegiatan : Perencanaan Jembatan
 Pekerjaan : Pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074
 Lokasi : Kab. Majalengka

Tabel 4. 103 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

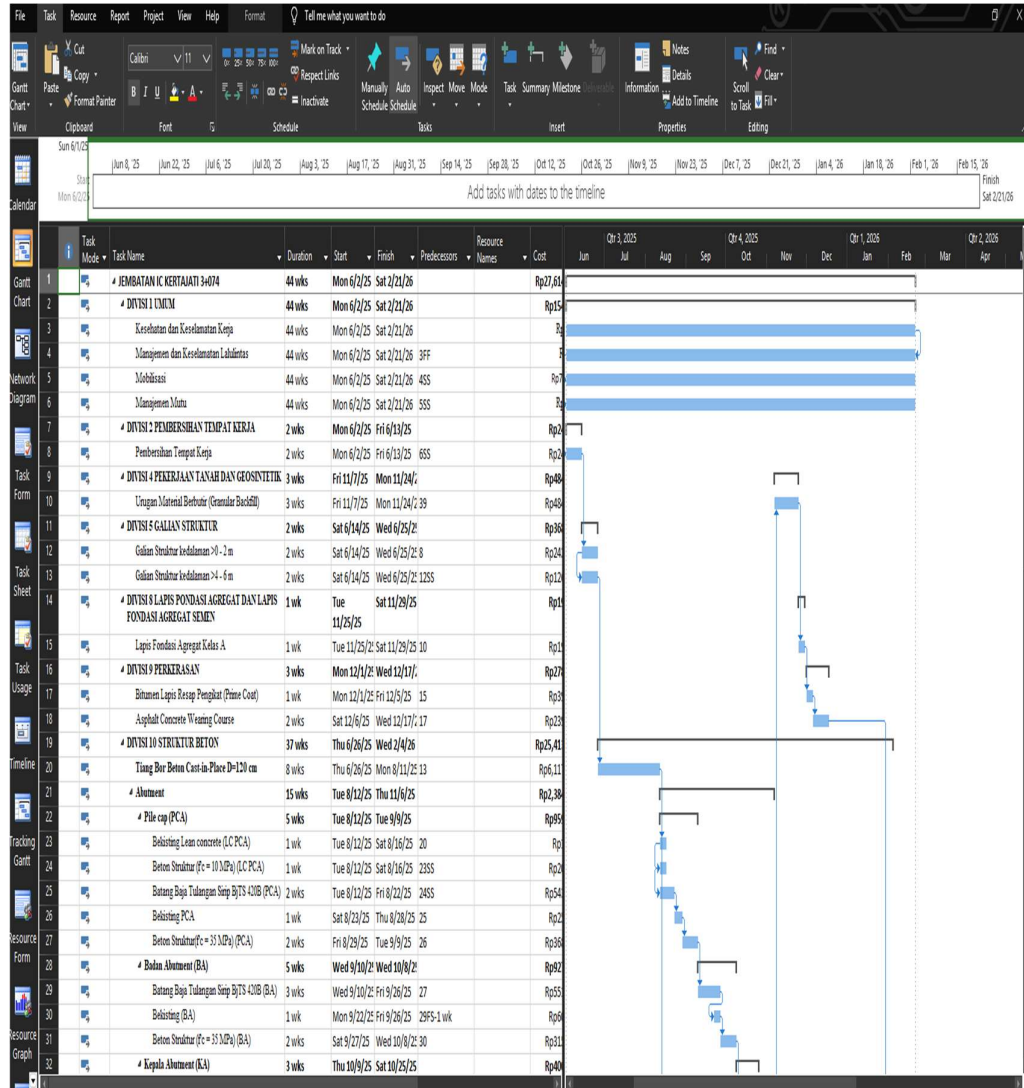
No. Divisi	Uraian	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)
1	Umum	Rp154,765,178.074
2	Pembersihan Tempat Kerja	Rp24,516,698.639
3	Pembongkaran	Rp0.000
4	Pekerjaan Tanah dan Geosintetik	Rp484,670,782.402
5	Galian Struktur	Rp368,745,547.546
6	Drainase	Rp0.000
7	Subgrade	Rp0.000
8	Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Fondasi Agregat Semen	Rp19,529,422.666
9	Perkerasan	Rp278,229,598.520
10	Struktur Beton	Rp23,809,233,565.527
11	Pekerjaan Baja Struktural	Rp0.000
12	Pekerjaan Lain-lain	Rp871,201,776.713
13	Pencahayaan, Lampu Lalu-lintas, dan Pekerjaan Listrik	Rp0.000
14	Plaza Tol	Rp0.000
15	Relokasi Utilitas dan Layanan yang Ada	Rp0.000
16	Kantor dan Fasilitas Tol	Rp0.000
17	Pekerjaan Harian	Rp0.000
(A) Jumlah Harga Pekerjaan (termasuk biaya umum dan keuntungan)		Rp26,008,005,740.269
(B) Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 12% x (A)		Rp3,120,960,688.832
(C) JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN = (A) + (B)		Rp29,128,966,429.101
DIBULATKAN		Rp29,128,966,000.000
Terbilang: Dua Puluh Sembilan Milyar Seratus Dua Puluh Delapan Juta Sembilan Ratus Enam Puluh Enam Ribu Rupiah		

4.4 Penjadwalan Proyek Menggunakan Microsoft Project

Setelah melakukan perhitungan biaya, tahapan selanjutnya adalah melakukan perencanaan penjadwalan Jembatan IC akses Kertajati STA 3+074 menggunakan Microsoft Project dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Tahapan penjadwalan yang pertama dilakukan dengan Microsoft Excel. Perencanaan penjadwalan menggunakan satuan minggu untuk durasi pekerjaan. Penjadwalan dilakukan dengan cara bobot pekerjaan dibagi dengan rencana durasi pekerjaan dan diperoleh bobot untuk per minggu.
- 2) Setelah itu bobot per minggu disusun sesuai tahapan dalam pekerjaan pembangunan dan syarat untuk melakukan suatu pekerjaan.
- 3) Seluruh bobot pekerjaan dalam satu minggu tersebut diakumulasikan menjadi bobot rencana per minggu.
- 4) Kemudian bobot rencana per minggu dikumulatifkan menjadi bobot kumulatif rencana.
- 5) Setelah mengetahui bobot kumulatif rencana, dilanjutkan dengan pembuatan Kurva S. Secara garis besar Kurva S adalah grafik yang menunjukkan progres proyek. Jika grafik tersebut membentuk ataupun hampir membentuk huruf S itu akan menunjukkan penjadwalan yang baik.
- 6) Setelah pembuatan grafik Kurva S, tahapan lanjutan adalah melakukan penjadwalan dalam Microsoft Project.
- 7) Microsoft Project digunakan untuk memperoleh *network diagram*.
- 8) Seluruh item pekerjaan yang tadi ditentukan kemudian dimasukkan ke dalam kolom *task name* di Microsoft Project.
- 9) Untuk harga pekerjaan dimasukkan ke dalam kolom *cost* dan durasi rencana dimasukkan dalam kolom *duration*.
- 10) Setelah seluruh item dimasukkan, selanjutnya adalah mengatur *task mode* dalam mode *auto schedule*.
- 11) Tahapan setelahnya adalah menambahkan hubungan pekerjaan atau urutan sesuai dengan kurva S pada kolom *predecessors*. Kemudian cek kembali *network diagram* apakah sudah sesuai dengan kurva S.

Hasil network diagram dapat dilihat dalam lampiran.

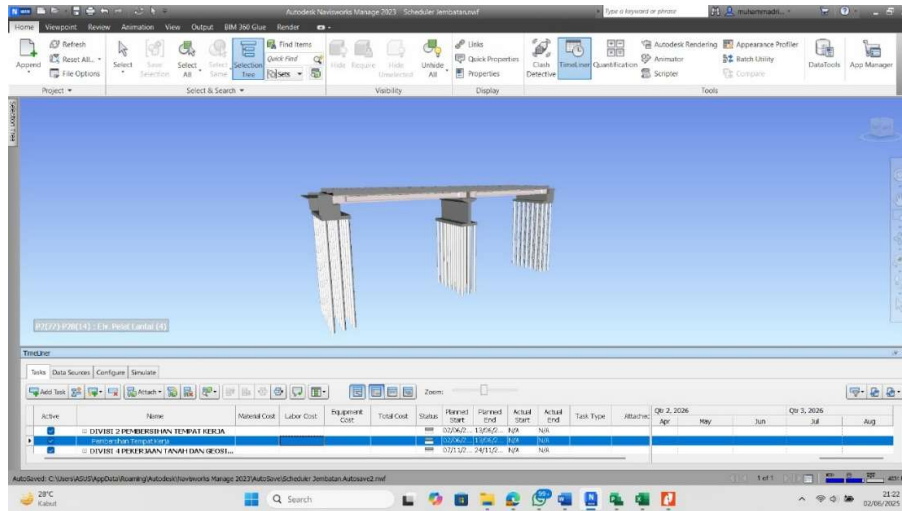


Gambar 4. 53 Time Schedule Pekerjaan Konstruksi Jembatan IC Kertajati 3+074

4.5 Integrasi 3D dan 5D Menggunakan Autodesk Naviswork

Setelah melakukan tahapan pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit dan penjadwalan proyek menggunakan Microsoft Project, tahapan selanjutnya adalah integrasi 3D dan 5D tersebut menggunakan Autodesk Naviswork. Berikut ini adalah tahapan dalam melakukan integrasi menggunakan Autodesk Naviswork:

- 1) Tahapan pertama adalah mengekspor *file* desain jembatan di Revit ke bentuk file NWC, dengan langkah sebagai berikut:
 1. Membuka Autodesk Revit, lalu pilih opsi “*add-in*” lalu pilih “*external tools*” dan pilih Naviswork sesuai dengan tahunnya.
 2. Setelah itu menyimpan *file* Revit tadi dengan format (.nwc.)
- 2) Setelah itu, buka Naviswork, langkah berikutnya buka *file* NWC revit tadi dengan cara menekan logo Navisowrk dan pilih opsi *file* NWC yang sudah disimpan.
- 3) Setelah model muncul, berikutnya adalah *import file* penjadwalan dengan cara menekan *timeliner* dan pilih data *resource* dan setelah itu pilih opsi sesuai tipe *file* Ms Project. Lalu akan muncul opsi “*field selector*” untuk mengatur ID, *start*, dan *Finish*, setelah proses tersebut penjadwalan otomatis muncul ke bar yang telah tersedia.
- 4) Tahap selanjutnya adalah mendefinisikan penjadwalan dengan item pekerjaan pada model jembatan. Langkah tersebut dilakukan dengan cara sebagai berikut:
 1. Pergi ke menu *timeliner* lalu ke *task*
 2. Pilih dan tekan kanan untuk penjadwalan yang sesuai
 3. Setelah itu tekan “*attach current selection*” dan tekan pada kolom “*task type*” dan ganti dengan pilihan “*construct*”
 4. Kerjakan langkah tersebut secara berulang hingga seluruh item pekerjaan telah terdefinisi sesuai dengan penjadwalan yang sebelumnya sudah dibuat.
- 5) Untuk melakukan simulasi pekerjaan dilakukan dengan cara menekan “*simulate*” pada *timeliner* dan tekan tombol *play*.



Gambar 4. 54 Integrasi menggunakan Autodesk Naviswork

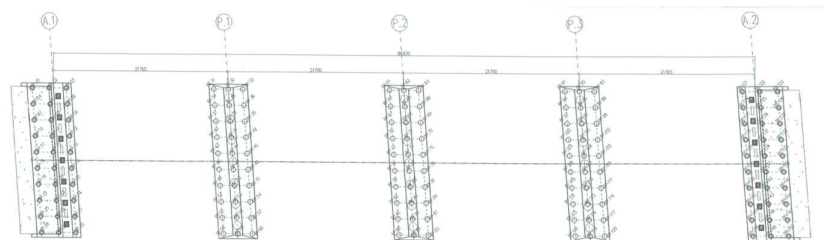
Sumber: Dokumen Proyek

4.6 Perbandingan desain baru dengan desain *eksisting*

Berdasarkan hasil desain 3D menggunakan Autodesk Revit, didapatkan desain baru yang dibandingkan dengan desain eksisting Perencanaan Jembatan IC Kertajati STA 3+074 sebagai berikut :

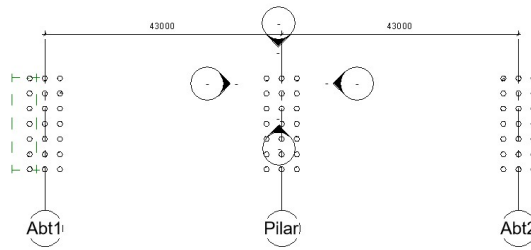
1. Desain pondasi

Pada desain eksisting, menggunakan Pondasi dengan diameter 600 mm dengan jumlah *borepile* 150 buah. Sedangkan setelah dilakukan redesain dan dilakukan perhitungan ulang, didapatkan jumlah *borepile* yang lebih efisien dengan diameter 1000 mm dengan jumlah 63 buah. Berdasarkan hasil tersebut, re-desain jembatan mengurangi jumlah pilar sehingga dapat mengurangi jumlah pondasi juga. Dengan perubahan desain tersebut, didapatkan pengefisiensi dalam melakukan metode pelaksanaan dan waktu pelaksanaan.



Gambar 4. 55 Denah Pondasi Eksisting

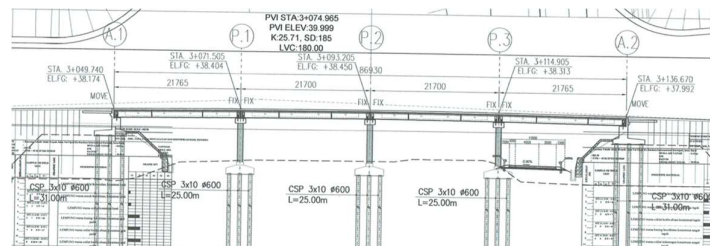
Sumber: Dokumen Proyek



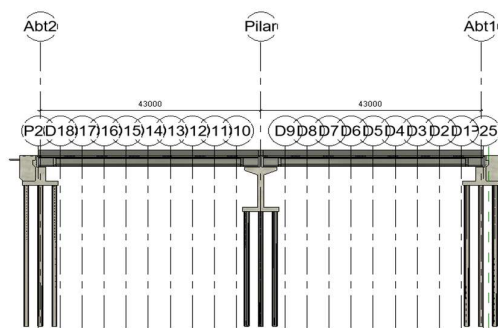
Gambar 4. 56 Gambar Denah Pondasi Re-desain
Sumber: Penulis

2. Desain pilar

Pada desain eksisting, Jembatan IC Kertajati STA 3+074 menggunakan kolom lingkaran dengan diameter 1000 mm sebagai badan pilar. Selain itu, pada desain eksisting membutuhkan 3 pilar dan 4 bentang dengan jarak 21700 mm. Sedangkan hasil dari redesain Jembatan IC Kertajati STA 3+074 menghasilkan struktur yang lebih efektif dengan menggunakan 1 pilar dan 2 bentang dengan jarak 43000 mm. Dari hasil tersebut dapat mengefektifkan metode pelaksanaan dan kebutuhan material yang lebih sedikit.



