

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN ULANG

STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG

DI KABUPATEN DEMAK

BERDASARKAN SNI 1725-2016

Ditajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh :

Bagus Kurniawan
NIM: 30202000040

Hernawan Susilo
NIM : 30202000085

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2024

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG
DI KABUPATEN DEMAK
BERDASARKAN SNI 1725-2016

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



Bagus Kurniawan

NIM : 302020001040

Hermawan Susilo

NIM : 302020000085

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2024

LEMBAR PENGESAHAN
PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR JEMBATAN PRALEGANG
DI KABUPATEN DEMAK
BERDASARKAN SNI 1725-2016



Bagus Kurniawan
NIM: 30202000040



Hermawan Susilo
NIM: 30202000085

Delah disetujui dan disahkan di Semarang,

Tim Penguji

1. **Ir. B. Peaboya Setiyawan, M.T., Ph.D.**
NIDN: 0607046800
2. **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.**
NIDN: 0625059102
3. **Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.**
NIDN: 060504670

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITAACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No. 20 / A.2 / SA = T / IX / 2024

Pada hari ini tanggal 12 Agustus 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping

1. Nama : **Ir. H. Prabhowo Setiyawan, M.T., Ph.D**

Jabatan Akademik : Lektor Kepala

Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

2. Nama : **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng**

Jabatan Akademik : Lektor

Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Bagas Kurniawan
NIM: 30202000040

Bermawati Susilo
NIM: 30202000085

Judul : **PERANCANGAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN PRATANGGANG
DI KABUPATEN DEMAK BERDASARKAN SNI 7252:2016**

Dengan tahapan sebagai berikut:

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing		
2	Seminar Proposal		ACC
3	Pengumpulan data		
4	Analisis data		
5	Penyusunan laporan		
6	Selesai laporan		ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

Ir. H. Prabhowo Setiyawan, M.T., Ph.D

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

NAMA : Bagus Kurniawan

NIM : 30202000040

NAMA

: Hermawan Susilo

NIM

: 30202000085

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

"PERANCANGAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG DI

KABUPATEN DEMAK BERDASARKAN SNI725-2016"

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Semarang, Agustus 2024

Yang membuat pernyataan


BAGUS KURNAWAN
NIM: 30202000040


HERMAWAN SUSILO
NIM: 30202000085



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang beranda tangan di bawah ini:

NAMA : Bagus Kurniawan
NIM : 30202000040

NAMA : Hermawan Susilo
NIM : 30202000086

JUDUL TUGAS AKHIR :

"PERANCANGAN ULANG STRUKTUR JEMBAJAN PRATEGANG DI
KABUPATEN DEMAK BERDASARKAN SNI 1725-2016"

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

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

(Demikian pernyataan ini saya buat).

Semarang, Januari 2024
Yang membuat pernyataan,


BAGUS KURNIAWAN
NIM: 30202000040


HERMAWAN SUSILO
NIM: 30202000086

MOTTO

"Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (herbuat) yang makruf dan mencegah dari yang mungkar dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik"
(QS. Ali 'Imran : Ayat 110)

"Dan orang-orang yang berilmu di antara hamba-hamba Allah itu tidak lain hanyalah orang-orang yang takut kepada Allah"
(QS. Fathir; 28)

"Bacalah (wahai Muhammad) dengan nama Tuhanmu yang menciptakan."
(QS. Al-Alaq; 1)

"Dan janganlah kamu mengikuti sesuatu yang tidak kau ketahui. Sesungguhnya pendengaran, penglihatan dan hati, semuanya akan diminta pertanggungjawabannya."
(QS. Al-Isra; 36)

"Apabila seseorang menempuh suatu jalan untuk mencari ilmu, maka Allah memudahkan jalan surga baginya"
(Hadis riwayat Muslim)

"Innamal amalu bi niyat"

(Sesungguhnya amal perbuatan itu tergantung pada niatnya)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, kehadiran Allah SWT atas segalanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dapat dipersembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya, Bapak **Asrori** dan Ibu **Sri Wantini**, yang selalu memberikan dukungan, cinta, doa dan sudi untuk menjadi seseorang yang sukses serta mulia di dunia dan di akhirat.
2. Bapak **Ir. IL Prahowo Setiyawan, M.T., Ph.D.** dan Bapak **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.** selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya, terima kasih banyak bapak sudah membantu selama ini. Sudah dimasehati, diajari dan mengarahkan saya sampai Tugas Akhir ini selesai.
3. Kepada seluruh **Dosen Fakultas Teknik** Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah membagikan ilmu dan pengalamannya.
4. **Hermawan Susilo** selaku partner saya yang sabar dan sungguh – sungguh dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
5. Kepada teman – teman rekan Teknik Sipil angkatan 2020 dan kakak tingkat maupun adek tingkat yang senantiasa memberi dukungan dan bantuan yang diberikan selama masa kuliah ini.
6. Kepada diri sendiri, **Bagus Kurniawan**, yang tanpa henti berjuang dan berkarya. Skripsi ini adalah bukti kegigihan dan tekad dalam mengejar impian. Semoga setitik persembahan ini menginspirasi ketekunan dan semangat kepada setiap pembaca. Terima kasih pada diri sendiri yang tak pernah berhenti percaya dan berusaha.
7. Kepada **Senia Nariska**, terima kasih atas setiap doa-doa dan dukungannya selama ini, Terima kasih telah menjadi salah satu sumber motivasi dan kekuatan sepanjang perjalanan ini.
8. Semua pihak yang tidak disebutkan dalam membantu penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Bagus Kurniawan

NIM : 30202000040

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, taufiq, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, Dengan rasa syukur yang mendalam, Laporan Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk:

1. Kepada orang tua saya, Bapak **Bambang Susilo**, Ibu **Rini Susanti** dan keluarga besar saya, terima kasih atas nasihat, perhatian dan doa yang selalu mengiringi setiap langkah saya hingga bisa mencapai titik saat ini.
2. Kepada Bapak **Ir. H. Prahowo Setiyawan, M.T., Ph.D.** dan Bapak **Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.**, selaku Dosen Pembimbing yang dengan sabar membimbing dalam pengerjaan tugas akhir kami.
3. Kepada seluruh Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah membagikan ilmu dan pengalamannya.
4. Kepada rekan saya, **Bagus Kurniawan**, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih dan *jazakallah khair* atas kerjasamanya, terutama dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
5. Kepada teman - teman Teknik Sipil angkatan 2020 dan kakak tingkat maupun adek tingkat at yang senantiasa memberi dukungan dan bantuan yang diberikan selama masa kuliah ini.
6. Kepada diri sendiri, **Hermawan Susilo**, yang tanpa henti berjuang dan berkarya. Skripsi ini adalah bukti kegigihan dan tekad dalam mengejar impian. Semoga setitik persembahan ini menginspirasi ketekunan dan semangat kepada setiap pembaca. Terima kasih pada diri sendiri yang tak pernah berhenti percaya dan berusaha.
7. Kepada Ulayya **Nada Syukriya, S.H.**, terima kasih atas setiap doa-doa dan dukungannya selama ini. Terima kasih telah menjadi salah satu sumber motivasi dan kekuatan sepanjang perjalanan ini.
8. Dan kepada seluruh pihak yang tak dapat saya sebutkan namanya satu per satu,

Hermawan Susilo

NIM : 30202000085

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG DI KABUPATEN DEMAK BERDASARKAN SNI 1725-2016” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

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

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Sefiyawan, M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

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

Semarang, Agustus 2024

Bagus Kurniawan (30202000040)

Hermawan Susilo (30202000085)

USULAN TUGAS AKHIR
PERANCANGAN ULANG
STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG
DI KABUPATEN DEMAK
BERDASARKAN SNI 1725-2016

Diajukan oleh:

Bagus Kurniawan
NIM : 30202000040

Hermawan Susilo
NIM : 30202000085

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama

Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.
NIDN: 0607046802

Tanggal: Agustus 2024

Pembimbing Pendamping

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.
NIDN: 0625059102

Tanggal: Agustus 2024

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNISSULA
جامعة سلطان أبجوع الإسلامية

Muhamad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng.
NIDN: 0625059102

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
USULAN TUGAS AKHIR.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xx
ABSTRAKSI.....	xxiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Tugas Akhir.....	2
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Jembatan.....	4
2.1.1 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Kelas Muatan Bina Marga.....	4
2.1.2 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Material Jembatan.....	4
2.1.3 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Fungsi.....	5
2.1.4 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Bentuk Struktur.....	6
2.2 Pembebanan Pada Jembatan.....	11
2.2.1 Kombinasi Pembebanan.....	11

2.2.2	Beban Permukiman.....	12
2.2.2.1	Berat Sendiri (MS)	12
2.2.2.2	Beban Mati Tambahan (MA)	13
2.2.3	Beban Lalu Lintas	14
2.2.3.1	Beban Lajur "D" (TD)	14
2.2.3.2	Beban Truk "T"	15
2.2.4	Gaya Rem (TB)	17
2.2.5	Beban Pejalan Kaki (TP)	17
2.2.6	Beban Gempa (EQ)	18
2.2.7	Beban Angin (EWs)	19
2.3	Jembatan Beton Prategang	19
2.3.1	Prinsip Dasar Prategang	20
2.3.2	Metode Prategang	23
2.4	Kehilangan Sebagian Prategang.....	25
2.4.1	Kehilangan Tegangan Akibat Dudukan Angker (A)	25
2.4.2	Kehilangan Tegangan Akibat Perpendekan Elastis Beton (ES).....	26
2.4.3	Kehilangan Tegangan Akibat Rangkuk (CR)	27
2.4.4	Kehilangan Tegangan Akibat Susut (SH).....	28
2.4.5	Kehilangan Tegangan Akibat Relaksasi Baja (R).....	28
2.4.6	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan (F)	31
2.5	Perancangan Pelat Lantai.....	32
2.6	Perancangan Girder	33
2.7	Perancangan Abutment	33
2.8	Perancangan Pondasi Tiang Pancang	34
2.9	Pondasi Tiang Pancang.....	35
2.9.1	Daya Dukung Berdasarkan Data SPT	37
2.9.2	Daya Dukung Berdasarkan Data Sondir	38
2.9.3	Daya Dukung Aksial	38
2.9.4	Daya Dukung Lateral	39
2.9.5	Efisiensi Grup Tiang	40
2.9.6	Pemurunan (Settlement)	42
BAB III	.....	44
METODE PERANCANGAN	.....	44

3.1	<i>Flowchart</i> Perancangan	44
3.2	Data Perancangan.....	45
3.3	Tahapan Perancangan	46
3.3.1	<i>Kajian Pustaka</i>	46
3.3.2	<i>Preliminary Design</i>	47
3.3.3	<i>Analisis Struktur</i>	47
3.3.4	<i>Desain Struktur Atas</i>	47
3.3.5	<i>Desain Struktur Bawah</i>	47
3.3.6	<i>Detail Gambar Struktur</i>	47
BAB IV	.....	48
PENITUNGAN KONSTRUKSI	.....	48
4.1	Perhitungan Konstruksi.....	48
4.2	Spesifikasi Bahan	49
4.3	Perancangan Konstruksi Bangunan Atas Jembatan.....	50
4.3.1	Perhitungan Tiang Sandaran.....	50
4.3.2	Perhitungan Lantai Trotoar.....	54
4.3.3	Perhitungan Pelat Lantai Jembatan.....	58
4.3.4	Perhitungan <i>Girder</i>	67
4.4	Perancangan Konstruksi Bangunan Bawah	124
4.4.1	Perancangan <i>Abutment</i>	125
4.5	Perancangan Pondasi Tiang Pancang	170
4.5.1	Perancangan Pondasi Pada <i>Abutment</i>	170
BAB V	.....	181
PENUTUP	.....	181
5.1	Kesimpulan.....	181
5.2	Saran	182
DAFTAR PUSTAKA	.....	183
LAMPIRAN	.....	183

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kombinasi Beban dan Faktor Beban...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2 Berat Isi Untuk Beban Mati.....	12
Tabel 2.3 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri.....	13
Tabel 2.4 Faktor Beban yang Berlaku Untuk Beban Mati Tambahan.....	13
Tabel 2.5 Faktor Beban Untuk Beban Lajur "D"	14
Tabel 2.6 Faktor Beban Untuk Beban "T"	15
Tabel 2.7 faktor Beban Akibat Pembebanan Untuk Pejalan Kaki.....	8
Tabel 2.8 Taktor Beban Akibat Pengaruh Gempa	18
Tabel 2.9 Tekanan Angin Dasar	19
Tabel 2.10 Nilai K_{st} yang Berlaku Untuk Elemen Struktur Setelah Tahap Tarik.....	28
Tabel 2.11 Nilai K_e dan J	29
Tabel 2.12 Nilai C	30
Tabel 2.13 Koefisien Gesek Kelengkungan dan Wobble.....	31
Tabel 4. 1 Berat Sendiri Trotoar.....	54
Tabel 4.2 Pola Beban Hidup Lantai Trotoar.....	55
Tabel 4. 3 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai.....	60
Tabel 4. 4 Rekap Momen Pelat Lantai.....	63
Tabel 4. 5 Kombinasi I Momen Pelat Lantai.....	63
Tabel 4. 6 Kombinasi II Momen Pelat Lantai.....	64
Tabel 4. 7 Dimensi Balok Prategang.....	68
Tabel 4. 8 Data Strand.....	70
Tabel 4. 9 Section Properties Balok Prategang	71
Tabel 4. 10 Section Properties Balok Komposit	73
Tabel 4. 11 Gaya Geser dan Momen Akibat Berat Sendiri (MS).....	76
Tabel 4. 12 Beban Mati Tambahan (MA).....	76
Tabel 4. 13 Resume Momen dan Gaya Geser Pada Balok.....	82
Tabel 4. 14 Momen Pada Balok Prategang	84
Tabel 4. 15 Geser Pada Balok Prategang	86
Tabel 4. 16 Posisi Baris Tendon	90

Tabel 4. 17 Posisi Tendon Di Tengah Bentang	91
Tabel 4. 18 Posisi Tendon Di Tumpuan	92
Tabel 4. 19 Momen Statis Tendon Terhadap Pusat Tendon Terbawah	92
Tabel 4. 20 Eksentrisitas Tendon Di Tumpuan	93
Tabel 4. 21 Eksentrisitas Tendon Di Tengah Bentang.....	93
Tabel 4. 22 Lintasan Inti Tendon.....	94
Tabel 4. 23 Sudut Angkur	96
Tabel 4. 24 Posisi Masing – Masing Kabel.....	96
Tabel 4.25 Tegangan Akibat Rangkak.....	110
Tabel 4. 26 Superposisi Tegangan Susut dan Rangkak	110
Tabel 4.27 Momen Akibat Pengaruh Temperatur	113
Tabel 4. 28 Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur	114
Tabel 4.29 Kombinasi Pembebanan Kontrol Tegangan.....	114
Tabel 4. 30 Kombinasi I Kontrol Tegangan.....	115
Tabel 4. 31 Kombinasi II Kontrol Tegangan.....	115
Tabel 4. 32 Kombinasi III Kontrol Tegangan.....	115
Tabel 4. 33 Kombinasi IV Kontrol Tegangan.....	115
Tabel 4. 34 Kombinasi V Kontrol Tegangan	115
Tabel 4. 35 Perhitungan Sengkan Arah Vertikal	117
Tabel 4. 36 Sengkan Bursting force.....	118
Tabel 4. 37 Kombinasi I Kontrol Lendutan.....	123
Tabel 4. 38 Kombinasi II Kontrol Lendutan	124
Tabel 4. 39 Kombinasi III Kontrol Lendutan.....	124
Tabel 4. 40 Kombinasi IV Kontrol Lendutan.....	124
Tabel 4. 41 KombinasiV Kontrol Lendutan	124
Tabel 4. 42 Perhitungan Berat Sendiri Struktur Bawah.....	128
Tabel 4. 43 Beban Total M_{MS}	129
Tabel 4. 44 Perhitungan Beban Mati Tambahan	129
Tabel 4. 45 Perhitungan Tekanan Tanah.....	131
Tabel 4. 46 Distribusi Beban Gempa Pada Abutment.....	141
Tabel 4. 47 Kombinasi1	146
Tabel 4. 48 Kombinasi2.....	147

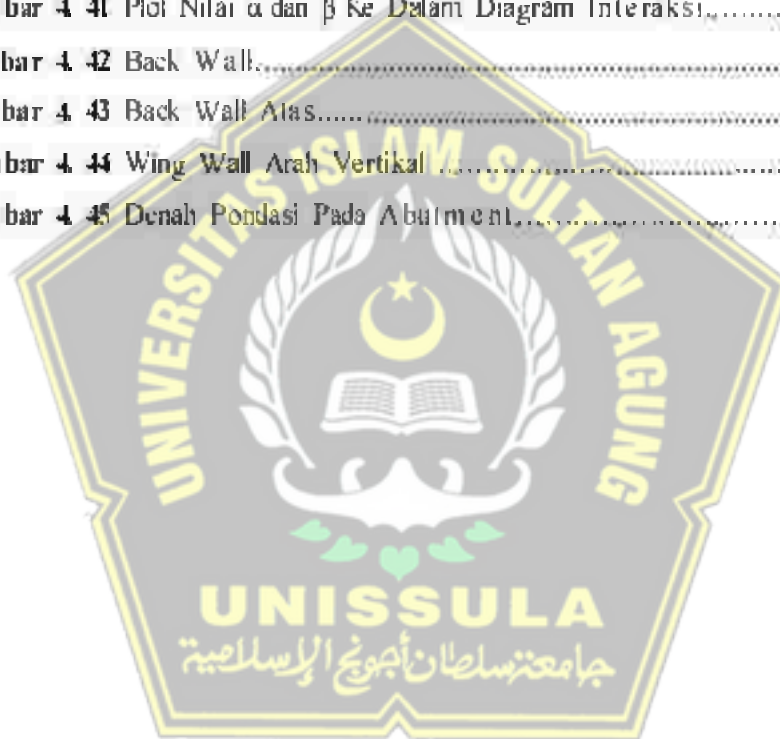
Tabel 4. 49 Kombinasi3	148
Tabel 4. 50 Kombinasi4	148
Tabel 4. 51 Kombinasi5.....	149
Tabel 4. 52 Rekap Kombinasi Be ban.....	150
Tabel 4. 53 Stabilitas Guling Arah X.....	151
Tabel 4. 54 Stabilitas Guling Arah Y.....	151
Tabel 4. 55 Stabilitas Geser Arah X.....	152
Tabel 4. 56 Stabilitas Geser Arah Y.....	153
Tabel 4. 57 Beban Kerja Pile Cap.....	154
Tabel 4. 58 Rekap Kombinasi Beban Ultimit Pile Cap.....	154
Tabel 4. 59 Rekap Beban Ultimit Breast Wall.....	155
Tabel 4. 60 Rekap Kombinasi Beban Ultimit Breast Wall	155
Tabel 4. 61 Beban Ultimit Back Wall Bawah.....	156
Tabel 4. 62 Beban Ultimit Back Wall atas.....	156
Tabel 4. 63 Hasil Analisis Beban Untuk Lebar 1 m	158
Tabel 4. 64 Data Sondir.....	170
Tabel 4. 65 Tahanan Gesek Kerucut Statis Rata – Rata.....	172
Tabel 4. 66 Rekap Tahanan Aksial Tiang Pancang.....	172
Tabel 4. 67 Rekap Tahanan Lateral Tiang Pancang	174
Tabel 4. 68 Susunan Tiang Pancang	175

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jembatan Gelagar Biasa.....	7
Gambar 2.2 Jembatan Gelagar Pelat	7
Gambar 2.3 Jembatan Beton Bertulang Balok T	8
Gambar 2.4 Jembatan Gelagar Komposit.....	8
Gambar 2.5 Jembatan Rangka Batang	9
Gambar 2.6 Jembatan Gantung.....	9
Gambar 2.7 Jembatan Kabel Tetap.....	10
Gambar 2.8 Jembatan Beton Prategang.....	11
Gambar 2.9 Beban Lajur "D".....	15
Gambar 2.10 Pembebanan Truk "T".....	16
Gambar 2.11 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban "T" Untuk Pembebanan.....	17
Gambar 2.12 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris	21
Gambar 2.13 Momen Tahanan Internal Pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang.....	23
Gambar 2.14 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola	23
Gambar 2.15 Metode Beton Prategang Pre-Tension.....	24
Gambar 2.16 Metode Beton Prategang Post-tension.....	25
Gambar 2.17 Perpendekan Elastis.....	26
Gambar 2.18 Evaluasi Pendekatan Pusat Sudut Tendon.....	32
Gambar 2.19 End Bearing Pile dan Friction Pile.....	37
Gambar 2.20 Reaksi Tanah dan Momen Lentur Pada Tiang Pancang Akibat Gaya Lateral Pada Tanah.....	39
Gambar 2.21 Freebody Diagram Tegangan Untuk Mencari Besar H_u'	39
Gambar 2.22 Daya Dukung Lateral Tiang Panjang vs Momen Tahanan Pada Tanah Kohesif	41
Gambar 2.23 Mobilisasi Keruntuhan (<i>Bulb Pressure</i>).....	41
Gambar 3.1 <i>Flume</i> dan Perancangan.....	44
Gambar 3.2 Jembatan Tambak bulusan	45

Gambar 4.1 Potongan Memanjang Jembatan.....	48
Gambar 4.2 Potongan Melintang Jembatan.....	49
Gambar 4.3 Tiang Sandaran.....	50
Gambar 4.4 Penulangan Tiang Sandaran.....	53
Gambar 4.5 Pola Berat Sendiri Lantai Trotoar.....	54
Gambar 4.6 Beban Hidup Pejalan Kaki.....	55
Gambar 4.7 Penulangan Lantai Trotoar.....	58
Gambar 4.8 Potongan Melintang Jembatan.....	58
Gambar 4.9 Penulangan Pelat Lantai.....	67
Gambar 4.10 Dimensi Girder.....	69
Gambar 4.11 Pola Lebar Efektif Pelat Lantai.....	71
Gambar 4.12 Section Properties Girder.....	72
Gambar 4.13 Section Properties Balok Komposil.....	73
Gambar 4.14 Pola Gaya Prategang Pada Kondisi Awal.....	88
Gambar 4.15 Eksentrisitas Tendon Di Tumpuan.....	93
Gambar 4.16 Eksentrisitas Tendon Di Tengah Bentang.....	94
Gambar 4.17 Pola lintasan Inti Tendon.....	94
Gambar 4.18 Bursting Force.....	116
Gambar 4.19 Bursting Force.....	118
Gambar 4.20 Section Properties Abutment.....	126
Gambar 4.21 Pola Pembebanan Berat Sendiri Struktur Bawah.....	127
Gambar 4.22 Beban Mati Tambahan.....	130
Gambar 4.23 Pola Pembebanan Tekanan Tanah.....	131
Gambar 4.24 Beban lajur " D ".....	132
Gambar 4.25 Faktor Beban Dinamis.....	132
Gambar 4.26 Beban Pejalan Kaki.....	133
Gambar 4.27 Beban Rem.....	134
Gambar 4.28 Pengaruh Temperatur.....	136
Gambar 4.29 Beban Angin Pada Samping Jembatan.....	136
Gambar 4.30 Pola Beban Angin Pada Lantai Jembatan.....	139
Gambar 4.31 Transfer Beban Angin Ke Lantai Jembatan.....	139

Gambar 4 32 Waktu Getar Struktur.....	140
Gambar 4 33 Pola Pembebanan Gempa Arah X.....	141
Gambar 4 34 Pola Pembebanan Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa.....	144
Gambar 4 35 Pola Pembebanan Gesekan Pada Perletakan Elastomer.....	145
Gambar 4 36 Pola Stabilitas Guling.....	150
Gambar 4 37 Stabilitas Guling Arah Y.....	151
Gambar 4 38 Pola Stabilitas Geser Arah X.....	152
Gambar 4 39 Pola Stabilitas Geser Arah Y.....	153
Gambar 4 40 Pola Breast Wall.....	157
Gambar 4 41 Plot Nilai α dan β Ke Dalam Diagram Interaksi.....	159
Gambar 4 42 Back Wall.....	160
Gambar 4 43 Back Wall Atas.....	163
Gambar 4 44 Wing Wall Arah Vertikal.....	165
Gambar 4 45 Denah Pondasi Pada Abutment.....	170



DAFTAR NOTASI

q	= Intensitas beban terbagi rata dalam arah memanjang jembatan;
L	= Panjang total jembatan yang dibebani;
$L_{0,0}$	= Panjang rata-rata dari sekelompok bentang yang terhubung secara berurutan;
L_{max}	= Panjang terbesar dari sejumlah bentang yang terhubung secara berurutan
E_Q	= Gaya horisontal statis dari gempa;
C_{sm}	= Koefisien respons elastis;
R	= Faktor modifikasi respons;
W_t	= Berat struktur total yang mencakup beban mati dan beban hidup yang sesuai.
P_B	= Tekanan angin
P	= Gaya Prategang;
A	= Luas penampang;
e	= Jarak pusat tendon terhadap pegeru (<i>center gravity of concrete</i>);
y	= Jarak dari sumbu yang melalui Titik Berat;
I	= Momen Inersia penampang;
f	= Distribusi tegangan pada penampang;
M	= Gaya Momen pada penampang;
W_b	= Beban pada balok;
F	= Gaya Prategang;
L	= Panjang Bentang;
h	= Tinggi Parabola.
Δf_{pA}	= Kehilangan tegangan akibat dudukan Angker
Δs	= Besar Gelincir;
L	= Panjang Tendon;
E_{ps}	= Modulus Elastisitas <i>Strand</i> .
Δf_{pGR}	= Kehilangan tegangan akibat <i>Creep</i> (Rangkak);
K_{CR}	= 2,0 untuk komponen struktur Pra-Tarik;

1,60 untuk komponen struktur Pasca-Tarik;

- f_{cs} = Tegangan pada beton di Titik Pusat Massa Tendon setelah transfer;
- f_{sd} = Tegangan pada beton di titik pusat massa tendon karena seluruh beban tambahan setelah pemberian prategang;
- n = Modulus Rasio
- Δf_{s1} = Kehilangan tegangan akibat susut
- K_{s1} = Rasio yang berlaku untuk elemen struktur yang mengalami pasca-tarik;
- E_{ps} = Kekakuan elastisitas dari baja prategang;
- V/S = Rasio antara volume dan luas permukaan;
- RH = Persentase kelembaban udara yang sesuai.
- f_{pES} = Reduksi tegangan karena deformasi elastis beton;
- f_{pCR} = Penurunan tegangan karena efek creep;
- f_{pSH} = Penurunan tegangan karena efek *shrinkage*;
- f_1 = Tegangan yang dihasilkan oleh gaya prategang awal P_1 .
- μ = Faktor kelengkungan;
- K = Koefisien *Wobble*.
- Q_{ult} = Daya Dukung Maksimum dari pondasi tiang pancang (ton);
- N_b = Nilai uji standar penetrasi (SPT) di kedalaman dasar tiang;
- A_p = Luas penampang dasar tiang, diukur dalam meter persegi (m^2);
- N = Luas permukaan penutup dasar tiang, diukur dalam meter persegi (m^2);
- A_s = Rata-rata nilai SPT di sepanjang tiang pancang.
- q_c = Tahanan ujung sondir (kg/cm^2);
- f_{HP} = Jumlah hambatan pelekak (kg/cm);
- $K_{el.O}$ = Keliling tiang pancang (cm).
- Q_{ijin} = Daya dukung ijin (bearing capacity) pondasi tiang pancang diukur dalam ton.
- Q_{ult} = Daya Dukung tiang pancang maksimum;
- Q_u = Daya Dukung Ujung;
- Q_s = Daya Dukung Gesekan;
- Q_{ult} = Daya Dukung Ijin;
- SF = Faktor Keamanan (*safety factor*).

- Q_{ug} = Daya dukung grup tiang;
 Q_{sp} = Daya dukung tiang tunggal;
 n = Jumlah tiang dalam grup;
 E_g = Efisiensi grup tiang (≤ 1);
 θ = arc tan (d/s) dalam derajat;
 d = Diameter tiang;
 s = Jarak antar as tiang;
 n = Jumlah tiang dalam baris;
 m = Jumlah tiang dalam kolom;
 S_g = Penurunan kelompok tiang;
 S = Penurunan pondasi tiang tunggal;
 B_g = Lebar kelompok tiang;
 D = Diameter atau sisi tiang tunggal.



PERANCANGAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG

Abstraksi

Jembatan Prategang Tambakbulusan di Demak merupakan infrastruktur yang membutuhkan Perancangan Ulang untuk memastikan keamanan dan keberlanjutan operasional. Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang ulang Struktur Jembatan berdasarkan Standar perancangan yang berlaku di Indonesia, yaitu SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, dan SNI 7730-2011. Fokus utama Tugas Akhir ini adalah pada tahapan Perancangan Ulang Jembatan Prategang, Dimensi dan Penulangan Struktur Pelat, *Girder*, dan *Abutment*, serta Jumlah Tiang Pancang dan Dimensi Pemulangan.

Metode Tugas Akhir meliputi Studi Literatur mengenai Standar Perancangan Jembatan yang berlaku, Analisis Lendutan yang terjadi pada jembatan, serta Perancangan Struktur Bawah Jembatan Prategang Tambakbulusan. Batasan masalah meliputi penggunaan Peraturan Pembebanan (SNI 1725-2016), Peraturan Perancangan terhadap Beban Gempa (SNI 2833-2016), dan Spesifikasi Batang Baja Mutu Tinggi Untuk Beton Prategang (SNI 7730-2011), serta Data Tanah hasil penyelidikan di Lokasi Proyek.

Dengan merancang ulang struktur jembatan ini sesuai dengan standar yang berlaku, diharapkan dapat meningkatkan ketahanan struktur terhadap Beban Operasional dan Gempa, serta memperpanjang umur pakai jembatan Prategang Tambakbulusan untuk mendukung mobilitas dan keselamatan masyarakat di daerah tersebut.

Kata Kunci: Perancangan Ulang, Struktur Jembatan, Jembatan Prategang



REDESIGN OF PRESTRESSED BRIDGE STRUCTURES

Abstract

The Tambakbulusan Prestressed Bridge in Demak is infrastructure that requires redesign to ensure operational safety and sustainability. This research aims to redesign bridge structures based on design standards that apply in Indonesia, namely SNI 725-2016, SNI 2833-2016, and SNI 7730-2011. The main focus of this research is on the Prestressed Bridge Redesign stage: Dimensions and Reinforcement of Plate, Girder and Abutment Structures, as well as the Number of Piles and Reinforcement Dimensions.

Research methods include literature studies regarding applicable bridge design standards, analysis of deflections that occur on bridges, and design of the substructure of the Tambakbulusan prestressed bridge. Problem limitations include the use of loading regulations (SNI 1725-2016), design regulations for Earthquake Loads (SNI 2833-2016), and Specifications for High Quality Steel Bars for Prestressed Concrete (SNI 7730-2011), as well as soil data resulting from investigations at the Project Site.

By redesigning the structure of this bridge in accordance with applicable standards, it is hoped that it can increase the structure's resistance to operational and earthquake loads, as well as extend the service life of the Tambakbulusan prestressed bridge to support the mobility and safety of people in the area.

Keywords: *Redesign, Bridge Structure, Prestressed Bridge*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai penghubung antara dua jalur yang terpisah oleh berbagai halangan seperti sungai, aliran air, perlintasan yang tidak sejajar, jalur kereta api dan sejenisnya, jembatan memegang peranan penting dalam menghubungkan dua bagian tersebut. Karena itu, pembangunan jembatan harus mempertimbangkan kekuatan, serta kemampuan menahan beban yang diberikan. Pemilihan bahan untuk pembuatan jembatan juga merupakan pertimbangan penting. Untuk jembatan yang memiliki bentang yang panjang, biasanya bahan seperti baja dan beton menjadi pilihan utama. Namun, saat memilih material, penting untuk mempertimbangkan aspek-aspek seperti keamanan, harga, waktu pembangunan dan kemampuan untuk menyesuaikan desain (et al, 2018).

Beton memiliki sifat kekuatan yang tinggi saat menghadapi tekanan, namun rentan terhadap gaya tarik. Kekuatan Tarik beton biasanya hanya berkisar antara 9% hingga 15% dari kekuatannya saat mengalami tekanan. Keterbatasan ini dalam menahan Gaya Tarik menyebabkan timbulnya retakan pada beban yang rendah. Sehingga, dibutuhkan jenis beton yang mampu menanggung Gaya Tarik yang lebih besar dengan menggunakan penampang yang lebih kecil.

Jenis beton yang umum digunakan dalam pembangunan jembatan adalah Beton Prategang. Beton Prategang merupakan jenis beton yang memiliki struktur baja yang diberi gaya dalam Arah Longitudinal elemen strukturalnya. Prategang ini berperan penting dalam mengurangi Tegangan Tarik pada titik tumpuan dan area kritis jembatan ketika menahan Beban Kerja, sehingga mencegah terbentuknya retakan. Dengan demikian, Beton Prategang memiliki kemampuan untuk meningkatkan Kapasitas Lentur, Geser serta Torsi pada penampang jembatan tersebut (et al, 2018).

Jembatan Tambakbulusan ini dibangun karena terputusnya ruas jalan yang menghubungkan antara Desa Surodadi dan Desa Tambakbulusan. Jembatan ini akan memudahkan mobilitas warga setempat dalam beraktivitas khususnya para

Petani Tambak untuk mendistribusikan hasil tambaknya. Jembatan ini nantinya juga akan menjadi jalur penghubung alternatif Semarang – Jepara.

1.2 Rumusan Masalah

Berhubungan dengan latar belakang tersebut, Rumusan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tahapan – tahapan dalam melakukan Perancangan Ulang Jembatan Prategang ?
2. Berapa dimensi dan penulangan Struktur Pelat, Girder dan Abutment yang mampu menahan Beban Rencana yang bekerja ?
3. Berapa jumlah Tiang Pancang dan dimensi penulangannya ?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang Struktur Jembatan Prategang Tambakbulusan dan penulangannya berdasarkan SNI 1725-2016,
2. Menganalisis lendutan yang terjadi pada jembatan,
3. Merancang Struktur Bawah Jembatan Prategang Tambakbulusan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Peraturan Pembebanan pada jembatan merujuk pada SNI 1725-2016,
2. Peraturan Perancangan jembatan terhadap Beban Gempa merujuk pada SNI 2833-2016,
3. Bentang yang dihitung pada jembatan ini yaitu 31 m.
4. Data tanah yang digunakan merupakan hasil penyelidikan tanah pada lokasi Proyek Jembatan Tambak bulusan.

1.5 Sistematika Tugas Akhir

Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini mencakup informasi Latar Belakang, Rumusan Masalah, Maksud dan Tujuan, Batasan Masalah serta Sistematika Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Merupakan bagian dari perancangan yang merincikan teori-teori yang memiliki relevansi dengan subyek yang sedang diperbincangkan. Ini didasarkan pada SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, pandangan Para Ahli, serta literatur yang ada, dalam konteks masalah yang sama. Selain itu, bab ini menjelaskan tentang penggunaan pedoman, rumus dan metode perhitungan yang sesuai dengan perancangan.

BAB III METODE PERANCANGAN

Bab ini berisi tentang tahapan – tahapan perancangan yang terdiri dari pengumpulan data, analisis dan perancangan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai hasil perancangan jembatan dan pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran – saran mengenai hasil perhitungan dari perancangan struktur jembatan tersebut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain berupa jalan air atau jalan lalu lintas biasa (Struyk dan Veen, 1984).

2.1.1 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Kelas Muatan Bina Marga

Jembatan dapat dikelompokkan berdasarkan kapasitasnya untuk menopang beban hidup sebanding dengan kendaraan standar, yang melibatkan berbagai kelas muatan. Pengelompokan jembatan adalah sebagai berikut :

1. Jembatan Kelas Standar (A/I)
Jembatan Standar yang direncanakan untuk menanggung Beban "T" dan "D" hingga 100%. Dalam hal ini, lebar jembatan adalah 1,00 meter + 7,00 meter + 1,00 meter.
2. Jembatan Kelas *Sub* Standar (B/II)
Jembatan Kelas Standar dengan Perencanaan 70 % Muatan "T" dan 70 % Muatan "D". Dalam hal ini lebar jembatan adalah (0,50 + 6,00 + 0,50) meter.
3. Jembatan Kelas *Low* Standar (C/III)
Jembatan Kelas Standar yang direncanakan untuk menahan 50% Muatan "T" dan 50% Muatan "D". Dalam hal ini, lebar jembatan adalah 0,50 meter + 3,50 meter + 0,50 meter (BIMS, 2017).

2.1.2 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Material Jembatan

Pengelompokan jembatan berdasarkan jenis materialnya dibagi berdasarkan bahan yang menjadi komponen utama dari Struktur Atas bangunan (Galagar Induk), yang meliputi:

1. Jembatan Kayu

Rangka Struktur Atas jembatan ini menggunakan balok kayu sebagai komponen utama dalam kerangka jembatan, dengan papan kayu sebagai material lantai bagi kendaraan. Jenis kayu yang dipilih termasuk dalam

klasifikasi Kelas Awet A dan Kelas Kuat I, yang umumnya melibatkan kayu seperti Kayu Jati, Kayu Ulin, Kayu Bengkirai dan jenis kayu lainnya yang memiliki ketahanan terhadap dampak air dan kondisi cuaca.

Struktur Jembatan Kayu dapat dikelompokkan menjadi dua varian utama, yakni Jembatan Rangka Batang Kayu dan Jembatan Gelagar Biasa, yang biasanya cocok untuk jembatan yang memiliki jarak yang relatif pendek. Untuk menghubungkan elemen-elemen jembatan, Baut Standar bersama dengan Pelat Simpul yang terbuat dari bahan pelat baja sering digunakan.

2. Jembatan dengan Pasangan Batu

Segala komponen dari jembatan ini, termasuk Struktur Bawah (*Sub Structure*) dan Struktur Atas (*Super Structure*), dibuat dengan menggunakan bahan Pasangan Batu Kali atau bata merah. Jembatan ini mengadopsi konsep gravitasi dimana stabilitasnya didasarkan pada bobot sendiri dari struktur tersebut. Secara umum, desain jembatan ini sering terlihat dalam bentuk struktur lengkung pada bagian bentangnya yang bertugas menahan Beban Utama.

3. Jembatan Baja

Jembatan yang terbuat dari baja merupakan alternatif yang sering digunakan dan memiliki aplikasi yang luas, sejalan dengan penggunaan jembatan yang menggunakan beton. Jenis dan strukturnya bervariasi, termasuk Jembatan Gelagar Biasa, Jembatan Gelagar Box, Jembatan Gelagar Pelat, Jembatan Rangka Batang dan Jembatan Gantung. Pemilihan jenis dan struktur jembatan ini sangat dipengaruhi oleh panjang bentang yang dimiliki oleh jembatan tersebut.

4. Jembatan Beton

Penggunaan beton sebagai bahan utama dalam konstruksi jembatan adalah praktik umum dan telah terjadi kemajuan signifikan dalam teknologi terkait struktur dan teknik pelaksanaannya. Pembangunan Jembatan Beton sering kali melibatkan metode pengecoran di lokasi atau menggunakan Elemen Beton Pracetak. Beberapa varian Jembatan Beton termasuk Jembatan Memolit, Jembatan Beton Prategang dan Jembatan Komposit.

2.1.3 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Fungsi

Berdasarkan fungsinya klasifikasi jembatan dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. Jembatan Jalan Raya

Jembatan Jalan Raya digunakan untuk menghubungkan Jalan Raya yang melintasi rintangan seperti sungai, jalan dan sebagainya untuk dilewati kendaraan ringan hingga berat. Jembatan ini memiliki berbagai bentuk seperti Jembatan Pelengkung, Jembatan Kabel, Jembatan Beton Prategang dan lainnya. Jembatan Jalan Raya dirancang untuk menanggung beban berat kendaraan bermotor, termasuk bus, truk, serta mempertimbangkan Beban Hidup seperti lalu lintas Pejalan Kaki dan sepeda.

2. Jembatan Kereta Api

Jembatan Kereta Api adalah suatu struktur yang dirancang khusus untuk mendukung dan memfasilitasi perjalanan Kereta Api melintasi rintangan *Geografis* seperti sungai, lembah, ruas jalan atau wilayah yang sulit dilewati. Desain dan konstruksi Jembatan Kereta Api memiliki beberapa karakteristik khusus yang membedakannya dari jembatan untuk moda transportasi lainnya, mengingat beban dan kecepatan yang terkait dengan pergerakan Kereta Api.

3. Jembatan Penyeberangan Orang

Jembatan Penyeberangan Orang adalah struktur yang dibuat khusus untuk Pejalan Kaki untuk menyeberangi rintangan seperti ruas jalan, jalur kereta api dan lainnya. Tujuan utama dari jembatan ini adalah memberikan jalur aman bagi Pejalan Kaki agar dapat melintas tanpa terpengaruh oleh lalu lintas kendaraan atau hambatan lainnya.