Gambar 4. 57 Gambar pilar Eksisting
Sumber: Dokumen Proyek

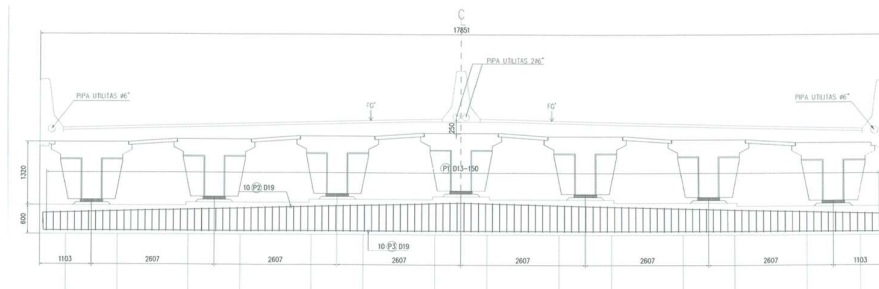


Gambar 4. 58 Gambar Pilar Re-desain
Sumber: Penulis

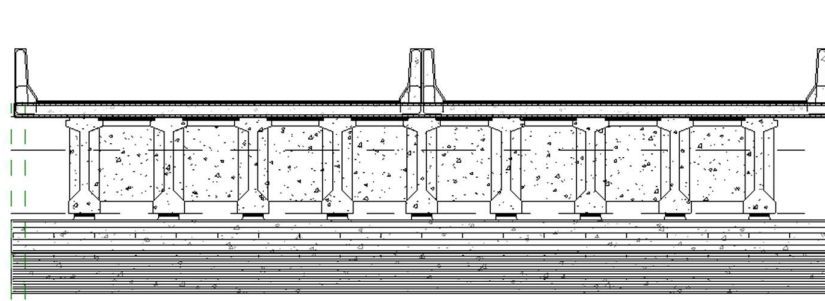
3. Desain gelagar

Pada desain eksisting, Jembatan IC Kertajati STA 3+074 menggunakan gelagar dengan tipe U-Girder sebagai struktur utama yang menopang beban pada struktur atas jembatan dengan tinggi 1200 mm dengan 4 bentang yang setiap bentangnya sebanyak 7 buah dengan panjang bentang 21700 mm dengan kapasitas momen maksimal 32.658,92 kNm sehingga dibutuhkan 28 buah U-Girder untuk struktur utama jembatan. Setelah dilakukan desain dan perhitungan ulang, menghasilkan bentang efektif menjadi 43000 mm dengan menggunakan I-Girder dengan dengan kapasitas momen maksimal tinggi 2100 mm sebanyak 9 buah dan total bentang menjadi 2 bentang dengan kapasitas momen maksimal 42.023,24 kNm sehingga hanya memerlukan 18 buah I-Girder untuk struktur utama jembatan. Melalui proses redesain ini, Perencanaan Struktur Jembatan IC Kertajati STA 3+074 menjadi lebih efektif dan efisien karena dapat mengurangi penggunaan struktur besar seperti pilar dan gelagar. Pengurangan penggunaan struktur besar ini membuat kebutuhan material, kebutuhan biaya, waktu konstruksi, sampai metode pelaksanaan menjadi efektif dan efisien.

Penggunaan beton prategang dalam proyek konstruksi jembatan menengah sudah sangat banyak digunakan dan memiliki berbagai macam jenis (Caesar et al., 2024). Pada proyek Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074, memakai Girder Tipe U yang menggunakan bentang pendek sehingga memerlukan pilar sebagai struktur tambahan. Oleh karena itu, efisiensi struktur dilakukan sebagai komparasi terhadap kondisi eksisting dengan mengganti struktur atas menggunakan Girder Tipe I. Girder Tipe I dengan tinggi 2,1 m memiliki kehilangan gaya prategang lebih rendah sebesar 32,825% dibanding Girder Tipe U yang memiliki 1,85 m memiliki kehilangan gaya prategang sebesar 34,5 % (Darwis, 2016). Selain itu, Girder Tipe I memiliki volume dimensi yang lebih kecil dibandingkan Girder Tipe U sehingga jumlah kebutuhan tendon bisa lebih sedikit dibanding Girder Tipe U. Berdasarkan perbandingan, Girder Tipe I jauh lebih ekonomis dibandingkan Girder Tipe U (Propika Jaka, 2022).



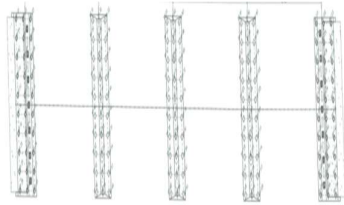
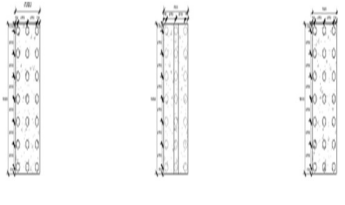
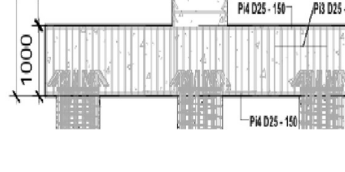
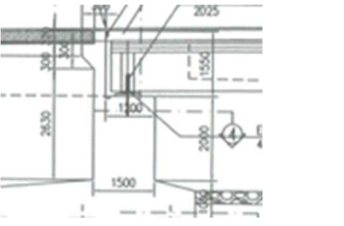
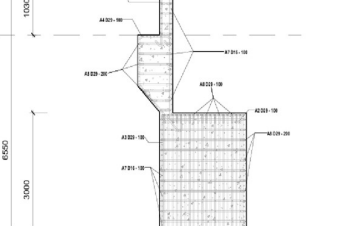
Gambar 4. 59 Gambar Gelagar Eksiting
Sumber: Dokumen Proyek



Gambar 4. 60 Gambar Gelagar Re-desain
Sumber: Penulis

4. Tabel perbandingan desain Eksisting dengan hasil Re-desain

Tabel 4. 104 Perbandingan Desain Eksisting dengan Hasil Re-Desain

No	Struktur	Gambar Eksisting	Gambar Re-desain	Perbedaan	
				Eksiting	Re-desain
1	Pondasi			- CSP (Concrete Spun Pile) - Diameter 600 mm - Jumlah 150 buah - Mutu beton f_c 50 MPa	- Borepile - Diameter 1000 mm - Jumlah 63 buah - Mutu Beton f_c 30 MPa
2	Pilecap			- Dimensi pilecap (p x l x t) adalah (16,9 x 5,5 x 0,75) meter - Mutu beton f_c 30 Mpa	- Dimensi pilecap (p x l x t) adalah (18 x 7 x 1) meter - Mutu beton f_c 35 MPa
3	Abutment			- Dimensi (p x l x t) adalah (16,9 x 1,5 x 2,9) meter - Mutu beton f_c 30 MPa	- Dimensi (p x l x t) adalah (18 x 2 x 3,55) meter - Mutu beton f_c 35 MPa

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perencanaan ulang Jembatan IC Kertajati STA 3+074 dengan hasil sebagai berikut:

- 1) Desain akhir dengan perhitungan struktur sebagai berikut:
 - a. Pondasi tipe borepile dengan diameter 1 m dengan panjang pada struktur abutment 31 m dan pada struktur pilar 25,2 m. Total seluruh borepile berjumlah 63 buah.
 - b. Dimensi pile cap dengan ukuran (p x l x t) sebesar (18 x 7 x 1) meter
 - c. Total tinggi abutment adalah 3,55 meter untuk kedua abutment dan pilar dengan tinggi 11,35 meter.
 - d. Menggunakan Gelagar Tipe I atau PC-I Girder dengan H-210, CTC 1,85 meter, dan panjang bentang 43 meter dengan total berjumlah 18 buah.
 - e. Pelat lantai dengan ukuran (p x l x t) sebesar (43 x 17,85 x 0.30) m dengan berada pada dua bentang jembatan.
- 2) Hasil pemodelan Jembatan IC Kertajati STA 3+074 menggunakan Autodesk Revit memerlukan konfigurasi-konfigurasi pada pemodelan tertentu dikarenakan penggunaan Autodesk Revit untuk pemodelan jembatan masih terbatas dalam pemilihan family struktur jembatan seperti dalam pemodelan PC-I Girder. Hal tersebut dapat mengurangi efektifitas serta efisiensi dalam pekerjaan perencanaan ulang Jembatan IC Kertajati STA 3+074.
- 3) Didapatkan hasil Rencana Anggaran Biaya (RAB) total harga seluruh divisi dalam pekerjaan Pembangunan Jembatan IC Kertajati STA 3+074 dengan tambahan PPN sebesar 12% didapatkan nilai RAB sebesar Rp29,128,966,000.000
- 4) Hasil dari perencanaan ulang penjadwalan Jembatan IC Kertajati STA 3+074 didapatkan durasi pekerjaan selama 44 minggu (11 bulan atau 330 hari kalender). Serta bobot rencana tertinggi sebesar 5,49% pada minggu ke-18.

- 5) Hasil dari integrasi pemodelan 3D, 4D, dan 5D menggunakan Autodesk *Navisworks* adalah redesain Jembatan IC Kertajati STA 3+074 yang lebih efektif dan efisien dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi.
- 6) Hasil perbandingan desain setelah melakukan perencanaan ulang didapatkan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074 aman terhadap beban yang bekerja dengan bentang jembatan 43 meter menggunakan PCI-Girder dan pondasi *borepile* berjumlah 63 buah, total biaya pekerjaan Rp29.128.966.000,00 dengan rencana durasi pekerjaan selama 44 minggu. Perbandingan yang signifikan meliputi perubahan gelagar dari U-Girder menjadi I-Girder, pengurangan pilar yang semula tiga pilar menjadi satu pilar, dan pondasi yang semula 150 tiang diameter 600 mm menjadi 63 tiang diameter 1000 mm

5.2 Saran

Saran penulis dalam melakukan perencanaan lebih baik menggunakan bantuan software untuk melakukan perhitungan struktur terkhusus struktur jembatan seperti software Civil Midas agar proses analisis lebih akurat. Serta penggunaan Autodesk Revit dalam perencanaan dapat ditingkatkan agar memudahkan nantinya dalam penintegrasian antara model 3D dan 5D di software Autodesk Naviswork.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M. H. U. (2021). Comparison Between the BOQ of Conventional and BIM Method on BPJS Building in Central Jakarta. *Logic : Jurnal Rancang Bangun Dan Teknologi*, 21(1), 31–30. <https://doi.org/10.31940/logic.v21i1.2260>
- Anandita, D. P. (2023). *Tugas Akhir-Perencanaan Jembatan Beton Prategang Rsud Temanggung Dengan Berbasis Building Information Modelling (Bim)*.
- Aprisiana, M. (n.d.). *JEMBATAN INTERCHANGE JALAN TOL TEBING TINGGI – KISARAN (TAHAP I) TEBING TINGGI – INDRAPURA. Tahap I*.
- Autodesk Navisworks. (n.d.). *What is Nafiswork?* Retrieved October 12, 2023, from <https://www.autodesk.eu/products/navisworks/>
- Autodesk Revit. (n.d.). *What is Revit?* Retrieved October 12, 2023, from <https://www.autodesk.com/products/revit/>
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan. *Badan Standarisasi Nasional*, 1-67
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 2833:2016 Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. *Badan Standarisasi Nasional*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. *Badan Standarisasi Nasional*
- Berlian P., C. A., Adhi, R. P., Hidayat, A., & Nugroho, H. (2016). Perbandingan Efisiensi Waktu, Biaya, Dan Sumber Daya Manusia Antara Metode Building Information Modelling (BIM) Dan Konvensional (Studi Kasus: Perencanaan Gedung 20 Lantai). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 5(2), 220–229. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- Biancardo, S. A., Viscione, N., Oreto, C., Veropalumbo, R., & Abbondati, F. (2020). BIM approach for modeling airports terminal expansion. *Infrastructures*, 5(5), 1–14. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5050041>
- Caesar, A. J., Wananta, I. A., & Diponegoro, U. (2024). *PERENCANAAN ULANG PROYEK PEMBANGUNAN JEMBATAN SUNGAI BAJING (TOL SOLO –*

YOGYAKARTA STA 19+648) DENGAN BERBASIS BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) 5D Oleh.

- Christiandava, A. R., Azzahra, A., Nurdiana, A., & Setiabudi, B. (2023). Re-Design Struktur Gedung Head Office Awann Group Berdasarkan Integrasi BIM Autodesk melalui Revit, Naviswork, dan SAP2000. *Jurnal Sipil Dan Arsitektur*, 1(1), 16–32. <https://doi.org/10.14710/pilras.1.1.2023.16-32>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. *Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat*.
- Filza Wiranti, Sartika Nisumanti, & Khodijah Al Qubro. (2022). Analisis Perhitungan Quantity Take-Off Menggunakan Building Information Modeling (Bim) Pada Proyek Jalan Tol Indralaya-Prabumulih. *Jurnal Rekayasa*, 12(2), 192–202. <https://doi.org/10.37037/jrftsp.v12i2.134>
- Forth, K., Hollberg, A., & Borrmann, A. (2023). BIM4EarlyLCA: An interactive visualization approach for early design support based on uncertain LCA results using open BIM. *Developments in the Built Environment*, 16(August). <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100263>
- Kementerian PUPR. (2022). Bagian III : Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang BINA MARGA. *Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat*.
- Kensek, K. M. (2014). Building information modeling. *Building Information Modeling*, 1–285. <https://doi.org/10.4324/9781315797076>
- Muzdalifah, L., Fitri Kurniawati, E., Deise Ulul, E., & Gular Pamitra, K. (2019). Penjadwalan Proyek Perumahan Dengan Optimasi Waktu Dan Biaya Harian. *Jurnal Riset Dan Aplikasi Matematika (JRAM)*, 3(2), 78. <https://doi.org/10.26740/jram.v3n2.p78-87>
- Nugraha, G. H., & Elfrida, O. W. (2023). PERENCANAAN ULANG OVERPASS CABE RAYA, CIPUTAT, TANGERANG SELATAN BERBASIS BIM 4D Studi Kasus : Overpass Cabe Raya, Ciputat, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik*

Sipil Dan Arsitektur, VIII(I), 1–19.

- Nur Prasetyo, I. A., Rochman, T., & Wahiddin, W. (2021). Perencanaan Dan Pemodelan 3D Struktur Gedung Co-Working Space 4 Lantai Soekarno Hatta Kota Malang Berbasis Building Information Modeling (Bim). *Jurnal JOS-MRK*, 2(1), 78–84. <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2021.02.01.78-84>
- Piter, M. A., & I Ketut, S. (2024). Perbandingan Analisis Quantity Takeoff Berbasis Bim Dengan Metode Konvensional Pada Pekerjaan Struktur Jembatan Underpass Comparison Of Quantity Takeoff Analysis Based On Bim With Conventional Method For Underpass Bridge Structure Work. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 83–90. <http://jurnalnasional.ump.ac.id?index.php/civeng>
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. (2004). *RSNI T-12-2004 (Standar Strruktur Beton untuk Jembatan)*.
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *RSNI T-02-2005 (Standar Pembebanan untuk Jembatan)*.
- Rizky Utama, H., & Sekarsari, J. (2019). Analisa Faktor Penghambat Penerapan Building Information Modeling Dalam Proyek Konstruksi. *Jurnal Infrastruktur*, 4(1), 25–31. <https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v4i1.716>
- Suryadi, S., & Nasution, F. A. P. (2023). Revolusi Industri, Tren Pekerjaan Masa Depan, dan Posisi Indonesia. *Jurnal Ketenagakerjaan*, 18(2), 124–141. <https://doi.org/10.47198/jnaker.v18i2.237>



LEMBAR ASISTENSI

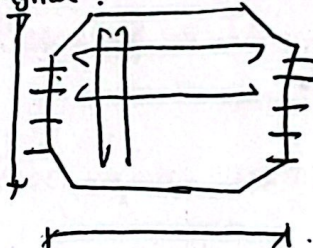
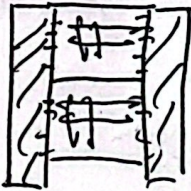
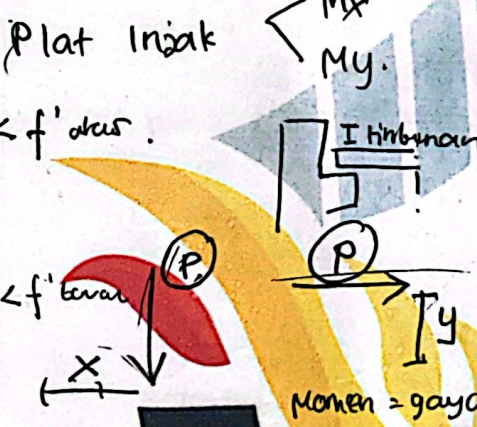
Nama : Muhammad Rizki Paula & Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521620128 & 40030521630100
Mata Kuliah : Tugas Akhir
Dosen : Asri Nurdiana, S.T., M.T.
Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	15 April 2025	→ beban perlu dihitung di software analisis struktur (Sap2000 dll) - Berat sendiri - Beban mati tambahan trotoar + Garis - Beban mati tambahan aspal + air hujan - beban truk - beban yg angin kendaraan → output Sap2000 - Momen tumpuan & lapangan → momen tumpuan & lapangan selanjutnya di hitung dg faktor beban : K₁, K₂, K₃, K₄ L₁ & L₂	
	21 April 2025	- Plat lantai, tebal aspal - Jarak pcd meratakan - Langitkan - Perbaiki Gab 1 sesuai catatan	



LEMBAR ASISTENSI

Nama : Muhammad Rizki Paula & Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650128 & 40030521650100
Mata Kuliah : Tugas Akhir
Dosen : Asri Nurdiana, S.T., M.T.
Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.

No	Tanggal	Uraian	Paraf
	30 - 4 - 25	Diafragma  Plat Deck  Plat Injak  Momen = gaya * jarak	





LEMBAR ASISTENSI

Nama : Muhammad Rizki Paula & Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650128 & 40030521650100
Mata Kuliah : Tugas Akhir
Dosen : Asri Nurdiana, S.T., M.T.
Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.

No	Tanggal	Uraian	Paraf
	7-5-2025.	- Prategang → left pol kondisi konstruksi - Pilar → cek momen - Laporan di submit - Model 3D dibuat	
	14 Mei 2025	- Laporan Bab I - III di lanjut ke Bab IV & V - Perbandingan desain dibuat tabel antara DED & redesain - Modelling Revit di lanjut → Plat lantai → dinding → Perulangan	





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
HIMPUNAN MAHASISWA SIPIL ARSITEKTUR
Jalan Prof. Sudharto, SH. Tembalang – Semarang, 50275



19-5-2025.	- Lanjutkan model Pent - Laporan disusun - Lanjut penjadwalan .	g.
20-5-2025	Lanjutkan Pent, RAB & penjadwalan .	g.





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
HIMPUNAN MAHASISWA SIPIL ARSITEKTUR
Jalan Prof. Sudharto, SH. Tembalang – Semarang, 50275



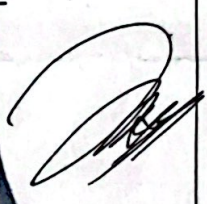
No	Tanggal	Uraian	Paraf
	27-5-2025	- Perbaiki RAB - Perbaiki Ms-Project - Laporan disusun - Draft jurnal - Draft poster y/ Hki	
	28-5-2025	- Perbaiki RAB. - Galian Struktur - Precast Draftragn - Concrete perapet - Kurva & Sudut segit - Laporan disusun rapi	





KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
HIMPUNAN MAHASISWA SIPIL ARSITEKTUR
Jalan Prof. Sudharto, SH. Tembalang – Semarang, 50275



2-5-2025	- Painswork ditambah vort - Laporan diperbaiki - Draft jurnal & poster HKI.	q.
3-6-2025	Jurnal diperbaiki Poster HKI	q.
4 Juni 2025	* Tata tulis diperbaiki Bab I-iv - Formatting - line spacing - Numbering - dll. - Margin. * Bab iv - Tampilkan salah satu contoh perhitungan lendutan - Tampilkan perhitungan M_n & V_n. * Bab v - Perbaiki pada point 3. & 4.	
4-6-2025	Acc	q.



LAMPIRAN



REKAPITULASI RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB)

Kegiatan : Perencanaan Jembatan

Pekerjaan : Pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074

Lokasi : Kab. Majalengka

No. Divisi	Uraian	Jumlah Harga Pekerjaan (Rupiah)
1	Umum	Rp151,878,348.256
2	Pembersihan Tempat Kerja	Rp24,516,698.639
3	Pembongkaran	Rp0.000
4	Pekerjaan Tanah dan Geosintetik	Rp484,670,782.402
5	Galian Struktur	Rp368,745,547.546
6	Drainase	Rp0.000
7	Subgrade	Rp0.000
8	Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Fondasi Agregat Semen	Rp19,529,422.666
9	Perkerasan	Rp278,229,598.520
10	Struktur Beton	Rp23,809,233,565.527
11	Pekerjaan Baja Struktural	Rp0.000
12	Pekerjaan Lain-lain	Rp871,201,776.713
13	Pencahayaayan, Lampu Lalu-lintas, dan Pekerjaan Listrik	Rp0.000
14	Plaza Tol	Rp0.000
15	Relokasi Utilitas dan Layanan yang Ada	Rp0.000
16	Kantor dan Fasilitas Tol	Rp0.000
17	Pekerjaan Harian	Rp0.000
(A) Jumlah Harga Pekerjaan (termasuk biaya umum dan keuntungan)		Rp26,008,005,740.269
(B) Pajak Pertambahan Nilai (PPN) = 11% x (A)		Rp2,860,880,631.430
(C) JUMLAH TOTAL HARGA PEKERJAAN = (A) + (B)		Rp28,868,886,371.698
DIBULATKAN		Rp28,868,886,000.000
<i>Terbilang: Dua Puluh Delapan Milyar Delapan Ratus Enam Puluh Delapan Juta Delapan Ratus Delapan Puluh Enam Ribu Rupiah</i>		

RENCANA ANGGARAN BIAYA

No Item	Item Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
DIVISI 1 UMUM					
1.1	Kesehatan dan Keselamatan Kerja	Ls	1	Rp46,541,029.31	Rp46,541,029.31
1.2	Manajemen dan Keselamatan Lalulintas	Ls	1	Rp5,000,000.00	Rp5,000,000.00
1.3	Mobilisasi	Ls	1	Rp77,000,000.00	Rp77,000,000.00
1.4	Manajemen Mutu	Ls	1	Rp23,337,318.95	Rp23,337,318.95
Jumlah Divisi 1					Rp151,878,348.26
DIVISI 2 PEMBERSIHAN TEMPAT KERJA					
2.1	Pembersihan Tempat Kerja	m2	5000	Rp4,903.34	Rp24,516,698.64
Jumlah Divisi 2					Rp24,516,698.64
DIVISI 4 PEKERJAAN TANAH DAN GEOSINTETIK					
4.1	Urugan Material Berbutir (Granular Backfill)	m3	2000	Rp242,335.39	Rp484,670,782.40
Jumlah Divisi 4					Rp484,670,782.40
DIVISI 5 GALIAN STRUKTUR					
5.1	Galian Struktur kedalaman >0 - 2 m	m3	725	Rp333,936.17	Rp242,103,726.25
5.2	Galian Struktur kedalaman >4 - 6 m	m3	350	Rp361,833.78	Rp126,641,821.29
Jumlah Divisi 5					Rp368,745,547.55
DIVISI 8 LAPIS PONDASI AGREGAT DAN LAPIS FONDASI AGREGAT SEMEN					
8.1	Lapis Fondasi Agregat Kelas A	m3	50	Rp390,588.45	Rp19,529,422.67
Jumlah Divisi 8					Rp19,529,422.67
DIVISI 9 PERKERASAN					
9.1	Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat)	kg	1713.6	Rp22,800.82	Rp39,071,493.13
9.2	Asphalt Concrete Wearing Course	ton	169.587	Rp1,410,238.43	Rp239,158,105.39
Jumlah Divisi 9					Rp278,229,598.52
DIVISI 10 STRUKTUR BETON					
10.1	Tiang Bor Beton Cast-in-Place D=100 cm	m'	1709.4	Rp3,578,503.41	Rp6,117,093,729.50
Abutment					
Pile cap (PCA)					
10.2	Bekisting Lean concrete (LC PCA)	m2	5	Rp252,828.29	Rp1,264,141.45
10.3	Beton Struktur (f'c = 10 MPa) (LC PCA)	m3	25.2	Rp803,219.99	Rp20,241,143.83
10.4	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (PCA)	kg	31,016.00	Rp17,536.22	Rp543,903,492.36
10.5	Bekisting PCA	m2	100	Rp252,828.29	Rp25,282,828.95
10.6	Beton Struktur(f'c = 35 MPa) (PCA)	m3	252	Rp1,462,907.08	Rp368,652,584.45
Badan Abutment (BA)					
10.7	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (BA)	kg	31,431.16	Rp17,536.22	Rp551,183,830.70

10.8	Bekisting (BA)	m2	240	Rp252,828.29	Rp60,678,789.48
10.9	Beton Struktur ($f'c = 35$ MPa) (BA)	m3	216	Rp1,462,907.08	Rp315,987,929.53
Kepala Abutment (KA)					
10.10	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (KA)	kg	15,875.75	Rp17,536.22	Rp278,400,692.18
10.11	Bekisting (KA)	m2	191.199	Rp252,828.29	Rp48,340,516.13
10.12	Beton Struktur ($f'c = 35$ MPa) (KA)	m3	50.22	Rp1,462,907.08	Rp73,467,193.62
Wing wall (WW)					
10.13	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (WW)	kg	2,924	Rp17,536.22	Rp51,277,318.93
10.14	Bekisting (WW)	m2	133.66	Rp252,828.29	Rp33,793,029.18
10.15	Beton Struktur ($f'c = 25$ MPa) (WW)	m3	9.52	Rp1,216,895.09	Rp11,584,841.26
Pilar					
Pile cap (PCP)					
10.16	Bekisting Lean concrete (LC PCP)	m2	2.5	Rp252,828.29	Rp632,070.72
10.17	Beton Struktur ($f'c = 10$ MPa) (LC PCP)	m3	12.6	Rp803,219.99	Rp10,120,571.92
10.18	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (PCP)	kg	15,469.00	Rp17,536.22	Rp271,267,833.48
10.19	Bekisting PC	m2	50	Rp252,828.29	Rp12,641,414.48
10.20	Beton Struktur ($f'c = 35$ MPa) (PCP)	m3	126	Rp1,462,907.08	Rp184,326,292.23
Badan Pilar (BP)					
10.21	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (BP)	kg	33,334.10	Rp17,536.22	Rp584,554,210.88
10.22	Bekisting (BP)	m2	273.35	Rp252,828.29	Rp69,110,612.94
10.23	Beton Struktur ($f'c = 35$ MPa) (BP)	m3	159.75	Rp1,462,907.08	Rp233,699,406.22
Kepala Pilar (KP)					
10.24	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (KP)	kg	6,665.01	Rp17,536.22	Rp116,879,101.61
10.25	Bekisting (KP)	m2	236.24	Rp252,828.29	Rp59,728,155.12
10.26	Beton Struktur ($f'c = 35$ MPa) (KP)	m3	133.87	Rp1,462,907.08	Rp195,839,370.96
10.27	Elastomeric Bearing Pad 480 x 380 x 68	unit	36	Rp1,937,915.26	Rp69,764,949.49
Gelagar					
10.28	Gelagar PC-I bentang 43 m, H=2.10 m, CTC=1,85 m; penyediaan	unit	18	Rp510,906,469.22	Rp9,196,316,445.98
10.29	Baja Prategang Tipe B (SWPR7B, T15.2)	kg	3,548.33	Rp356,967.35	Rp1,266,637,974.40
10.30	Gelagar PC-I bentang 43 m, H=2.10 m, CTC=1,85 m; pemasangan	unit	18	Rp3,850,077.04	Rp69,301,386.64
Diafragma (D)					
10.31	Precast Diafragma	unit	80	Rp1,365,602.28	Rp109,248,182.66
Plat Deck (PD)					
10.32	Precast Plat Deck	m2	688	Rp249,013.13	Rp171,321,034.10

Plat Lantai (PL)					
10.33	Bekisting (PL)	m2	62.31	Rp252,828.29	Rp15,753,730.72
10.34	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (PL)	kg	106,647.32	Rp17,536.22	Rp1,870,191,185.15
10.35	Beton Struktur (f'c = 25 MPa) (PL)	m3	460.54	Rp1,216,895.09	Rp560,428,864.98
Pelat Injak (PI)					
10.36	Bekisting Lean concrete (LC PI)	m2	4.57	Rp252,828.29	Rp1,155,425.28
10.37	Beton Struktur (f'c = 10 MPa) (LC PI)	m3	8.925	Rp803,219.99	Rp7,168,738.44
10.38	Bekisting (PI)	m2	27.6	Rp252,828.29	Rp6,978,060.79
10.39	Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B (PI)	kg	5,813.52	Rp17,536.22	Rp101,947,183.10
10.40	Beton Struktur (f'c = 25 MPa) (PI)	m3	53.55	Rp1,216,895.09	Rp65,164,732.10
10.41	Sambungan Siar Muai Tipe Asphaltic Plug Joint	m'	71.4	Rp810,988.37	Rp57,904,569.62
Jumlah Divisi 10					Rp23,809,233,565.53
DIVISI 12 PEKERJAAN LAIN-LAIN					
12.1	Marka Jalan, Tipe A (Penerapan Umum)	m2	9	Rp214,801.36	Rp1,933,212.23
12.2	Concrete Parapet	m'	349.6	Rp2,486,466.15	Rp869,268,564.48
Jumlah Divisi 12					Rp871,201,776.71
Total Harga Pekerjaan					Rp26,008,005,740.27

ANALISIS HARGA SATUAN PEKERJAAN

DIVISI 1 UMUM

- Jenis Pekerjaan : Kesehatan dan Keselamatan Kerja
Satuan Pekerjaan : Ls

Berdasarkan Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 40 Tahun 2025, harga item pekerjaan

Kesehatan dan Keselamatan Kerja dapat ditentukan sebagai berikut :

Kategori	Rentang Harga	Nilai pekerjaan
1	Rp 0 juta s/d 1,0 miliar	16.000.000,00
2	Rp >1,0 miliar s/d 5,0 miliar	35.000.000,00
3	Rp >5,0 miliar s/d 10,0 miliar	62.000.000,00
4	Rp >10,0 miliar s/d 50,0 miliar	90.000.000,00
5	Rp >50,0 miliar s/d 100,0 miliar	180.000.000,00
6	Rp >100,0 miliar	360.000.000,00

a	Rentang harga	=	Rp25,856,127,392.01
b	Kategori	=	4
c	Batas bawah rentang harga	=	Rp10,000,000,000.00
d	Batas atas rentang harga	=	Rp50,000,000,000.00
e	Harga nilai pekerjaan maksimal	=	Rp90,000,000.00
f	Harga Satuan yang digunakan (a / d * e)	=	Rp46,541,029.31

Keterangan : Rentang harga menggunakan total harga seluruh pekerjaan selain Divisi 1 Umum.