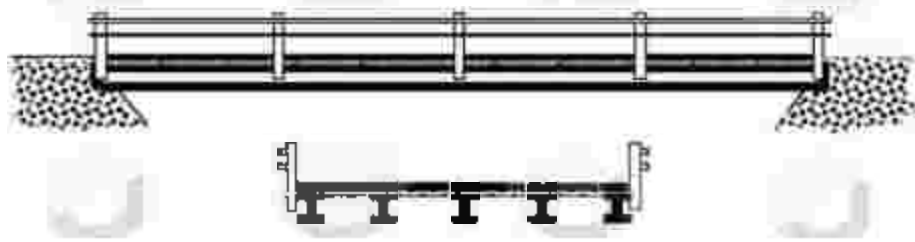
2.1.4 Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Bentuk Struktur

Mengacu pada Struktur atau Jenis Gelagar Utamanya, jembatan dikelompokkan berdasarkan fungsi utama dalam mendukung semua elemen struktural jembatan dan menyalurkan beban yang terkait secara langsung ke bagian bawah struktur. Klasifikasi Struktur Jembatan dapat disusun sebagai berikut :

1. Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*)

Jembatan ini digunakan pada Jembatan dengan Bentang Pendek sampai sedang dan Beban Hidup yang lewat relatif kecil. Gelagar Induk Jembatan ini merupakan Struktur Balok Biasa yang menumpu pada kedua *Abutment* dengan susunan struktur: Gelagar Induk, Pelat Kendaraan dengan dilengkapi Tiang

Sandaran (non struktur). Material dari Jembatan ini biasanya menggunakan kayu atau baja. Gambar 2.1 menunjukkan Gambar Jembatan Gelagar.



Gambar 2.1 Jembatan Gelagar Biasa

2. Jembatan Gelagar Pelat (*Plate Girder Bridge*)

Jembatan ini umumnya digunakan untuk rel kereta api dengan jarak tertentu antara bentangnya. Konstruksinya terdiri dari Balok Pelat Baja yang memiliki ketebalan yang sudah ditentukan sebagai Gelagar Utama dari jembatan ini. Contoh dari jenis jembatan ini adalah Jembatan Gelagar Pelat yang ada pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Jembatan Gelagar Pelat

3. Jembatan Beton Bertulang Balok T (*Concrete Bridge T Girder*)

Jembatan Beton Bertulang Balok T merupakan jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama beton. Jembatan tipe ini digunakan secara luas dalam konstruksi jalan raya, tersusun dari *slab* beton yang didukung secara

integral dengan Gelagar. Penggunaan jembatan ini akan lebih ekonomis pada Bentang 15 – 25meter pada kondisi normal (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Gambar dari Jembatan Beton Bertulang Balok T dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jembatan Beton Bertulang Balok T

4. Jembatan Komposit (*Composite Bridge*)

Susunan struktur dari jembatan ini melibatkan Gelagar Utama yang menggabungkan dua material berbeda yaitu balok profil baja dan lantai pelat yang terbuat dari beton bertulang, yang terkoneksi melalui Penghubung Geser (*Shear Connector*). Jembatan ini sering digunakan untuk bentang yang relatif lebih panjang, sekitar 15 hingga 30 meter. Gambar 2.4 menggambarkan penampilan dari Jembatan Komposit.



Gambar 2.4 Jembatan Gelagar Komposit

5. Jembatan Rangka Batang (*Truss Bridge*)

Struktur Jembatan Rangka Batang mempunyai tipe rangka yang banyak jenisnya. Struktur Jembatan Rangka Batang dengan material profil baja digunakan pada jembatan dengan bentang yang relatif panjang. Struktur Rangka Batang dipasang di bagian bawah kiri –kanan yang merupakan gelagar

Induk yang menopang Gelagar Melintang dan Gelagar Memanjang yang berfungsi menahan beban kerja dari lantai kendaraan. Gambar dari Jembatan Rangka Batang dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Jembatan Rangka Batang

6. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

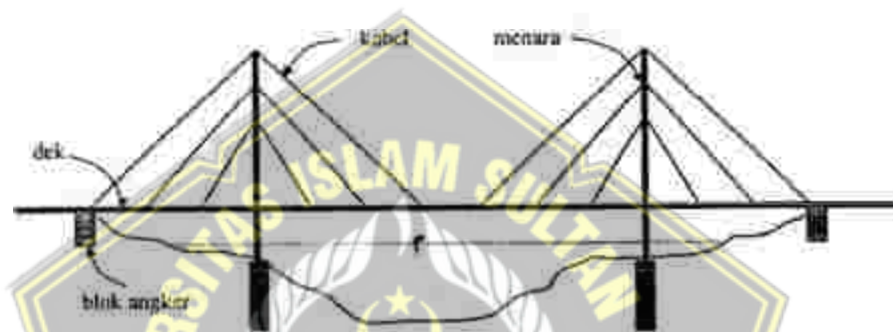
Jembatan Gantung menggunakan Struktur Kabel sebagai komponen utama untuk menopang beban lalu lintas serta beban jembatan itu sendiri. Dalam pembangunannya, Kabel Utama berperan sebagai elemen inti yang terhubung dengan sejumlah penggantung (*hanger*) yang mengaitkan Kabel Utama dengan Gelagar atau Struktur Jembatan. Kabel Utama ini terikat ke kedua *Pylon* (Menara) dan membentang sepanjang jembatan, ditempatkan pada kedua ujung jembatan untuk menangani Gerakan Vertikal dan Horizontal. *Pylon* memiliki bagian *Saddle* (Penyangga) dan Rol yang berfungsi sebagai panduan bagi Kabel Utama. Ilustrasi dari Jembatan Gantung ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 2.6 Jembatan Gantung

7. Jembatan Kabel Tetap (*Cable Stayed Bridge*)

Jembatan Kabel Tetap adalah jenis jembatan yang didukung oleh Tiang – Tiang Vertikal yang terhubung dengan Kabel – Kabel yang menjulur dari tiang tersebut ke Bagian Atas Jembatan. Struktur ini menciptakan pendukung yang kuat untuk menahan Beban Jembatan, dan Kabel – Kabel tersebut membentang dari Tiang – Tiang menuju Bagian Atas Jembatan, menciptakan pola yang mirip seperti Kipas. Tampak dari Jembatan Kabel Tetap dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Jembatan Kabel Tetap

8. Jembatan Beton Prategang (*Prestressed Concrete Bridge*)

Jembatan Beton Prategang adalah jenis jembatan yang menggunakan Sistem Prategang atau Tegangan Awal pada material beton untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan struktur. Teknik Prategang ini melibatkan pemberian Gaya Tarik pada Elemen Struktural sebelum atau selama beban bekerja, yang bertujuan untuk mengurangi Tegangan Tarik yang dapat terjadi pada beton selama penggunaan normal. Jembatan Beton Prategang memiliki berbagai jenis bentuk yaitu Penampang Persegi Panjang, Penampang I Simetris, Penampang I Tidak Simetris, Penampang T dan *Box Girder*. Contoh dari Jembatan Beton Prategang dapat dilihat pada Gambar 2.8,



Gambar 2.8 Jembatan Beton Prategang

2.2 Pembebanan Pada Jembatan

Dalam analisis atau perancangan Struktur Jembatan, penting untuk memperhatikan beban yang akan dikenakan dengan ketentuan yang berlaku di Indonesia. Terkait pembebanan pada Jembatan Jalan Raya dapat dilihat di SNI 1725-2016 tentang pembebanan untuk Jembatan.

2.2.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan yang digunakan pada Tugas Akhir ini terdapat 5 Kombinasi yaitu sebagai berikut :

1. Kombinasi I : Kombinasi Pembebanan yang memperhitungkan beban – beban yang bekerja pada jembatan tanpa memperhitungkan Pengaruh Temperatur, Beban Angin dan Beban Gempa.
2. Kombinasi II : Kombinasi Pembebanan yang memperhitungkan beban – beban yang bekerja pada jembatan tanpa memperhitungkan Beban Angin dan Beban Gempa.
3. Kombinasi III : Kombinasi Pembebanan yang memperhitungkan beban – beban yang bekerja pada jembatan tanpa memperhitungkan Pengaruh Temperatur dan Beban Gempa.
4. Kombinasi IV : Kombinasi Pembebanan yang memperhitungkan beban – beban yang bekerja pada jembatan tanpa memperhitungkan Beban Gempa.
5. Kombinasi V : Kombinasi Pembebanan yang memperhitungkan beban – beban yang bekerja pada jembatan tanpa memperhitungkan Beban Lajur, Gaya Rem, Pengaruh Temperatur dan Beban Angin.

2.2.2 Beban Permanen

Massa dari struktur harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar, dan juga berdasarkan berat jenis dari bahan yang digunakan. Bobot elemen konstruksi dihitung dengan mengalikan massa dengan Percepatan Gravitasi. Percepatan ini biasanya disesuaikan dengan Nilai Standar, sebagaimana diatur dalam SNI 1725-2016, yaitu 9,81 meter per detik kuadrat. Informasi terkait Kerapatan Massa dan Berat Jenis untuk berbagai jenis bahan dapat ditemukan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Berat Isi Untuk Beban Mati

No	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2245
2	Besi tuang	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5	Beton aspal	22,0	2245
6	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000

Tabel 2.2 Berat Isi Untuk Beban Mati (Lanjutan)

No	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
7	Beton $f'c < 35 \text{ MPa}$	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'c < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja	78,5	7850
9	Kayu ringan	7,8	800
10	Kayu keras		1125

2.2.2.1 Berat Sendiri (MS)

Berat Sendiri merujuk pada jumlah total bobot dari berbagai komponen jembatan serta struktur terkait yang ditopang olehnya. Ini mencakup Berat Material dan Unsur Struktural dari jembatan, serta Unsur-Unsur Non-Struktural yang dianggap

tetap. Faktor Beban yang digunakan untuk menetapkan Berat Sendiri dapat diidentifikasi dalam Tabel 2.3,

Tabel 2.2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

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

2.2.2.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban Mati Tambahan merujuk pada jumlah total dari semua materi yang membentuk Bagian Non-Struktural dari beban jembatan, yang cenderung mengalami perubahan seiring berjalannya waktu dan usia jembatan. Dalam keadaan tertentu, Nilai Faktor Beban Mati Tambahan yang berbeda dari yang dicantumkan dalam Tabel 2.4 dapat diterapkan setelah mendapatkan persetujuan dari Otoritas yang memiliki kewenangan. Otoritas tersebut bertugas mengawasi Beban Mati Tambahan pada jembatan, memastikan agar tetap berada dalam batas yang telah ditetapkan sepanjang masa pakai jembatan.

Tabel 2.3 Faktor Beban yang Berlaku Untuk Beban Mati Tambahan,

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

2.2.3 Beban Lalu Lintas

Beban Lalu Lintas yang dipertimbangkan dalam desain jembatan terdiri dari dua jenis beban, yaitu Beban Lajur "D" dan Beban Truk "T". Beban Lajur "D" mempengaruhi seluruh lebar jalur kendaraan dan memiliki dampak yang serupa dengan kendaraan yang bergerak sehari-hari pada jembatan. Total Beban Lajur "D" yang aktif berbeda-beda tergantung pada lebar Jalur Kendaraan yang digunakan.

2.2.3.1 Beban Lajur "D" (LD)

Beban lajur "D" terbentuk dari kombinasi Beban Terdistribusi Merata (BTR) dan beban garis (BGT), sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9. Nilai Faktor Beban yang digunakan untuk Beban Lajur "D" terdokumentasi dalam tabel yang dapat ditemukan dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.4 Faktor Beban Untuk Beban Lajur "D"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1.00	1.80
	Box Girder Baja	1.00	2.00

Beban Terdistribusi Merata (BTR) memiliki Intensitas q yang diukur dalam kPa, dimana Nilai q bergantung pada panjang keseluruhan yang dipengaruhi oleh beban, L . Penjelasan tentang hal ini adalah sebagai berikut:

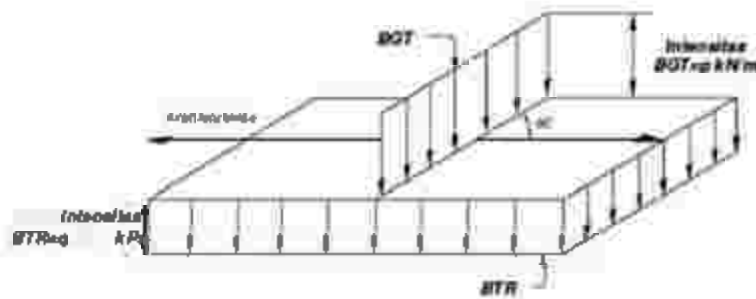
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m; } q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (21)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m; } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (22)$$

Keterangan:

q = adalah intensitas beban terbagi rata dalam arah memanjang jembatan;

L = adalah panjang total jembatan yang dibebani.



Gambar 2.9 Beban Lajur "D"

Beban Garis Terpusat (BGT) yang memiliki Intensitas p sebesar 49,0 kN/m harus ditempatkan secara tegak lurus terhadap arah lalu lintas di atas jembatan. Untuk mencapai Momen Lentur Negatif maksimum pada jembatan yang melintang, kedua BGT yang serupa harus diletakkan secara sejajar dalam arah horizontal di bagian lain dari jembatan.

2.2.3.2 Beban Truk "T"

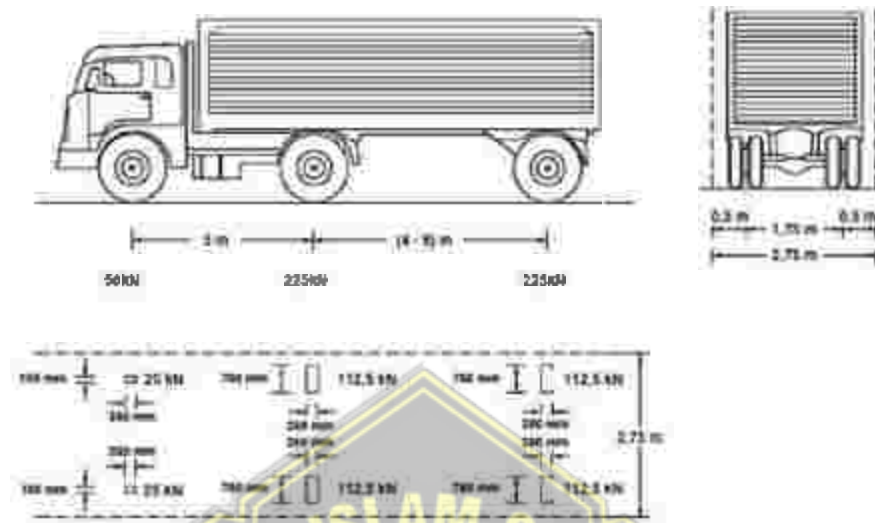
Selain Beban "D", ada tambahan beban dari lalu lintas yang disebut sebagai Beban Truk "T". Beban Truk "T" tidak dapat dihitung secara bersamaan dengan Beban "D" dan hanya digunakan untuk mengkalkulasi struktur lantai. Informasi terkait Faktor Beban untuk Beban "T" terdokumentasi dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.5 Faktor Beban Untuk Beban "T"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TT})	
		Kondisi Batas Layan (γ_{TT}^L)	Kondisi Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Baja	1,00	2,00

Beban yang berasal dari Truk "T" terdiri dari Truk Semi-Trailer yang memiliki konfigurasi dan Bobot Gandar yang dijelaskan dalam Gambar 2.10. Berat dari setiap gandar terbagi menjadi dua bagian beban yang sama dan didistribusikan secara merata, mencakup area di mana roda-roda menekan permukaan lantai. Jarak

antara dua gandar dapat divariasikan mulai dari 4,0 m hingga 9,0 m untuk menghasilkan dampak maksimum pada panjang jembatan.



Gambar 2.10 Pembebanan Truk "T"

Kekuatan atau Intensitas dari Beban Garis Terpusat (BGIT) ketika berinteraksi dengan Beban lajur "D" dan Beban Roda Truk "T" harus memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk menciptakan interaksi yang sesuai antara kendaraan yang bergerak dan jembatan, kemudian dikalikan dengan FBD (*Fraction of Dynamic Load*). Nilai tambahan ini dianggap sebagai bagian dari beban statis dan diterapkan dalam Kondisi Batas Layanan serta Batas Ultimit. Beban Terdistribusi Merata (BTR) pada Beban Lajur "D" tidak terpengaruh oleh adanya FBD. Persamaan untuk Panjang Bentang setara L_E pada bentang menerus dapat dirumuskan sebagai berikut:

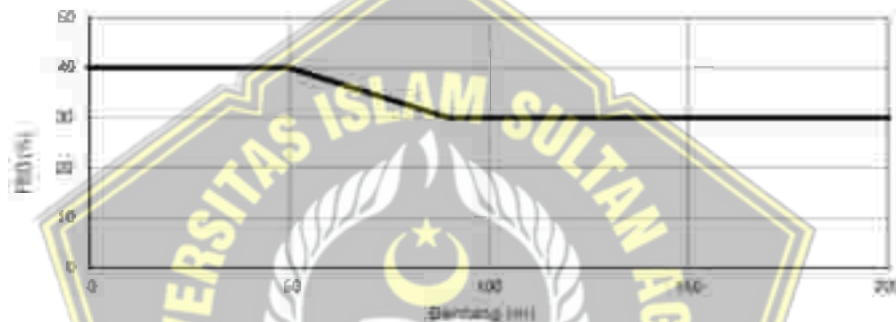
$$L_E = \sqrt{L_{av} \times L_{max}} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

L_{av} = Ini merujuk pada panjang rata-rata dari sekelompok bentang yang terhubung secara berurutan;

L_{max} = Panjang terbesar dari sejumlah bentang yang terhubung secara berurutan.

Sekitar 30% dari Nilai Beban Statis, yang dikenal sebagai FBD, diterapkan pada Bagian Atas Struktur dari Beban Truk "T". Bagian Struktur yang berada di bawah permukaan tanah dan Fondasi di bawah garis permukaan mengalami penurunan Nilai FBD secara bertahap dari permukaan tanah hingga mencapai nol pada kedalaman 2 meter. Untuk Struktur yang tertanam, seperti Gorong-Gorong dan Elemen Struktural Baja, Nilai FBD tidak boleh kurang dari 40% pada kedalaman permukaan tanah dan minimal 0% pada kedalaman 2 meter. Pendekatan Interpolasi Linier dapat digunakan untuk Nilai FBD di antara kedua titik tersebut. Nilai FBD yang telah ditentukan untuk kedalaman tertentu harus seragam diterapkan pada seluruh bagian dari struktur bangunan.



Gambar 2.11 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban "T" Untuk Pembebanan Lajur "D"

2.2.4 Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari Bobot Gandar Truk yang telah direncanakan atau;
- 5% dari Bobot Truk yang direncanakan ditambah dengan Beban Terdistribusi Merata di atas Lajur BTR.

2.2.5 Beban Pejalan Kaki (TP)

Semua bagian Trotoar dengan lebar lebih dari 600 mm harus didesain untuk menanggung Beban Pejalan Kaki sebesar 5 kPa, yang diasumsikan beroperasi secara bersamaan dengan Beban Kendaraan di setiap jalur kendaraan. Namun, jika Trotoar memiliki kapasitas untuk menahan kendaraan, Beban Pejalan Kaki tidak perlu dipertimbangkan bersamaan dengan Beban Kendaraan. Apabila ada

kemungkinan Trotoar akan diubah menjadi Jalur Kendaraan di masa mendatang, Beban Hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari bagian dalam parapet untuk perencanaan Elemen Jembatan lainnya. Dalam kondisi ini, pertimbangan Faktor Beban Dinamis tidak diperlukan. Informasi tambahan terkait Faktor Beban untuk Beban Pejalan Kaki dapat ditemukan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Faktor Beban Akibat Pembebanan Untuk Pejalan Kaki

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	Keadaan Batas Layan (γ_{TP}^S)	Keadaan Batas Layan (γ_{TP}^U)
Transien	1,0	1,8

2.2.6 Beban Gempa (EQ)

Gaya horizontal yang timbul akibat Beban Gempa dihitung dengan mengalikan Koefisien Respon Elastis (C_{sm}) dengan bobot struktur yang setara, yang kemudian disesuaikan dengan Faktor Respons (R) menggunakan rumus berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_L \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

- E_Q = merupakan Gaya Horizontal Statis dari gempa;
- C_{sm} = merupakan Koefisien Respon Elastis;
- R = merupakan Faktor Modifikasi Respons;
- W_L = merupakan Total Berat struktur yang mencakup Beban Mati dan Beban Hidup yang sesuai.

Detail terkait Faktor Beban dari pengaruh gempa dapat ditemukan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Pengaruh Gempa

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	(K_{KQ}^S)	(K_{KQ}^U)
Transien	Tidak dapat digunakan	1,0

2.2.7 Beban Angin (EWs)

Dalam desain yang mempertimbangkan efek angin, Tekanan Angin Horizontal dihitung dalam MPa dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_H \left(\frac{V_{0.2}}{V_H} \right)^2 \quad (2.5)$$

Data Tekanan Angin Dasar dapat di lihat pada Tabel 2.9

Tabel 2.8 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	-
Permukaan datar	0,0019	-

2.3 Jembatan Beton Prategang

Beton Prategang adalah jenis beton yang mengalami Tegangan Internal yang didesain dengan distribusi atau intensitas tertentu guna menyeimbangkan tegangan yang dihasilkan oleh Beban Eksternal hingga pada tingkat tertentu.

Penggunaan Beton Prategang dalam Struktur Atas Jembatan masih dianggap sebagai konsep yang relatif baru jika dibandingkan dengan penggunaan kayu, beton bertulang atau baja. Perkembangan teknologi ini sangat terkait dengan kemajuan dalam bahan material. Teknologi prategang mulai dikembangkan sejak *Eugene Freyssinet* memperkenalkan metode ini.

Pada tahun 1928, penggunaan kawat baja yang memiliki kekuatan tinggi bersama dengan beton berkualitas tinggi diperkenalkan dalam konteks Beton Prategang, kemudian dipatenkan. Sejak saat itu, adopsi Sistem Beton Prategang dalam Struktur Jembatan, terutama untuk bentang menengah hingga panjang, telah mengalami pertumbuhan yang signifikan dan menjadi pesaing utama bagi Struktur Baja. Inovasi seperti Sistem Kantilever dan *Cable Stayed* telah memperkuat posisi Beton Prategang sebagai tren dominan dalam konstruksi jembatan, mengungguli Struktur Baja yang sebelumnya lebih banyak digunakan.

Pada masa kini, sekitar setengah dari total jembatan yang dibangun menggunakan Teknologi Beton Prategang dalam berbagai variasi, mulai dari balok Pra-Cetak yang memiliki cara pemasangan yang sederhana hingga struktur yang menerus menggunakan Gelagar Profil dan *Box* bahkan sampai ke sistem *Cable Stayed*. Di Indonesia, Teknologi Prategang umumnya diterapkan dalam pembangunan jembatan jalan layang, sementara untuk jembatan yang melintasi sungai, Struktur Rangka Baja atau Beton Bertulang Konvensional lebih sering digunakan.

2.3.1 Prinsip Dasar Prategang

Beton Prategang merupakan varian beton dimana material baja di dalamnya diberikan tegangan atau diregangkan. Proses peregangannya menciptakan keseimbangan tegangan yang signifikan antara gaya tarik pada baja dan tekanan pada material beton, secara efektif meningkatkan kapasitas beton untuk menahan beban luar. Beton memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan tekanan namun kurang elastis dan rentan terhadap Gaya Tarik. Penggunaan Teknik Prategang ini meningkatkan kemampuan beton dalam menanggulangi beban eksternal (Collins & Mitchell, 1991).

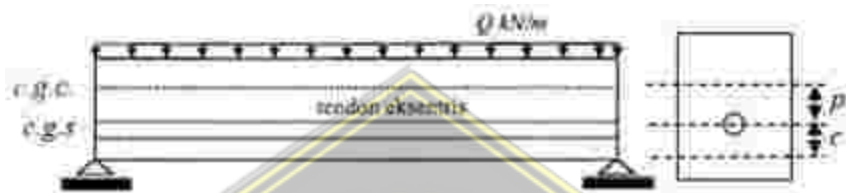
ACI (*American Concrete Institute*) mendefinisikan Beton Prategang sebagai beton yang mengalami tegangan internal secara khusus dalam dimensi dan distribusinya, sehingga dapat menyeimbangkan, sejauh tertentu, tegangan yang disebabkan oleh beban luar. Pada Elemen Beton Bertulang, Prategang dilakukan melalui proses penarikan tulangan.

Lin dan Burns (1982) mengindikasikan bahwa ada tiga konsep yang berbeda yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan mengevaluasi sifat dasar dari Beton Prategang.

1. Sistem Prategang mengubah sifat beton menjadi lebih elastis.

Perspektif ini melihat beton sebagai bahan yang elastis, sudut pandang umum yang diadopsi oleh Para Insinyur. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Freyssinet (1993), yang menggambarkan Beton Prategang sebagai perubahan dari bahan yang rapuh menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan

awal (Pratekan) pada material tersebut. Dengan pemberian Pratekan, beton yang sebelumnya tidak mampu menahan Gaya Tarik diubah menjadi mampu menanggung Tegangan Tarik. Konsep ini menekankan kriteria "Tanpa Tegangan Tarik" pada beton. Pendekatan ini mengasumsikan beton sebagai bahan yang dipengaruhi oleh dua sistem beban, yaitu "Tekanan Internal dari Prategang" dan "Beban Eksternal". Tegangan Tarik yang dihasilkan oleh Beban Eksternal diimbangi oleh Tegangan Tekan dari Prategang.



(a) Balok diberi gaya prategang secara eksentris dan dibebani



(b) Distribusi tegangan

Gambar 2.12 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Eksentris.

Dari Gambar 2.12 dapat dihitung distribusi tegangan yang dihasilkan yaitu:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot y}{I} \pm \frac{P \cdot e \cdot y}{I} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan:

- P = Gaya Prategang;
- A = Luas Penampang;
- e = Jarak pusat tendon terhadap $c.g.c$, (*center gravity of a concrete*);
- y = Jarak dari sumbu yang melalui titik berat;

- I = Momen Inersia penampang;
- f = Distribusi tegangan pada penampang;
- M = Gaya momen pada penampang.

2. Sistem Prategang yang mengombinasikan baja dengan kekuatan tinggi bersama material beton.

Pandangan ini menafsirkan Beton Prategang sebagai kombinasi antara baja dan beton, mirip dengan konsep yang diterapkan pada Beton Bertulang. Pada prinsipnya, baja bertugas menanggung Gaya Tarik sementara Beton bertanggung jawab menahan tekanan. Oleh karena itu, kedua bahan ini berkolaborasi dalam menyediakan kekuatan untuk menahan Momen Eksternal. Perbandingan Momen Tahanan Internal pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang dapat dijelaskan dalam Gambar 2.13.

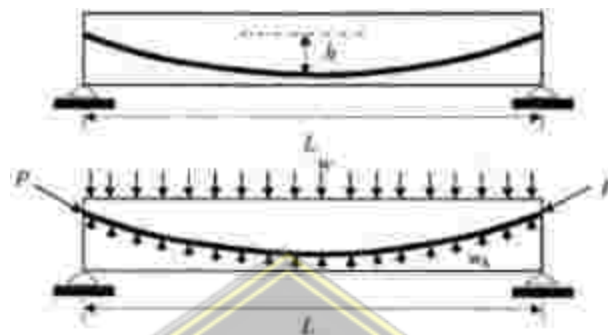


Gambar 2.13 Kekuatan Momen Internal Pada Balok Beton Prategang Dan Beton Bertulang.

3. Sistem Prategang yang digunakan untuk mencapai keseimbangan beban.

Prinsip ini menggunakan Konsep Prategang sebagai alat untuk mencapai keseimbangan Gaya - Gaya Dalam suatu batang. Pendekatan ini melibatkan penggantian Tendon dengan gaya - gaya yang diterapkan pada beton sepanjang bentang, dengan menganggap beton sebagai benda yang bebas bergerak. Dalam perencanaan struktur secara keseluruhan yang menggunakan Beton Prategang, Efek prategang dianggap sebagai penyeimbang dari Beban Sendiri Struktur. Hasilnya adalah batang yang biasanya akan mengalami lenturan, seperti pelat, balok dan

gelagar tidak akan menunjukkan Tegangan Lentur saat terbebani. Pendekatan ini memungkinkan transformasi dari batang yang sebelumnya menderita lenturan menjadi batang yang menerima Tegangan Langsung, mengurangi kompleksitas dalam desain dan analisis struktur secara signifikan.



Gambar 2.14. Balok Prategang Dengan Tendon Parabola

Dari Gambar 2.14, beban yang bekerja terdistribusi secara merata ke arah atas dinyatakan dalam:

$$w_b = \frac{0.2F}{L} \quad (2.7)$$

Dengan:

w_b =Beban pada balok;

F =Gaya Prategang;

L =Panjang bentang;

b =Tinggi parabola.

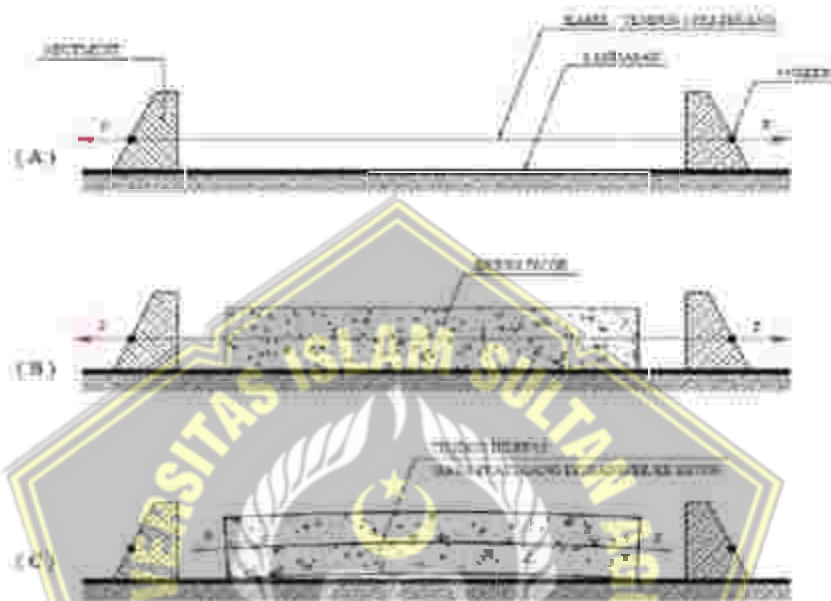
2.3.2 Metode Prategang

Tekanan yang diberikan pada Beton Prategang dapat diaplikasikan sebelum atau setelah proses pengecoran beton. Perbedaan antara kedua situasi ini menghasilkan Dua Sistem Prategang yang dikenal sebagai Pra-Tarik (Pre-Tension) dan Pasca-Tarik (Post-Tension).

I. PraTarik (*Pre-Tension*)

Dalam Metode ini, Tendon pertama-tama ditarik dan diperlakukan pada *Abutment* yang tetap. Setelah itu, beton dicor ke dalam cetakan yang telah disiapkan.

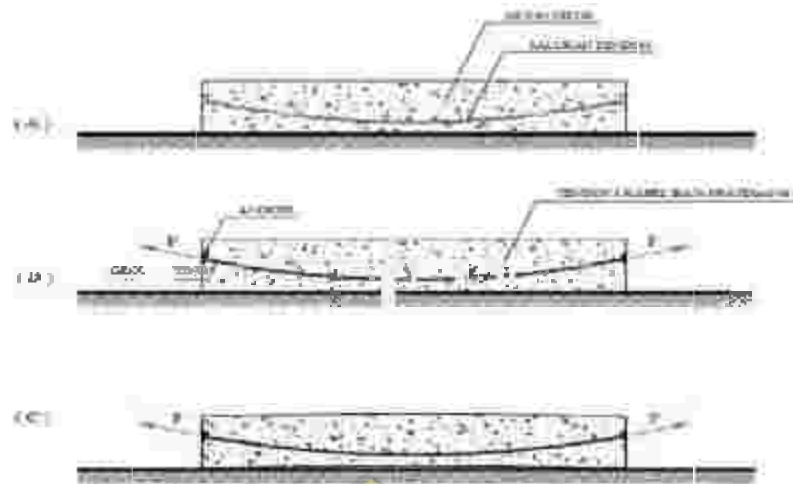
mengelilingi Tendon yang telah ditarik tersebut. Setelah beton mencapai kekuatan yang cukup, Tendon dipotong atau tegangannya dilepaskan. Peregangan baja menyebabkan kontraksi yang memberikan tekanan pada beton. Proses Pre-Tension ini tidak membutuhkan penggunaan *ducts* (selongsong) pada Tendon. Gambar 2.15 memberikan ilustrasi tentang Metode Pre-Tension ini.



Gambar 2.15 Metode Beton Peregangan Pre-Tension

2. Pascatarik (*Post-Tension*)

Dalam proses ini, beton dicor mengelilingi *Ducts* (selongsong) menggunakan cetakan yang telah disiapkan. Penempatan *Ducts* disesuaikan dengan bidang momen dari struktur. Biasanya, baja Tendon tetap berada di dalam selongsong saat proses pengecoran berlangsung. Setelah beton mencapai kekuatan yang diinginkan, Tendon ditarik. Pengeluaran Tendon dapat dilakukan secara bertahap, dengan menarik satu sisi terlebih dahulu dan mengikat sisi lainnya. Alternatifnya, Tendon dapat ditarik secara simultan di kedua sisi dan diikat secara bersamaan untuk menciptakan tekanan pada beton setelah Proses Pengikatan. Gambar 2.16 memberikan ilustrasi tentang Metode Post-Tension ini.



Gambar 2.16 Metode Beton Prategang Post-tension

2.4 Kehilangan Sebagian Prategang

Fakta bahwa sebagian Gaya Prategang mengalami penurunan secara bertahap selama kurang lebih 5 tahun diakui (Nawy, 2001). Ada beberapa teknik yang dapat digunakan untuk memperkirakan kerugian sebagian Gaya Prategang tersebut. Beberapa di antaranya termasuk rumus Empiris yang dianjurkan oleh beberapa peraturan atau lembaga, seperti Metode *Prestressed Concrete Institute*, pendekatan dari *Joint ACI-ASCE Committee*, metode *Lump-Sum AASHTO*, pendekatan dari *CEB (The Comité Euro-International du Béton)*, dan pendekatan dari *FIP (The Federation Internationale de la Précontrainte)*. Dalam konteks desain ini, penerapan rumus empiris mengacu pada Metode yang direkomendasikan oleh *Joint ACI-ASCE Committee*.

2.4.1 Kehilangan Tegangan Akibat Dudukan Angker (A)

Penurunan tegangan akibat kegagalan penahanan oleh dudukan Angker pada struktur setelah proses penarikan sering kali terjadi karena adanya hambatan atau gesekan pada dudukan angker saat proses pemasangan Gaya *Lucking*. Salah satu solusi sederhana untuk menangani situasi ini adalah dengan memberikan tegangan yang lebih tinggi. Pengurangan tegangan yang disebabkan oleh dudukan angker dapat diestimasi menggunakan rumus berikut:

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} E_{ps} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan:

Δf_{pA} = Kehilangan tegangan akibat dudukan Angker

Δ_A = besar gelincir;

L = panjang Tendon;

E_{ps} = Modulus Elastisitas *Strand*.

2.4.2 Kehilangan Tegangan Akibat Perpendekan Elastis Beton (ES)

Beton mengalami perubahan panjangnya saat Gaya Prategang diterapkan. Peristiwa ini terjadi ketika Strand menerima Gaya Jacking, di mana beton teregang oleh Gaya Jacking yang secara bersamaan ditransfer ke tendon. Ilustrasinya bisa dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Perpendekan Elastis

Perpendekan Satuan pada beton adalah:

$$\epsilon_{ES} = \Delta_{ES} / L \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\epsilon_{ES} = \frac{f_c}{E_c} = \frac{P_i}{A_c E_c} \dots \dots \dots (2.10)$$

Karena Tendon prategang juga mengalami pemendekan serupa, maka:

$$\Delta f_{pES} = E_s \epsilon_{ES} = \frac{E_s P_i}{A_c E_c} = \frac{n P_i}{A_c} = n f_{ES} \dots \dots \dots (2.11)$$

Tegangan dalam beton di Titik Pusat Massa baja karena prategang awal adalah:

$$f_{cs} = -\frac{P_1}{A_c} \dots \dots \dots (212)$$

Jika eksentrisitas pada tendon dan momen yang berasal dari beban sendiri diperhitungkan, tegangan yang terjadi pada beton di pusat massa dari tendon Baja Prategang dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$f_{cs} = -\frac{P_1}{A_c} \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) + \frac{M_{D1}}{I_c} \dots \dots \dots (213)$$

2.4.3 Kehilangan Tegangan Akibat Rangkak (CR)

Perubahan dimensi atau deformasi pada struktur akibat tegangan panjang dikenal sebagai *Creep*. *Creep* adalah tegangan yang terus berlanjut dan kehilangan tegangan yang muncul karena beban yang berkelanjutan pada komponen struktural. Berikut adalah formula yang direkomendasikan oleh Komite ACI-ASCE untuk memproyeksikan kehilangan karena *creep*:

$$\Delta f_{PCR} = K_{CR} \frac{E_{P1}}{E_c} (f_{cs} - f_{csd}) \dots \dots \dots (214)$$

Atau

$$\Delta f_{PCR} = K_{CR} n (f_{cs} - f_{csd}) \dots \dots \dots (215)$$

Dengan:

Δf_{PCR} = Kehilangan tegangan akibat creep (rangkak);

K_{CR} = 2,0 untuk komponen Struktur Pra-tarik;
1,60 untuk komponen struktur Pasca-tarik;

f_{cs} = Tegangan pada beton di titik pusat massa Tendon setelah transfer;

f_{csd} = Tegangan pada beton di titik pusat massa tendon karena seluruh beban tambahan setelah pemberian Prategang;

n = Modulus Rasio

2.4.4 Kehilangan Tegangan Akibat Susut (SH)

Penyusutan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk proporsi campuran, jenis agregat, jenis semen, lama perawatan, interval waktu antara penyelesaian perawatan luar dan tahap prategang, dimensi struktur, serta kondisi lingkungan sekitar. Pada elemen struktural yang mengalami Pasca-Tarik, kehilangan susut cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan dengan komponen struktural yang mengalami Pra-Tarik. Ini terjadi karena sebagian penyusutan telah terjadi sebelum proses Pasca-Tarik. Dalam hal kelembaban relatif yang diukur dalam bentuk persentase dan mempertimbangkan dampak rasio V/S (volume permukaan), rumus yang digunakan didasarkan pada pedoman yang disarankan oleh Institut Beton Pra-Tegang (*Prestressed Concrete Institute*).

$$\Delta f_{SH} = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_{ps} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \dots \dots (2.16)$$

Dengan:

Δf_{SH} = Kehilangan tegangan akibat susut

K_{SH} = Rasio yang berlaku untuk elemen struktur yang mengalami pasca-tarik.

E_{ps} = Kekakuan Elastisitas dari baja prate gang.

V/S = Rasio antara volume dan luas permukaan.

RH = Persentase kelembaban udara yang sesuai.

Untuk mengetahui Nilai K_{SH} dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.9 Nilai K_{SH} yang berlaku untuk elemen struktur setelah tahap tarik.

Waktu dari perawatan basah hingga pemberian prate gang	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,85	0,8	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

2.4.5 Kehilangan Tegangan Akibat Relaksasi Baja (R)

Penurunan Tegangan pada Tendon terjadi saat pemanjangan terjadi secara konsisten selama jangka waktu tertentu. Penurunan Tegangan Prategang tidak hanya ditentukan oleh durasi retensi Tegangan Prategang, tetapi juga oleh

perbandingan antara Tegangan Prategang awal dan Batas Luluh Baja Prategang (f_{pi}/f_{py}). Metode ACI-ASCE menggunakan pendekatan terpisah dalam memperhitungkan Elastisitas Perpanjangan Rangkak dan Penyusutan untuk mengestimasi Kehilangan Tegangan akibat relaksasi baja, yang dijelaskan melalui persamaan khusus seperti berikut:

$$\Delta f_{PR} = [K_{re} - J(f_{DES} + f_{i,CR} + f_{pSH})] \times C \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan:

Koefisien K_{re} dan J yang relevan diambil dari Tabel 2.11.

Koefisien C yang relevan diambil dari Tabel 2.12.

f_{DES} = Reduksi tegangan karena deformasi elastis beton

$f_{i,CR}$ = Penurunan tegangan karena efek creep

$f_{i,SH}$ = Penurunan tegangan karena efek *shrinkage*

Tabel 2.11 menunjukkan Nilai K_{re} dan J sedangkan Tabel 2.12 menunjukkan Nilai C .

Tabel 2.10 Nilai K_{re} dan J

Jenis Tendon	K_{re}	J
Kawat atau <i>Stress-Relieved Strand</i> Mutu 270	20000	0,15
Kawat atau <i>Stress-Relieved Strand</i> Mutu 250	18500	0,14
Kawat atau <i>Stress-Relieved Strand</i> Mutu 240 atau 350	17600	0,13
<i>Strand</i> Relaksasi Rendah Mutu 270	5000	0,04
<i>Strand</i> Relaksasi Rendah Mutu 250	4630	0,037
<i>Strand</i> Relaksasi Rendah Mutu 235	4400	0,035

Batang <i>Stress-Relieved</i> Mutu 145 atau 160	6000	0,05
--	------	------

Tabel 2.11 Nilai C

f_{pi}/f_{pu}	Kawat atau <i>strand stress-relieved</i>	Kawat atau <i>strand</i> relaksasi rendah atau batang <i>stress-relieved</i>
0,80		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80
0,70	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,60	0,49	0,33

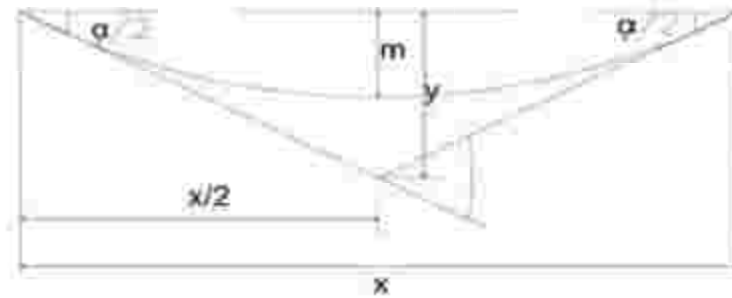
2.4.6 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan (F)

Penurunan Prategang terjadi di area struktural yang telah melalui Proses Pasca-Tarik karena adanya gesekan antara beton dan tendon yang berdekatan. Reduksi ini dipengaruhi oleh penyebaran Tendon yang disebut Koefisien Kelengkungan, serta variasi lokal dalam penyebaran Tendon yang tak terhindarkan, yang disebut Efek Wobble. Data terkait Koefisien Kelengkungan dan Efek *Wobble* dapat diakses dalam Tabel 2.13.