- Jenis Pekerjaan : Manajemen dan Keselamatan Lalu-lintas
Satuan Pekerjaan : Ls

Berdasarkan Peraturan Wali Kota Semarang Nomor 40 Tahun 2023, Dana Alokasi Untuk Kegiatan Pekerjaan diatas sebesar:

No	Uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)
1	Manajemen dan Keselamatan Lalu-lintas	Ls	1	5.000.000

- Jenis Pekerjaan : Manajemen dan Keselamatan Lalu-lintas
Satuan Pekerjaan : Ls

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
jumlah harga tenaga kerja					0.00
B	Bahan				
jumlah harga bahan					0.00
C	Peralatan				
	Excavator	Ls	2	Rp4,000,000.00	Rp8,000,000.00
	Bor machine	Ls	2	Rp10,000,000.00	Rp20,000,000.00
	Crane on Track	Ls	4	Rp10,000,000.00	Rp40,000,000.00
	Genset 5-25kva+bbm	Ls	2	Rp1,000,000.00	Rp2,000,000.00
jumlah harga peralatan					Rp70,000,000.00
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp70,000,000.00
E	Overhead + Profit (10%)	10 % x D			Rp7,000,000.00
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp77,000,000.00

- Jenis Pekerjaan : Manajemen dan Keselamatan Lalu-lintas
Satuan Pekerjaan : Ls

Berikut merupakan pengujian yang digunakan pada pekerjaan Manajemen Mutu:

1. Analisis saringan
2. Berat isi agregat
3. Berat jenis agregat
4. Kadar air
5. Kadar lumpur
6. Keasusan agregat
7. Slump test batching plant
8. Kuat tekan
9. Slump test lapangan

Untuk kebutuhan sampel yang dibutuhkan harus disesuaikan dengan total material yang ada. Untuk sampel beton sampel diambil setiap 20 m³ dan pada agregat diambil sampel pada setiap truk.

a	Volume beton total	=	3147.7
b	Sampel beton setiap	=	20
c	Jumlah sampel uji beton (a / b)	=	157.38
d	Estimasi jumlah agregat pada 1 m beton	=	0.7
e	Berat agregat total (a * d)	=	2203.4
f	Kapasitas truk pembawa agregat yang digunakan	=	30
g	Jumlah sampel agregat (e / f)	=	74

No	Uraian	satuan	koefisien	Harga Satuan (Rp)	Total Harga
1	Analisis saringan	buah	74	Rp41,146.96	Rp3,044,875.04
2	Berat isi agregat	buah	74	Rp29,403.55	Rp2,175,862.70
3	Berat jenis agregat	buah	74	Rp82,329.93	Rp6,092,414.82
4	Kadar air	buah	74	Rp29,403.55	Rp2,175,862.70
5	Kadar lumpur	buah	74	Rp29,403.55	Rp2,175,862.70
6	Keausan agregat	buah	74	Rp41,164.96	Rp3,046,207.04
7	Slump test batching plant	buah	74	Rp11,761.42	Rp870,345.08
8	Kuat tekan silinder beton	buah	74	Rp13,068.24	Rp967,049.76
9	Slump test di lapangan	buah	74	Rp9,017.09	Rp667,264.66
	jumlah harga pengujian (a)				Rp21,215,744.50
A	Overhead + Profit (10% x a)				Rp2,121,574.45
B	Harga Satuan Pekerjaan (a + A)				Rp23,337,318.95

DIVISI 2 PEMBERSIHAN TEMPAT KERJA

- Jenis Pekerjaan : Pembersihan Tempat Kerja
- Satuan Pekerjaan : m²

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.0319	12,440.67	Rp396.86
	Mandor	jam	0.0032	14,861.45	Rp47.56
	jumlah harga tenaga kerja				Rp444.41
B	Bahan				
	jumlah harga bahan				Rp0.00
C	Peralatan				
	Dump truck	jam	0.0055	Rp257,726.36	Rp1,417.50
	Track loader	jam	0.0032	Rp230,112.82	Rp736.36
	Bulldozer 100 – 150 hp	jam	0.0048	Rp387,356.59	Rp1,859.31

jumlah harga peralatan		Rp4,013.17
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)	Rp4,457.58
E	Overhead + Profit (10%)	10 % x D Rp445.76
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)	Rp4,903.34

DIVISI 4 PEKERJAAN TANAH DAN GEOSINTETIK

- Jenis Pekerjaan : Urugan material Berbutir (Granular Backfill)
- Satuan Pekerjaan : m³

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.5515	Rp12,440.67	Rp6,861.03
	Mandor	jam	0.1379	Rp14,861.45	Rp2,049.39
jumlah harga tenaga kerja					Rp8,910.42
B	Bahan				
	Timbunan pilihan	m3	1.1445	Rp151,164.95	Rp173,008.29
jumlah harga bahan					Rp173,008.29
C	Peralatan				
	Truk Tanki Air	jam	0.007	Rp153,408.55	Rp1,073.86
	Dump truck	jam	0.1379	Rp257,726.36	Rp35,540.47
	Wheel loader	jam	0.0077	Rp230,112.82	Rp1,771.87
jumlah harga peralatan					Rp38,386.19
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp220,304.90
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp22,030.49
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp242,335.39

DIVISI 5 GALIAN STRUKTUR

- Jenis Pekerjaan : Galian Struktur Kedalaman >0 – 2 m
- Satuan Pekerjaan : m³

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.0342	Rp12,440.67	Rp425.47
	Mandor	jam	0.00086	Rp14,861.45	Rp12.78

jumlah harga tenaga kerja					Rp438.25
B	Bahan				
	Timbunan pilihan	m3	1.87	Rp151,164.95	Rp282,678.46
jumlah harga bahan					Rp282,678.46
C	Peralatan				
	Dump truck	jam	0.066	Rp257,726.36	Rp17,009.94
	Excavator	jam	0.012	Rp287,641.03	Rp3,451.69
jumlah harga peralatan					Rp20,461.63
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp303,578.34
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp30,357.83
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp333,936.17

- Jenis Pekerjaan : Galian Struktur Kedalaman >2 – 4 m
- Satuan Pekerjaan : m³

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.0342	Rp12,440.67	Rp425.47
	Mandor	jam	0.00086	Rp14,861.45	Rp12.78
jumlah harga tenaga kerja					Rp438.25
B	Bahan				
	Timbunan pilihan	m3	2.0052	Rp 151,164.95	Rp303,115.96
jumlah harga bahan					Rp303,115.96
C	Peralatan				
	Dump truck	jam	0.0889	Rp257,726.36	Rp22,911.87
	Excavator	jam	0.0086	Rp287,641.03	Rp2,473.71
jumlah harga peralatan					Rp25,385.59
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp328,939.80
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp32,893.98
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp361,833.78

DIVISI 8 LAPIS PONDASI AGREGAT DAN LAPIS FONDASI AGREGAT SEMEN

- Jenis Pekerjaan : Galian Struktur Kedalaman >0 – 2 m
- Satuan Pekerjaan : m³

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
----	--------	--------	-----------	-------------------	-----------------

A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.0494	Rp 12,440.67	Rp614.57
	Mandor	jam	0.0071	Rp 14,861.45	Rp105.52
jumlah harga tenaga kerja					Rp720.09
B	Bahan				
	Agregat Base Kelas A	m3	1.26	Rp236,920.33	Rp298,519.61
jumlah harga bahan					Rp298,519.61
C	Peralatan				
	Vibrator Roller self 7 ton	jam	0.014	Rp184,090.26	Rp2,577.26
	Motor grader	jam	0.01	Rp268,464.96	Rp2,684.65
	Dump truck	jam	0.19	Rp257,726.36	Rp48,968.01
	Wheel Loader	jam	0.007	Rp230,112.82	Rp1,610.79
jumlah harga peralatan					Rp55,840.71
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp355,080.41
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp35,508.04
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp390,588.45

DIVISI 9 PERKERASAN

- Jenis Pekerjaan : Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat)
- Satuan Pekerjaan : liter

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.0071	Rp12,440.67	Rp88.33
	Mandor	jam	0.0018	Rp14,861.45	Rp26.75
jumlah harga tenaga kerja					Rp115.08
B	Bahan				
	Aspal Emulsi	Liter	1.7895	Rp11,099.11	Rp19,861.85
jumlah harga bahan					Rp19,861.85
C	Peralatan				
	Compressor	jam	0.00403	Rp92,045.13	Rp370.94
	Asp. Distributor	jam	0.00177	Rp214,771.97	Rp380.15
jumlah harga peralatan					Rp751.09
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp20,728.02
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp2,072.80
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp22,800.82

- Jenis Pekerjaan : Asphalt Concrete Wearing Course
- Satuan Pekerjaan : ton

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.2008	Rp12,440.67	Rp2,498.09
	Mandor	jam	0.02	Rp14,861.45	Rp297.23
	jumlah harga tenaga kerja				Rp2,795.31
B	Bahan				
	Aspal	kg	62.71	Rp10,464.00	Rp656,197.26
	Semen portland	kg	9.59	Rp1,081.53	Rp10,371.88
	Agregat pecah mesin 0-5 mm	m3	0.9	Rp278,787.06	Rp250,908.35
	Agregat pecah mesin 5-10 & 10-15 mm	m3	0.8	Rp276,838.77	Rp221,471.01
	jumlah harga bahan				Rp1,138,948.50
C	Peralatan				
	P.Tire Roller 8-10 ton	jam	0.014	Rp268,464.96	Rp3,758.51
	Tandem roller	jam	0.01	Rp268,464.96	Rp2,684.65
	Asphalt Finisher	jam	0.125	Rp153,408.55	Rp19,176.07
	Dump truck	jam	0.0945	Rp257,726.36	Rp24,355.14
	Genset 5-25kva+bbm	jam	0.0201	Rp128,096.14	Rp2,574.73
	AMP (Asphalt Mixing Plant)	jam	0.0201	Rp4,218,735.12	Rp84,796.58
	Wheel Loader	jam	0.0128	Rp230,112.82	Rp2,945.44
	jumlah harga peralatan				Rp140,291.12
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp1,282,034.94
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp128,203.49
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp1,410,238.43

DIVISI 10 STRUKTUR BETON

- Jenis Pekerjaan : Bekisting
- Satuan Pekerjaan : m²

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0.3	Rp99,523.80	Rp29,857.14
	Tukang Batu	OH	0.3	Rp118,891.63	Rp35,667.49
	Kepala Tukang	OH	0.33	Rp126,562.05	Rp41,765.48

	Mandor	OH	0.006	Rp118,891.63	Rp713.35
jumlah harga tenaga kerja					Rp108,003.45
B	Bahan				
	Kayu bekisting	m3	0.025	Rp2,226,955.21	Rp55,673.88
	Paku	kg	0.4	Rp20,071.21	Rp8,028.48
	Minyak bekisting	liter	0.2	Rp29,090.10	Rp5,818.02
	Plywood 9 mm	lembar	0.3	Rp142,363.13	Rp42,708.94
	Bambu cerucuk	barang	0.66	Rp14,562.31	Rp9,611.12
jumlah harga bahan					Rp121,840.45
C	Peralatan				
jumlah harga peralatan					
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp229,843.90
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp22,984.39
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp252,828.29

- Jenis Pekerjaan : Beton struktur $f'_c = 30 \text{ MPa}$
- Satuan Pekerjaan : m^3

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.28	Rp12,440.67	Rp3,483.39
	Tukang	jam	0.097	Rp14,861.45	Rp1,441.56
	Mandor	jam	0.0482	Rp14,861.45	Rp716.32
jumlah harga tenaga kerja					Rp5,641.27
B	Bahan				
	Superplastisizer	kg	4	Rp85,138.68	Rp340,554.71
	Air	liter	175.89	Rp42.19	Rp7,420.33
	Agregat pecah kasar	m3	0.78	Rp234,715.08	Rp183,077.76
	Agregat halus	m3	0.58	Rp253,603.51	Rp147,090.04
	Semen portland	kg	300	Rp1,081.53	Rp324,459.08
jumlah harga bahan					Rp1,002,601.92
C	Peralatan				
	Truk tanki air	jam	0.038	Rp153,408.55	Rp5,829.52
	Concrete Vibrator	jam	0.0145	Rp34,516.92	Rp500.50
	Concrete pump	jam	0.012	Rp306,817.10	Rp3,681.81
	Truck mixer	jam	0.4	Rp268,464.96	Rp107,385.98
	Batching plant	jam	0.048	Rp575,282.06	Rp27,613.54
	Wheel loader	jam	0.027	Rp230,112.82	Rp6,213.05
jumlah harga peralatan					Rp151,224.40

D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)		Rp1,159,467.59
E	Overhead + Profit (10%)	10 % x D	Rp115,946.76
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)		Rp1,275,414.35

- Jenis Pekerjaan : Beton struktur $f'c = 25 \text{ MPa}$
Satuan Pekerjaan : m^3

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.28	Rp12,440.67	Rp3,483.39
	Tukang	jam	0.097	Rp14,861.45	Rp1,441.56
	Mandor	jam	0.0482	Rp14,861.45	Rp716.32
jumlah harga tenaga kerja					Rp5,641.27
B	Bahan				
	Superplastisizer	kg	3.8	Rp85,138.68	Rp323,526.97
	Air	liter	198.85	Rp42.19	Rp8,388.95
	Agregat pecah kasar	m3	0.76	Rp234,715.08	Rp178,383.46
	Agregat halus	m3	0.58	Rp253,603.51	Rp147,090.04
	Semen portland	kg	270	Rp1,081.53	Rp292,013.17
jumlah harga bahan					Rp949,402.60
C	Peralatan				
	Truk tanki air	jam	0.038	Rp153,408.55	Rp5,829.52
	Concrete Vibrator	jam	0.0145	Rp34,516.92	Rp500.50
	Concrete pump	jam	0.012	Rp306,817.10	Rp3,681.81
	Truck mixer	jam	0.4	Rp268,464.96	Rp107,385.98
	Batching plant	jam	0.048	Rp575,282.06	Rp27,613.54
	Wheel loader	jam	0.027	Rp230,112.82	Rp6,213.05
jumlah harga peralatan					Rp151,224.40
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp1,106,268.26
E	Overhead + Profit (10%)		10 % x D		Rp110,626.83
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp1,216,895.09

- Jenis Pekerjaan : Beton struktur $f'c = 35 \text{ MPa}$
Satuan Pekerjaan : m^3

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.9	Rp12,440.67	Rp11,196.60
	Tukang	jam	0.5	Rp14,861.45	Rp7,430.73
	Mandor	jam	0.04	Rp14,861.45	Rp594.46
jumlah harga tenaga kerja					Rp19,221.78
B	Bahan				
	Semen portland	kg	330	Rp 1,081.53	Rp356,904.99
	Agregat halus	m^3	0.5	Rp 253,603.51	Rp126,801.75
	Agregat pecah kasar	m^3	0.746	Rp 234,715.08	Rp175,097.45
	air	liter	165.64	Rp 42.19	Rp6,987.91
	Super Plastizer	kg	4.2	Rp 85,138.68	Rp357,582.44
	Fly Ash	liter	150.9	Rp 805.39	Rp121,534.09
jumlah harga bahan					Rp1,144,908.64
C	Peralatan				
	Wheel loader	jam	0.009	Rp230,112.82	Rp2,071.02
	Batching plant	jam	0.048	Rp575,282.06	Rp27,613.54
	Truck mixer	jam	0.26	Rp268,464.96	Rp69,800.89
	Concrete pump	jam	0.005	Rp306,817.10	Rp1,534.09
	Concrete Vibrator	jam	0.29	Rp34,516.92	Rp10,009.91
	Truk tanki air	jam	0.031	Rp153,408.55	Rp4,755.67
	Alat Bantu	Ls	1	Rp50,000.00	Rp50,000.00
jumlah harga peralatan					Rp165,785.10
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp1,329,915.53
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp132,991.55
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp1,462,907.08

- Jenis Pekerjaan : Beton struktur $f'c = 10 \text{ MPa}$
Satuan Pekerjaan : m^3

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.9639	Rp12,440.67	Rp11,991.56
	Tukang	jam	0.53	Rp14,861.45	Rp7,876.57
	Mandor	jam	0.048	Rp14,861.45	Rp713.35
jumlah harga tenaga kerja					Rp20,581.48
B	Bahan				

	Superplastisizer	kg	2.4	Rp85,138.68	Rp204,332.82
	Air	liter	198.23	Rp42.19	Rp8,362.80
	Agregat pecah kasar	m3	0.65	Rp234,715.08	Rp152,564.80
	Agregat halus	m3	0.38	Rp253,603.51	Rp96,369.33
	Semen portland	kg	150	Rp1,081.53	Rp162,229.54
jumlah harga bahan					Rp623,859.30
C	Peralatan				
	Truk tanki air	jam	0.038	Rp153,408.55	Rp5,829.52
	Concrete Vibrator	jam	0.289	Rp34,516.92	Rp9,975.39
	Truck mixer	jam	0.15	Rp268,464.96	Rp40,269.74
	Batching plant	jam	0.0482	Rp575,282.06	Rp27,728.60
	Wheel loader	jam	0.0085	Rp230,112.82	Rp1,955.96
jumlah harga peralatan					Rp85,759.21
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp730,199.99
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp73,020.00
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp803,219.99

- Jenis Pekerjaan : Tiang Bor Beton Cast-in Place D=1000mm
- Satuan Pekerjaan : m'

No	Uraian		Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja					
	Pekerja		OH	0.23	Rp99,523.80	Rp22,890.47
	Tukang		OH	0.11	Rp118,891.63	Rp13,078.08
	Mandor		OH	0.039	Rp118,891.63	Rp4,636.77
jumlah harga tenaga kerja						Rp40,605.33
B	Bahan					
	Beton fc' 30 MPa		m3	0.785	Rp1,275,414.35	Rp1,001,200.26
	Baja tulangan		kg	117.8	Rp17,536.22	Rp2,065,767.07
	Casing		m2	0.8	Rp17,592.13	Rp14,073.70
jumlah harga bahan						Rp3,126,283.13
C	Peralatan					
	Bore Pile Machine		jam	0.276	Rp421,873.51	Rp116,437.09
	Concrete Pump		jam	0.1183	Rp306,817.10	Rp36,296.46
	Alat Bantu		set	1	Rp50,000.00	Rp50,000.00
jumlah harga peralatan						Rp86,296.46
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)					Rp3,253,184.92

E	Overhead + Profit (10%)	10 % x D	Rp325,318.49
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)		Rp3,578,503.41

- Jenis Pekerjaan : Sambungan Siar Muai Tipe Asphaltic Plug Joint
Satuan Pekerjaan : m'

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0.75	Rp99,523.80	Rp74,642.85
	Tukang Aspal	OH	0.166	Rp103,550.77	Rp17,189.43
	Mandor	OH	0.083	Rp118,891.63	Rp9,868.00
jumlah harga tenaga kerja					Rp101,700.28
B	Bahan				
	Expansion joint tipe asphaltic plug	Liter	1	Rp604,407.44	Rp604,407.44
jumlah harga bahan					Rp604,407.44
C	Peralatan				
	Cutting machine	jam	0.85	Rp30,769.92	Rp26,154.43
	Alat bantu	jam	0.1	Rp50,000.00	Rp5,000.00
jumlah harga peralatan					Rp31,154.43
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp737,262.15
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp73,726.22
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp810,988.37

- Jenis Pekerjaan : Elastomer Bearing Pad
Satuan Pekerjaan : Buah

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0.75	Rp99,523.80	Rp74,642.85
	Tukang Batu	OH	0.166	Rp118,891.63	Rp19,736.01
	Mandor	OH	0.083	Rp118,891.63	Rp9,868.00
	jumlah harga tenaga kerja				Rp104,246.86
B	Bahan				
	Elastomeric Bearing Pad	Liter	1	Rp1,619,994.29	Rp1,619,994.29
	jumlah harga bahan				Rp1,619,994.29
C	Peralatan				
	Alat bantu	jam	0.75	Rp50,000.00	Rp37,500.00
	jumlah harga peralatan				Rp37,500.00

D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)		Rp1,761,741.15
E	Overhead + Profit (10%)	10 % x D	Rp176,174.11
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)		Rp1,937,915.26

- Jenis Pekerjaan : Precast Diafragma
- Satuan Pekerjaan : Unit

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.289	Rp12,440.67	Rp3,595.35
	Tukang	jam	0.0964	Rp14,861.45	Rp1,432.64
	Mandor	jam	0.0482	Rp14,861.45	Rp716.32
jumlah harga tenaga kerja					Rp5,744.32
B	Bahan				
	beton fc' 25 Mpa	m3	0.55	Rp1,216,895.09	Rp669,292.30
	Baja tulangan	kg	32.3	Rp17,536.22	Rp566,420.00
jumlah harga bahan					Rp1,235,712.30
C	Peralatan				
jumlah harga peralatan					Rp0.00
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp1,241,456.62
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp124,145.66
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp1,365,602.28

- Jenis Pekerjaan : Precast Diafragma
- Satuan Pekerjaan : Unit

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.289	Rp12,440.67	Rp3,595.35
	Tukang	jam	0.0964	Rp14,861.45	Rp1,432.64
	Mandor	jam	0.0482	Rp14,861.45	Rp716.32
	jumlah harga tenaga kerja				Rp5,744.32
B	Bahan				
	beton fc' 25 Mpa	kg	0.08	Rp1,216,895.09	Rp97,351.61
	Baja tulangan	kg	7.03	Rp17,536.22	Rp123,279.65
	jumlah harga bahan				Rp220,631.25

C	Peralatan	
	jumlah harga peralatan	Rp0.00
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)	Rp226,375.57
E	Overhead + Profit (10%)	10 % x D Rp22,637.56
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)	Rp249,013.13

- Jenis Pekerjaan : Gelagar PC-I bentang 43 m; H=2,10 m; CTC = 1.85 m;
penyediaan
Satuan Pekerjaan : Unit

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	1.04	Rp12,440.67	Rp12,938.29
	Mandor	jam	0.502	Rp14,861.45	Rp7,460.45
	jumlah harga tenaga kerja				Rp20,398.74
B	Bahan				
	Air	m3	250.8	Rp24,008.44	Rp6,021,316.26
	Semen	kg	406	Rp736,361.04	Rp298,962,581.92
	Agregat Halus	m3	100.4	Rp253,603.51	Rp25,461,792.30
	Agregat Kasar	m3	122.7	Rp234,715.08	Rp28,799,540.47
	Anchorage	buah	8	Rp1,893,828.55	Rp15,150,628.38
	Baja Tulangan	kg	6860.34	Rp13,039.73	Rp89,456,958.92
	jumlah harga bahan				Rp463,852,818.25
C	Peralatan				
	Flat bed truck	jam	1.757	Rp115,056.41	Rp202,154.12
	Crane on track 75-100 ton	jam	0.502	Rp767,042.75	Rp385,055.46
	jumlah harga peralatan				Rp587,209.58
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp464,460,426.56
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp46,446,042.66
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp510,906,469.22

- Jenis Pekerjaan : Gelagar PC-I bentang 43 m; H=2,10 m; CTC = 1.85 m;
pemasangan
Satuan Pekerjaan : Unit

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	1.1094	Rp12,440.67	Rp13,801.68
	Tukang	jam	1.1094	Rp14,861.45	Rp16,487.30
	Mandor	jam	4.4378	Rp14,861.45	Rp65,952.16
	jumlah harga tenaga kerja				Rp96,241.13
B	Bahan				
	jumlah harga bahan				Rp0.00
C	Peralatan				
	Crane on track 75-100 ton	jam	1.1094	Rp767,042.75	Rp850,957.23
	Crane on track 75-100 ton	jam	1.1094	Rp767,042.75	Rp850,957.23
	Crane on track 75-100 ton	jam	1.1094	Rp767,042.75	Rp850,957.23
	Crane on track 75-100 ton	jam	1.1094	Rp767,042.75	Rp850,957.23
	jumlah harga peralatan				Rp3,403,828.90
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp3,500,070.03
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp350,007.00
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp3,850,077.04

- Jenis Pekerjaan : Baja Prategang Tipe B (SWPR7B,T15.2)
- Satuan Pekerjaan : Kg

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Tukang	jam	0.3012	Rp12,440.67	Rp3,747.13
	Mandor	jam	0.3012	Rp14,861.45	Rp4,476.27
	jumlah harga tenaga kerja				Rp8,223.40
B	Bahan				
	jumlah harga bahan				Rp0.00
C	Peralatan				
	Crane 10-15 ton	jam	0.3012	Rp431,461.55	Rp129,956.22
	Dump truck	jam	0.723	Rp257,726.36	Rp186,336.16
	jumlah harga peralatan				Rp316,292.38
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp324,515.78
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp32,451.58
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp356,967.35

- Jenis Pekerjaan : Batang Baja Tulangan Sirip BjTS 420B
Satuan Pekerjaan : Kg

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.105	Rp12,440.67	Rp1,306.27
	Tukang	jam	0.035	Rp14,861.45	Rp520.15
	Mandor	jam	0.035	Rp14,861.45	Rp520.15
jumlah harga tenaga kerja					Rp2,346.57
B	Bahan				
	Kawat beton	kg	0.02	Rp14,746.40	Rp294.93
	Baja tulangan	kg	1.02	Rp13,039.73	Rp13,300.52
jumlah harga bahan					Rp13,595.45
C	Peralatan				
jumlah harga peralatan					Rp0.00
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp15,942.02
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp1,594.20
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp17,536.22

DIVISI 12 PEKERJAAN LAIN- LAIN

- Jenis Pekerjaan : Marka Jalan, Tipe A (Penerapan Umum)
Satuan Pekerjaan : m²

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.08	Rp12,440.67	Rp995.25
	Mandor	jam	0.84	Rp14,861.45	Rp12,483.62
jumlah harga tenaga kerja					Rp13,478.87
B	Bahan				
	Glass Bead	kg	0.46	Rp15,340.85	Rp7,056.79
	Cat Marka (Thermoplastic)	kg	3.2895	Rp41,701.81	Rp137,178.11
jumlah harga bahan					Rp170,197.40
C	Peralatan				
	Dump truck	jam	0.084	Rp257,726.36	Rp21,649.01
	Compressor	jam	0.084	Rp92,045.13	Rp7,731.79
	Thermoplastic spreading machine	jam	0.084	Rp46,022.56	Rp3,865.90
jumlah harga peralatan					Rp11,597.69
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp195,273.96

E	Overhead + Profit (10%)	10 % x D	Rp19,527.40
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)		Rp214,801.36

- Jenis Pekerjaan : Concrete parapet
- Satuan Pekerjaan : m'

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga Rp
A	Tenaga Kerja				
	Pekerja	jam	0.23	Rp12,440.67	Rp2,861.35
	Tukang	jam	0.09	Rp14,861.45	Rp1,337.53
	Mandor	jam	0.048	Rp14,861.45	Rp713.35
	jumlah harga tenaga kerja				Rp4,912.23
B	Bahan				
	Beton fc' 25 MPa	m3	0.4	Rp1,216,895.09	Rp486,758.04
	Baja Tulangan	kg	67.2	Rp13,039.73	Rp876,269.64
	Bekisting	m2	3.53	Rp252,828.29	Rp892,483.86
	jumlah harga bahan				Rp2,255,511.53
C	Peralatan				
	jumlah harga peralatan				Rp2,255,511.53
D	Jumlah Harga Tenaga, Bahan dan Peralatan (A+B+C)				Rp2,260,423.77
E	Overhead + Profit (10%)			10 % x D	Rp226,042.38
F	Harga Satuan Pekerjaan per 1 (D+E)				Rp2,486,466.15

HARGA SATUAN BAHAN

No	Bahan	Satuan	Harga (Rp)
1	Agregat Base Kelas A	m3	Rp236,920.33
2	Agregat Halus	m3	Rp253,603.51
3	Agregat Pecah Kasar	m3	Rp234,715.08
4	Agregat Pecah Mesin 0-5 mm	m3	Rp278,787.06
5	Agregat Pecah Mesin 5-10 & 10-15 mm	m3	Rp276,838.77
6	Air	ltr	Rp42.19
7	Air (m3)	m3	Rp24,008.44
8	Anchorage	buah	Rp1,893,828.55
9	Aspal	kg	Rp10,464.00
10	Aspal Emulsi	ltr	Rp11,099.11
11	Baja tulangan	kg	Rp13,039.73
12	Baja Tulangan (polos)	kg	Rp11,850.81
13	Bambu diameter 6-8/600 cm	batang	Rp14,562.31

14	Casing	m2	Rp17,592.13
15	Cat Anti Karat	kg	Rp51,852.09
16	Cat Marka (Thermoplastic)	kg	Rp41,701.81
17	Curing Compound	ltr	Rp13,947.14
18	Elastomer bearing Pad	buah	Rp1,619,994.29
19	Expansion Cap	m2	Rp13,896.51
20	Expansion Joint tipe Asphaltic Plug	m'	Rp604,407.44
21	Geotekstil Separator	m2	Rp29,147.62
22	Glass Bead	kg	Rp15,340.85
23	Kawat benrad	kg	Rp16,430.06
24	Kawat beton	kg	Rp14,746.40
25	Kayu bkisting	kg	Rp2,226,955.21
26	Kayu Perancah	m3	Rp1,843,299.61
27	Minyak bekisting	ltr	Rp29,090.10
28	Paku 10 cm	kg	Rp14,267.00
29	Paku biasa	kg	Rp20,071.21
30	Pasir Beton	kg	Rp255,315.55
31	Plywood 9 mm	lembar	Rp142,363.13
32	Polytene 125 mikron	kg	Rp148,196.49
33	Sealant	kg	Rp14,190.29
34	Semen	m3	Rp736,361.04
35	Semen Portland	kg	Rp1,081.53
36	Superplastisizer	kg	Rp85,138.68
37	Timbunan Pilihan	m3	Rp151,164.95
38	Fly Ash	kg	Rp805.39
39	Multipleks	lembar	Rp95,880.34
40	Pasir Pasang	m3	Rp249,288.89

HARGA SATUAN ALAT

No	Nama	Satuan	Harga (Rp)
1	AMP (Asphalt Mixing Plant)	Jam	Rp4,218,735.12
2	Asp. Distributor	Jam	Rp214,771.97
3	Asphalt Finisher	Jam	Rp153,408.55
4	Batching Plant	Jam	Rp575,282.06
5	Bore Pile	Jam	Rp421,873.51
6	Bulldozer 100 - 150 hp	Jam	Rp387,356.59
7	Compressor	Jam	Rp92,045.13
8	Conc. Paver (Slipform Paver)	Jam	Rp1,534,085.50
9	Concrete Mixing Plant	Jam	Rp575,282.06
10	Concrete pump	Jam	Rp306,817.10
11	Concrete Vibrator	Jam	Rp34,516.92
12	Crane 10-15 Ton	Jam	Rp431,461.55
13	CRANE ON TRACK 75-100 TON	Jam	Rp767,042.75