Tabel 2.12 Koefisien Gesek Kelengkungan dan *Wobble*

Jenis Tendon	Koefisien <i>Wobble</i> (K)	Koefisien Kelengkungan (μ)
Tendon diselubungi metal fleksibel		
Tendon kawat	0,0010 – 0,0015	0,15 – 0,25
Strand 7 kawat	0,0005 – 0,0020	0,15 – 0,25
Batang mutu tinggi	0,0001 – 0,0006	0,08 – 0,30
Tendon di saluran metal yang rigid		
Strand 7 kawat	0,0002	0,15 – 0,25
Tendon yang dilapisi mastic		
Tendon kawat dan strand 7 kawat	0,0010 – 0,0020	0,05 – 0,15
Tendon yang dilumasi dahulu		
Tendon kawat dan strand 7 kawat	0,0003 – 0,0020	0,05 – 0,15

Karena perbandingan panjang balok dan panjang batangnya relatif kecil, estimasi panjang Tendon dapat digunakan untuk menghitung Nilai α . Dalam asumsi bahwa kelengkungan Tendon sesuai dengan bentuk busur lingkaran. Sudut Pusat α sama dengan dua kali lipat Sudut Kemiringan pada ujung segmen busur, sebagaimana yang ditunjukkan dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Evaluasi Pendekatan Pusat Sudut Tendon

Maka, sudut α dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$\alpha = \frac{6y}{x} \text{ rad} \dots\dots\dots (2.18)$$

Selanjutnya, kehilangan Prategang akibat kelengkungan dapat diestimasi menggunakan Persamaan 2.19:

$$\Delta f_{pr} = f_1 (\mu \alpha + KL) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan:

- f_1 = Tegangan yang dihasilkan oleh Gaya Prategang Awal P_1 .
- μ = Faktor kelengkungan.
- K = Koefisien *Wobble*.

2.5 Perancangan Pelat Lantai

Perancangan Pelat Lantai terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan momen akibat beban mati struktur

$$MD = \frac{1}{10} x q x L^2 \dots\dots\dots (221)$$

2. Menghitung momen yang diakibatkan oleh beban hidup yang

terpusat, $ML = \left(\frac{S}{10} + \frac{0,6}{10} x P \right) x 0,8 \dots\dots\dots (222)$

3. Perhitungan momen total

$$MT = MD + ML \dots\dots\dots (223)$$

4. Penulangan pelat lantai

$$\frac{M_n}{\phi M_n} \times 10^2 - p \times 0.8 \times f_y \left(1 - 0.588 \rho \times \left(\frac{f_y}{f_c'} \right) \right) \dots \dots \dots (2.24)$$

2.6 Perancangan Girder

Perancangan *Girder* terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan Garis Netral

$$S_x = \sum S_x i \dots \dots \dots (2.25)$$

$$y_o = \frac{\sum S_x i}{\sum A_i} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$C_b = y_o \dots \dots \dots (2.27)$$

$$C_t = h - C_b \dots \dots \dots (2.28)$$

2. Penentuan Momen Inersia Girder

$$I_x \sum I_x i \dots \dots \dots (2.29)$$

3. Penentuan Batas Inti bawah

$$K_b = \frac{I_x}{(A_c \times C_b)} \dots \dots \dots (2.30)$$

4. Penentuan Batas Inti atas

$$K_t = \frac{I_x}{(A_c \times C_t)} \dots \dots \dots (2.31)$$

5. Penentuan Garis Netral Komposit

$$S_{xc} = S_x \text{ balok} + (A_{\text{pelat}} \times y') \dots \dots \dots (2.32)$$

$$C_{bc} = \frac{S_{xc}}{A_{cc}} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$C_{tc} = h' - C_{bc} \dots \dots \dots (2.34)$$

6. Penentuan Momen Inersia Komposit

$$I_c = I_x + A_{\text{balok}} \times (C_{bc} - C_b)^2 + I_{\text{pelat}} \times (C_{tc} - 0.5 \times h_{\text{pelat}})^2 \dots \dots (2.35)$$

7. Penentuan Batas Inti Komposit

$$K_t' = \frac{I_c}{\left(\frac{A_{cc}}{C_t'} \right)} \dots \dots \dots (2.36)$$

$$K_b' = \frac{I_c}{\left(\frac{A_{cc}}{C_b'} \right)} \dots \dots \dots (2.37)$$

2.7 Perancangan Abutment

Perancangan *Abutment* terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan Momen Akibat Beban Mati Struktur Atas

$$M_m = Rn1 \times 3,9 \dots\dots\dots(2.38)$$

2. Perhitungan Momen Akibat Beban Hidup Struktur Atas

$$M_h = Rh \times 3,9 \dots\dots\dots(2.39)$$

3. Perhitungan Momen akibat Berat *Abutment*

$$M_b = Gd \times X \dots\dots\dots(2.40)$$

4. Perhitungan Momen akibat Beban Merata

$$M_q = Gq \times 3,9 \dots\dots\dots(2.41)$$

2.8 Perancangan Pondasi Tiang Pancang

Perhitungan pada tiang pancang terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut:

1. Perhitungan Tahanan Geser Selimut tiang

$$Q_s = p \times \Delta L \times f_s \dots\dots\dots(2.42)$$

2. Tahanan Ujung Tiang

$$Q_p = q_p \times A \dots\dots\dots(2.43)$$

$$Q_r = Q_s + Q_p \dots\dots\dots(2.44)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_r}{3} \dots\dots\dots(2.45)$$

3. Perhitungan Daya Dukung Tanah

$$A_{uang} = \pi \times r^2 \dots\dots\dots(2.46)$$

$$Q_{tiang} = \frac{A_p}{2} + \frac{Q_p}{3} \dots\dots\dots(2.47)$$

4. Kapasitas beban Vertikal yang dapat ditahan oleh sekelompok Tiang

$$Q_t = c N c A + 2(B + Y) l c \dots\dots\dots(2.48)$$

5. Efisiensi kelompok tiang

$$Eff.N = 1 - \arctg \frac{D}{c_s} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90^\circ(m \times n)} \right] \dots\dots\dots(2.49)$$

6. Beban yang ditanggung oleh tiang

$$\alpha_y = \frac{MH}{2x m \times 2L y^2} \dots\dots\dots(2.50)$$

$$\alpha_x = \frac{MV}{2x m \times 2L x^2} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$P_{max} \text{ Arah } y = V_{pt} + V_m \dots\dots\dots(2.52)$$

$$P_{max} \text{ Arah } x = V_{pt} + V_m \dots\dots\dots(2.53)$$

7 Kemampuan tiang untuk menahan beban horizontal.

$$H = \frac{y o x k h x D}{[2 x \beta x (\pi x \beta + 1)]} \dots \dots \dots (2.54)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{k h x D}{4 x E p x I p}} \dots \dots \dots (2.55)$$

2.9 Pondasi Tiang Pancang

Tiang Pancang adalah Elemen struktur konstruksi yang dapat terbuat dari berbagai material, seperti kayu, beton, atau baja, yang bertujuan untuk mentransfer beban dari permukaan ke lapisan tanah yang lebih dalam.

Sementara itu, Pondasi merupakan komponen vital dalam konstruksi yang berfungsi sebagai pengarah beban dari bagian atas struktur ke dalam tanah atau batuan di bawahnya. Beban ini termasuk beban dari struktur di atas Pondasi dan juga beban akibat Berat Sendiri dari Pondasi itu sendiri. Semua jenis konstruksi yang direncanakan untuk ditempatkan pada tanah harus didukung oleh sebuah Pondasi.

Penggunaan Pondasi Tiang Pancang dalam Struktur Bangunan dipilih ketika tanah di bawah fondasi tidak memiliki kemampuan dukungan yang cukup untuk menopang beban yang diemban oleh struktur dan beban yang diterimanya (Sardjono, 1988).

Fokus utama dari Pondasi Tiang Pancang adalah mengarahkan beban-beban dari struktur bangunan di atasnya (Super Struktur) ke lapisan tanah yang lebih kokoh dan terletak pada kedalaman yang lebih dalam di dalam tanah.

Dalam praktik pemancangan, Tiang Pancang umumnya ditanam secara tegak lurus ke dalam tanah. Namun, ada situasi di mana Tiang Pancang ditanam dengan kemiringan (dikenal sebagai *battle pile*) untuk menahan gaya horizontal. Contoh pada Dermaga, di mana tekanan lateral dari kapal dan perahu akan mempengaruhi sudut kemiringan tiang, yang ditentukan oleh jenis peralatan yang digunakan dan disesuaikan dalam rencana konstruksi.

Fungsi Tiang Pancang yaitu sebagai berikut:

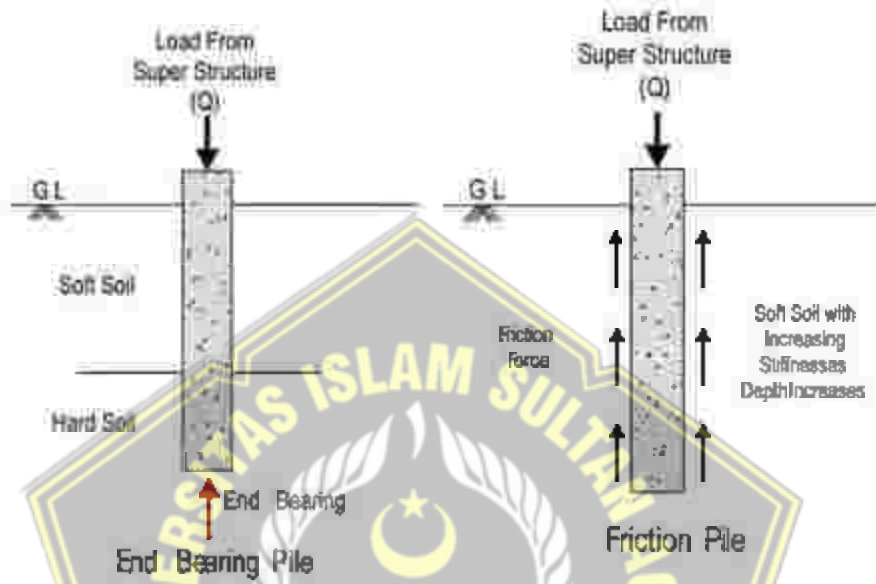
1. Dalam usaha untuk memindahkan beban dari struktur di atas permukaan tanah ke lapisan tanah di bawahnya, ada kemungkinan perlunya menanganai beban secara vertikal dan horizontal (lateral).
2. Untuk menanggulangi tekanan yang berlawanan ke atas atau gaya lateral, seperti pada kondisi lantai bawah tanah di bawah permukaan air tanah yang tinggi, atau untuk mengamankan posisi kaki Menara agar tidak bergeser.
3. Endapan non-koheusif yang tidak terikat dapat dipadatkan dengan menggabungkan gerakan pengisian Tiang Pancang dengan getaran dorongan. Setelah proses tersebut, Tiang Pancang dapat ditarik kembali dari endapan tersebut.
4. Mengatur atau mengontrol fleksibilitas atau penurunan terjadi ketika Fondasi atau kaki-kaki tersebar pada tepi tanah atau didukung oleh lapisan tanah yang padat dan kuat.
5. Modifikasi tanah di bawah Fondasi Mesin dilakukan untuk mengatur atau mengontrol dimensi serta kecepatan Getaran Alami sistem tersebut.
6. Sebagai langkah pengamanan tambahan di bawah Penyangga Jembatan atau Tiang Pondasi, khususnya dalam mengantisipasi kemungkinan erosi yang dapat terjadi.
7. Dalam Proyek Konstruksi di Wilayah Lepas Pantai, upaya dilakukan untuk memindahkan beban dari struktur yang berada di atas permukaan air melalui air tersebut dan kemudian ke lapisan tanah yang ada di bawahnya. Metode yang melibatkan penggunaan Tiang Pancang yang terbenam sebagian akan terdampak oleh Gaya Vertikal dan Lateral yang mempengaruhi struktur tersebut (Bowles, 1991).

Pondasi Tiang Pancang dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Tiang pancang yang ditanam ke dalam lapisan tanah yang lebih kokoh bertujuan untuk meningkatkan Daya Dukung tanah di bagian ujungnya. Jenis ini dikenal sebagai *End Bearing Pile* atau *Point Bearing Pile*, dimana elemen ujungnya harus mencapai lapisan tanah yang kokoh.
- b. Jika tiang pancang tidak menembus lapisan tanah yang keras, mayoritas daya dukungnya berasal dari gesekan antara permukaan tiang pancang dan

lapisan tanah di sekelilingnya, yang disebut *Skin Friction*. Jenis tiang pancang ini dikenal sebagai *Friction Pile*.

Pada Gambar 2.19 Ditunjukkan oleh *Jain*, Tiang Pancang *End Bearing Pile* dan *Friction Pile*.



Gambar 2.19 End Bearing Pile dan Friction Pile

2.9.1 Daya Dukung Berdasarkan Data SPT

Kemampuan dukung dari tiang pancang bisa diestimasi dengan menggunakan informasi Hasil *Standard Penetration Test* (SPT) dengan Pendekatan Meyerhof.

$$Q_{ult} = 40 \times N_b \times A_p + 0,2 \times N \times A_s \dots \dots \dots (2.20)$$

Dengan:

- Q_{ult} = daya dukung maksimum dari Pondasi Tiang Pancang (ton);
- N_b = nilai Uji Penetrasi Standar (SPT) di kedalaman dasar tiang;
- A_p = luas penampang dasar tiang, diukur dalam meter persegi (m²);
- N = luas permukaan penutup dasar tiang, diukur dalam meter persegi (m²);
- A_s = rata-rata Nilai SPT di sepanjang Tiang Pancang.

2.9.2 Daya Dukung Berdasarkan Data Sondir

Kapasitas Dukungan Tiang Pancang diukur melalui hasil Pengujian Sondir dan dievaluasi menggunakan suatu metode perhitungan yang dikenal sebagai pendekatan Meyerhof.

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (JHP \times Kel.O) \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan:

q_c = tahanan ujung sondir (kg/cm^2);

JHP = jumlah hambatan pelekat (kg/cm);

$Kel.O$ = keliling Tiang Pancang (cm).

Kapasitas Dukung Tiang Pondasi dinyatakan menggunakan rumus khusus yang mengukur kemampuannya untuk menahan beban:

$$Q_{ijin} = \frac{q_c \times A_p}{5} + \frac{JHP \times Kel.O}{5} \dots \dots \dots (2.22)$$

Dengan:

Q_{ijin} = Daya dukung ijin (*Beating Capacity*) Pondasi Tiang Pancang diukur dalam ton.

2.9.3 Daya Dukung Aksial

Daya Dukung Aksial Tiang Pancang memiliki dua jenis.

- Daya Dukung di ujung Tiang Pancang (Q_e)
- Daya Dukung gesek (Q_s)

Jika kedua daya dukung dari Tiang Pancang tersebut diaktifasi, maka hasilnya akan menjadi:

$$Q_{ult} = Q_e + Q_s \dots \dots \dots (2.23)$$

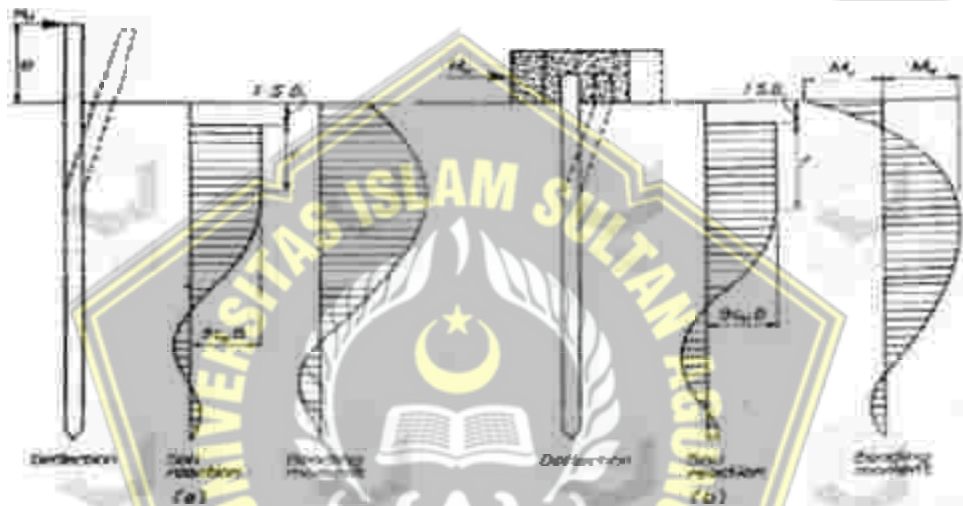
$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF} \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan:

- Q_{ult} = daya dukung tiang pancang maksimum;
- Q_e = daya dukung ujung;
- Q_s = daya dukung gesekan;
- Q_{all} = daya dukung ijin;
- SF = faktor keamanan (*safety factor*).

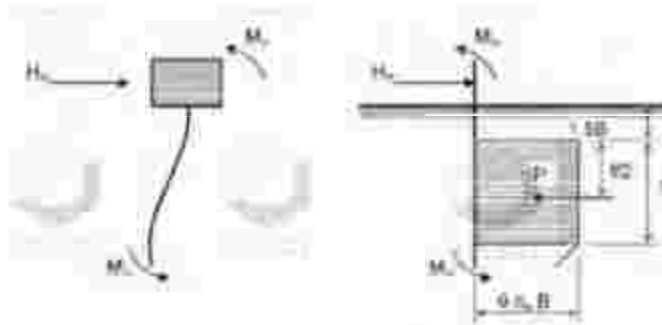
2.9.4 Daya Dukung Lateral

Daya Dukung Lateral diestimasi menggunakan Pendekatan Broms (1964).



Gambar 2.20 Reaksi tanah dan momen lentur pada tiang pancang akibat gaya lateral yang memengaruhi tanah bisa dihitung secara analitis.

Dari *freebody* diagram Tubuh bebas tegangan seperti pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Diagram tubuh bebas tegangan digunakan untuk menentukan nilai k'

Dalam mengestimasi daya dukung lateral, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\Sigma H = H_u = P \dots \dots \dots (2.25)$$

$$\Sigma M_A = 0 \dots \dots \dots (2.26)$$

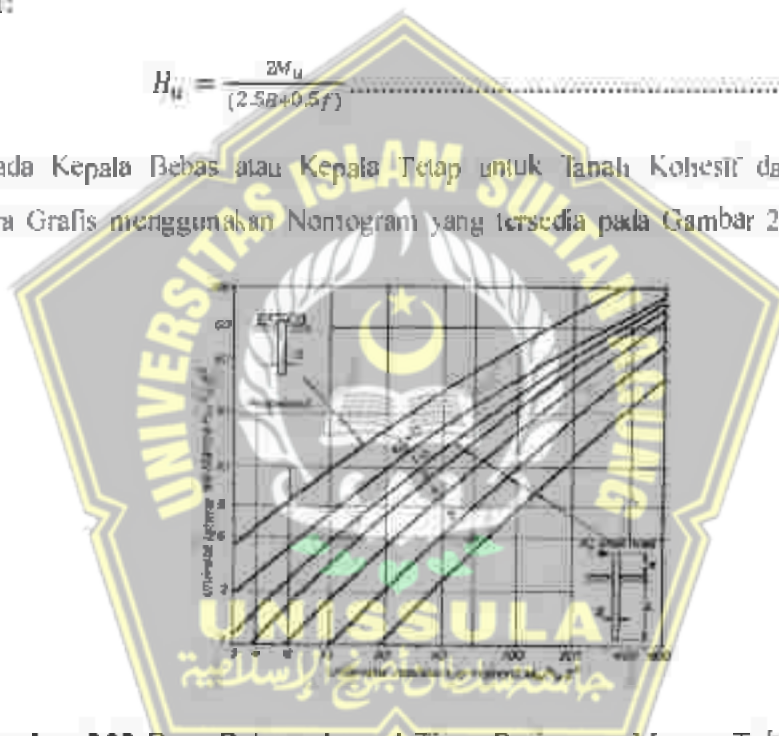
$$2M_u + P \frac{l}{2} - H_u (1.5B + f) = 0 \dots \dots \dots (2.27)$$

$$2M_u + H_u \frac{l}{2} - H_u (1.5B + f) = 0 \dots \dots \dots (2.28)$$

Maka:

$$H_u = \frac{2M_u}{(2.5B + 0.5f)} \dots \dots \dots (2.29)$$

H_u pada Kepala Bebas atau Kepala Tetap untuk Tanah Kohesif dapat dihitung Secara Grafis menggunakan Nantogram yang tersedia pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Daya Dukung Lateral Tiang Panjang vs Momen Tahanan Pada Tanah Kohesif

2.9.5 Efisiensi Grup Tiang

Jika tiang-tiang dalam suatu kelompok, yang disebut sebagai kepala tiang, tidak ditempatkan pada jarak minimum yang diperlukan, daya dukung keseluruhan kelompok tidak akan sebanding dengan hasil kali jumlah tiang dalam kelompok tersebut dengan daya dukung tunggal tiang. Sebaliknya, terdapat sebuah faktor penyesuaian yang kurang dari satu, yang dikenal sebagai Efisiensi Kelompok

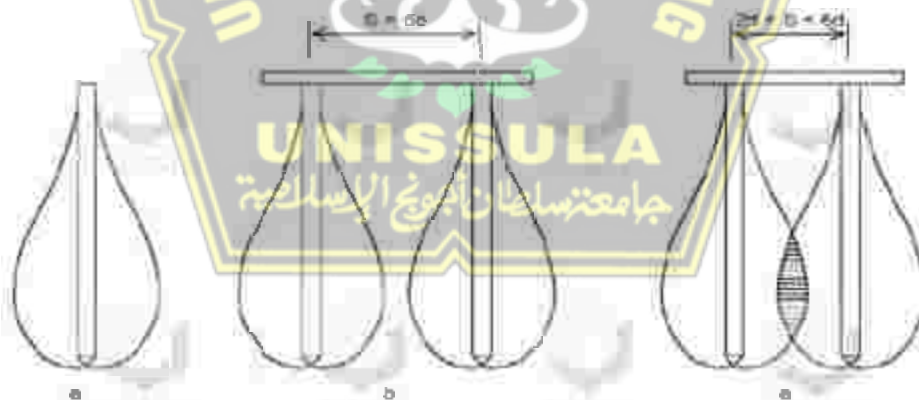
Tiang. Dengan menggunakan pendekatan ini, estimasi total Daya Dukung Total Kelompok Tiang dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{ug} = Q_{sp} \times n \times E_g \dots\dots\dots (2.30)$$

Dengan:

- Q_{ug} = daya dukung Grup Tiang;
- Q_{sp} = daya dukung Tiang Tunggal;
- n = jumlah tiang dalam grup;
- E_g = efisiensi Grup Tiang (≤ 1).

Meskipun ada beberapa rumus umum yang digunakan untuk menilai Efisiensi ini, peraturan bangunan belum secara khusus merinci Metode Spesifik untuk menghitungnya. Sebagian besar peraturan bangunan mensyaratkan Jarak Minimum Antara Tiang sekitar dua kali Diameter tiang, tetapi rentang yang lebih optimal biasanya berkisar antara 2,5 hingga 3 kali Diameter. Di area Pondasi yang menanggung Beban Lateral yang signifikan, disarankan untuk menggunakan jarak yang lebih besar.



Gambar 2.23 Mobilisasi Keruntuhan (*Bulb Pressure*)

Gambar 2.23 memperlihatkan Konsep Efisiensi kelompok tiang. Bagian a dan b dari gambar tersebut menggambarkan Diagram Tegangan yang membentuk Tekanan Bulb tanpa adanya tumpang tindih. Dalam situasi ini, Daya Dukung

Kelompok Tiang sama dengan hasil kali antara jumlah tiang dalam kelompok dan Daya Dukung Tiang Tunggal. Ini menunjukkan efisiensi kelompok tiang sebesar satu. Sebaliknya, bagian c dari Gambar 2.23 menunjukkan tumpang tindih antara Tekanan Bulb dari tiang-tiang yang berbeda, mengakibatkan pembagian tegangan dari tanah. Dalam keadaan semacam ini, Efisiensi Daya Dukung Kelompok Tiang akan menurun dari satu.

Terdapat beberapa rumus yang dipakai untuk mengukur Efisiensi Kelompok Tiang, dan persamaan di bawah ini adalah salah satunya yang umumnya digunakan:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1) + (nm-1)n}{90mn} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dengan:

- θ = arc tan (d/s) dalam derajat
- d = Diameter tiang;
- s = jarak antar as tiang;
- n = jumlah tiang dalam baris;
- m = jumlah tiang dalam kolom.

2.9.6 Penurunan (Settlement)

Penurunan Elastis pada tiang mengacu pada perubahan tingkat Penurunan yang terjadi secara langsung setelah beban diterapkan (juga dikenal sebagai penurunan Elastis Segera atau Penurunan Segera). Penurunan Elastis ini sering terjadi di tanah berjenis pasir.

Terdapat rumus empiris sederhana yang digunakan untuk memperkirakan penurunan pada grup tiang berdasarkan hasil pengujian SPT. Rumus ini untuk menghitung penurunan pada kelompok tiang dikembangkan oleh Vesic pada tahun 1997 dan dapat ditemukan dalam Persamaan 2.32.

$$S_g = S \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan:

- S_g = penurunan Kelompok Tiang;

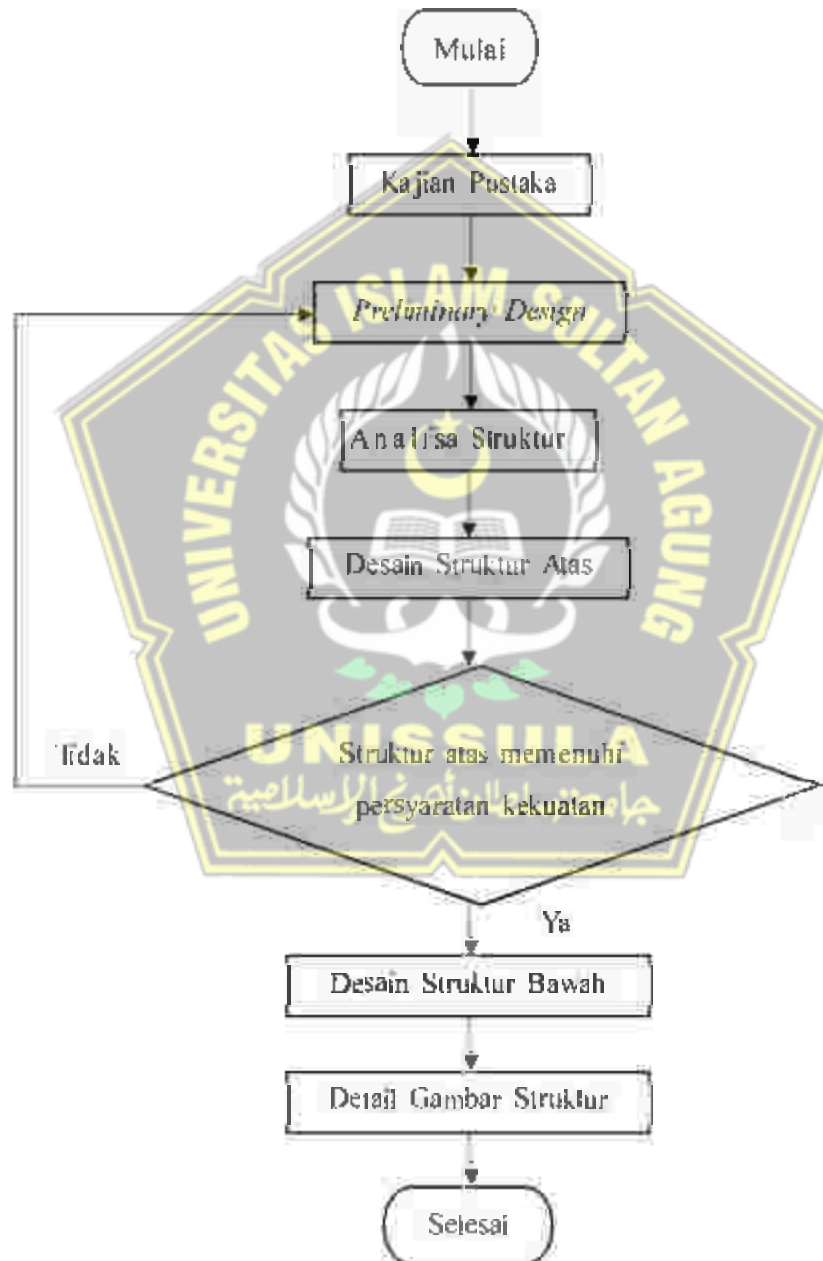
- S = penurunan Pondasi Tiang Tunggal;
 B_g = lebar Kelompok Tiang;
 D = Diameter atau Sisi Tiang Tunggal.



BAB III METODE PERANCANGAN

3.1 *Flowchart* Perancangan

Grafik 3.1 memberikan gambaran mengenai beberapa tahap yang Terlibat dalam perancangan jembatan ini.



Gambar 3.1 *Flowchart* Perancangan

3.2 Data Perancangan

Data perancangan adalah data yang berhubungan langsung dengan Perancangan Ulang Struktur Jembatan Prategang Tambakbulusan Demak, Jembatan Prategang Tambakbulusan ini dirancang dengan Kelas A dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Nama Jembatan : Jembatan Tambakbulusan
2. Lokasi Jembatan : Desa Tambakbulusan, Kec. Karangtengah, Kab. Demak
3. Jenis Jembatan : Beton Prategang Penampang I
4. Bentang Jembatan : 31 m
5. Lebar Lantai Kendaraan : 11 m
6. Lebar Trotoar : 1 m

Penampang Jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Penampang Jembatan Tambakbulusan

Spesifikasi bahan yang digunakan pada Perancangan Ulang Jembatan Prategang Tambakbulusan Demak yaitu sebagai berikut:

1. Struktur Atas

- a. Tiang Sandaran
 - Mutu beton : 24,90 MPa
 - Mutu baja : BJTP 40
- b. Lantai Trotoar
 - Mutu beton : 30 MPa

- Mutu baja : BJTD 40
 - c. Lantai Kendaraan
 - Mutu beton : 30 MPa
 - Mutu baja : BJTD 40
 - d. Diafragma
 - Mutu beton : 28 MPa
 - Mutu baja : BJTP24
 - e. Beton Prategang
 - Mutu beton : 50 MPa
 - Mutu baja : BJTD 40
 - f. Pelat Injak
 - Mutu beton : 25 MPa
 - Mutu baja : BJTD 40
2. Struktur Bawah
- a. Abutment
 - Mutu beton : 35 MPa
 - Mutu baja : BJTD 40
 - b. Pondasi
 - Jenis : Tang Pancang Beton Pracetak
 - Diameter : 30 cm
 - Mutu beton : 50 MPa
 - Mutu baja : BJTD 40

3.3 Tahapan Perancangan

Perancangan Ulang Struktur Jembatan Prategang Tambakbulusan ini memiliki beberapa tahapan dalam pengerjaannya yaitu sebagai berikut:

3.3.1 Kajian Pustaka

Kajian Pustaka merupakan kumpulan dari berbagai teori yang berisi referensi dan menjadi dasar dalam sebuah penelitian. Literatur pada Kajian Pustaka dapat berupa Buku, Jurnal atau Situs Internet.

3.3.2 Preliminary Design

Preliminary Design adalah suatu tahapan untuk memperkirakan dimensi – dimensi struktur awal yang selanjutnya akan dilakukan perhitungan secara manual. *Preliminary Design* pada perancangan jembatan ini meliputi Struktur Pelat, *Girder*, *Abutment* dan Pondasi.

3.3.3 Analisis Struktur

Tahap ini merupakan perhitungan struktur jembatan terhadap beban yang bekerja. Tujuan dari analisis struktur yaitu mengetahui Gaya Momen, Gaya Lintang dan Gaya Normal yang terjadi pada jembatan.

3.3.4 Desain Struktur Atas

Struktur Atas jembatan meliputi Pelat Lantai dan *Girder*. Desain Struktur Atas pada Jembatan Prategang Tambakbulusan menggunakan Beton Prategang Penampang I dengan Bertang Total 31 meter dan Lebar 9,5 meter dengan pembagian 3 segmen.

3.3.5 Desain Struktur Bawah

Struktur Bawah pada jembatan yaitu meliputi *Abutment*, *Pier* dan Pondasi. Untuk tipe pondasi yang digunakan pada Perancangan Ulang Jembatan Prategang Tambakbulusan ini adalah Pondasi Tiang Pancang Beton Pratekan.

3.3.6 Detail Gambar Struktur

Penggambaran struktur merupakan tahap terakhir dalam Perancangan Jembatan Tambak bulusan ini yang didasarkan dari hasil perhitungan strukturnya.

BAB IV

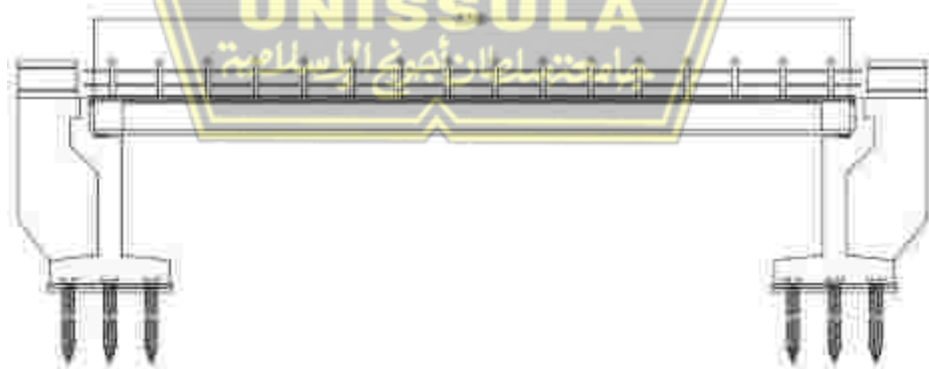
PERHITUNGAN KONSTRUKSI

4.1 Perhitungan Konstruksi

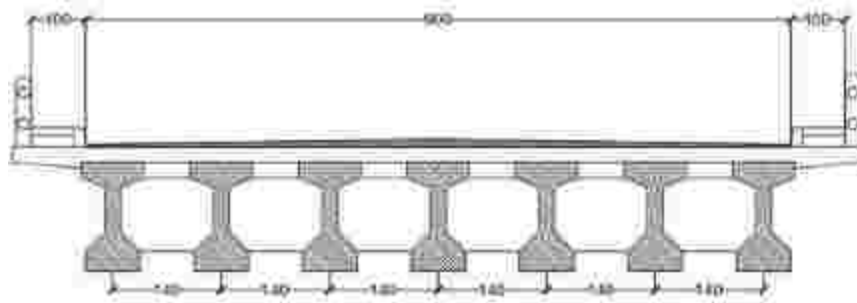
Perancangan Struktur Jembatan Tambakbulusan menggunakan Beton Prategang karena dinilai lebih ekonomis, mudah pengerjaannya, lebih kuat dan dari segi estetika lebih indah. Di masa sekarang ini, Gelagar Beton Prategang sering digunakan untuk Jembatan Bentang Panjang.

Jembatan Gelagar Beton Prategang ini dirancang menurut Kelas I dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Nama Jembatan : Jembatan Tambakbulusan
2. Lokasi Jembatan : Desa Tambakbulusan, Kecamatan Karangtengah, Kabupaten Demak
3. Jenis Jembatan : Beton Prategang
4. Panjang Total Jembatan : 31 m
5. Lebar Lantai Kendaraan : 11 m
6. Lebar Trotoar : 1 m



Gambar 4.1 Potongan Memanjang Jembatan



Gambar 4. 2 Potongan Melintang Jembatan

4.2 Spesifikasi Bahan

Spesifikasi bahan yang digunakan dalam Perancangan Ulang Jembatan Prategang Tambakbulusan adalah sebagai berikut :

1. Struktur Bangunan Atas :

a. Tiang Sandaran

- Mutu beton : K-300 ($f_c = 24,90 \text{ MPa}$)
- Mutu baja : BJTP 24 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

b. Lantai Trotoar

- Mutu beton : K-250 ($f_c = 25 \text{ MPa}$)
- Mutu baja : BJTD 40 ($f_y = 400 \text{ MPa}$)

c. Lantai Jembatan

- Mutu beton : K-300 ($f_c = 24,90 \text{ MPa}$)
- Mutu baja : BJTD 39 ($f_y = 390 \text{ MPa}$)

d. Diafragma

- Mutu beton : K-280 ($f_c = 28 \text{ MPa}$)
- Mutu baja : BJTP 24 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

e. Beton Prategang

- Mutu beton : K-500 ($f_c = 41,5 \text{ MPa}$)
- Mutu baja : BJTD 40 ($f_y = 320 \text{ MPa}$)

2. Struktur Bangunan Bawah :

a. Abutment

- Mutu beton : K-350 ($f_c = 35 \text{ MPa}$)

- Mutu baja : BJTD 32 ($f_y = 320 \text{ MPa}$)

b. Pondasi

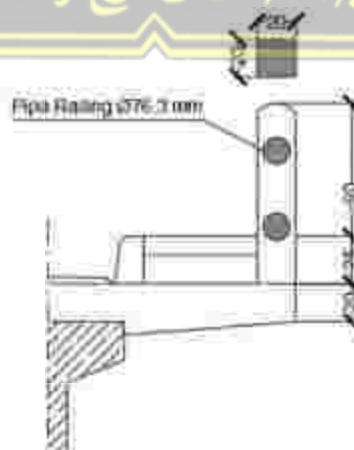
- Jenis : Tiang Pancang Beton Pracetak
- Diameter : 50 cm
- Mutu beton : K - 50 ($f'_c = 50 \text{ MPa}$)
- Mutu baja : BJTD 40 ($f_y = 400 \text{ MPa}$)

4.3 Perancangan Konstruksi Bangunan Atas Jembatan

Struktur Bangunan Atas jembatan atau yang biasa disebut *Upper Structure* (*Super Structure*) merupakan bagian jembatan yang menerima langsung beban dari kendaraan atau orang yang melewatinya. Secara umum Bangunan Atas jembatan terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu : Gelagar Memanjang Beton Pratekan, Gelagar Melintang / Diaphragma, Andas / Perletakan (Rol dan Sendi), Pelat Injak, Lantai Kendaraan / Pelat Lantai Jembatan, Lantai Trotoar dan Tiang Sandaran (*Railing*).