14	Cutting Machine	Jam	Rp30,769.92
15	Dump Truck	Jam	Rp257,726.36
16	Excavator	Jam	Rp287,641.03
17	Flat Bed Truck	Jam	Rp115,056.41
18	Genset 1500 watt	Jam	Rp268,464.96
19	Genset 5-25kva+bbm	Jam	Rp128,096.14
20	Jack Hammer	Jam	Rp34,516.92
21	Motor Grader	Jam	Rp268,464.96
22	P.Tire Roller 8 - 10 ton	Jam	Rp268,464.96
23	Tandem Roller	Jam	Rp268,464.96
24	Thermoplastic spreading machine	Jam	Rp46,022.56
25	Track Loader	Jam	Rp230,112.82
26	Truck Mixer	Jam	Rp268,464.96
27	Truk Tanki Air	Jam	Rp153,408.55
28	Vibrator Roller self 7 ton	Jam	Rp184,090.26
29	Wheel Loader	Jam	Rp230,112.82
30	Alat Bantu	jam	Rp50,000.00
31	Mobile Crane	Jam	Rp116,782.26
32	Loader Crane	Jam	Rp230,112.82

HARGA SATUAN UPAH

No	Nama	Satuan	Harga Majalengka
1	Pekerja	Jam	Rp12,440.67
2	Mandor	Jam	Rp14,861.45
3	Tukang	Jam	Rp14,861.45
4	Mandor	OH	Rp118,891.63
5	Kepala tukang	OH	Rp126,562.05
6	Tukang batu	OH	Rp118,891.63
7	Pekerja	OH	Rp99,523.80
8	Tukang Aspal	OH	Rp103,550.77
9	Tukang	OH	Rp118,891.63

REKAPITULASI QUANTITY TAKE OFF DARI AUTODESK REVIT

Rekapitulasi Volume Beton

Struktur	Volume per unit	Jumlah	Total
	m3	buah	m3
Borepile Abutment	24.46	42	1027.32
Borepile Pilar	19.91	21	418.11
Abutment	259.02	2	518.04
Pilar	450.36	1	450.36
Wing wall	4.76	4	19.04

Plat Injak	25.28	2	50.56
Plat Deck	0.08	688	55.04
Diafragma	0.55	80	44
Parapet	16.77	8	134.16
Plat Lantai	230.27	2	460.54
Aspal	17.04	4	68.16
Gelagar	36.3	18	653.4
Mortar Pad	0.02	18	0.36
Total Volume			3899.09

Rekapitulasi Volume Baja Tulangan

Struktur	Volume per unit	Jumlah	Total
	kg	buah	kg
Borepile Abutment	3651.8	42	153375.6
Borepile Pilar	2968.56	21	62339.76
Abutment			
Pilecap	15,508.88	2	31017.76
Badan Abutment	15,715.58	2	31431.16
Kepala Abutment	7,952.05	2	15904.1
Pilar			
Pilecap	15,469.00	1	15469
Badan Pilar	33,334.10	1	33334.1
Kepala Pilar	6,665.01	1	6665.01
Wing wall	731.23	4	2924.92
Plat Injak	1,453.29	4	5813.16
Plat Deck	7.03	688	4836.64
Diafragma	32.3	80	2584
Parapet	1,875.57	8	15004.56
Plat Lantai	106,647.32	1	106647.3
Gelagar	6,860.34	18	123486.1
Total Volume			610833.2

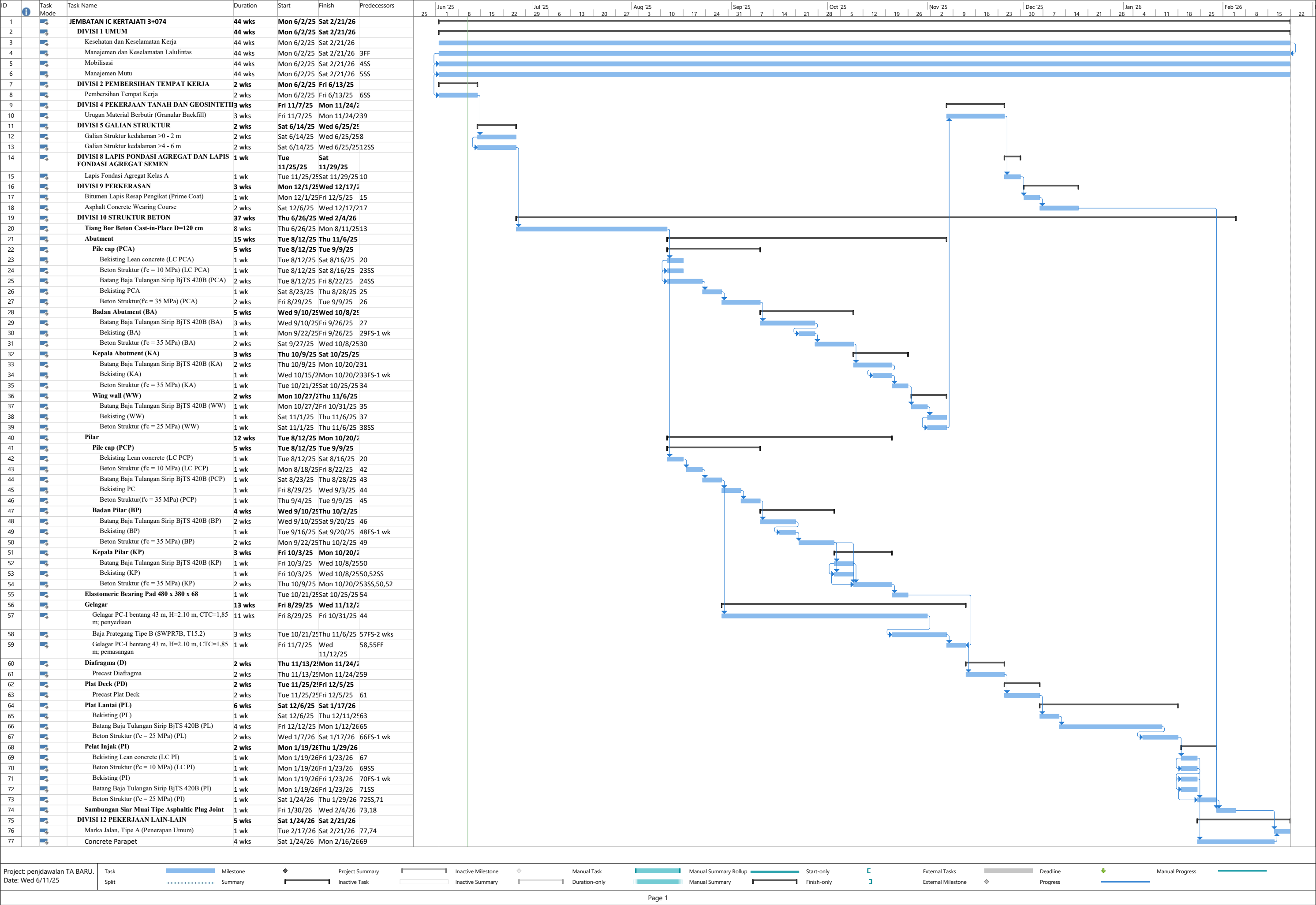
Rekapitulasi Bekisting

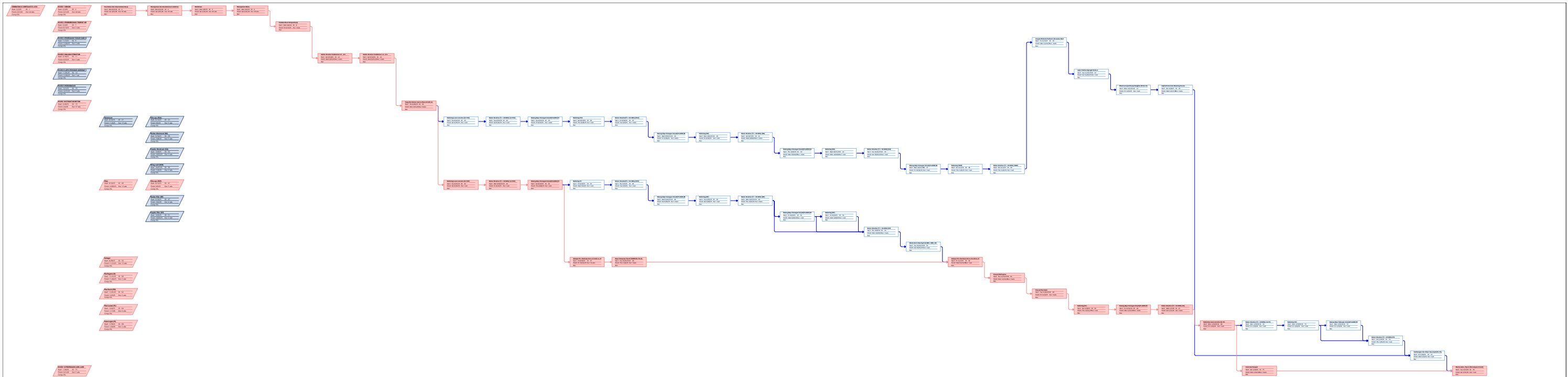
Struktur	Volume per unit	Jumlah	Total
	m2	buah	m2
Abutment			
Lc Pilecap	2.5	2	5
Pilecap	12.6	2	25.2
Badan Abutment	120	2	240
Kepala Abutment	95.5995	2	191.199

Pilar			
Lc Pilecap	2.5	1	2.5
Pilecap	12.60	1	12.6
Badan Pilar	273.35	1	273.35
Kepala Pilar	236.24	1	236.24
Wing wall	33.42	4	133.66
Plat Injak			
Lc Plat Injak	2.285	2	4.57
Plat Injak	13.8	2	27.6
Parapet	151.79	8	1214.32
Plat Lantai	62.31	1	62.31
Total Bekisting			2428.549

Kegiatan :	Perencanaan Jembatan
Pekerjaan :	Pembangunan Jembatan IC Akses Kertajati STA 3+074
Lokasi :	Kab. Majalengka

[illegible]





DETAIL ENGINEERING DESIGN RE-DESIGN JEMBATAN IC AKSES KERTAJATI STA 3+074



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

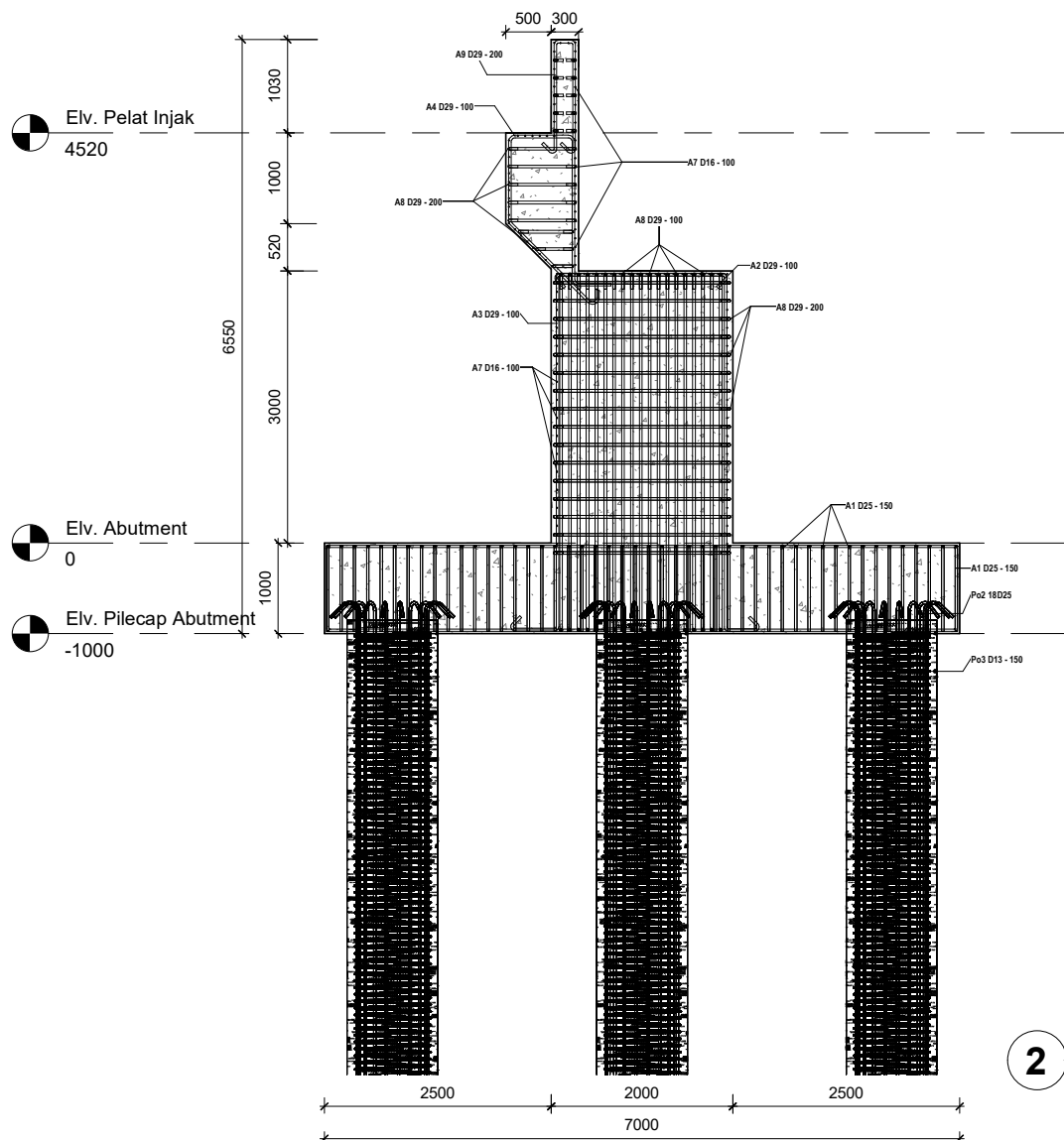
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE

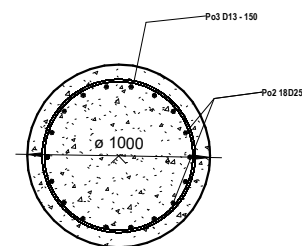
NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

KETERANGAN



1 Detail Abutment
1 : 50



2 Detail Pondasi Abutment
1 : 25



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBRAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

- Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
- Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE

NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

KETERANGAN



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
 PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
 SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
 Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
 KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

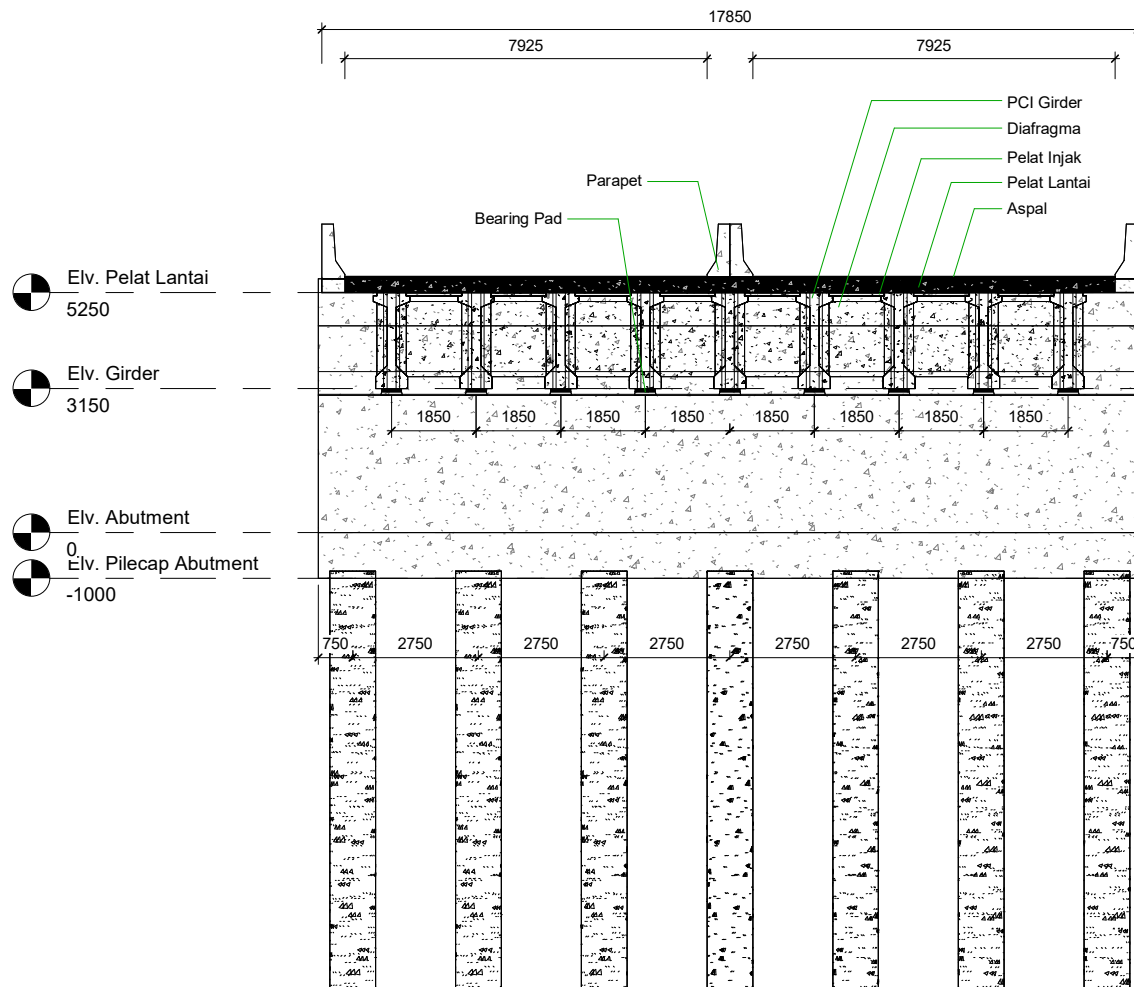
SKALA

DIBUAT OLEH :

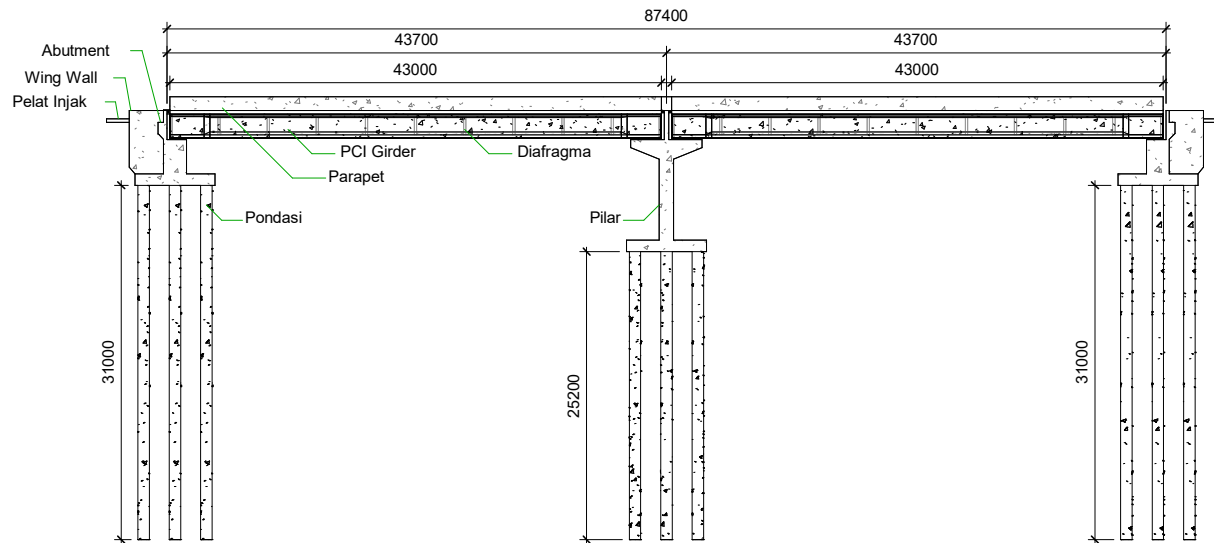
1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN

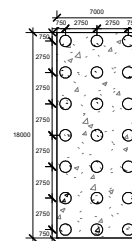
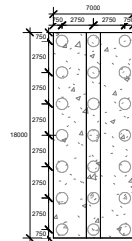
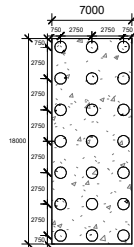


1 **Tampak Melintang Jembatan**
 1 : 100



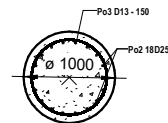
1 Tampak Memanjang Jembatan

1 : 400



2 Denah Pondasi

1 : 400



3 Detail Pondasi.

1 : 50



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

- Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
- Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

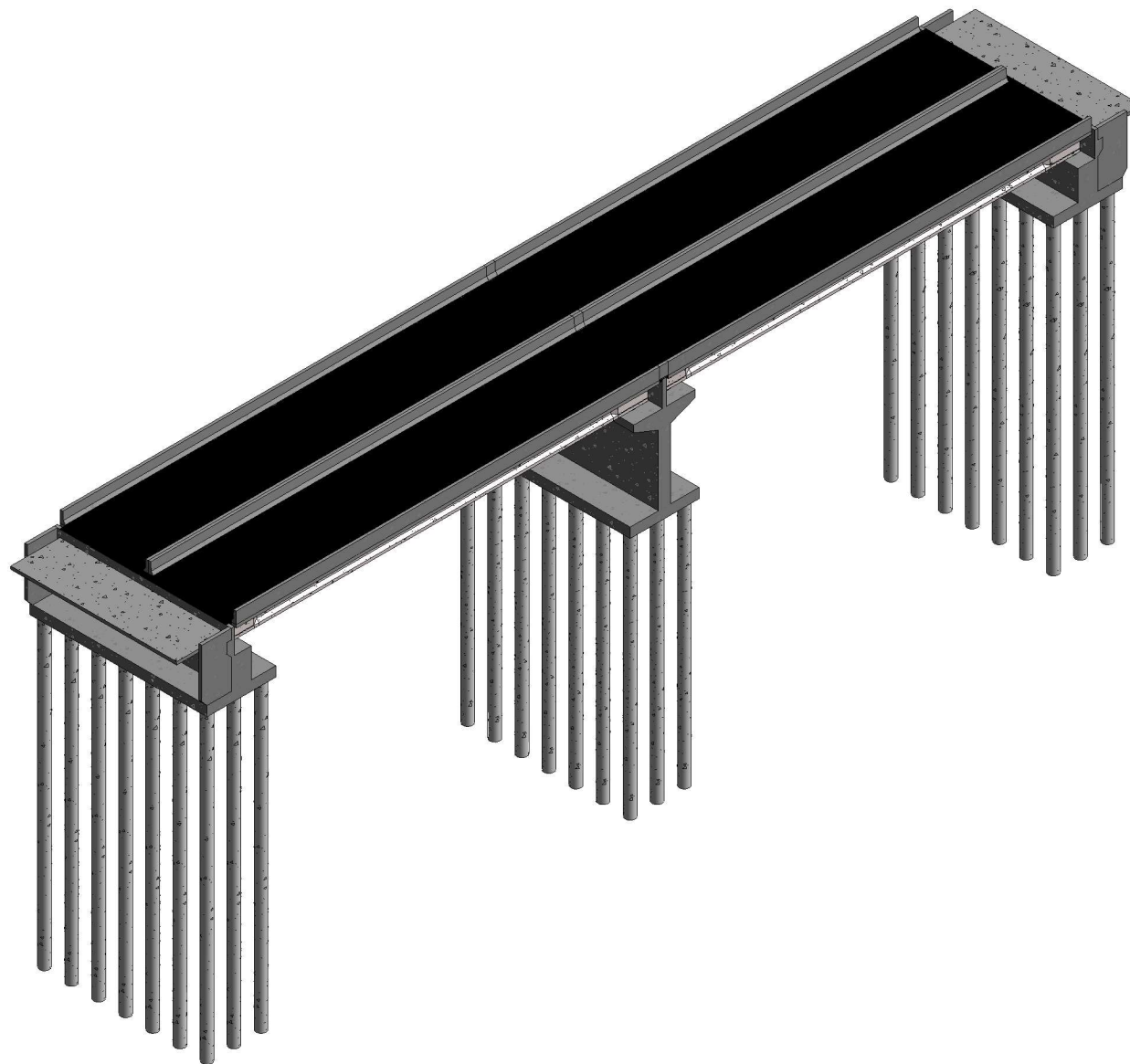
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE

NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

KETERANGAN



1 Perspektif 3D



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
 PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
 SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
 Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
 KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

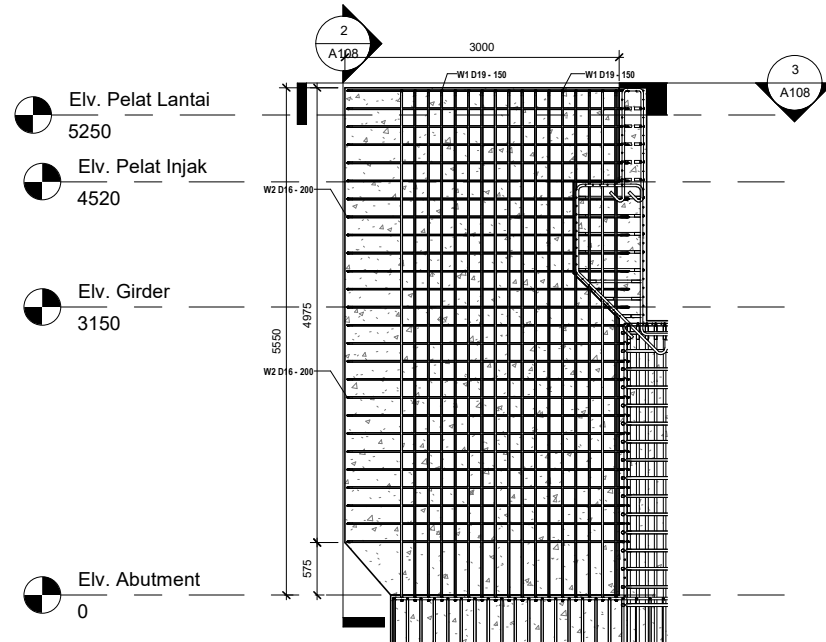
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE

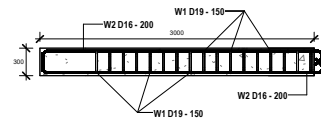
NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

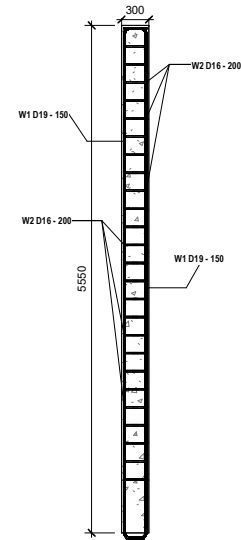
KETERANGAN



1 Detail Wing Wall 1
1 : 50



3 Potongan 2 Wingwall
1 : 50



2 Potongan 1 Wingwall
1 : 50



UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

- Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
- Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE

NO. LEMBAR

JML. LEMBAR

KETERANGAN

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

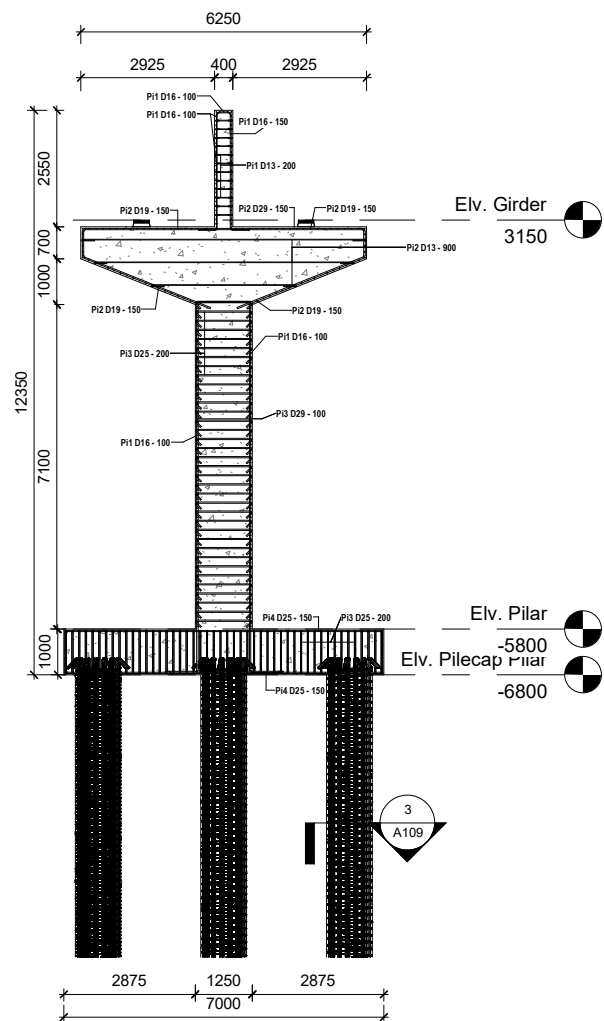
GAMBAR	SKALA

DIBUAT OLEH :

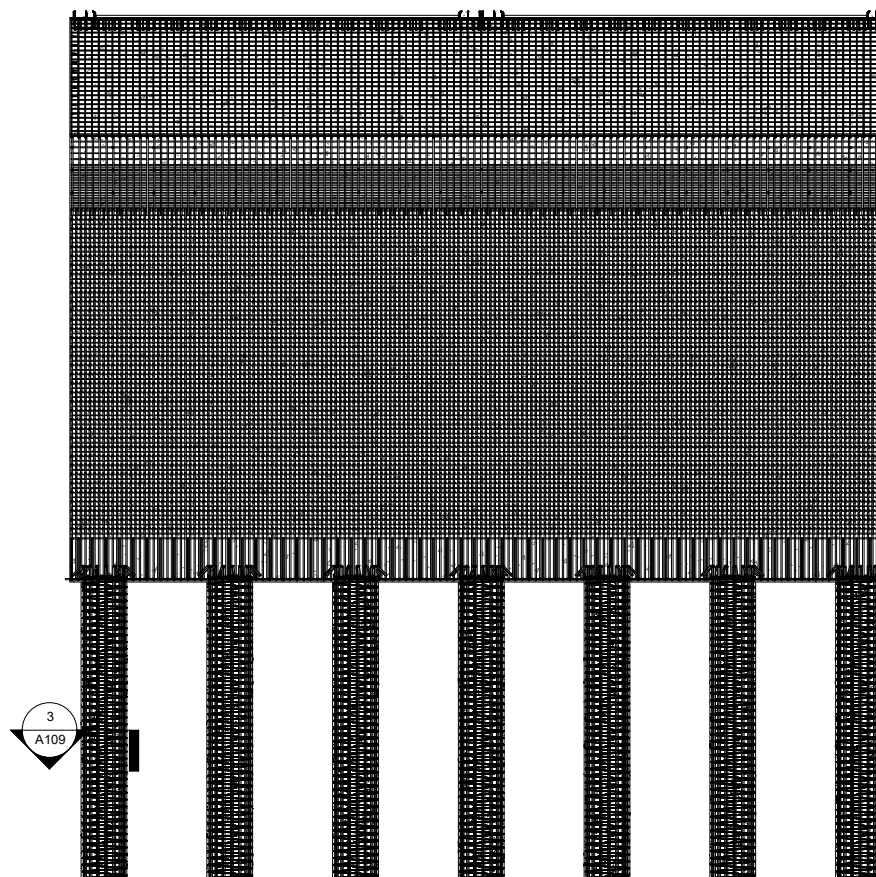
1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

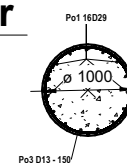
KETERANGAN



1 Detail Pilar
1 : 100



2 Tampak Depan Pilar
1 : 100



3 Detail Pondasi Pilar
1 : 50



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBRAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

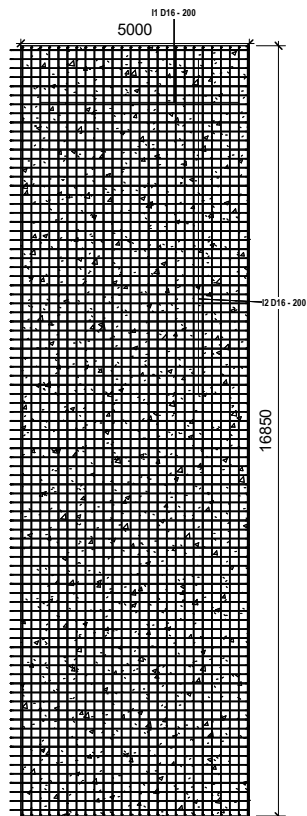
DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

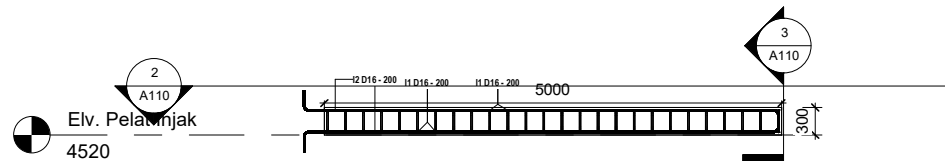
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN



2 Potongan 1 Pelat Injak
1 : 100



1 Detail Pelat Injak
1 : 50



3 Potongan 2 Pelat Injak
1 : 100



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

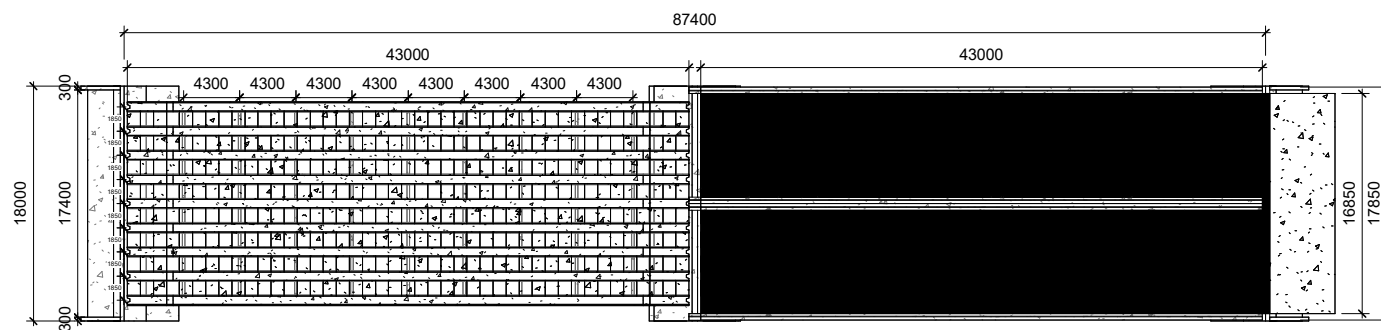
DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN



1

Tampak Atas

1 : 350



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

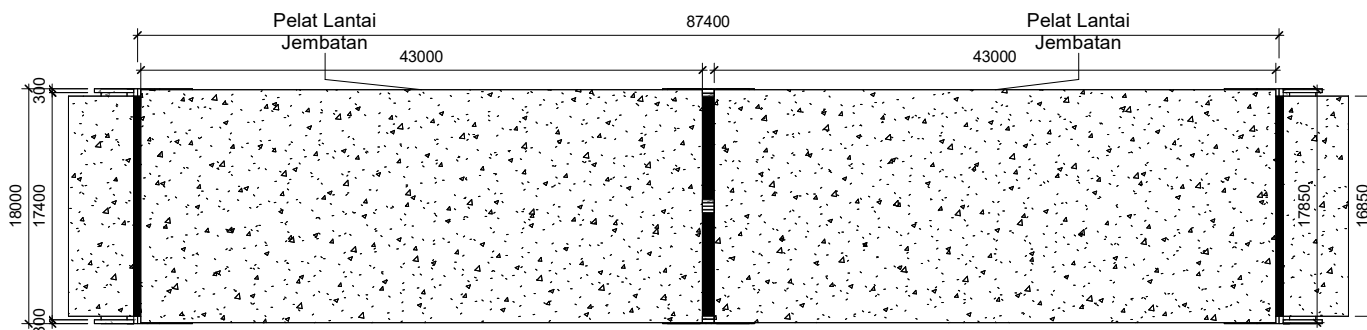
DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN



1 Pelat Lantai

1 : 350

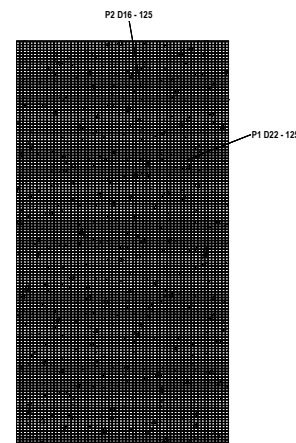


Elv. Pelat Lantai
5250



2 Detail Pelat Lantai X

1 : 50



3 Detail Pelat Lantai Y

1 : 200



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

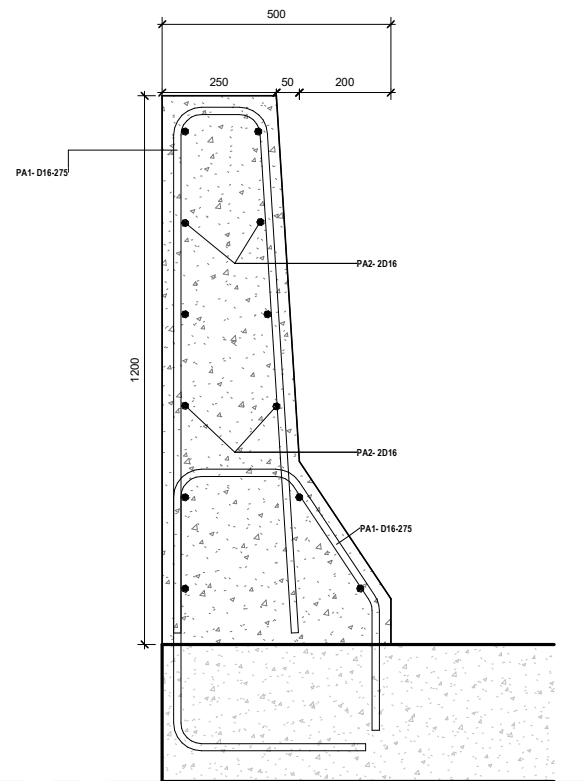
SKALA

DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN

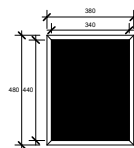


Elv. Pelat Lantai
5250

1

Detail Parapet

1 : 10



2

Tampak Atas Elastomer

1 : 20

Elv. Girder
3150



3

Tampak Samping Elastomer

1 : 20



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

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

2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

SKALA

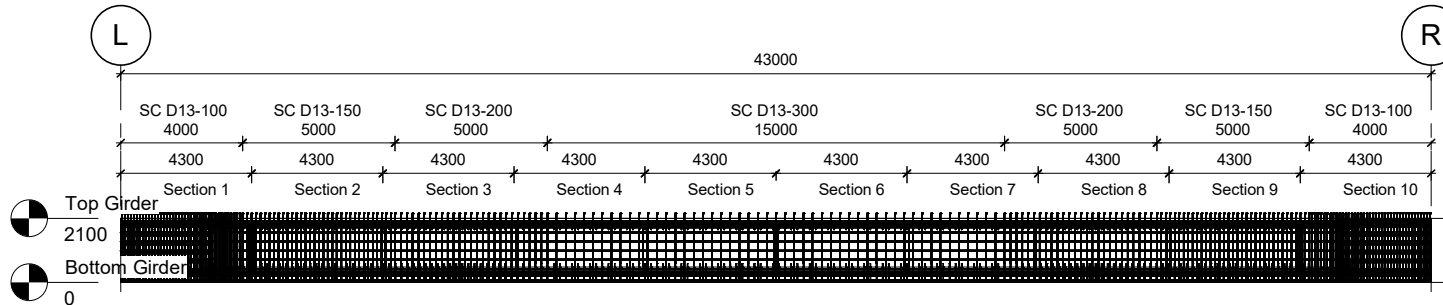
DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100

2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN

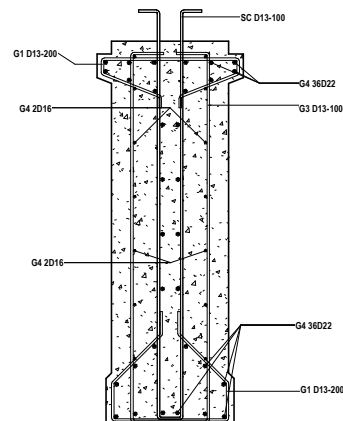


1 Potongan Gelagar Memanjang

1 : 150

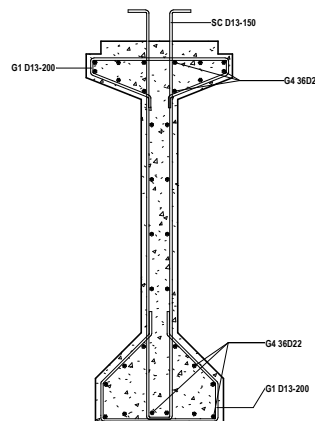


2 {3D}



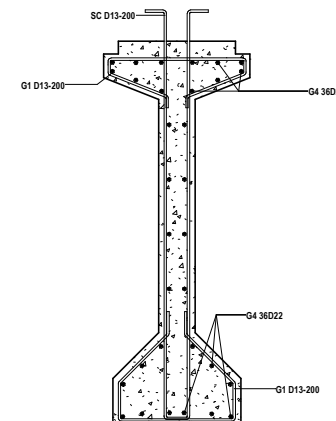
3 Potongan Gelagar 1-1

1 : 25



4 Potongan Gelagar 2-2

1 : 25



5 Potongan Gelagar 3-3

1 : 25



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
 PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
 SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
 Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBRAN IC
 KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

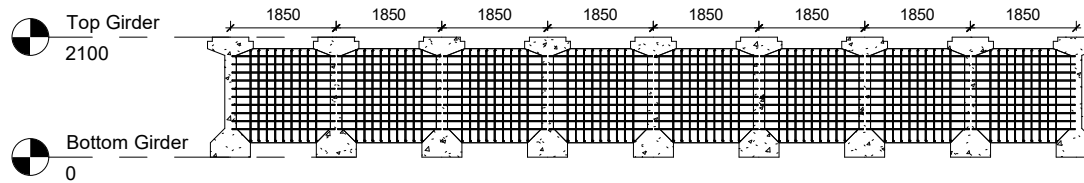
SKALA

DIBUAT OLEH :

1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

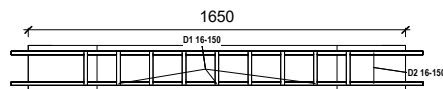
KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN



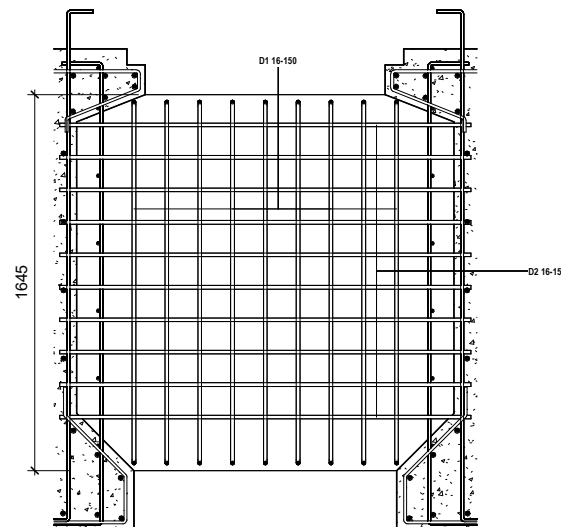
1 Tampak Depan Diafragma

1 : 80



2 Potongan Diafragma 1-1

1 : 20



3 Potongan Diafragma 2-2

1 : 20



UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI D4 TEKNIK INFRASTRUKTUR
SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang Semarang

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JEMBATAN IC
KERTAJATI STA 3+074

SEMESTER VIII TAHUN 2025

DOSEN PEMBIMBING

1. Asri Nurdiana, S.T., M.T.
NIP : 198512092012122001
2. Muh Bahrul Ulum Alkarimi, S.Pd., M.T.
NIP : 199506082024061001

GAMBAR

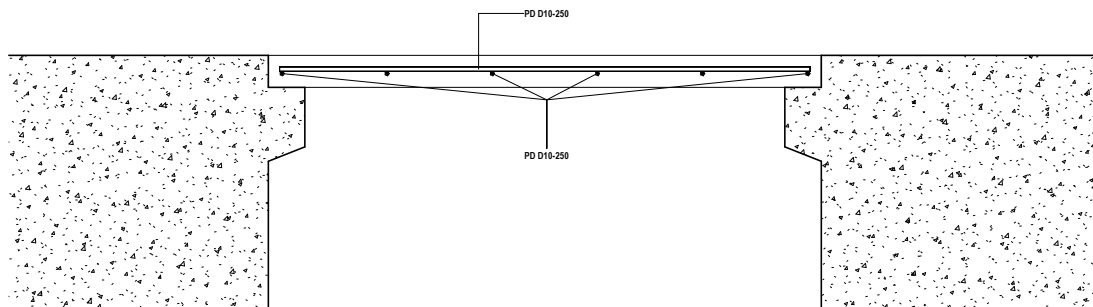
SKALA

DIBUAT OLEH :

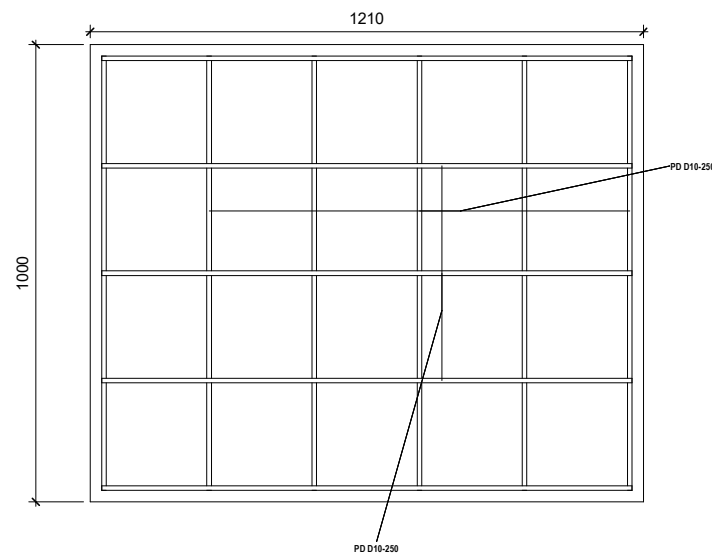
1. Rizal Prima Rafinanda
NIM : 40030521650100
2. Muhammad Rizki Paula
NIM : 40030521650128

KODE	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR

KETERANGAN



1 Tampak Depan Pelat Deck
1 : 10



2 Tampak Atas Pelat Deck
1 : 10