4.3.1 Perhitungan Tiang Sandaran

Tiang Sandaran Jembatan adalah salah satu Struktur Atas jembatan yang berfungsi sebagai pembatas jembatan dan juga sebagai pagar pengaman baik untuk kendaraan maupun Pejalan Kaki yang melewati jembatan tersebut. Tiang sandaran dapat di lihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Tiang Sandaran

Beban Tiang Sandaran

Jarak antara Tiang Sandaran (L)	$= 2 \text{ m}$
Beban Horizontal pada Sandaran (H_{TP})	$= 0,750 \text{ kN/m}$
Gaya Horizontal tiang Sandaran (H_{TP})	$= H_{TP} \times L = 1,5 \text{ kN}$
Lengan terhadap sisi bawah Tiang (y)	$= 0,8 \text{ m}$
Momen pada Tiang Sandaran (M_{TP})	$= H_{TP} \times y = 1,2 \text{ kNm}$
Faktor Beban Ultimit (K_{TP})	$= 2,0$
Momen Ultimit Rencana (M_u)	$= K_{TP} \times M_{TP} = 2,4 \text{ kNm}$
Gaya Geser Ultimit Rencana (V_u)	$= K_{TP} \times H_{TP} = 3 \text{ kN}$

Penulangan Tiang Sandaran

➤ Tulangan Lentur

Mutu beton K-300 (f'_c)	$= 24,901 \text{ MPa}$
Mutu baja U-24 (f_y)	$= 240 \text{ MPa}$
Tebal Tiang Sandaran (h)	$= 200 \text{ mm}$
Jarak tulangan terhadap sisi luar (d')	$= 35 \text{ mm}$
Modulus Elastis baja (E_s)	$= 2,00 \text{ E}+05$
Faktor bentuk distribusi tegangan (β_1)	$= 0,85$
ρ_b	$= \beta_1 \times 0,85 \times f'_c / f_y \times 600 / (600 + f_y)$ $= 0,053542$
R_{max}	$= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times [1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y / (0,85 \times f'_c)]$ $= 7,443$
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur (ϕ)	$= 0,80$

Faktor Reduksi Kekuatan Geser (ϕ) = 0.60

Momen Rencana Ultimit (M_u) = 2,4 kNm

Tebal Efektif Pelat Lantai (d) = $h - d' = 115$ mm

Ditinjau Pelat Lantai selebar 1 m (b) = 200 mm

Momen Nominal Rencana (M_n) = $M_u / \phi = 3$ kNm

Faktor Tahanan Momen (R_n) = $M_n \times 10^6 / (b \times d^2) = 1,512 < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0,85 \times f_c' / f_y \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{R_n}{1,015 \times f_c'}} \right]$$
$$= 0,00654$$

Rasio Tulangan Minimum, (ρ_{min}) = $1,4 / f_y = 0,00583$

Rasio Tulangan yang digunakan (ρ) = 0,00654

Luas Tulangan yang diperlukan (A_s) = $\rho \times b \times d = 112,68$ mm²

Diameter Tulangan yang digunakan = D 13

Jumlah Tulangan yang diperlukan (n) = $A_s / (\pi / 4 \times D^2) = 0,850$

Digunakan Tulangan 4 D 13

➤ Tulangan Geser

Gaya Geser Ultimit rencana (V_u) = 3 kN → 3000 N

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 \times b \times d$$
$$= 3149 \text{ N}$$

$$\phi \times V_c = 1890 \text{ N}$$

$$\phi \times V_s = V_u - \phi \times V_c$$
$$= 1110 \text{ N}$$

$$V_s = 1851 \text{ N}$$

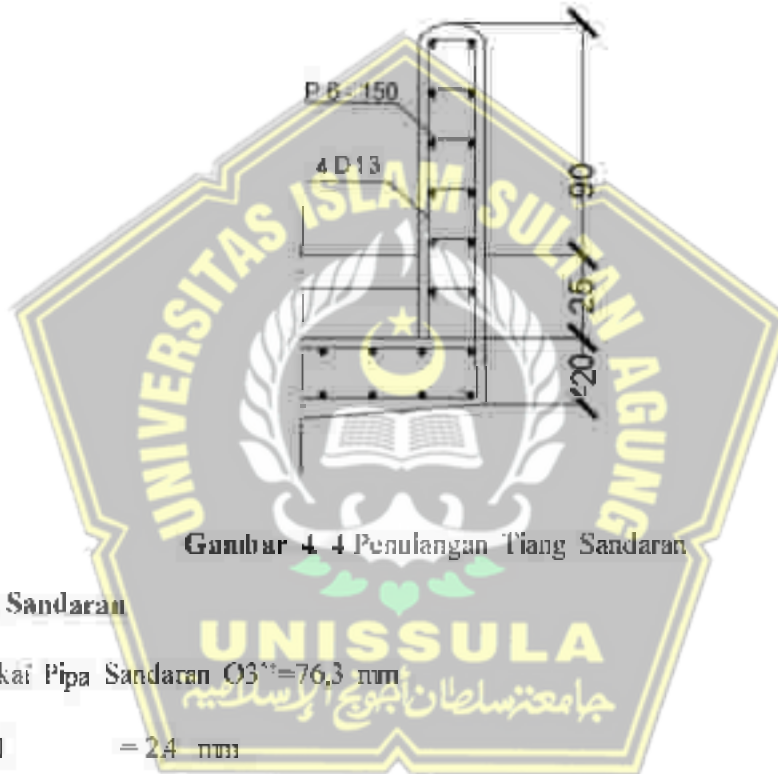
Digunakan sengkang berpenampang 2 O 6

Luas Tulangan Geser Sengkang (A_s) $= \pi / 4 \times \phi^2 \times 2 = 56,55 \text{ mm}^2$

Jarak Tulangan Geser yang diperlukan:

$$S = A_s \times f_y \times d / V_s$$
$$= 843 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang 2 O 6 – 150



Gambar 4.4 Penulangan Tiang Sandaran

Pipa Sandaran

Dipakai Pipa Sandaran O3''=76,3 mm

Tebal = 24 mm

Berat = 437kg/m

w = 9,98

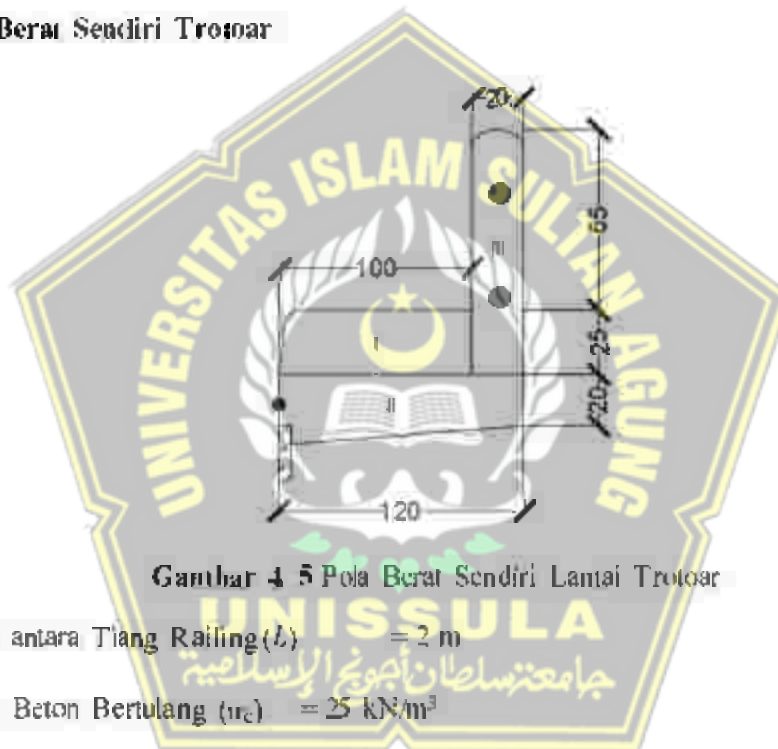
$$M = 1/8q l^2$$
$$= 1/8 \cdot 100,2^2$$
$$= 50 \text{ kg/m}$$
$$= 5000 \text{ kg/cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{w} = \frac{5000}{908} = 5.01 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Oke)}$$

4.3.2 Perhitungan Lantai Trotoar

Trotoar atau yang sering disebut *Side Walk* adalah sebuah prasarana yang diperuntukkan sebagai jalur khusus Pejalan Kaki (*Pedestrians*) agar aman saat berjalan dan tidak mengganggu Jalur Lalu Lintas Kendaraan. Yang dimaksud dengan Trotoar disini adalah penebalan dari Pelat Lantai Kantilever sekaligus berfungsi sebagai Balok Pengeras Pelat Lantai Kendaraan. Pola Pembebanan Trotoar dapat di lihat pada gambar 4.5.

➤ Berat Sendiri Trotoar



Gambar 4.5 Pola Berat Sendiri Lantai Trotoar

Jarak antara Tiang Railing (L) = 2 m

Berat Beton Bertulang (w_c) = 25 kN/m³

Berat sendiri trotoar dapat di lihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Berat Sendiri Trotoar

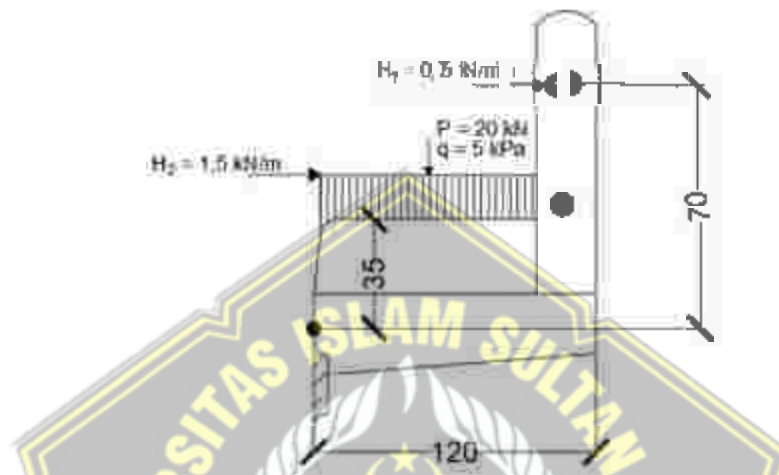
NO	b (m)	h (m)	L (m)	Berat Jenis	Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
				(kN)			
1	1	0.25	2	25	6.25	0.5	3.13
2	1.2	0.2	2	25	6	0.6	3.6
3	1.2	1.1	2	25	33	1.1	3.63
4	Pipa Sandaran 3"		2	0.21	0.42	1.1	0.462
5	Pipa Sandaran 3"		2	0.21	0.42	1.1	0.462

1.1

Tabel 4.1 Berat Sendiri Trotoar

Berlanjut

	Total =	4609		4395
Berat sendiri trotoar per m lebar	P_{MS} =	23.05	M_{MS} =	21.97

➤ **Beban Hidup Pejalan Kaki**

Gambar 4.6 Beban Hidup Pejalan Kaki

Tabel 4.2 Pola Beban Hidup Lantai Trotoar

NO	Jenis Beban	Gaya (kN)	Lengan (kN)	Momen (kNm)
1	Beban Horizontal pada Railing (H1)	0.75	0.7	0.525
2	Beban Horizontal pada Kerb (H2)	1.5	0.35	0.525
3	Beban Vertikal terpusat (P)	20	0.6	12
4	Beban Vertikal merata = $q \times l_2$	6	0.6	3.6
			M_{HP} =	16.65

➤ **Momen Ultimit Rencana Lantai Trotoar**

$$K_{MS} = 1.3$$

$$K_{TP} = 2.0$$

$$M_{MS} = 21.97 \text{ kNm}$$

$$M_{TP} = 16.65 \text{ kNm}$$

$$M_u = K_{MS} \times M_{MS} + K_{TP} \times M_{TP}$$

$$= 61,86 \text{ kNm}$$

➤ Penulangan Lantai Trotoar

$$f_c = 24,90 \text{ MPa}$$

$$f_y = 390 \text{ MPa}$$

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

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$E_s = 200E + 0,5$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times f_c' / f_y \times 600 / (600 + f_y)$$

$$= 0,027$$

$$R_{maks} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times [1 - \sqrt{1 - 1,4 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y / (0,85 \times f_c')}]$$

$$= 6,59$$

$$\phi_{lentur} = 0,80$$

$$\phi_{geser} = 0,60$$

$$M_u = 61,86 \text{ kNm}$$

$$d = h - d' = 170 \text{ mm}$$

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

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 77,33 \text{ kNm}$$

$$R_n = M_n \times 10^{-6} / (b \times d^2)$$

$$= 2,68 \rightarrow R_n < R_{maks} \text{ (OK)}$$

$$\mu = 0,85 \times f_c' / f_y \times [1 - 2 \times R_n / (0,85 \times f_c')]$$

$$= 0,040$$

$$f_{min} = 25^{\circ} / 6 \times (1,4 / f_y)$$

$$= 0,0008$$

Digunakan $\rho = 0,040$

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

$$= 1319 \text{ mm}^2$$

D 16 mm

$$s = \pi / 4 \times D^2 \times b / A_s$$

$$= 152,43 \text{ mm}$$

Digunakan D 16 – 100

$$A_g = \pi / 4 \times D^2 \times b / s$$

$$= 2011 \text{ mm}^2$$

Untuk Tulangan Longitudinal diambil 80% Tulangan Pokok

$$A_s' = 80\% \times A_g$$

$$= 659,5 \text{ mm}^2$$

D 13 mm

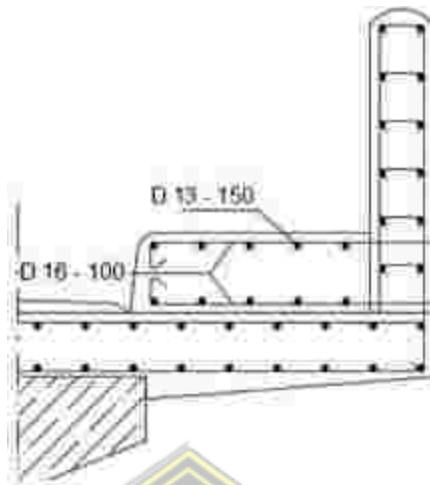
$$s' = \pi / 4 \times D^2 \times b / A_s'$$

$$= 201,26 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D 13 – 150

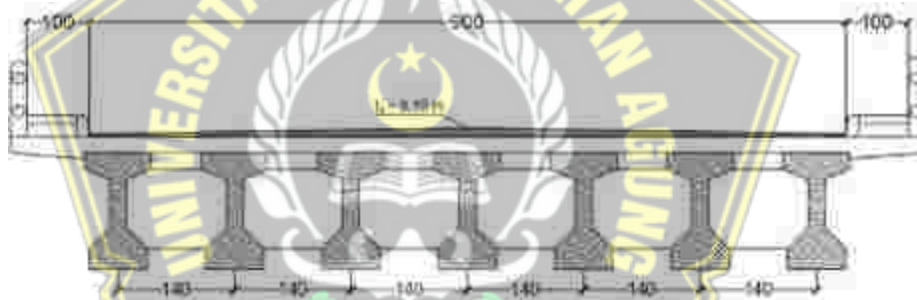
$$A_s' = \pi / 4 \times D^2 \times b / s'$$

$$= 885 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.7 Penulangan Lantai Trotoar

4.3.3 Perhitungan Pelat Lantai Jembatan



Gambar 4.8 Potongan Melintang Jembatan

➤ Data Pelat lantai Jembatan

$$t_p = 0,20 \text{ m}$$

$$b = 0,10 \text{ m}$$

$$t_h = 0,05 \text{ m}$$

$$s = 1,40 \text{ m}$$

$$b1 = 4,5 \text{ m}$$

$$b2 = 1 \text{ m}$$

$$b = 11 \text{ m}$$

$$L = 31 \text{ m}$$

➤ Bahan Struktur

Mutu Beton = K-300

$$f_c' = 24.90 \text{ MPa}$$

$$E_s = 23453 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.2$$

$$G = 9772 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 0.00001 / ^\circ\text{C}$$

Mutu Baja:

Untuk Baja Tulangan dengan $\phi > 12 \text{ mm}$ = U-39 ($f_y = 390 \text{ MPa}$)

Untuk Baja Tulangan dengan $\phi \leq 12 \text{ mm}$ = U-24 ($f_y = 240 \text{ MPa}$)

$$W_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$W'_c = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$W_a = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$W_w = 9.80 \text{ kN/m}^3$$

$$W_s = 77 \text{ kN/m}^3$$

➤ Analisis Beban Pelat Lantai

Berat Sendiri (MS)

$$K_{MS} = 1.3$$

$$b = 11 \text{ m}$$

$$h = t_b = 0.20 \text{ m}$$

$$W_c = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$Q_{MS} = b \times h \times W_c$$

$$= 55 \text{ kN/m}$$

Beban Mati Tambahan (MA)

$$K_{MA} = 2,0$$

Tabel 4.3 Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

NO	JENIS	TEBAL (m)	BERAT (kN/m ³)	BEBAN (kN/m)
1	Lapisan aspal + overlay	0,10	22	2,200
2	Air hujan	0,05	9,80	0,490
Beban mati tambahan :			Q_{MA}	2,690

Beban Truk "T" (TT)

$$K_{TT} = 2,0$$

Beban Hidup pada Lantai Jembatan berupa Beban Roda Ganda oleh Truk yang besarnya, $T = 112,5 \text{ kN}$

Faktor Beban Dinamis untuk Pembebanan Truk diambil, $DLA = 0,3$

$$P_{1T} = (1 + DLA) \times T$$

$$= 146,25 \text{ kN}$$

Beban Angin (EW)

$$K_{EW} = 1,2$$

Beban garis merata tambahan arah horisontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas jembatan dihitung dengan rumus:

$$T_{kw} = 0,0012 \times C_w \times (f_w)^2$$

$$C_w = 1,20$$

$$f_w = 35 \text{ m/det}$$

$$T_{kw} = 1,764 \text{ kN/m}$$

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

Jarak antara roda kendaraan, $X = 1,75 \text{ m}$

$$P_{EW} = \left[\frac{1}{2} \times h / X \times T_{kw} \right]$$

$$= 1,008 \text{ kN}$$

Pengaruh Temperatur (ET)

$$K_{ET} = 1,2$$

Untuk memperhitungkan tegangan maupun deformasi struktur yang timbul akibat pengaruh temperatur, diambil perbedaan temperatur yang besarnya setengah dari selisih antara temperatur maksimum dan temperatur minimum rata-rata pada lantai jembatan.

$$T_{\text{maks}} = 40^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{min}} = 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (T_{\text{maks}} - T_{\text{min}}) / 2$$

$$= 12,5^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,00001 / ^\circ\text{C}$$

$$E_c = 23452953 \text{ kPa}$$

➤ Momen Pada Pelat Lantai

$$Q_{MS} = 55 \text{ kN}$$

$$Q_{MA} = 2,690 \text{ kN/m}$$

$$P_{TT} = 130 \text{ kN}$$

$$P_{EW} = 1,008 \text{ kN}$$

$$\Delta T = 12,5^\circ \text{C}$$

k = koefisien momen

$$s = 1,40 \text{ m}$$

untuk Beban Merata Q :

$$M = k \times Q \times s^2$$

Untuk Beban Terpusat P :

$$M = k \times P \times s$$

Untuk Beban Temperatur ΔT :

$$M = k \times \alpha \times \Delta T \times E \times s^2$$

Momen Akibat Berat Sendiri (MS)

$$\text{Momen Tumpuan, } M_{MS} = 0,083 \times Q_{MS} \times s^2 = 8,947 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen Lapangan, } M_{MS} = 0,04 \times Q_{MS} \times s^2 = 4,419 \text{ kNm}$$

Momen Akibat Beban Mati Tangkahan (MA)

$$\text{Momen Tumpuan, } M_{MA} = 0,104 \times Q_{MA} \times s^2 = 0,548 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen Lapangan, } M_{MA} = 0,054 \times Q_{MA} \times s^2 = 0,284 \text{ kNm}$$

Momen Akibat Beban Truk (TT)

$$\text{Momen Tumpuan, } M_{TT} = 0,156 \times P_{TT} \times s^2 = 39,748 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen Lapangan, } M_{TT} = 0,140 \times P_{TT} \times s^2 = 35,672 \text{ kNm}$$

Momen Akibat Beban Angin (EW)

$$\text{Momen Tumpuan, } M_{EW} = 0,156 \times P_{EW} \times s^2 = 0,220 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen Lapangan, } M_{EW} = 0,140 \times P_{EW} \times s^2 = 0,197 \text{ kNm}$$

Momen Akibat Temperatur (ET)

$$\text{Momen tumpuan, } M_{ET} = 5,62E-07 \times \alpha \times \Delta T \times E_c \times s^3 = 0,045 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen lapangan, } M_{ET} = 2,8E-06 \times \alpha \times \Delta T \times E_c \times s^3 = 0,022 \text{ kNm}$$

Rekap Momen Pelat Lantai

Tabel 4.4 Rekap Momen Pelat Lantai

No	Jenis Beban	Faktor Beban	Daya Layan	Kedaaan Ultimit	$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{lapangan}$ (kNm)
1	Berat Sendiri	K_{MS}	1.0	1.3	8,947	4,419
2	Beban Mati Tambahan	K_{MA}	1.0	2.0	0,548	0,284
3	Beban Truk "T"	K_{LT}	1.0	2.0	39,748	35,672
4	Beban Angin	K_{W}	1.0	1.2	0,220	0,197
5	Pengaruh Temperatur	K_{T}	1.0	1.2	0,045	0,022

Kombinasi 1

Tabel 4.5 Kombinasi 1 Momen Pelat Lantai

No	Jenis Beban	Kedaaan Ultimit	$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{lapangan}$ (kNm)	$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{lapangan}$ (kNm)
1	Berat Sendiri	1.3	8,947	4,419	11,631	5,744
2	Beban Mati Tambahan	2.0	0,548	0,284	1,096	0,568
No	Jenis Beban	Kedaaan Ultimit	$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{lapangan}$ (kNm)	$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{lapangan}$ (kNm)
3	Beban Truk "T"	2.0	39,748	35,672	79,496	71,344
4	Beban Angin	1.0	0,220	0,197	0,220	0,197

Tabel 4.5 Kombinasi 1 Momen Pelat Lantai

Berlanjut

5	Pengaruh Temperatur	1.0	0,045	0,022	0,045	0,022
Total Momen Ultimit Pelat Lantai				$M_u =$	92,488	77,875

Kombinasi 2

Tabel 4. 6 Kombinasi II Momen Pelat Lantai

No	Jenis Beban	Kedaaan Ultimit	$M_{tumpuan}$ (kN m)	$M_{tumpuan}$ (kJ Nm)	$M_{tumpuan}$ (kNm)	$M_{tumpuan}$ (kJ Nm)
1	Berat Sendiri	1.3	8,947	4,419	11,631	5,744
2	Beban Mati Tambahan	2.0	0,548	0,284	1,096	0,568
3	Beban Truk "T"	1.0	39,748	35,672	39,748	35,672
4	Beban Angin	1.2	0,220	0,197	0,264	0,236
5	Pengaruh Temperatur	1.2	0,045	0,022	0,054	0,026
Total Momen Ultimit Pelat Lantai				$M_u =$	52,793	42,246

➤ Penulangan Pelat Lantai

Tulangan Lentur Negatif

Momen Rencana Tumpuan (M_u) = 92,488 kNm

Mutu Beton K-300 (f_c') = 24,90 MPa

Mutu Baja U-39 (f_y) = 390 MPa

Tebal Pelat Lantai (h) = 200 mm

Jarak Tulangan terhadap sisi luar (d) = 35 mm

Modulus Elastis Baja (E_s) = 210E+05

Faktor bentuk Distribusi Tegangan (β_1) = 0,85

$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times f_c' / f_y \times 600 / (600 + f_y)$

$$= 0,027957$$

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times [1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y / (0,85 \times f_c')] \\ = 6,597664$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan lentur } (\phi) = 0,80$$

$$\text{Momen rencana ultimit } (M_u) = 92,488 \text{ kNm}$$

$$\text{Tebal efektif pelat lantai } (t) = h - d' = 165 \text{ mm}$$

$$\text{Ditinjau pelat lantai selebar } 1 \text{ m } (b) = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Momen nominal rencana } (M_n) = M_u / \phi = 73,990 \text{ kNm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen } (R_n) = M_n \times 10^{-6} / (b \times d^2) = 2,717 < R_{max} \text{ (OK)}$$

Rasio tulangan yang diperlukan:

$$\rho = 0,85 \times f_c' / f_y \times [1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times R_n}{(0,85 \times f_c')}}] \\ = 0,05426$$

$$\text{Rasio Tulangan Minimum } (\rho_{min}) = 25\% \times (1,4 / f_y) = 0,00090$$

$$\text{Rasio Tulangan yang digunakan } (\rho) = 0,05426$$

$$\text{Luas Tulangan yang diperlukan } (A_s) = \rho \times b \times d = 8952,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter Tulangan yang digunakan } = D 16$$

$$\text{Jarak Tulangan yang diperlukan } (s) = \pi / 4 \times D^2 \times b / A_s = 122,124 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D 16 – 100 mm

$$A_s = \pi / 4 \times D^2 \times b / s = 2011 \text{ mm}^2$$

Tulangan bagi arah memanjang diambil 50% Tulangan Pokok :

$$A_s' = 50\% \times A_s = 823 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter Tulangan yang digunakan } = D 13$$

$$\text{Jarak Tulangan yang diperlukan } (s) = \pi / 4 \times D^2 \times b / A_s = 161,242 \text{ mm}$$

Digunakan Tulangan D 13 – 150 mm

$$A_s' = \pi \cdot 4 \times D^2 \cdot b/s = 885 \text{ mm}^2$$

Tulangan Lentur Positif

$$\text{Momen rencana lapangan } (M_u) = 77,875 \text{ kNm}$$

$$\text{Mutu beton K-300 } (f_c') = 24,90 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu baja U-39 } (f_y) = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal pelat lantai } (h) = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan terhadap sisi luar } (d') = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastis baja } (E_s) = 200 \text{ E+05}$$

$$\text{Faktor bentuk distribusi tegangan } (\beta_1) = 0,85$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \times 0,85 \times f_c' / f_y \times 600 / (600 + f_y) \\ &= 0,027957 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times [1 - \sqrt{1 - 1,41 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y / (0,85 \times f_c')}] \\ &= 6,597664 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Reduksi Kekuatan Lentur } (\phi) = 0,80$$

$$\text{Momen Rencana Ultimit } (M_u) = 77,875 \text{ kNm}$$

$$\text{Tebal Efektif Pelat Lantai } (d) = h - d' = 165 \text{ mm}$$

$$\text{Ditinjau Pelat Lantai selebar 1 m } (b) = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Momen nominal rencana } (M_n) = M_u / \phi = 97,343 \text{ kNm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen } (R_n) = M_n \times 10^{-6} / (b \times d^2) = 3,575 < R_{max} \text{ (OK)}$$

Rasio Tulangan yang diperlukan:

$$\rho = 0,85 \times f_c' / f_y \times [1 - \sqrt{1 - \frac{1,41 \times R_n}{0,85 \times f_c'}}]]$$

$$= 0,0870$$

$$\text{Rasio tulangan minimum, } (\rho_{\min}) = 25\% \times (1,4 / f_y) = 0,00090$$

$$\text{Rasio tulangan yang digunakan } (\rho) = 0,0870$$

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan } (A_s) = \rho \times b \times d = 1435,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter tulangan yang digunakan} = D 16$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan } (s) = \pi / 4 \times D^2 \times b / A_s = 140,077 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan tulangan D 16 - 100 mm}$$

$$A_s = \pi / 4 \times D^2 \times b / s = 2011 \text{ mm}^2$$

Tulangan bagi arah memanjang diambil 50% tulangan pokok :

$$A_s^* = 50\% \times A_s = 718 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter tulangan yang digunakan} = D 13$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan } (s) = \pi / 4 \times D^2 \times b / A_s^* = 184,945 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan tulangan D 13 - 150 mm}$$

$$A_s^* = \pi / 4 \times D^2 \times b / s = 885 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.9 Penulangan Pelat Lantai

4.3.4 Perhitungan Balok Girder

Data Perancangan

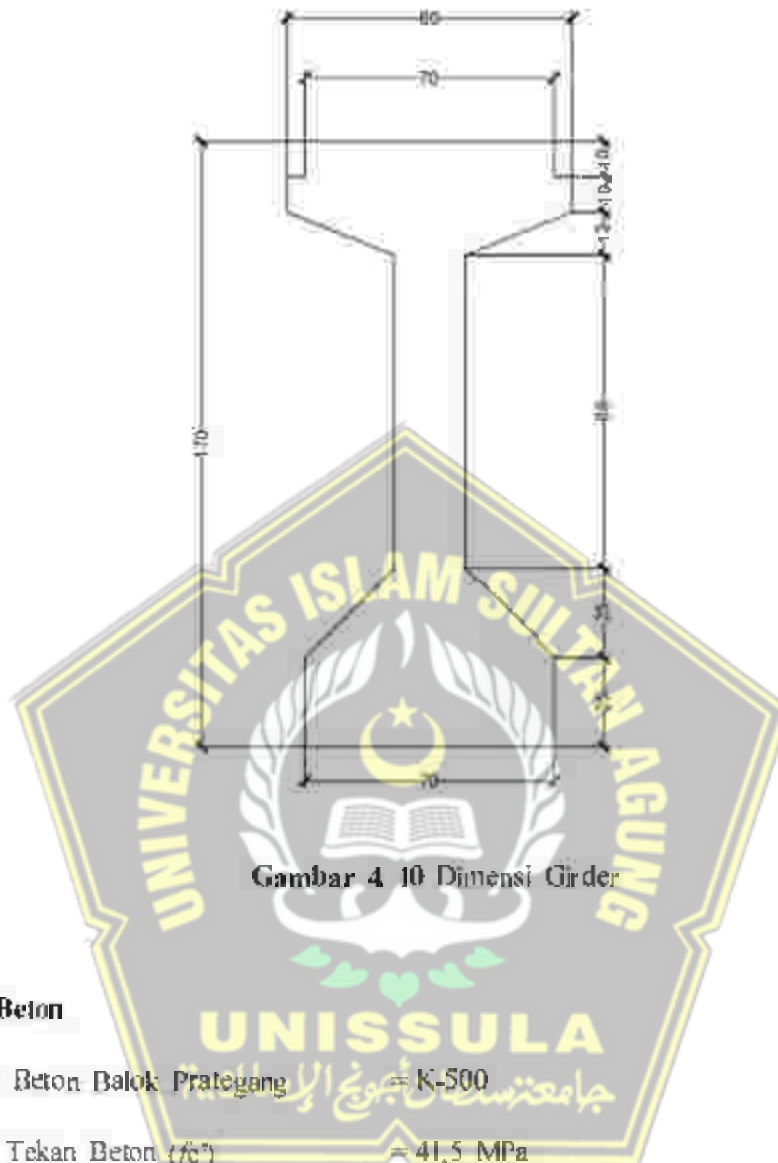
$$\text{Panjang Balok Prategang } (L) = 31 \text{ m}$$

Jarak antar Balok Prategang (s)	= 1,4 m
Tebal Pelat Lantai Jembatan (H_0)	= 0,2 m
Tebal Lapisan Aspal + Overlay (H_a)	= 0,1 m
Tinggi Genangan Air Hujan (h)	= 0,05 m
Lebar Jalur Lalu Lintas (b_1)	= 4,5 m
Lebar Trotoar (b_2)	= 1 m
Lebar Total Jembatan (b)	= 11 m
Panjang Bentang Jembatan (L)	= 31 m
Beton Prategang (ρ_c)	= 25,5 kN/m ³
Beton Bertulang (ρ_c')	= 25 kN/m ³
Beton (ρ_c'')	= 24 kN/m ³
Aspal (Waspal)	= 22 kN/m ³
Air Hujan (Wair)	= 9,8 kN/m ³

Dimensi Balok Prategang

Table 4.7 Dimensi Balok Prategang

Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)
b1	0,7	h1	0,1
b2	0,8	h2	0,1
b3	0,3	h3	0,12
b4	0,2	h4	1,25
b5	0,25	h5	0,25
b6	0,7	h6	0,25
		h	1,7



Gambar 4.10 Dimensi Girder

a. Beton

Mutu Beton Balok Prategang = K-500

Kuat Tekan Beton (f_c') = 41,5 MPa

Modulus Elastisitas Beton (E_c) = 30277,63 MPa

Angka Poisson (ν) = 0,2

Modulus Geser (G) = 12615,68 MPa

Koefisien Muai Panjang Beton (α) = 0,00001

Kuat Tekan Beton pada keadaan Awal (saat Transfer)

$$f_{c1}' = 0,80 \times f_c'$$

$$= 0,80 \times 41,5$$

$$= 33,2 \text{ MPa}$$

Tegangan Ijin Beton saat penarikan :

$$\text{Tegangan Ijin Tekan } (0,60 \times f_c') = 19,92 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan Ijin Tarik } (0,50 \times f_c'^{0,50}) = 2,88 \text{ MPa}$$

Tegangan Ijin Beton pada keadaan akhir:

$$\text{Tegangan Ijin Tekan } (0,45 \times f_c') = 18,67 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan Ijin Tarik } (0,50 \times f_c'^{0,50}) = 3,22 \text{ MPa}$$

b. Baja Prategang

Tabel 4. 8 Data Strand

DATA STRAND CABLE - STRAND VSL			
Jenis strands		Uncoated 7 wire super strands	ASTM A-46 grade 270
Tegangan leleh strand	F_{py}	1580	MPa
Kuat tarik strand	F_{pu}	1860	MPa
Diameter nominal strand		12,7	mm (1/2")
Luas tampang nominal satu strands	A_{st}	987	mm ²
Beban putus minimal satu strands	P_{bs}	18732	kN (100% UTS)
Jumlah kawat untaiian (strands cable)		19	kawat untaiian / tendon
Diameter selubung ideal		84	mm
Luas tampang strands		18763	mm ²
Beban putus satu tendon	P_{b1}	3559,1	kN (100% UTS)
Modulus elastis strands	E_s	193000	MPa
Tipe dongkrak		VSL 19	

c. Baja Tulangan

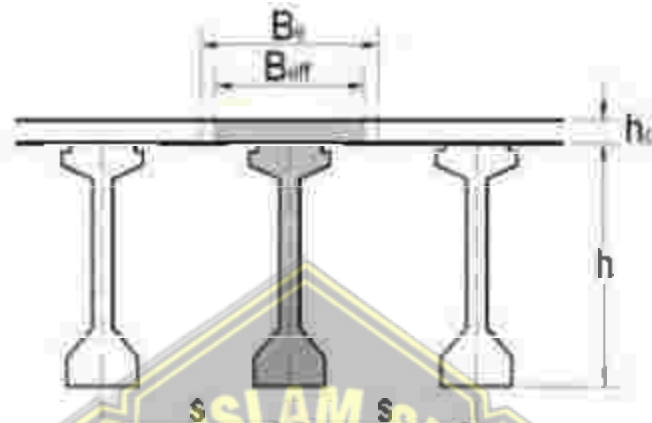
Untuk Baja Tulangan Deform $D > 12 \text{ mm}$ U-32

$$\text{Kuat Lelah Baja, } f_y = U \times 10 = 320 \text{ MPa}$$

Untuk Baja Tulangan Deform $0 \leq 12 \text{ mm}$ U-24

Kuat Lelah Baja, $f_y = U \times 10 = 240 \text{ MPa}$

d. Penentuan Lebar Efektif Pelat Lantai



Gambar 4.11 Pola Lebar Efektif Pelat Lantai

Lebar Efektif Pelat (B_e) = 1,4 m

Kuat Tekan Beton Pelat ($f'c_{\text{pelat}}$) = 24,9 MPa

Kuat Tekan Beton Balok ($f'c_{\text{balok}}$) = 41,5 MPa

Modulus Elastisitas Pelat Beton (E_{pelat}) = 23452,95 MPa

Modulus Elastisitas Balok Prategang (E_{balok}) = 35669,97 MPa

Nilai perbandingan E_{pelat} dan E_{balok} (n) = 0,65

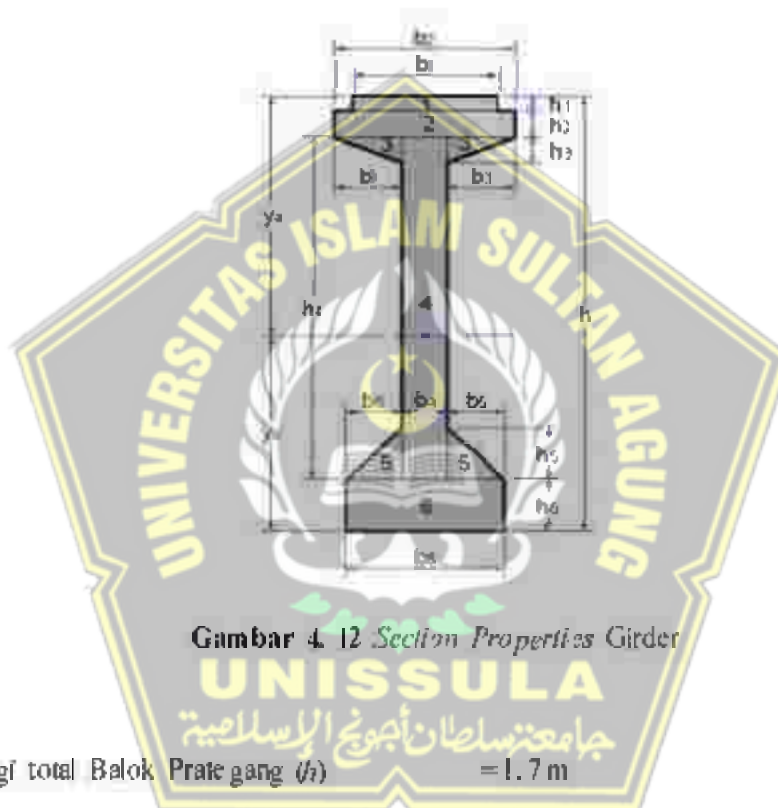
Lebar pengganti Beton Pelat Lantai (B_{eff}) = 0,92 m

e. Section Properties Balok Prategang

Tabel 4.9 Section Properties Balok Prategang

No	DIMENSI	Luas Tampang	Jarak terhadap alas	Statis Momen	Inersia Momen	Inersia Momen
	Lebar | Tinggi					

	b	h	A	y	A * y	A * y ²	I _b
	(m)	(m)	(m ²)	(m)	(m ³)	(m ⁴)	(m ⁴)
1	0.7	0.1	0.07	1.7	0.119	0.2023	583333E-05
2	0.8	0.1	0.08	1.6	0.128	0.2048	666667E-05
3	0.3	0.12	0.036	1.5	0.054	0.081	0.0000432
4	0.2	1.25	0.25	1.5	0.375	0.5625	0.032552083
5	0.25	0.25	0.0625	0.5	0.03125	0.015625	0.000325521
6	0.7	0.25	0.175	0.25	0.04375	0.010938	0.000911458
Total :			0,6735		0,751	1,077163	0,033957263



Tinggi total Balok Prategang (h) = 1.7 m

Luas penampang Balok Prategang (A) = 0,67m²

Letak titik berat:

$$\gamma_b = \frac{\sum A \cdot x \cdot y}{\sum A}$$

$$= 1,12 \text{ m}$$

$$\gamma_a = h - \gamma_b$$

$$= 0,58 \text{ m}$$

Momen inersia terhadap Alas Balok (I_b) = 1,11 m⁴

Momen inersia terhadap Titik Berat Balok (I_c) = 0,27 m⁴

Tahanan Momen Sisi Atas (W_a) = 0,46 m³

Tahanan Momen Sisi Bawah (W_b) = 0,24 m³

c. Section Properties Balok Komposit



Gambar 4.13 Section Properties Balok Komposit

Tabel 4.10 Section Properties Balok Komposit

No	DIMENSI		Luas Tampang	Jarak terhadap alas	Statis Momen	Inersia Momen	Inersia Momen
	Lebar	Tinggi					
	b (m)	h (m)					
1	1.18	0.2	0.236	2.2	0.5192	1.14224	0.000786667
2	0.64	0.07	0.0448	2.07	0.092736	0.191964	1.82933E-05
3	0.8	0.13	0.104	1.97	0.20488	0.403614	0.000146467
4	0.3	0.12	0.036	1.86	0.06696	0.124546	0.0000432
5	0.2	1.25	0.25	1.08	0.27	0.2916	0.032552083
6	0.25	0.25	0.0625	0.33	0.020625	0.006806	0.000325521

7	0.7	0.25	0.175	0.13	0.02275	0.002958	0.000911458
Total:			0.9083		1.197151	2.163726	0.034783689

Tinggi total Balok Komposit (h) = 1.9 m

Luas penampang Balok Komposit (A) = 0.90 m²

Letak titik berat :

$$y_{bc} = \frac{\sum A \times y}{\sum A}$$

$$= 1.31 \text{ m}$$

$$y_{bc} = h - y_{bc}$$

$$= 0.58 \text{ m}$$

Momen Inersia Terhadap Alas Balok (I_{bc}) = 2.19 m⁴

Momen Inersia Terhadap Titik Berat Balok (I_{sc}) = 0.62 m⁴

Tahanan Momen Sisi Atas Pelat (W_{bc}) = 1.06 m³

Tahanan Momen Sisi Bawah Balok (W_{bc}) = 0.47 m³

Tahanan Momen Sisi Atas Balok (W_{bc}) = 1.62 m³

g. Pembebanan Balok Prategang

Berat Sendiri (W_s)

Berat Diafragma

Tebal = 0.2 m

Lebar = 1.1 m

Tinggi = 1.25 m

Berat 1 buah diafragma :

$$W_d = b \times h \times d \times w_c'$$

$$= 6,87 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah diafragma} = 30 \text{ buah}$$

$$W_d = 206,25 \text{ kN}$$

$$\text{Panjang Balok Prategang} = 31 \text{ m}$$

Beban diafragma pada Girder:

$$Q_d = n_d \times W_d / L$$

$$= 6,65 \text{ kN/m}$$

Berat Balok Prategang

$$\text{Panjang Balok Prategang} = 31 \text{ m}$$

$$\text{Luas Penampang (A)} = 0,67 \text{ m}^2$$

$$W_{\text{balok}} = A \times L \times W_d$$

$$= 532,40 \text{ kN}$$

Berat Balok Prategang + 10% :

$$Q_{\text{balok}} = W_{\text{balok}} / L$$

$$= 17,17 \text{ kN/m}$$

Gaya Geser dan Momen Akibat Berat Sendiri (MS)

$$Q_{MS} = A \times w$$

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L$$

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2$$

Tabel 4.11 Gaya Geser dan Momen Akibat Berat Sendiri (MS)

No	Jenis beban berat sendiri	Lebar	Tebal	Luas	Berat sat	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					17.17	26620	2063.06
2	Plat lantai	1.8	0.2	0.36	25	9	139.5	1081.13
3	Deck slab	1.6	0.07	0.0812	25	2.03	31.47	243.85
4	Diaphragma					665	10313	79922
Total :						34.86	540.29	4187.25

Beban Mati Tambahan (MA)

Tabel 4.12 Beban Mati Tambahan (MA)

No	Jenis beban mati tambahan	Lebar	Tebal	Luas	Berat sat	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	Lapisan aspal + overlay	1.8	0.1	0.18	22	3.96	61.38	4757.0
2	Air hujan	1.8	0.05	0.09	9.8	0.88	136.7	1059.5
Total :						4.84	750.5	581.65

Beban Lalu Lintas

Beban Lajur "D" (TD)

Faktor beban ultimate (K_{1D}) = 2

beban kendaraan yang berupa beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata (*Uniformly Distributed Load*) dan beban garis (*Knife Edge Load*). UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang bentang l , yang dibebani lalu lintas, dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$q = 8,0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30$$

$$q = 8,0 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L > 30$$

$$L = 31 \text{ m}$$

$$q = 8,0 \times (0,5 + 15/31)$$

$$= 7,87 \text{ kPa}$$

$$KEL = 44 \text{ kN/m}$$

$$DLA = 0,40 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

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

$$DLA = 0,30 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

$$L = 31 \text{ m}$$

$$s = 1,4 \text{ m}$$

$$q = 7,87 \text{ kPa}$$

$$Q_{UD} = q \times s$$

$$= 11,02 \text{ kN/m}$$

$$p = 44 \text{ kN/m}$$

$$DLA = 0,40$$

$$P_{UD} = (1 + DLA) \times p \times s$$

$$= 86,24 \text{ kN}$$

Gaya geser dan momen maksimum pada balok akibat beban lajur "D":

$$V_{UD} = \frac{1}{2} \times Q_{UD} \times L + \frac{1}{4} \times P_{UD}$$

$$= 213,92 \text{ kN}$$

$$M_{UD} = \frac{1}{8} \times Q_{UD} \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_{UD} \times L$$

$$= 1992,06 \text{ kNm}$$

Gaya Rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada jarak 1,8 m di atas permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan sebagai berikut;

$$H_{TB} = 250 \quad \text{untuk } L_t \leq 80 \text{ m}$$

$$H_{TB} = 250 + 2.5 \times (L_t - 80) \quad \text{untuk } 80 < L_t < 180 \text{ m}$$

$$H_{TB} = 500 \quad \text{untuk } L_t \geq 180 \text{ m}$$

$$L_t = 93 \text{ m}$$

Jumlah balok untuk jalur selebar b_1 (n_{balok}) = 3 buah

$$H_{TB} = 250 + 2.5 \times (L_t - 80)$$

$$= 282.5 \text{ kN}$$

$$s = 1.4 \text{ m}$$

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

$$= 94.17 \text{ kN}$$

$$Q_{TD} = q \times s$$

$$= 11.019 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = p \times s$$

$$= 61.6 \text{ kN}$$

$$T_{TB} = 0.05 \times (Q_{TD} \times L + P_{TD})$$

$$= 54.32 \text{ kN}$$

Diambil gaya rem, $T_{TB} = 94.17 \text{ kN}$

Lengan terhadap titik berat balok,

$$y = 1.80 + h_{10} + h_a + y_{oc}$$

$$= 2,68 \text{ m}$$

$$M = T_{iw} \times y \\ = 252,55 \text{ kNm}$$

$$V_{iw} = 2,716 \text{ kN}$$

$$M_{iw} = \frac{1}{2} \times M \\ = 126,28 \text{ kNm}$$

Beban Angin (EW)

Beban garis merata tambahan arah Horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang menup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan rumus

$$T_{iw} = 0,0012 \times C_w \times V_w^2$$

$$C_w = 1,2$$

$$V_w = 35 \text{ m/det}$$

$$T_{iw} = 1,764 \text{ kN/m}$$

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2 m di atas lantai jembatan

$$h = 2 \text{ m}$$

jarak antara roda kendaraan

$$x = 1,75 \text{ m}$$

beban akibat Transfer beban angin ke lantai jembatan

$$Q_{iw} = \left[\frac{1}{2} \times h / x \times T_{iw} \right]$$

$$= 1,01 \text{ kN/m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban angin:

$$V_{EW} = 1/2 \times Q_{EW} \times L$$

$$= 15.62 \text{ kN}$$

$$M_{EW} = 1/8 \times Q_{EW} \times L^2$$

$$= 121.09 \text{ kNm}$$

Beban Gempa (EQ)

Caya gempa vertikal balok dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0.10 \times g$ (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 90% koefisien gempa horisontal statik ekuivalen.

Koefisien beban gempa horisontal :

$$K_h = C \times S$$

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus :

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{W_1}{(g \times K_p)}}$$

$$g = 9.81 \text{ m/dt}^2$$

$$W_1 = Q_{MS} + Q_{MA}$$

$$= 4.84 + 34.85$$

$$= 39.69 \text{ kN/m}$$

$$L = 31 \text{ m}$$

$$HT = (Q_{MS} + Q_{MA}) \times L$$

$$= 1230.7 \text{ kN}$$

$$I_{xc} = 0.6206499 \text{ m}^4$$

$$E_c = 35669973 \text{ kPa}$$

$$K_p = 48 \times E_c \times I_{xc} / L^3$$

$$= 35670,20 \text{ kN/m}$$

$$F = 2 \times \pi \times [(141 / (g \times K_p))]^{0,5}$$

$$= 0,372 \text{ detik}$$

$$\text{Koefisien Geser Dasar (c)} = 0,125$$

Untuk Struktur Jembatan dengan daerah sendi Plastik Beton Prategang Penuh,

$$S = 1,3 \times F$$

Dengan,

$$F = 1,25 - 0,025 \times n \quad \text{dan } F \text{ harus diambil } > 1$$

Untuk $n=1$ maka,

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

$$= 1,225$$

$$S = 1,3 \times F$$

$$= 1,5925$$

$$K_h = C \times S$$

$$= 0,199$$

$$K_v = 50\% \times K_h$$

$$= 0,099 \rightarrow 0,1$$

Diambil. $K_v = 0,1$

$$T_{10} = K \times H^T$$

$$= 123,06 \text{ kN}$$

$$Q_{10} = T_{10} / L$$

$$= 3,97 \text{ kN/m}$$

Gaya Geser dan Momen Maksimum akibat Beban Gempa Vertikal :

$$V_{10} = \frac{1}{2} \times Q_{10} \times L$$

$$= 61,53 \text{ kN}$$

$$M_{10} = \frac{1}{8} \times Q_{10} \times L^2$$

$$= 476,89 \text{ kNm}$$

Resume Momen dan Gaya Geser Pada Balok

Tabel 4. 13 Resume Momen dan Gaya Geser Pada Balok

No	Jenis Beban	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat balok pralung	balok	1717425	-	-	Beban merata, Q_{balok}
2	Berat plat	plat	9	-	-	Beban merata, Q_{plat}
3	Berat sendiri	MS	34857475	-	-	Beban merata, Q_{MS}
4	Mati tambahan	MA	4842	-	-	Beban merata, Q_{MA}
5	Lajur "D"	TD	11119354	8624	-	Beban merata dan terpusat, Pro
6	Gaya rem	TB	-	-	25253797	Beban momen, M_{TB}
7	Angin	EW	1008	-	-	Beban merata, Q_{EW}
8	Gempa	EQ	39679475	-	-	Beban merata, Q_{EQ}

Momen maksimum akibat berat balok

$$M_{balok} = \frac{1}{8} \times Q_{balok} \times L^2$$

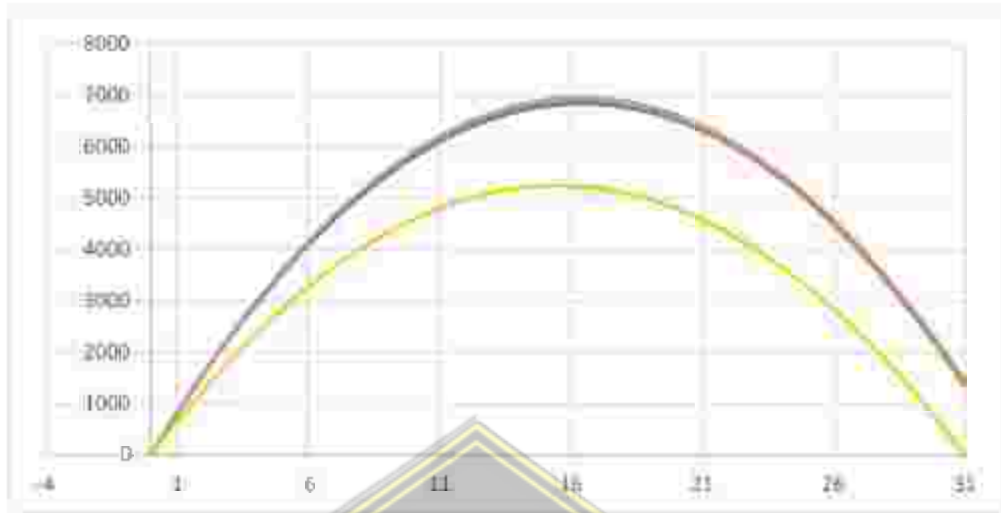
$$= 2063,05 \text{ kNm}$$

Momen maksimum akibat berat pelat

$$M_{pelat} = \frac{1}{8} \times Q_{pelat} \times L^2$$

$$= 1081,125 \text{ kNm}$$

Momen dan Geser Pada Balok Prategang



Gambar 4.14 Momen Pada Balok Prategang



Gambar 4.15 Geser Pada Balok Prategang

Tabel 4. 14. Momen Pada Balok Prategang

Jarak (m)	Momen pada balok prategang akibat beban										KOMB. I	KOMB. II	KOMB. III	KOMB. IV	
	Berat balok (kNm)	Berat sendiri (kNm)	Mati tamb (kNm)	Laju "D" (kNm)	Rem (kNm)	Angin (kNm)	Gempa (kNm)	MS +MA+TD+TR (kNm)	MS+MA+TD+EW (kNm)	MS+MA+TD+TR+EW (kNm)					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	257.61	522.86	72.63	208.41	3.68	15.12	59.55	807.58	819.02	822.70	822.70	822.70	822.70	822.70	655.04
2	498.05	1010.87	140.42	405.80	7.35	29.23	115.13	1564	1586	1594	1586	1586	1594	1594	1266
3	721.32	1464.01	203.36	592.17	11.03	42.34	166.74	2271	2302	2313	2302	2302	2313	2313	1834
4	927.41	1882.30	261.47	767.53	14.71	54.43	214.38	2926	2966	2980	2966	2966	2980	2980	2358
5	1116	2265.74	314.73	931.86	18.38	65.52	258.05	3531	3578	3596	3578	3578	3596	3596	2839
6	1288	2614.31	363.15	1085	22.06	75.60	297.75	4085	4138	4160	4138	4138	4160	4160	3275
7	1443	2928.03	406.73	1227	25.74	84.67	333.48	4588	4647	4673	4647	4647	4673	4673	3668
8	1580	3206.89	445.46	1359	29.42	92.74	365.24	5041	5104	5133	5104	5104	5133	5133	4018
9	1700	3450.89	479.36	1479	33.09	99.79	393.02	5442	5509	5542	5509	5509	5542	5542	4323
10	1803	3660.03	508.41	1588	36.77	105.84	416.84	5793	5863	5899	5863	5863	5899	5899	4585
11	1889	3834.32	532.62	1686	40.45	110.88	436.69	6094	6164	6205	6164	6164	6205	6205	4804
12	1958	3973.75	551.99	1774	44.12	114.91	452.57	6344	6414	6458	6414	6414	6458	6458	4978
13	2009	4078.32	566.51	1850	47.80	117.94	464.48	6591	6613	6660	6613	6613	6660	6660	5109
14	2044	4148.04	576.20	1915	51.48	119.95	472.42	6788	6759	6811	6759	6759	6811	6811	5197
15	2061	4182.90	581.04	1969	55.15	120.96	476.39	683	6854	6909	6854	6854	6909	6909	5240
16	2061	4182.90	581.04	2012	58.83	120.96	476.39	5	6897	6956	6897	6897	6956	6956	5240
17	2044	4148.04	576.20	2044	62.51	119.95	472.42	6831	6889	6951	6889	6889	6951	6951	5197
Jarak								KOMB I	KOMB II	KOMB III	KOMB II	KOMB I	KOMB III	KOMB II	KOMB IV

	Berat Balok	Berat Sendiri	Mati Tanab	Lajtur "D"	Rem	Angin	Gempa	MS +MA +TD+IR	MS+MA+TD+EW	MS+MA+TD+TR+EW	MS+MA+EQ
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
18	2009	4078.32	566.51	2065	66.18	117.94	464.48	6776	6828	6894	5109
19	1958	3973.75	551.99	2075	69.86	114.91	452.57	6671	6716	6786	4978
20	1889	3834.32	532.62	2075	73.54	110.88	436.69	6515	6552	6626	4804
21	1803	3660.03	508.41	2063	77.22	105.84	416.84	6308	6337	6414	4585
22	1700	3450.89	479.36	2040	80.89	99.79	393.02	6051	6070	6150	4323
23	1580	3206.89	445.46	2006	84.57	92.74	365.24	5742	5751	5835	4018
24	1443	2928.03	406.73	1961	88.25	84.67	333.48	5384	5380	5468	3668
25	1288	2614.31	363.15	1904	91.92	75.60	297.75	4974	4958	5049	3275
26	1116	2265.74	314.73	1837	95.60	65.52	258.05	4513	4483	4579	2839
27	927.41	1882.30	261.47	1759	99.28	54.43	214.38	4002	3957	4057	2358
28	721.32	1464.01	203.36	1670	102.95	42.34	166.74	3441	3380	3483	1834
29	498.05	1010.87	140.42	1570	106.63	29.23	115.13	2828	2751	2857	1266
30	257.61	522.86	72.63	1459	110.31	15.12	59.55	2165	2070	2180	655.04
31	0.00	0.00	0.00	1337	113.98	0.00	0.00	1451	1337	1451	0.00

Tabel 4.15 Geser Pada Balok Prategang

Jarak (m)	Momen pada balok prategang akibat beban										KOMB. I MS +MA+TD+TR	KOMB. II MS+MA+TD+EW	KOMB. III MS+MA+TD+TR+EW	KOMB. IV MS+MA+EQ
	Berat balok (kNm)	Berat sendiri (kNm)	Mati lambat (kNm)	Laju "D" (kNm)	Rem (kNm)	Angin (kNm)	Gempa (kNm)	MS (kNm)						
0	266.20	540.29	75.05	213.92	3.68	15.62	61.53	832.94	844.89	848.56	676.88			
1	249.03	505.43	70.21	202.90	3.68	14.62	57.56	782.22	793.16	796.84	633.21			
2	231.85	470.58	65.37	191.88	3.68	13.61	53.59	731.50	741.43	745.11	589.54			
3	214.68	435.72	60.53	180.86	3.68	12.60	49.62	680.78	689.71	693.38	545.87			
4	197.50	400.86	55.68	169.84	3.68	11.59	45.65	630.06	637.98	641.66	502.20			
5	180.33	366.00	50.84	158.82	3.68	10.58	41.68	579.34	586.23	589.93	458.53			
6	163.16	331.15	46.00	147.80	3.68	9.58	37.71	528.63	534.52	538.20	414.86			
7	145.98	296.29	41.16	136.78	3.68	8.57	33.74	477.91	482.80	486.47	371.19			
8	128.81	261.43	36.32	125.77	3.68	7.56	29.77	427.19	431.07	434.75	327.52			
9	111.63	226.57	31.47	114.75	3.68	6.55	25.80	376.47	379.34	383.02	283.85			
10	94.46	191.72	26.63	103.73	3.68	5.54	21.83	325.75	327.62	331.29	240.18			
11	77.28	156.86	21.79	92.71	3.68	4.54	17.86	275.03	275.89	279.57	196.51			
12	60.11	122.00	16.95	81.69	3.68	3.53	13.89	224.31	224.16	227.84	152.84			
13	42.94	87.14	12.11	70.67	3.68	2.52	9.92	173.59	172.44	176.11	109.17			
14	25.76	52.29	7.26	59.65	3.68	1.51	5.95	122.88	120.71	124.39	65.50			
15	8.59	17.43	2.42	48.63	3.68	0.50	1.98	72.16	68.98	72.66	21.83			
16	-8.59	-17.43	-2.42	37.61	3.68	-0.50	-1.98	21.44	17.26	20.93	-21.83			
17	-25.76	-52.29	-7.26	26.59	3.68	-1.51	-5.95	-29.28	-34.47	-30.79	-65.50			
Jarak	Momen pada balok prategang akibat beban										KOMB. I	KOMB. II	KOMB. III	KOMB. IV

	Berat balok (kNm)	Berat sendiri (kNm)	Mati tamb (kNm)	Lejtitir "D" (kNm)	Rem (kNm)	(m)	Berat balok (kNm)	Berat sendiri (kNm)	Mati tamb (kNm)	Lejtitir "D" (kNm)	Rem (kNm)
18	-42.94	-87.14	-12.11	15.57	3.68	-2.52	-9.92	-80.00	-86.20	-82.52	-109.17
19	-60.11	-122.00	-16.95	4.55	3.68	-3.53	-13.89	-130.72	-137.92	-134.25	-152.84
20	-77.28	-156.86	-21.79	-6.47	3.68	-4.54	-17.86	-581.44	-189.65	-185.97	-196.51
21	-94.46	-191.72	-26.63	-17.49	3.68	-5.54	-4.83	-232.16	-241.18	-237.70	-240.18
22	-111.63	-226.57	-31.47	-28.51	3.68	-6.55	-25.80	-582.88	-293.10	-289.43	-283.85
23	-128.81	-261.43	-36.32	-39.53	3.68	-7.56	-29.77	-333.59	-344.83	-341.15	-327.52
24	-145.98	-296.29	-41.16	-50.54	3.68	-8.57	-33.74	-384.31	-396.56	-392.88	-371.19
25	-163.16	-331.15	-46.00	-61.56	3.68	-9.58	-37.71	-435.03	-448.28	-444.61	-414.86
26	-180.33	-366.00	-50.84	-72.58	3.68	-10.58	-41.68	-485.75	-500.01	-496.33	-458.53
27	-197.50	-400.86	-55.68	-83.60	3.68	-11.59	-45.65	-536.47	-551.74	-548.06	-502.20
28	-214.68	-435.72	-60.53	-94.62	3.68	-12.60	-49.62	-587.19	-603.47	-599.79	-545.87
29	-231.85	-470.58	-65.37	-105.64	3.68	-13.61	-53.59	-637.91	-655.19	-651.52	-589.54
30	-249.03	-505.43	-70.21	-116.66	3.68	-14.62	-57.56	-688.63	-706.92	-703.24	-633.21
31	-266.20	-540.29	-75.05	-127.68	3.68	-15.62	-61.53	-739.34	-758.65	-754.97	-676.88

b. Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

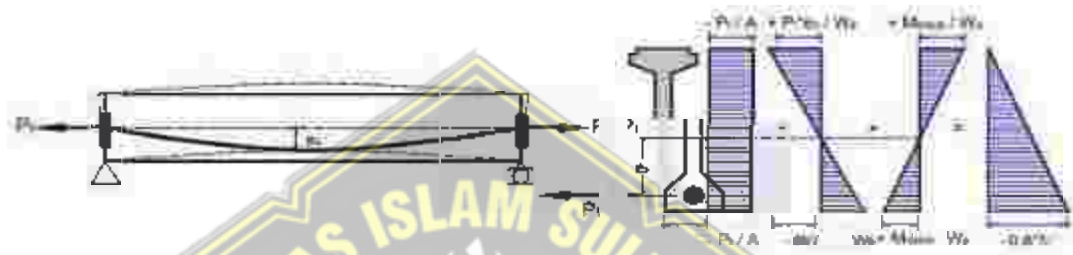
Kondisi Awal (Saat Transfer)

$$f_c' = 41,5 \text{ MPa}$$

$$W_a = 0,46 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,24 \text{ m}^3$$

$$A = 0,67 \text{ m}^2$$



Gambar 4.14 Pola Gaya Prategang Pada Kondisi Awal

$$z_o = 0,1375 \text{ m}$$

$$E_s = 0,977570527 \text{ m}$$

$$M_{\text{balok}} = 2063,05 \text{ kNm}$$

Besarnya gaya prategang awal:

$$P_1 = M_{\text{balok}} / (E_s - W_a / A)$$

$$= 7294,90 \text{ kN}$$

$$P_1 = (0,60 \times f_c' \times W_b + M_{\text{balok}}) / (W_b / A + E_s)$$

$$= 5180,66 \text{ kN}$$

Diambil besarnya gaya prategang, $P_1 = 5180,66 \text{ kN}$

Kondisi Akhir

Jenis <i>strand</i>	= <i>Uncoated 7 Wire Super Strands</i> ASTM A-416 <i>grade 270</i>
Tegangan Lelah <i>Strand</i> (f_{py})	= 1580000 kPa
Kuat Tarik <i>Strand</i> (f_{pu})	= 1860000 kPa
Diameter Nominal <i>Strand</i>	= 0,0127m
Luas Tampang Nominal Satu <i>Strand</i> (A_{si})	= 0,0001 m ²
Beban Putus Minimal Satu <i>Strand</i> (P_{bs})	= 187,32 kN
Jumlah Kawat Untaian (<i>Strands Cable</i>)	= 19
Diameter Selubung Ideal	= 84 mm
Luas Tampang <i>Strands</i>	= 0,00188 mm ²
Beban Putus Satu Tendon (P_{bt})	= 3559,1 kN
Modulus Elastisitas <i>Strand</i> (E_s)	= 1,93E+08 kPa
Tipe Dongkrak	= VSL 19

$$P_t = 5180,66 \text{ kN}$$

$$P_{bt} = 3559,1 \text{ kN}$$

$$P_{bs} = 187,32 \text{ kN}$$

Jumlah tendon yang diperlukan:

$$n = P_t / (0,85 \times 0,80 \times P_{bt})$$

$$= 2,14 \text{ tendon}$$

Diambil jumlah tendon, $n_t = 4$ tendon

Jumlah kawat untaiian yang diperlukan:

$$n_s = P_t / (0,85 \times 0,80 \times P_{bs})$$

$$= 40,67 \text{ Strands}$$

Diambil jumlah *Strands*, $n_s = 41 \text{ strands}$

Posisi baris tendon:

Tabel 4.16 Posisi Baris Tendon

$n_{s1} =$	3	Tendon	18	Strands / Tendon =	31
$n_{s2} =$	1	Tendon	10	Strands / Tendon =	10
$n_t =$	4	Tendon	Jumlah <i>Strands</i> :	$n_s =$	41

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

$$P_o = P_i / (0,85 \times n_s \times P_{ts})$$

$$= 50,83 < 80\% \text{ (OK)}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat *Jacking*:

$$P_i = P_o \times n_s \times P_{ts}$$

$$= 6094,90 \text{ kN}$$

Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan sebesar 30%:

$$P_{eff} = 70\% \times P_i$$

$$= 4266,43 \text{ kN}$$

i. Pembesian Balok Prategang

Tulangan arah memanjang digunakan diameter D 13 mm

$$A_s = \pi / 4 \times D^2$$

$$= 0,0001 \text{ m}^2$$

$$A_{layah} = 0,2875 \text{ m}^2$$

$$A_{starah} = 0,5\% \times A_{layah}$$

$$= 0,00144 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 10,836 \text{ buah}$$

$$\text{Digunakan} = 12 \text{ D } 13$$

$$A_{\text{atas}} = 0,2088 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{sayu}} = 0,5\% \times A_{\text{atas}}$$

$$= 0,00104 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 7,8694 \text{ buah}$$

$$\text{Digunakan} = 10 \text{ D } 13$$

$$A_{\text{badan}} = 0,33 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{badan}} = 0,5\% \times A_{\text{badan}}$$

$$= 0,00165 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan} = 12,437 \text{ buah}$$

$$\text{Digunakan} = 14 \text{ D } 13$$

j. Posisi Tendon Di Tengah Bentang

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

Tabel 4.17 Posisi Tendon Di Tengah Bentang

Jumlah Tendon Baris ke-1	ns1 =	3	Tendon	18	Strands =	31	Strands
Jumlah Tendon Baris ke-2	ns2 =	1	Tendon	10	Strands =	10	Strands
	nt =	4	Tendon	Jumlah Strands	ns =	41	Strands

$$\text{Eksentrisitas (Es)} = 0,9776 \text{ m}$$

$$x_0 = y_b - E_s$$

$$= 0,1375 \text{ m}$$

Momen statis tendon terhadap alas :

$$y_d = \sqrt{185 \times (200 - a) / n^2}$$

$$= 0,216 \text{ m}$$

Diambil $y_d = 0,15 \text{ m}$

$$d_i = 0,076 \text{ m}$$

Jarak Bersih Vertikal antara Selubung Tendon = $y_d - d_i$

$$= 0,074 \text{ m} \rightarrow 74 \text{ mm}$$

k. Posisi Tendon Di Tumpuan

Diambil jarak dari Alas Balok ke as Baris Tendon ke 4, $a' = 0,35 \text{ m}$

Tabel 4.18 Posisi Tendon Di Tumpuan

Jumlah Tendon baris ke-1	$n1 = 1$	Tendon	11	Strands	11	Strands
Jumlah Tendon baris ke-2	$n2 = 1$	Tendon	10	Strands	10	Strands
Jumlah Tendon baris ke-3	$n3 = 1$	Tendon	10	Strands	10	Strands
Jumlah Tendon baris ke-4	$n4 = 1$	Tendon	10	Strands	10	Strands
Jumlah Strands					41	Strands

$$y_b = 1,115 \text{ m}$$

Momen Statis Tendon terhadap pusat Tendon terbawah:

Tabel 4.19 Momen Statis Tendon Terhadap Pusat Tendon Terbawah

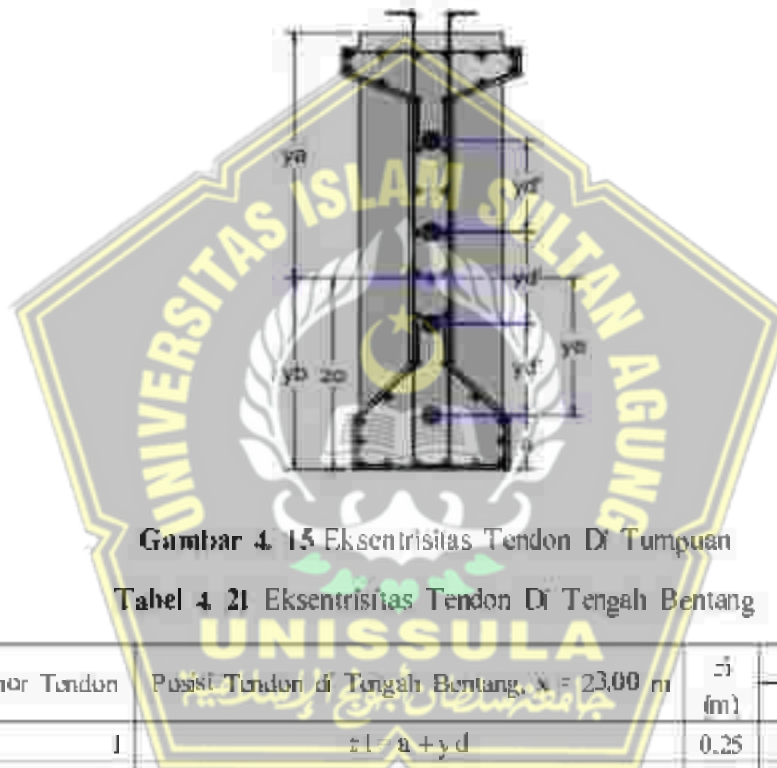
n_i	yd_i	$n_i^2 * yd_i^2$
10	0	0
18	1	18
18	2	36
18	3	54
$\Sigma n_i^2 yd_i^2 / n_s^2 =$		108

$\Sigma n_i^2 yd_i^2 / n_s^2 * y_e$	
$y_e / x^2 = \Sigma n_i^2 yd_i^2 / yd_i^2 / n_s =$	16875
$y_e = y_b - a' =$	0.76507053
$x^2 = y_e / [y_e / yd_i^2] =$	0.45337513
$z_0 = a' + y_e = y_b =$	1.11507053

l. Eksentrisitas Masing – Masing Tendon

Tabel 4. 20 Eksentrisitas Tendon Di Tumpuan

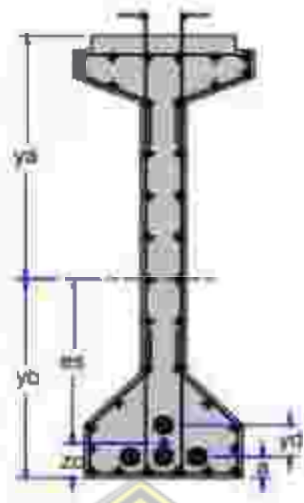
Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan $x = 0,00$ m	z^i (m)
1	$z^1 = a' + 3y'd'$	1.71012538
2	$z^2 = a' + 2y'd'$	1.25675025
3	$z^3 = a' + y'd'$	0.80337513
4	$z^4 = a'$	0,35



Gambar 4. 15 Eksentrisitas Tendon Di Tumpuan

Tabel 4. 21 Eksentrisitas Tendon Di Tengah Bentang

Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang, $x = 23,00$ m	e^i (m)	$f^i z^i - e^i$
			(m)
1	$z^1 = a + y'd$	0,25	1.460125382
2	$z^2 = a$	0,1	1.156750254
3	$z^3 = a$	0,1	0.703375127
4	$z^4 = a$	0,1	0,25



Gambar 4.16 Eksentrisitas Tendon Di Tengah Bentang

m. Lintasan Inti Tendon

$L = 31 \text{ m}$

$E_s = 0.97757053$

$Y = 4 \times f \times X / L^2 \times (L - X)$ dengan $f = E_s$



Gambar 4.17 Pola Lintasan Inti Tendon

Tabel 4.22 Lintasan Inti Tendon

X	Y	X	Y	X	Y
-0.25	-0.03	11	0.90	23	0.75
0	0	12	0.93	24	0.68
1	0.12	13	0.95	25	0.61
2	0.24	14	0.97	26	0.53
3	0.34	15	0.98	27	0.44
4	0.44	16	0.98	28	0.34

5	0.53	17	0.97	29	0.24
6	0.61	18	0.95	30	0.2
7	0.68	19	0.93	31	0
8	0.75	20	0.90	31.25	-0.03
9	0.81	21	0.85		
10	0.85	22	0.81		

$$\bar{x}_0 = 0.25$$

$$L/2 + x_0 = 15.75$$

$$e_0 = 0.0317888$$

$$F_s + e_0 = 1.0094$$

$$\alpha_{AB} = 2 \times (F_s + e_0) / (L/2 + x_0)$$

$$= 0.12817262$$

$$\alpha_{BC} = 2 \times (F_s + e_0) / (L/2 + x_0)$$

$$= 0.12817262$$

n Sudut Angkur

Persamaan lintasan Tendon :

$$Y = 4 \times f_i \times X / L^2 \times (L - X)$$

$$\frac{dY}{dX} = 4 \times f_i \times (L - 2 \times X) / L^2$$

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

$$\frac{dY}{dX} = \frac{4 \times f_i \times L}{L^2}$$

Persamaan sudut angkur :

$$\bar{\alpha} = \arctan\left(\frac{dY}{dX}\right)$$

Tabel 4. 23 Sudut Angkur

No Tendon	Jumlah Strands	Diameter selubung	Eksentrisitas	f _i	dY/dX	SUDUT ANGKUR			
				(m)					
1	10	84	f1 =	146	0.19	α1 = 0.19		rad = 10.67	
No Tendon	Jumlah Strands	Diameter selubung	Eksentrisitas	f _i	dY/dX	SUDUT ANGKUR			
				(m)					
2	18	84	f2 =	116	0.15	α2 = 0.15	rad = 8.49		
3	19	84	f3 =	070	0.09	α3 = 0.09	rad = 5.9		
4	19	84	f4 =	025	0.03	α4 = 0.03	rad = 1.85		

Tata letak dan Trace Kabel:

$$L = 31 \text{ m}$$

$$f_0 = E_s = 0,9775705 \text{ m}$$

$$y_0 = 1,150705 \text{ m}$$

$$f_1 = 1,4601 \text{ m}$$

$$f_2 = 1,1568 \text{ m}$$

$$f_3 = 0,7034 \text{ m}$$

$$f_4 = 0,25 \text{ m}$$

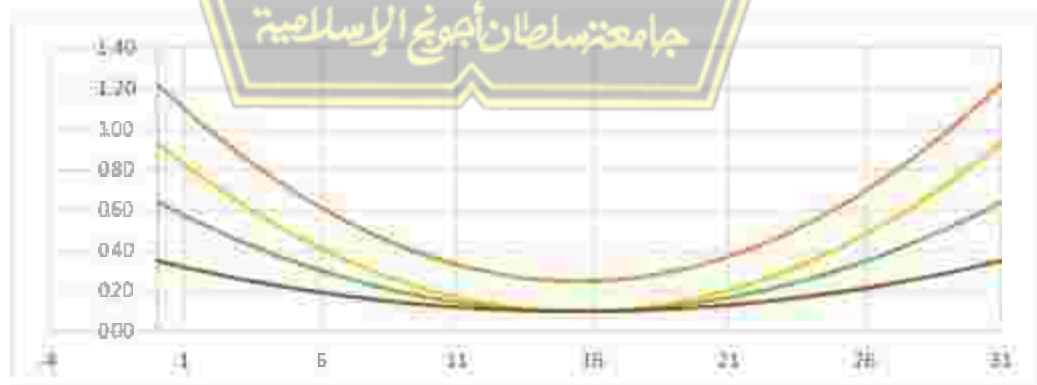
Posisi masing – masing kabel:

$$z_i = \frac{z_i' - 4x f_i / L}{L^2 x(L-x)}$$

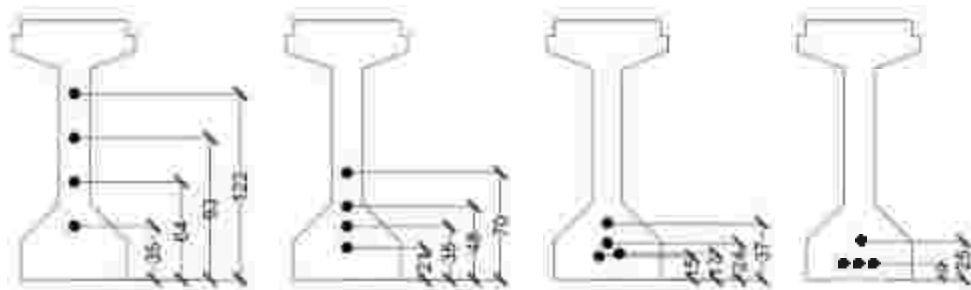
Tabel 4. 24 Posisi Masing – Masing Kabel

Jarak	Trace	Posisi masing-masing cable			
		z1	z2	z3	z4
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0	1.2	1.22	0.93	0.64	0.35
1	0.99	1.10	0.83	0.57	0.32
2	0.88	0.99	0.73	0.51	0.29
3	0.77	0.88	0.64	0.45	0.26
4	0.68	0.78	0.56	0.40	0.24
5	0.59	0.70	0.48	0.35	0.21
6	0.50	0.61	0.41	0.30	0.19

Jarak	Trace	Posisi masing-masing cable			
X	Z ₀	z ₁	X	Z ₀	z ₁
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
7	0,43	0,54	0,35	0,26	0,18
8	0,37	0,48	0,29	0,23	0,16
9	0,31	0,42	0,25	0,20	0,14
10	0,26	0,37	0,20	0,17	0,13
11	0,22	0,33	0,17	0,15	0,12
12	0,19	0,30	0,14	0,13	0,11
13	0,16	0,28	0,12	0,11	0,11
14	0,15	0,26	0,11	0,11	0,10
15	0,14	0,25	0,10	0,10	0,10
16	0,14	0,25	0,10	0,10	0,10
17	0,15	0,26	0,11	0,11	0,10
18	0,16	0,28	0,12	0,11	0,11
19	0,19	0,30	0,14	0,13	0,11
20	0,22	0,33	0,17	0,15	0,12
21	0,26	0,37	0,20	0,17	0,13
22	0,31	0,42	0,25	0,20	0,14
23	0,37	0,48	0,29	0,23	0,16
24	0,43	0,54	0,35	0,26	0,18
25	0,50	0,61	0,41	0,30	0,19
26	0,59	0,70	0,48	0,35	0,21
27	0,68	0,78	0,56	0,40	0,24
28	0,77	0,88	0,64	0,45	0,26
29	0,88	0,99	0,73	0,51	0,29
30	0,99	1,10	0,83	0,57	0,32
31	1,12	1,22	0,93	0,64	0,35



Gambar 4.20 Posisi Tendon



Gambar 4.21 Posisi Tendon

o. Kehilangan Tegangan Pada Kabel

Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur

Gaya Prategang akibat *jacking* (P_1) = 6094,9 kN

Kehilangan Gaya akibat Gesekan Angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya Prategang akibat *Jacking* :

$$P_0 = 97\% \times P_1$$

$$= 5912,05 \text{ kN}$$

Kehilangan Tegangan akibat Gesekan Kabel :

Sudut Lintasa Tendon dari ujung ke tengah,

$$\alpha_{AB} = 0,12817 \text{ rad}$$

$$\alpha_{BC} = 0,12817 \text{ rad}$$

Perubahan sudut total lintasan tendon :

$$\alpha = \alpha_{AB} + \alpha_{BC}$$

$$= 0,25634 \text{ rad}$$

Koefisien Gesek, (μ) = 0,2

Koefisien Wobble (β) = 0,012

Gaya Prategang akibat *Jacking* setelah memperhitungkan *Loss Of Prestress* akibat Gesekan Angkur.

$$P_0 = 5912,05 \text{ kN}$$

Loss of prestress akibat gesekan kabel :

$$P_x = P_0 \times e^{(\mu \times k \times L_x)}$$

$$e = 2,7183$$

$$\text{Untuk } L_x = 15,9 \text{ m}$$

$$P_x = P_0 \times e^{(\mu \times k \times L_x)}$$

$$= 9245,54 \text{ kN}$$

$$\text{Untuk } L_x = 31,8 \text{ m}$$

$$P_x = P_0 \times e^{(\mu \times k \times L_x)}$$

$$= 11189,13 \text{ kN}$$

p. Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis

$$e_s = 0,9775705 \text{ m}$$

$$k = 0,2737018 \text{ m}^{-1}$$

$$A = 0,6735 \text{ m}^2$$

$$E_{tulok} = 35669973 \text{ kPa}$$

$$E_s = 193000000$$

$$n_s = 64$$

$$A_{st} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$P_{ts} = 187,32 \text{ kN}$$

$$M_{hidok} = 2063,05 \text{ kNm}$$

$$A_1 = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$n = 5,410$$

$$K_e = 0,0318485 \text{ m}$$

Tegangan Baja Prategang sebelum *Loss Of Prestress* di tengah bentang :

$$\begin{aligned}\sigma &= 118 \times P_{bs} / A_c \\ &= 1873200 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan *Elastis* dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri :

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{pe}' &= \sigma \times n \times K_e / (1 + n \times K_e) \\ &= 275347,23 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Tegangan Beton pada level bajanya oleh pengaruh Gaya Prategang P_1 :

$$\begin{aligned}\sigma_{bt} &= \frac{\Delta\sigma_{pe}'}{n} = \frac{M_{balok} \times \sigma}{P} \\ &= 43520,72 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Kehilangan Tegangan pada baja oleh Regangan *Elastis* tanpa pengaruh berat sendiri

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{pe} &= \frac{1}{2} \times n \times \sigma_{bt} \\ &= 117739,08 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Loss Of Prestress akibat pemendekan Elstatis:

$$\begin{aligned}\Delta P_e &= \Delta\sigma_{pe} \times A_s \\ &= 753,53 \text{ kPa}\end{aligned}$$

q. Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran

$$\Delta l_s = 0,002 \text{ mm}$$

$$E_s = 193000000 \text{ kPa}$$

$$A = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$P_0 = 5912,05 \text{ kN}$$

$$P_x = 986 \text{ kN}$$

$$L_x = 15,9 \text{ m}$$

Kemiringan diagram gaya :

$$\begin{aligned} m = \tan \alpha &= (P_0 - P_x) / L_x \\ &= -220,3 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Jarak pengaruh Kritis Slip Angkur dari ujung :

$$\begin{aligned} L_{\text{max}} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta L \times E_s \times A_f}{m} \right)} \\ &= 0,225 \text{ m} \end{aligned}$$

Loss Of Prestress akibat angkur:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 2 \times L_{\text{max}} \times \tan \alpha \\ &= 99,40 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P^*_{\text{max}} &= P_0 - \Delta P / 2 \\ &= 5862,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{max}} &= P^*_{\text{max}} - \Delta p_{\text{relaxasi}} \\ &= 5108,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. **Kehilangan Tegangan Akibat *Relaxation Of Tendon***

Pengaruh Susut

$$\Delta \epsilon_{su} = \epsilon_b \times \lambda_b \times \lambda_e \times \lambda_p$$

$$\epsilon_b = 0,0006$$

$$\lambda_b = 0,905$$

$$k_e = 0,734$$

$$k_p = 0,999$$

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon_{su} &= 0,0006 \times 0,905 \times 0,734 \times 0,999 \\ &= 0,00039\end{aligned}$$

$$E_s = 193000000 \text{ kPa}$$

Tegangan susut:

$$\begin{aligned}\sigma_{sh} &= \Delta \varepsilon_{su} \times E_s \\ &= 76845,62 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Pengaruh Rayapan

Piniial (keadaan saat transfer) di tengah bentang :

$$\begin{aligned}P_i &= P_x - \Delta P_e \\ &= 8662,22\end{aligned}$$

$$P_i / (m_s \times P_{ik}) = 72,25\% \text{ IJTS}$$

$$M_{\text{balok}} = 2063,1 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,467 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,245 \text{ m}^3$$

$$E_{\text{balok}} = 35669973 \text{ kPa}$$

$$e_s = 0,977 \text{ m}$$

$$A = 0,673 \text{ m}^3$$

Tegangan beton di serat atas:

$$\begin{aligned}f_a &= -P_i / A + P_i e_s / W_a - M_{\text{balok}} / W_a \\ &= 4408,53 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Tegangan beton di serat bawah:

$$\begin{aligned} \bar{f}_b &= -P_i / A - P_i \times e_s / I_b + M_{\text{balok}} / I_b \\ &= 8401,01 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Regangan akibat Rayapan :

$$\epsilon_{cr} = (f_c / E_{\text{balok}}) \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_m$$

$$k_c = 3$$

$$k_d = 0,938$$

$$k_m = 0,2$$

$$f_c = f_c = 8401,01 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{cr} &= (f_c / E_{\text{balok}}) \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_m \\ &= 8,804 \end{aligned}$$

Tegangan akibat rayapan :

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \epsilon_{cr} \times E_s \\ &= 16993,58 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_c &= \sigma_r + \sigma_h \\ &= 93839,20 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{pi} &= P_i / A_c \\ &= 1353473,42 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$X = 1,7$$

$$c = 2,50\%$$

$$\begin{aligned} \sigma &= X \times c (\sigma_{pi} - \Delta \sigma_c) \\ &= 53534,45 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Loss Of Pre stress jangka panjang} &= \Delta \sigma_c + \sigma \\ &= 147373,65 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\Delta P = (\Delta \sigma_{sc} + \sigma) \times A_t$$

$$= 943,19 \text{ kN}$$

$$P_{eff} = P_i - \Delta P$$

$$= 7719,03 \text{ kN}$$

$$\text{Ke-hilangan Gaya Prategang Total} = (1 - P_{eff} / P_i) \times 100\%$$

$$= 1,26$$

Control tegangan pada Tendon baja pasca tarik segera setelah Penyaluran Gaya Prategang:

$$\text{Tegangan Ijin Tendon Baja Pasca Tarik} = 0,70 \times f_{pu}$$

$$= 1502000 \text{ kPa}$$

Tegangan yang terjadi pada Tendon Baja Pasca Tarik:

$$f_p = P_{eff} / A_t$$

$$= 1206099,76 \text{ kPa}$$

s. Tegangan Yang Terjadi Pada Penampang Batok

Keadaan Awal (Saat Transfer)

$$f_c' = 41500 \text{ kPa}$$

$$f_t' = 33200 \text{ kPa}$$

$$\text{tegangan ijin tekan beton} = -0,6 \times f_c'$$

$$= -19920 \text{ kPa}$$

$$P_i = 5180,66 \text{ kN}$$

$$M_{bulok} = 2063,05 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,467 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,245 \text{ m}^3$$

$$A = 0,673 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,9775 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat atas (fca)} &= -P_t / A + P_t \times e_s / W_a - M_{\text{balok}} / W_a \\ &= -1277,82 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat bawah (fcb)} &= -P_t / A + P_t \times e_s / W_b - M_{\text{balok}} / W_b \\ &= -19920 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Keadaan Setelah Loss of Prestress

$$f_c' = 41500 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \text{tegangan ijin tekan beton} &= -0,45 \times f_c' \\ &= -18675 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$P_{\text{eff}} = 7719,03 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 2063,05 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,467 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,245 \text{ m}^3$$

$$A = 0,673 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,9775 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat atas (fa)} &= -P_{\text{eff}} / A + P_{\text{eff}} \times e_s / W_a - M_{\text{balok}} / W_a \\ &= -256,33 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat bawah (fb)} &= -P_{\text{eff}} / A + P_{\text{eff}} \times e_s / W_b - M_{\text{balok}} / W_b \\ &= -33798,39 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Keadaan Setelah Pelekat Lantai Selesai Didor

$$f_c' = 41500 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \text{tegangan tjin tekan beton} &= -0.45 \times f_c' \\ &= -18675 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$P_{\text{eff}} = 7719,03 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 2063,05 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pelat}} = 1081,1 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{balok+pelat}} = 3144,18 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,467 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,245 \text{ m}^3$$

$$A = 0,673 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,9775 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat atas (} f_a \text{)} &= -P_{\text{eff}} / A + P_{\text{eff}} \times e_s / W_a - M_{\text{balok+pelat}} / W_a \\ &= -2054,13 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan di serat bawah (} f_b \text{)} &= -P_{\text{eff}} / A + P_{\text{eff}} \times e_s / W_b - M_{\text{balok}} / W_b \\ &= -2939385 \text{ kPa} \end{aligned}$$

c. Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Komposit

Tegangan Akibat Berat Sendiri (MS)

$$M_{MS} = 4187,3 \text{ kNm}$$

$$A_c = 0,9083 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas pelat (} f_{ac} \text{)} = -M_{MS} / W_{ac}$$

$$= -3926,41 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat atas balok } (f'_{ac}) &= -M_{MS} / W'_{ac} \\ &= -2577,10 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f'_{bc}) &= -M_{MS} / W_{bc} \\ &= 8892,05 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

$$M_{MA} = 581,64 \text{ kNm}$$

$$A_c = 0,9083 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat atas pelat } (f'_{ac}) &= -M_{MA} / W_{ac} \\ &= -545,41 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat atas balok } (f'_{ac}) &= -M_{MA} / W'_{ac} \\ &= -357,98 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f'_{bc}) &= -M_{MA} / W_{bc} \\ &= 1235,18 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan Akibat Susut dan Rangkak (SR)

➤ Tegangan Akibat Susut Beton

Gaya internal yang timbul akibat susut dinyatakan dengan:

$$P_s = A_{\text{pelat}} \times E'_{\text{pelat}} \times \Delta \epsilon_{\text{suut}} \times \left((1 - e - cf) / cf \right)$$

$$A_{\text{pelat}} = 0,184 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{pelat}} = 23452952,91 \text{ kPa}$$

$$e = 2,71 \quad k_e = 0,734$$

$$n = 0,65 \quad k_{tn} = 0,2$$

$$k_b = 0,905 \quad A_c = 0,908 \text{ m}^2$$

$$k_c = 3 \quad W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$k_d = 0,938 \quad W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3 \quad e^* = 0,481 \text{ m}$$

$$\Delta e_{su} = e_b \times k_b \times k_e \times k_p \\ = 0,00039$$

$$c_f = k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times (1 - k_{tn}) \\ = 1,495$$

$$P_s = A_{\text{pelat}} \times E_{\text{pelat}} \times \Delta e_{su} \times n \times [(1 - e - c_f) / c_f] \\ = 586,43 \text{ kN}$$

Tegangan akibat susut yang terjadi:

$$\text{Tegangan beton di serat atas pelat } (f_{ca}) = P_s / A_c - P_s \times e^* / W_{ac} \\ = 380,59 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas balok } (f_{ca}) = P_s / A_c - P_s \times e^* / W_{ac} \\ = 471,68 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f_{cb}) = P_s / A_c - P_s \times e^* / W_{bc} \\ = 1245,89 \text{ kPa}$$

➤ Tegangan Akibat Rangkak Beton (*Creep*)

Residual *Creep* dinyatakan dengan persamaan :

$$\sigma_{cr} = (1 - e^{-ct}) \times (\sigma_2 - \sigma_1)$$

$$e = 2,718$$

$$A_c = 0,908 \text{ m}^2$$

$$P_i = 8662,2 \text{ kN}$$

$$W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$P_{eff} = 7719 \text{ kN}$$

$$W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$e's = 1,180 \text{ m}$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$M_{b+p} = 3144,2 \text{ kNm}$$

Tegangan pada balok sebelum *Loss Of Prestress* :

Tegangan beton di serat atas pelat :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -P_i / A_c + P_i \times e's / W_{ac} - M_{b+p} / W_{ac} \\ &= -2896,20 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan beton di serat atas balok :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -P_i / A_c + P_i \times e's / W'_{ac} - M_{b+p} / W'_{ac} \\ &= -5178,22 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan beton di serat bawah balok :

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -P_i / A_c - P_i \times e's / W_{bc} - M_{b+p} / W_{bc} \\ &= -21254,88 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan pada balok setelah *Loss Of Prestress*:

Tegangan beton di serat atas pelat:

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -P_{eff} / A_c + P_{eff} \times e's / W_{ac} - M_{b+p} / W_{ac} \\ &= -2901,87 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan beton di serat atas balok :

$$f_{ac} = -P_{eff} / A_c + P_{eff} \times e's / W'_{ac} - M_{b+p} / W'_{ac}$$

$$= -4825,10 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah balok:

$$f_{bc} = -P_{eff} / A_c + P_{eff} \times e's / W_{be} - M_{top} / W_{be}$$

$$= -21172,50 \text{ kPa}$$

Tabel 4. 25 Tegangan Akibat Rangkak

	σ_2 (kPa)	σ_1 (kPa)	$\sigma_2 - \sigma_1$ (kPa)	$(1 - e^{-\sigma})$	σ_{cr} (kPa)
Tegangan beton di serat atas plat :	-290188	-2896,20	-5,67	0,78	-4,40
Tegangan beton di serat atas balok :	-4825,10	-517822	353,13	0,78	273,97
Tegangan beton di serat bawah balok:	-21172,5	-2125488	-8238	0,78	-63,92

➤ Superposisi Tegangan Susut dan Rangkak

Tabel 4. 26 Superposisi Tegangan Susut dan Rangkak

Tegangan pada beton akibat	Susut	Rangkak	Susut dan Rangkak
Tegangan beton di serat atas plat	380,60 kPa	-4,40 kPa	376,19 kPa
Tegangan beton di serat bawah plat	471,68 kPa	273,97 kPa	745,65 kPa
Tegangan beton di serat bawah balok	1245,89 kPa	-63,92 kPa	1181,98 kPa

Tegangan Akibat Prategang (PR)

$$P_{eff} = 7719 \text{ kN}$$

$$e's = 1,180$$

$$A_c = 0,908 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{be} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas pelat (}/ac) = -P_{eff} / A_c + P_{eff} \times e's / W_{ac}$$

$$= -46.440 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat atas balok } (f'_{ac}) &= -P_{\text{eff}} / A_c + P_{\text{eff}} \times e' / W'_{ac} \\ &= -2889,97 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f'_{bc}) &= -P_{\text{eff}} / A_c + P_{\text{eff}} \times e' / W'_{bc} \\ &= -27849,48 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

$$M_{1D} = 1992,1 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat atas pelat } (f'_{ac}) &= -M_{1D} / W_{ac} \\ &= -1867,96 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat atas balok } (f'_{ac}) &= -M_{1D} / W'_{ac} \\ &= -1226,03 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f'_{bc}) &= -M_{1D} / W_{bc} \\ &= -4230,34 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan Akibat Gaya Rem (TB)

$$M_{1B} = 126,28 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas pelat } (f'_{ac}) = -M_{1B} / W_{ac}$$

$$= -118,41 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas balok } (f'_{ac}) = -M_{1B} / W'_{ac}$$

$$= -77,71 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f_b) = -M_{1B} / W_{bc}$$

$$= 268,16 \text{ kPa}$$

Tegangan Akibat Beban Angin (E_w)

$$M_{Ew} = 121,09 \text{ kNm}$$

$$W'_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas pelat } (f'_{ac}) = -M_{Ew} / W'_{ac}$$

$$= -113,54 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas balok } (f'_{ac}) = -M_{Ew} / W'_{ac}$$

$$= -74,52 \text{ kPa}$$

$$\text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f_b) = -M_{Ew} / W_{bc}$$

$$= 257,13 \text{ kPa}$$

Tegangan Akibat Beban Gempa (E_g)

$$M_{Eg} = 1476,89 \text{ kNm}$$

$$W'_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$\text{Tegangan beton di serat atas pelat } (f'_{ac}) = -M_{Eg} / W'_{ac}$$

$$= -447,18 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat atas balok } (f_{ac}) &= -M_{EQ} / W_{ac} \\ &= -293,50 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan beton di serat bawah balok } (f_b) &= -M_{EQ} / W_{bc} \\ &= 1012,72 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya internal akibat perbedaan temperatur :

$$P_i = A_c \times E_{\text{balok}} \times \beta \times (T_a + T_b) / 2$$

$$\Delta T = 15^\circ \text{C}$$

$$E_{\text{balok}} = 23452952,9 \text{ kPa}$$

$$\beta = 0,000011$$

$$W_{ac} = 1,624 \text{ m}^3$$

$$A_c = 0,908 \text{ m}^2$$

$$W_{bc} = 0,470 \text{ m}^3$$

$$y_{ac} = 0,581 \text{ m}$$

$$B_{eff} = 0,920 \text{ m}$$

$$y_{bc} = 1,318 \text{ m}$$

$$h = 1,7 \text{ m}$$

$$W_{ac} = 1,066 \text{ m}^3$$

$$I_{t4} = 0,625 \text{ m}^4$$

Tabel 4.27 Momen Akibat Pengaruh Temperatur

No	Lebar	Tebal	Luas	Temperatur		$(T_a + T_b) / 2$	Gaya	λ	Momen	
	b	h		Atas	Bawah		P_t		M_{pt}	
	(m)	(m)	(m ²)	T_a (°C)	T_b (°C)	(°C)	(kg)	(m)	(kg-m)	
0	1,18	0,2	0,23	15	10	12,5	761,04	0,48	366,81	
1	0,64	0,07	0,04	10	9,3	9,65	111,53	0,34	38,69	
2	0,8	0,13	0,104	9,3	8	8,65	232,08	0,24	57,32	
No	Lebar	Tebal	Luas	Temperatur		$(T_a - T_b) / 2$	Gaya	λ	Momen	
	b	h		Atas	Bawah		P_t		M_{pt}	
	(m)	(m)	(m ²)	T_a (°C)	T_b (°C)	(°C)	(kg)	(m)	(kg-m)	
3	0,3	0,12	0,036	8	6,8	7,4	68,72	0,14	9,75	
4	0,2	0,625	0,125	8	0	4	128,99	-0,25	-32,31	
$\Sigma P_t =$							130237		$\Sigma M_{pt} =$	44028

$$e_p = \Sigma M_{pt} / \Sigma P_t$$

$$= 0,338 \text{ m}$$

Tegangan yang terjadi akibat perbedaan temperatur :

Tabel 4 28 Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur

$f_{ca} = -E_{balok} * \beta * \Delta T + \Sigma P_t / A_c + \Sigma P_t * e_p / W_{ac} =$	-20230198
$f'_{ca} = -E_{balok} * \beta * \Delta T + \Sigma P_t / A_c + \Sigma R * e_p / W'_{ac} =$	-21648971
$f_{cb} = \Sigma P_t / A_c - \Sigma P_t * e_p / W_{bc} =$	498.882584

u. Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi Pembebanan

Mutu beton = K-500

$f'_c = 41500 \text{ kPa}$

tegangan ijin tekan beton (f_c) = -18675 kPa

tegangan ijin tarik beton (f_t) = 1085

Tabel 4 29 Kombinasi Pembebanan Kontrol Tegangan

Aksi/ Beban	Simbol	Kombinasi Pembebanan				
		1	2	3	4	5
A. Aksi Tetap						
Berat sendiri	MS	√	√	√	√	√
Beban Mati Tambahan	MA	√	√	√	√	√
Susut dan Rangkak	SR	√	√	√	√	√
Prategang	PR	√	√	√	√	√
B. Aksi Transien						
Beban Jalur "D"	TD	√	√	√	√	
Gaya Rem	TR	√	√	√	√	
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	ET		√		√	
Beban Angin	EW			√	√	
Beban Gempa	EQ					√

Kombinasi I

Tabel 4.30 Kombinasi I Kontrol Tegangan

Teg.	Berat sen	Mati tamb	Susun-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	TEGANGAN
fac	-392641	-54541	37619	46,44	-1867967	-5344				-5970,60
fac	-2577,1	-35798	74565	-288997	-1226,04	-3508				-634052
fbc	889206	123518	1182	-27849,49	4230,34	121,03				-12188,90

Kombinasi II

Tabel 4.31 Kombinasi II Kontrol Tegangan

Teg.	Berat sen	Mati tamb	Susun-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	temperatur	Angin	Gempa	TEGANGAN
fac	-392641	-54541	37619	46,44	-186796	-5344	-202301			-799362
fac	-25771	-35798	74565	-288997	-122604	-3507	-216489			-850541
fbc	8892,058	123518	1182	-27849,49	4230,34	12102	49888			-11690,01

Kombinasi III

Tabel 4.32 Kombinasi III Kontrol Tegangan

Teg.	Berat sen	Mati tamb	Susun-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	temperatur	Angin	Gempa	TEGANGAN
fac	-392641	-54541	37619	46,44	-1867,967	-53,44		-113,54		-6084,14
fac	-2577,1	-357,98	74565	-2889,97	-1226,04	-3508		-74,52		-6415,05
fbc	889206	123518	1182	-27849,49	4230,34	121,03		257,14		-11931,76

Kombinasi IV

Tabel 4.33 Kombinasi IV Kontrol Tegangan

Teg.	Berat sen	Mati tamb	Susun-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	TEGANGAN
fac	-392641	-545,41	37619	46,44	-1867,967	-53,44	-2023,02	-113,54		-8107,16
fac	-2577,1	-357,98	74565	-2889,97	-1226,04	-3508	-2164,90	-74,52		-8579,94
fbc	889206	1235,18	1182	-27849,49	4230,34	121,03	498,88	257,14		-11432,88

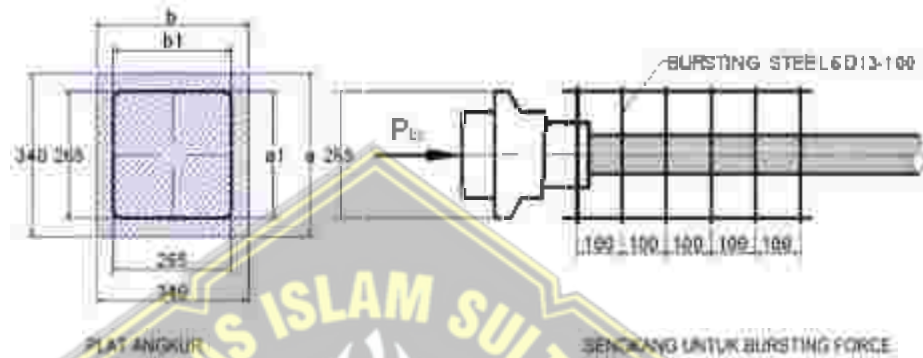
Kombinasi V

Tabel 4.34 Kombinasi V Kontrol Tegangan

Teg.	Berat sen	Mati tamb	Susun-rang	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa	TEGANGAN
fac	-3926,41	-545,41	376,19	46,44					-447,18	-4496,38

fac	-2771	-357,98	7456,5	-2889,97		-293,51	-5572,91
fbc	889206	123518	1182	-3784949		1012,72	-15527,55

v. Perhitungan Sengkang Untuk Bursting Force



Gambar 4.18 Bursting Force

Bursting Force dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$r_a = a / a$$

$$r_b = b / b$$

$$P_{bta} = 0.30 \times (1 - r_a) \times \pi$$

$$P_{btb} = 0.30 \times (1 - r_b) \times \pi$$

$$A_{ra} = P_{bta} / (0.85 \times f_s)$$

$$A_{rb} = P_{btb} / (0.85 \times f_s)$$

f_s = tegangan ijin tarik baja sengkang

Untuk Mutu Baja Sengkang U-32

Tegangan Leleh Baja Sengkang $f_y = 320000$ kPa

Tegangan Ijin Baja Sengkang $f_s = 0.578 \times f_y = 184960$ kPa

Digunakan Sengkang tertutup Diameter = 2 D 13 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang sengkang} &= A_s = 2 \times \pi \times r \times D \\ &= 265,33 \\ &= 0,00026433 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jumlah sengkang Arah Vertikal yang diperlukan = $n = A_{ra} / A_s$

Jumlah sengkang arah horizontal yang diperlukan = $n = A_{rb} / A_s$

Perhitungan Sengkang dapat di lihat dari Tabel 4.35 dan Tabel 4.36

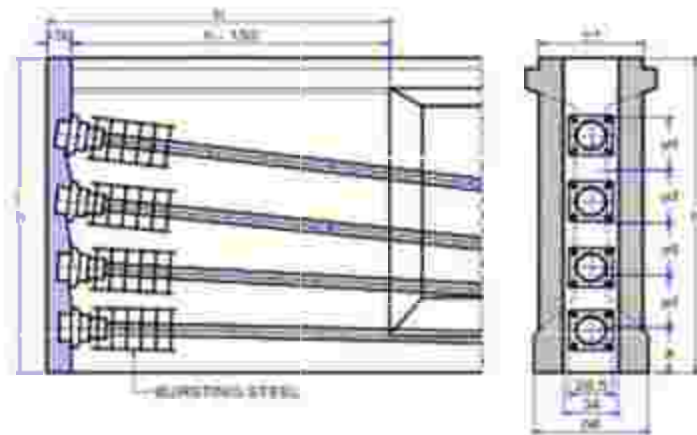
Tabel 4.35 Perhitungan Sengkang Arah Vertikal

NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Pj (kN)	al	a	ra	Pbta (kN)	Ara (m ²)	Jumlah Sengkang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	2449.63	250	340	0.735294118	213.98	0,001361	5.13
2	19	265	19	250	2593.726	250	340	0.735294118	226.57	0,001441	5.43
3	19	265	19	250	2737.822	250	340	0.735294118	239.16	0,001521	5.73
4	19	265	19	250	2737.822	250	340	0.735294118	239.16	0,001521	5.73

Tabel 4.36 Perhitungan Sengkang Arah Horizontal

NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Pj (kN)	al	a	ra	Pbta (kN)	Ara (m ²)	Jumlah Sengkang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	2449.63	250	340	0.735	213.98	0,001361	5.13
2	19	265	19	250	2593.726	250	340	0.735	226.57	0,001441	5.43
3	19	265	19	250	2737.822	250	340	0.735	239.16	0,001521	5.73
4	19	265	19	250	2737.822	250	340	0.735	239.16	0,001521	5.73

➤ Jumlah Sengkang yang digunakan untuk Bursting Force



Gambar 4.19 Bursting Force

Tabel 4.36 Senggang Bursting force

NO CABLE	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Jumlah senggang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P(Ton)	Dim(mm)	
1	19	265	19	250	6
2	19	265	19	250	6
3	19	265	19	250	6
4	19	265	19	250	6

w. **Lendutan Balok**

Lendutan Pada Balok Prategang (Sebelum Komposit)

$$E_{\text{balok}} = 3.57E+07$$

$$k = 0.27 \text{ m}^4$$

$$L = 31 \text{ m}$$

Lendutan Pada Keadaan Awal Transfer

$$P_{11} = 5180.67 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 2063.06 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0.98 \text{ m}$$

$$QP_{11} = 8 \times P_{11} \times e_s / L^2$$

$$= 42,16 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok}} = 8 \times M_{\text{balok}} / L^2$$

$$= 17,17 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 \times (-Q_{\text{eff}} + Q_{\text{balok}}) L^4 / (E_{\text{balok}} \times I_x)$$

$$= -0,03 \text{ m}$$

Lendutan Setelah Loss Of Prestress

$$P_{\text{eff}} = 7719,04 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 2063,06 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,98 \text{ m}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \times P_{\text{eff}} \times e_s / L^2$$

$$= 62,82 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok}} = 8 \times M_{\text{balok}} / L^2$$

$$= 17,17 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 \times (-Q_{\text{Peff}} + Q_{\text{balok}}) L^4 / (E_{\text{balok}} \times I_x)$$

$$= -0,06 \text{ m}$$

Lendutan Setelah Pelat Selesai Dicor

$$P_{\text{eff}} = 7719,04 \text{ kN}$$

$$M_{\text{b+p}} = 3144,18 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,98 \text{ m}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \times P_{\text{eff}} \times e_s / L^2$$

$$= 62,82 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok}} = 8 \times M_{\text{balok}} / L^2$$

$$= 26,17 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 \times (-Q_{\text{eff}} + Q_{\text{balok}}) L^4 / (E_{\text{balok}} \times I_x)$$

$$= -0,05 \text{ m}$$

Lendutan Setelah Pelat Menjadi Komposit

$$P_{\text{eff}} = 7719,04 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 2063,06 \text{ kNm}$$

$$e's = 1,18 \text{ m}$$

$$I_{xc} = 0,62 \text{ m}^4$$

$$Q_{\text{eff}} = 8 \times P_{\text{eff}} \times e's / L^2$$

$$= 75,86 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok}} = 8 \times M_{\text{balok}} / L^2$$

$$= 26,17 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5/384 \times (-Q_{\text{eff}} + Q_{\text{balok}}) L^4 / (E_{\text{balok}} \times I_{xc})$$

$$= -0,05 \text{ m}$$

Lendutan Pada Balok Komposit

$$E_{\text{balok}} = 3,57 \times 10^7 \text{ kPa}$$

$$I_{xc} = 0,62 \text{ m}^4$$

$$L = 31 \text{ m}$$

$$P_{\text{eff}} = 7719,04 \text{ kN}$$

$$e's = 1,18 \text{ m}$$

$$A_c = 0,91 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 1,07 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,47 \text{ m}^3$$

Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

$$Q_{MS} = 34,86 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 5/384 \times Q_{MS} \times L^4 / (E_{batok} \times I_{xc}) \\ &= 0,02 \text{ m} \end{aligned}$$

Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

$$Q_{MA} = 4,34 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 5/384 \times Q_{MA} \times L^4 / (E_{batok} \times I_{xc}) \\ &= 0,003 \text{ m} \end{aligned}$$

Lendutan Akibat Prategang (PR)

$$P_{pr} = 7719,04 \text{ kN/m}$$

$$e_s = 0,98 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Q_{Pr} &= 8 \times P_{pr} \times e_s / L^2 \\ &= 62,82 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 5/384 \times Q_{Pr} \times L^4 / (E_{batok} \times I_{xc}) \\ &= -0,03 \text{ m} \end{aligned}$$

Lendutan Akibat Susut Rangkak (SR)

➤ Lendutan Akibat Susut

$$P_s = 586,44 \text{ kN}$$

$$e^* = 0,48 \text{ m}$$

$$Q_{P_s} = 8 \times P_s \times e^* / L^2$$

$$= 2,35 \text{ kN/m}$$

➤ lendutan Akibat Rangkak

Lendutan pada balok setelah pelat dicor (δ_1) = -0,05 m

Lendutan pada balok setelah pelat dan balok menjadi komposit (δ_2) = -0,03 m

Lendutan akibat rangkak (δ) = $\delta_1 - \delta_2$

$$= 0,02 \text{ m}$$

Lendutan akibat susut dan rangkak, $\delta = 0,001 \text{ m}$

Lendutan Akibat Beban Lajur "D"

$$Q_{1D} = 11,02 \text{ kN/m}$$

$$P_D = 86,24 \text{ kN}$$

$$\delta = 1/48 \times P_D \times L^3 / (E_{\text{balok}} \times I_{xc}) + 5/384 \times Q_{1D} \times L^4 / (E_{\text{balok}} \times I_{xc})$$

$$= 0,008 \text{ m}$$

Lendutan Akibat Beban Rem (B)

$$Q_{1B} = 56,99 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 0,0642 \times Q_{1B} \times L^2 / (E_{\text{balok}} \times I_{xc})$$

$$= 0,0002 \text{ m}$$

Lendutan Akibat Temperatur (ET)

$$\Sigma P_i = 1302,38 \text{ kN}$$

$$e_p = 0,34 \text{ cm}$$

$$\delta = 0,0642 \times \sum P_i \times e_p \times L^2 / (E_{balok} \times I_{xc})$$

$$= 0,001 \text{ m}$$

Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

$$Q_{EW} = 1,008 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5 / 384 \times Q_{EW} \times L^4 / (E_{balok} \times I_{xc})$$

$$= 0,001 \text{ m}$$

Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)

$$Q_{EQ} = 3,98 \text{ kN/m}$$

$$\delta = 5 / 384 \times Q_{EQ} \times L^4 / (E_{balok} \times I_{xc})$$

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

x. Kontrol Lendutan Balok Terhadap Kombinasi Beban

Lendutan maksimum yang diijinkan, $\delta = L / 300 = 0,10 \text{ m}$

Kombinasi I

Tabel 4.37 Kombinasi I Kontrol Lendutan

Berat MS	Mati-tamh MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan Kombinasi
0.0189	0.0026	0.0013	-0.0341	0.0084	0.0002				-0.0027

Kombinasi II

Tabel 4.38 Kombinasi II Kontrol Lendutan

Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Tempratur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan Kombinasi
0,0189	0,0026	0,0013	-0,0341	0,0084	0,0002	0,0012			-0,0015

Kombinasi III

Tabel 4.39 Kombinasi III Kontrol Lendutan

Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Tempratur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan Kombinasi
0,0189	0,0026	0,0013	-0,0341	0,0084	0,0002		0,0005		-0,0022

Kombinasi IV

Tabel 4.40 Kombinasi IV Kontrol Lendutan

Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Tempratur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan Kombinasi
0,0189	0,0026	0,0013	-0,0341	0,0084	0,0002	0,0012	0,0005		-0,0009

Kombinasi V

Tabel 4.41 Kombinasi V Kontrol Lendutan

Berat sen MS	Mati tamb MA	Susut-rang SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Tempratur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan Kombinasi
0,0189	0,0026	0,0013	-0,0341					0,0022	-0,0091

4.4 Perancangan Konstruksi Bangunan Bawah

Struktur Bawah Jembatan merupakan bagian dari jembatan yang terletak di bawah permukaan tanah atau air. Fungsi utamanya adalah untuk menopang beban jembatan dan mentransfernya ke pondasi. Struktur Bawah Jembatan meliputi:

- *Abutment*
- Pondasi

4.4.1 Perancangan *Abutment*

Abutment merupakan struktur bawah dari suatu konstruksi *Flyover*, yang berfungsi menyalurkan Beban Struktur atas ke dalam tanah. Oleh karena itu di dalam merancang Struktur *Abutment* harus diketahui beban – beban yang bekerja pada Struktur *Abutment* tersebut. Adapun beban yang bekerja pada *Abutment* meliputi:

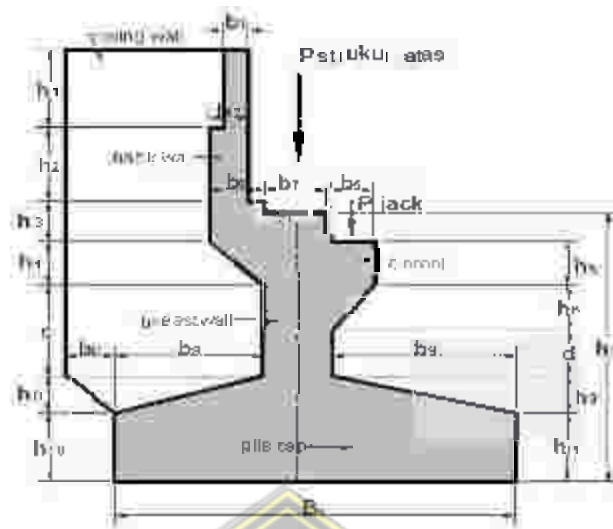
- Beban Akibat Berat Sendiri
- Beban Mati Tambahan
- Tekanan Tanah
- Beban Lajur "D"
- Beban Pejalan Kaki
- Beban Rem
- Pengaruh Temperatur
- Beban Angin
- Beban Gempa
- Gesekan Pada Perletakan

Dengan mengetahui beban yang bekerja pada *Abutment* maka kita dapat merancang dimensi dari struktur *Abutment*.

➤ **Pembebanan *Abutment***

Data *Abutment*

$h_1 = 0,85 \text{ m}$	$h_1 = 0,40 \text{ m}$
$h_2 = 0,52 \text{ m}$	$h_2 = 0,80 \text{ m}$
$h_3 = 0,60 \text{ m}$	$h_3 = 0,98 \text{ m}$
$h_4 = 0,1,16 \text{ m}$	$h_5 = 0 \text{ m}$
$h_5 = 0 \text{ m}$	$h_7 = 1 \text{ m}$



Gambar 4.20 Section Properties Abutment

$$h_6 = 0 \text{ m}$$

$$b_6 = 2 \text{ m}$$

$$h_7 = 6,15 \text{ m}$$

$$b_7 = 2 \text{ m}$$

$$h_8 = 1,70 \text{ m}$$

$$b_8 = 0 \text{ m}$$

$$h_9 = 0,20 \text{ m}$$

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

$$h_{10} = 1 \text{ m}$$

$$B_y = 11 \text{ m}$$

$$h_{11} = 1 \text{ m}$$

$$b_w = 0,80 \text{ m}$$

$$e = 3,44 \text{ m}$$

$$d = 4,95 \text{ m}$$

Tanah Timbunan

$$\gamma_s = 17,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 27^\circ$$

$$C = 6 \text{ kPa}$$

Tanah Asli (di dasar Pile cap)

$$\gamma_s = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$C = 10 \text{ kPa}$$

$$f_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

Berat Sendiri Struktur Atas

$$W_{MS} = 7130 \text{ kN}$$

$$P_{MS} = 0,5 \times W_{MS}$$

$$= 0,5 \times 7130$$

$$= 3565 \text{ kN}$$

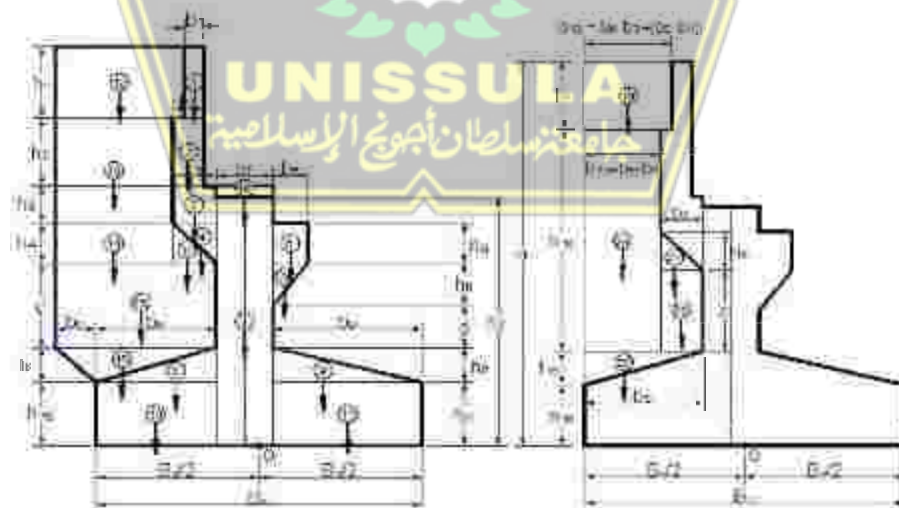
$$e = -B_x/2 + b_x + b_y/2$$

$$= -1 \text{ m}$$

$$M_{MS} = P_{MS} \times e$$

$$= 3565 \text{ kN}$$

Berat Sendiri Struktur Bawah



Gambar 4.2 Pola Pembebanan Berat Sendiri Struktur Bawah

W_c	= 25 kN/m ³
W_s	= 17,5 kN/m ³
B_c	= 10 m
2 (ke b a l wing wall)	= 1,2 m
h_1	= 5,2 m
h_2	= 4,9 m
h_3	= 14,6 m

Tabel 4. 42 Perhitungan Berat Sendiri Struktur Bawah

NO	PARAMETER BERAT BAGIAN				BERAT (kN)	LENGAN (m)	MOMEN (kNm)
	b	h	Shape	Dir ec			
ABU IMENIT							
1	0,40	0,85	1	-1	93,50	1,88	-175,78
2	0,80	0,52	1	-1	114,40	2,08	-237,95
3	0,98	0,60	1	-1	161,70	1,99	-321,78
4	0,98	1,16	0,5	-1	156,31	1,83	-285,53
5	0,00	0,00	1	1	0,00	-0,50	0,00
6	0,00	0,00	0,5	1	0,00	-0,50	0,00
7	1,00	6,15	1	-1	1691,25	1,00	-1691,25
8	1,00	1,70	0,5	-1	231,75	1,83	-428,54
9	3,00	0,20	0,5	1	82,50	0,50	41,25
10	1,00	1,00	1	-1	275,00	2,00	-550,00
11	3,00	1,00	1	1	825,00	1,00	825,00
WING WALL							
12	0,42	0,85	1	-1	14,28	2,29	-32,70
13	0,02	11,2	1	-1	0,90	2,49	-2,23

14	0.02	1.16	1	-1	093	2.49	-231
15	1.00	3.44	1	-1	137.60	2.00	-27.520
16	1.00	1.70	0.5	-1	34.00	2.17	-73.67
17	0.98	1.16	0.5	-1	22.74	2.15	-48.96
TANAH							
19	0.42	0.85	1	-1	58.73	2.29	-13448
20	0.02	5.720	1	-1	1882	2.49	-46.86
21	0.98	1.16	0.5	-1	93.50	2.15	-201.34
22	0.98	3.44	1	-1	5545.6	1.99	-1103.58
23	1.00	1.70	0.5	-1	139.83	2.17	-302.95
					$P_{MS} = 470928$		$M_{MS} = -5048.87$

Beban Total Akibat Berat Sendiri

Tabel 4-43 Beban Total M_{MS}

No	Berat sendiri	P_{MS} (kN)	M_{MS} (kNm)
1	Struktur Atas (Rangka, Median, Trotoar)	3565	-3565
2	Struktur Bawah (Abutment, Pilecap, Tanah)	4709.3	-5048
		8274.3	-8613.9

Beban Mati Tambahan

Tabel 4-44 Perhitungan Beban Mati Tambahan

No	Jenis beban mati tambahan	Tebal (m)	Lebar (m)	Panjang (m)	Jumlah	w (kN/m ²)	Berat (kN)
1	Lap. Aspal + Overlay	0.10	9.00	3	2	2200	1227.6
2	Railing, lights, dll.	w =	0.5	31	2		31
3	Instalasi ME	w =	0.1	31	2		6.2
4	Air hujan	0.05	9.00	31	1	9.80	136.71
						W_{MA}	1401.51

$$P_{MA} = 0,5 \times H_{MA}$$

$$= 0,5 \times 1401,51$$

$$= 700,76 \text{ kN}$$

$$e = -B_f/2 + b/2$$

$$= -1 \text{ m}$$

$$M_{MA} = P_{MA} \times e$$

$$= -700,76 \text{ kN}$$



Gambar 4.22 Beban Mati Tambahan

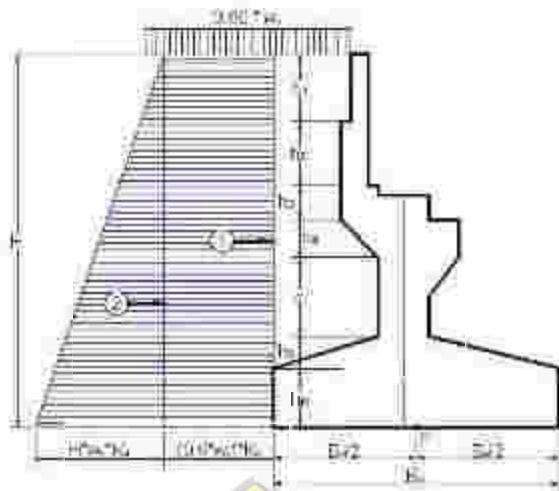
Tekanan Tanah

$$K_s = \tan^2(45^\circ - \phi/2) = 0,33 \text{ kN} \quad C_s = 6 \text{ kPa}$$

$$W_s = 17,5 \text{ kN/m}^3 \quad H = 14,6 \text{ m}$$

$$\phi = 27^\circ \quad B_s = 11 \text{ m}$$

$$\text{Ekivalen Beban Kendaraan} = 0,6 \times W_s = 10,5 \text{ kPa}$$



Gambar 4. 23 Pola Pembebanan Tekanan Tanah

Tabel 4. 45 Perhitungan Tekanan Tanah

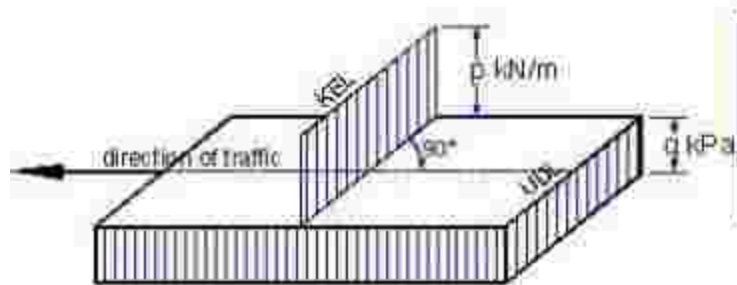
No	Gaya akibat tekanan tanah	T_{1A} (kN)	Lengan thd. O	y (m)	M_{1A} (kNm)
1	$T_{1A} = (0.60 * w_s) * H * K_a * B_v$	356.90	$y = H/2$	4635	1654.2
2	$T_{2A} = 1/2 * H^2 * K_a * B_v$	2757.0	$y = H/3$	3.090	8519.2
		$T_{1A} = 3113.9$		$M_{1A} =$	10173.4

Beban Lajur "D"

$L = 31 \text{ m}$

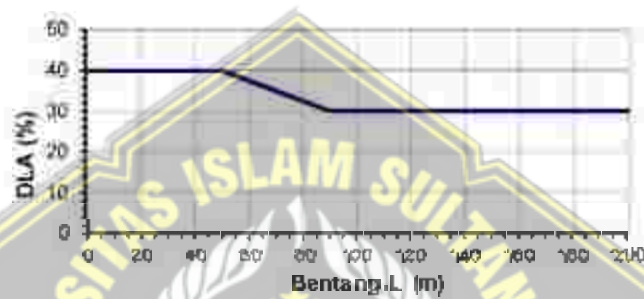
$q = 9 \times (0.5 + 15/L)$
 $= 88.5 \text{ kPa}$

$\rho = 49 \text{ kN/m}$



Gambar 4.24 Beban lajur "D"

Faktor Beban Dinamis untuk KEL diambil sebagai berikut:



Gambar 4.25 Faktor Beban Dinamis

$$DLA = 0,4 \quad (\text{untuk } L \leq 50 \text{ m})$$

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

$$DLA = 0,3 \quad (\text{untuk } L \geq 90 \text{ m})$$

$$P_{1D} = q \times L \times b / 2 + p \times DLA \times b / 2$$

$$= 8,85 \times 31 \times 9 / 2 + 4,9 \times 0,4 \times 9 / 2$$

$$= 1543,95 \text{ kN}$$

$$M_{1D} = P_{1D} \times e$$

$$= -1543,95 \times (-1)$$

$$= -1543,95 \text{ kNm}$$

Beban Pejalan Kaki

$$l = 93 \text{ m}$$

$$b_2 = 1 \text{ m}$$

$$n = 2$$

$$A = b_2 \times L / n$$

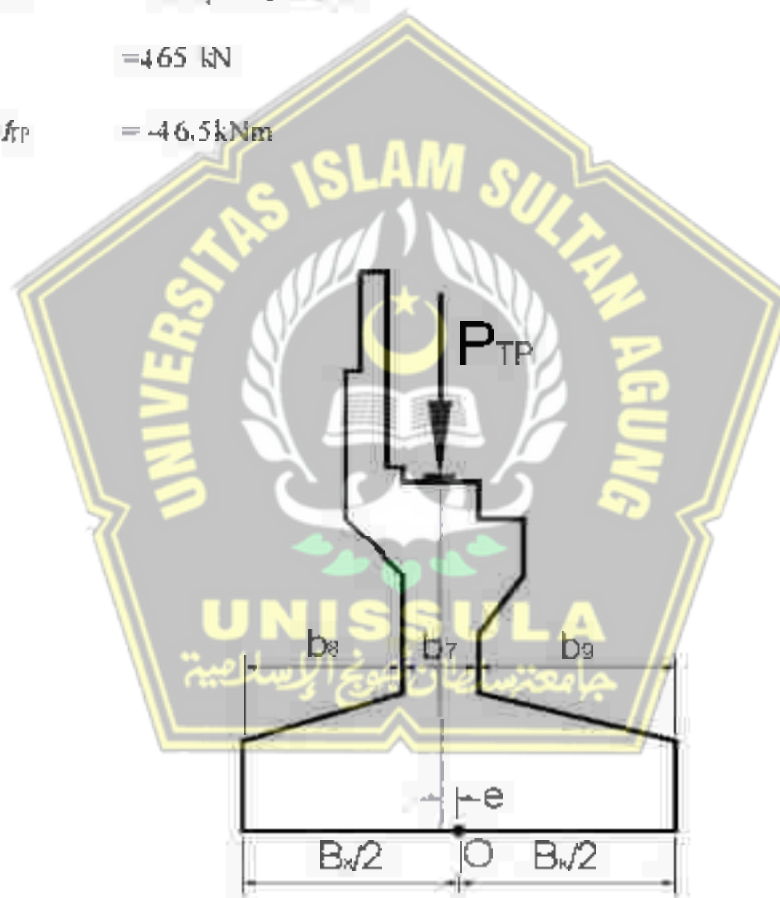
$$= 1 \times 93 / 2$$

$$= 46,5 \text{ m}^2$$

$$P_{TP} = 0,5 \times q \times b_2 \times L \times n$$

$$= 465 \text{ kN}$$

$$M_{TP} = -46,5 \text{ kNm}$$



Gambar 4.26 Beban Pejalan Kaki

Beban Rem

Untuk Bentang 93 m, $T_{RB} = 250 + 2,5 \times (L_1 - 80) = 282,5 \text{ kN}$

$$n = 2$$

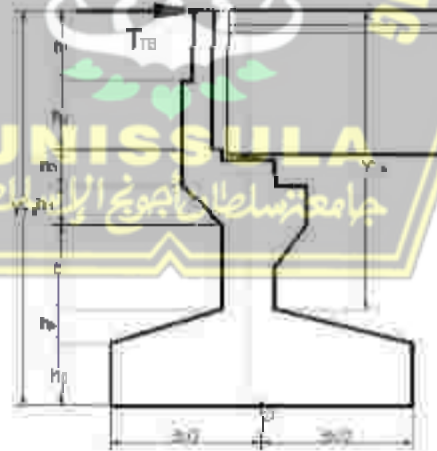
$$\begin{aligned}
 P_{TB} &= n \times T_{TB} \\
 &= 2 \times 283 \\
 &= 565 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{TB} &= h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + c + h_8 + h_{10} \\
 &= 14,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{TB} &= P_{TB} \times Y_{TB} \\
 &= 565 \times 14,6 \\
 &= 8249 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y'_{TB} &= h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + c \\
 &= 12,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{TB} &= P_{TB} \times Y'_{TB} \\
 &= 565 \times 12,6 \\
 &= 7119 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.27 Beban Rem

Pengaruh Temperatur

$$T_{max} = 40^{\circ}\text{C}$$

$$T_{min} = 15^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= (T_{\max} - T_{\min}) / 2 \\ &= (40 - 15) / 2 \\ &= 12,5^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$$

$$k = 1500 \text{ kN/m}$$

$$L = 9,3 \text{ m}$$

$$n = 2$$

$$\begin{aligned} T_{ET} &= \alpha \times \Delta T \times k \times L / 2 \times n \\ &= 17,438 \text{ kN} \end{aligned}$$

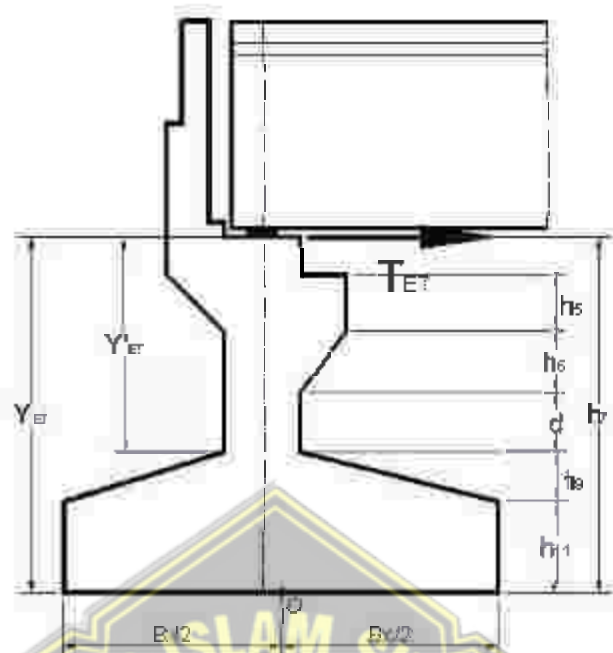
$$Y_{ET} = h_2 = 13,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{ET} &= T_{ET} \times Y_{ET} \\ &= 17,438 \times 13,3 \\ &= 231,92 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{ET}^1 &= L_2 - h_4 - h_{11} \\ &= 11,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ET}^1 &= T_{ET} \times Y_{ET}^1 \\ &= 17,438 \times 11,3 \\ &= 197,04 \text{ kNm} \end{aligned}$$

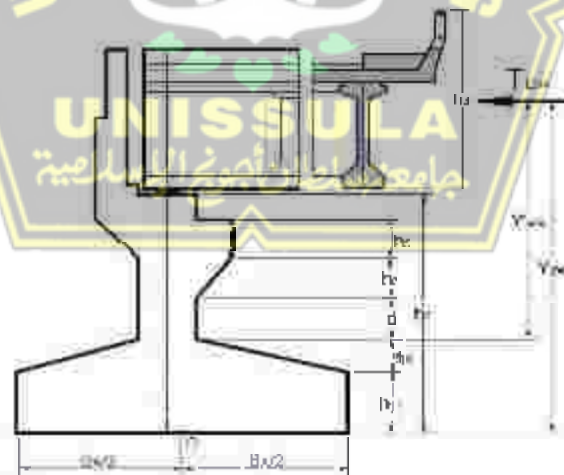




Gambar 4.28 Pengaruh Temperatur

Beban Angin

- Angin yang meniup bidang samping jembatan



Gambar 4.29 Beban Angin Pada Samping Jembatan

$$T_{EW} = 0,0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times h_1$$

$$C_w = 1,25$$

$$V_w = 30 \text{ m/det}$$

$$L = 93 \text{ m}$$

$$h_b = 2,75 \text{ m}$$

$$A_b = 0,3 \times L / 2 \times h_b$$

$$= 0,3 \times 93 / 2 \times 2,75$$

$$= 38,26 \text{ m}^2$$

$$T_{EW1} = 0,0006 \times 1,25 \times (30)^2 \times 38,26$$

$$= 25,895 \text{ kN}$$

$$Y_{EW1} = h_1 + h_b / 2$$

$$= 14,68 \text{ m}$$

$$M_{EW1} = T_{EW1} \times Y_{EW1}$$

$$= 25,895 \times 14,68$$

$$= 380 \text{ kNm}$$

$$Y'_{EW1} = h_2 - h_b - h_{11} - h_b / 2$$

$$= 12,68 \text{ m}$$

$$M'_{EW1} = T_{EW1} \times Y'_{EW1}$$

$$= 25,895 \times 12,68$$

$$= 328,22 \text{ kNm}$$

➤ Angin yang meniup Kendaraan

$$T_{EW2} = 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b$$

$$C_w = 1,2$$

$$V_w = 30 \text{ m/det}$$

$$L = 93 \text{ m}$$

$$h_b = 2,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} T_{fw2} &= 0,0012 \times 1,22 \times (30)^2 \times 46,5 \\ &= 60,264 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_{fw2} &= h_2 + h_b \\ &= 16,05 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{fw2} &= T_{fw1} \times Y_{fw1} \\ &= 60,264 \times 16,05 \\ &= 967,24 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{fw2} &= T_{fw2} \times h_{f1} + h_b \\ &= 14,05 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{fw2} &= T_{fw2} \times F_{fw2} \\ &= 60,264 \times 14,05 \\ &= 846,71 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Beban Angin Total pada *Abutment*

$$\begin{aligned} T_{fw} &= T_{fw1} + T_{fw2} \\ &= 86,159 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban Angin Total pada Pondasi

$$\begin{aligned} M_{fw} &= M_{fw1} + M_{fw2} \\ &= 1347,24 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Beban Angin Total pada *Breast Wall*

$$\begin{aligned} M_{fw} &= M_{fw1} + M_{fw2} \\ &= 1174,92 \text{ kNm} \end{aligned}$$

➤ **Transfer Beban Angin Ke Lantai Jembatan**

$$h = 2 \text{ m}$$

$$X = 1,75 \text{ m}$$

$$n = 21$$

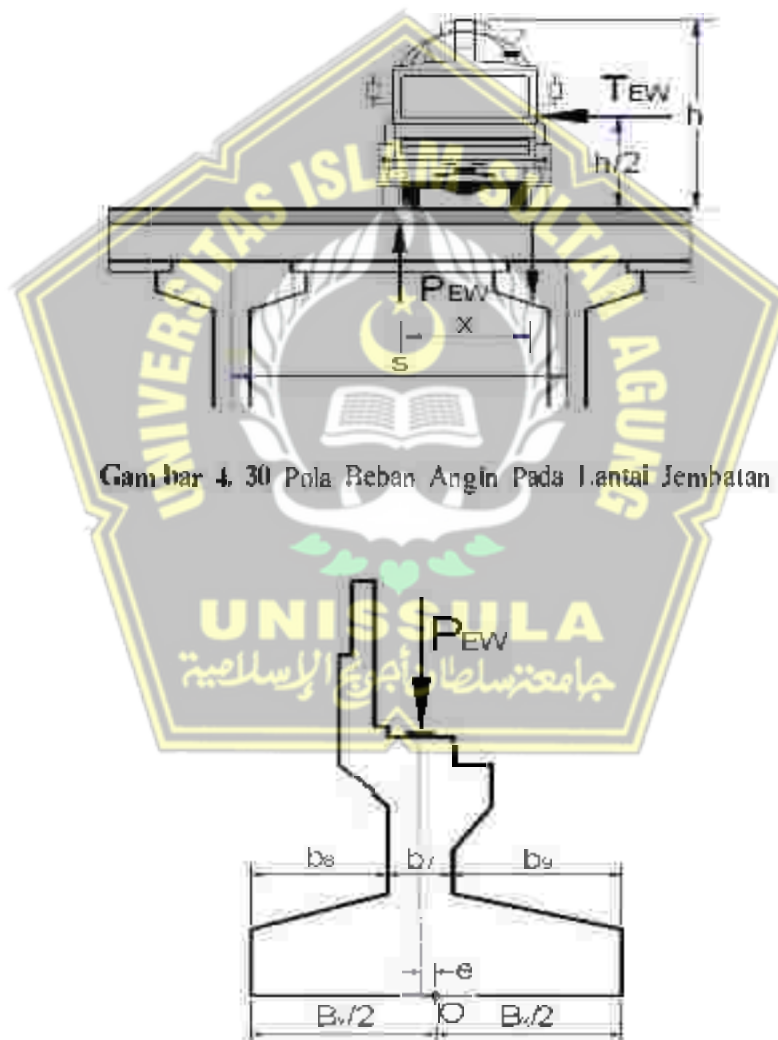
$$P_{EW} = n \times \left(\frac{1}{2} \times h / X \times T_{EW} \right) \times L/2$$

$$= 723.168 \text{ kN}$$

$$M_{EW} = P_{EW} \times e$$

$$= 723.168 \times (-0.10)$$

$$= -72.317 \text{ kN}$$



Gambar 4. 30 Pola Beban Angin Pada Lantai Jembatan

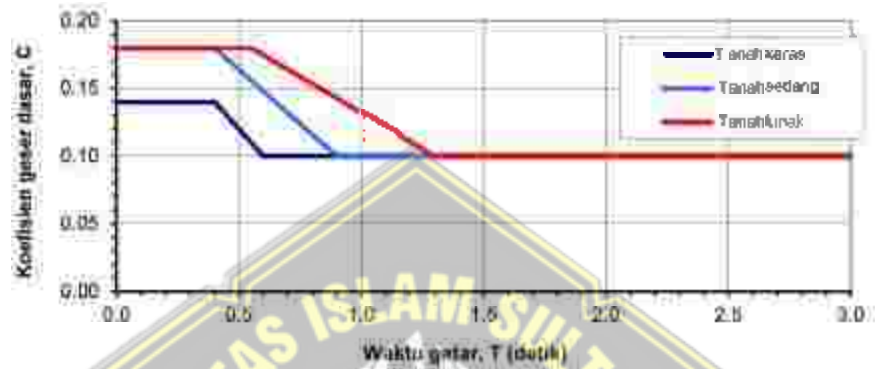
Gambar 4. 31 Transfer Beban Angin Ke Lantai Jembatan

Beban Gempa

➤ Beban Gempa Static Ekuivalen

$$T_{RQ} = K_h \times l \times W_i$$

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{W_{TP}}{(g \times K_p)}}$$



Gambar 4.32 Waktu Getar Struktur

Beban Gempa Arak Merata Jang Jembatan (Arak X)

$$L_b = 11,3 \text{ m}$$

$$b = 10 \text{ m} \quad C = 0,1$$

$$h = 1,8 \text{ m} \quad S = 1,225$$

$$I = 4,86 \text{ m}^4 \quad S = 1,5925$$

$$f_c = 29,05 \text{ MPa} \quad K_h = 0,15925$$

$$E_c = 25332 \text{ MPa} \quad I = I$$

$$= 25332084 \text{ kPa} \quad T_{RQ} = 0,15925$$

$$K_p = 255972,38 \text{ kN/m}$$

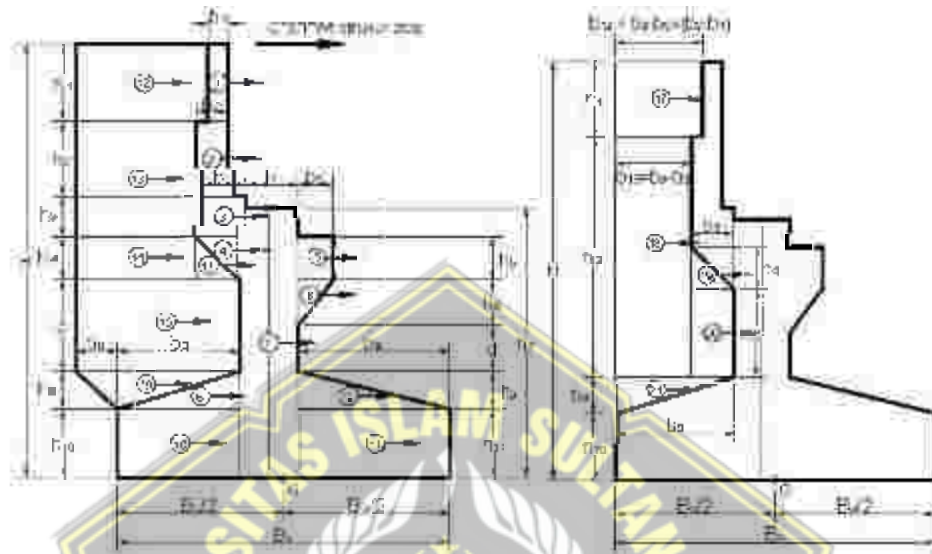
$$g = 9,8 \text{ m / det}^2$$

$$P_{N(5 \text{ mm})} = 10432,5 \text{ kN}$$

$$P_{MS \text{ bawah}} = 23952.56 \text{ kN}$$

$$W_{TP} = 22408.78 \text{ kN}$$

$$T = 0.59385358 \text{ detik}$$



Gambar 4.33 Pola Pembebanan Gempa Arah X

h_1	1.00	h_b	0.00	h_{11}	1.50
h_2	0.30	h_7	13.30	c	10.20
h_3	0.50	h_8	0.50	d	11.30
h_4	0.60	h_9	0.50	h_{10}	11.60
h_5	0.00	h_{10}	15.0	H	14.60

Tabl 4.46 Distribusi Beban Gempa Pada Abutment

No	Berat W_i (kN)	T_{EQ} (kN)	Uraian lengan terhadap titik O	Besar y (m)	M_{EQ} (kNm)
STRUKTUR ATAS					
P_{MS}	1043250	1661376	$y = H$	14.600	2425608
P_{MA}	2102265	334786	$y = H$	14.600	488787

ABUTMENT					
1	7500	11944	$y_1 = h_{10} + h_8 + c + h_1 + h_2 + h_3 / 2$	14100	16841
2	4500	7166	$y_2 = h_{10} + h_8 + c + h_1 + h_2 + h_3 / 2$	13450	9639
3	7500	11944	$y_3 = h_{10} + h_8 + c + h_1 + h_2 / 2$	13050	15587
4	4500	7166	$y_4 = h_{10} + h_8 + c + 2/3 * h_1$	12600	9029
5	000	0000	$y_5 = h_{11} + h_9 + c + h_4 + h_5 / 2$	13300	000
6	000	0000	$y_6 = h_{11} + h_9 + c + 2/3 * h_4$	13300	000
7	598500	953111	$y_7 = h_7 / 2$	6650	633819
8	34375	54742	$y_8 = h_{10} + 1/3 * h_8$	1667	9124
9	35625	56733	$y_9 = h_{11} + 1/3 * h_9$	1667	9455
10	2062.50	328453	$y_{10} = h_{10} / 2$	0.750	246.34
11	2137.50	340397	$y_{11} = h_{11} / 2$	0.750	255.30
WING WALL					
12	15600	24843	$y_{12} = y_1$	14100	35029
13	117.60	18.728	$y_{13} = h_{10} + h_8 + c + h_1 + (h_2 + h_3) / 2$	13.200	247.21
14	8820	14.046	$y_{14} = h_{10} + h_8 + c + h_2 / 2$	12.500	175.57
15	1683.00	268018	$y_{15} = h_{10} + h_8 + c / 2$	7.100	190293
16	41.25	6569	$y_{16} = h_{10} + 2/3 * h_8$	1.833	12.04
17	5.40	0860	$y_{17} = h_{10} + h_8 + c + 1/3 * h_1$	12.400	10.66
TANAH					
19	800.80	127527	$y_{19} = H + h_1 / 2$	14.100	179814
20	8753.36	1393973	$y_{20} = h_{10} + h_1 + h_{10} / 2$	7800	1087299
21	27.72	4414	$y_{21} = h_{10} + h_8 + c + h_2 / 3$	12.400	5474
22	94248	150090	$y_{22} = h_{10} + h_8 + c / 2$	7.100	106564
23	21175	33721	$y_{23} = h_{10} + 2/3 * h_8$	1833	6182
	T_{10}	5810.607		M_{10}	53232.55

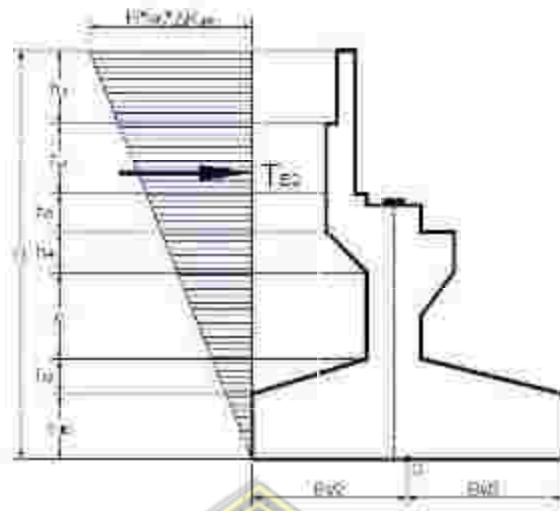
$$\begin{aligned}
 X_{10} &= M_{10} / T_{10} \\
 &= 53232.55 / 5810.607 \\
 &= 9.161 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Behan Gempa Arah Melintang Jembatan (Arah Y)

$$\begin{aligned}I_c &= 150 \text{ m}^4 \\K_p &= 7900382,34 \text{ kN/m} \\P_{MS} &= 34385 \text{ kN} \\P_{MA} &= 2102,265 \text{ kN} \\W_j &= 36487,33 \text{ kN} \\T &= 0,10689364 \text{ detik} \\C &= 0,1 \\F &= 1,225 \\S &= 1,5925 \\K_h &= 0,15925 \\I &= 1 \\T_{10} &= 5810,607 \text{ kN} \\M_{EQ} &= 53232,55 \text{ kNm}\end{aligned}$$

➤ Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1}(K_h) \\K_{aG} &= \cos^2(\phi' - \theta) / \left[\cos^2 \theta \times \left(1 + \sqrt{\frac{(\sin \phi' \times \sin(\phi' - \theta))}{\cos \theta}} \right) \right] \\ \Delta K_{aG} &\equiv K_{aG} - K_a \\ p &= H_w \times W_S \times \Delta K_{aG}\end{aligned}$$



Gambar 4.34 Pola Pembebanan Tekanan Tanah Dinamis Akibat Gempa

$$H = 14.6 \text{ m}$$

$$B_1 = 10 \text{ m}$$

$$K_b = 0.15925$$

$$\varphi' = 30 \text{ rad}$$

$$K_1 = 0.33$$

$$W_s = 17.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\theta = 0.15792$$

$$\cos^2(\varphi' - \theta) = 9.3275E-06$$

$$\cos^2(\varphi' - \theta) / \left[\cos^2 \theta \times \left(1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi' \times \sin(\varphi' - \theta)}{\cos \theta}} \right) \right] = 1.9568928$$

$$K_{qG} = 4.767E-06$$

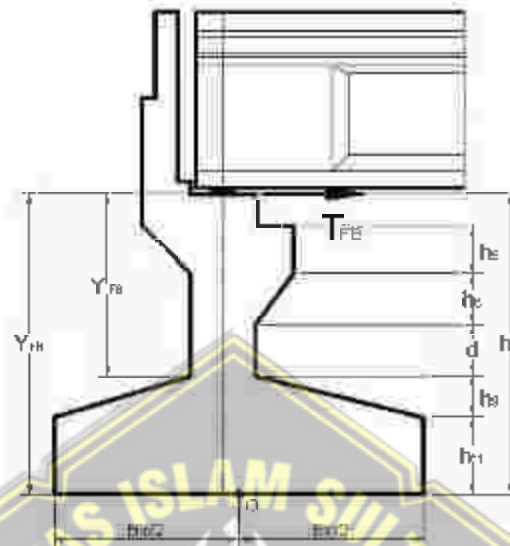
$$\Delta K_{qG} = 0.3333286$$

$$T_{kQ} = 6217.07776 \text{ kN}$$

$$Y_{EQ} = 9.733 \text{ m}$$

$$M_{10} = 60512,9 \text{ kNm}$$

Gesekan Pada Perletakan



Gambar 4.35 Pola Pembebanan Gesekan Pada Perletakan Elastomer

- $\mu = 0,01$
- $P_{MS} = 10432,5 \text{ kN}$
- $P_{MA} = 2102,265 \text{ kN}$
- $P_T = 12534,765 \text{ kN}$
- $T_{FB} = 125,348 \text{ kN}$
- $Y_{FB} = 14,675 \text{ m}$
- $M_{FB} = 1839,48 \text{ kN}$
- $Y_{FH} = 11,3 \text{ m}$
- $M_{10} = 1416,43 \text{ kNm}$

Kombinasi Beban Kerja

Rekap beban kerja dapat di lihat pada tabel 4.42

Tabel 4.42 Rekap Beban Kerja

No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
A Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri	MS	34385.06			50662.21	
2	Beban Mati Tambahan	MA	2102265			-21023	
3	Tekanan Tanah	TA		6728.17		33987.18	
B Beban Lalu-lintas							
4	Beban Lajur "D"	ID	27740			-277.74	
5	Beban Pedestrian	IP	46500			-46.50	
6	Gaya Rem	TR		565.00		824900	
C Aksi Lingkungan							
7	Temperatur	ET		17.44		23192	
8	Beban Angin	EW	723.168		86.16	-72.32	1347.24
9	Beban Gempa	EQ		5810.61	5810.61	5323255	5323255
10	Tek. Tanah Dinamis	EQ		621708		60512.89	
D Aksi Lainnya							
11	Gesekan	FB		125.35		1839.48	

Kombinasi 1

Tabel 4.47 Kombinasi 1

No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
----	----------------	------	-----------	------------------------	------------------------	-------------------------	-------------------------

1	Berat Sendiri	MS	3438506			-5066221
2	Beb. Mati Tambahan	MA	2102.265			-210.23
3	Tekanan Tanah	TA		6728.17		33987.18
4	Beban Lajur "D"	TD	277740			-277.74
5	Beban Pedestrian	TP	46500			-4650
6	Gaya Rem	TB				
7	Temperatur	ET				
8	Beban Angin	EW				
9	Beban Gempa	EQ				
10	Tek. Tanah Dinamis	EQ				
11	Gesekan	FB				
			39729,73	6728,17		-17209,5

Kombinasi 2

Tabel 4. 48 Kombinasi2

No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
1	Berat Sendiri	MS	3438506			-5066221	
2	Beb. Mati Tambahan	MA	2102.265			-210.23	
3	Tekanan Tanah	TA		672817		33987.18	
4	Beban Lajur "D"	TD	277740			-277.74	
5	Beban Pedestrian	TP	465.00			-4650	
6	Gaya Rem	TB		565.00		824900	
7	Temperatur	ET					
No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
8	Beban Angin	EW	723.168		86.16	-72.32	1347.24
9	Beban Gempa	EQ					
10	Tek. Tanah Dinamis	EQ					

11	Gesekan	FB					
			40452,89	7293,17	86,16	-9032,82	1347,24

Kombinasi 3

Tabel 4. 49 Kombinasi 3

No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T_x (kN)	T_y (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
1	Berat sendiri	MS	34385,06			-5066,221	
2	Beb. mati tambahan	MA	21022,65			-21023	
3	Tekanan tanah	TA		672817		33987,18	
4	Beban lajur "D"	LD	2777,40			-277,74	
5	Beban pedestrian	TP	465,00			-46,50	
6	Gaya rem	TB		56500		8249,00	
7	Temperatur	ET					
8	Beban angin	EW	723,168		86,16	-7,232	1347,24
9	Beban gempa	EQ					
10	Tek. Tanah dinamis	EQ					
11	Gesekan	FB		12535		1839,48	
			40452,89	7418,51	86,16	-7193,94	1347,24

Kombinasi 4

Tabel 4. 50 Kombinasi 4

No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T_x (kN)	T_y (kN)	M_x (kNm)	M_y (kNm)
1	Berat sendiri	MS	34385,06			50662,21	
2	Beb. mati tambahan	MA	21022,65			-21023	

3	Tekanan tanah	TA		672.807		33987.18	
4	Beban lajur "D"	ID	277740			-277.74	
5	Beban pedestrian	TP	465.00			-46.50	
6	Gaya rem	TB		565.00		824900	
7	Temperatur	ET		17.44		2319.2	
8	Beban angin	EW	723.168		86.16	-723.2	1347.24
9	Beban gempa	EQ					
10	Tek. Tanah dinamis	EQ					
11	Gesekan	FB		1253.5		1839.48	
			40452.89	7435.95	86.16	-6961.42	1347.24

Kombinasi 5

Tabel 4.51 Kombinasi 5

No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
1	Berat sendiri	MS	34385.06			50662.21	
2	Beb. mati dan bahan	MA	2102.265			-210.23	
3	Tekanan tanah	TA					
4	Beban lajur "D"	ID					
5	Beban pedestrian	TP					
6	Gaya rem	TB					
7	Temperatur	ET					
No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
8	Beban angin	EW					
9	Beban gempa	EQ		5810.61	5810.61	5323.255	5323.255
10	Tek. tanah dinamis	EQ		6217.08		60512.89	
11	Gesekan	FB					
			36487.33	12027.68	5810.61	62873	53232.55

Rekap Kombinasi Beban Untuk Perencanaan Tegangan Kerja

Tabel 4.52 Rekap Kombinasi Beban

Nb	Kombinasi Beban	Tegangan berlebihan	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
1	KOMBINASI-1	0%	39729,73	6728,17	0,00	-17209,50	0,00
2	KOMBINASI-2	25%	40452,89	7293,17	86,16	-9032,82	1347,24
3	KOMBINASI-3	40%	40452,89	7418,51	86,16	-7193,34	1347,24
4	KOMBINASI-4	40%	40452,89	7433,95	86,16	-6961,42	1347,24
5	KOMBINASI-5	50%	3647,33	12027,68	5810,61	62873,00	53232,55

➤ Kontrol Stabilitas Guling

➤ Stabilitas Guling Arak X



Gambar 4.36 Pola Stabilitas Guling

$$SF = 2,2$$

$$B_x / 2 = 6,5 \text{ m}$$

$$M_{px} = P \times (B_x / 2) \times (1 \times k)$$

$$SF = M_{px} / M_c \quad (\text{harus} \geq 2,2)$$

Tabel 4 53 Stabilitas Guling Arah X

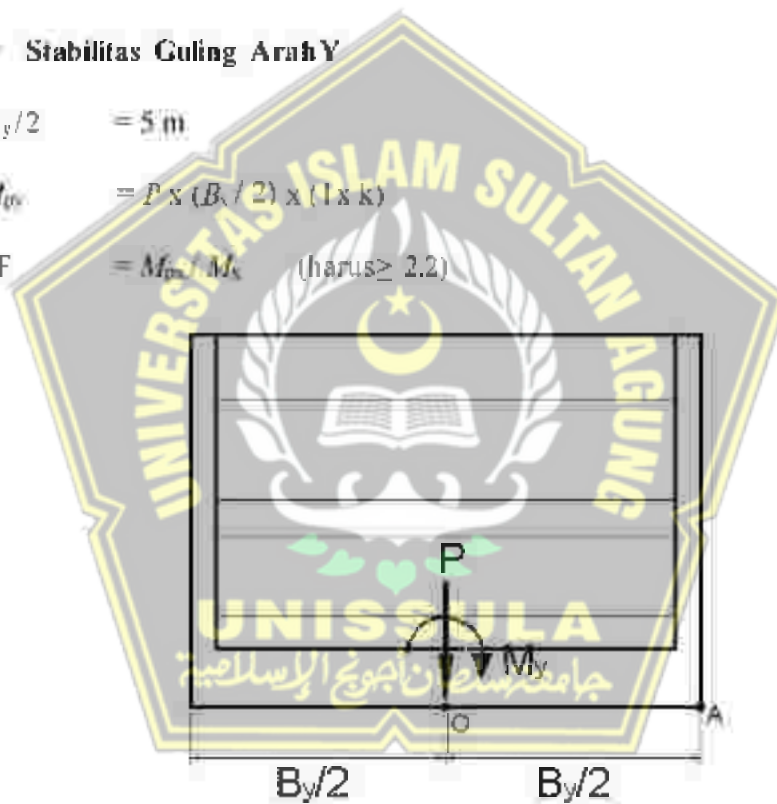
No	Kombinasi Beban	k	P (kN)	M _s (kNm)	M _{ps} (kNm)	SF	Keterangan
1	Kombinasi- 1	0%	3972973	-1720950	25824321	1501	> 2.2 (OK)
2	Kombinasi - 2	25%	4045289	-903282	32867976	3639	> 2.2 (OK)
3	Kombinasi- 3	40%	4045289	-719334	36812133	5118	> 2.2 (OK)
4	Kombinasi -4	40%	4045289	-696142	36812133	5288	> 2.2 (OK)
5	Kombinasi-5	50%	3648733	6287310	35575142	566	> 2.2 (OK)

➤ **Stabilitas Guling Arah Y**

$$B_y/2 = 5 \text{ m}$$

$$M_{ps} = P \times (B_y/2) \times (1 \times k)$$

$$SF = M_{ps} / M_s \quad (\text{harus} \geq 2.2)$$



Gambar 4 37 Stabilitas Guling Arah Y

Tabel 4 54 Stabilitas Guling Arah Y

No	Kombinasi Beban	k	P (kN)	M _s (kNm)	M _{ps} (kNm)	SF	Keterangan
1	Kombinasi- 1	0%	3972973	0,00	19864863		
2	Kombinasi -2	25%	4045289	134724	25283058	187,67	> 2.2 (OK)
3	Kombinasi-3	40%	4045289	1347,24	28317025	210,19	> 2.2 (OK)

4	Kombinasi-4	40%	4045289	134724	28317025	21019	> 2,2 (OK)
5	Kombinasi -5	50%	3648733	53232,55	27365494	514	> 2,2 (OK)

➤ **Kontrol Stabilitas Geser**

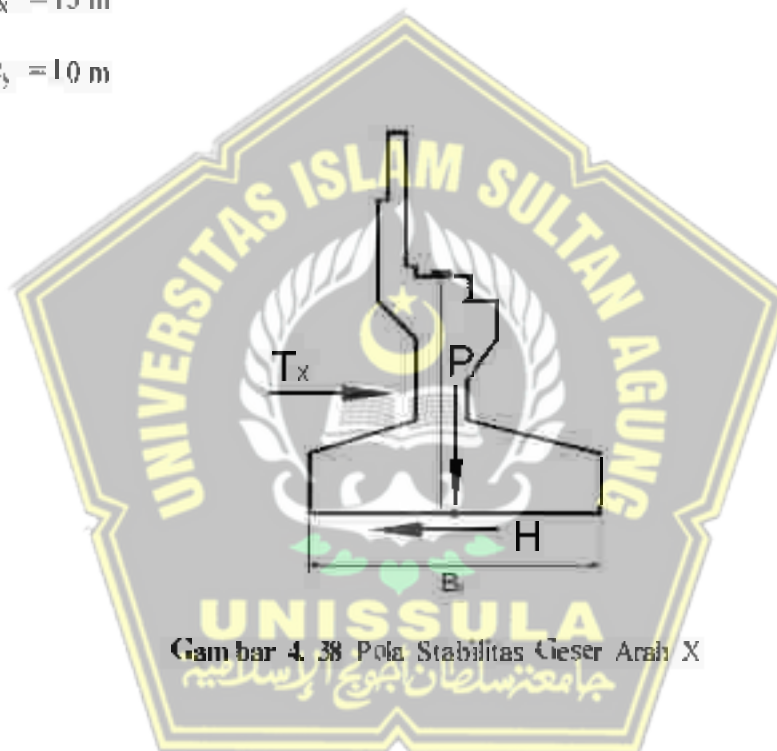
➤ **Stabilitas Geser Arah X**

$$\phi = 30^\circ$$

$$C = 10 \text{ kPa}$$

$$B_x = 13 \text{ m}$$

$$B_y = 10 \text{ m}$$



Gambar 4.38 Pola Stabilitas Geser Arah X

$$H = (C \times B_x \times B_y + P \times \tan \phi) \times (1 + k) \quad (\text{harus} \geq 1,1)$$

Tabel 4.55 Stabilitas Geser Arah X

No	Kombinasi Bahan	k	T_x (kN)	P (kN)	H (kN)	SF	Keterangan
1	Kombinasi - 1	0%	672817	3972973	24237,97	3,60	> 1,1 (OK)
2	Kombinasi - 2	25%	729317	4045289	3081936	4,23	> 1,1 (OK)
3	Kombinasi - 3	40%	74651	40452,89	34517,68	4,65	> 1,1 (OK)
4	Kombinasi - 4	40%	7435,95	40452,89	34517,68	4,64	> 1,1 (OK)

5	Kombinasi-5	50%	12027,68	36487,33	33548,95	2,79	>1.1 (OK)
---	-------------	-----	----------	----------	----------	------	-----------

➤ Stabilitas Geser Arah Y

$$\Phi = 30^\circ$$

$$C = 10 \text{ kPa}$$

$$B_x = 13 \text{ m}$$

$$B_y = 10 \text{ m}$$



Gambar 4. 39 Pola Stabilitas Geser Arah Y

$$H = (C \times B_x \times B_y + P \times \tan \phi) \times (1 + k) \quad (\text{harus} \geq 1.1)$$

Tabel 4. 56 Stabilitas Geser Arah Y

No	Kombinasi Beban	k	T _y (kN)	P (kN)	H (kN)	SF	Keterangan
1	Kombinasi- 1	0%	0.00	397297 3	242379 7		
2	Kombinasi- 2	25 %	8616	40452.8 9	30819.3 6	3577 0	> 1.1 (OK)
3	Kombinasi - 3	40 %	8616	40452.8 9	34517.6 8	400.6 3	>1.1 (OK)
4	Kombinasi- 4	40 %	8616	40452.8 9	34517.6 8	400.6 3	> 1.1 (OK)

5	Kombinasi-5	50 %	5810.6 1	36487.3 3	33548.9 5	5.77	> 1,1 (OK)
---	-------------	---------	-------------	--------------	--------------	------	---------------

➤ Analisis Beban Ultimit

➤ Pile Cap

Beban kerja *Pile Cap* dapat di lihat pada tabel 4.57

Tabel 4. 57 Beban Kerja Pile Cap

No	Aksi/ Beban	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
1	Berat Sendiri	34385.0 6			- 50662.21	
2	Beb. Mati Tambahan	21022.6 5			-21023	
3	Tekanan Tanah		6728.1 7		33987.18	
4	Beban Lajur "D"	27774.0			-27774	
5	Beban Pedestrian	4650.0			-4650	
6	Gaya Rem		5650.0		8249.00	
7	Temperatur		17.44		231.92	
8	Beban Angin	723.168		861.6	-7232	13472.4
9	Beban Gempa		5810.6 1	5810.6 1	53232.55	53232.5 5
10	Tek. Tanah Dinamis		6217.0 8		60512.89	
11	Gesekan		125.35		1839.48	

Rekap kombinasi beban ultimit *pile cap* dapat di lihat pada tabel 4.56

Tabel 4. 58 Rekap Kombinasi Beban Ultimit Pile Cap

No	Kombinasi Beban	P _u (kN)	T _{ux} (kN)	T _{uy} (kN)	M _{ux} (k Nm)	M _{uy} (k Nm)
1	Kombinasi - 1	55183.08	9682.99	86.16	-58557.6	13472.4
2	Kombinasi - 2	52612.51	9117.99	0.00	-13847.70	0.00
3	Kombinasi- 3	52405.68	9117.99	86.16	-13827.02	13472.4

4	Kombinasi - 4	52550,31	9117,99	10339	-1384148	161669
5	Kombinasi - 5	48900,11	18755,85	5810,61	8145129	53232,55

➤ *Breast Wall*

Rekap Beban Ultimit *Breast Wall* dapat di lihat pada tabel 4.57

Tabel 4.59 Rekap Beban Ultimit *Breast Wall*

No	Aksi/ Beban	Faktor Beban	P_s (kN)	V_{un} (kN)	V_{uv} (kN)	M_{us} (kNm)	M_{uv} (kNm)
1	Berat Sendiri	1,30	27084,75				
2	Beb. Mati Tambahan	2,00	4204,53				
3	Tekanan Tanah	1,25		6339,38		27783,00	
4	Beban Lajur "D"	2,00	5554,80				
5	Beban Pedestrian	2,00	930,00				
6	Gaya Rem	2,00		113000		1423800	
7	Temperatur	1,30		2093		236,45	
8	Beban Angin	1,20	867,80		103,39		1409,91
9	Beban Gempa	1,00		2844,17	2844,17	301614,4	30161,44
10	Tek. Tanah Dinamis	1,00		4747,10		39630,63	
11	Gesekan	1,30		162,95		1841,36	

Rekap Kombinasi Beban Ultimit *Breast Wall* dapat di lihat pada tabel 4.58

Tabel 4.60 Rekap Kombinasi Beban Ultimit *Breast Wall*

No	Kombinasi Beban	P_u (kN)	V_{ux} (kN)	V_{uy} (kN)	M_{ux} (kNm)	M_{uy} (kNm)
1	Kombinasi - 1	30967,25	7612,16	8616	43634,47	1174,92
2	Kombinasi - 2	28396,68	7047,16	0,00	36515,47	0,00
3	Kombinasi - 3	28189,85	7047,16	86,16	36515,47	117492
4	Kombinasi - 4	28334,48	7047,16	10339	36515,47	140991

5	Kombinasi-5	24689.28	12662.77	2844.17	92018.47	30161.44
---	-------------	----------	----------	---------	----------	----------

➤ *Back Wall*

Beban ultimit *Back Wall* bawah dapat di lihat pada tabel 4.61

Tabel 4. 61 Beban Ultimit Back Wall Bawah

No	Jenis Beban	Faktor beban	T (kN)	M (kNm)	V_u (kN)	M_u (kNm)
1	Tekanan tanah(TA)	1,25	94.792	50.935	118.490	6367
2	Gempa statik ekuivalen(EQ)	1,00	19.110	1063	19.110	10.63
3	Gempa tektnh. dinamis (EQ)	1,00	82.5113	547.00	825.113	547,00
					962.713	621,3

Beban ultimit *Back Wall* atas pada Tabel 4.60

Tabel 4. 62 Beban Ultimit Back Wall atas

No	Jenis Beban	Faktor beban	T (kN)	M (kNm)	V_u (kN)	M_u (kNm)
1	Tekanan tanah(TA)	1,25	64.167	27222	80208	3403
2	Gempa statik ekuivalen (EQ)	1,00	11.944	597	11.944	5.97
3	Gempatektnh. dinamis (EQ)	1,00	822.488	416.11	822.488	416.11

➤ *Wing Wall*

Beban ultimit pada *Wing Wall* dapat di lihat pada Tabel 4.58

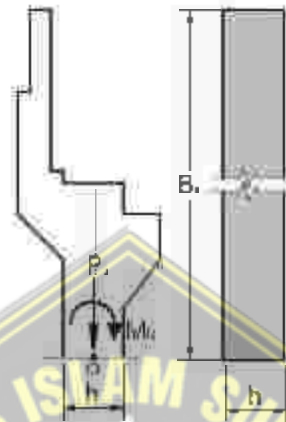
Tabel 4.58 Beban Ultimit Pada *Wing Wall*

No	Jenis Beban	V_u (kN)	M_{wy} (kNm)	M_{ux} (kNm)
1	Tekanan Tanah (TA)	3486656	764033	4794152
2	Gempa Statik Ekuivalen (EQ)	165540	52145	227618
3	Gempa Tek.Tanah Dinamis (EQ)	2610,904	10898.42	3589,993
		6263.10	19060.20	8611.76

➤ **Perhitungan Tulangan Pada Abutment**

➤ **Breast Wall**

Tulangan Utama



Gambar 4.40 Pola Breast Wall

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$B_y = 10 \text{ m}$$

$$b_1 = 1,8 \text{ m}$$

$$b = 1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 1,8 \text{ m} = 1800 \text{ mm}$$

$$A_g = b \times h = 1800000 \text{ mm}^2$$

$$\phi \cdot P_n = P_u$$

$$\phi \cdot M_n = M_u$$

$$\alpha = \phi \cdot P_n / (f_c' \cdot A_g) = P_u \times 10^4 / (f_c' \times A_g)$$

$$\beta = \phi \cdot M_u / (f_c' \cdot A_g \cdot h) = M_u \times 10^7 / (f_c' \times A_g \times h)$$

Tabel 4.63 Hasil Analisis Beban Untuk Lebar 1 m

No	KOMBINASI BEBAN ULTIMI	P_u (kN)	M_u (kN-m)	P_u (kN)	M_u (kN-m)	$\frac{P_u}{\phi P_n}$	$\frac{M_u}{\phi M_n}$
1	KOMBINASI-1	3096,72	43634,47	3096,72	43634,45	0,059	0,0464
2	KOMBINASI-2	28396,7	365154,7	28396,7	36515,5	0,054	0,0388
3	KOMBINASI-3	28189,8	365154,7	28189,8	3651,55	0,054	0,0388
4	KOMBINASI-4	28334,5	365154,7	2833,45	36515,5	0,054	0,0388
5	KOMBINASI-5	24689,3	92018,47	2468,93	9201,85	0,047	0,0978

Jarak Tulangan Terhadap Sisi Luar Beton:

$$d' = 100 \text{ mm}$$

$$h' = h - 2 \times d'$$

$$= 1600 \text{ mm}$$

$$h'/h = 0,888889$$

Nilai $\alpha = \phi \cdot P_u / (f_c' \cdot A_g)$ dan $\beta = \phi \cdot M_u / (f_c' \cdot A_g \cdot h)$ diplot ke dalam diagram interaksi diperoleh.

$$\rho = 1\%$$

$$A_s = \rho \times b \times h$$

$$= 18.000 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 28 mm

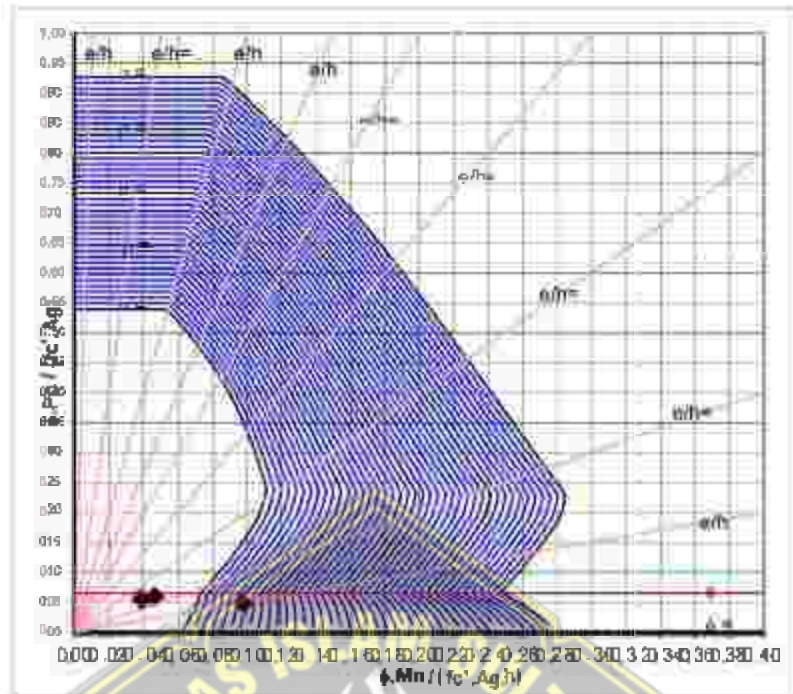
$$A_{s(\text{pakai})} = A_{s(\text{tarik})} = \frac{1}{2} \times A_s$$

$$= 9000 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times b / (\frac{1}{2} \times A_s)$$

$$= 68 \text{ mm}$$

Digunakan Tulangan 2 D 28 – 100, $A_s = 24630 \text{ mm}^2$



Gambar 4.41 Plot Nilai α dan β Ke Dalam Diagram Interaksi

Tulangan Geser

$$P_u = 2468,93 \text{ kN}$$

$$M_u = 9201,85$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

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

$$\phi = 0,6$$

$$L = 4000 \text{ mm}$$

$$h = 1800 \text{ mm}$$

$$A_g = 24630 \text{ mm}^2$$

$$d' = 5 \text{ mm}$$

$$V_u = 2300462 \text{ N}$$

$$d = 1795 \text{ mm}$$

$$V_{c \text{ maks}} = 18772110 \text{ N}$$

$$\phi \times V_{c \text{ min}} = 11263266 \text{ N}$$

$$\beta_1 = 0.5025$$

$$\beta_2 = 1.003$$

$$\beta_3 = 1$$

$$V_{uc} = 766607 \text{ N}$$

$$V_c = 2705207 \text{ N}$$

$$\phi \times V_c = 1623124 \text{ N}$$

$$V_s = V_u / \phi$$

$$= 3834103 \text{ N}$$

Digunakan tulangan geser D 16,

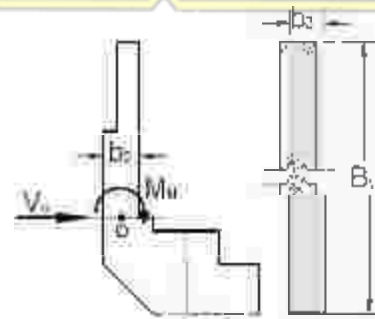
$$S_v = 100 \text{ mm}$$

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

$$A_{sv} = 1340,41 \text{ mm}^2$$

➤ **Back Wall**

a. **Back Wall Bawah**



Gambar 4.42 Back Wall

$$h = 0,6 \text{ m}$$

$$B_s = 10 \text{ m}$$

$$M_u = 621,3 \text{ kNm}$$

$$F_u = 962,713 \text{ kN}$$

Ditinjau Selebar 1 m. maka

$$M_u = 62,1302 \text{ kNm}$$

$$F_u = 96,2713 \text{ kN}$$

Tulangan Lentur

$$M_u = -62,13 \text{ kNm}$$

$$f_c = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d = 550 \text{ mm}$$

$$E_s = 20 \times 10^5$$

$$B_1 = 0,85$$

$$\rho_b = 0,042776$$

$$R_{maks} = 8,132038$$

$$\phi_{lentur} = 0,8$$

$$\phi_{geser} = 0,6$$

$$d = 550 \text{ mm}$$

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

$$M_u = -77,66 \text{ kNm}$$

$$\bar{R}_u = -0,25674 \quad (\bar{R}_u < R_{\text{maks}} \rightarrow \text{OK})$$

$$\rho = -0,00080$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,00109$$

digunakan $\rho_{\text{min}} = 0,00109$

$$A_s = 602 \text{ mm}^2$$

Digunakan D 16

$$s = 334,233 \text{ mm}$$

Digunakan D 16 – 200, $A_s = 1005 \text{ mm}^2$

Tulangan Bagi Diambil 50% Tulangan Pokok

$$A_s^* = 301 \text{ mm}^2$$

Digunakan D 13

$$s = 441,292 \text{ mm}$$

Digunakan D 13 – 200

$$A_s^* = 664 \text{ mm}^2$$

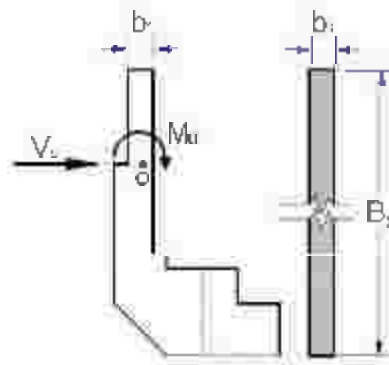
Tulangan Geser

$$V_u = 96271 \text{ N}$$

$$V_c = 494065 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 296439 \text{ N} \quad (> V_u, \text{ tidak perlu tulangan geser})$$

b. *Back Wall Atas*



Gambar 4.43 Back Wall Atas

$$h = 0,3 \text{ m}$$

$$B_y = 10 \text{ m}$$

$$M_u = 456,10 \text{ kNm}$$

$$V_u = 914,64 \text{ kN}$$

Ditinjau selebar 1 m, maka

$$M_u = 45,6105 \text{ kNm}$$

$$V_u = 91,464 \text{ kN}$$

Tulangan Lentur

$$M_u = 45,61 \text{ kNm}$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm}$$

$$E_c = 20 \times 10^5$$

$$B_1 = 0,85$$

$$\rho_b = 0,042776$$

$$R_{maks} = 8,132038$$

$$\phi_{lentur} = 0,8$$

$$\phi_{geser} = 0,6$$

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

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

$$M_u = -57,01 \text{ kNm}$$

$$R_u = -0,91221 \quad (R_u < R_{maks} \rightarrow \text{OK})$$

$$\rho = -0,00280$$

$$\rho_{min} = 0,00109$$

digunakan $\rho_{min} = 0,00109$

$$A_s = 273 \text{ mm}^2$$

Digunakan D 13

$$s = 485,421 \text{ mm}$$

Digunakan D 13 – 200. $A_s = 664 \text{ mm}^2$

Tulangan Bagi Diambil 50% Tulangan Pokok

$$A_s' = 137 \text{ mm}^2$$

Digunakan D 13

$$s' = 970,842 \text{ mm}$$

Digunakan D 13 – 200

$$A_s' = 664 \text{ mm}^2$$

Tulangan Geser

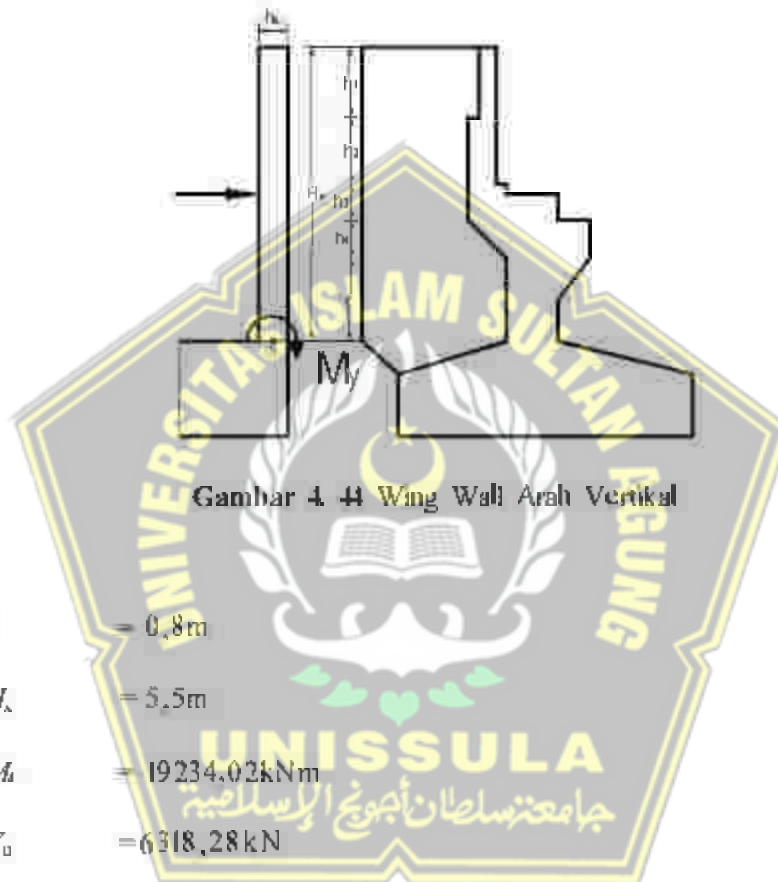
$$V_u = 914,64 \text{ N}$$

$$F_c = 224575 \text{ N}$$

$$D_v, V_c = 134745 \text{ N} \quad (M_u \text{ tidak perlu tulangan geser})$$

➤ *Wing Wall*

⌘ Tinjauan *Wing Wall* Arah Vertikal



Ditinjau selebar 1 m, maka

$$M_u = 3497,09 \text{ kNm}$$

$$V_u = 1148,778 \text{ kN}$$

Tulangan Lentur

$$M_u = 3497,09 \text{ kNm}$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 35 \text{ mm}$$

$$E_s = 20E+05$$

$$B_1 = 0,85$$

$$\mu_b = 0,042776$$

$$R_{max} = 8,132038$$

$$\phi_{lentur} = 0,8$$

$$\phi_{geser} = 0,6$$

$$d = 765 \text{ mm}$$

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

$$M_u = -4371,37 \text{ kNm}$$

$$R_n = 7,46955 \quad (R_n < R_{max} \rightarrow \text{OK})$$

$$\rho = 0,02867$$

$$\rho_{min} = 0,00125$$

$$\text{digunakan } \rho = 0,02867$$

$$A_s = 21931 \text{ mm}^2$$

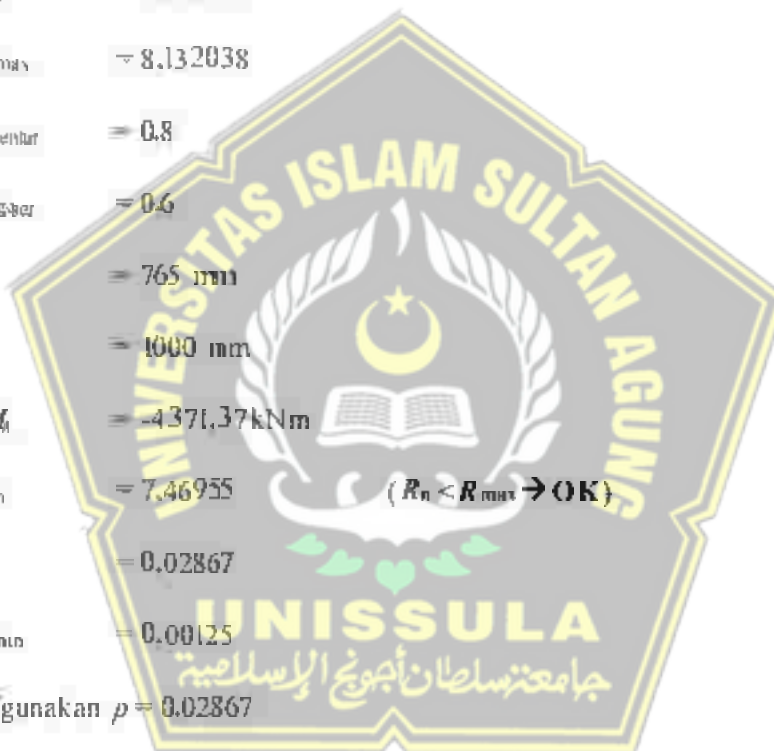
Digunakan D 32 mm

$$s = 36,672 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan D 13 - 30. } A_s = 26808 \text{ mm}^2$$

Tulangan bagi diambil 50% tulangan pokok

$$A_s' = 6579 \text{ mm}^2$$



Digunakan $D 16$

$$s^2 = 31 \text{ mm}$$

Digunakan $D 13 - 200$

$$s_s^2 = 1005 \text{ mm}^2$$

Tulangan Geser

$$V_u = 1148778 \text{ N}$$

$$V_c = 687200 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot V_c = 412320 \text{ N} \quad (< V_u \text{ per } t \text{ u tulangan geser})$$

$$\Phi \cdot V_s = 736458 \text{ N}$$

$$V_s = 1227430 \text{ N}$$

Diameter Tulangan yang digunakan $D 16$

$$s_v = 8 \text{ mm}$$

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

Tinjauan *Wing Wall* Arak Hori.sontal

$$h = 0,8 \text{ m}$$

$$H_k = 12,6 \text{ m}$$

$$M_u = 8687,64 \text{ kNm}$$

$$F_u = 6318,28 \text{ kN}$$

Ditinjau selebar 1 m , maka

$$M_u = 689,495 \text{ kNm}$$

$$F_u = 501,4509 \text{ kN}$$

Tulangan Lentur

$$M_u = 689,49 \text{ kNm}$$

$$f_c = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$d' = 35 \text{ mm}$$

$$E_s = 20 \times 10^5$$

$$B_1 = 0,85$$

$$\mu_b = 0,042776$$

$$R_{max} = 8,132038$$

$$\phi_{lentur} = 0,8$$

$$\phi_{geser} = 0,6$$

$$d = 765 \text{ mm}$$

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

$$M_n = 861,87 \text{ kNm}$$

$$R_n = 1,47271 \quad (R_n < R_{max} \rightarrow \text{OK})$$

$$\rho = 0,00475$$

$$\rho_{min} = 0,00109$$

digunakan $\rho = 0,00475$

$$A_s = 3632 \text{ mm}^2$$

Digunakan D 32 mm

$$s = 221,405 \text{ mm}$$

Digunakan D 13 - 200, $A_s = 4021 \text{ mm}^2$

Tulangan bagi diambil 50% tulangan pokok

$$A_s' = 1090 \text{ mm}^2$$

Digunakan D 13

$$s' = 122 \text{ mm}$$

Digunakan D 13 – 200

$$A_s' = 664 \text{ mm}^2$$

Tulangan Geser

$$V_u = 501451 \text{ N}$$

$$V_c = 687200 \text{ N}$$

$$\Phi \cdot V_c = 412320 \text{ N} \quad (> V_u, \text{ perlu tulangan geser})$$

$$\Phi \cdot V_s = 89131 \text{ N}$$

$$V_s = 148551 \text{ N}$$

Diameter tulangan yang digunakan D 16

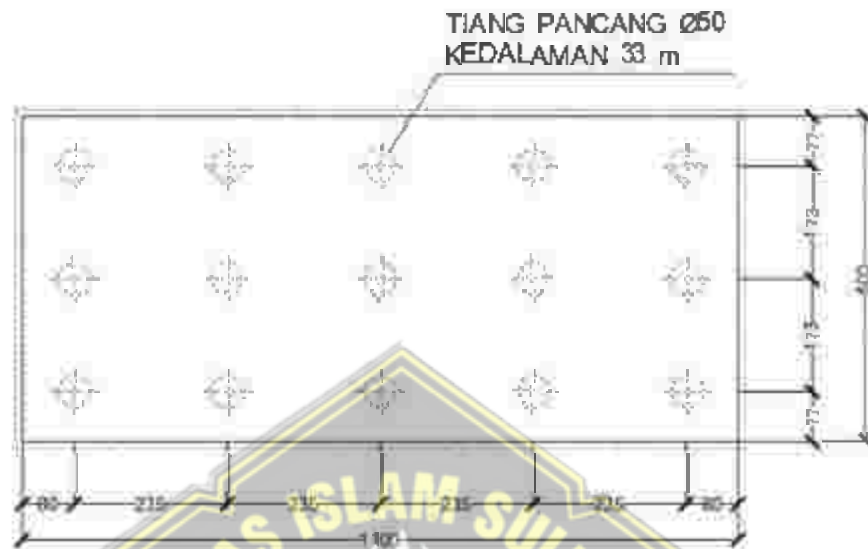
$$S_y = 200 \text{ mm}$$

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



4.5 Perancangan Pondasi Tiang Pancang

4.5.1 Perancangan Pondasi Pada Abutment



Gambar 4. 48 Denah Pondasi Pada Abutment

➤ Data Tanah

Tabel 4. 64 Data Sondir

DATA HASIL PENGUJIAN			SONDIR
No	Kedalaman		q_f (kN/m^2)
	z_1 (m)	z_2 (m)	
1	0.00	5.50	311.27
2	5.50	11.00	2918.2
3	11.00	16.50	10213.6
4	16.50	22.00	41146.4
5	22.00	27.50	7392.73
6	27.50	33.00	9386.82

➤ Data Bahan

$$D = 0.50 \text{ m}$$

$$L = 33 \text{ m}$$

$$f_c' = 50 \text{ MPa}$$

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

➤ **Tahanan Aksial Tiang Pancang**

1. Berdasarkan Kekuatan Bahan

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2$$
$$= 0,1963 \text{ m}^2$$

$$W_p = A \times L \times W_c$$
$$= 164,93 \text{ kN}$$

$$f_c' = 50000 \text{ kPa}$$

$$F_n = 0,30 \times f_c' \times A - 1,2 \times W_p$$
$$= 2747 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,60$$

Tahanan Aksial Tiang Pancang

$$\phi \times F_n = 1648,39 \text{ kN}$$

2. Berdasarkan Uji Sondir

Tahanan Ujung

$$F_b = \omega \times A_b \times q_c$$

$$D = 0,50 \text{ m}$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \times D^2$$
$$= 0,1963 \text{ m}^2$$

$$q_c = 83,417 \text{ k/g/cm}^2 \Rightarrow 8341,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\omega = 0,50$$

Tahanan Ujung Tiang Pancang

$$P_h = \omega \times A_h \times q_c$$

$$= 818,946 \text{ kN}$$

Tahanan Gesek

$$P_s = \sum [A_s \times q_f]$$

$$A_s = \pi R \times L_f$$

Tabel 4.65 Tahanan Gesek Kerucut Statis Rata – Rata

Kedalaman	L_f	A_s	q_f	P_s	
z_1 (m)	z_2 (m)	(m)	(m^2)	(kN/m^2)	(kN)
0.00	5.50	5.5	8.6394	311.27	2689.20
5.50	11.00	5.5	8.6394	2918.2	2521.13
11.00	16.50	5.5	8.6394	1021.36	8823.95
16.50	22.00	5.5	8.6394	4114.64	35547.94
22.00	27.50	5.5	8.6394	7392.73	63868.58
27.50	33.00	5.5	8.6394	9386.82	81096.29
				$P_s = \sum [A_s \times q_f] =$	194547.08

Tahanan Aksial Tiang Pancang

$$P_n = P_h + P_s$$

$$= 195366.03 \text{ kN}$$

$$\phi = 0.60$$

$$\phi \times P_n = 117219.62 \text{ kN}$$

3. Rekap Tahanan Aksial Tiang Pancang

Tabel 4.66 Rekap Tahanan Aksial Tiang Pancang

No	Uraian Tahanan Aksial Tiang Pancang	$\phi \times P_n$
1	Berdasarkan kekuatan bahan	1648.39

3	Berdasarkan hasil uji sondir (Bagemann)	117219.62
Daya dukung aksial terkecil	$\phi * P_n =$	1648.39
Diambil tahanan aksial tiang pancang	$\rightarrow \phi * P_n =$	1640.00

➤ **Tahanan Lateral Tiang Pancang**

1. **Berdasarkan Defleksi Tiang Maksimum**

Tahanan Lateral Tiang Kategori Tiang Panjang dapat dihitung dengan persamaan

$$H = \frac{y_0 \times k_h \times D}{2 \times \beta \times (e \times \beta + 1)}$$

Dengan,

$$\beta = \left[\frac{k_h \times D}{4 \times E_c \times I_c} \right]^{0.25}$$

$$D = 0.50 \text{ m}$$

$$L = 33 \text{ m}$$

$$k_h = 26720 \text{ kN/m}^3$$

$$E_c = 33234019 \text{ kN/m}^2$$

$$I_c = 0.003068 \text{ m}^4$$

$$e = 0.20 \text{ m}$$

$$y_0 = 0.006 \text{ m}$$

$$\beta = \left[\frac{k_h \times D}{4 \times E_c \times I_c} \right]^{0.25}$$

$$= 0.4254303 \text{ m}$$

$$\beta \times L = 14.04 > 2.5 \text{ maka termasuk tiang panjang (OK)}$$

$$H = \frac{y_0 \times k_h \times D}{2 \times \beta \times (e \times \beta + 1)}$$

$$= 86.82 \text{ kN}$$

$$\phi = 0.60$$

Tahanan Lateral Tiang Pancang

$$\phi \times H_n = 52,09 \text{ kN}$$

2 Rekap Tahanan Lateral Tiang Pancang

Tabel 4. 67 Rekap Tahanan Lateral Tiang Pancang

No	Uraian Tahanan Lateral Tiang Pancang	$\phi \times H_n$
1	Berdasarkan defleksi tiang maksimum (Broms)	52.09
	Tahanan lateral tiang terkecil	$\phi \times H_n = 52.09$
	Diambil tahanan lateral tiang pancang	$\phi \times H_n = 50.00$

➤ Data Bahan Pile Cap

$$f_c' = 50 \text{ MPa}$$

$$f_y (> 12 \text{ mm}) = 240 \text{ MPa}$$

$$f_y (\leq 12 \text{ mm}) = 240 \text{ MPa}$$

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

➤ Data Dimensi Pondasi

$$B_x = 1 \text{ m}$$

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

$$e = 0.80 \text{ m}$$

$$h = 1.2 \text{ m}$$

$$z = 1.5 \text{ m}$$

$$w_s = 18 \text{ kN/m}^3$$

➤ Data Beban Pondasi

$$P_{uk} = 823.01 \text{ kN}$$

$$M_{uk} = 1.28 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 24.81 \text{ kNm}$$

$$H_{ax} = 0,30 \text{ kN}$$

$$H_{ay} = 39,30 \text{ kN}$$

$$\phi * P_n = 1650 \text{ kN}$$

$$\phi * H_n = 50 \text{ kN}$$

➤ **Data Susunan Tiang Pancang**

Tabel 4.68 Susunan Tiang Pancang

Susunan tiang pancang arah x				Susunan tiang pancang arah y			
No.	Jumlah n	x (m)	n * x ² (m ²)	No.	Jumlah n	y (m)	n * y ² (m ²)
1	3	2,35	16,57	1	5	1,73	14,96
2	3	2,35	16,57	2	5	0,00	0,00
3	3	0,00	0,00	3	5	1,73	14,96
4	3	2,35	16,57				
5	3	2,35	16,57				
n =	15	$\Sigma x^2 =$	66,27	n =	15	$\Sigma y^2 =$	29,93
Lebar pilecap arah x						$L_x =$	11,00
Lebar pilecap arah y						$L_y =$	5,00

1. Gaya Aksial Pada Tiang Pancang

$$W_b = L_x \times L_y \times z \times w_b$$

$$= 1502,82 \text{ kN}$$

$$W_c = L_x \times L_y \times h \times w_c$$

$$= 1603,01 \text{ kN}$$

$$P_0 = P_{ax} + 1,2 \times W_b + 1,2 \times W_c$$

$$= 4550 \text{ kN}$$

$$x_{max} = 2,35 \text{ m}$$

$$y_{max} = 1,73 \text{ m}$$

$$x_{min} = 0 \text{ m}$$

$$y_{min} = 0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_{umax} &= P_u / n + M_{ux} \times x_{max} / \sum x^2 + M_{uy} \times y_{max} / \sum y^2 \\ &= 304,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{umin} &= P_u / n + M_{ux} \times x_{min} / \sum x^2 + M_{uy} \times y_{min} / \sum y^2 \\ &= 303,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_{umax} \leq \phi * P_n$$

$$304,81 < 1650 \rightarrow \text{AMAN}$$

2. Gaya Lateral Pada Tiang Pancang

$$\begin{aligned} h_{ux} &= H_{ux} / n \\ &= 0,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{uy} &= H_{uy} / n \\ &= 2,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{umax} &= \sqrt{(h_{ux}^2 + h_{uy}^2)} \\ &= 2,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$h_{umax} \leq \phi * H_n$$

$$2,62 < 50 \rightarrow \text{AMAN}$$

3. Tinjauan Geser Arah X

$$d' = 0,10 \text{ m}$$

$$d = h - d'$$

$$= 1,10 \text{ m}$$

$$e_x = (L_x - b_x - d) / 2$$

$$= -0,55 \text{ m}$$

$$W_1 = e_x \times L_y \times h \times w_c$$

$$= -80,15 \text{ kN}$$

$$W_2 = e_x \times L_y \times z \times w_c$$

$$= -75,141 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max}} = P_{\text{max}} - W_1 - W_2$$

$$= 460,104 \text{ kN}$$

$$b = L_y = 5000 \text{ mm}$$

$$\beta_c = b_x / b_y$$

$$= 2,2$$

Kuat geser pile cap arah x diambil nilai terkecil dari V yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$V_c = [1 + 2 / \beta_c] \times \sqrt{\frac{f_c' \times b \times d}{6 \times 10^{-3}}}$$

$$= 12522,861 \text{ kN}$$

$$V_c = [\alpha_c \times d / b + 2] \times \sqrt{\frac{f_c' \times b \times d}{12 \times 10^{-3}}}$$

$$= 35079,567 \text{ kN}$$

$$V_c = 1 \times \sqrt[3]{f_c' \times b \times d \times 10^{-3}}$$

$$= 13119,188 \text{ kN}$$

Diambil kuat geser Pile Cap $\rightarrow V_c = 12522,861 \text{ kN}$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi \times V_c = 9392,146 \text{ kN}$$

$$\phi \times V_c \geq V_{iik}$$

$$9392,146 \geq 460,104 \rightarrow \text{AMAN}$$

4. Tinjauan Geser Arah Y

$$d = 0,10 \text{ m}$$

$$d = h - d'$$

$$= 1,10 \text{ m}$$

$$e_y = y_1 + \alpha - (b_s + z_f) / 2$$

$$= -0,52 \text{ m}$$

$$W_1 = e_y \times L_s \times h_s \times w_c$$

$$= -164,736 \text{ kN}$$

$$W_2 = e_y \times L_s \times z \times w_s$$

$$= -154,440 \text{ kN}$$

$$V_{iik} = P_{iik} - W_1 - W_2$$

$$= 623,989 \text{ kN}$$

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

$$\beta_c = b_s / b$$

$$= 2,2$$

Kuat geser pilecap arah x diambil nilai terkecil dari V yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$V_c = [1 + 2 / \beta_c] \times \sqrt{\frac{f_c' \times b \times d}{6 \times 10^{-6}}}$$

$$= 27223,611 \text{ kN}$$

$$V_c = [1,6 \times d / b + 2] \times \sqrt{\frac{f_c' \times b \times d}{12 \times 10^{-6}}}$$

$$= 42779,960 \text{ kN}$$

$$V_c = 13 \times \sqrt{f'c' \times b \times d \times 10^{-3}}$$

$$= 28519,974 \text{ kN}$$

Diambil kuat geser pile cap $\rightarrow V_c = 12522,861 \text{ kN}$

$$\phi = 0,75$$

$$\phi \times V_c = 20417,708 \text{ kN}$$

$$\phi \times \sum V_{us}$$

$$20417,708 \geq 623,989 \rightarrow \text{AMAN}$$

5. Tinjauan Geser Dua Arah

$$d' = 0,10 \text{ m}$$

$$d = h - d'$$

$$= 1,10 \text{ m}$$

$$B_x = b_x + d$$

$$= 12,10 \text{ m}$$

$$B_y = b_y + d$$

$$= 6,10 \text{ m}$$

$$P_{uk} = 823,01 \text{ kN}$$

$$A_p = 2 \times (B_x + B_y) \times d$$

$$= 40,04 \text{ m}^2$$

$$b_p = 2 \times (B_x + B_y)$$

$$= 36,40 \text{ m}$$

$$\beta_c = b_x / b_y$$

$$= 2,20$$

Tegangan Geser dua arah diambil nilai terkecil dari f_p yang diperoleh dari persamaan berikut :

$$f_p = [1 + 2 / \beta_s] \times \sqrt{\frac{f_c'}{6}}$$

$$= 2,250 \text{ MPa}$$

$$f_p = [\alpha_s \times d / b_p + 2] \times \sqrt{\frac{f_c'}{12}}$$

$$= 1,891 \text{ MPa}$$

$$f_p = 1,3 \times \sqrt{f_c'}$$

$$= 2,357 \text{ MPa}$$

Tegangan geser dua arah yang disyaratkan, $f_p = 1,891 \text{ MPa}$

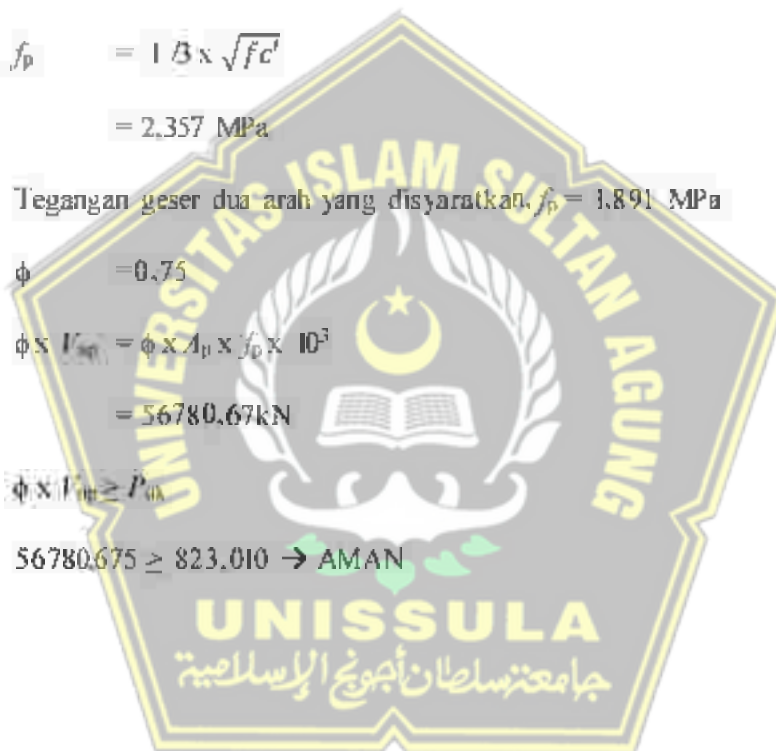
$$\phi = 0,75$$

$$\phi \times V_{req} = \phi \times A_p \times f_p \times 10^3$$

$$= 56780,67 \text{ kN}$$

$$\phi \times V_{req} \geq P_{ok}$$

$$56780,675 \geq 823,010 \rightarrow \text{AMAN}$$



BAB V

PENUTUP

Dalam penyusunan *laporan Tugas Akhir, Kesimpulan dan Saran* ini disesuaikan dengan maksud dan tujuan yang ada di BAB I sebelumnya. Kesimpulan dan *saran* mengenai hasil – hasil perhitungan dan perancangan Struktur Jembatan tersebut diuraikan secara singkat dan jelas.

5.1 Kesimpulan

Setelah melalui proses Analisa dan Perhitungan ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil berkaitan dengan perhitungan Perancangan Ulang Struktur Jembatan Prategang Tambakbulusan, yaitu :

1. Struktur Atas

- a. Memakai *Girder* (f_c 41.5 MPa) dengan Profil I Tidak Simetris dengan Tinggi 1.7m, dengan Jumlah Balok 7 buah berjarak 1.4 m antar balok.
- b. Digunakan 4 tendon pada balok dengan *Total Strand* yang digunakan yaitu 64 *strands*.
- c. Diasumsikan bagian dari Trotoar (Pelat, *Paving* dan *Kerb*) sebagai satu kesatuan dengan Tebal 25 cm dan Lebar 1 m.
- d. Penulangan Lantai Trotoar memakai Tulangan Pokok D16 – 100 dan Tulangan Bagi D13 – 150.
- e. Penulangan Pelat Lantai memakai Tulangan D16 – 225 ($A_s = 894 \text{ mm}^2$) dan digunakan Tulangan Bagi Ø12 – 250 ($A_s = 452 \text{ mm}^2$).

2. Struktur Bawah

- a. *Abutment* pada Jembatan Tambakbulusan ini terdapat 2 buah *Abutment* yang memiliki Tinggi Total 6.77 m dan Lebar Telapak *Abutment* 5x 11 m.
- b. Penulangan *Abutment* pada *Breast Wall* menggunakan Tulangan Utama 2 D28 – 100 ($A_s = 24630 \text{ mm}^2$) dan Tulangan Geser D 16 – 200 mm, *Back Wall* bawah menggunakan Tulangan Utama D 16 – 200 ($A_s = 1005 \text{ mm}^2$), *Back Wall* atas menggunakan Tulangan Utama D13 – 200 ($A_s = 664 \text{ mm}^2$), *Wing Wall* menggunakan tulangan utama D 32 – 300 ($A_s = 26808 \text{ mm}^2$).

- c. Pondasi pada Jembatan Tambakbulusan menggunakan Pondasi Jenis Tiang Pancang. Pada *Abutment* digunakan 15 buah tiang pancang dengan kedalaman 33 m.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut :

- a. Pelaksanaan dilaksanakan sesuai dengan standar dan peraturan yang telah ditetapkan (SNI).
- b. Untuk proses pelaksanaan di lapangan agar sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan maka dalam proses pelaksanaan harus memenuhi berbagai aspek yaitu Tenaga Ahli (*Man*), Biaya (*Money*), Bahan (*Material*), Metode Pelaksanaan (*Method*) dan Waktu Pelaksanaan (*Time*).
- c. Peralatan dan Material yang digunakan harus dengan Spesifikasi yang telah ditentukan di SNI untuk menghasilkan hasil yang memenuhi syarat.

Demikian Kesimpulan dan Saran yang dapat disampaikan, karena Kami sadar banyaknya kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, dengan masih kurangnya pengetahuan dan pengalaman. Terimakasih pada semua Pihak yang telah membantu Kami dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, semoga karya ini dapat bermanfaat bagi Penyusun dan bagi semua Pihak yang akan membacanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Batubara, S., & Simatupang, L. (2018). Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, 45-61.
- Budiadi, A. (2008). *Desain Praktis Beton Prategang*. Bandung: Penerbit Andi.
- Handono, B. D., & Manalip, H. (2018). Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang. *Jurnal Sipil Statik*, 67-73.
- Janizar, S., Habdullah, Setiawan, F., & Schipper, L. A. (2022). Perencanaan Jembatan Cable Stayed 200 Meter (Studi Kasus : Jembatan Cijambe Garut). *Jurnal Teknik Sipil Cendekia*, 43-59.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta: Binarupa Aksara.
- Nasional, B. S. (2011). Spesifikasi Batang Baja Mutu Tinggi Tanpa Pelapis Untuk Beton Prategang. *Badan Standar Nasional*.
- Nasional, B. S. (2016). Pembebanan Untuk Jembatan. *Badan Standar Nasional*.
- Nasional, B. S. (2016). Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. *Badan Standar Nasional*.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta.