

SKRIPSI

**PERENCANAAN BOX GIRDER PRATEGANG
STRUKTUR ATAS FLY OVER SIMPANG AIR HITAM
SAMARINDA**



DISUSUN OLEH :

**MUHAMMAD FADLI KARRAMAL
13 21 907**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
2016**

1999

THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE UNITED STATES OF AMERICA
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE UNITED STATES OF AMERICA



MEMBERSHIP LIST
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
1999

MEMBERSHIP LIST OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
1999

ABSTRAKSI

“PERENCANAAN BOX GIRDER PRATEGANG STRUKTUR ATAS FLY OVER SIMPANG AIR HITAM SAMARINDA”, Oleh : **Muhammad Fadli Karramal** (Nim : 13.21.907), Pembimbing I : Ir. Sudirman Indra, MSc. Pembimbing II : Ir. Bambang Wedyantadji, MT. Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Pertumbuhan volume kendaraan yang saat ini kian berkembang tanpa diimbangi dengan adanya dengan fasilitas jalan yang tersedia mengakibatkan kemacetan dan beragam masalah lalu lintas lainnya, sedangkan lahan yang tersedia untuk menambah fasilitas tersebut saat ini juga terbatas akibat dari pertumbuhan penduduk terutama di kota-kota besar, sehingga perlu alternatif lain untuk menyelesaikan masalah tersebut. Dan salah satu alternatif yang dapat direalisasikan adalah pembangunan fly over (jalan layang).

Pada Skripsi ini penulis merencanakan struktur dengan menggunakan penampang box girder prategang sebagai bentang utama jembatan, dengan tujuan mampu mengefisienkan kombinasi antara volume beton yang relatif lebih kecil dengan gaya prategang tendon untuk mendapatkan lendutan yang lebih kecil pada bentang utama saat daya layan. Dan dipilihnya pemasangan dengan metode pengangkatan (mobile crane) untuk mengefisienkan waktu dan daerah kerja yang tidak memerlukan wilayah yang luas. Peraturan yang penulis gunakan dalam perhitungan adalah RSNI T-02-1725-2005-Pembebanan Untuk Jembatan dan SNI 7833-2012-Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung, untuk analisa struktur menggunakan program excel, SAP2000 dan CSI Bridge sebagai alat bantu perhitungan dan kontrol. Materi pembahasan meliputi kontrol kehilangan gaya prategang, control tegangan yang terjadi, control lendutan, penulangan memanjang dan melintang, penulangan geser, dan blok ujung. Jumlah tendon yang digunakan adalah tendon jenis VSL tipe E 0,6” dengan tipe 6-43.

Hasil yang diperoleh dari perencanaan box girder prategang ialah, digunakan box girder precast segmental dengan masing masing panjang segmen 3 meter, dengan tinggi box 3 meter dan lebar 9 meter, terdiri dari slab atas dengan tebal 40 cm, slab bawah dengan tebal 40 cm, dan web setebal 50 cm, dengan adanya penebalan web pada blok ujung sebesar 90 cm sejauh 3,9 meter. Digunakan tendon VSL sebanyak 8 buah tendon dengan masing-masing terisi 43 strands, tendon dipasang pada masing-masing web. Digunakan tulangan D36 dan D19 untuk slab atas, D19 dan D13 untuk slab bawah, D19 untuk web, D16 untuk tulangan geser, D16 untuk tulangan pecah ledak, D36 untuk tulangan pecah gumpal.

Kata kunci : Fly Over, Box Girder Prategang, Tendon VSL, Tulangan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan karunia, rahmat dan hidayah-Nya yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam penyusunan Skripsi dengan judul **“PERENCANAAN BOX GIRDER PRATEGANG STRUKTUR ATAS FLY OVER SIMPANG AIR HITAM SAMARINDA”**.

Terlaksananya penyusunan Skripsi ini tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan serta saran-saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan apresiasi kepada:

1. Bapak **DR. Ir. Lalu Mulyadi, MT** selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak **Ir. H. Sudirman Indra, M.Sc** selaku dosen Pembimbing I dan Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perancangan Teknik Sipil Institut Nasional Malang yang senantiasa memberikan ilmu dan solusi selama proses penyusunan Skripsi.
3. Bapak **Ir. A. Agus Santosa, MT** selaku dosen Pembahas dan Ketua Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang yang senantiasa memberikan arahan dan penyelesaian dalam permasalahan penyusunan Skripsi.
4. Bapak **Ir. Bambang Wedyantadji, MT** selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan arahan, solusi, dan banyak ilmu dalam penyusunan Skripsi.
5. Bapak **Moh. Erfan, ST, MT** selaku dosen pembahas II yang memberikan cara dalam menyelesaikan permasalahan yang ditemui dalam proses penyusunan Skripsi.
6. Bapak **Ir. I. Wayan Mundra**, selaku kepala studio kampus Teknik Sipil, ibu **Sriliyani S.ST, MT** selaku sekretaris studio kampus Teknik Sipil, dan ibu **SUM** yang memberikan informasi maupun motivasi selama penyusunan Skripsi.
7. **Bapak dan Ibu Dosen** pengajar khususnya Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuannya selama perkuliahan yang menunjang Skripsi ini.

8. Seluruh **Staf** Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang yang telah banyak membantu dari segi administrasi dan informasi.

Akhir kata saya mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan pada penulisan laporan berikutnya di masa yang akan datang. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi pembaca pada umumnya.

Malang, 5 September 2016

Muhammad Fadli Karramal

**LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PERENCANAAN BOX GIRDER PRATEGANG
STRUKTUR ATAS FLY OVER SIMPANG AIR HITAM
SAMARINDA**

Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Pada hari : Senin

Tanggal : 15 Agustus 2016

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1*

Disusun Oleh :

MUHAMMAD FADLI KARRAMAL

13.21.907

Disahkan Oleh :

Ketua

(Ir. A. Agus Santosa, MT)

Penguji I

(Ir. A. Agus Santosa, MT)

Sekretaris

(Ir. Munasih, MT)

Penguji II

(Moh. Erfan, ST, MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2016

**LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PERENCANAAN BOX GIRDER PRATEGANG
STRUKTUR ATAS FLY OVER SIMPANG AIR HITAM
SAMARINDA**

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional Malang*

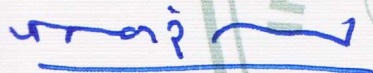
Disusun Oleh :

MUHAMMAD FADLI KARRAMAL

13.21.907

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I



(Ir. H. Sudirman Indra, M.Sc)

Dosen Pembimbing II



(Ir. Bambang Wedyantadji, MT)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



(Ir. A. Agus Santosa, MT.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2016

DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
ABSTRAKSI.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
II. LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.1.1. Bagian-bagian Fly Over	4
2.1.2. Box Girder.....	5
2.1.3. Metode Pelaksanaan	7
2.1.3.1 Proses Pengecoran.....	7
2.1.3.2 Pemilihan Metode	8
2.2. Pembebanan	10
2.2.1. Beban Tetap.....	10
2.2.1.1 Beban Sendiri.....	10
2.2.1.2 Beban Mati Tambahan	11
2.2.1.3 Pengaruh Penyusutan dan Rangkak	12
2.2.1.4 Pengaruh Prategang.....	12
2.2.2. Beban Dinamis / Beban Lalu Lintas.....	12
2.2.2.1 Beban Lajur “D”	12

2.2.2.2	Beban Truk “T”	14
2.2.2.3	Faktor Beban Dinamis	15
2.2.2.4	Beban Trotoar	15
2.2.2.5	Gaya Rem	16
2.2.3.	Beban Aksi Lingkungan	17
2.2.3.1	Gaya Angin	17
2.3.	Teori Desain Struktur Beton Prategang	19
2.3.1.	Definisi Beton Prategang	19
2.3.2.	Prinsip Dasar Beton Prategang	20
2.3.3.	Metode Prategang	22
2.3.4.	Tahap Pembebanan	23
2.3.5.	Material Beton Prategang	24
2.3.5.1	Beton	24
2.3.5.2	Baja Prategang	25
2.3.6.	Tegangan Pada Beton Prategang	26
2.3.6.1	Tegangan Ijin Beton	26
2.3.6.2	Tegangan Ijin Tendon Prategang	27
2.3.7.	Perhitungan Prategang	27
2.3.7.1	Perhitungan Gaya Prategang	27
2.3.7.2	Penentuan Jumlah Tendon	28
2.3.7.3	Penentuan Daerah Aman dan Tata Letak Tendon	28
2.3.8.	Kontrol Prategang	30
2.3.8.1	Kontrol Kehilangan Gaya Prategang	30
2.3.8.2	Kontrol Tegangan	34
2.3.8.3	Kontrol Lendutan	34
2.3.9.	Perencanaan Blok Ujung (End Block)	37
2.3.9.1	Perencanaan Tulangan Akibat Momen Pecah Ledak	37
2.3.9.2	Tulangan Anyaman	40
2.3.9.3	Kontrol Geser	41
III.	DATA LAPANGAN	43
3.1.	Data Perencanaan	43
3.2.	Metode Pelaksanaan	45
3.3.	Perencanaan Penampang Gelagar	48
3.3.1.	Dimensi Penampang Gelagar	48

3.3.2. Section Properties Box Girder	50
3.3.2.1 Penampang Balok A-A (Blok Ujung)	51
3.3.2.2 Penampang Balok B-B (Balok Tengah)	52
3.4. Perencanaan Sandaran	54
3.4.1. Perencanaan Dimensi Pipa Sandaran (Hand Rail)...	54
3.4.2. Perencanaan Tiang Sandaran	55
IV. PEMBAHASAN	60
4.1. Perhitungan Pembebanan	60
4.1.1. Beban Tetap	60
4.1.1.1 Akibat Berat Sendiri (MS)	60
4.1.1.2 Akibat Beban Mati Tambahan (MA)	62
4.1.2. Beban Dinamis / Beban Lalu Lintas	63
4.1.2.1 Akibat Beban Lajur “D” (TD)	63
4.1.2.2 Akibat Beban Hidup Trotoar (TP)	67
4.1.2.3 Akibat Gaya Rem (TB)	69
4.1.3. Beban Aksi Lingkungan	70
4.1.3.1 Akibat Beban Angin (ES)	70
4.1.4. Resume Momen dan Gaya Geser pada Box Girder	72
4.2. Tegangan Pada Beton Prategang	73
4.2.1. Tegangan Ijin Beton	73
4.2.2. Tegangan Ijin Tendon Prategang	74
4.3. Perhitungan Prategang	76
4.3.1. Perhitungan Gaya Prategang	76
4.3.2. Penentuan Jumlah Tendon	77
4.3.3. Penentuan Daerah Aman dan Tata Letak Tendon ...	78
4.3.3.1 Penentuan Daerah Aman Tendon	78
4.3.3.2 Penentuan Tata Letak Tendon	83
4.4. Kontrol Prategang	90
4.4.1. Kontrol Kehilangan Gaya Prategang	90
4.4.1.1 Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton	90
4.4.1.2 Kehilangan Akibat Rangkak Beton	91
4.4.1.3 Kehilangan Akibat Susut Beton	92
4.4.1.4 Kehilangan Akibat Relaksasi Baja	92
4.4.1.5 Total Kehilangan Prategang	93

4.4.2. Kontrol Tegangan	94
4.4.2.1 Kondisi Awal.....	94
4.4.2.2 Kondisi Setelah Kehilangan Prategang.....	97
4.4.2.3 Kondisi Setelah Beban Hidup Bekerja.....	100
4.4.2.4 Kondisi Saat Pengangkatan.....	103
4.4.3. Kontrol Lendutan.....	106
4.4.3.1 Lendutan Sesaat.....	106
4.4.3.2 Lendutan Jangka Panjang.....	108
4.5. Perhitungan Penulangan	109
4.5.1. Penulangan Melintang Box Girder.....	109
4.5.1.1 Penulangan Slab Atas	113
4.5.1.2 Penulangan Slab Bawah.....	122
4.5.1.3 Penulangan Web.....	131
4.5.2. Penulangan Geser (Sengkang) Box Girder	137
4.5.3. Penulangan Blok Ujung (End Block)	143
4.5.3.1 Penulangan Daerah Pecah Ledak	143
4.5.3.2 Penulangan Anyaman (Pecah Gumpal)	148
4.6. Perencanaan Pengangkatan.....	156
V. PENUTUP	158
5.1. Kesimpulan.....	158
5.2. Saran.....	160

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

LEMBAR PERSEMBAHAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Potongan Memanjang Fly Over	5
Gambar 2.2 Potongan Melintang Fly Over.....	5
Gambar 2.3 Bentuk Penampang Box Girder	5
Gambar 2.4 Sistem Perancah Pada Fly Over.....	8
Gambar 2.5 Sistem Balanced Kantilever Menggunakan Form Traveller	8
Gambar 2.6 Sistem Balanced Kantilever dengan Launching Gantry.....	9
Gambar 2.7 Sistem Peluncuran dengan Launching Nose	9
Gambar 2.8 Sistem Peluncuran dengan Launching Gantry.....	9
Gambar 2.9 Sistem Mobile Crane dengan Portal Hoise.....	9
Gambar 2.10 Beban Lajur “D”	13
Gambar 2.11 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang	13
Gambar 2.12 Pembebanan Truk “T”	14
Gambar 2.13 Faktor Beban Dinamis untuk BGT pada pembebanan Lajur ”D” ..	15
Gambar 2.14 Grafik Gaya Rem Per Lajur 2,75 m	16
Gambar 2.15 Gaya Angin pada Jembatan	17
Gambar 2.16 Pembagian Tegangan pada Penampang Beton	19
Gambar 2.17 Prinsip Tegangan yang Terjadi pada Beton Prategang	21
Gambar 2.18 Prinsip Gaya pada Beton Bertulang dan Prategang	21
Gambar 2.19 Prinsip Distribusi Beban pada Beton Prategang	22
Gambar 2.20 Sistem Pra Tarik.....	23
Gambar 2.21 Sistem Pasca Tarik	23
Gambar 2.22 Angker Hidup VSL Tipe E	26
Gambar 2.23 Daerah Aman dan Tata Letak Tendon	29
Gambar 2.24 Tendon Parabolis (Angker di Pusat)	35
Gambar 2.25 Tendon Parabolis (Angker Eksentris)	35
Gambar 2.26 Distribusi Tegangan pada Blok Ujung	37
Gambar 2.27 Diagram Tegangan pada Blok Ujung.....	37
Gambar 2.28 Tulangan Pecah Ledak	39
Gambar 2.29 Potongan Memanjang Tulangan Anyaman	40
Gambar 2.30 Potongan Melintang Tulangan Anyaman.....	41

Gambar 3.1 Layout Rencana Fly Over	44
Gambar 3.2 Desain Penampang Melintang Rencana Fly Over.....	45
Gambar 3.3 Desain Penampang Memanjang Rencana Fly Over	45
Gambar 3.4 Proses Penyambungan Segmen Girder dengan Epoksi	46
Gambar 3.5 Portal Hoise.....	46
Gambar 3.6 Proses Pengangkatan Girder pada Portal Hoise	47
Gambar 3.7 Penempatan Portal Hoise pada Bentang Utama Fly Over	47
Gambar 3.8 Desain Rencana Box Girder Prategang	49
Gambar 3.9 Potongan Memanjang Box Girder.....	50
Gambar 3.10 Potongan A – A (Blok Ujung).....	50
Gambar 3.11 Potongan B – B (Balok Tengah)	52
Gambar 3.12 Diagram Momen Pipa Sandaran	54
Gambar 3.13 Gaya pada Tiang Sandaran	55
Gambar 3.14 Penulangan Tiang Sandaran.....	59
Gambar 4.1 Pembebanan Akibat Berat Sendiri	60
Gambar 4.2 Diagram Momen dan Gaya Akibat Berat Sendiri	61
Gambar 4.3 Pembebanan Akibat Beban Mati Tambahan.....	62
Gambar 4.4 Diagram Momen dan Gaya Akibat Beban Mati Tambahan	63
Gambar 4.5 Beban Terbagi Rata (BTR)	63
Gambar 4.6 Beban Garis (BGT).....	64
Gambar 4.7 Pembebanan Akibat Beban Hidup Trotoar.....	67
Gambar 4.8 Diagram Momen dan Gaya Akibat Beban Hidup Trotoar.....	68
Gambar 4.9 Pembebanan Akibat Gaya Rem	69
Gambar 4.10 Pengaruh Gaya Rem pada Box Girder	69
Gambar 4.11 Gaya Angin yang Terjadi pada Box Girder	70
Gambar 4.12 Daerah Aman Tendon.....	81
Gambar 4.13 Tata Letak Tendon pada Blok Ujung dan Tengah	82
Gambar 4.14 Titik Berat Tendon (c.g.s).....	88
Gambar 4.15 Tata Letak Tendon	89
Gambar 4.16 Diagram Tegangan Kondisi Awal pada Titik B	95
Gambar 4.17 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Titik B ...	98
Gambar 4.18 Diagram Tegangan Setelah Beban Hidup Bekerja pada Titik B ..	101
Gambar 4.19 Diagram Tegangan Saat Pengangkatan pada Titik B	104

Gambar 4.20 Lendutan yang Terjadi pada Box Girder.....	106
Gambar 4.21 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Kondisi 1.....	110
Gambar 4.22 Momen pada Penampang Melintang Kondisi 1.....	110
Gambar 4.23 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Kondisi 2.....	111
Gambar 4.24 Momen pada Penampang Melintang Kondisi 2.....	111
Gambar 4.25 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Kondisi 3.....	112
Gambar 4.26 Momen pada Penampang Melintang Kondisi 3.....	112
Gambar 4.27 Lendutan Terjadi pada Slab Atas.....	116
Gambar 4.28 Denah Rencana Penulangan Slab Atas	121
Gambar 4.29 Lendutan Terjadi pada Slab Bawah	125
Gambar 4.30 Denah Rencana Penulangan Slab Bawah.....	130
Gambar 4.31 Denah Rencana Penulangan Web	135
Gambar 4.32 Penulangan Melintang Box Girder	136
Gambar 4.33 Momen pada Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 2.....	137
Gambar 4.34 Gaya Geser Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 2	138
Gambar 4.35 Momen pada Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 1	138
Gambar 4.36 Gaya Geser Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 1	138
Gambar 4.37 Rencana Penulangan Senggang	142
Gambar 4.38 Rencana Blok Ujung (End Block)	143
Gambar 4.39 Diagram Tegangan Tekan Uniform	144
Gambar 4.40 Diagram Tegangan yang Bekerja pada Blok Ujung	144
Gambar 4.41 Penulangan Pecah Ledak.....	153
Gambar 4.42 Penulangan Anyaman (Pecah Gumpal) Arah Melintang	154
Gambar 4.43 Penulangan Anyaman (Pecah Gumpal) Arah Memanjang	154
Gambar 4.44 Penulangan Daerah End Block Arah Memanjang	155
Gambar 4.45 Beban Merata pada Proses Pengangkatan	156
Gambar 4.46 Spesifikasi Portal Hoise	157

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tebal Minimum Sayap Atas.....	6
Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Berat Sendiri.....	10
Tabel 2.3 Berat Isi dan Kerapatan Massa untuk Berat Sendiri	11
Tabel 2.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan.....	11
Tabel 2.5 Faktor Beban Lajur “D”	13
Tabel 2.6 Faktor Beban untuk Beban Truk “T”	14
Tabel 2.7 Faktor Beban untuk Beban Trotoar / Pejalan Kaki.....	15
Tabel 2.8 Faktor Beban untuk Gaya Rem.....	16
Tabel 2.9 Faktor Beban untuk Beban Angin.....	17
Tabel 2.10 Koefisien Seret Cw.....	18
Tabel 2.11 Kecepatan Angin Rencana.....	18
Tabel 2.12 Dimensi Angker VSL Tipe E.....	26
Tabel 2.13 Nilai K_{sh} untuk Komponen Struktur Pasca - Tarik.....	32
Tabel 2.14 Nilai K_{RE} dan J	33
Tabel 2.15 Nilai C	33
Tabel 2.16 Faktor Pengali untuk Lendutan Jangka Panjang	36
Tabel 3.1 Dimensi Box Girder	49
Tabel 3.2 Section Properties Blok Ujung	51
Tabel 3.3 Section Properties Balok Tengah.....	52
Tabel 4.1 Momen dan Gaya Lintang Akibat Berat Sendiri	61
Tabel 4.2 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Mati Tambahan	63
Tabel 4.3 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Lajur.....	67
Tabel 4.4 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Hidup Trotoar.....	68
Tabel 4.5 Momen dan Gaya Lintang Akibat Gaya Rem	70
Tabel 4.6 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Angin	72
Tabel 4.7 Resume Momen Maksimum pada Box Girder	72
Tabel 4.8 Resume Gaya Geser Maksimum pada Box Girder	73
Tabel 4.9 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal.....	78
Tabel 4.10 Koordinat Daerah Aman Keadaan Setelah Kehilangan Tegangan	79
Tabel 4.11 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Setelah Beban Mati Total....	79

Tabel 4.12 Koordinat Daerah Aman Keadaan Setelah Beban Kombinasi Total..	80
Tabel 4.13 Koordinat Tendon 1 & 2	84
Tabel 4.14 Koordinat Tendon 3 & 4	85
Tabel 4.15 Koordinat Tendon 5 & 6	85
Tabel 4.16 Koordinat Tendon 7 & 8	86
Tabel 4.17 Titik Berat Tendon (z) Terhadap Sisi Bawah.....	87
Tabel 4.18 Kontrol Tegangan pada Kondisi Awal.....	96
Tabel 4.19 Kontrol Tegangan Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang.....	99
Tabel 4.20 Kontrol Tegangan pada Kondisi Setelah Beban Hidup Bekerja	102
Tabel 4.21 Kontrol Tegangan pada Saat Pengangkatan.....	105
Tabel 4.22 Penulangan Melintang Box Girder yang Digunakan	135
Tabel 4.23 Penulangan Sengkang Box Girder yang Digunakan.....	141
Tabel 4.24 Spesifikasi Portal Hoise	156

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan volume kendaraan yang saat ini kian berkembang tanpa diimbangi dengan adanya dengan fasilitas jalan yang tersedia mengakibatkan kemacetan dan beragam masalah lalu lintas lainnya, sedangkan lahan yang tersedia untuk menambah fasilitas tersebut saat ini juga terbatas akibat dari pertumbuhan penduduk terutama di kota-kota besar, sehingga perlu alternative lain untuk menyelesaikan masalah diatas.

Salah satu alternative yang dapat direalisasikan untuk mengatasi masalah diatas adalah pembangunan fly over (jalan layang). Fly over adalah suatu konstruksi jalan yang dibangun diatas jalan lain. Dalam perencanaan dan perancangan struktur fly over sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi : Aspek lalu lintas, Aspek teknis, Aspek estetika. ¹⁾

Kota Samarinda salah satu kota yang kini menerapkan pembangunan fly over sebagai solusi atas masalah kemacetan yang semakin krusial. Dari beberapa titik perencanaan fly over yang direncanakan, salah satunya ialah simpang air hitam yang merupakan salah satu pusat kemacetan karena selain jalur utama kota juga merupakan akses menuju kota lain (Tenggarong, Bontang, dll). Fly over yang akan menghubungkan Jalan A.W Syahrani dan Jalan Juanda ini direncanakan sepanjang 643 meter, memiliki bentang utama ± 60 m, lebar jalan 9 m, dengan ketinggian 5,2 m dari jalan dibawahnya (underpass) menggunakan konstruksi gelagar girder “T” dari beton prategang sebagai gelagar utama.

Dipilihnya gelagar dengan tipe gelagar kotak (box girder) adalah karena ketahanannya terhadap beban torsi dan memiliki nilai estetika yang lebih tinggi dibandingkan gelagar lain yang penggunaannya telah banyak

¹⁾ Supriyadi dan Muntohar, “Jembatan”, Beta Offset, 2007, hal. 26

diterapkan di wilayah Samarinda .

Sehingga diharapkan perencanaan Fly Over simpang air hitam kota Samarinda dapat menjadi inovasi terhadap pengembangan konstruksi dan solusi untuk pengurai kemacetan yang signifikan bagi kota Samarinda.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam perencanaan struktur atas bentang utama fly over simpang air hitam kota Samarinda memiliki permasalahan-permasalahan yaitu :

1. Berapa dimensi dan desain komponen struktur atas dan box girder prategang yang digunakan,
2. Berapa jumlah dan konfigurasi tendon serta tulangan yang digunakan,
3. Berapa besar tegangan dan lendutan yang terjadi pada box girder prategang,

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penyusunan laporan ini adalah merencanakan struktur atas fly over simpang air hitam kota Samarinda yang aman dan efektif.

Tujuan dari penyusunan proposal ini adalah :

1. Merencanakan detail komponen struktur atas dan desain box girder prategang fly over,
2. Merencanakan tulangan prategang dan non prategang serta kebutuhan dan tata letak tendon,
3. Merencanakan box girder yang mampu menahan tegangan dan lendutan akibat beban dan gaya yang bekerja,

1.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan dalam perhitungan struktur, maka akan diberikan beberapa batasan masalah yaitu :

1. Hanya merencanakan struktur atas fly over,
2. Menggunakan box girder prategang sebagai gelagar utama dan tendon VSL ,
3. Menggunakan RSNI T-02-2005 untuk acuan pembebanan, SNI 2847:2013 untuk beton dan tulangan penulangan non prategang, dan SNI 7833:2012 untuk acuan prategang,
4. Menggunakan teori kekuatan batas (ultimit) pada perhitungan pembebanan dan teori elastis sebagai kontrol dan perencanaan prategang.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Fly over adalah suatu struktur bangunan yang termasuk struktur bangunan jembatan, dimana juga memiliki bagian-bagian yang sama dengan jembatan. Seperti approach, bentang utama, bangunan bawah, bangunan atas dan berbagai kelengkapan lainnya.

2.1.1 Bagian - Bagian Fly Over

a. Bangunan Bawah (Sub Structure)

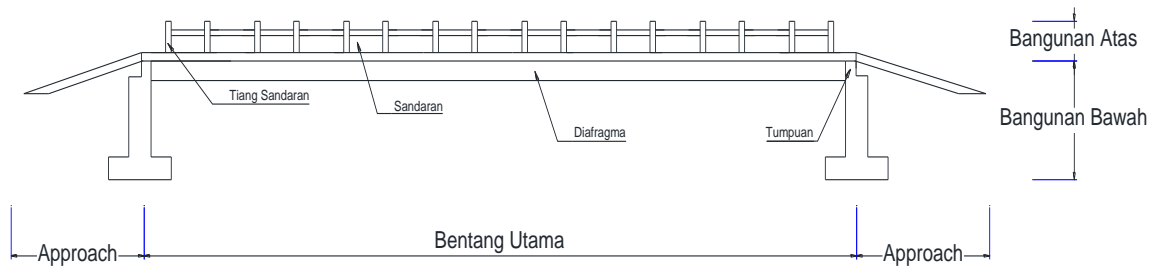
Fungsi utama bangunan bawah adalah memikul beban – beban pada bangunan atas dan pada bangunan bawahnya sendiri untuk disalurkan ke pondasi. Yang selanjutnya beban – beban tersebut oleh pondasi disalurkan ke tanah dasar.

b. Bangunan Atas (Super Structure)

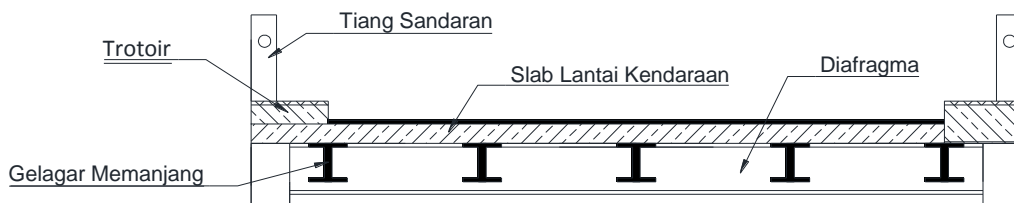
Fungsi utama bangunan atas adalah menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki, dll.

Struktur atas fly over umumnya meliputi:

1. Trotoar:
 - a. Sandaran dan tiang sandaran,
 - b. Peninggian trotoar (Kerb),
 - c. Slab lantai trotoar.
2. Slab lantai kendaraan,
3. Gelagar (Girder),
4. Balok diafragma,
5. Ikatan pengaku (ikatan angin, ikatan melintang),
6. Tumpuan (bearing).



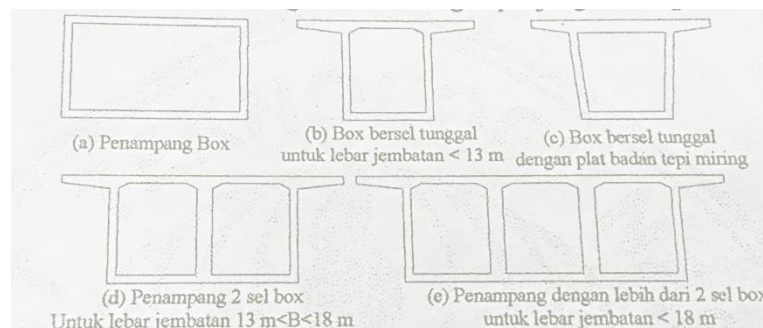
Gambar 2.1. Potongan Memanjang Fly Over



Gambar 2.2. Potongan Melintang Fly Over

2.1.2 Box Girder

Jembatan gelagar kotak (box girder) tersusun dari gelagar longitudinal dengan sayap (slab) di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (hollow) atau gelagar kotak. Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan bentang – bentang panjang. Bentang sederhana sepanjang 40 ft (± 12 m) menggunakan tipe ini, tetapi biasanya bentang gelagar kotak lebih ekonomis antara 60-100 ft ($\pm 18 - 30$ m) dan biasanya didesain sebagai struktur menerus diatas pilar. Gelagar kotak beton prategang dalam desain biasanya lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang ± 300 ft (± 100 m). Keutamaan gelagar kotak adalah pada tahanan terhadap beban torsi.²⁾



Gambar 2.3. Bentuk Penampang Box Girder

Adapun pedoman dalam pemilihan tampang penampang melintang gelagar diberikan oleh Podolny & Muller (1982), sebagai berikut:

1. Lebar jembatan

Untuk gelagar kotak tunggal, lebar jembatan tidak lebih dari 13 meter

Jarak Web = 4 – 7,5 meter

Panjang Bagian kantilever = $\frac{1}{4}$. Lebar Gelagar

2. Tebal Web

Tebal web minimum diambil sebagai berikut :

- a) 200 mm, jika tidak terdapat tendon pada web
- b) 250 mm, jika terdapat duct kecil baik vertikal maupun longitudinal
- c) 300 mm, jika digunakan tendon dengan strand 12,5 mm
- d) 350 mm, jika tendon diangkurkan pada web

2. Tebal Sayap Atas

Tebal minimum untuk sayap atas yang didasarkan pada panjang bentang antar web adalah:

Tabel 2.1 Tebal Minimum Sayap Atas

Bentang antar web	Tebal minimum sayap atas
Kurang dari 3 m	175 mm
Antara 3 sampai 4,5 m	200 mm
Antara 4,5 sampai 7,5 m	250 mm
Lebih dari 7,5 m	Digunakan sistem rib atau hollow slab

Sumber: Jembatan; Bambang Supriyadi dan Muntohar; hal 109

4. Tebal Sayap Bawah
 - a) 175 mm, jika duct tidak diletakkan pada sayap
 - b) 200 – 250 mm, jika duct diletakkan pada sayap
5. Rasio Tinggi Terhadap Bentang

Rasio tinggi terhadap bentang dapat digunakan dengan pendekatan $h/L = 1/15 \sim 1/30$ dengan nilai optimum sebesar $h/L = 1/18 \sim 1/20$

2.1.3 Metode Pelaksanaan

2.1.3.1 Proses Pengecoran

Proses pengecoran bangunan atas jembatan beton, berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi, dan untuk mempercepat pelaksanaan serta mengurangi limbah, metode pelaksanaan berkembang menuju sistem precast.

Proses pengecoran antara lain: ³⁾

1. Cast insitu / Cast Inplace, bangunan atas jembatan dicor di tempat dengan bantuan perancah, baik yang terletak di atas tanah maupun yang terletak pada suatu struktur bantu.
2. Precast, bagian bangunan atas dicor di pabrik / lokasi khusus pengecoran, kemudian diangkat dan dipasang pada posisinya sesuai gambar desain.
3. Campuran, sebagian bangunan atas jembatan dicor dengan system precast dan sebagian dicor ditempat sehingga beton tersebut menjadi satu kesatuan struktur. Dalam hal ini biasanya beton precast mendominasi.

Jembatan dengan bentang panjang, struktur tidak mungkin dibuat sekaligus (*cast inplace* maupun *precast*). Untuk mengatasi hal tersebut pelaksanaannya menggunakan sistem free cantilever atau sistem launching.

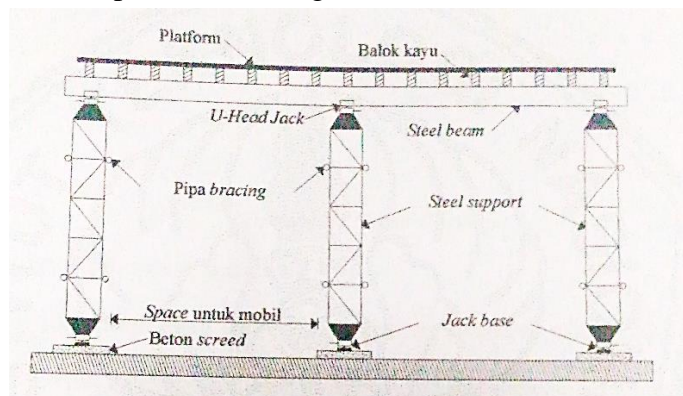
³⁾ Asriyanto, "Metode Konstruksi Jembatan Beton", UIP, Jakarta, 2005, hal 3-4

2.1.3.2 Pemilihan Metode

Secara Prinsip metode pemasangan bangunan atas jembatan beton, sama dengan jembatan rangka baja, yaitu melalui cara sebagai berikut : ⁴⁾

- Sistem Perancah (*Falsework*)

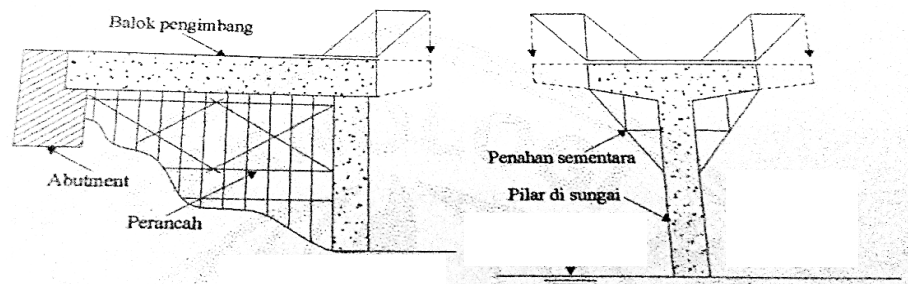
Balok jembatan dicor (*cast in place*) atau dipasang (*precast*), diatas landasan yang didukung sepenuhnya oleh system perancah, kemudian setelah selesai perancah dibongkar.



Gambar 2.4. Sistem Perancah pada Fly Over

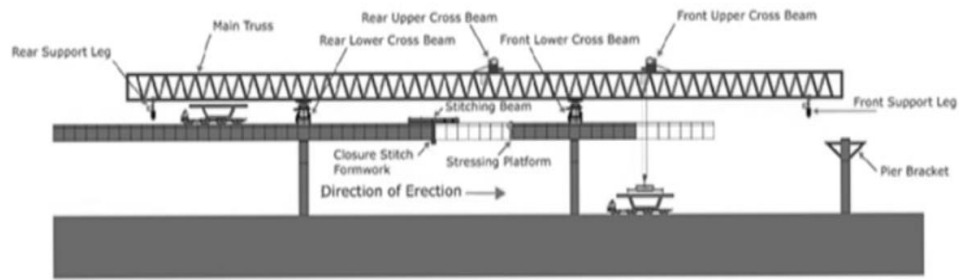
- Sistem Kantilever

Balok jembatan dicor (*cast in place*) atau dipasang (*precast*) segmen demi segmen sebagai kantilever di kedua sisi agar saling mengimbangi (*balance*) atau satu sisi dengan pengimbang balok beton yang dilaksanakan terlebih dahulu.



Gambar 2.5. Sistem Balanced Kantilever Menggunakan Form Traveller

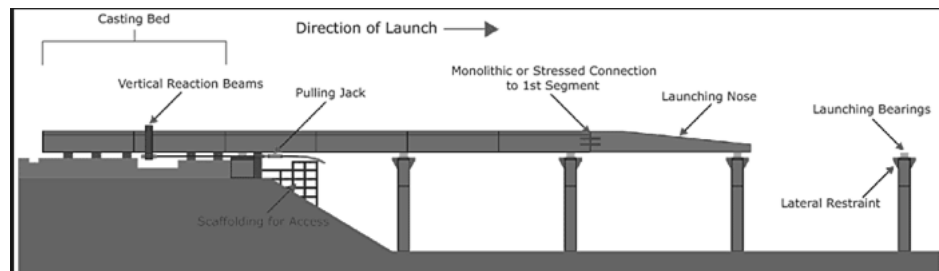
⁴⁾ Asriyanto, "Metode Konstruksi Jembatan Beton", UIP, Jakarta, 2005, hal 21-23



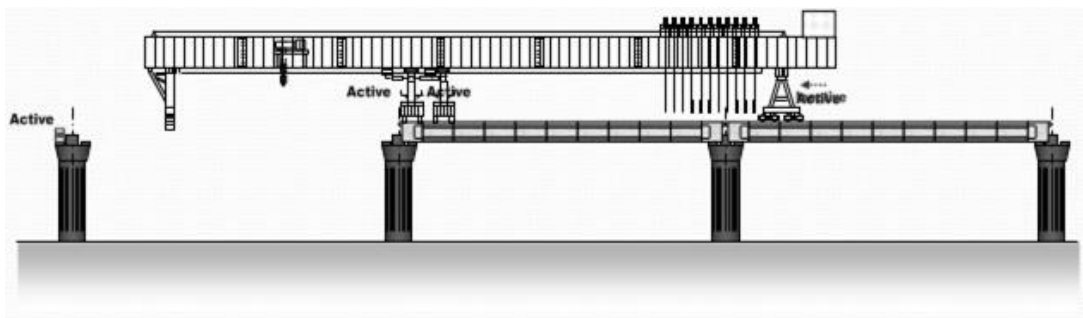
Gambar 2.6. Sistem Balanced Kantilever dengan Launching Gantry

- Sistem Peluncuran (*Launching*)

Balok jembatan dicor disatu sisi jembatan, kemudian diluncurkan dengan cara ditarik / didorong hingga mencapai sisi lain jembatan dengan bantuan *launching*, *gantry*, atau dua buah crane yang bekerja secara bersamaan.

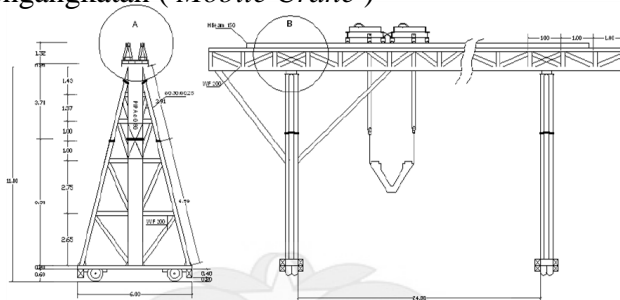


Gambar 2.7. Sistem Peluncuran dengan Launching nose



Gambar 2.8. Sistem Peluncuran dengan Launching Gantry

- Sistem Pengangkatan (*Mobile Crane*)



Gambar 2.9. Sistem Mobile Crane dengan Portal Hoise

Berbagai sistem tersebut merupakan alternatif untuk dipilih yang paling mungkin / aman / efisien, dengan cara pemilihan sistem yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan bangunan dan kondisi desain bangunan itu sendiri. Keunggulan sistem precast sendiri antara lain : waktu pelaksanaan lebih singkat, mutu terjamin, tidak menimbulkan limbah, memacu perkembangan teknologi alat konstruksi. Sedangkan kelemahannya adalah memerlukan alat angkat yang relatif besar, dan ketelitian dimensi.

2.2 Pembebanan

Peraturan khusus untuk pembebanan jembatan di setiap negara kemungkinan akan berbeda antara negara yang satu dengan negara lainnya seperti JIS di Jepang , AASHTO di Amerika Serikat, BI di Inggris.

Pada perencanaan jembatan ini, semua beban dan gaya yang bekerja pada konstruksi dihitung berdasarkan : “RSNI T-02-2005” yang merupakan revisi dari “SNI 03-1725-1989”. Sehingga beban-beban yang dipakai dalam perhitungan adalah :

2.2.1 Beban Tetap

2.2.1.1. Berat Sendiri

Adapun beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk unsur tambahan dalam perencanaan.

Tabel 2.2. Faktor Beban untuk berat sendiri

Jangka waktu	Load factor / Faktor beban		
	Bahan	$K^{U_{MS}}$	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, Alumunium	1.1	0.9

	Beton Pracetak	1.2	0.85
	Beton dicor ditempat	1.3	0.75
	Kayu	1.4	0.7

Sumber : *Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 10*

Tabel 2.3. Berat isi dan kerapatan massa untuk berat sendiri

Bahan	Berat/ Satuan isi (kN/m³)
Beton Ringan	12.25 – 19.6
Beton (Tak Bertulang)	22.0 – 25.0
Beton Prategang	25.0 – 26.0
Beton Bertulang	23.5 – 25.5

Sumber : *Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 11*

2.2.1.2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh badan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

Tabel 2.4. Faktor beban untuk beban mati tambahan

Jangka waktu	Load factor / Faktor beban	
	Keadaan	K^U_{MA}
		Biasa

Tetap	Keadaan Umum	2	0.7
	Keadaan Khusus	1.4	0.8

Sumber : Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 12

2.2.1.3. Pengaruh Penyusutan dan Rangkak

Pengaruh penyusutan dan rangkak harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton dengan menggunakan beban mati dari jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka harga dari rangkak dan penyusutan harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang). Faktor beban = 1.0

2.2.1.4. Pengaruh Prategang

Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban – beban lain. Faktor beban ultimit = 1.0 (1.15 pada saat prapenegangan).

2.2.2. Beban Dinamis / Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

2.2.2.1. Beban lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Beban terbagi rata BTR mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L sebagai berikut

$$L < 30 \text{ m} ; q = 9.0 \text{ kPa}$$

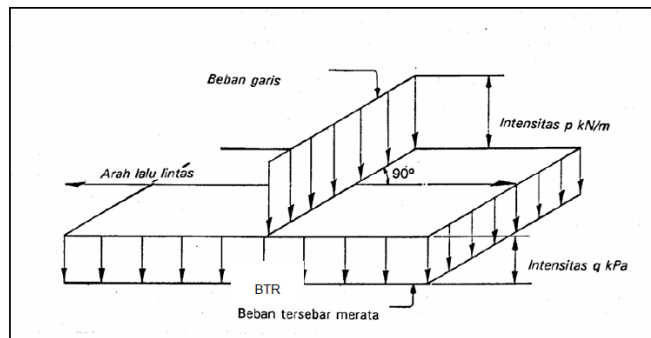
$$L > 30 \text{ m} ; q = 9.0 [0.5 + 15 / L] \text{ kPa}$$

Beban garis BGT dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas $P = 49.0$ kN/m. Beban “D” harus ditempatkan pada dua jalur lalu lintas rencana yang berdekatan untuk lebar lebih besar Dari 5,5 m dan bekerja dengan intensitas 100% selebar 5,5 m dan sisa jalan bekerja 50 %.

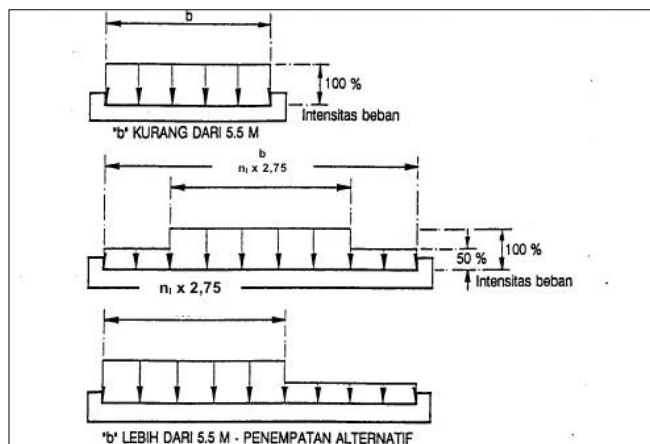
Tabel 2.5. Faktor Beban lajur “D”

Jangka waktu	Load factor / Faktor beban
Transien	1.8

Sumber : Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 17



Gambar 2.10. Beban Lajur “D”



Gambar 2.11. Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

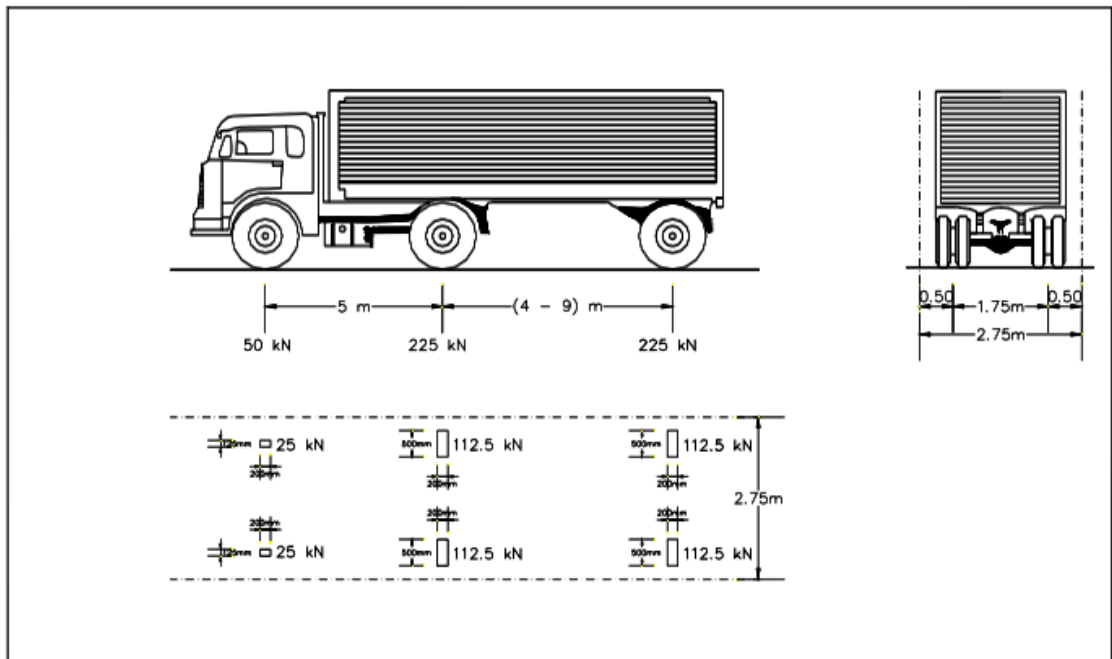
2.2.2.2. Beban truk “T”

Beban truk “T” adalah suatu beban kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Ukuran-ukuran serta kedudukan seperti pada gambar diatas. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4.0 m sampai 9.0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Tabel 2.6. Faktor beban untuk beban truk “T”

Jangka waktu	Load factor / Faktor beban
Transien	1.8

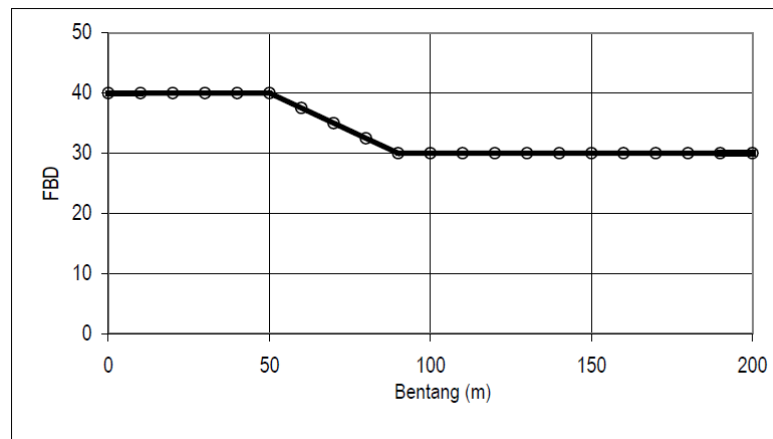
Sumber : *Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 22*



Gambar 2.12. Pembebanan Truk “T”

2.2.2.3. Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan merupakan iteraksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Untuk truk “T” nilai FBD adalah 0.3. Untuk “BGT” nilai FBD diberikan dalam gambar berikut :



Gambar 2.13. Faktor Beban Dinamis Untuk BGT untuk Pembebanan Lajur “D”

2.2.2.4. Beban trotoar

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyebrangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk memikul $5 \text{ kPa} = 500 \text{ kg/m}^2$.

Tabel 2.7. Faktor beban untuk beban trotoar / untuk pejalan kaki

Jangka waktu	Load factor / Faktor beban
Transien	1.8

Sumber : Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 27

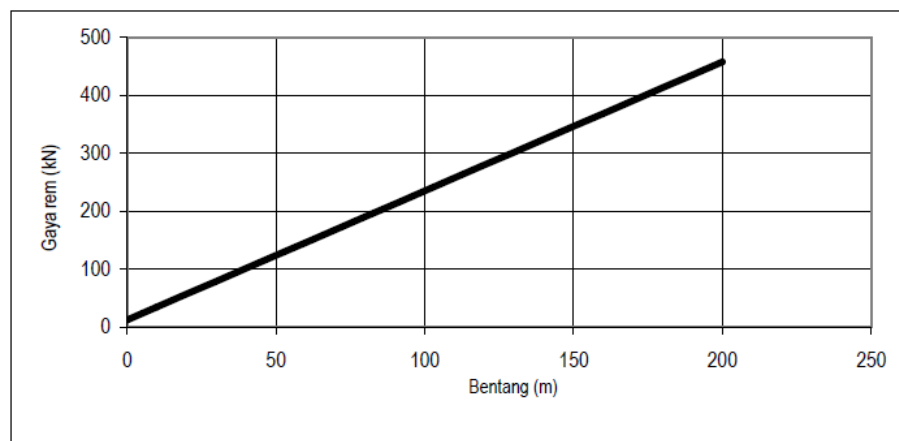
2.2.2.5. Gaya rem

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem, harus ditinjau. Pengaruh gaya ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban “D” tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada, dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,80 meter di atas permukaan lantai kendaraan.

Tabel 2.8. Faktor Beban untuk gaya rem

Jangka waktu	Load factor / Faktor beban
Sementara	1.8

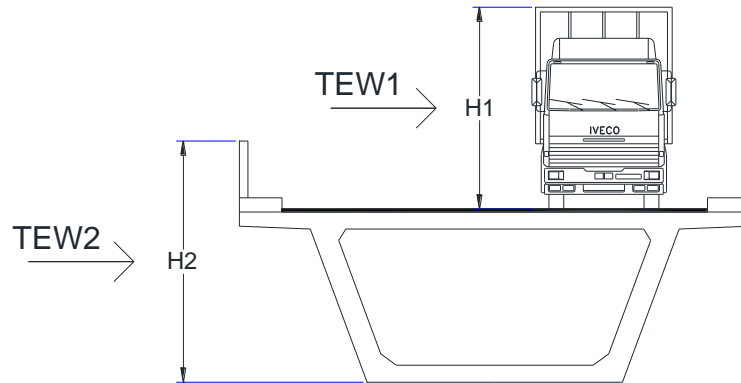
Sumber : *Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 25*



Gambar 2.14. Grafik Gaya Rem Per Lajur 2.75 m

2.2.3. Beban Aksi Lingkungan

2.2.3.1. Gaya Angin



Gambar 2.15. Gaya angin pada jembatan

Gaya nominal ultimate dari gaya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut :

$$Tew_2 = 0.0006 \cdot Cw \cdot (Vw)^2 \cdot Ab$$

Dimana :

Vw = Kecepatan angin rencana (m/dt)

Cw = Koefisien seret

Ab = Luasan koefisien bagian samping jembatan (m^2)

Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus :

$$Tew_1 = 0.0012 \cdot Cw \cdot (Vw)^2 \cdot Ab$$

Tabel 2.9. Faktor beban untuk beban angin

Jangka waktu	Load factor / Faktor beban
Transien	1.2

Sumber : Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 36

Tabel 2.10. Koefisien Seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan Atas Masif	
$b/d = 1,0$	2,1
$b/d = 2,0$	1,5
$b/d \geq 6,0$	1,25
Bangunan Atas Rangka	1,2

Sumber : Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 37

Dimana : b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran

d = Tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran

Untuk harga antara dari b/d dapat diinterpolasi linear

Tabel 2.11. Kecepatan Angin Rencana

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

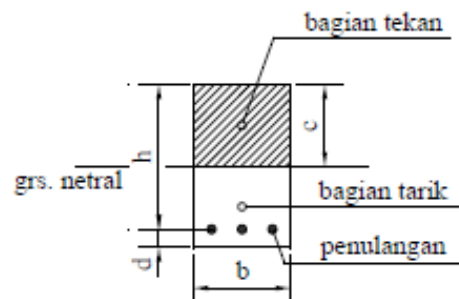
Sumber : Pembebanan Untuk Jembatan; RSNI T-02-2005; hal : 37

2.3 Teori Desain Struktur Beton Prategang

2.3.1 Definisi Beton Prategang

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang telah diberikan tegangan-tegangan dalam, dalam jumlah dan distribusi tertentu sehingga dapat menetralsir sejumlah tertentu tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh beban luar sesuai dengan yang direncanakan. Proses prategang memberikan tegangan tekan dalam beton. Gaya prategang ini berupa tendon yang diberikan tegangan awal sebelum memikul beban kerjanya yang berfungsi mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja serta menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

Seperti yang telah diketahui bahwa beton adalah suatu material yang tahan terhadap tekanan, akan tetapi tidak tahan terhadap tarikan. Sedangkan baja adalah suatu material yang sangat tahan terhadap tarikan. Dengan mengkombinasikan antara beton dan baja dimana beton yang menahan tekanan sedangkan tarikan ditahan oleh baja akan menjadi material yang tahan terhadap tekanan dan tarikan yang dikenal sebagai beton bertulang (reinforced concrete). Jadi pada beton bertulang, beton hanya memikul tegangan tekan, sedangkan tegangan tarik dipikul oleh baja sebagai penulangan (rebar). Sehingga pada beton bertulang, penampang beton tidak dapat efektif 100 % digunakan, karena bagian yang tertarik tidak diperhitungkan sebagai pemikul tegangan.



Gambar 2.16. Pembagian tegangan pada penampang beton

Pada sketsa gambar diatas adalah penampang beton bertulang dimana penampang beton yang diperhitungkan untuk memikul tegangan tekan adalah

bagian diatas garis netral (bagian yang diarsir), sedangkan bagian dibawah garis netral adalah bagian tarik yang tidak diperhitungkan untuk memikul gaya tarik karena beton tidak tahan terhadap tegangan tarik.

Gaya tarik pada beton bertulang dipikul oleh besi penulangan (rebar). Kelemahan lain dari konstruksi beton bertulang adalah berat sendiri (self weight) yang besar, yaitu 2.400 kg/m³. Untuk mengatasi ini pada beton diberi tekanan awal sebelum beban-beban bekerja, sehingga seluruh penampang beton dalam keadaan tertekan seluruhnya, inilah yang kemudian disebut beton pratekan atau beton prategang (prestressed concrete).

Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton pratekan:

1. Beton bertulang :

Cara bekerja beton bertulang adalah mengkombinasikan antara beton dan baja tulangan dengan membiarkan kedua material tersebut bekerja sendiri-sendiri, dimana beton bekerjamemikul tegangan tekan dan baja penulangan memikul tegangan tarik. Jadi dengan menempatkan penulangan pada tempat yang tepat, beton bertulang dapat sekaligus memikul baik tegangan tekan maupun tegangan tarik.

2. Beton pratekan :

Pada beton pratekan, kombinasi antara beton dengan mutu yang tinggi dan baja bermutu tinggi dikombinasikan dengan cara aktif, sedangkan beton bertulang kombinasinya secara pasif. Cara aktif ini dapat dicapai dengan cara menarik baja dengan menahannya ke beton, sehingga beton dalam keadaan tertekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja tegangan tarik yang terjadi dapat di-eliminir oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja.

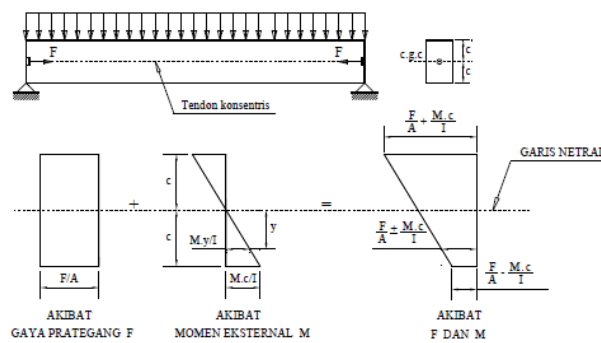
2.3.2 Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton pratekan dapat didefinisikan sebagai beton yang diberikan tegangan tekan internal sedemikian rupa sehingga dapat meng-eliminir tegangan tarik yang terjadi akibat beban eksternal sampai suatu batas tertentu.

Ada 3 (tiga) konsep yang dapat di pergunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton pratekan atau prategang : ⁵⁾

1. Konsep Pertama :

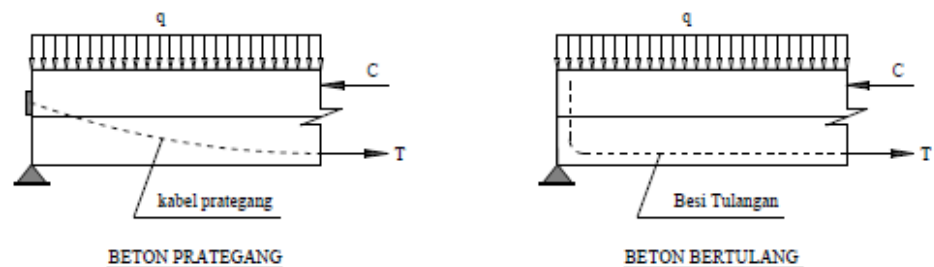
Sistem pratekan/prategang untuk mengubah beton yang getas menjadi bahan yang elastis. Eugene Freysinett menggambarkan dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (pratekan) pada bahan beton yang pada dasarnya getas akan menjadi bahan yang elastis. Dengan memberikan tekanan (dengan menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, akibat adanya tekanan internal ini dapat memikul tegangan tarik akibat beban eksternal.



Gambar 2.17 Prinsip Tegangan yang Terjadi pada Beton Prategang

2. Konsep Kedua :

Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi dengan Beton Mutu Tinggi. Konsep ini hampir sama dengan konsep beton bertulang biasa, yaitu beton prategang merupakan kombinasi kerja sama antara baja prategang dan beton, dimana beton menahan betan tekan dan baja prategang menahan beban tarik.

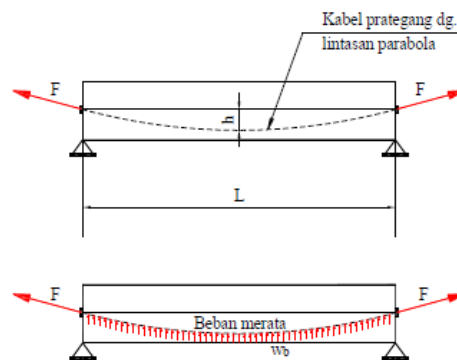


Gambar 2.18 Prinsip Gaya pada Beton Bertulang dan Prategang

⁵⁾ Supriyadi dan Muntohar, "Jembatan", Beta Offset, 2007, hal. 100

3. Konsep Ketiga :

Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan Beban. Disini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada suatu balok. Pada design struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri, sehingga batang yang mengalami lendutan seperti plat, balok dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.



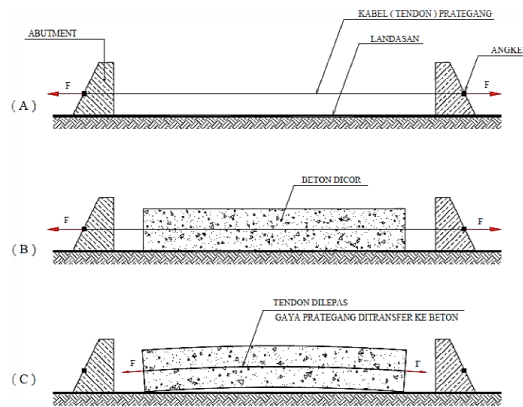
Gambar 2.19 Prinsip Distribusi Beban pada Beton Prategang

2.3.3 Metode Prategang

Pemberian gaya prategang pada beton akan memberikan tegangan tekan pada penampang. Tegangan ini akan menahan beban luar yang bekerja pada penampang. Pemberian gaya prategang dapat dilakukan sebelum atau sesudah beton dicor. Pemberian gaya prategang yang dilakukan sebelum pengecoran disebut sistem pratarik (*pre-tension*), sedangkan pemberian gaya prategang yang dilakukan sesudah pengecoran disebut sistem pascatarik (*post-tension*).

1. Pra Tarik (Pre-tension method)

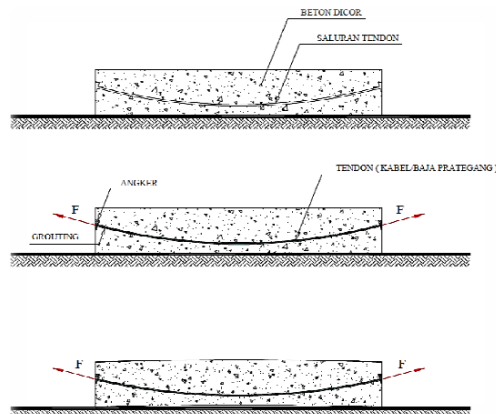
Pada sistem pratarik, tendon pertama-tama ditarik dan diangkur pada abutmen tetap. Beton dicor pada cetakan yang sudah disediakan dengan melingkupi tendon yang sudah ditarik tersebut. Jika kekuatan beton sudah mencapai yang diisyaratkan maka tendon dipotong atau angkurnya dilepas. Pada saat baja yang ditarik berusaha untuk berkonstraksi, beton akan tertekan.



Gambar 2.20. Sistem Pra Tarik

2. Pasca Tarik (Post-tension method)

Pada sistem pascatarik, dengan cetakan yang sudah disediakan, beton dicor di sekeliling selongsong (*duct*). Baja tendon berada di dalam selongsong selama pengecoran. Jika beton sudah mencapai kekuatan tertentu, tendon ditarik. Tendon bisa ditarik di dua sisi dan diangkur secara bersamaan. Beton menjadi tertekan selama pengungkuran.



Gambar 2.21. Sistem Pasca Tarik

2.3.4 Tahap Pembebanan

Tidak seperti pada beton bertulang biasa, beton prategang mengalami beberapa tahap pembebanan yang harus dianalisa. Pada setiap tahap pembebanan harus dilakukan pengecekan atas kondisi pada bagian yang tertekan maupun bagian yang tertarik pada setiap penampang. Pada tahap tersebut berlaku tegangan ijin yang berbeda-beda. Dua tahap pembebanan pada beton prategang tersebut adalah tahap transfer dan tahap layan (*service*).

1. Tahap Transfer

Untuk sistem pratarik, tahap transfer ini terjadi pada saat angker dilepas dan gaya prategang ditransfer ke beton. Untuk sistem pascatarik, tahap transfer ini terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel prategang. Pada saat ini beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan peralatan. Sedangkan beban hidup belum bekerja sepenuhnya. Jadi, beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya prategang yang bekerja maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang.

2. Tahap Layan (Service)

Kondisi layan adalah kondisi pada saat beton prategang digunakan sebagai komponen struktur. Pada tahap ini beban luar seperti beban hidup, angin, gempa dan lain-lain mulai bekerja, sedangkan semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan dalam analisa strukturnya. Jadi, beban yang bekerja maksimum sementara kehilangan gaya prategang sudah diperhitungkan.

2.3.5 Material Beton Prategang

2.3.5.1 Beton

Seperti telah di ketahui bahwa beton adalah campuran dari Semen, Agregat kasar (split), Agregat halus (pasir), Air dan bahan tambahan yang lain. Kekuatan beton ditentukan oleh kuat tekan karakteristik (f_c') pada usia 28 hari. Kuat tekan karakteristik adalah tegangan yang melampaui 95 % dari pengukuran kuat tekan uniaksial yang diambil dari tes penekanan contoh (sampel) beton dengan ukuran kubus 150 x 150 mm, atau silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Pada konstruksi beton prategang biasanya dipergunakan beton mutu tinggi dengan kuat tekan $f_c' = 30 - 40$ MPa, hal ini diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada pengangkuran tendon (baja prategang) agar tidak terjadi keretakan. Kuat tarik beton mempunyai harga yang jauh lebih rendah dari kuat tekannya. SNI 03 – 2847 – 2013 menetapkan untuk kuat tarik beton $\sigma_{ts} = 0,50$

$\sqrt{f'c}$, sedangkan ACI menetapkan $\sigma_{ts} = 0,60 \sqrt{f'c}$. Modulus elastisitas beton E dalam SNI 03 – 2847 – 2013, Pasal 8.5 ditetapkan :

$$E_c = (w_c)^{1,5} \times 0,043 \sqrt{f'c}$$

Dimana : E_c = modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = berat volume beton (kg/m^3)

F_c' = tegangan tekan beton (MPa)

Sedangkan untuk beton normal diambil : $E_c = 4700 \sqrt{f'c}$

2.3.5.2 Baja Prategang

Didalam praktek baja prategang (tendon) yang dipergunakan ada 3 macam, yaitu :

a. Kawat tunggal (wire).

Kawat tunggal ini biasanya dipergunakan dalam beton prategang dengan system pra-tarik (pretension method).

b. Untaian kawat (strand).

Untaian kawat ini biasanya dipergunakan dalam beton prategang dengan sistem pasca-tarik (post-tension).

c. Kawat batangan (bar)

Kawat batangan ini biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pra-tarik (pretension).

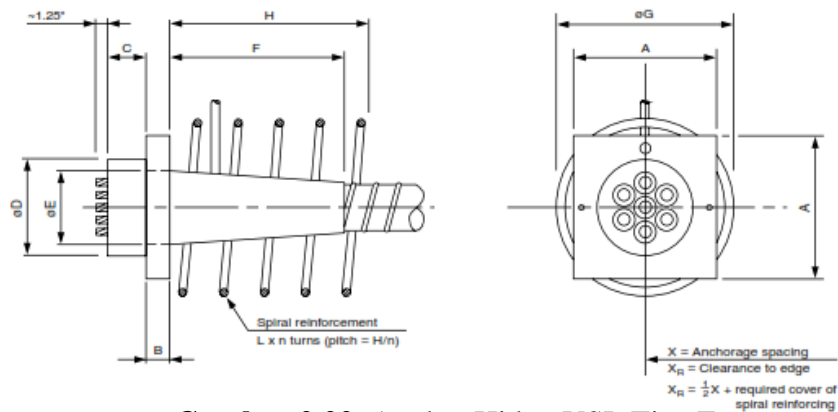
Selain baja prategang diatas, beton prategang masih memerlukan penulangan biasa yang tidak diberi gaya prategang, seperti tulangan memanjang, sengkang, tulangan untuk pengangkuran dan lain-lain.

Salah satu tendon yang sering digunakan untuk beton prategang adalah angker hidup VSL (Vorrspann System Losinger).

Tabel 2.2. Dimensi Angker VSL Tipe E

0.6" Strand	6-1	2.95	0.59	1.97	2.09	0.71	2.76	3.15	3.54	1.18	1.38	#3	2	4.13
	6-2	4.33	0.59	1.97	3.54	1.97	7.48	5.12	5.91	1.77	1.97	#4	3	5.91
	6-3	5.31	0.79	1.97	3.74	2.20	7.48	6.30	5.91	1.77	1.97	#4	3	7.28
	6-4	6.30	0.98	2.17	4.33	2.56	7.48	7.48	7.87	1.97	2.17	#4	4	8.27
	6-7	8.07	1.38	2.36	5.31	3.31	11.42	10.24	9.84	2.36	2.64	#4	5	11.02
	6-12	10.63	1.57	2.95	6.69	4.65	18.11	13.58	11.81	3.15	3.43	#5	6	14.37
	6-19	13.39	1.97	3.74	7.87	5.91	23.23	17.32	13.78	3.74	4.02	#5	9	18.11
	6-22	14.57	2.17	3.94	8.66	6.77	27.17	18.50	15.75	4.33	4.61	#6	8	19.49
	6-31	17.13	2.56	4.72	10.24	7.56	27.17	22.05	18.90	5.12	5.39	#7	8	23.23
	6-37	18.90	2.76	5.31	11.02	8.46	32.68	24.02	21.26	5.51	5.91	#7	9	25.20
	6-43	20.47	2.95	5.71	11.81	9.69	37.40	25.59	25.20	5.91	6.30	#8	8	27.17
	6-55	22.83	3.54	6.30	13.39	10.04	37.40	29.13	24.80	6.69	7.09	#8	9	30.71

Sumber : VSL Multi Strand System, Strand and Tendon Properties Data Sheet, US



Gambar 2.22. Angker Hidup VSL Tipe E

2.3.6 Tegangan Pada Beton Prategang

2.3.6.1 Tegangan Ijin Beton

Syarat kemampuan layan komponen struktur lentur menurut SNI 03-7833-2012 pasal 6.4.1, tegangan beton sesaat setelah penyaluran prategang (sebelum kehilangan prategang tergantung waktu) tidak boleh melebihi nilai berikut:

- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan kecuali seperti diizinkan dalam (b) $0,60 f'_{ci}$
- Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan pada ujung-ujung komponen tumpuan sederhana $0,70 f'_{ci}$
- Bila kekuatan tarik beton yang dihitung (f_t) melebihi $0,5\sqrt{f'_{ci}}$ pada ujung komponen struktur terdukung sederhana, atau $0,25\sqrt{f'_{ci}}$ pada lokasi lainnya, tulangan dengan lekatan tambahan harus disediakan dalam daerah tarik untuk menahan gaya tarik total dalam beton yang dihitung dengan asumsi penampang tak retak.

Sedangkan syarat kemampuan layan komponen struktur lentur menurut SNI 03-7833-2012 pasal 6.4.2, tegangan beton saat beban layan (berdasarkan pada sifat penampang tak retak, dan setelah pembolehan untuk semua kehilangan prategang) tidak boleh melebihi nilai berikut:

- a. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban tetap0,45 f'_{ci}
- b. Tegangan serat terjauh dalam kondisi tekan akibat prategang ditambah beban total0,60 f'_{ci}

f'_{ci} = Kuat tekan beton yang disyaratkan pada waktu prategang awal (MPa)

2.3.6.2 Tegangan Ijin Tendon Prategang

Menurut SNI 03-7833-2012 pasal 6.5.1, tegangan tarik pada baja prategang tidak boleh melebihi berikut ini:

- a. Akibat gaya penarikan (jacking) baja prategang0,94 f_{py} tetapi tidak lebih besar dari yang lebih kecil dari 0,8 f_{pu} dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pembuat baja prategang.
- b. Segera setelah penyaluran prategang.....0,82 f_{py} tetapi tidak lebih besar dari 0,74 f_{pu}
- c. Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur dan kopler (couplers), sesaat setelah transfer gaya0,70 f_{pu}

f_{pu} = Kuat tarik baja prategang yang disyaratkan (MPa)

f_{py} = Kuat leleh baja prategang yang disyaratkan (MPa)

2.3.7 Perhitungan Prategang

2.3.7.1 Perhitungan Gaya Prategang

Desain gaya prategang efektif yang diperlukan (F)

- Bila $\frac{M_G}{M_T} < 20\% \sim 30\%$

$$\text{Sehingga : } F = \frac{M_G}{0,5 \cdot H} \quad (\text{T.Y.Lin-Burns, hal 169})$$

$$A_c = \frac{F}{0,5 \cdot f'_{ci}} \quad (\text{T.Y.Lin-Burns, hal 167})$$

- Bila $\frac{M_G}{M_T} > 20\% \sim 30\%$

$$\text{Sehingga : } F = \frac{M_T}{0,65 \cdot H} \quad (\text{T.Y.Lin-Burns, hal 167})$$

$$A_c = \frac{F}{0,5 \cdot f'_c} \quad (\text{T.Y.Lin-Burns, hal 169})$$

Gaya pra penegangan awal kehilangan fase tarik 20%

$$F_0 = \frac{F}{80\%}$$

Dimana: M_G = Momen akibat beban mati

M_T = Momen akibat kombinasi total

A_c = Luas penampang beton yang diperlukan

H = Tinggi penampang beton

2.3.7.2 Penentuan Jumlah Tendon

Penentuan jumlah tendon (n) :

$$n = \frac{F_0}{\text{Gaya prapenegangan efektif terhadap beban putus } 80\%}$$

2.3.7.3 Penentuan Daerah Aman dan Tata Letak Tendon

Untuk memperoleh daerah batas garis c.g.s, pertama-tama memetakan garis kern atas dan bawah balok, garis ka dan garis kb. Jika tidak boleh terjadi tegangan tarik pada beton, satu garis batas diperoleh dengan memetakan dari setiap garis kern eksentrisitas (e) yang diijinkan:

$$e = \frac{M}{F}$$

Tata letak tendon dalam suatu gelagar perlu diperhitungkan dan direncanakan penempatannya agar dapat mencapai suatu konstruksi yang efektif dan efisien dalam penggunaan tendon. Penentuan letak titik berat tendon (*c.g.s = central gravity steel*) diawali dengan perhitungan titik kern penampang gelagar, yang menghasilkan dua garis kern, diatas dan dibawah garis titik berat gelagar (*c.g.c = central gravity concrete*).

Urutan penentuan letak daerah inti suatu gelagar adalah:

- Menentukan letak c.g.c beton precast:

$$y_a = \frac{\sum Ap \cdot y}{\sum A}$$

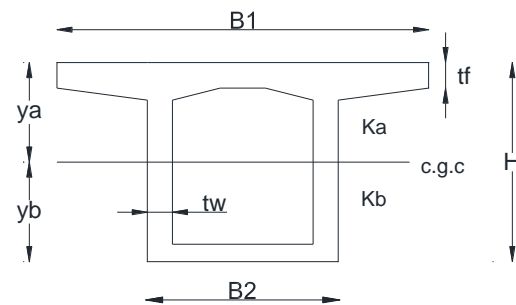
$$y_b = h - y_a$$

- Menentukan daerah aman beton precast

$$k_a = \frac{ip^2}{yb}$$

$$i_p = \frac{\sum Ip}{\sum Ap}$$

$$k_b = \frac{ip^2}{ya}$$



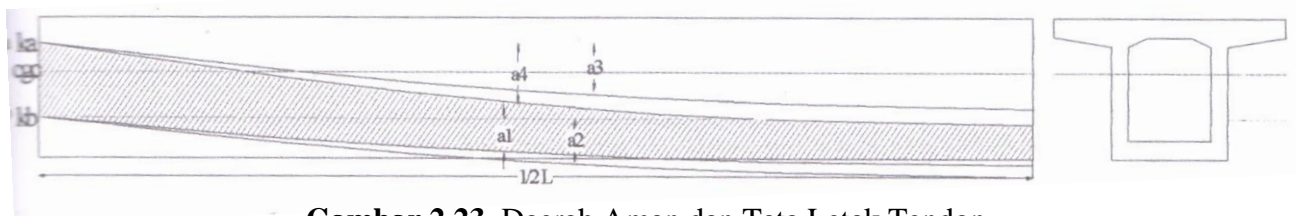
- Menentukan a (koordinat daerah aman tendon) :

- Keadaan awal : $a_1 = \frac{M_{Bs}}{F_0}$

- Keadaan setelah kehilangan tegangan : $a_2 = \frac{M_{Bs}}{F}$

- Keadaan setelah beban mati total : $a_3 = \frac{M_D}{F}$

- Keadaan setelah beban kombinasi total : $a_4 = \frac{M_T}{F}$



Gambar 2.23. Daerah Aman dan Tata Letak Tendon

- Menentukan koordinat letak tendon

$$y = \frac{4 \cdot \Delta \cdot x \cdot (L-x)}{L^2}$$

Dimana: y_a = jarak tepi atas terhadap c.g.c

y_b = jarak tepi bawah terhadap c.g.c

y = jarak titik berat terhadap serat tinjauan

A = Luas penampang

h = Tinggi penampang

- k_a = kern penampang serat atas (cm)
 k_b = kern penampang serat bawah (cm)
 i_p = jari - jari girasi precast (cm^2)
 I = Momen inersia penampang gelagar (cm^4)
 M_{BS} = Momen akibat berat sendiri beton (kgm)
 M_D = Momen akibat beban mati beton (kgm)
 M_T = Momen akibat beban total / kombinasi beton (kgm)
 F_0 = Tegangan akibat gaya prategang awal (kg)
 F = Tegangan akibat gaya prategang akhir (kg)
 Δ = Beda tinggi antara tendon ujung dan tengah

2.3.8 Kontrol Prategang

2.3.8.1 Kontrol Kehilangan Gaya Prategang

Tegangan pada tendon beton prategang akan berkurang secara kontinyu seiring dengan waktu. Total pengurangan tegangan ini disebut kehilangan prategang total. Kehilangan prategang total ini adalah faktor utama yang mengganggu perkembangan awal prategang.⁶⁾

Kehilangan gaya prategang diakibatkan antara lain oleh:⁷⁾

1. Perpendekan Elastisitas Beton

Pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, komponen struktur akan memendek dan baja prategang ikut memendek bersamanya. Hingga menimbulkan kehilangan gaya prategang pada baja.

$$ES = K_{es} \cdot E_s \cdot \frac{f_{cir}}{E_{ci}}$$

$$f_{cir} = \left(\frac{F_0}{A} + \frac{F_0 \cdot e^2}{I_g} - \frac{M_G \cdot e}{I_g} \right)$$

dimana:

- K_{es} = 0,5 untuk komponen struktur pasca tarik bila kabel secara berurutan ditarik dengan gaya yang sama
 E_s = Modulus elastisitas baja (200.000 Mpa)

⁶⁾ Supriyadi dan Muntohar, "Jembatan", Beta Offset, 2007, hal. 108

⁷⁾ T.Y.Lin dan H. Burns, "Desain Struktur Beton Prategang", Erlangga, 1982, hal. 80

- E_c = Modulus elastisitas beton prategang
 f_{cir} = Tegangan beton pada garis yang melalui titik berat baja (c.g.s) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang dikerjakan pada beton
 F_0 = Gaya prategang awal
 e = Jarak titik berat tendon ketitik berat penampang yang ditinjau
 A = Luas penampang
 I_g = Momen inersia penampang
 M_G = Momen akibat berat sendiri

2. Rangkak Beton

Tegangan rangkak dan kehilangan tegangan hanya terjadi akibat beban yang terus menerus selama riwayat pembebanan suatu elemen struktural. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut:

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

$$f_{cds} = \frac{M_{DL} \cdot e}{I_g}$$

dimana:

- K_{cr} = 1,6 untuk komponen struktur pasca tarik
 f_{cds} = Tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang
 e = Jarak titik berat tendon ketitik berat penampang yang ditinjau
 E_s = Modulus elastisitas baja (200.000 Mpa)
 E_c = Modulus elastisitas beton prategang
 f_{cir} = Tegangan beton pada garis yang melalui titik berat baja (c.g.s) akibat gaya prategang yang efektif segera setelah gaya prategang dikerjakan pada beton
 I_g = Momen inersia penampang
 M_{DL} = Momen akibat beban mati

3. Susut Beton

Seperti pada halnya pada rangkai beton, besarnya susut beton juga dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor tersebut meliputi proporsi campuran, tipe agregat dan semen, waktu perawatan dan proses antara akhir perawatan eksternal terhadap pemberian prategang, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan. Besar kehilangan tegangan akibat susut beton adalah:

$$SH = 8,2 \cdot 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \cdot \left(1 - 0,06 \cdot \frac{V}{s}\right) \cdot (100 - RH)$$

dimana:

K_{sh} = Koefisien susut = 0,45

$\frac{V}{s}$ = Perbandingan volume terhadap permukaan

RH = Kelembaban relatif (70%)

E_s = Modulus elastisitas baja (200.000 Mpa)

Tabel 2.13 Nilai K_{sh} untuk komponen struktur pasca-tarik

	Jangka waktu setelah perawatan basa sampai pada penerapan prategang (hari)							
	1	3	5	7	10	20	30	60
Ksh	0.92	0.85	0.8	0.77	0.73	0.64	0.58	0.45

Sumber : *Desain Struktur Beton Prategang; T.Y.Lin & Burns; hal 88*

4. Relaksasi Tegangan Baja

Tendon mengalami kehilangan pada gaya prategang sebagai akibat dari perpanjangan konstan terhadap waktu,. Besar pengurangan prategang bergantung tidak hanya pada durasi gaya prategang yang ditahan, melainkan juga pada rasio antara prategang awal dan kuat leleh baja prategang (f_p/f_{pu}). Kehilangan tegangan ini disebut relaksasi tegangan.

Berdasarkan metode dari ACI-ASCE untuk menentukan besarnya kehilangan tegangan akibat relaksasi baja digunakan kontribusi terpisah antara perpendekan elastis beton, rangkai dan susut, sehingga:

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)] C$$

dimana:

K_{re} , J , C adalah nilai koefisien yang diberikan terhadap baja tendon

Tabel 2.14 Nilai K_{RE} dan J

Tipe tendon ^a	K_{re} (MPa)	J
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 MPa	138	0,15
Strand atau kawat stress-relieved derajat 1720 MPa	128	0,14
Kawat stress-relieved derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	121	0,13
Strand relaksasi-rendah derajat 1860 MPa	35	0,040
Kawat relaksasi-rendah derajat 1720 MPa	32	0,037
Kawat relaksasi-rendah derajat 1655 MPa atau 1620 MPa	30	0,035
Batang stress-relieved derajat 1000 MPa atau 1100 MPa	41	0,05

Sumber : *Desain Struktur Beton Prategang; T.Y.Lin & Burns; hal 90*

Tabel 2.15 Nilai C

f_p/f_{pu}	Kawat atau strand stress-relieved	Kawat atau strand relaksasi rendah atau batang stress-relieved
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

Sumber : *Desain Struktur Beton Prategang; T.Y.Lin & Burns; hal 90*

Sehingga, total kehilangan prategang yang diperhitungkan (TL) adalah:

$$TL = ES + CR + SH + RE$$

2.3.8.2 Kontrol Tegangan

1. Pada kondisi awal

$$f_{a,b} = -\frac{F_0}{A} \pm \frac{F_0 \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$$

2. Setelah kehilangan gaya prategang

$$f_{a,b} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$$

3. Setelah beban hidup bekerja

$$f_{a,b} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_L \cdot y}{I_g}$$

Tegangan batas yang diijinkan: (SNI 03-7833-2012, Pasal 6.4)

Pada kondisi awal (Sebelum kehilangan)

$$f = 0,7 \cdot \sqrt{f'ci} \longrightarrow \text{tekan}$$

$$f = 0,5 \cdot \sqrt{f'ci} \longrightarrow \text{Tarik}$$

1. Pada kondisi akhir (Setelah kehilangan dan beban layan)

$$f = 0,6 \cdot \sqrt{f'c} \longrightarrow \text{tekan}$$

$$f = 0,5 \cdot \sqrt{f'c} \longrightarrow \text{Tarik}$$

$f'ci$ = Kuat tekan beton saat pemberian prategang awal = $0,80 \cdot f'c$

2.3.8.3 Kontrol Lendutan

Kontrol lendutan sangat diperlukan dalam perencanaan beton prategang, karena: ⁸⁾

- a. Lendutan berlebihan pada batang struktur utama tidak mudah terlihat dan pada waktunya mampu membuat lantai menjadi tidak sesuai untuk fungsi yang direncanakan,
- b. Lendutan besar akibat pengaruh dinamis dan akibat pengaruh beban yang berubah-ubah akan mengurangi kenyamanan,
- c. Lendutan berlebihan cenderung mengakibatkan kerusakan pada permukaan, sekat dan struktur yang berkaitan.

Lendutan Jangka Pendek

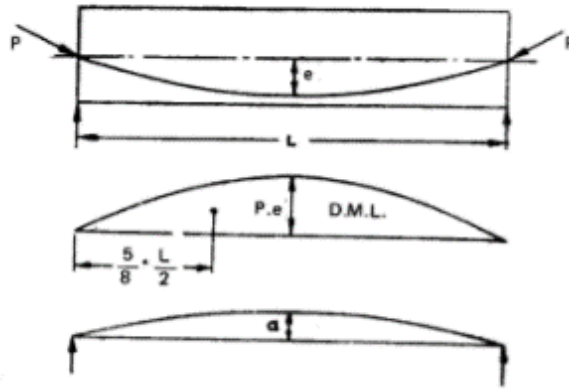
- 1 Pengaruh Profil Tendon terhadap Lendutan

⁸⁾ N Krishna Raju, *Beton Pratekan, Erlangga, Jakarta, 1982, hal 88*

- Tendon Parabolis (Angker di Pusat) untuk tumpuan sendi - rol

$$\alpha = - \frac{P \cdot e}{EI} \left[\frac{2}{3} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{5}{8} \cdot \frac{L}{2} \right]$$

$$\alpha = - \frac{5P \cdot e \cdot L^2}{48 \cdot EI}$$

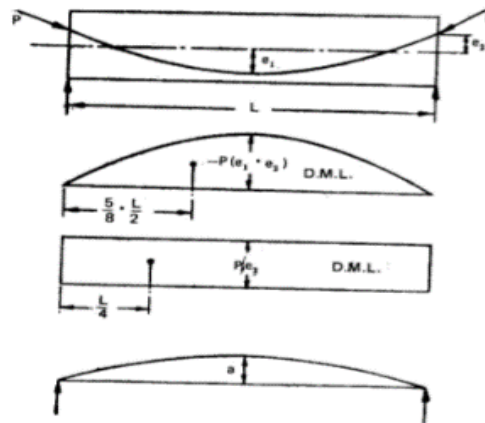


Gambar 2.24. Tendon Parabolis (Angker di Pusat)

- Tendon Parabolis (Angker Eksentris) untuk tumpuan sendi - rol

$$\alpha = \left[\frac{-5}{48} \cdot \frac{PL^2}{EI} \cdot (e_1 \cdot e_2) \right] + \left[\frac{P \cdot e_2 \cdot L^2}{8 \cdot EI} \right]$$

$$\alpha = \frac{P \cdot L^2}{48 \cdot EI} \cdot (-5e_1 + e_2)$$



Gambar 2.25. Tendon Parabolis (Angker Eksentris)

- 2 Lendutan akibat Berat Sendiri

$$\alpha = \frac{5 \cdot g \cdot L^4}{384 \cdot EI}$$

- 3 Lendutan akibat Gaya Prategang

$$\alpha = \frac{5 \cdot F \cdot e \cdot L^2}{48 \cdot EI}$$

4 Lendutan akibat Beban Hidup

$$\alpha = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} + \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI}$$

- dimana: F = Gaya prategang efektif
 e = Eksentrisitas
 g = Berat sendiri balok
 q = Beban merata
 P = Beban terpusat
 EI = Modulus elastisitas
 L = Bentang balok

Lendutan Jangka Panjang

Perhitungan lendutan jangka panjang digunakan faktor pengali yang diperoleh dari tabel.

Tabel 2.16 Faktor Pengali untuk Lendutan Jangka Panjang

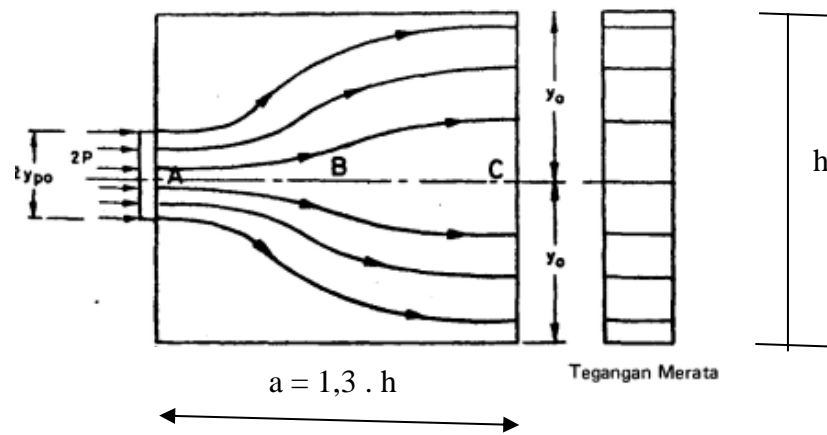
	Tanpa Lapisan Atas Komposit	Dengan Lapisan Atas Komposit
<i>Saat Pengangkatan</i>		
1. Komponen lendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan elastik akibat berat komponen struktur saat pelepasan gaya prategang.	1,85	1,85
2. Komponen lendutan (ke atas) digunakan untuk lendutan elastik ke atas akibat gaya prategang saat pelepasan gaya prategang.	1,80	1,80
<i>Akhir</i>		
3. Komponen lendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan yang dihitung pada (1) di atas.	2,70	2,40
4. Komponen lendutan (ke atas) digunakan pada lendutan ke atas (camber) yang dihitung pada (2) di atas.	2,45	2,20
5. Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik hanya akibat beban mati di atasnya.	3,00	3,00
6. Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik yang disebabkan oleh lapisan atas komposit.	-	2,30

Sumber: *Desain Struktur Beton Prategang; T.Y Lin & Burns; Hal.267*

2.3.9 Perencanaan Blok Ujung (End Block)

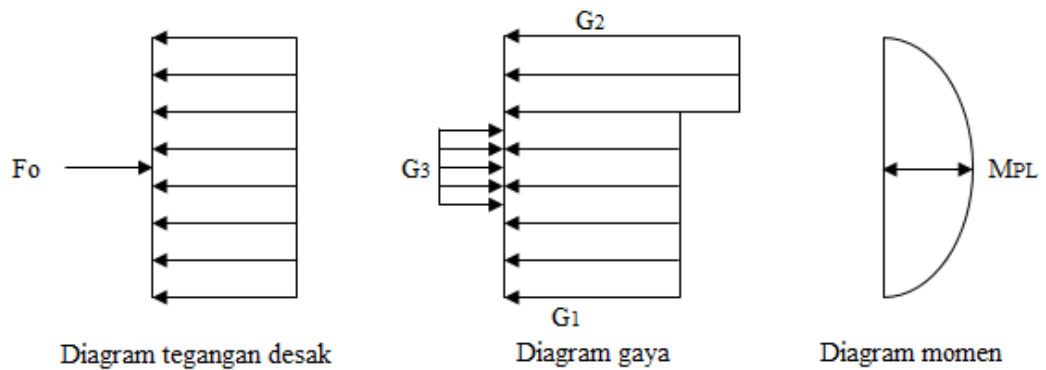
Pada hampir semua batang pasca tarik, kawat – kawat prategang yang dipasang didalam selongsong (yang telah dipasang terlebih dahulu dalam eton) ditegangkan dan kemudian diangkur pada ujungnya atau disebut dengan blok ujung (end block). Perencanaan balok sesuai standar dari VSL (*Vorspann System Losinger*) dijelaskan sebagai berikut :

Gaya – gaya yang bekerja pada blok ujung pada suatu batang prategang dapat ditunjukkan pada gambar 2.25, perencanaan blok ujung dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu perencanaan tulangan akibat momen pecah ledak (M_{pl}) dan perencanaan tulangan anyaman.



Gambar 2.26. Distribusi Tegangan pada Blok Ujung

2.3.9.1 Perencanaan tulangan akibat momen pecah ledak (M_{pl})



Gambar 2.27. Diagram Tegangan pada Blok Ujung

1. Tegangan tekan uniform pada end block (f_{cr}):

- Gaya tekan pada plat angkur:

$$f_{cr} = \frac{N}{A}$$

Dimana: N = Gaya tarik pada angkur

A = Luas penampang (mm^2)

- Gaya tekan pada internal beton:

$$f_{cr} = \frac{F_o}{A}$$

Dimana: F_o = Gaya prapenegangan awal

A = Luas penampang (mm^2)

2. Tegangan tarik (f_{ci}):

$$\sigma_b = \frac{7,2 M_{pl}}{b \cdot a^2}$$

Kontrol: $\sigma_b \leq 0,17 \sqrt{f'c}$ (dalam MPa)

$\sigma_b \leq 0,54 \sqrt{f'c}$ (dalam kg/cm^2)

Dimana: b = Lebar blok ujung (mm)

a = $1,3 \cdot h$ (mm)

Dengan catatan apabila tegangan tarik melebihi batas yang ditentukan, maka diperlukan tulangan akibat momen pecah ledak.

Gaya tarik:

$$T = \frac{2,6 M_{pl}}{a}$$

Luasan tulangan pecah ledak:

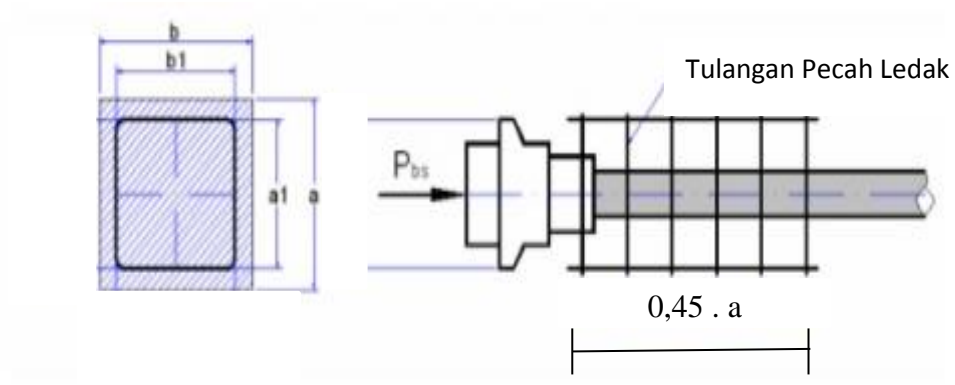
$$A_{sp} = \frac{T}{f_y}$$

Dimana: A_{sp} = Luas tulangan baja perlu (mm^2)

T = Gaya tarik yang terjadi

f_y = Tegangan leleh baja (N/mm^2)

Tulangan pecah ledak dipasang antara $0,2.a - 1,0.a$ dan dipusatkan pada $0,45.a$ dari ujung. Tulangan pecah ledak ini berupa begel.



Gambar 2.28. Tulangan Pecah Ledak

2.3.9.2 Tulangan Anyaman

Penulangan untuk daerah angkur didesain untuk menahan tarikan memecah yang dapat menyebabkan lepas gumpal pada end block.

Tulangan arah vertikal: ⁹⁾

$$F_{bst} = 0,3 \cdot P \cdot \left(1 - \frac{y_{po}}{y_o}\right)^{0,58}$$

Tulangan arah horizontal:

$$F_{bst} = 0,3 \cdot P \cdot \left(1 - \frac{x_{po}}{x_o}\right)^{0,58}$$

Dimana: F_{bst} = Gaya tarikan yang mengakibatkan pecah (N)

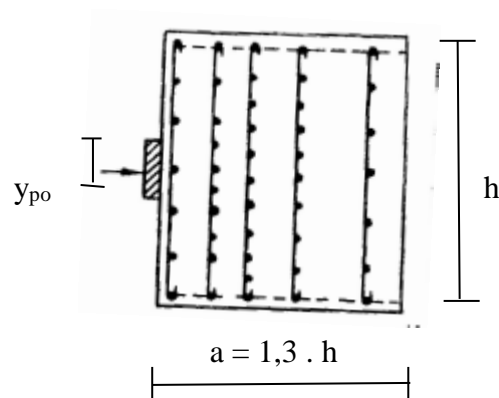
P = Gaya prategang (N)

y_{po} = Tinggi plat angkur (mm)

y_o = Tinggi balok ekuivalen (mm)

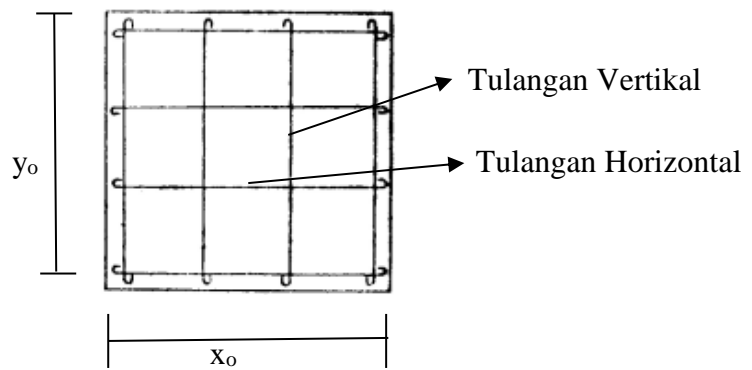
x_{po} = Lebar plat angkur (mm)

x_o = Lebar balok ekuivalen (mm)



Gambar 2.29. Potongan Memanjang Tulangan Anyaman

⁹⁾ N Krishna Raju, *Beton Pratekan*, Erlangga, Jakarta, 1982, hal 189



Gambar 2.30. Potongan Melintang Tulangan Anyaman

2.3.9.3 Kontrol Geser ¹⁰⁾

Perencanaan penampang terhadap geser pada komponen struktur prategang dengan syarat:

$$\phi V_n \geq V_u$$

1. Kekuatan geser yang disediakan oleh beton pada komponen struktur prategang.

Untuk komponen struktur dengan gaya prategang efektif tidak kurang dari 40% kekuatan tarik tulangan lentur,

$$V_c = \left(0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + 4,8 \frac{V_u \cdot d_p}{M_u} \right) b_w$$

dengan syarat $0,42 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d > V_c > 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$

2. Kekuatan geser V_c digunakan dengan syarat harus lebih kecil dari V_{ci} dan V_{cw}

$$V_{ci} = 0,05 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_p + V_d + \frac{V_i \cdot M_{cre}}{M_{max}}$$

$$V_{cw} = \left(0,29 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + 0,3 \cdot f_{pc} \right) b_w \cdot d_p + V_p$$

Dimana d_p tidak perlu diambil kurang dari $0,80 \cdot h$

3. Desain tulangan geser

Bila V_u melebihi ϕV_c maka tulangan geser harus dihitung dengan:

- Bila digunakan tulangan geser tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d}{s}$$

- Bila sengkang miring digunakan sebagai tulangan geser

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) d}{s}$$

dengan syarat $V_s < 0,66 \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$

Keterangan:

V_n	= Kuat geser nominal
V_c	= Kuat geser nominal yang disediakan oleh beton
V_s	= Kuat geser nominal yang disediakan oleh tulangan
V_u	= Kuat geser terfaktor pada penampang
λ	= 1,0 untuk beton berat normal dan 0,75 untuk beton ringan
b_w	= Lebar badan (web)
d_p	= Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat baja prategang
d	= jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik
V_i	= Gaya geser pada penampang akibat beban terluar
V_d	= Gaya geser pada penampang akibat beban mati
M_{cre}	= Momen yang mengakibatkan retak lentur pada penampang
f_{pc}	= Tegangan tekan pada beton setelah kehilangan prategang
V_p	= Komponen vertikal gaya prategang efektif pada penampang

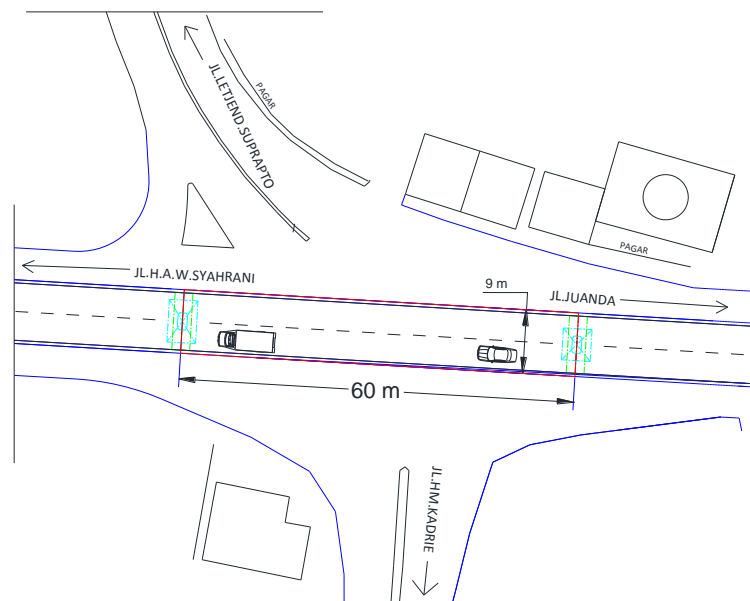
BAB III

DATA LAPANGAN

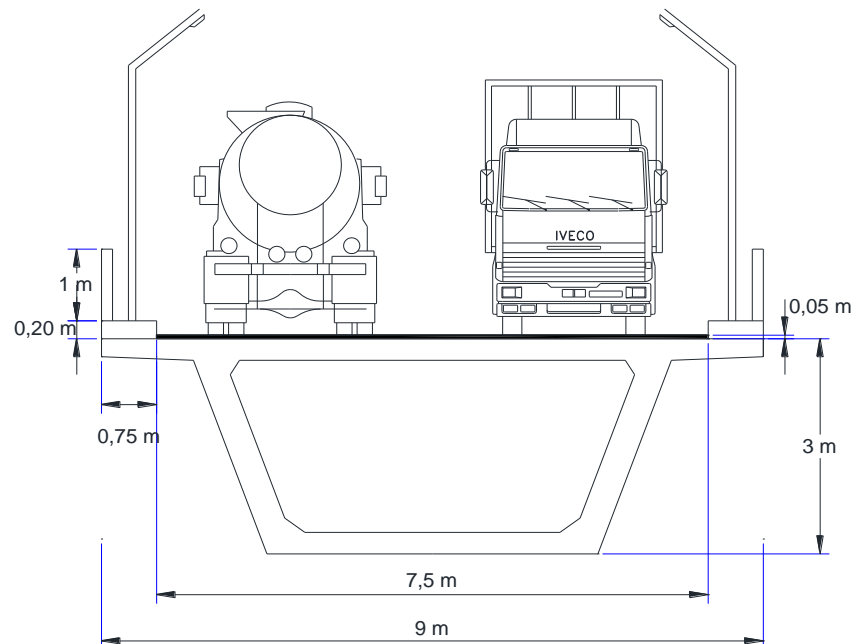
3.1. Data Perencanaan

Kelas Jalan	: Kelas I
Jumlah Jalur	: 2 jalur
Panjang Fly Over	: 643 meter
Panjang Bentang Utama	: 60 meter
Lebar Fly Over	: 9 meter
Tinggi Fly Over dari Under Pass	: 5,2 meter
Lebar Lantai Kendaraan	: 7,5 meter
Lebar Trotoir	: 0,75 meter
Tinggi Trotoir	: 0,20 meter
Tebal Perkerasan	: 5 cm
Jenis Konstruksi Gelagar	: Box Girder Beton Prategang Precast
Tipe Tendon dan Angkur	: Angker Hidup VSL Tipe E 0,6”
Metode Pelaksanaan Prategang	: Sistem Pasca Tarik (Post-tension)
Metode Pelaksanaan Jembatan	: Sistem Pengangkatan (mobile crane) dengan Portal Hoise
Mutu Beton Bertulang	: 30 MPa
Mutu Beton Prategang	: 50 MPa
Mutu Baja Tulangan	: BJTP 37 (370 MPa) : BJTD 40 (400 MPa)

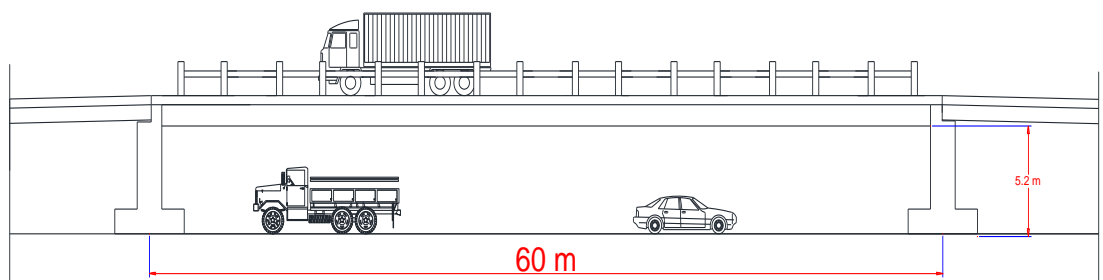
Mutu Tendon Prategang	: 270 ksi (1861,38 MPa)
Pipa Sandaran	: \varnothing 60,5 mm
Dimensi Tiang Sandaran	: 15/15 cm
Jarak Antar Tiang Sandaran	: 2 meter
Berat Jenis Beton Prategang	: 25 kN/m ³
Berat Jenis Beton Bertulang	: 24 kN/m ³
Berat Jenis Air Hujan	: 9,8 kN/m ³
Panjang Tiap Segmen	: 3 meter
Jumlah Segmen	: 20 bagian



Gambar 3.1 Layout Rencana Fly Over



Gambar 3.2 Desain Penampang Melintang Rencana Fly Over



Gambar 3.3 Desain Penampang Memanjang Rencana Fly Over

3.2. Metode Pelaksanaan

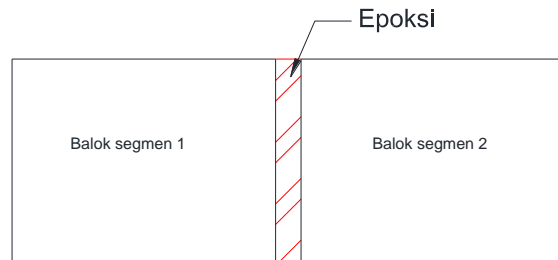
Pemasangan beton precast dilakukan dengan cara pengangkatan (mobile crane) dengan sistem portal hoise. Hal ini dipilih karena sistem ini tidak mengganggu aktivitas lalu lintas disekitarnya, dapat dikerjakan dengan areal kerja yang minim, dan tidak menggunakan banyak komponen konstruksi. Sistem pengangkatan ini juga membantu dalam menyederhanakan pekerjaan.

Langkah – langkah dalam perencanaan di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Stock Girder

- Box girder pracetak bersegmen di cetak/produksi di pabrik atau lokasi khusus pengecoran (casting yard)

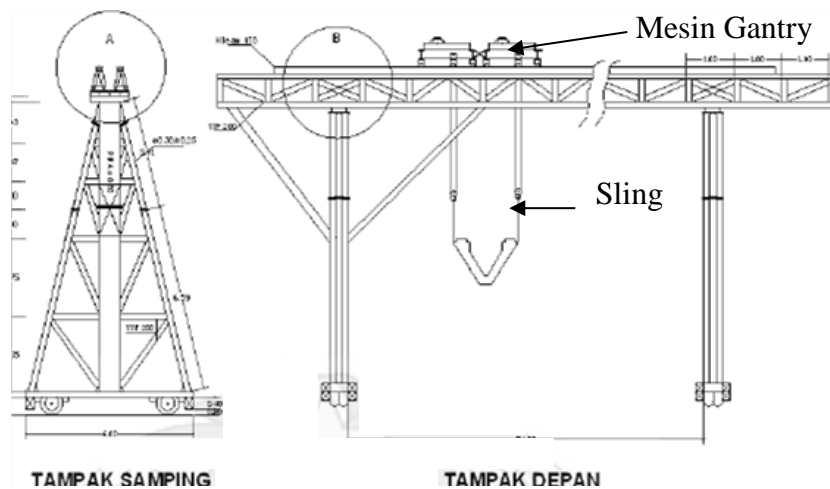
- Segmen pracetak diangkut ke lokasi dengan menggunakan alat transportasi khusus pengangkutan,
- Pengaturan posisi letak girder harus benar benar padat dan rata, kemudian diatur diantara kedua pier bentang utama,
- kemudian disambung / dirangkai menjadi satu bagian utuh dengan menggunakan *epoxy* sebelum diberi gaya prestress.



Gambar 3.4 Proses Penyambungan Segmen Girder dengan Epoksi

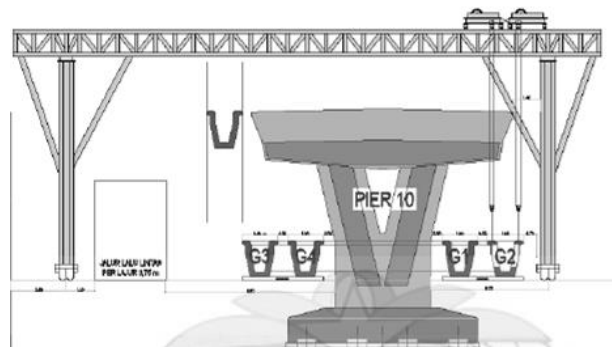
2. Proses Pengangkatan (Mobile crane)

- Instalasi portal hoise yang terdiri dari kaki portal, hoise crane yang terbuat dari baja dan mesin gantry yang berfungsi untuk penangkatan dan penggeseran girder,
- Portal hoise dibuat melintang menyesuaikan ukuran lebar jalan dan tinggi jalan rencana,
- Pada bagian kaki portal dipasang roda trolley agar portal hoise dapat dipindahkan,

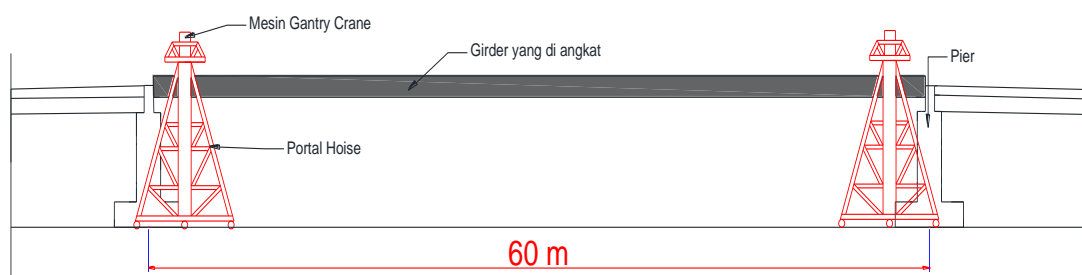


Gambar 3.5 Portal Hoise

- Portal hoise di pasang di atas kedua pier dimana diletakkannya bentang utama,
- Kemudian girder prategang yang telah jadi yang terletak dibawah dikaitkan pada sling angkat mesin gantry,
- Kemudian mesin gantry crane dengan tenaga motor elektrik mengangkat girder ke atas pier sampai posisi girder sejajar dengan tinggi pier,
- Pengangkatan girder dilakukan pelan-pelan, dan di lakukan control terhadap ketepatan posisinya,
- Pengangkatan kedua ujung girder dilakukan secara bersamaan ,
- Setelah girder tepat diatas kedua pier kemudian diturunkan pelan - pelan ke atas kedua pier, lepaskan sling.



Gambar 3.6 Proses Pengangkatan Girder pada Portal Hoise



Gambar 3.7 Penempatan Portal Hoise pada Bentang Utama Fly Over

Metode pengangkatan ini dilakukan untuk menempatkan beton pracetak pada bentang jembatan dengan sistem kerjanya adalah dimana setelah seluruh segmen dirangkai, elemen pracetak di angkut kemudian di turunkan secara perlahan, sehingga balok pracetak berada diatas tumpuan.

Keuntungan metode ini adalah waktu pelaksanaan dapat dipersingkat karena ketergantungan satu sama lain sedikit, sesuai diterapkan pada proyek – proyek dengan balok dengan bentang sedang.

3.3. Perencanaan Penampang Gelagar

3.3.1. Dimensi Penampang Gelagar

Berdasarkan dari ketentuan yang diberikan oleh Podolny & Muller (1982) tentang pedoman pemilihan tampang penampang melintang gelagar, maka penampang yang direncanakan untuk fly over adalah sebagai berikut:

1. Lebar jembatan dan jarak web

Lebar jembatan (B) = 9 meter < 12 meter, digunakan box bersel tunggal.

Jarak Web = 4 – 7,5 meter

Digunakan = 4,5 meter

Panjang Bagian kantilever = $\frac{1}{4}$. Lebar Gelagar

= $\frac{1}{4}$. 9 meter = 2,25 meter

Digunakan = 1,25 meter

2. Tebal Web

Jika tendon diangkurkan pada web = 350 mm

Digunakan = 0,5 m

3. Tebal Sayap Atas

Untuk bentang antar web (4 – 7,5 m) = minimum 250 mm

Digunakan = 0,30 m (Slab atas bagian tepi)

= 0,40 m (Slab atas bagian tengah)

4. Tebal Sayap Bawah

Jika duct diletakkan pada sayap = 200 – 250 mm

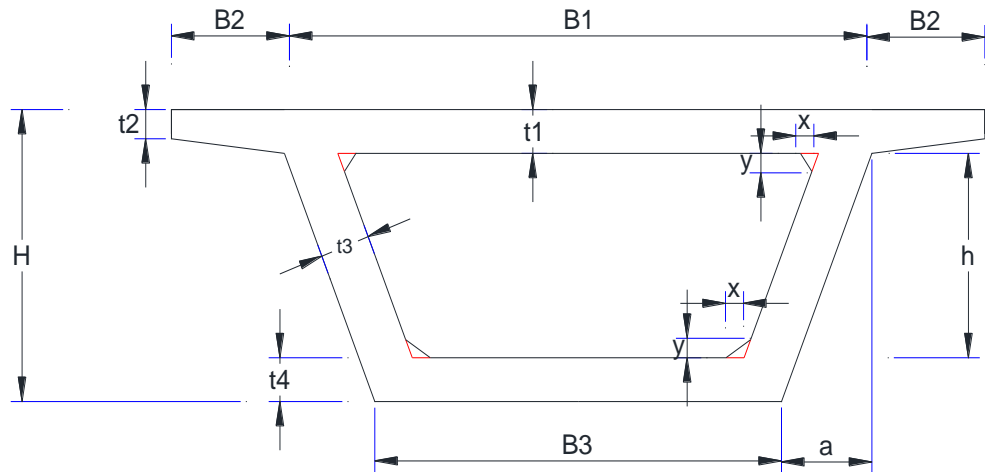
Digunakan = 0,40 m

5. Rasio Tinggi Terhadap Bentang

$1/15 < h/L < 1/30$ dengan nilai optimum sebesar $1/18 - 1/20$

Digunakan = $1/20 \cdot L$

= $1/20 \cdot 60 = 3 \text{ m}$



Gambar 3.8 Desain Rencana Box Girder Prategang

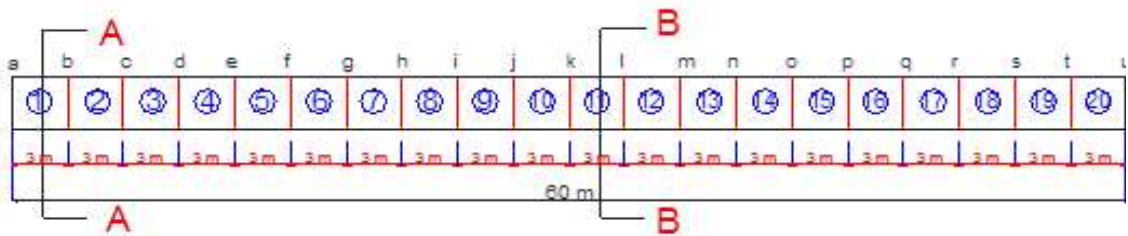
Tabel 3.1 Dimensi Box Girder

Slab atas bagian tengah	$B_1 =$	6.5	m
	$t_1 =$	0.40	m
Slab atas bagian tepi	$B_2 =$	1.25	m
	$t_2 =$	0.30	m
Tinggi box girder	$H =$	3.00	m
Dinding tepi (web)	$t_3 =$	0.50	m
Slab bawah	$B_3 =$	4.50	m
	$t_4 =$	0.40	m
Penebalan pada slab	$x =$	0.20	m
	$y =$	0.20	m

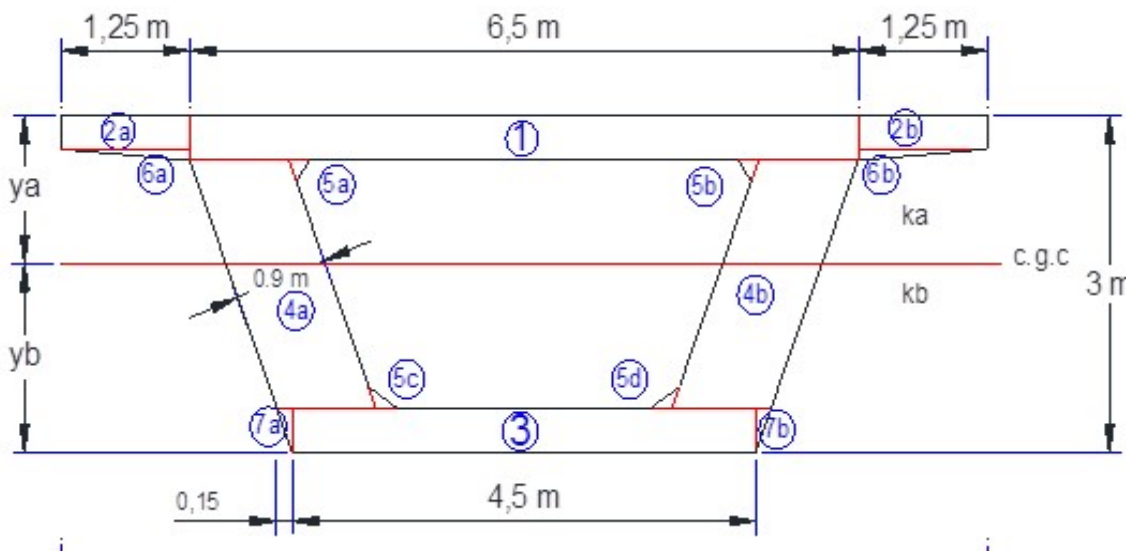
$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi dinding} - h &= H - t_1 - t_4 \\
 &= 3 - 0,4 - 0,4 \\
 &= 2,20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - a &= \frac{B_1 - B_3}{2} \\
 &= \frac{6,5 - 4,5}{2} \\
 &= 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.3.2. Section Properties Box Girder



Gambar 3.9 Potongan Memanjang Box Girder



Gambar 3.10 Potongan A - A (Balok Ujung)

3.3.2.1 Penampang Balok A-A (Balok Ujung)

Tabel 3.2 Section Properties Balok Ujung

Pot	Dimensi		htot	Luas	Yt	F . Yt	I	Y	F . Y ²	Momen Inersia
	b	h		F						I + (F . Y ²)
	m	m	m	m ²	m	m ²	m ⁴	m	m ⁴	m ⁴
	1	2	3	4	5	6 = 4 . 5	7	8	9 = 4 . 8 ²	10 = 7 + 9
1	6,5	0,4	3	2,6	2,8	7,280	0,03467	1,07	2,997	3,032
2a	1,25	0,3	3	0,375	2,85	1,069	0,00281	1,12	0,473	0,476
2b	1,25	0,3	3	0,375	2,85	1,069	0,00281	1,12	0,473	0,476
3	4,5	0,4	3	1,8	0,2	0,360	0,024	1,53	4,194	4,218
4a	0,90	2,20	3	1,98	1,5	2,970	0,7986	0,23	0,101	0,900
4b	0,90	2,20	3	1,98	1,5	2,970	0,7986	0,23	0,101	0,900
5a	0,20	0,20	3	0,02	2,47	0,049	4,4E-05	0,74	0,011	0,011
5b	0,20	0,20	3	0,02	2,47	0,049	4,4E-05	0,74	0,011	0,011
5c	0,20	0,20	3	0,02	0,46	0,009	4,4E-05	1,27	0,032	0,032
5d	0,20	0,20	3	0,02	0,46	0,009	4,4E-05	1,27	0,032	0,032
6a	1,25	0,1	3	0,0625	2,67	0,167	3,5E-05	0,94	0,056	0,056
6b	1,25	0,1	3	0,0625	2,67	0,167	3,5E-05	0,94	0,056	0,056
7a	0,15	0,4	3	0,03	0,27	0,008	0,00027	1,46	0,064	0,064
7b	0,15	0,4	3	0,03	0,27	0,008	0,00027	1,46	0,064	0,064
Σ				9,375		16,185	1,662			10,328

Ya	=	1,274	m
Yb	=	1,726	m

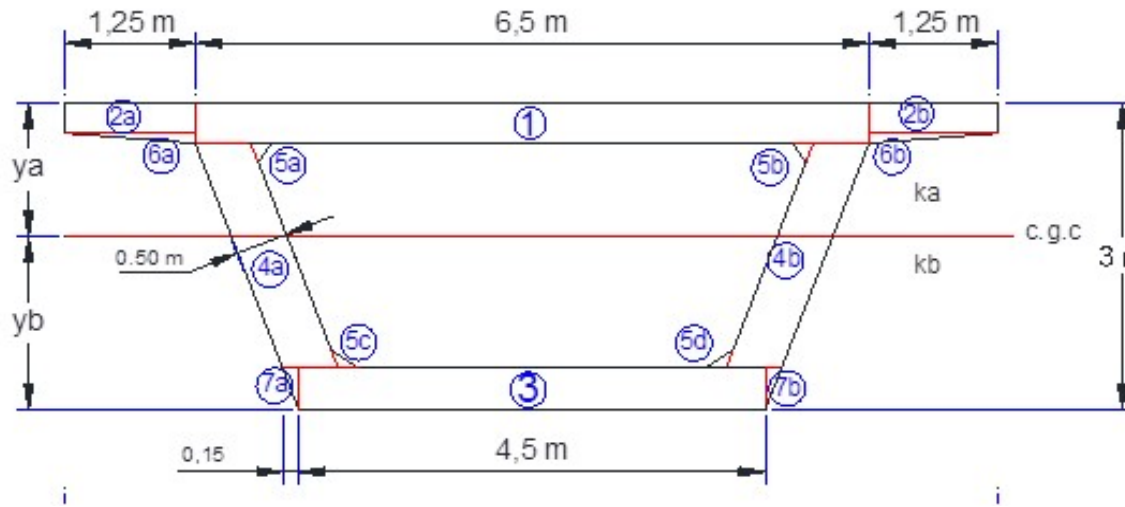
ka	=	0,638	m
kb	=	0,865	m

$$i_p = \frac{\sum I_p}{\sum A_p} = \frac{10,328}{9,375} = 1,10161 \text{ m}^2$$

$$k_a = \frac{i_p}{Y_b} = \frac{1,10161}{1,726} = 0,63811 \text{ m}$$

$$k_b = \frac{i_p}{Y_a} = \frac{1,10161}{1,274} = 0,86493 \text{ m}$$

3.3.2.2 Penampang Balok B-B (Balok Tengah)



Gambar 3.11 Potongan B - B (Balok Tengah)

Tabel 3.3 Section Properties Balok Tengah

Pot	Dimensi		htot	Luas	Yt	F . Yt	I	Y	F . Y ²	I _p
	b	h		F						I + (F . Y ²)
	m	m	m ²	m	m ²	m ⁴	m	m ⁴	m ⁴	
	1	2	3	4	5	6 = 4 . 5	7	8	9 = 4 . 8 ²	10 = 7 + 9
1	6,5	0,4	3	2,6	2,8	7,280	0,03467	1,02	2,712	2,747
2a	1,25	0,3	3	0,375	2,85	1,069	0,00281	1,07	0,430	0,433
2b	1,25	0,3	3	0,375	2,85	1,069	0,00281	1,07	0,430	0,433
3	4,5	0,4	3	1,8	0,2	0,360	0,024	1,58	4,486	4,510
4a	0,5	2,20	3	1,1	1,5	1,650	0,44367	0,28	0,085	0,529
4b	0,5	2,20	3	1,1	1,5	1,650	0,44367	0,28	0,085	0,529
5a	0,20	0,20	3	0,02	2,47	0,049	4,4E-05	0,69	0,010	0,010
5b	0,20	0,20	3	0,02	2,47	0,049	4,4E-05	0,69	0,010	0,010
5c	0,20	0,20	3	0,02	0,46	0,009	4,4E-05	1,32	0,035	0,035
5d	0,20	0,20	3	0,02	0,46	0,009	4,4E-05	1,32	0,035	0,035
6a	1,25	0,1	3	0,0625	2,67	0,167	3,5E-05	0,89	0,050	0,050
6b	1,25	0,1	3	0,0625	2,67	0,167	3,5E-05	0,89	0,050	0,050
7a	0,15	0,4	3	0,03	0,27	0,008	0,00027	1,51	0,068	0,069
7b	0,15	0,4	3	0,03	0,27	0,008	0,00027	1,51	0,068	0,069
Σ				7,615		13,545	0,952			9,507

Ya	=	1,221	m
Yb	=	1,779	m

ka	=	0,702	m
kb	=	1,022	m

$$i_p = \frac{\sum I_p}{\sum A_p} = \frac{9,507}{7,615} = 1,24841 \text{ m}^2$$

$$k_a = \frac{i_p}{Y_b} = \frac{1,24841}{1,779} = 0,70188 \text{ m}$$

$$k_b = \frac{i_p}{Y_a} = \frac{1,24841}{1,221} = 1,02218 \text{ m}$$

Keterangan:

b = Lebar masing - masing potongan (m)

h = Tinggi masing - masing potongan (m)

htot = Tinggi penampang (m)

F = Luas penampang masing - masing potongan (m²)

Untuk penampang persegi : $F = b \cdot h$

Untuk penampang segitiga : $F = 1/2 \cdot b \cdot h$

Yt = Jarak titik berat potongan terhadap sisi bawah penampang (m)

I = Momen inersia (m⁴)

Untuk penampang persegi : $I = 1/12 \cdot b \cdot h^3$

Untuk penampang segitiga : $I = 1/36 \cdot b \cdot h^3$

Ya = Jarak garis netral terhadap sisi atas penampang (m)

$$Y_a = h_{tot} - Y_b$$

Yb = Jarak garis netral terhadap sisi bawah penampang (m)

$$Y_b = \frac{\sum (F \cdot Y_t)}{\sum F}$$

Y = Jarak titik berat penampang terhadap garis netral (m)

$$Y = Y_t - Y_b$$

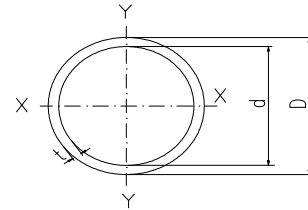
3,4 Perencanaan Sandaran

3.4.1 Perencanaan Dimensi Pipa Sandaran (Hand Rail)

Jarak tiang sandaran = 2 m

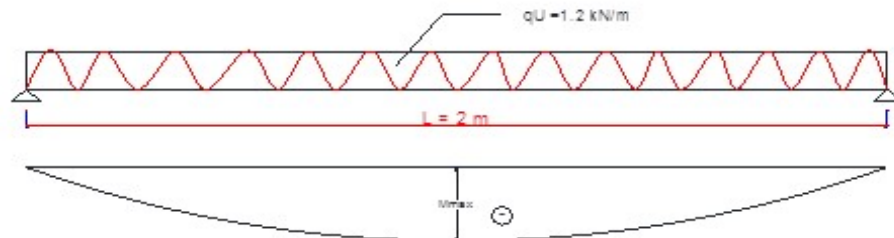
Direncanakan pipa sandaran dengan pipa bulat tipe SGP (JIS G 3452), dengan data - data :

$$\begin{aligned} \varnothing &= 60,5 \text{ mm} \\ t &= 3,8 \text{ mm} \\ G &= 5,31 \text{ kg/m} \\ W &= 9,028 \text{ cm}^3 \\ \sigma \text{ ijin} &= 1600 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



$$\text{Beban hidup (qL)} = 0,75 \text{ kN/m} \quad (\text{RSNI 1725 - 2005, Pasal 12.5})$$

$$\begin{aligned} q_U &= 0,75 \cdot \text{Faktor Beban} \quad (\text{SNI 2847 - 2013, Pasal 9.2}) \\ &= 0,75 \cdot 1,6 \\ &= 1,2 \text{ kN/m} \longrightarrow 120 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



Gambar 3.12 Diagram Momen Pipa Sandaran

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{1}{8} \cdot (q_U + G) \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot (120 + 5,31) \cdot 2^2 \\ &= 62,655 \text{ kgm} \\ &= 6265,5 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{W} = \frac{6265,5}{9,028} \\ &= 694,01 \text{ kg/cm}^2 < \sigma \text{ ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{ijin}} = \frac{M}{W}$$

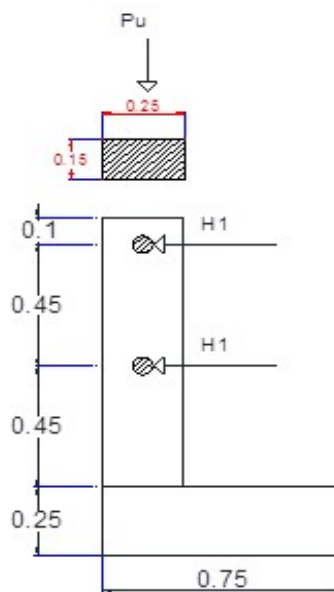
$$W = \frac{M}{\sigma_{\text{ijin}}} = \frac{6265,5}{1600}$$

$$= 3,92 \text{ cm}^3 < W_{\text{ada}} = 9,028 \text{ cm}^3 \quad \text{OK}$$

Digunakan pipa bulat tipe SGP (JIS G 3452) dengan diameter 60,5 mm

3.4.2 Perencanaan Tiang Sandaran

Pembebanan Tiang Sandaran



Gambar 3.13 Gaya pada Tiang Sandaran

$$\text{Beban Terpusat (Pu)} = \text{B.S Sandaran}$$

$$0,15 \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 24 = 0,9 \text{ kN}$$

B. 2 Pipa Sandaran

$$2 \cdot (2 \cdot 0,0531) = 0,21 \text{ kN}$$

$$\text{Pu} = 1,11 \text{ kN}$$

$$\text{Pu} = 1,11 \cdot \text{Faktor Beban}$$

$$= 1,11 \cdot 1,2 \quad (\text{SNI 2847 - 2013, Pasal 9.2})$$

$$= 1,33 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Tiang (H1)} = \Sigma H1$$

$$= 2 (0,75) \text{ kN/m} \quad (\text{RSNI 1725 - 2005})$$

$$= 1,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
H_u &= 1,5 \cdot \text{Faktor Beban} \\
&= 1,5 \cdot 1,6 \quad (\text{SNI 2847 - 2013, Pasal 9.2}) \\
&= 2,4 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Momen akibat beban H (kondisi kantilever)

$$\begin{aligned}
M_{UH} &= (H_u \cdot x_1 + H_u \cdot x_2) \\
&= (2,4 \cdot 0,9 + 2,4 \cdot 0,45) \\
&= 3,24 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Penulangan Tiang Sandaran

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
f_c &= \text{K-300} \quad (f_c = 30 \text{ Mpa}) \\
f_y &= \text{BJTP-24} \quad (f_y = 240 \text{ Mpa}) \\
\text{Tinggi tiang} &= 1 \text{ m} \\
\text{Jarak tiang} &= 2 \text{ m} \\
\text{Dimensi Tiang} &= 15 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \\
\text{tebal selimut (p)} &= 40 \text{ mm} \\
\text{\textcircled{O} Sengkang} &= 8 \text{ mm} \\
\text{\textcircled{O} Tul. Pokok} &= 10 \text{ mm} \\
\text{Tinggi efektif (d)} &= h - p - \text{\textcircled{O} Sengkang} - 0,5 \text{\textcircled{O} Tul. Pokok} \\
&= 250 - 40 - 8 - 0,5 \cdot 10 \\
&= 197 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

Dengan menggunakan rumus lentur murni diperoleh:

$$\begin{aligned}
\frac{M_u}{b \cdot d^2} &= \phi \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f_c} \right) \\
\frac{3,24 \cdot 10^6}{150 \cdot 197^2} &= 0,8 \cdot \rho \cdot 240 \left(1 - 0,588 \rho \frac{240}{30} \right) \\
\frac{3240000}{5821350} &= 192 \rho \left(1 - 4,704 \rho \right) \\
0,56 &= 192 \rho - 903,168 \rho^2 \\
903,168 \rho^2 - 192 \rho + 0,56 &
\end{aligned}$$

a
b
c

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} \\ &= \frac{192 - \sqrt{192^2 - 4 \cdot 903,168 \cdot 0,56}}{2 \cdot 903,168} \\ &= \frac{192 - \sqrt{36864 - 2010,71}}{1806,34} \\ &= \frac{192 - \sqrt{34853,29}}{1806,34} \\ &= \frac{5,31}{1806,34} \\ \rho &= 0,0029 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,15 \sqrt{f_c}}{0,9 \cdot f_y} \\ \rho_{\min} &= \frac{0,15 \sqrt{30}}{0,9 \cdot 240} \\ \rho_{\min} &= \frac{0,822}{216} \\ \rho_{\min} &= 0,0038 \end{aligned}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{\max}) :

$$\rho_{\max} = 75\% \cdot \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f_c antara 17 -28 Mpa diambil sebesar = 0,85
(SNI 2847-2013, Pasal 10.2.7.3)

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{240} \cdot \frac{600}{600 + 240}$$

$$\rho_b = \frac{21,7}{240} \times \frac{600}{840}$$

$$\rho_b = 0,065$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 75\% \cdot 0,065 \\ &= 0,048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek : } \quad \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0038 > 0,0029 < 0,0484 \end{aligned}$$

maka ρ yang digunakan adalah $\rho_{\min} = 0,0038$

- Luas Tulangan perlu (As perlu) :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0038 \cdot 150 \cdot 197 \\ &= 112,40 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2} \\ &= \frac{112,40}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2} \\ &= 1,43 \rightarrow 2 \text{ Buah} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 157,00 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tarik = 2 \emptyset 10 mm

- Tulangan Sengkang

$$\begin{aligned} V_u &= H_u \\ &= 2,4 \text{ kN} \rightarrow 2400 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya Geser yang disumbangkan beton (V_c):

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{f_c'} \\ &= \frac{1}{6} \cdot 150 \cdot 197 \cdot \sqrt{30} \\ &= 26975,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c > V_u$$

$$\frac{1}{2} \cdot 0,65 \cdot 26975,3 > 2400$$

$$8766,98 > 2400$$

OK

Digunakan tulangan $\phi = 8 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2$$

$$= 0,25 \cdot \pi \cdot 8^2$$

$$= 50,24 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 \cdot A_s$$

$$= 2 \cdot 50,24$$

$$= 100,48 \text{ mm}^2$$

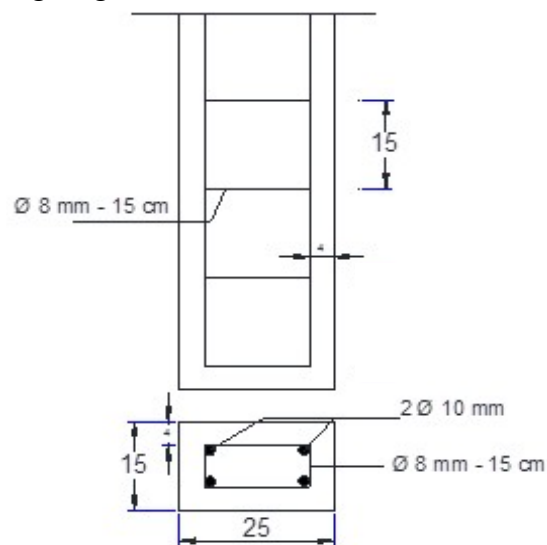
Jarak sengkang

$$= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_c}$$

$$= \frac{100,48 \cdot 240 \cdot 197}{26975,34}$$

$$= 176,11 \rightarrow 150 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang = $\phi 8 \text{ mm} - 15 \text{ cm}$



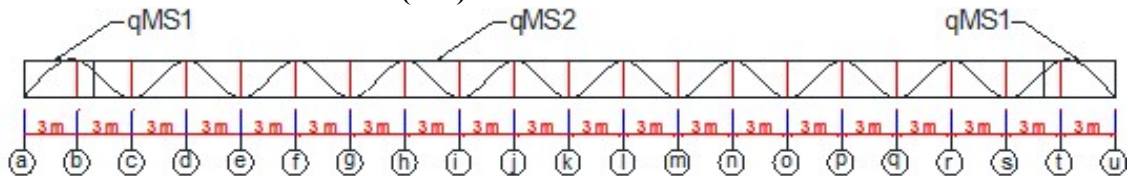
Gambar 3.14 Penulangan Tiang Sandaran

BAB IV PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pembebanan

4.1.1. Beban Tetap

4.1.1.1 Akibat Berat Sendiri (MS)



Gambar 4.1 Pembebanan Akibat Berat Sendiri

Faktor beban ultimate $(K_{MS}^U) = 1,2$ (Pracetak) → SNI T-02-2005

Faktor beban ultimate $(K_{MS}^U) = 1,3$ (Cor di tempat) → SNI T-02-2005

- Beban merata akibat blok ujung sejauh $1,3 \cdot h = 3,9 \text{ m}$ (q_{MS1})

$$\begin{aligned} \text{Berat box girder} &= \Sigma F \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ (\text{Blok Ujung}) &= 9,38 \cdot 25 \cdot 1,2 = 281,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat trotoir} &= b \cdot h \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ &= 0,75 \cdot 0,2 \cdot 24 \cdot 1,3 \cdot 2 = 9,36 \end{aligned}$$

$$q_{MS1} = 290,61 \text{ kN/m}$$

- Beban merata akibat blok tengah sejauh $60 - 2(1,3 \cdot h) = 52,2 \text{ m}$ (q_{MS2})

$$\begin{aligned} \text{Berat box girder} &= \Sigma F \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ (\text{Blok Tengah}) &= 7,62 \cdot 25 \cdot 1,2 = 228,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat trotoir} &= b \cdot h \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ &= 0,75 \cdot 0,2 \cdot 24 \cdot 1,3 \cdot 2 = 9,36 \end{aligned}$$

$$q_{MS2} = 237,81 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot (q_{MS1} \cdot L + q_{MS2} \cdot L) \\ &= \frac{1}{2} \cdot (290,61 \cdot 7,8 + 237,81 \cdot 52,2) \\ &= 7340,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

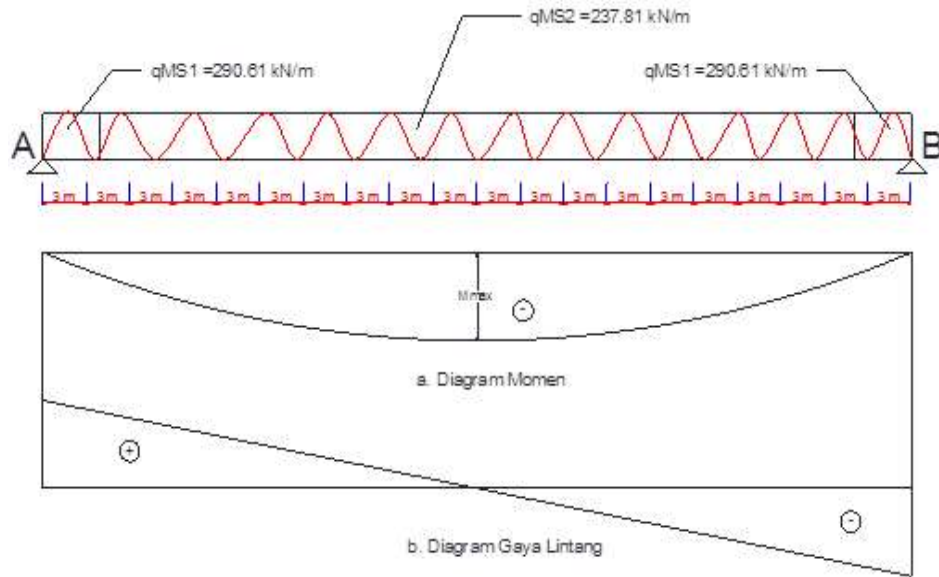
Momen dan Gaya Lintang tiap titik :

$$\begin{aligned} M_x &= [R_A \cdot x] - [1/2 \cdot q \cdot x^2] \\ &= (7340,22 \cdot x) - (0,5 \cdot 290,61 \cdot x^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } x = 0 & \rightarrow M_0 = 0 \text{ kNm} \\ x = 3 & \rightarrow M_3 = 20712,92 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_x &= R_A - (q \cdot x) \\ &= 7340,22 - (290,61 \cdot x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } x = 0 & \rightarrow V_0 = 7340,22 \text{ kN} \\ x = 3 & \rightarrow V_3 = 6468,39 \text{ kN} \end{aligned}$$

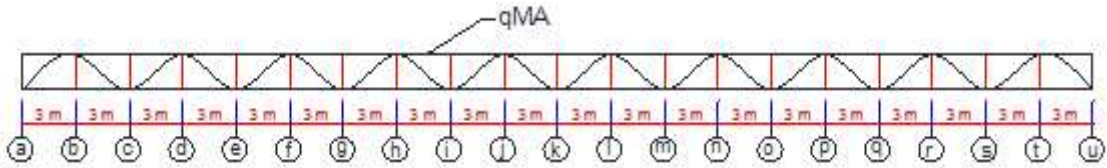


Gambar 4.2 Diagram Momen dan Gaya Akibat Berat Sendiri

Tabel 4.1 Momen dan Gaya Lintang Akibat Berat Sendiri

Titik	RA (kN)	x (m)	q (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Lintang (kN)
a	7340,22	0	290,61	0	7340,22
b	7340,22	3	290,61	20712,92	6468,39
c	7340,22	6	237,81	39760,74	5913,36
d	7340,22	9	237,81	56430,68	5199,93
e	7340,22	12	237,81	70960,32	4486,50
f	7340,22	15	237,81	83349,68	3773,07
g	7340,22	18	237,81	93598,74	3059,64
h	7340,22	21	237,81	101707,52	2346,21
i	7340,22	24	237,81	107676,00	1632,78
j	7340,22	27	237,81	111504,20	919,35
k	7340,22	30	237,81	113192,10	205,92

4.1.1.2 Akibat Beban Mati Tambahan (MA)



Gambar 4.3 Pembebanan Akibat Beban Mati Tambahan

Faktor beban ultimat (K_{MA}^U) = 2 (Keadaan Umum) → SNI T-02-2005

Faktor beban ultimat (K_{MA}^U) = 1,3 (Untuk Beban Utilitas) → SNI T-02-2005

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal} &= b \cdot h \cdot B_j \cdot (K_{MA}^U) \\ &= 7,50 \cdot 0,05 \cdot 22 \cdot 2 = 8,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air hujan} &= b \cdot h \cdot B_j \cdot (K_{MA}^U) \\ &= 7,50 \cdot 0,05 \cdot 9,8 \cdot 2 = 7,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat utilitas \& lampu jalan (diambil 100 kg/m)} &= q \cdot (K_{MA}^U) \\ &= 0,1 \cdot 1,3 = 0,13 \end{aligned}$$

$$q_{MA} = 15,73 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot q_{MA} \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 15,73 \cdot 60 \\ &= 471,9 \text{ kN} \end{aligned}$$

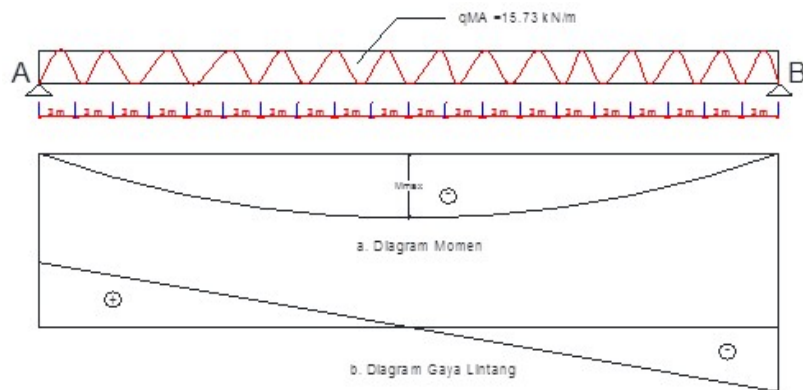
Momen dan Gaya Lintang tiap titik :

$$\begin{aligned} M_x &= [R_A \cdot x] - [1/2 \cdot q \cdot x^2] \\ &= (471,9 \cdot x) - (0,5 \cdot 0,13 \cdot x^2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } x = 0 &\quad \rightarrow \quad M_0 = 0 \quad \text{kNm} \\ x = 3 &\quad \rightarrow \quad M_3 = 1415,12 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_x &= R_A - (q \cdot x) \\ &= 471,9 - (0,13 \cdot x) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } x = 0 &\quad \rightarrow \quad V_0 = 471,9 \quad \text{kN} \\ x = 3 &\quad \rightarrow \quad V_3 = 471,51 \quad \text{kN} \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Diagram Momen dan Gaya Akibat Beban Mati Tambahan

Tabel 4.2 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Mati Tambahan

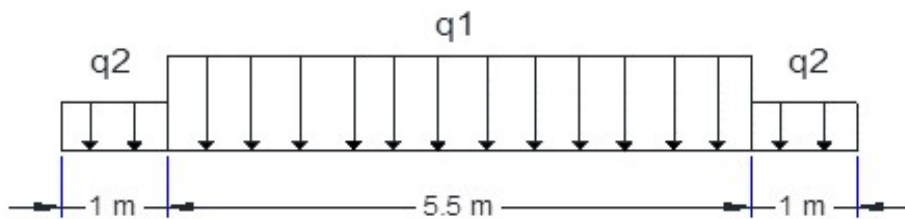
Titik	RA (kN)	x (m)	q (kN/m)	Momen (kNm)	Momen T. Sandaran	Momen Total (kNm)	Gaya Geser
							(kN)
a	471,9	0	15,73	0	3,24	3,24	471,9
b	471,9	3	15,73	1344,92	3,24	1348,16	424,71
c	471,9	6	15,73	2548,26	3,24	2551,50	377,52
d	471,9	9	15,73	3610,04	3,24	3613,28	330,33
e	471,9	12	15,73	4530,24	3,24	4533,48	283,14
f	471,9	15	15,73	5308,88	3,24	5312,12	235,95
g	471,9	18	15,73	5945,94	3,24	5949,18	188,76
h	471,9	21	15,73	6441,44	3,24	6444,68	141,57
i	471,9	24	15,73	6795,36	3,24	6798,60	94,38
j	471,9	27	15,73	7007,72	3,24	7010,96	47,19
k	471,9	30	15,73	7078,50	3,24	7081,74	0,00

4.1.2. Beban Dinamis / Beban Lalu Lintas

4.1.2.1 Akibat Beban Lajur "D" (TD)

Faktor beban ultimate $(K_{TD}^U) = 2 \longrightarrow$ SNI T-02-2005

a. Beban Terbagi Rata (BTR) "q"



Gambar 4.5 Beban Terbagi Rata (BTR)

$$L = 60 \text{ m}$$

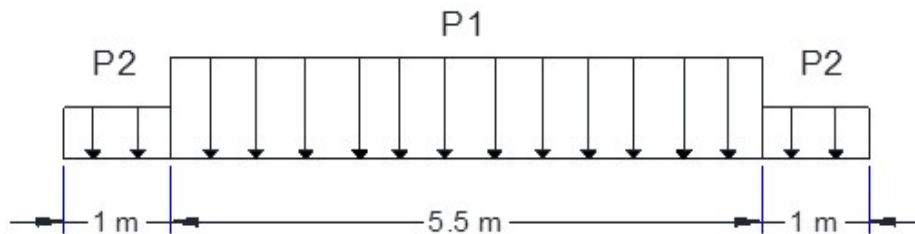
$$\begin{aligned} L > 30 \text{ m} \longrightarrow q &= 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \\ &= 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{60} \right) \\ &= 6,75 \text{ kPa} \\ &= 6,75 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_1 &= \left[\frac{6,75}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \right] \\ &= 13,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_2 &= \left[\frac{6,75}{2,75} \times 1 \times 2 \times 50\% \right] \\ &= 2,45 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{maka} \longrightarrow q &= (q_1 + q_2) \times \text{Faktor beban ultimit} \\ &= (13,5 + 2,45) \times 1,8 \\ &= 17,92 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban Garis (BGT) "q"



Gambar 4.6 Beban Garis (BGT)

$$P = 49,0 \text{ kN/m}$$

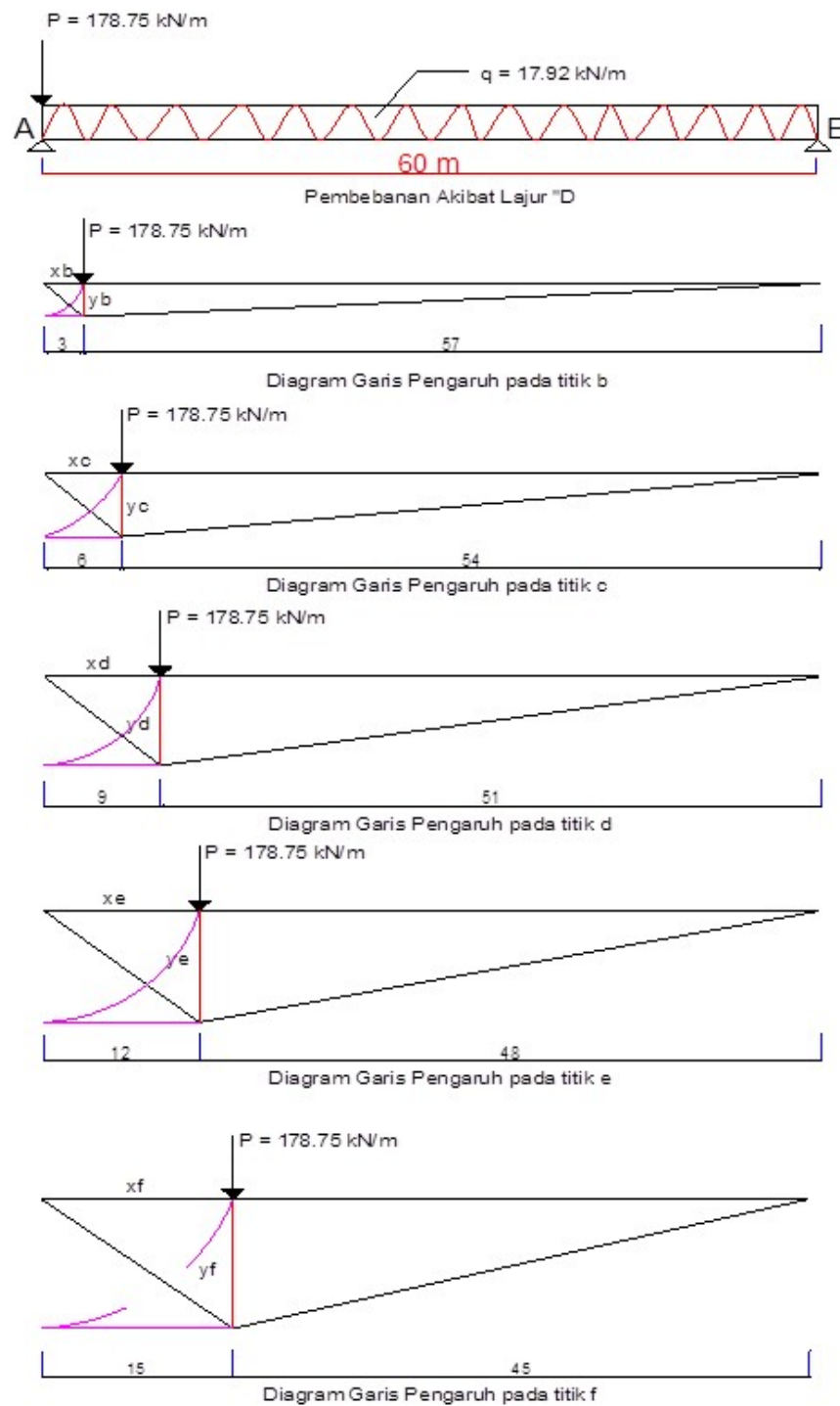
$$\begin{aligned} P_1 &= \left[\frac{49,0}{2,75} \times 5,5 \times 100\% \right] \\ &= 98 \text{ kN} \end{aligned}$$

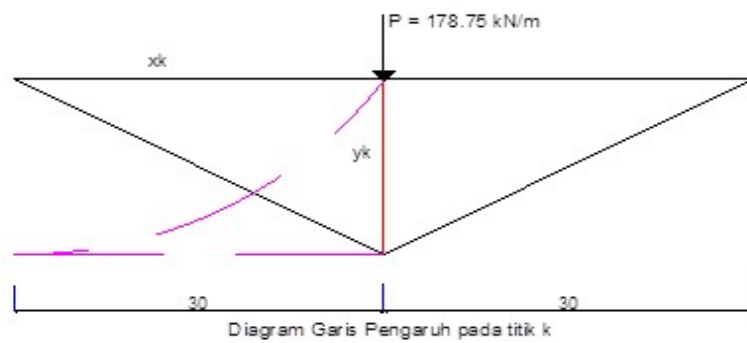
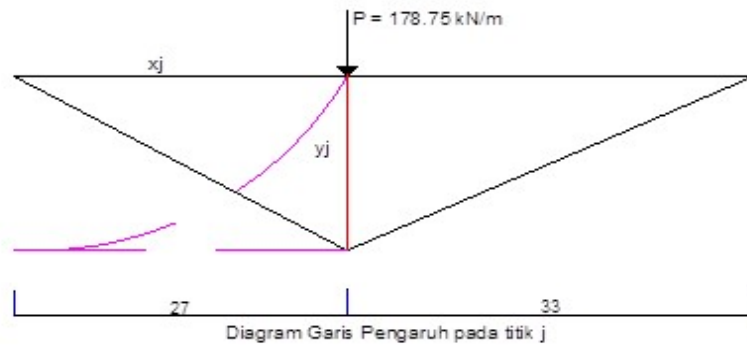
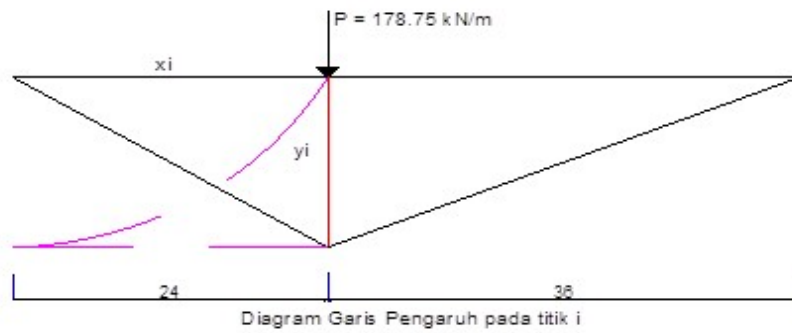
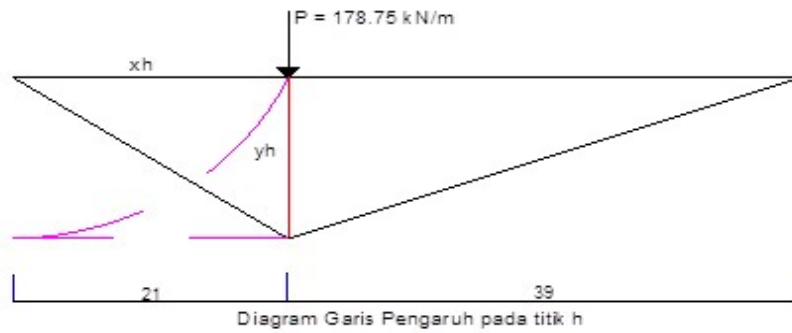
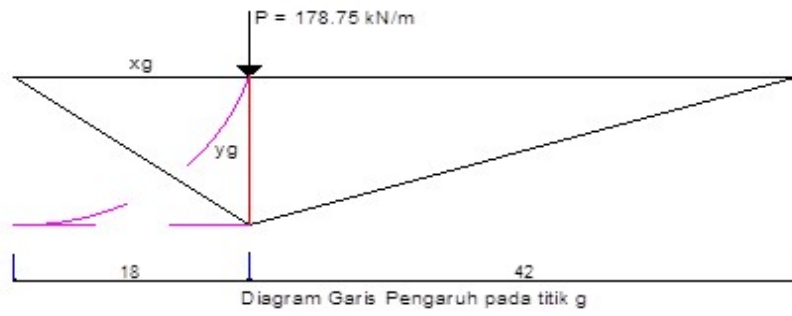
$$\begin{aligned} P_2 &= \left[\frac{49,0}{2,75} \times 1 \times 2 \times 50\% \right] \\ &= 17,82 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{maka} \longrightarrow P &= (P_1 + P_2) \times \text{Faktor beban ultimit} \\ &= (98 + 17,82) \times 1,8 \\ &= 130,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor beban dinamis (FBD) untuk beban "D" hanya bekerja pada beban garis (BGT). Untuk bentang dengan 60 m, nilai FBD ditentukan sebesar = 37,5 % (Gambar 2.4)

$$\begin{aligned} \text{Maka, } P &= 130,07 + (37,5 \% \times 130,07) \\ &= 178,85 \text{ kN} \end{aligned}$$





Tabel 4.3 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Lajur

Titik	x (m)		L (m)	y (m)	A (m ²)	P (kN)	q (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Lintang (kN)
	a	b							
a	0	0	60	0	0	178,85	17,92	0	716,40
b	3	57	60	2,85	85,5	178,85	17,92	2041,73	662,64
c	6	54	60	5,4	162	178,85	17,92	3868,54	608,89
d	9	51	60	7,65	229,5	178,85	17,92	5480,43	555,13
e	12	48	60	9,6	288	178,85	17,92	6877,40	501,38
f	15	45	60	11,25	337,5	178,85	17,92	8059,45	447,62
g	18	42	60	12,6	378	178,85	17,92	9026,58	393,87
h	21	39	60	13,65	409,5	178,85	17,92	9778,80	340,11
i	24	36	60	14,4	432	178,85	17,92	10316,09	286,36
j	27	33	60	14,85	445,5	178,85	17,92	10638,47	232,60
k	30	30	60	15	450	178,85	17,92	10745,93	178,85

$$y_x = (x_a \cdot x_b) / L \qquad M_x = (y_x \cdot P) + (A_s \cdot q)$$

$$A_x = \frac{1}{2} \cdot y_x \cdot L \qquad V_x = R_A - (q \cdot x)$$

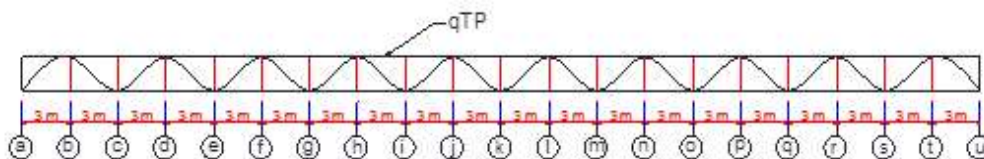
Reaksi Tumpuan

$$R_A = R_B = (1/2 \cdot q \cdot L) + P$$

$$= (1/2 \cdot 17,92 \cdot 60) + 178,85$$

$$= 716,40 \text{ kN}$$

4.1.2.2 Akibat Beban Hidup Trotoar (TP)



Gambar 4.7 Pembebanan Akibat Beban Hidup Trotoar

Faktor beban ultimate $(K_{TP}^U) = 1,8 \longrightarrow$ SNI T-02-2005
 $q = 5 \text{ kPa} \sim 5 \text{ kN/m}^2$ (Beban untuk pejalan kaki)

$$\text{Berat Hidup Trotoar} = q \cdot b \cdot (K_{TP}^U)$$

$$q_{TP} = 5 \cdot 0,75 \cdot 1,8 \cdot 2 = 13,5 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 RA = RB &= 1/2 \cdot q_{TP} \cdot L \\
 &= 1/2 \cdot 13,50 \cdot 60 \\
 &= 405 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Momen dan Gaya Lintang tiap titik :

$$\begin{aligned}
 M_x &= [RA \cdot x] - [1/2 \cdot q \cdot x^2] \\
 &= (405 \cdot x) - (0,5 \cdot 13,50 \cdot x^2)
 \end{aligned}$$

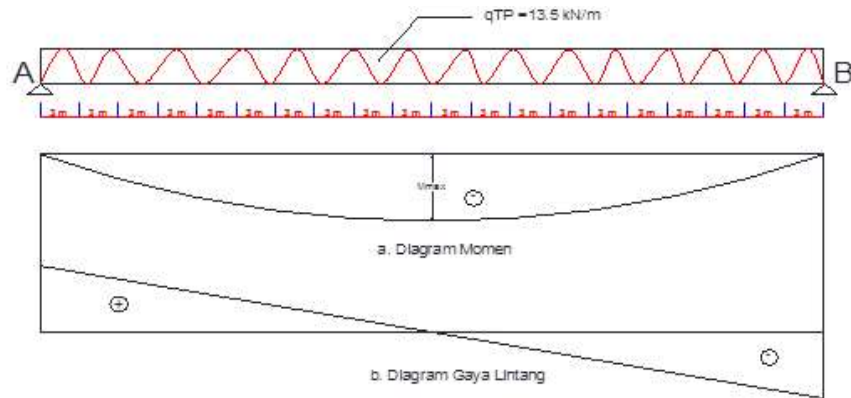
Maka :

$$\begin{aligned}
 x = 0 &\rightarrow M_0 = 0 \text{ kNm} \\
 x = 3 &\rightarrow M_3 = 1154,25 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_x &= RA - (q \cdot x) \\
 &= 405 - (13,50 \cdot x)
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 x = 0 &\rightarrow V_0 = 405 \text{ kN} \\
 x = 3 &\rightarrow V_3 = 364,50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



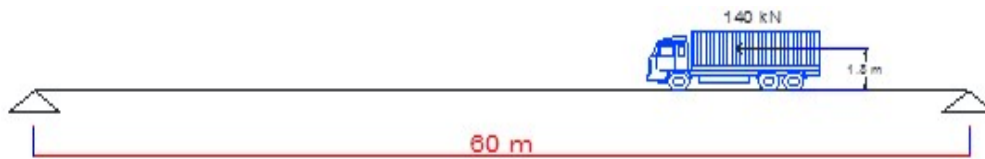
Gambar 4.8 Diagram Momen dan Gaya Akibat Beban Hidup Trotoar

Tabel 4.4 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Hidup pada Trotoar

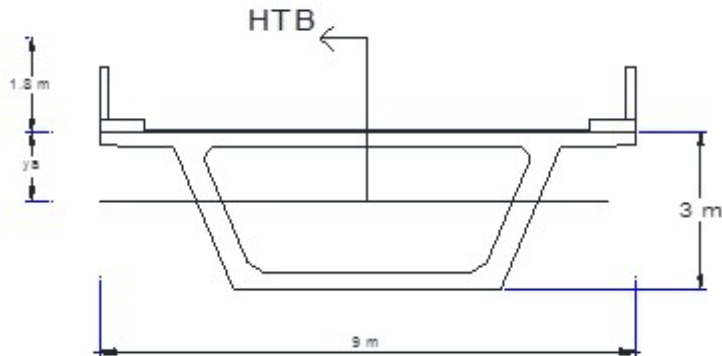
Titik	RA (kN)	x (m)	q (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Lintang (kN)
a	405	0	13,50	0	405
b	405	3	13,50	1154,25	364,50
c	405	6	13,50	2187,00	324,00
d	405	9	13,50	3098,25	283,50
e	405	12	13,50	3888,00	243,00
f	405	15	13,50	4556,25	202,50
g	405	18	13,50	5103,00	162,00
h	405	21	13,50	5528,25	121,50
i	405	24	13,50	5832,00	81,00
j	405	27	13,50	6014,25	40,50
k	405	30	13,50	6075,00	0,00

4.1.2.3 Akibat Gaya Rem (TB)

Dari grafik gaya rem yang diberikan oleh RSNI T-02-2005 pada tabel 2.10, jembatan dengan bentang 60 meter, didapatkan gaya rem sebesar = 140 kN



Gambar 4.9 Pembebanan Akibat Gaya Rem



Gambar 4.10 Pengaruh Gaya Rem pada Box Girder

Pengaruh gaya rem sebesar 5 % dari beban lajur "D" tanpa koefisien kejut yang bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap 1.8 m diatas permukaan lantai kendaraan.

Faktor beban ultimate $(K_{TB}^U) = 1,8$ → SNI T-02-2005

Gaya Rem

$$\begin{aligned} HTB &= 5 \% \cdot \text{beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis} \\ &= 5 \% \cdot (P + (q \cdot L)) \\ &= 5 \% \cdot (130,07 + 17,92 \cdot 60) \\ &= 60,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Digunakan gaya rem terbesar} &= 140 \text{ kN} \cdot \text{Faktor Beban} \\ &= 140 \cdot 1,8 \\ &= 252 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTB &= HTB \cdot (\text{Titik tangkap gaya rem} + Y_a) \\ &= 252,00 \cdot (1,8 + 1,221) \\ &= 761,37 \text{ kNm} \end{aligned}$$

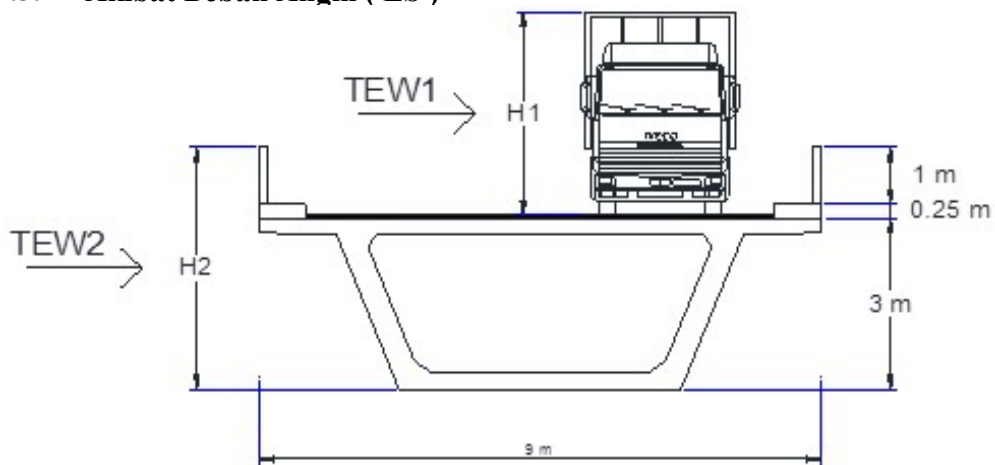
$$\begin{aligned} \text{Gaya Geser (VTB)} &= MTB / L \\ &= 761,37 / 60 \\ &= 12,69 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Momen dan Gaya Lintang Akibat Gaya Rem

Titik	x (m)	HTB (kN)	Momen (kNm)	Gaya Lintang (kN)
a	0	140,00	761,37	12,69
b	3	140,00	761,37	12,69
c	6	140,00	761,37	12,69
d	9	140,00	761,37	12,69
e	12	140,00	761,37	12,69
f	15	140,00	761,37	12,69
g	18	140,00	761,37	12,69
h	21	140,00	761,37	12,69
i	24	140,00	761,37	12,69
j	27	140,00	761,37	12,69
k	30	140,00	761,37	12,69

4.1.3. Beban Aksi Lingkungan

4.1.3.1 Akibat Beban Angin (ES)



Gambar 4.11 Gaya Angin yang Terjadi pada Box Girder

Faktor beban ultimate $(K_{ES}^U) = 1,2$ → SNI T-02-2005

$V_w (> 5 \text{ km dari pantai}) = 30 \text{ m/s}$ (Tabel 2.11)

C_w (untuk $b/d : \frac{9}{4,25} = 2,12$)

karena $b/d = 2.12$, terletak diantara $b/d = 2$ dan $b/d \geq 6$, digunakan interpolasi

$b/d = 2$ $C_w = 1,5$

$b/d = 2,12$ $C_w = x$

$b/d \geq 6$ $C_w = 1,25$

$$\begin{aligned}
 x &= 1,5 + \frac{2,12 - 2}{6 - 2} \cdot (1,25 - 1,5) \\
 &= 1,5 + 0,03 \cdot -0,25 \\
 &= 1,49
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang untuk TEW1} &= b \cdot h_1 \\
 Ab_1 &= 2,75 \cdot 4,2 \text{ (tinggi maks. Kendaraan)} \\
 &= 11,55 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang untuk TEW2} &= b \cdot h_2 \\
 Ab_2 &= 9 \cdot 4,25 \\
 &= 38,25 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat kendaraan di atasnya (RSNI 1725-2005, Pasal 7.6)

$$\begin{aligned}
 TEW_1 &= 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot Ab_1 \cdot \text{Faktor Beban} \text{ [kN]} \\
 &= 0,0012 \cdot 1,49 \cdot (30)^2 \cdot 11,55 \cdot 1,2 \\
 &= 22,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin (RSNI 1725-2005, Pasal 7.6)

$$\begin{aligned}
 TEW_2 &= 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot Ab_2 \cdot \text{Faktor Beban} \text{ [kN]} \\
 &= 0,0006 \cdot 1,49 \cdot (30)^2 \cdot 38,25 \cdot 1,2 \\
 &= 36,99 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Total gaya yang diterima oleh penampang :

$$\begin{aligned}
 HES &= TEW_1 + TEW_2 \\
 &= 22,34 + 36,99 \\
 &= 59,33 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MES &= HES \cdot L \\
 &= 59,33 \cdot 60 \\
 &= 3560,04 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya Geser (VES)} &= MES / L \\
 &= 3560,04 / 60 \\
 &= 59,33 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Momen dan Gaya Lintang Akibat Beban Angin

Titik	x (m)	HES (kN)	Momen (kNm)	Gaya Lintang (kN)
a	0	59,33	3560,04	59,33
b	3	59,33	3560,04	59,33
c	6	59,33	3560,04	59,33
d	9	59,33	3560,04	59,33
e	12	59,33	3560,04	59,33
f	15	59,33	3560,04	59,33
g	18	59,33	3560,04	59,33
h	21	59,33	3560,04	59,33
i	24	59,33	3560,04	59,33
j	27	59,33	3560,04	59,33
k	30	59,33	3560,04	59,33

4.1.4. Resume Momen dan Gaya Geser pada Box Girder

Tabel 4.7 Resume Momen Maximum pada Box Girder

Titik	x (m)	Beban Tetap		Beban Dinamis				Momen Total	
		MMS (kNm)	MMA (kNm)	MTD (kNm)	MTP (kNm)	MTB (kNm)	MES (kNm)	MG (kNm)	MT (kNm)
		1	2	3	4	5	6	1 + 2	Σ 1 ~ 6
a	0	0,0	3,24	0,0	0	761,37	3560,04	3,24	4324,7
b	3	20712,9	1348,16	2041,7	1154,25	761,37	3560,04	22061,07	29578,5
c	6	39760,7	2551,50	3868,5	2187	761,37	3560,04	42312,24	52689,2
d	9	56430,7	3613,28	5480,4	3098,25	761,37	3560,04	60043,95	72944,0
e	12	70960,3	4533,48	6877,4	3888	761,37	3560,04	75493,80	90580,6
f	15	83349,7	5312,12	8059,4	4556,25	761,37	3560,04	88661,79	105598,9
g	18	93598,7	5949,18	9026,6	5103	761,37	3560,04	99547,92	117998,9
h	21	101707,5	6444,68	9778,8	5528,25	761,37	3560,04	108152,19	127780,7
i	24	107676,0	6798,60	10316,1	5832	761,37	3560,04	114474,60	134944,1
j	27	111504,2	7010,96	10638,5	6014,25	761,37	3560,04	118515,15	139489,3
k	30	113192,1	7081,74	10745,9	6075	761,37	3560,04	120273,84	141416,2

Tabel 4.8 Resume Gaya Geser Maximum pada Box Girder

Titik	x (m)	Beban Tetap		Beban Dinamis				Gaya Geser Total
		VMS (kN)	VMA (kN)	VTD (kN)	VTP (kN)	VTB (kN)	VES (kN)	V total (kN)
		1	2	3	4	5	6	Σ 1 ~ 6
a	0	7340,2	471,9	716,40	405	12,69	59,33	9005,5
b	3	6468,4	424,71	662,64	364,5	12,69	59,33	7992,3
c	6	5913,4	377,52	608,89	324	12,69	59,33	7295,8
d	9	5199,9	330,33	555,13	283,5	12,69	59,33	6440,9
e	12	4486,5	283,14	501,38	243	12,69	59,33	5586,0
f	15	3773,1	235,95	447,62	202,5	12,69	59,33	4731,2
g	18	3059,6	188,76	393,87	162	12,69	59,33	3876,3
h	21	2346,2	141,57	340,11	121,5	12,69	59,33	3021,4
i	24	1632,8	94,38	286,36	81	12,69	59,33	2166,5
j	27	919,4	47,19	232,60	40,5	12,69	59,33	1311,7
k	30	205,9	0	178,85	0	12,69	59,33	456,8

4.2. Tegangan Pada Beton Prategang

4.2.1 Tegangan Ijin Beton

Syarat kemampuan layan komponen struktur lentur menurut SNI 7833-2012, Pasal 6.4.1, tegangan pada beton tidak boleh melebihi nilai berikut:

1. Kuat tekan beton saat pemberian prategang awal (f_{ci})

$$\begin{aligned} f_{ci} &= 0,80 \cdot f_c \\ &= 0,80 \cdot 50 \\ &= 40 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

2. Keadaan awal sesaat sesudah penyaluran gaya prategang.

(sebelum kehilangan prategang) (SNI 7833-2012, Pasal 6.4.1)

- a. Tegangan serat tekan terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,70 \cdot f_{ci} \\ &= 0,70 \cdot 40 \\ &= 28 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- b. Tegangan serat tarik terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,50 \cdot \sqrt{f_{ci}} \\ &= 0,50 \cdot \sqrt{40} \\ &= 3,16 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

3. Keadaan Akhir setelah kehilangan gaya prategang (SNI 7833-2012, Pasal 6.4.2)

a. Tegangan serat tekan terluar.

$$\begin{aligned}f &= 0,60 \cdot f_{ci} \\ &= 0,60 \cdot 40 \\ &= 24 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

4. Modulus elastisitas beton (E_c) \rightarrow (SNI 2847-2013, Pasal 8.5)

a. Beton prategang $f_c = 50$ Mpa

$$\begin{aligned}E_c &= 4700 \cdot \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{50} \\ &= 33234,02 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

b. Beton konvensional $f_c = 30$ Mpa

$$\begin{aligned}E_c &= 4700 \cdot \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \cdot \sqrt{30} \\ &= 25742,96 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dimana : E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

f_c = Kuat Tekan beton (Mpa)

4.2.2 Tegangan Ijin Tendon Prategang

Digunakan tendon VSL Tipe E 6-43 , dengan 43 untaian :

- Diameter nominal = 0,6 inch \rightarrow 15,24 mm
- Luas Tendon = 9,33 inch² \rightarrow 6017,85 mm²
- Berat Nominal = 0,74 lbs/ft \rightarrow 1,0952 kg/m
- Gaya prapeneggangan terhadap beban putus (80%) = 2519,8 kips
(F_{pu}) = 11429561 N

- Beban leleh (10%) = 0,9 \cdot F_{pu}
= 0,9 \cdot 11429561
(F_{py}) = 10286605 N

- Tegangan putus minimum (f_{pu}) :

$$\begin{aligned}f_{pu} &= \frac{F_{pu}}{A} \\ &= \frac{11429561}{6017,85} \\ &= 1899,28 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

- Tegangan leleh (f_{py}) :

$$\begin{aligned} f_{py} &= \frac{F_{py}}{A} \\ &= \frac{10286605}{6017,85} \\ &= 1709,35 \quad \text{MPa (N/mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

- Modulus Elastisitas (E_s) = 200000 Mpa

Syarat kemampuan layan komponen struktur lentur menurut SNI 7833-2012, Pasal 6.5.1, tegangan tarik pada baja prategang tidak boleh melebihi nilai berikut:

1. Akibat gaya penarikan (jacking) baja prategang :

$$\begin{aligned} f_p &= 0,94 \cdot f_{py} \\ &= 0,94 \cdot 1709,35 \\ &= 1606,79 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh lebih besar dari :

$$\begin{aligned} f_p &= 0,80 \cdot f_{pu} \\ &= 0,80 \cdot 1899,28 \\ &= 1519,42 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

2. Segera setelah penyaluran prategang :

$$\begin{aligned} f_p &= 0,82 \cdot f_{py} \\ &= 0,82 \cdot 1709,35 \\ &= 1401,67 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh lebih besar dari :

$$\begin{aligned} f_p &= 0,74 \cdot f_{pu} \\ &= 0,74 \cdot 1899,28 \\ &= 1405,46 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

3. Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur, sesaat setelah transfer gaya :

$$\begin{aligned} f_p &= 0,70 \cdot f_{pu} \\ &= 0,70 \cdot 1899,28 \\ &= 1329,49 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

4,3 Perhitungan Prategang

4.3.1 Perhitungan Gaya Prategang

Dari hasil analisa statika diperoleh nilai momen maksimum :

$$\text{Momen akibat beban mati (MDL = MG)} = 120273,84 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen akibat kombinasi total (MT)} = 141416,19 \text{ kNm}$$

1. Desain gaya prategang efektif yang diperlukan (F) :

$$\text{- Bila } \frac{MG}{MT} < 20\% \text{ - } 30\%$$

$$\text{Sehingga : } F = T = \frac{MG}{0,5 \cdot h}$$

$$Ac = \frac{F}{0,5 \cdot f_c}$$

$$\text{- Bila } \frac{MG}{MT} > 20\% \text{ - } 30\%$$

$$\text{Sehingga : } F = T = \frac{MT}{0,65 \cdot h}$$

$$Ac = \frac{F}{0,5 \cdot f_c}$$

Dari persamaan diatas, didapat :

$$\begin{aligned} \frac{MG}{MT} \cdot 100\% &= \frac{120273,84}{141416,19} \cdot 100\% \\ &= 85,05\% > 20\% \text{ - } 30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } F = T &= \frac{MT}{0,65 \cdot h} \\ &= \frac{141416,19}{0,65 \cdot 3} \\ &= 72521,12 \text{ kN} \\ &= 7252112,14 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Gaya pra penegangan awal kehilangan fase tarik 20% (pasca tarik) :

$$F_0 = \frac{F}{80\%}$$

$$= \frac{72521,12}{80\%} = 90651,40 \text{ kN}$$

3. Luas penampang beton yang diperlukan berdasarkan besarnya gaya prategang :

$$\begin{aligned} A_c &= \frac{F}{0,5 \cdot f_c} \\ &= \frac{7252112,14}{0,5 \cdot 500} = 29008,45 \text{ cm}^2 < A_c \text{ ada} \\ &= 29008,45 \text{ cm}^2 < 7,615 \text{ m}^2 \\ &= 29008,45 \text{ cm}^2 < 76150 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

4.3.2 Penentuan Jumlah Tendon

Digunakan jenis kabel tendon VSL tipe E 0,6",

- Tipe tendon = 6 - 43
- Jumlah untaiar = 43
- Gaya prapenegangan terhadap beban putus (80%) = 2519,8 kips
= 11429,56 kN

- Jumlah tendon (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{F_o}{\text{Gaya prapenegangan terhadap beban putus (80\%)}} \\ &= \frac{90651,40}{11429,56} \\ &= 7,93 \quad \rightarrow \quad 8 \text{ tendon} \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{aligned} F_o \text{ Ada} &= n \cdot \text{Kuat 1 tendon} \\ &= 8 \cdot 11429,56 \\ &= 91436,49 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_o \text{ Ada} = 91436,49 \text{ kN} > F_o = 90651,40 \text{ kN} \quad \mathbf{OK}$$

Gaya pra penegangan efektif (F Ada)

$$\begin{aligned} F \text{ Ada} &= 0,8 \cdot F_o \text{ Ada} \\ &= 0,8 \cdot 91436,49 \\ &= 73149,19 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.3.3 Penentuan Daerah Aman dan Tata Letak Tendon

4.3.3.1 Penentuan Daerah Aman Tendon

Menentukan kordinat daerah aman tendon (a) :

1. Keadaan Awal (a1) :

$$F_o = 91436,49 \text{ kN}$$

Untuk titik b, x = 3 m

$$\begin{aligned} a1 &= \frac{MBS}{F_o} \rightarrow \text{dimana, MBS} = \text{Momen akibat berat sendiri balok pratekan.} \\ &= \frac{20712,92}{91436,49} \\ &= 0,23 \text{ m} \rightarrow 22,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.9 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal

Titik	x (m)	MBS / MMS (kNm)	F _o (kN)	a1	
				(m)	(cm)
a	0	0,00	91436,49	0,00	0,00
b	3	20712,92	91436,49	0,23	22,65
c	6	39760,74	91436,49	0,43	43,48
d	9	56430,68	91436,49	0,62	61,72
e	12	70960,32	91436,49	0,78	77,61
f	15	83349,68	91436,49	0,91	91,16
g	18	93598,74	91436,49	1,02	102,36
h	21	101707,52	91436,49	1,11	111,23
i	24	107676,00	91436,49	1,18	117,76
j	27	111504,20	91436,49	1,22	121,95
k	30	113192,10	91436,49	1,24	123,79

2. Keadaan Setelah Kehilangan Tegangan (a2) :

$$F = 73149,19 \text{ kN}$$

Untuk titik b, x = 3 m

$$a2 = \frac{MBS}{F} \rightarrow \text{dimana, MBS} = \text{Momen akibat berat sendiri balok pratekan.}$$

$$= \frac{20712,92}{73149,19}$$

$$= 0,28 \text{ m} \rightarrow 28,3 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.10 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Setelah Kehilangan Tegangan

Titik	x (m)	MBS / MMS (kNm)	F (kN)	a2	
				(m)	(cm)
a	0	0,00	73149,19	0,00	0,00
b	3	20712,92	73149,19	0,28	28,32
c	6	39760,74	73149,19	0,54	54,36
d	9	56430,68	73149,19	0,77	77,14
e	12	70960,32	73149,19	0,97	97,01
f	15	83349,68	73149,19	1,14	113,94
g	18	93598,74	73149,19	1,28	127,96
h	21	101707,52	73149,19	1,39	139,04
i	24	107676,00	73149,19	1,47	147,20
j	27	111504,20	73149,19	1,52	152,43
k	30	113192,10	73149,19	1,55	154,74

3. Keadaan Setelah Beban Mati Total (a3) :

$$F = 73149,19 \text{ kN}$$

Untuk titik b, x = 3 m

$$a3 = \frac{MD}{F} \rightarrow \text{dimana, MD} = \text{Momen akibat beban mati total}$$

$$= \frac{22061,07}{73149,19}$$

$$= 0,3 \text{ m} \rightarrow 30,2 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.11 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Setelah Beban Mati Total

Titik	x (m)	MD / MG (kNm)	F (kN)	a3	
				(m)	(cm)
a	0	3,24	73149,19	0,00	0,00
b	3	22061,07	73149,19	0,30	30,16

c	6	42312,24	73149,19	0,58	57,84
d	9	60043,95	73149,19	0,82	82,08
e	12	75493,80	73149,19	1,03	103,21
f	15	88661,79	73149,19	1,21	121,21
g	18	99547,92	73149,19	1,36	136,09
h	21	108152,19	73149,19	1,48	147,85
i	24	114474,60	73149,19	1,56	156,49
j	27	118515,15	73149,19	1,62	162,02
k	30	120273,84	73149,19	1,64	164,42

4. Keadaan Setelah Beban Kombinasi Total (a4) :

$$F = 73149,19 \text{ kN}$$

Untuk titik b, x = 3 m

$$a4 = \frac{MT}{F} \rightarrow \text{dimana, MT} = \text{Momen akibat beban kombinasi total}$$

$$= \frac{29578,46}{73149,19}$$

$$= 0,4 \text{ m} \rightarrow 40,4 \text{ cm}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.12 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Setelah Beban Kombinasi Total

Titik	x (m)	MT (kNm)	F (kN)	a4	
				(m)	(cm)
a	0	4324,65	73149,19	0,06	5,91
b	3	29578,46	73149,19	0,40	40,44
c	6	52689,19	73149,19	0,72	72,03
d	9	72944,04	73149,19	1,00	99,72
e	12	90580,61	73149,19	1,24	123,83
f	15	105598,90	73149,19	1,44	144,36
g	18	117998,92	73149,19	1,61	161,31
h	21	127780,65	73149,19	1,75	174,68
i	24	134944,11	73149,19	1,84	184,48
j	27	139489,29	73149,19	1,91	190,69
k	30	141416,19	73149,19	1,93	193,33

4.3.3.2 Penentuan Tata Letak Tendon

Diketahui :

Ditentukan jarak tendon terhadap sisi bawah (pada tengah bentang)	= 15 cm
Tebal selimut beton prategang digunakan	= 8 cm
lebar angkur E 0,6" tipe 6-43	= 20,47 inch = 51,99 cm
Diameter selubung tendon tipe E 0,6" (Duct untuk tipe tendon 6-43)	= 6,57 inch = 16,69 cm

Tata Letak tendon diatur pada gambar 4.11 dimana digunakan batas atas a_4 dan batas bawah a_1 , dimana batas tersebut merupakan daerah batas untuk c.g.s yang tidak memperbolehkan adanya terjadi tegangan tarik sesuai teori elastis. (T.Y. Lin, Desain Struktur Beton Prategang, Hal. 277)

- Kontrol resultante tendon (c.g.s) terhadap batas aman tendon:

Titik daerah aman pada blok ujung (dari bawah balok)	= 86,50 - 230,49 cm
Titik daerah aman pada blok tengah (dari bawah balok)	= 0 - 54,77 cm
Letak c.g.s pada blok ujung (titik A)	= 172,60 cm OK
Letak c.g.s pada balok tengah (titik K)	= 46,71 cm OK

- Penentuan Tata Letak Tendon

Digunakan persamaan parabola dengan rumus :

$$y = \frac{4 \cdot \Delta \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}$$

Dimana : y = Jarak tendon dari serat bawah balok

Δ = Beda tinggi antara tendon pada blok ujung dengan blok tengah

L = Panjang total bentang jembatan = 6000 cm

x = Lebar per segmen beton

- Untuk tendon 1 dan 2, dengan $\Delta_1 = 180,51$ cm , $y_0 = 250,59$ cm

- Untuk titik b, $x = 300$ cm

$$y_b = \frac{4 \cdot \Delta \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}$$

$$y_b = \frac{4 \cdot 180,51 \cdot 300 \cdot (6000 - 300)}{6000^2}$$

$$y_b = \frac{1234688400}{36000000}$$

$$= 34,30 \text{ cm}$$

$$Y = y_o - y_b$$

$$= 250,59 - 34,30$$

$$= 216,29 \text{ cm}$$

Tabel 4.13 Koordinat Tendon 1 & 2

Titik	L (cm)	x (cm)	Δ (cm)	y (cm)	y _o (cm)	Y (cm)
a	6000	0	180,51	0	250,59	250,59
b	6000	300	180,51	34,30	250,59	216,29
c	6000	600	180,51	64,98	250,59	185,61
d	6000	900	180,51	92,06	250,59	158,53
e	6000	1200	180,51	115,53	250,59	135,06
f	6000	1500	180,51	135,38	250,59	115,21
g	6000	1800	180,51	151,63	250,59	98,96
h	6000	2100	180,51	164,26	250,59	86,33
i	6000	2400	180,51	173,29	250,59	77,30
j	6000	2700	180,51	178,70	250,59	71,89
k	6000	3000	180,51	180,51	250,59	70,08

b. Untuk tendon 3 dan 4, dengan $\Delta_2 = 144,09 \text{ cm}$, $y_o = 198,6 \text{ cm}$

- Untuk titik b, $x = 300 \text{ cm}$

$$y_b = \frac{4 \cdot \Delta \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}$$

$$y_b = \frac{4 \cdot 144,09 \cdot 300 \cdot (6000 - 300)}{6000^2}$$

$$y_b = \frac{985575600}{36000000}$$

$$= 27,38 \text{ cm}$$

$$Y = y_o - y_b$$

$$= 198,6 - 27,38$$

$$= 171,22 \text{ cm}$$

Tabel 4.14 Koordinat Tendon 3 & 4

Titik	L (cm)	x (cm)	Δ (cm)	y (cm)	yo (cm)	Y (cm)
a	6000	0	144,09	0	198,6	198,6
b	6000	300	144,09	27,38	198,6	171,22
c	6000	600	144,09	51,87	198,6	146,73
d	6000	900	144,09	73,49	198,6	125,11
e	6000	1200	144,09	92,22	198,6	106,38
f	6000	1500	144,09	108,07	198,6	90,53
g	6000	1800	144,09	121,04	198,6	77,56
h	6000	2100	144,09	131,12	198,6	67,48
i	6000	2400	144,09	138,33	198,6	60,27
j	6000	2700	144,09	142,65	198,6	55,95
k	6000	3000	144,09	144,09	198,6	54,51

c. Untuk tendon 5 dan 6, dengan $\Delta_3 = 107,68$ cm , yo = 146,6 cm

- Untuk titik b, x = 300 cm

$$y_b = \frac{4 \cdot \Delta \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}$$

$$y_b = \frac{4 \cdot 107,68 \cdot 300 \cdot (6000 - 300)}{6000^2}$$

$$y_b = \frac{736531200}{36000000}$$

$$= 20,46 \text{ cm}$$

$$Y = y_o - y_b$$

$$= 146,6 - 20,46$$

$$= 126,14 \text{ cm}$$

Tabel 4.15 Koordinat Tendon 5 & 6

Titik	L (cm)	x (cm)	Δ (cm)	y (cm)	yo (cm)	Y (cm)
a	6000	0	107,68	0	146,6	146,6
b	6000	300	107,68	20,46	146,6	126,14
c	6000	600	107,68	38,76	146,6	107,84
d	6000	900	107,68	54,92	146,6	91,68
e	6000	1200	107,68	68,92	146,6	77,68

f	6000	1500	107,68	80,76	146,6	65,84
g	6000	1800	107,68	90,45	146,6	56,15
h	6000	2100	107,68	97,99	146,6	48,61
i	6000	2400	107,68	103,37	146,6	43,23
j	6000	2700	107,68	106,60	146,6	40,00
k	6000	3000	107,68	107,68	146,6	38,92

d. Untuk tendon 7 dan 8, dengan $\Delta 4 = 71,27 \text{ cm}$, $y_0 = 94,62 \text{ cm}$

- Untuk titik b, $x = 300 \text{ cm}$

$$y_b = \frac{4 \cdot \Delta \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}$$

$$y_b = \frac{4 \cdot 71,27 \cdot 300 \cdot (6000 - 300)}{6000^2}$$

$$y_b = \frac{487486800}{36000000}$$

$$= 13,54 \text{ cm}$$

$$Y = y_0 - y_b$$

$$= 94,62 - 13,54$$

$$= 81,08 \text{ cm}$$

Tabel 4.16 Koordinat Tendon 7 & 8

Titik	L (cm)	x (cm)	Δ (cm)	y (cm)	y_0 (cm)	Y (cm)
a	6000	0	71,27	0	94,62	94,62
b	6000	300	71,27	13,54	94,62	81,08
c	6000	600	71,27	25,66	94,62	68,96
d	6000	900	71,27	36,35	94,62	58,27
e	6000	1200	71,27	45,61	94,62	49,01
f	6000	1500	71,27	53,45	94,62	41,17
g	6000	1800	71,27	59,87	94,62	34,75
h	6000	2100	71,27	64,86	94,62	29,76
i	6000	2400	71,27	68,42	94,62	26,20
j	6000	2700	71,27	70,56	94,62	24,06
k	6000	3000	71,27	71,27	94,62	23,35

- Titik berat tendon (z) terhadap sisi bawah :

Pada titik b :

$$z = \frac{\Sigma Y}{n \text{ tendon}}$$

$$= \frac{216,29 + 171,22 + 126,14 + 81,08}{4}$$

$$= 148,68 \text{ cm}$$

Tabel 4.17 Titik Berat Tendon (z) Terhadap Sisi Bawah

Titik	Jarak Y dari serat bawah (cm)				z (cm)
	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	
a	250,59	198,60	146,60	94,62	172,6
b	216,29	171,22	126,14	81,08	148,68
c	185,61	146,73	107,84	68,96	127,28
d	158,53	125,11	91,68	58,27	108,40
e	135,06	106,38	77,68	49,01	92,03
f	115,21	90,53	65,84	41,17	78,19
g	98,96	77,56	56,15	34,75	66,86
h	86,33	67,48	48,61	29,76	58,04
i	77,30	60,27	43,23	26,20	51,75
j	71,89	55,95	40,00	24,06	47,97
k	70,08	54,51	38,92	23,35	46,71

4,4 Kontrol Prategang

4.4.1 Kontrol Kehilangan Gaya Prategang

4.4.1.1 Kehilangan Akibat Perpendekan Elastis Beton

$$ES = K_{es} \cdot E_s \cdot \left(\frac{f_{cir}}{E_c} \right)$$
$$f_{cir} = \left(\frac{F}{A} \right) + \left(\frac{F \cdot e^2}{I_g} \right) - \left(\frac{MMS \cdot e}{I_g} \right)$$

Dimana :

F	= Gaya prategang efektif	= 91436,49 kN
A	= Luas penampang balok	= 76150 cm ²
I _g	= Momen inersia	= 9,507 m ⁴ = 950666579 cm ⁴
MMS	= Momen akibat berat sendiri beton	= 113192,10 kNm = 11319210 kNcm
e	= Eksentrisitas pada bentang tengah	= Y _b - z _k = 177,9 - 46,71 = 131,16 cm
E _c	= Modulus elastisitas beton prategang	= 33234,02 Mpa = 3323,40 kN/cm ²
E _s	= Modulus elastisitas baja	= 200000 Mpa = 20000 kN/cm ²
K _{es}	= 0,5 untuk komponen struktur pasca tarik	

$$f_{cir} = \left(\frac{91436,49}{76150} \right) + \left(\frac{91436,49 \cdot 131,2^2}{950666579,2} \right) - \left(\frac{11319210 \cdot 131,2}{950666579,2} \right)$$
$$= 1,20 + 1,65 - 1,56$$
$$= 1,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$ES = 0,5 \cdot 20000 \cdot \left(\frac{1,29}{3323,40} \right)$$
$$= 3,89 \text{ kN/cm}^2$$

4.4.1.2 Kehilangan Akibat Rangkak Beton

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

$$f_{cds} = \frac{MDL \cdot e}{I_g}$$

Dimana :

$$E_c = \text{Modulus elastisitas beton prategang} = 33234,02 \text{ Mpa} \\ = 3323,40 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_s = \text{Modulus elastisitas baja} = 200000 \text{ Mpa} \\ = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I_g = \text{Momen inersia} = 9,507 \text{ m}^4 \\ = 950666579 \text{ cm}^4$$

$$MMA = \text{Momen akibat beban mati tambahan} = 7081,74 \text{ kNm} \\ = 708174 \text{ kNcm}$$

$$e = \text{Eksentrisitas pada bentang tengah} = Y_b - z_k \\ = 177,9 - 46,71 \\ = 131,16 \text{ cm}$$

f_{cir} = Tegangan beton pada garis yang melalui titik berat baja

K_{cr} = 1,6 untuk komponen struktur pasca-tarik

$$f_{cds} = \frac{708174 \cdot 131,16}{950666579,2} \\ = 0,10 \text{ kN/cm}^2$$

$$CR = 1,6 \cdot \frac{20000}{3323,40} \cdot (1,29 - 0,10) \\ = 11,5 \text{ kN/cm}^2$$

4.4.1.3 Kehilangan Akibat Susut Beton

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot K_{sh} \cdot E_s \cdot \left(1 - 0,06 \cdot \frac{V}{S} \right) \cdot (100 - RH)$$

Dimana :

$$K_{sh} = 0,45 \text{ Koefisien susut}$$

$$\frac{V}{S} = \text{Perbandingan volume terhadap permukaan}$$

$$RH = \text{Kelembapan relatif} = 70 \%$$

$$E_s = \text{Modulus elastisitas baja} = 200000 \text{ Mpa} \\ = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{V}{S} = \frac{76150}{6000} \\ = \frac{76150}{6000} \\ = 12,69$$

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} \cdot 0,45 \cdot 20000 \cdot (1 - 0,06 \cdot 12,69) \cdot (100 - 70\%) \\ = 8,2 \times 10^{-6} \cdot 9000 \cdot (0,239) \cdot (30) \\ = 0,528 \text{ kN/cm}^2$$

4.4.1.4 Kehilangan Akibat Relaksasi Baja

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)] \cdot C$$

Dimana :

$$K_{re} = 35 \text{ Mpa (Tabel 2.14)}$$

$$= 3,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$J = 0,04 \text{ (Tabel 2.14)}$$

$$C = 0,75 \text{ (Tabel 2.15)}$$

$$\begin{aligned}
f_{pu} &= \text{Tegangan putus minimum baja} = 1899,28 \text{ Mpa} \\
f_{pi} &= \text{Tegangan baja (segera setelah pengangkutan)} \\
&= 0,7 \cdot f_{pu} \\
&= 0,7 \cdot 1899,28 \\
&= 1329,49 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{f_{pi}}{f_{pu}} &= \frac{1329,49}{1899,28} \\
&= 0,7 \quad \longrightarrow \quad C = 0,75
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
RE &= [K_{re} - J (SH + CR + ES)] \cdot C \\
&= [3,5 - 0,04 (0,528 + 11,52 + 3,89)] \cdot 0,75 \\
&= 2,147 \text{ kN/cm}^2
\end{aligned}$$

4.4.1.5 Total Kehilangan Prategang

$$\begin{aligned}
f_{pu} &= \text{Tegangan putus minimum baja} = 1899,28 \text{ Mpa} \\
&= 189,93 \text{ kN/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
TL &= SH + CR + ES + RE \\
&= 0,528 + 11,516 + 3,89 + 2,147 \\
&= 18,084 \text{ kN/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\% TL &= \frac{TL}{0,74 \cdot f_{pu}} \cdot 100 \% \\
&= \frac{18,084}{0,74 \cdot 189,93} \cdot 100 \% \\
&= 12,87 \% < 20\% \quad \quad \quad \text{OK}
\end{aligned}$$

4.4.2 Kontrol Tegangan

4.4.2.1 Kondisi Awal

Tegangan yang terjadi tidak boleh melampaui syarat yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-7833-2012, Pasal 6.4.1

Syarat :

a. Tegangan serat tekan terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,70 \cdot f_{ci} \\ &= 0,70 \cdot 40 \\ &= -28 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tekan} \end{aligned}$$

b. Tegangan serat tarik terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,50 \cdot \sqrt{f_{ci}} \\ &= 0,50 \cdot \sqrt{40} \\ &= 3,16 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tarik} \end{aligned}$$

$$f_{a,b} = - \frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{MG \cdot y}{I_g}$$

Contoh tegangan pada titik b :

Diketahui :

F_o	= Gaya prategang awal	= 91436,49 kN
A	= Luas penampang balok	= 76150 cm ²
I_g	= Momen inersia	= 9,507 m ⁴ = 950666579 cm ⁴
Y_a	= Jarak tepi atas terhadap c.g.c	= 122,13 cm
Y_b	= Jarak tepi bawah terhadap c.g.c	= 177,87 cm
MG	= Momen akibat berat mati pada titik t	= 22061,07 kNm = 2206107 kNcm
e_b	= Eksentrisitas pada titik b	= $Y_b - z_b$ = 177,9 - 148,68 = 29,18 cm

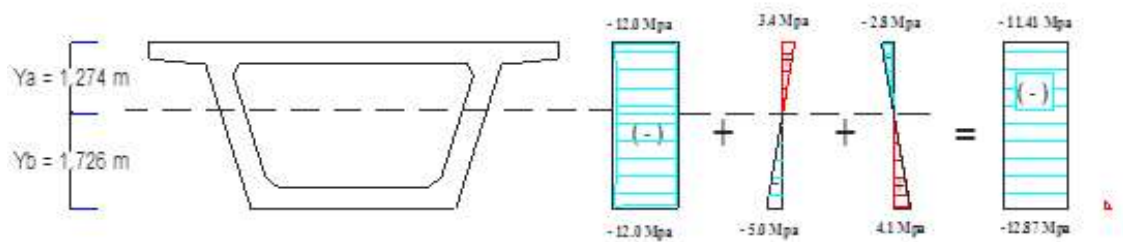
- Tegangan pada serat atas (f_a)

$$\begin{aligned} f_a &= - \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \cdot e_b \cdot Y_a}{I_g} - \frac{MG \cdot Y_a}{I_g} \\ &= - \frac{91436,49}{76150} + \frac{91436,49 \cdot 29,18 \cdot 122,13}{950666579,2} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{2206107 \cdot 122,13}{950666579,2} \\
 = & -1,20 + 0,34 - 0,28 \\
 = & -1,14 \text{ kN/cm}^2 \\
 = & -11,41 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Tegangan pada serat bawah (fb)

$$\begin{aligned}
 f_b &= -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \cdot e_b \cdot Y_b}{I_g} + \frac{MG \cdot Y_b}{I_g} \\
 &= -\frac{91436,49}{76150} - \frac{91436,49 \cdot 29,18 \cdot 177,87}{950666579,2} + \\
 & \quad \frac{2206107 \cdot 177,87}{950666579,2} \\
 &= -1,20 - 0,50 + 0,41 \\
 &= -1,29 \text{ kN/cm}^2 \\
 &= -12,87 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.16 Diagram Tegangan Kondisi Awal pada Titik B

Perhitungan untuk titik selanjutnya disajikan pada tabel 4.18

4.4.2.2 Kondisi Setelah Kehilangan Prategang

Tegangan yang terjadi tidak boleh melampaui syarat yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-7833-2012, Pasal 6.4.2

Syarat :

a. Tegangan serat tekan terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,70 \cdot f_{ci} \\ &= 0,70 \cdot 40 \\ &= -28 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tekan} \end{aligned}$$

b. Tegangan serat tarik terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,50 \cdot \sqrt{f_{ci}} \\ &= 0,50 \cdot \sqrt{40} \\ &= 3,16 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tarik} \end{aligned}$$

$$f_{a,b} = - \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{MG \cdot y}{I_g}$$

Contoh tegangan pada titik b :

Diketahui :

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya prategang akhir} &= 73149,19 \text{ kN} \\ A &= \text{Luas penampang balok} &= 76150 \text{ cm}^2 \\ I_g &= \text{Momen inersia} &= 9,507 \text{ m}^4 \\ & &= 950666579 \text{ cm}^4 \\ Y_a &= \text{Jarak tepi atas terhadap c.g.c} &= 122,13 \text{ cm} \\ Y_b &= \text{Jarak tepi bawah terhadap c.g.c} &= 177,87 \text{ cm} \\ MG &= \text{Momen akibat berat mati} &= 22061,07 \text{ kNm} \\ & &= 2206107 \text{ kNcm} \\ e_b &= \text{Eksentrisitas pada titik b} &= Y_b - z_b \\ & &= 177,9 - 148,68 \\ & &= 29,18 \text{ cm} \end{aligned}$$

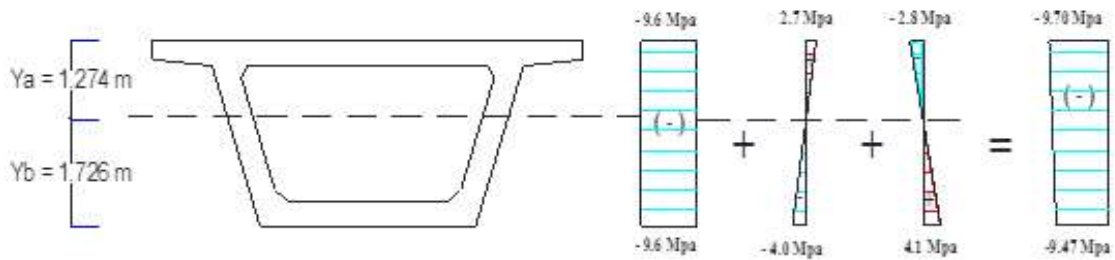
- Tegangan pada serat atas (f_a)

$$\begin{aligned} f_a &= - \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e_b \cdot Y_a}{I_g} - \frac{MG \cdot Y_a}{I_g} \\ &= - \frac{73149,19}{76150} + \frac{73149,19 \cdot 29,18 \cdot 122,13}{950666579,2} - \frac{2206107 \cdot 122,13}{950666579,2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= - 0,96 + 0,27 - 0,28 \\
&= -0,97 \text{ kN/cm}^2 \\
&= -9,70 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
\end{aligned}$$

- Tegangan pada serat bawah (fb)

$$\begin{aligned}
f_b &= - \frac{F}{A} - \frac{F \cdot e_b \cdot Y_b}{I_g} + \frac{MG \cdot Y_b}{I_g} \\
&= - \frac{73149,19}{76150} - \frac{73149,19 \cdot 29,18 \cdot 177,87}{950666579,2} + \\
&\quad \frac{2206107 \cdot 177,87}{950666579,2} \\
&= - 0,96 - 0,40 + 0,41 \\
&= -0,95 \text{ kN/cm}^2 \\
&= -9,47 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
\end{aligned}$$



Gambar 4.17 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Titik B

Perhitungan untuk titik selanjutnya disajikan pada tabel 4.19

4.4.2.3 Kondisi Setelah Beban Hidup Bekerja

Tegangan yang terjadi tidak boleh melampaui syarat yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-7833-2012, Pasal 6.4.2

Syarat :

a. Tegangan serat tekan terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,70 \cdot f_{ci} \\ &= 0,70 \cdot 40 \\ &= -28 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tekan} \end{aligned}$$

b. Tegangan serat tarik terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,50 \cdot \sqrt{f_{ci}} \\ &= 0,50 \cdot \sqrt{40} \\ &= 3,16 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tarik} \end{aligned}$$

$$f_{a,b} = - \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{MT \cdot y}{I_g}$$

Contoh tegangan pada titik b :

Diketahui :

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya prategang akhir} &= 73149,19 \text{ kN} \\ A &= \text{Luas penampang balok} &= 76150 \text{ cm}^2 \\ I_g &= \text{Momen inersia} &= 9,507 \text{ m}^4 \\ & &= 950666579 \text{ cm}^4 \\ Y_a &= \text{Jarak tepi atas terhadap c.g.c} &= 122,13 \text{ cm} \\ Y_b &= \text{Jarak tepi bawah terhadap c.g.c} &= 177,87 \text{ cm} \\ MT &= \text{Momen Total} &= 29578,46 \text{ kNm} \\ & &= 2957846,2 \text{ kNcm} \\ e_b &= \text{Eksentrisitas pada titik b} &= Y_b - z_b \\ & &= 177,9 - 148,68 \\ & &= 29,18 \text{ cm} \end{aligned}$$

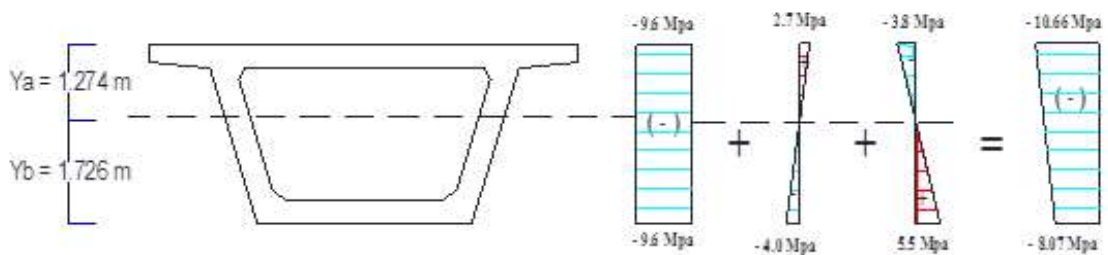
- Tegangan pada serat atas (f_a)

$$\begin{aligned} f_a &= - \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e_b \cdot Y_a}{I_g} - \frac{MT \cdot Y_a}{I_g} \\ &= - \frac{73149,19}{76150} + \frac{73149,19 \cdot 29,18 \cdot 122,13}{950666579,2} - \frac{2957846,2 \cdot 122,13}{950666579,2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -0,96 + 0,27 - 0,38 \\
&= -1,07 \text{ kN/cm}^2 \\
&= -10,66 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
\end{aligned}$$

- Tegangan pada serat bawah (fb)

$$\begin{aligned}
f_b &= -\frac{F}{A} - \frac{F \cdot e_b \cdot Y_b}{I_g} + \frac{M_T \cdot Y_b}{I_g} \\
&= -\frac{73149,19}{76150} - \frac{73149,19 \cdot 29,18 \cdot 177,87}{950666579,2} + \\
&\quad \frac{2957846,2 \cdot 177,87}{950666579,2} \\
&= -0,96 - 0,40 + 0,55 \\
&= -0,81 \text{ kN/cm}^2 \\
&= -8,07 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
\end{aligned}$$



Gambar 4.18 Diagram Tegangan Setelah Beban Hidup Bekerja pada Titik B

Perhitungan untuk titik selanjutnya disajikan pada tabel 4.20

4.4.2.4 Kondisi Saat Pengangkatan

Tegangan yang terjadi tidak boleh melampaui syarat yang telah ditentukan berdasarkan SNI 03-7833-2012, Pasal 6.4.2

Syarat :

a. Tegangan serat tekan terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,70 \cdot f_{ci} \\ &= 0,70 \cdot 40 \\ &= -28 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tekan} \end{aligned}$$

b. Tegangan serat tarik terluar.

$$\begin{aligned} f &= 0,50 \cdot \sqrt{f_{ci}} \\ &= 0,50 \cdot \sqrt{40} \\ &= 3,16 \text{ Mpa} \quad \longrightarrow \quad \text{Kondisi Tarik} \end{aligned}$$

$$f_{a,b} = - \frac{F}{A} \pm \frac{F \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_{MS} \cdot y}{I_g}$$

Contoh tegangan pada titik b :

Diketahui :

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya prategang akhir} &&= 73149,19 \text{ kN} \\ A &= \text{Luas penampang balok} &&= 76150 \text{ cm}^2 \\ I_g &= \text{Momen inersia} &&= 9,507 \text{ m}^4 \\ &&&= 950666579 \text{ cm}^4 \\ Y_a &= \text{Jarak tepi atas terhadap c.g.c} &&= 122,13 \text{ cm} \\ Y_b &= \text{Jarak tepi bawah terhadap c.g.c} &&= 177,87 \text{ cm} \\ M_{MS} &= \text{Momen akibat berat sendiri} &&= 20712,92 \text{ kNm} \\ &&&= 2071291,5 \text{ kNcm} \\ e_b &= \text{Eksentrisitas pada titik b} &&= Y_b - z_b \\ &&&= 177,9 - 148,68 \\ &&&= 29,18 \text{ cm} \end{aligned}$$

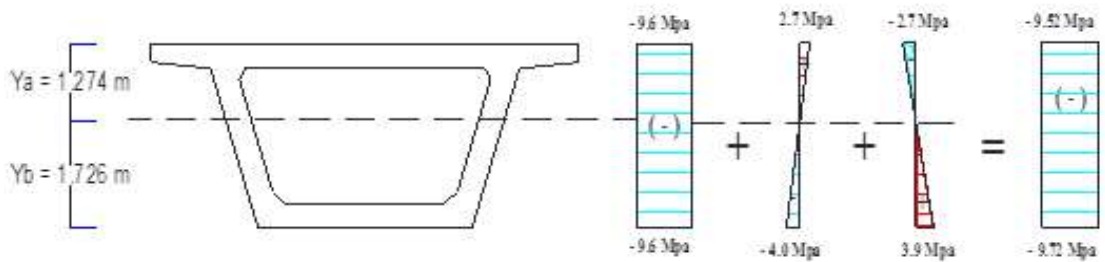
- Tegangan pada serat atas (f_a)

$$\begin{aligned} f_a &= - \frac{F}{A} + \frac{F \cdot e_b \cdot Y_a}{I_g} - \frac{M_{MS} \cdot Y_a}{I_g} \\ &= - \frac{73149,19}{76150} + \frac{73149,19 \cdot 29,18 \cdot 122,13}{950666579,2} - \frac{2071291,5 \cdot 122,13}{950666579,2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -0,96 + 0,27 - 0,27 \\
&= -0,95 \text{ kN/cm}^2 \\
&= -9,52 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
\end{aligned}$$

- Tegangan pada serat bawah (fb)

$$\begin{aligned}
f_b &= -\frac{F}{A} - \frac{F \cdot e_b \cdot Y_b}{I_g} + \frac{MMS \cdot Y_b}{I_g} \\
&= -\frac{73149,19}{76150} - \frac{73149,19 \cdot 29,18 \cdot 177,87}{950666579,2} + \\
&\quad \frac{2071291,5 \cdot 177,87}{950666579,2} \\
&= -0,96 - 0,40 + 0,39 \\
&= -0,97 \text{ kN/cm}^2 \\
&= -9,72 \text{ Mpa} < f = -28 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
\end{aligned}$$



Gambar 4.19 Diagram Tegangan Saat Pengangkatan pada Titik B

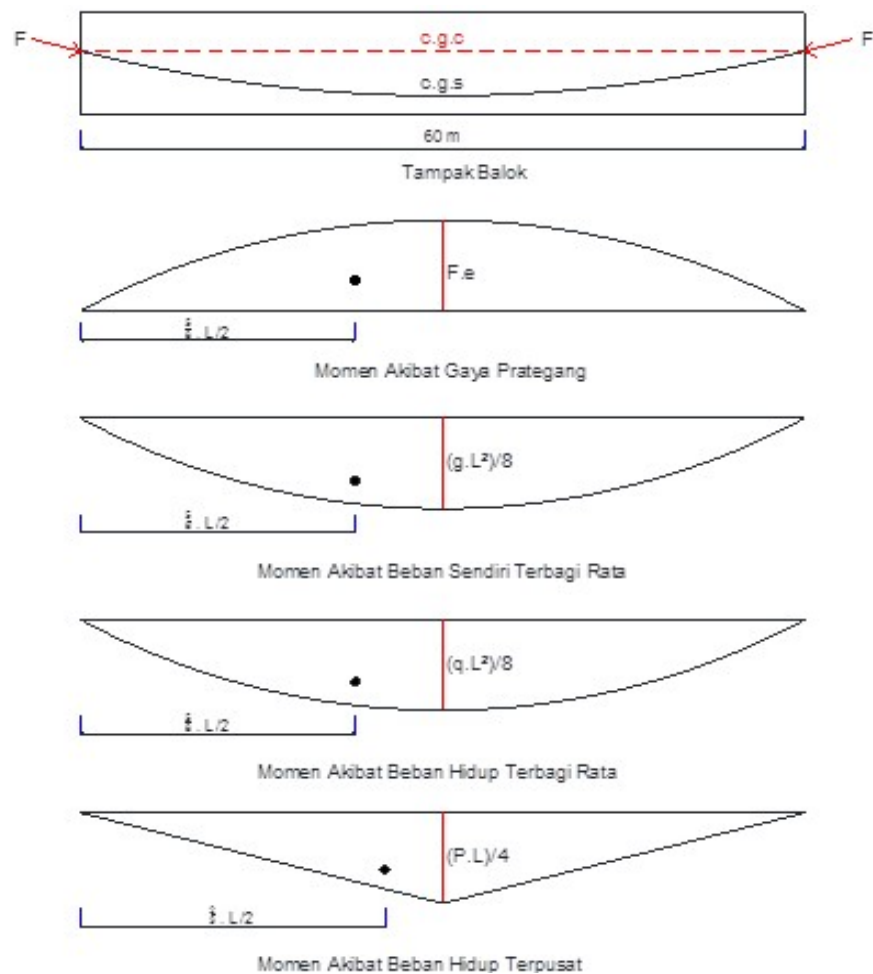
Perhitungan untuk titik selanjutnya disajikan pada tabel 4.21

4.4.3 Kontrol Lendutaan

4.4.3.1 Lendutan Sesaat

Diketahui :

E_c	= Modulus Elastisitas Beton	= 33234,02 Mpa
		= 33234019 kN/m ²
F	= Gaya prategang efektif	= 73149,19 kN
I	= Momen inersia	= 9,507 m ⁴
g	= Beban merata akibat berat sendiri	= 228,45 kN/m
q	= Beban merata akibat beban hidup	= 17,92 kN/m
P	= Beban hidup terpusat	= 178,85 kN
e	= Eksentrisitas c.g.s tendon dari c.g.c	= $Y_b - z_k$
		= 1,78 - 0,47
		= 1,31 m
L	= Bentang utama	= 60,00 m



Gambar 4.20 Lendutan yang Terjadi pada Box Girder

- Lentutan ke atas akibat gaya prategang :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{5 \cdot F \cdot e \cdot L^2}{48 \cdot EI} \\ &= \frac{5 \cdot 73149,19 \cdot 1,31 \cdot 60^2}{48 \cdot 33234019 \cdot 9,507} \\ &= \frac{1727004391}{15165346025} \\ &= 0,114 \text{ m} = 11,4 \text{ cm} \quad (\uparrow)\end{aligned}$$

- Lentutan ke bawah akibat berat sendiri :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{5 \cdot g \cdot L^4}{384 \cdot EI} \\ &= \frac{5 \cdot 228,45 \cdot 60^4}{384 \cdot 33234019 \cdot 9,507} \\ &= \frac{14803560000}{121322768199,78} \\ &= 0,122 \text{ m} = 12,2 \text{ cm} \quad (\downarrow)\end{aligned}$$

- Lentutan ke bawah akibat beban hidup :

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} + \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI} \\ &= \frac{5 \cdot 17,92 \cdot 60^4}{384 \cdot 33234019 \cdot 9,507} + \frac{178,85 \cdot 60^3}{48 \cdot 33234019 \cdot 9,507} \\ &= \frac{1161098182}{121322768199,78} + \frac{38631600}{15165346025} \\ &= 0,012 \text{ m} = 1,2 \text{ cm} \quad (\downarrow)\end{aligned}$$

- Batas lentutan yang digunakan (SNI 2847-2013, Pasal 9.5.3.1, Tabel 9.5)

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{1}{240} \cdot L \\ &= \frac{1}{240} \cdot 60 \\ &= 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}\end{aligned}$$

- Kontrol Lendutan

1. Lendutan akibat berat sendiri + gaya prategang

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{Berat sendiri} + \text{Gaya prategang} \\ &= 12,2 - 11,4 \\ &= 0,8 \text{ cm (} \downarrow \text{)} < 25 \text{ cm} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

2. Lendutan akibat berat sendiri + gaya prategang + Beban Hidup

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{Berat sendiri} + \text{Gaya prategang} + \text{Beban Hidup} \\ &= 12,2 - 11,4 + 1,2 \\ &= 2,0 \text{ cm (} \downarrow \text{)} < 25 \text{ cm} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

4.4.3.2 Lendutan Jangka Panjang

Perhitungan lendutan jangka panjang digunakan faktor pengali yang diperoleh dari tabel 8-2 (T.Y Lin & Burns, hal 267)

- Komponen lendutan ke bawah = 2,7
- Komponen lendutan ke atas = 2,45

1. Lendutan akibat berat sendiri + gaya prategang

$$\begin{aligned}\alpha &= (\text{akibat berat sendiri} \times 2,7) + (\text{akibat gaya prategang} \times 2,45) \\ &= 12,2 \cdot 2,7 - 11,4 \cdot 2,45 \\ &= 5,0 \text{ cm (} \downarrow \text{)} < 25 \text{ cm} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

2. Lendutan akibat berat sendiri + gaya prategang + Beban Hidup

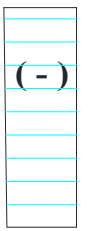
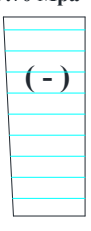
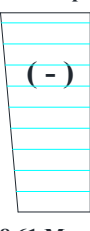
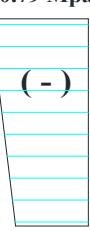
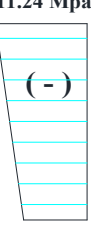

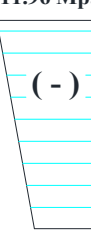



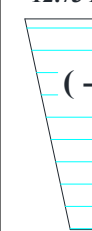
$$\begin{aligned}\alpha &= (\text{akibat berat sendiri} \times 2,7) + (\text{akibat gaya prategang} \times 2,45) + \\ &\quad (\text{akibat beban hidup}) \\ &= 12,2 \cdot 2,7 - 11,4 \cdot 2,45 + 1,2 \\ &= 6,3 \text{ cm (} \downarrow \text{)} < 25 \text{ cm} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Tabel 4.18 Kontrol Tegangan pada Kondisi Awal

Titik	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
f _{ci} (Mpa)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
f tekan (Mpa)	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28
f tarik (Mpa)	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
F _o (kN)	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49	91436,49
A (cm ²)	93750	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150
I _g (cm ⁴)	1032755819	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2
Y _a (cm)	127,36	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13
Y _b (cm)	172,64	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87
Z (cm)	172,60	148,68	127,28	108,40	92,03	78,19	66,86	58,04	51,75	47,97	46,71
e (cm)	-0,03	29,18	50,59	69,47	85,83	99,68	111,01	119,82	126,12	129,89	131,16
M _G (kNcm)	3,24	2206107,00	4231224,00	6004395,00	7549380,00	8866179,00	9954792,00	10815219,00	11447460,00	11851515,00	12027384,00
f _a (kN/cm ²)	-0,98	-1,14	-1,15	-1,16	-1,16	-1,17	-1,18	-1,18	-1,19	-1,20	-1,21
f _a (Mpa)	-9,76	-11,41	-11,50	-11,56	-11,62	-11,69	-11,76	-11,83	-11,90	-11,97	-12,05
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
f _b (kN/cm ²)	-0,97	-1,29	-1,27	-1,27	-1,26	-1,25	-1,24	-1,23	-1,22	-1,21	-1,19
f _b (Mpa)	-9,75	-12,87	-12,74	-12,66	-12,57	-12,47	-12,37	-12,27	-12,17	-12,06	-11,94
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

- 9.76 Mpa	- 11.41 Mpa	- 11.50 Mpa	- 11.56 Mpa	- 11.62 Mpa	- 11.69 Mpa	- 11.76 Mpa	- 11.83 Mpa	- 11.90 Mpa	- 11.97 Mpa	- 12.05 Mpa
- 9.75 Mpa	-12.87 Mpa	-12.74 Mpa	-12.66 Mpa	-12.57 Mpa	-12.47 Mpa	-12.37 Mpa	-12.27 Mpa	-12.17 Mpa	-12.06 Mpa	-11.94 Mpa

Tabel 4.19 Kontrol Tegangan pada Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Titik	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
f _{ci} (Mpa)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
f tekan (Mpa)	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28
f tarik (Mpa)	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
F (kN)	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19
A (cm ²)	93750	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150
I _g (cm ⁴)	1032755819	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2
Y _a (cm)	127,36	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13
Y _b (cm)	172,64	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87
Z (cm)	172,60	148,68	127,28	108,40	92,03	78,19	66,86	58,04	51,75	47,97	46,71
e (cm)	-0,03	29,18	50,59	69,47	85,83	99,68	111,01	119,82	126,12	129,89	131,16
MG (kNcm)	3,24	2206107,00	4231224,00	6004395,00	7549380,00	8866179,00	9954792,00	10815219,00	11447460,00	11851515,00	12027384,00
f _a (kN/cm ²)	-0,78	-0,97	-1,03	-1,08	-1,12	-1,16	-1,20	-1,22	-1,25	-1,26	-1,27
f _a (Mpa)	-7,81	-9,70	-10,29	-10,79	-11,24	-11,63	-11,96	-12,24	-12,46	-12,62	-12,73
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
f _b (kN/cm ²)	-0,78	-0,95	-0,86	-0,79	-0,72	-0,67	-0,62	-0,58	-0,54	-0,52	-0,51
f _b (Mpa)	-7,80	-9,47	-8,61	-7,88	-7,23	-6,66	-6,17	-5,77	-5,45	-5,21	-5,05
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	- 7.81 Mpa  -7.80 Mpa	- 9.70 Mpa  -9.47 Mpa	- 10.29 Mpa  - 8.61 Mpa	- 10.79 Mpa  - 7.88 Mpa	- 11.24 Mpa  - 7.23 Mpa	- 11.63 Mpa  - 6.66 Mpa	- 11.96 Mpa  - 6.17 Mpa	- 12.24 Mpa  - 5.77 Mpa	- 12.46 Mpa  - 5.45 Mpa	- 12.62 Mpa  - 5.21 Mpa	- 12.73 Mpa  - 5.05 Mpa

Tabel 4.20 Kontrol Tegangan pada Kondisi Setelah Beban Hidup Bekerja

Titik	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
f _{ci} (Mpa)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
f tekan (Mpa)	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28
f tarik (Mpa)	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
F (kN)	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19
A (cm ²)	93750	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150
I _g (cm ⁴)	1032755819	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2
Y _a (cm)	127,36	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13
Y _b (cm)	172,64	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87
Z (cm)	172,60	148,68	127,28	108,40	92,03	78,19	66,86	58,04	51,75	47,97	46,71
e (cm)	-0,03	29,18	50,59	69,47	85,83	99,68	111,01	119,82	126,12	129,89	131,16
MT (kNcm)	432465,492	2957846,20	5268919,04	7294404,01	9058061,13	10559890,4	11799891,76	12778065,29	13494410,95	13948928,74	14141618,67
f _a (kN/cm ²)	-0,83	-1,07	-1,16	-1,24	-1,32	-1,38	-1,43	-1,48	-1,51	-1,53	-1,54
f _a (Mpa)	-8,34	-10,66	-11,62	-12,45	-13,18	-13,80	-14,33	-14,76	-15,09	-15,32	-15,45
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
f _b (kN/cm ²)	-0,71	-0,81	-0,67	-0,55	-0,44	-0,35	-0,27	-0,21	-0,16	-0,13	-0,11
f _b (Mpa)	-7,08	-8,07	-6,67	-5,47	-4,41	-3,49	-2,72	-2,10	-1,62	-1,29	-1,10
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	- 8.34 Mpa - 7.08 Mpa	- 10.66 Mpa - 8.07 Mpa	- 11.62 Mpa - 6.67 Mpa	- 12.45 Mpa - 5.47 Mpa	- 13.18 Mpa - 4.41 Mpa	- 13.80 Mpa - 3.49 Mpa	- 14.33 Mpa - 2.72 Mpa	- 14.76 Mpa - 2.10 Mpa	- 15.09 Mpa - 1.62 Mpa	- 15.32 Mpa - 1.29 Mpa	- 15.45 Mpa - 1.10 Mpa

Tabel 4.21 Kontrol Tegangan pada saat Pengangkatan

Titik	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
f _{ci} (Mpa)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
f tekan (Mpa)	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28	-28
f tarik (Mpa)	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16	3,16
F (kN)	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19	73149,19
A (cm ²)	93750	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150	76150
I _g (cm ⁴)	1032755819	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2	950666579,2
Y _a (cm)	127,36	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13	122,13
Y _b (cm)	172,64	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87	177,87
Z (cm)	172,60	148,68	127,28	108,40	92,03	78,19	66,86	58,04	51,75	47,97	46,71
e (cm)	-0,03	29,18	50,59	69,47	85,83	99,68	111,01	119,82	126,12	129,89	131,16
M _{MS} (kNcm)	0	2071291,50	3976074,00	5643067,50	7096032,00	8334967,50	9359874,00	10170751,50	10767600,00	11150419,50	11319210,00
f _a (kN/cm ²)	-0,78	-0,95	-1,00	-1,03	-1,07	-1,09	-1,12	-1,14	-1,16	-1,17	-1,18
f _a (Mpa)	-7,81	-9,52	-9,96	-10,33	-10,66	-10,95	-11,20	-11,41	-11,59	-11,72	-11,82
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
f _b (kN/cm ²)	-0,78	-0,97	-0,91	-0,86	-0,81	-0,77	-0,73	-0,70	-0,67	-0,65	-0,64
f _b (Mpa)	-7,80	-9,72	-9,09	-8,56	-8,08	-7,65	-7,29	-6,98	-6,72	-6,52	-6,38
Cek	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

- 7.81 Mpa	- 9.52 Mpa	- 9.96 Mpa	- 10.33 Mpa	- 10.66 Mpa	- 10.95 Mpa	- 11.20 Mpa	- 11.41 Mpa	- 11.59 Mpa	- 11.72 Mpa	- 11.82 Mpa
-7.80 Mpa	- 9.72 Mpa	- 9.09 Mpa	- 8.56 Mpa	- 8.08 Mpa	- 7.65 Mpa	- 7.29 Mpa	- 6.98 Mpa	- 6.72 Mpa	- 6.52 Mpa	- 6.38 Mpa

4,5 Perhitungan Penulangan

4.5.1 Penulangan Melintang Box Girder

- Beban Terpusat

$$\begin{aligned} \text{Beban truk (Tu)} &= 112,5 \text{ kN} \quad (\text{RSNI T-02-2005, Pasal 6.4.1}) \\ \text{Untuk 1 roda} &= 112,5 \cdot (K_{TT}^U) \\ &= 112,5 \cdot 1,8 = 202,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

B. Tiang Sandaran

$$(Pu) = 1,33 \text{ kN}$$

- Beban Merata

$$\begin{aligned} \text{Berat Slab Atas} &= \Sigma F \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ (qU_1) &= 3,48 \cdot 24 \cdot 1,2 = 100,08 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B. Mati Trotoar} &= b \cdot h \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ qD &= 0,75 \cdot 0,2 \cdot 24 \cdot 1,3 = 4,68 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B. Hidup Trotoar} &= q \cdot b \cdot (K_{TP}^U) \\ qL &= 5 \cdot 0,75 \cdot 1,8 = 6,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

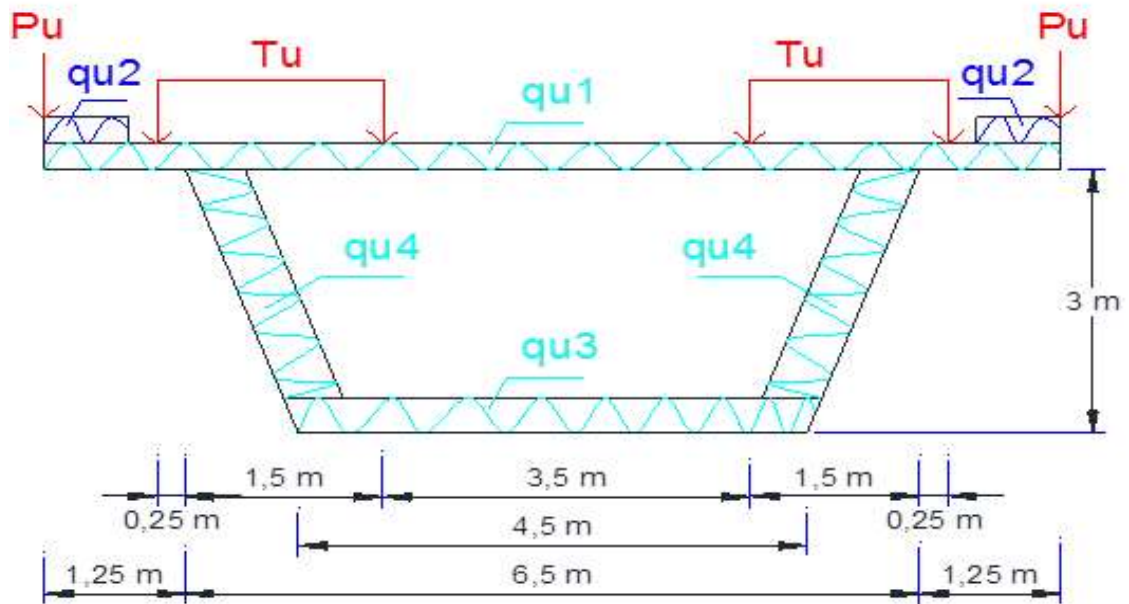
$$\begin{aligned} \text{Berat Trotoar} &= 1,2 \cdot DL + 1,6 \cdot LL \\ (qU_2) &= 1,2 \cdot 4,68 + 1,6 \cdot 6,75 = 16,416 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Slab Bawah} &= \Sigma F \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ (qU_3) &= 1,86 \cdot 24 \cdot 1,2 = 53,57 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Web} &= \Sigma F \cdot B_j \cdot (K_{MS}^U) \\ (qU_4) &= 2,20 \cdot 25 \cdot 1,2 = 66 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

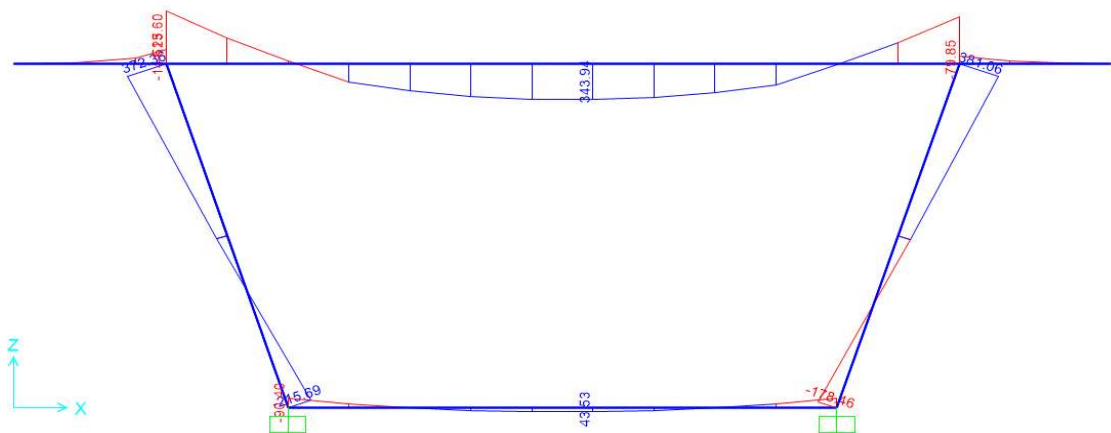
Digunakan 3 kondisi pembebanan untuk mendapatkan gaya dan momen terbesar yang terjadi pada slab atas penampang melintang untuk analisis menggunakan program SAP 2000

- Kondisi 1



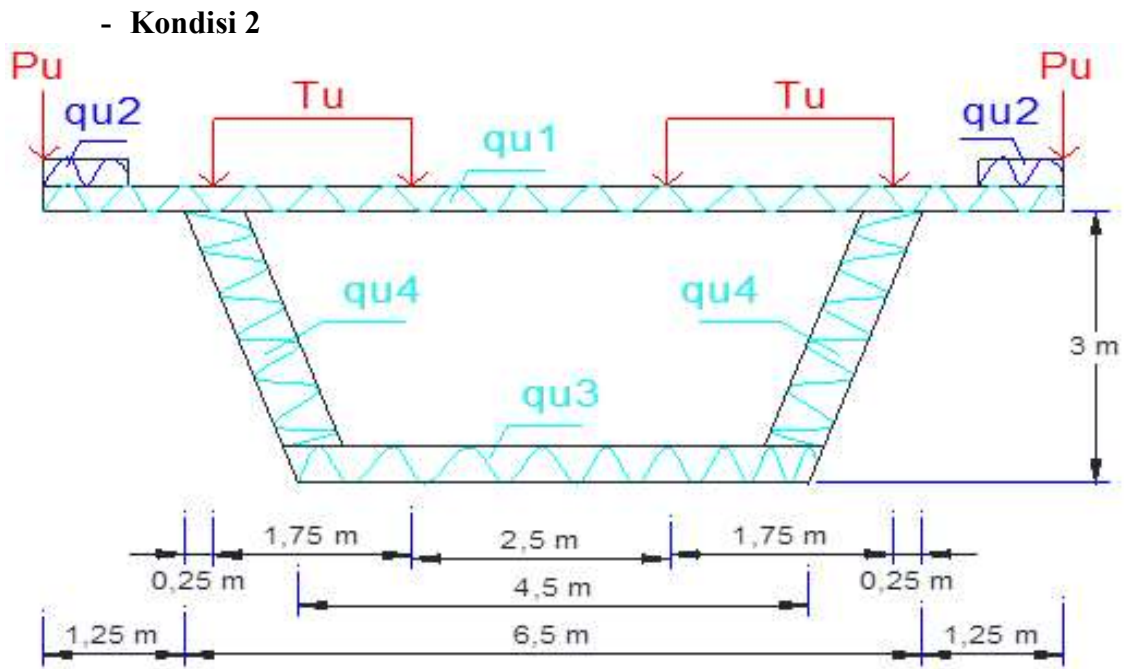
Gambar 4.21 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Box Girder Kondisi 1

Untuk perhitungan statika menggunakan alat bantu SAP 2000



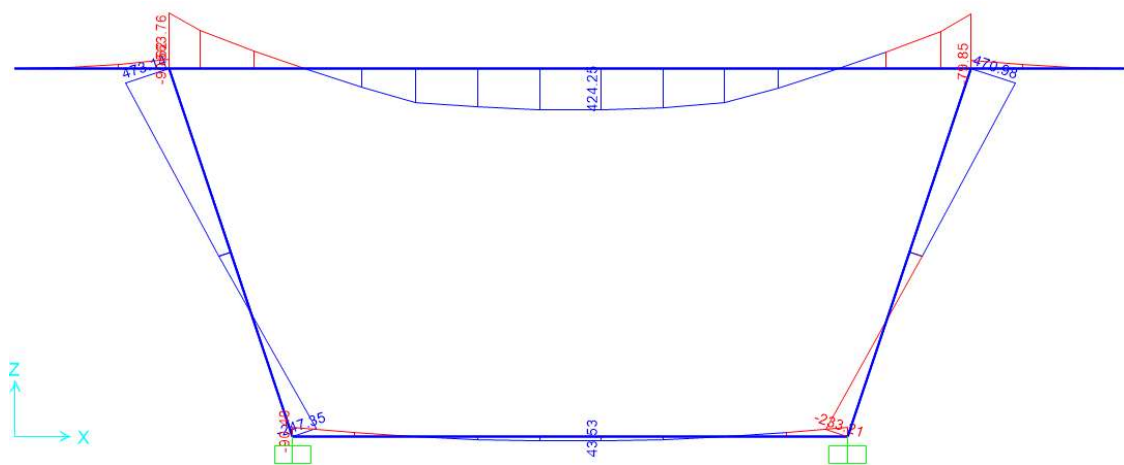
Gambar 4.22 Momen pada Penampang Melintang Box Girder Kondisi 1

Didapat :				
- Slab Atas :	- M_{\max} Tumpuan	=	513,6	kNm
	- M_{\max} Lapangan	=	341,91	kNm
- Slab Bawah :	- M_{\max} Tumpuan	=	90,4	kNm
	- M_{\max} Lapangan	=	43,53	kNm
- Web :	- Momen $\max (M_u)$	=	381,06	kNm
	- Geser $\max (V_u)$	=	208,13	kN
	- Aksial $\max (P_u)$	=	1002,96	kN



Gambar 4.23 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Box Girder Kondisi 2

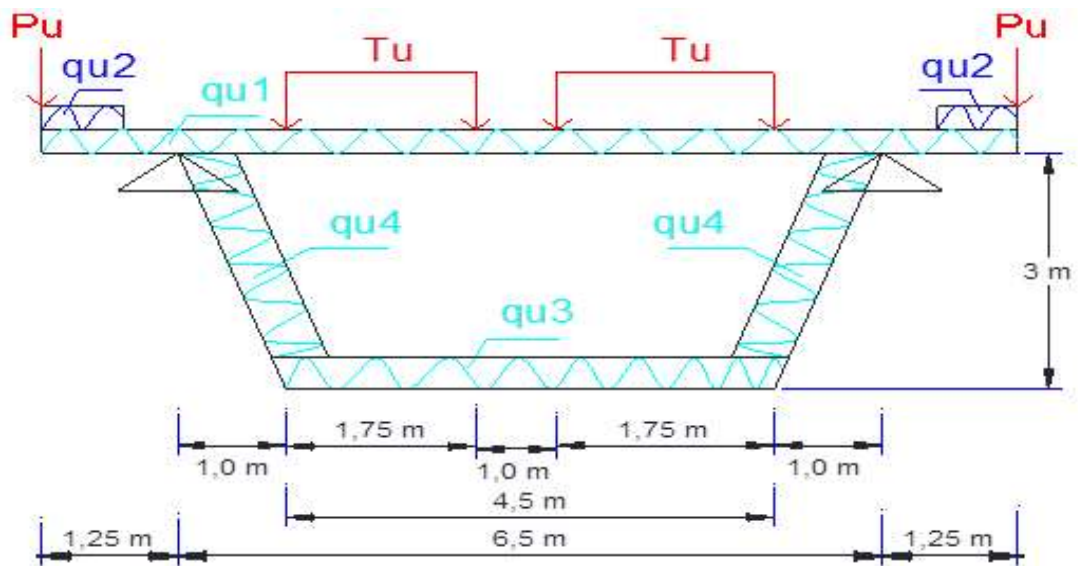
Untuk perhitungan statika menggunakan alat bantu SAP 2000



Gambar 4.24 Momen pada Penampang Melintang Box Girder Kondisi 2

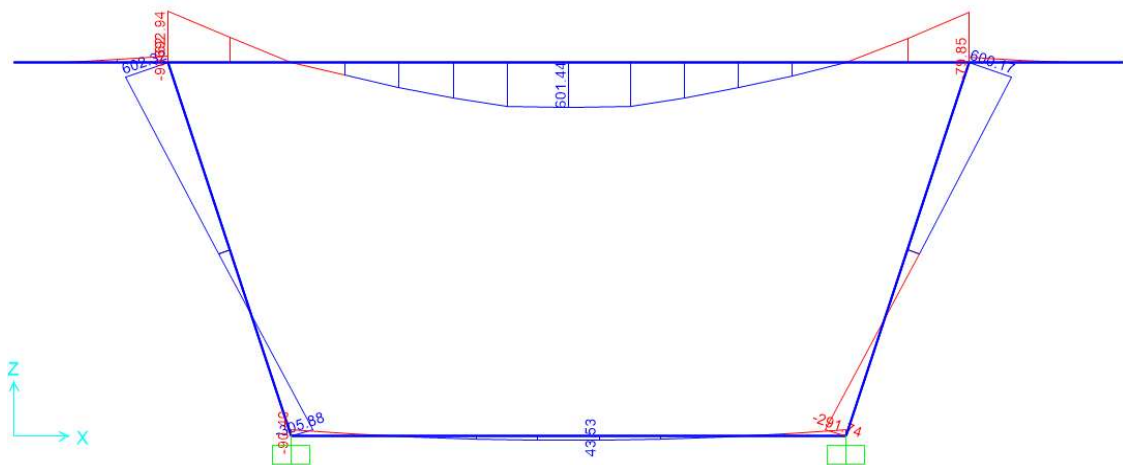
Didapat :	- Slab Atas :	- M_{\max} Tumpuan	=	563,76	kNm
		- M_{\max} Lapangan	=	424,25	kNm
	- Slab Bawah :	- M_{\max} Tumpuan	=	90,4	kNm
		- M_{\max} Lapangan	=	43,53	kNm
	- Web :	- Momen $\max (M_u)$	=	473,14	kNm
		- Geser $\max (V_u)$	=	250,01	kN
		- Aksial $\max (P_u)$	=	982,55	kN

- Kondisi 3



Gambar 4.25 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Box Girder Kondisi 3

Untuk perhitungan statika menggunakan alat bantu SAP 2000



Gambar 4.26 Momen pada Penampang Melintang Box Girder Kondisi 3

Didapat :	- Slab Atas :	- M_{\max} Tumpuan	=	692,94	kNm
		- M_{\max} Lapangan	=	601,44	kNm
	- Slab Bawah :	- M_{\max} Tumpuan	=	90,4	kNm
		- M_{\max} Lapangan	=	43,53	kNm
	- Web :	- Momen $\max (M_u)$	=	602,32	kNm
		- Geser $\max (V_u)$	=	309,37	kN
		- Aksial $\max (P_u)$	=	962,77	kN

4.5.1.1 Penulangan Slab Atas

- Penulangan Melintang Daerah Tumpuan

- M_{\max} Tumpuan = 692,94 kNm
- Tebal slab (h) = 400 mm
- F_y (BJTD) = 400 Mpa
- f_c = 50 Mpa
- b = 1000 mm
- Tebal penutup (p) = 50 mm
- Tulangan yang digunakan = D36 = 36 mm
- Tebal efektif (d) = h - p - 1/2 D
 = 400 - 50 - 1/2 . 36
 = 332 mm

- Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

Dengan menggunakan rumus lentur murni diperoleh:

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \phi \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f_c} \right)$$

$$\frac{692,94 \cdot 10^6}{1000 \cdot 332,00^2} = 0,8 \cdot \rho \cdot 400 \left(1 - 0,588 \rho \frac{400}{50} \right)$$

$$\frac{692940000}{110224000} = 320 \rho \left(1 - 4,704 \rho \right)$$

$$6,29 = 320 \rho - 1505,28 \rho^2$$

$$\begin{matrix} 1505,28 \rho^2 & - & 320 \rho & + & 6,29 \\ a & & b & & c \end{matrix}$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \cdot 1505,28 \cdot 6,29}}{2 \cdot 1505,28}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{102400 - 37852,69}}{3010,56}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{64547,31}}{3010,56}$$

$$= \frac{65,94}{3010,56}$$

$$\rho = 0,0219$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{\min}):

$$\rho_{\min} = \frac{0,15 \sqrt{f_c}}{0,9 \cdot f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,15 \sqrt{50}}{0,9 \cdot 400}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,061}{360}$$

$$\rho_{\min} = 0,0029$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{\max}):

$$\rho_{\max} = 75\% \cdot \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f_c diatas 28 Mpa ditentukan :

(SNI 2847-2013, Pasal 10.2.7.3)

$$\beta = 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (f_c - 28) \right]$$

$$= 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (50 - 28) \right]$$

$$= 0,69$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,69}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{29,4}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0,044$$

$$\rho_{\max} = 75\% \cdot 0,044$$

$$= 0,033$$

Cek : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0029 < 0,0219 < 0,0331$$

maka ρ yang digunakan adalah $\rho = 0,0219$

- Luas Tulangan perlu (As perlu) :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0219 \cdot 1000 \cdot 332 \\ &= 7271,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 36 mm :

$$\begin{aligned} \text{As D36} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 36^2 \\ &= 1017,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{\text{As perlu}} \cdot \text{As D36} \\ &= \frac{1000}{7271,58} \cdot 1017,36 \\ &= 139,909 \rightarrow 130 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As D36}} \\ &= \frac{7271,58}{1017,36} \\ &= 7,15 \sim 8 \text{ bh} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D36 - 130 mm

- Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As ada} &> \text{As perlu} \\ \text{As D36} \cdot n &> 7271,58 \\ 1017,36 \cdot 8 &> 7271,58 \\ 8138,88 \text{ mm}^2 &> 7271,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

OK

- Cek kapasitas lentur tulangan terhadap penampang melintang :

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{8138,88 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 1000} \\ &= 76,60 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn ada} &= \text{As ada} \cdot f_y \cdot \left(d - a / 2 \right) \\ &= 8138,88 \cdot 400 \cdot \left(332 - 76,60 / 2 \right) \\ &= 956153631 \text{ Nmm} \\ &= 956,15 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ perlu} &= M_u / \phi \\
 &= 692,94 / 0,85 \\
 &= 815,22 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ ada} &> M_n \text{ perlu} \\
 956,15 \text{ kNm} &> 815,22 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

OK

Perhitungan tulangan bagi (tulangan memanjang)

$$\begin{aligned}
 - \text{ As bagi} &= 20\% \cdot \text{As perlu} \\
 &= 20\% \cdot 7271,58 \\
 &= 1454,32 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

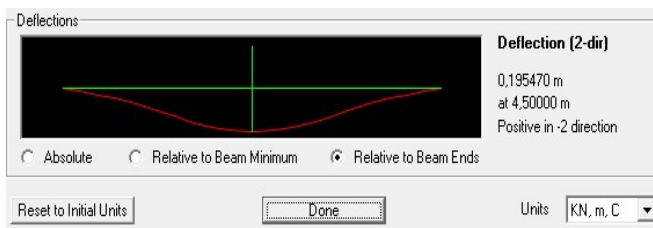
- Digunakan tulangan D 19 mm :

$$\begin{aligned}
 \text{As D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \\
 &= 283,385 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b}{\text{As perlu}} \cdot \text{As D19} \\
 &= \frac{1000}{1454,32} \cdot 283,385 \\
 &= 194,858 \rightarrow 190 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D19 - 190 mm



Gambar 4.27 Lendutan Terjadi pada Slab Atas

- Kontrol Lendutan:

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan terjadi} &: 0,19 \text{ m} \\
 \alpha &: 19 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan ijin} : 0,25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &\leq \alpha \text{ ijin} \\
 19 \text{ cm} &< 25 \text{ cm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Daerah Lapangan

- M_{\max} Lapangan = 601,44 kNm
- Tebal slab (h) = 400 mm
- F_y (BJTD) = 400 Mpa
- f_c = 50 Mpa
- b = 1000 mm
- Tebal penutup (p) = 50 mm
- Tulangan yang digunakan = D36 = 36 mm
- Tebal efektif (d) = h - p - 1/2 D
 = 400 - 50 - 1/2 . 36
 = 332 mm

- Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

Dengan menggunakan rumus lentur murni diperoleh:

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \phi \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f_c} \right)$$

$$\frac{601,44 \cdot 10^6}{1000 \cdot 332,00^2} = 0,8 \cdot \rho \cdot 400 \left(1 - 0,588 \rho \frac{400}{50} \right)$$

$$\frac{601440000}{110224000} = 320 \rho \left(1 - 4,704 \rho \right)$$

$$5,46 = 320 \rho - 1505,28 \rho^2$$

$$\begin{matrix} 1505,28 \rho^2 & - & 320 \rho & + & 5,46 \\ a & & b & & c \end{matrix}$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \cdot 1505,28 \cdot 5,46}}{2 \cdot 1505,28}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{102400 - 32854,39}}{3010,56}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{69545,61}}{3010,56}$$

$$= \frac{56,28}{3010,56}$$

$$\rho = 0,0187$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) :

$$\rho_{min} = \frac{0,15 \sqrt{f_c}}{0,9 \cdot f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,15 \sqrt{50}}{0,9 \cdot 400}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,061}{360}$$

$$\rho_{min} = 0,0029$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{max}) :

$$\rho_{max} = 75\% \cdot \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f_c diatas 28 Mpa ditentukan :

(SNI 2847-2013, Pasal 10.2.7.3)

$$\beta = 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (f_c - 28) \right]$$

$$= 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (50 - 28) \right]$$

$$= 0,69$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,69}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{29,4}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0,044$$

$$\rho_{max} = 75\% \cdot 0,044$$

$$= 0,033$$

Cek : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0029 < 0,0187 < 0,0331$

maka ρ yang digunakan adalah $\rho = 0,0187$

- Luas Tulangan perlu (As perlu) :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0187 \cdot 1000 \cdot 332 \\ &= 6207,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 36 mm :

$$\begin{aligned} \text{As D36} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 36^2 \\ &= 1017,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{\text{As perlu}} \cdot \text{As D36} \\ &= \frac{1000}{6207,02} \cdot 1017,36 \\ &= 163,905 \rightarrow 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As D36}} \\ &= \frac{6207,02}{1017,36} \\ &= 6,1 \sim 7 \text{ bh} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D36 - 150 mm

- Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As ada} &> \text{As perlu} \\ \text{As D25} \cdot n &> 6207,02 \\ 1017,36 \cdot 7 &> 6207,02 \\ 7121,52 \text{ mm}^2 &> 6207,02 \text{ mm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

- Cek kapasitas lentur tulangan terhadap penampang melintang :

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{7121,52 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 1000} \\ &= 67,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn ada} &= \text{As ada} \cdot f_y \cdot \left(d - a / 2 \right) \\ &= 7121,52 \cdot 400 \cdot \left(332 - 67,03 / 2 \right) \\ &= 850272356 \text{ Nmm} \\ &= 850,27 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ perlu} &= M_u / \phi \\
 &= 601,44 / 0,85 \\
 &= 707,58 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ ada} &> M_n \text{ perlu} \\
 850,27 \text{ kNm} &> 707,58 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

OK

Perhitungan tulangan bagi (tulangan memanjang)

$$\begin{aligned}
 - \text{ As bagi} &= 20\% \cdot \text{As perlu} \\
 &= 20\% \cdot 6207,02 \\
 &= 1241,40 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 19 mm :

$$\begin{aligned}
 \text{As D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \\
 &= 283,385 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

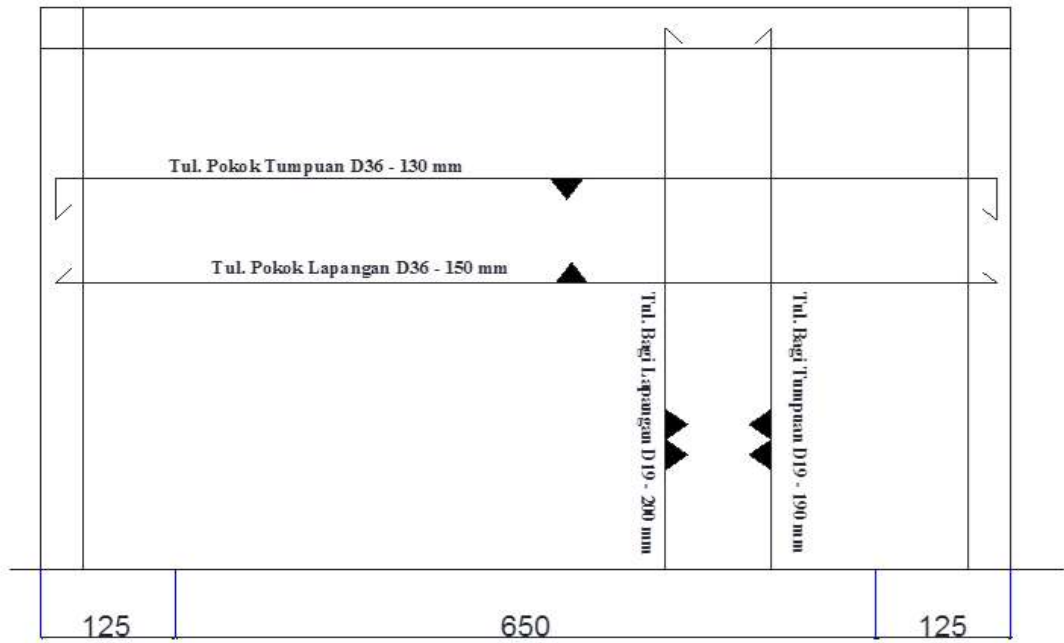
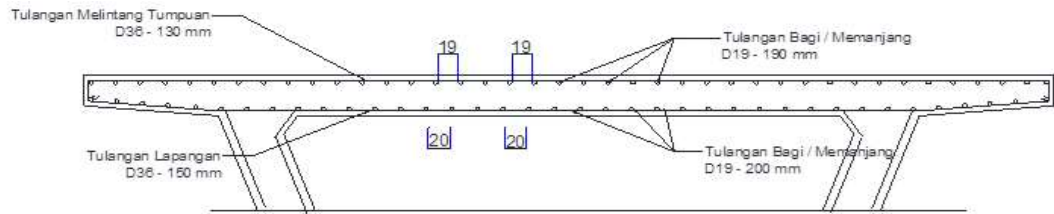
- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b}{\text{AS perlu}} \cdot \text{As D19} \\
 &= \frac{1000}{1241,40} \cdot 283,385 \\
 &= 228,278 \rightarrow 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D19 - 200 mm

Maka, tulangan melintang yang digunakan pada slab atas box girder adalah:

- Slab Atas :	- Daerah Tumpuan :	Tul. Pokok = D36 - 130 mm
		Tul. Bagi = D19 - 190 mm
	- Daerah Lapangan :	Tul. Pokok = D36 - 150 mm
		Tul. Bagi = D19 - 200 mm



Gambar 4.28 Denah Rencana Penulangan Slab Atas

4.5.1.2 Penulangan Slab Bawah

- Penulangan Daerah Tumpuan

- M_{\max} Tumpuan = 90,4 kNm
- Tebal slab (h) = 400 mm
- F_y (BJTD) = 400 Mpa
- f_c = 50 Mpa
- b = 1000 mm
- Tebal penutup (p) = 50 mm
- Tulangan yang digunakan = D19 = 19 mm
- Tebal efektif (d) = h - p - 1/2 D
 = 400 - 50 - 1/2 . 19
 = 340,5 mm

- Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

Dengan menggunakan rumus lentur murni diperoleh:

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \phi \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f_c} \right)$$

$$\frac{90,40 \cdot 10^6}{1000 \cdot 340,5^2} = 0,8 \cdot \rho \cdot 400 \left(1 - 0,588 \rho \frac{400}{50} \right)$$

$$\frac{90400000}{115940250} = 320 \rho \left(1 - 4,704 \rho \right)$$

$$0,78 = 320 \rho - 1505,28 \rho^2$$

$$\begin{matrix} 1505,28 \rho^2 & - & 320 \rho & + & 0,78 \\ a & & b & & c \end{matrix}$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \cdot 1505,28 \cdot 0,78}}{2 \cdot 1505,28}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{102400 - 4694,74}}{3010,56}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{97705,26}}{3010,56}$$

$$= \frac{7,42}{3010,56}$$

$$\rho = 0,0025$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) :

$$\rho_{min} = \frac{0,15 \sqrt{f_c}}{0,9 \cdot f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,15 \sqrt{50}}{0,9 \cdot 400}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,061}{360}$$

$$\rho_{min} = 0,0029$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{max}) :

$$\rho_{max} = 75\% \cdot \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f_c diatas 28 Mpa ditentukan :

(SNI 2847-2013, Pasal 10.2.7.3)

$$\beta = 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (f_c - 28) \right]$$

$$= 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (50 - 28) \right]$$

$$= 0,69$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,69}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{29,4}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0,044$$

$$\rho_{max} = 75\% \cdot 0,044$$

$$= 0,033$$

Cek : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0029 > 0,0025 < 0,0331$

maka ρ yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0029$

- Luas Tulangan perlu (A_s perlu) :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0029 \cdot 1000 \cdot 341 \\ &= 1003,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 19 mm :

$$\begin{aligned} A_s \text{ D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{A_s \text{ perlu}} \cdot A_s \text{ D19} \\ &= \frac{1000}{1003,21} \cdot 283,385 \\ &= 282,479 \rightarrow 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D19}} \\ &= \frac{1003,21}{283,39} \\ &= 3,54 \sim 4 \text{ bh} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D19 - 250 mm

- Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ ada} &> A_s \text{ perlu} \\ A_s \text{ D19} \cdot n &> 1003,21 \\ 283,39 \cdot 4 &> 1003,21 \\ 1133,54 \text{ mm}^2 &> 1003,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

OK

- Cek kapasitas lentur tulangan terhadap penampang melintang :

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{1133,54 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 1000} \\ &= 10,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ ada} &= A_s \text{ ada} \cdot f_y \cdot \left(d - a / 2 \right) \\ &= 1133,54 \cdot 400 \cdot \left(340,5 - 10,67 / 2 \right) \\ &= 151969488 \text{ Nmm} \\ &= 151,97 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ perlu} &= M_u / \phi \\
 &= 90,40 / 0,85 \\
 &= 106,35 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ ada} &> M_n \text{ perlu} \\
 151,97 \text{ kNm} &> 106,35 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

OK

Perhitungan tulangan bagi (tulangan memanjang)

$$\begin{aligned}
 - \text{As bagi} &= 20\% \cdot \text{As perlu} \\
 &= 20\% \cdot 1003,21 \\
 &= 200,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

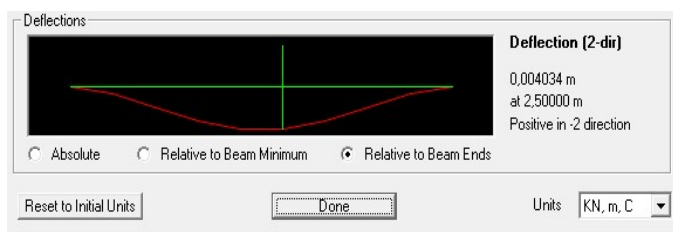
- Digunakan tulangan D 13 mm :

$$\begin{aligned}
 \text{As D13} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \\
 &= 132,665 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b}{\text{AS perlu}} \cdot \text{As D13} \\
 &= \frac{400}{200,64} \cdot 132,665 \\
 &= 264,482 \rightarrow 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D13 - 250 mm



Gambar 4.29 Lendutan Terjadi pada Slab Bawah

- Kontrol Lendutan:

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan terjadi} &: 0,004 \text{ m} \\
 \alpha &: 0,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Lendutan ijin} : 0,25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &\leq \alpha \text{ ijin} \\
 0,4 \text{ cm} &< 25 \text{ cm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Daerah Lapangan

- M_{max} Lapangan = 43,53 kNm
- Tebal slab (h) = 400 mm
- F_y (BJTD) = 400 Mpa
- f_c = 50 Mpa
- b = 1000 mm
- Tebal penutup (p) = 50 mm
- Tulangan yang digunakan = D19 = 19 mm
- Tebal efektif (d) = h - p - 1/2 D
 = 400 - 50 - 1/2 . 19
 = 340,5 mm

- Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

Dengan menggunakan rumus lentur murni diperoleh:

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \phi \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f_c} \right)$$

$$\frac{43,53 \cdot 10^6}{1000 \cdot 340,5^2} = 0,8 \cdot \rho \cdot 400 \left(1 - 0,588 \rho \frac{400}{50} \right)$$

$$\frac{43530000}{115940250} = 320 \rho \left(1 - 4,704 \rho \right)$$

$$0,38 = 320 \rho - 1505,28 \rho^2$$

$$\begin{matrix} 1505,28 \rho^2 & - & 320 \rho & + & 0,38 \\ a & & b & & c \end{matrix}$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \cdot 1505,28 \cdot 0,38}}{2 \cdot 1505,28}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{102400 - 2260,64}}{3010,56}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{100139,36}}{3010,56}$$

$$= \frac{3,55}{3010,56}$$

$$\rho = 0,0012$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) :

$$\rho_{min} = \frac{0,15 \sqrt{f_c}}{0,9 \cdot f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{0,15 \sqrt{50}}{0,9 \cdot 400}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,061}{360}$$

$$\rho_{min} = 0,0029$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{max}) :

$$\rho_{max} = 75\% \cdot \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f_c diatas 28 Mpa ditentukan :

(SNI 2847-2013, Pasal 10.2.7.3)

$$\beta = 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (f_c - 28) \right]$$

$$= 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (50 - 28) \right]$$

$$= 0,69$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,69}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{29,4}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0,044$$

$$\rho_{max} = 75\% \cdot 0,044$$

$$= 0,033$$

Cek : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0029 > 0,0012 < 0,0331$

maka ρ yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0,0029$

- Luas Tulangan perlu (A_s perlu) :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{min}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0029 \cdot 1000 \cdot 341 \\ &= 1003,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 19 mm :

$$\begin{aligned} A_s \text{ D19} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,385 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{A_s \text{ perlu}} \cdot A_s \text{ D19} \\ &= \frac{1000}{1003,21} \cdot 283,385 \\ &= 282,479 \rightarrow 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D19}} \\ &= \frac{1003,21}{283,39} \\ &= 3,54 \sim 4 \text{ bh} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D19 - 250 mm

- Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ ada} &> A_s \text{ perlu} \\ A_s \text{ D19} \cdot n &> 1003,21 \\ 283,39 \cdot 4 &> 1003,21 \\ 1133,54 \text{ mm}^2 &> 1003,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

OK

- Cek kapasitas lentur tulangan terhadap penampang melintang :

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \text{ ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{1133,54 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 1000} \\ &= 10,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ ada} &= A_s \text{ ada} \cdot f_y \cdot \left(d - a / 2 \right) \\ &= 1133,54 \cdot 400 \cdot \left(340,5 - 10,67 / 2 \right) \\ &= 151969488 \text{ Nmm} \\ &= 151,97 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ perlu} &= M_u / \phi \\
 &= 43,53 / 0,85 \\
 &= 51,21 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ ada} &> M_n \text{ perlu} \\
 151,97 \text{ kNm} &> 51,21 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

OK

Perhitungan tulangan bagi (tulangan memanjang)

$$\begin{aligned}
 - \text{ As bagi} &= 20\% \cdot \text{As perlu} \\
 &= 20\% \cdot 1003,21 \\
 &= 200,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 13 mm :

$$\begin{aligned}
 \text{As D13} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \\
 &= 132,665 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

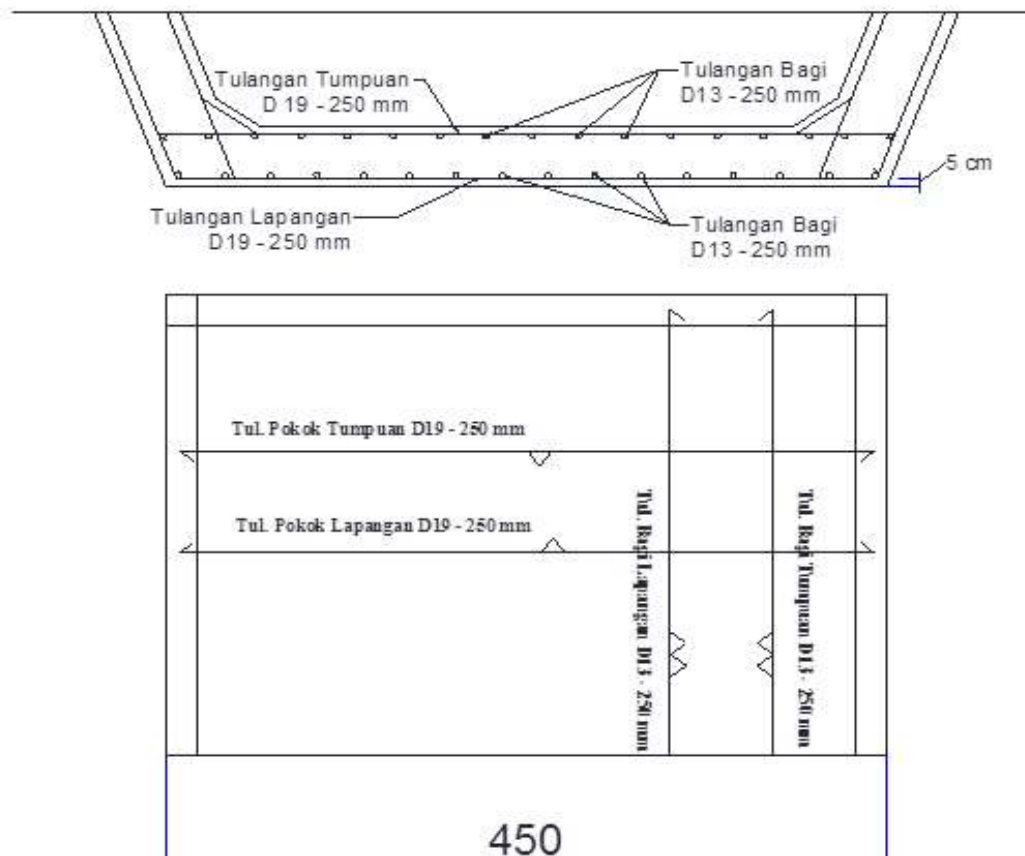
- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b}{\text{AS perlu}} \cdot \text{As D13} \\
 &= \frac{1000}{200,64} \cdot 132,665 \\
 &= 661,204 \rightarrow 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D13 - 250 mm

Maka, tulangan melintang yang digunakan pada slab atas box girder adalah:

	- Daerah Tumpuan :	Tul. Pokok = D19 - 250 mm
- Slab Bawah :		Tul. Bagi = D13 - 250 mm
	- Daerah Lapangan :	Tul. Pokok = D19 - 250 mm
		Tul. Bagi = D13 - 250 mm



Gambar 4.30 Denah Rencana Penulangan Slab Bawah

4.5.1.3 Penulangan Web

Untuk penulangan web, khususnya tulangan melintang berfungsi sebagai sengkang dari box girder arah memanjang, oleh karena itu pada momen yang telah teranal pada penampang melintang hanya dilakukan peninjauan dari tulangan yang utam telah digunakan untuk sengkang box girder

Diketahui :

- M_{max} = 602,32 kNm
- V_{max} = 309,37 kNm
- Tebal slab (h) = 500 mm
- F_y (BJTD) = 400 Mpa
- f_c = 50 Mpa
- b = 1000 mm
- Tebal penutup (p) = 80 mm
- Tulangan yang digunakan = D25 = 25 mm
- Tebal efektif (d) = h - p - 1/2 D
= 500 - 80 - 1/2 . 25
= 407,5 mm

- Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

Dengan menggunakan rumus lentur murni diperoleh:

$$\frac{M_u}{b \cdot d^2} = \phi \cdot \rho \cdot f_y \left(1 - 0,588 \rho \frac{f_y}{f_c} \right)$$

$$\frac{602,32 \cdot 10^6}{1000 \cdot 407,50^2} = 0,8 \cdot \rho \cdot 400 \left(1 - 0,588 \rho \frac{400}{50} \right)$$

$$\frac{602320000}{166056250} = 320 \rho \left(1 - 4,704 \rho \right)$$

$$3,627 = 320 \rho - 1505,28 \rho^2$$

$$\begin{matrix} 1505,28 \rho^2 - 320 \rho + 3,63 \\ a & b & c \end{matrix}$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \cdot 1505,28 \cdot 3,63}}{2 \cdot 1505,28}$$

$$= \frac{320 - \sqrt{102400 - 21839,83}}{3010,56}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{320 - \sqrt{80560,17}}{3010,56} \\
&= \frac{36,17}{3010,56} \\
\rho &= 0,01201
\end{aligned}$$

- Rasio tulangan minimum (ρ_{min}) :

$$\begin{aligned}
\rho_{min} &= \frac{0,15 \sqrt{f_c}}{0,9 \cdot f_y} \\
\rho_{min} &= \frac{0,15 \sqrt{50}}{0,9 \cdot 400} \\
\rho_{min} &= \frac{1,061}{360} \\
\rho_{min} &= 0,0029
\end{aligned}$$

- Rasio tulangan maksimum (ρ_{max}) :

$$\begin{aligned}
\rho_{max} &= 75\% \cdot \rho_b \\
\rho_b &= \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}
\end{aligned}$$

Nilai β untuk nilai f_c diatas 28 Mpa ditentukan :
(SNI 2847-2013, Pasal 10.2.7.3)

$$\begin{aligned}
\beta &= 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (f_c - 28) \right] \\
&= 0,85 - \left[\left(\frac{0,05}{7} \right) \cdot (50 - 28) \right] \\
&= 0,69
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho_b &= \frac{0,85 \cdot 50 \cdot 0,69}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400} \\
\rho_b &= \frac{29,4}{400} \times \frac{600}{1000} \\
\rho_b &= 0,044 \\
\rho_{max} &= 75\% \cdot 0,044 \\
&= 0,033
\end{aligned}$$

Cek : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$
 $0,0029 < 0,01201 < 0,0331$

maka ρ yang digunakan adalah $\rho = 0,0120$

- Luas Tulangan perlu (As perlu) :

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0120 \cdot 1000 \cdot 407,5 \\ &= 4895,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 25 mm :

$$\begin{aligned} \text{As D25} &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 981,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{AS perlu}}{\text{AS D25}} \\ &= \frac{4895,69}{981,25} \\ &= 4,98924 \rightarrow 5 \text{ bh} \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{\text{AS perlu}} \cdot \text{As D25} \\ &= \frac{1000}{4895,69} \cdot 981,25 \\ &= 200,431 \rightarrow 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan = D25 - 200 mm

- Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{AS ada} &> \text{AS perlu} \\ \text{AS D19} \cdot n &> 4895,69 \\ 981,25 \cdot 5 &> 4895,69 \\ 4906,25 \text{ mm}^2 &> 4895,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

OK

- Cek kapasitas lentur tulangan terhadap penampang melintang :

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{AS ada} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \\ &= \frac{4906,25 \cdot 400}{0,85 \cdot 50 \cdot 1000} \\ &= 46,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn ada} &= \text{AS ada} \cdot f_y \cdot \left(d - a / 2 \right) \\ &= 4906,25 \cdot 400 \cdot \left(407,5 - 46,18 / 2 \right) \end{aligned}$$

$$= 754408088 \text{ Nmm}$$

$$= 754,41 \text{ kNm}$$

$$Mn \text{ perlu} = M_u / \phi$$

$$= 602,32 / 0,85$$

$$= 708,61 \text{ kNm}$$

- Kontrol :

$$Mn \text{ ada} > Mn \text{ perlu}$$

$$754,41 \text{ kNm} > 708,61 \text{ kNm}$$

OK

Perhitungan tulangan bagi (tulangan memanjang)

- As bagi = 20% . As perlu

$$= 20\% \cdot 4895,69$$

$$= 979,14 \text{ mm}^2$$

- Digunakan tulangan D 13 mm :

$$As \text{ D13} = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2$$

$$= 265,33 \text{ mm}^2$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$s = \frac{b}{As \text{ perlu}} \cdot As \text{ D13}$$

$$= \frac{1000}{979,14} \cdot 265,33$$

$$= 270,983 \rightarrow 250 \text{ mm}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$s = \frac{b}{s}$$

$$= \frac{1000}{250}$$

$$= 4 \text{ bh}$$

Maka dipakai tulangan = D13 - 250 mm

Karena tulangan bagi / memanjang bersifat tegak lurus dari bidang momen yang di
maka dilakukan peninjauan terhadap gaya geser yang terjadi.

- Kontrol :

$$Vs \text{ ada} > Vs \text{ perlu}$$

$$\frac{n \cdot As \text{ D13} \cdot fy \cdot d}{s} > Vu / 0,65$$

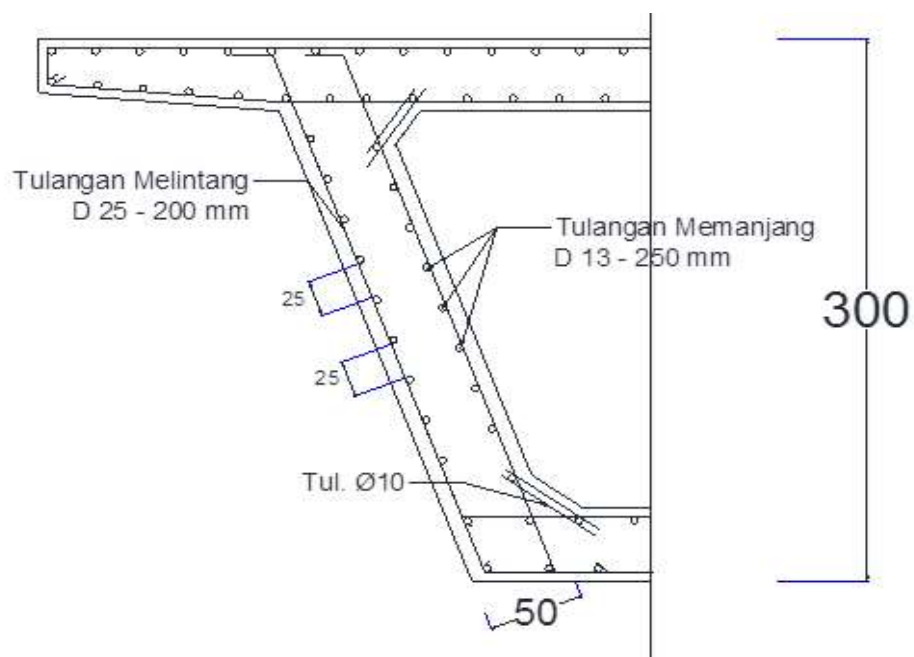
$$\frac{4 \cdot 265,33 \cdot 400 \cdot 408}{250} > 309,37 / 0,65$$

691980,64 N > 475,95 kN

691,98 kN > 475,95 kN **OK**

Maka, tulangan melintang yang digunakan pada box girder adalah:

- Web : - Tulangan Melintang = D25 - 200 mm
- Tulangan Memanjang = D13 - 250 mm



Gambar 4.31 Denah Rencana Penulangan Web

Tabel 4.22 Penulangan Melintang Box Girder yang Digunakan

Slab Atas	:	-	Daerah Tumpuan	:	Tul. Pokok	=	D36 - 130 mm
					Tul. Bagi	=	D19 - 190 mm
Slab Bawah	:	-	Daerah Lapangan	:	Tul. Pokok	=	D36 - 150 mm
					Tul. Bagi	=	D19 - 200 mm
Web	:	-	Tulangan Melintang	:	Tul. Pokok	=	D19 - 250 mm
					Tul. Bagi	=	D13 - 250 mm
Web	:	-	Tulangan Memanjang	:	Tul. Pokok	=	D19 - 250 mm
					Tul. Bagi	=	D13 - 250 mm

4.5.2 Penulangan Geser (Sengkang) Box Girder

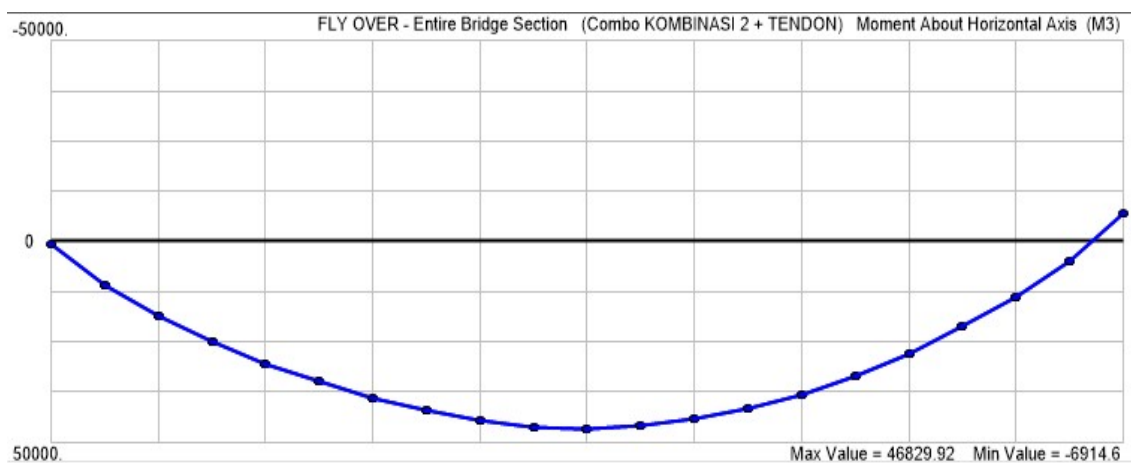
Diketahui :

- Tinggi Balok (h) = 3000 cm
- F_y (BJTD) = 400 Mpa
- f_c = 50 Mpa
- Lebar web (b_w) = 500 . 2
= 1000 mm
- Tebal penutup (p) = 50 mm
- d = 0,8 . h (SNI 2847-2012, pasal 11.3.1)
= 0,8 . 3000
= 2400 mm

Untuk analisis momen dan geser maksimum yang digunakan untuk merencanakan tulangan geser yang terjadi pada struktur fly over, digunakan program CSI Bridge dengan komparansi dua kondisi kombinasi pembebanan terhadap gaya prategan. Hasil dari analisa disajikan dalam gambar berikut:

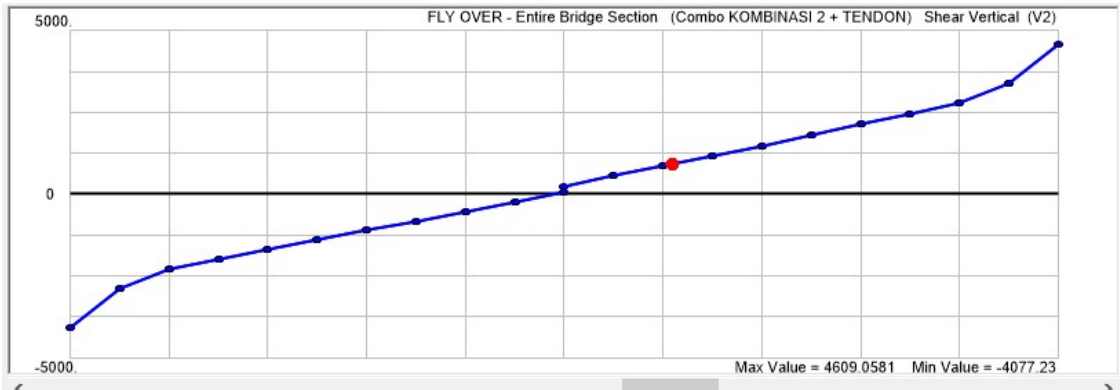
1. Kombinasi 2 (Beban aksi tetap + beban lajur + beban angin dan gaya rem terhadap tendon

- Momen kombinasi yang terjadi :



Gambar 4.33 Momen pada Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 2

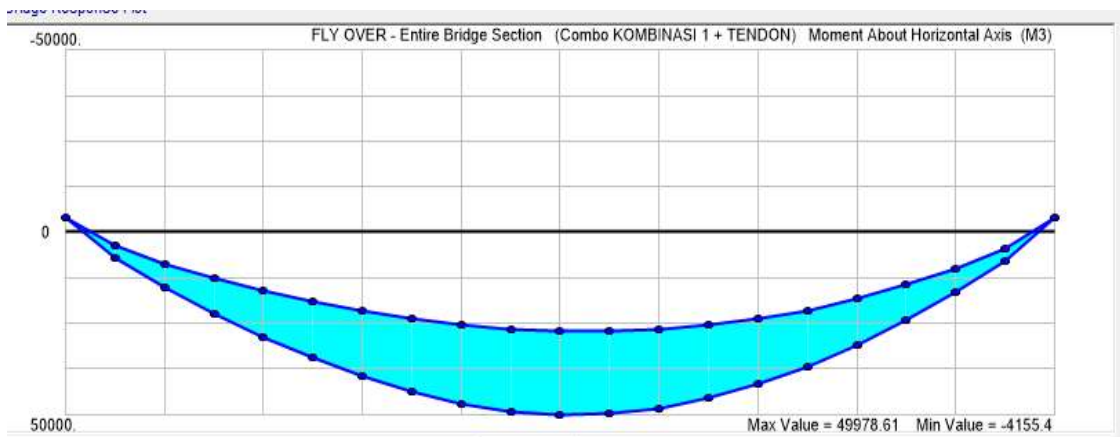
- Gaya Geser yang terjadi :



Gambar 4.34 Gaya Geser pada Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 2

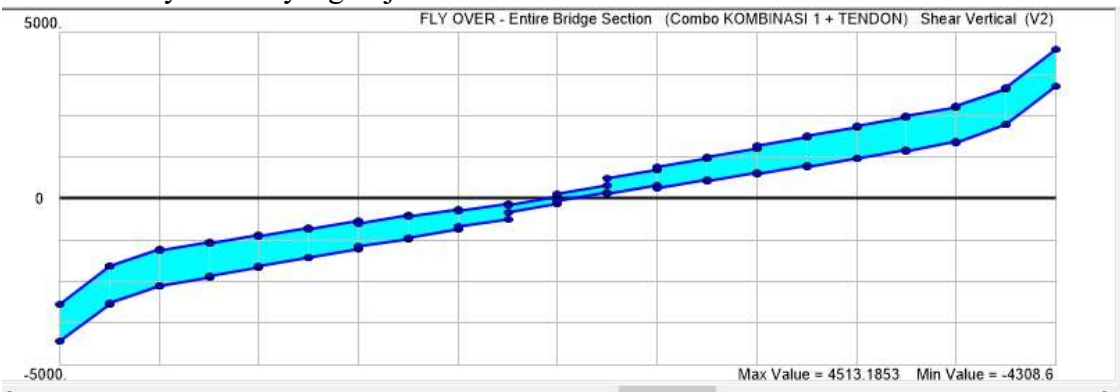
2. Kombinasi 1 (Beban aksi tetap + beban truk + gaya angin) terhadap tendon

- Momen kombinasi yang terjadi :



Gambar 4.35 Momen pada Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 1

- Gaya Geser yang terjadi :



Gambar 4.36 Gaya Geser pada Bentang Memanjang Box Girder Kombinasi 1

- Untuk titik a - f

$$\begin{aligned} \text{Momen maksimum yang terjadi (} M_u \text{)} &= 49978,61 \quad \text{kNm} \\ &= 49978610000,00 \quad \text{Nmm} \\ \text{Gaya geser maksimum yang terjadi (} V_u \text{)} &= 4609,06 \quad \text{kN} \\ &= 4609060 \quad \text{N} \end{aligned}$$

1. Gaya geser yang disumbangkan oleh beton (V_c) (SNI 2847-2012, pasal 11.3.2)

$$\begin{aligned} V_c &= \left(0,05 \lambda \sqrt{f_c} + 4,8 \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b_w \cdot d \\ &= \left(0,05 \cdot 1 \sqrt{50} + 4,8 \frac{4609060,00 \cdot 2400}{49978610000,00} \right) \cdot \\ &\quad 1000 \cdot 2400 \\ &= 3398244,72 \quad \text{N} \end{aligned}$$

- Dimana V_c tidak perlu diambil kurang dari $V_{c \min}$, dan tidak boleh diambil lebih besar dari $V_{c \max}$ (SNI 2847-2012, pasal 11.3.2)

Dimana:

$$\begin{aligned} V_{c \min} &= 0,17 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,17 \cdot 1 \sqrt{50} \cdot 1000 \cdot 2400 \\ &= 2884995,67 \quad \text{N} \\ V_{c \max} &= 0,42 \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\ &= 0,42 \cdot 1 \sqrt{50} \cdot 1000 \cdot 2400 \\ &= 7127636,35 \quad \text{N} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} V_{c \min} &< V_c < V_{c \max} \\ 2884995,67 &< 3398244,72 < 7127636,35 \end{aligned}$$

Maka, digunakan $V_c = 3398244,72 \quad \text{N}$

Syarat :

Faktor reduksi untuk geser (ϕ) = 0,75 (SNI 2847-2012, pasal 9.3.2.3)

$$\begin{aligned}V_u &> \phi \cdot V_c \\4609060 &> 0,75 \cdot 3398244,72 \\4609060 &> 2548683,543 \text{ N}\end{aligned}$$

Maka diperlukan tulangan geser

$$\begin{aligned}- V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\&= \frac{4609060}{0,75} - 3398244,72 \\&= 2747168,61 \text{ N}\end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 25 mm :

$$\begin{aligned}A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\&= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\&= 981,25 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Jarak sengkang :

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\&= \frac{981,25 \cdot 400 \cdot 2400}{2747168,61} \\&= 342,90 \rightarrow 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan sengkang D25 - 200 mm

Untuk panjang daerah tulangan geser direncanakan tidak boleh melebihi 2/3 panjang bidang geser. Digunakan panjang bidang geser = 30 m. Digunakan 1/4 . L untuk daerah tulangan geser, maka :

$$\begin{aligned}\frac{1}{4} \cdot 60 &\leq \frac{2}{3} \cdot 30 \\15 &\leq 20\end{aligned}$$

- Kontrol :

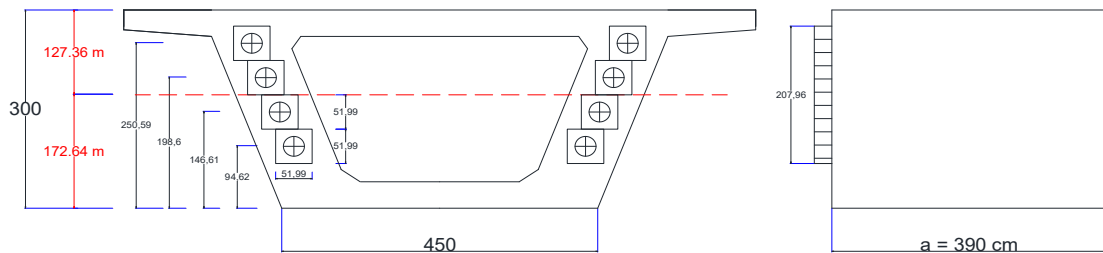
$$\begin{array}{rcl}
 \text{VS ada} & > & \text{VS perlu} \\
 \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} & > & 2747168,61 \\
 \frac{981,25 \cdot 400 \cdot 2400}{200} & > & 2747168,61 \\
 4710000 \quad N & > & 2747168,61 \quad N \quad \text{OK}
 \end{array}$$

Untuk rekapitulasi tulangan sengkang yang digunakan selanjutnya disajikan pada tabe

Tabel 4.23 Penulangan Sengkang Box Girder yang Digunakan

Titik	Panjang (m)	Sengkang digunakan (mm)	Jarak (mm)
a - b	0 - 3	D25	200
b - c	3 - 6	D25	200
c - d	6 - 9	D25	200
d - e	9 - 12	D25	200
e - f	12 - 15	D25	200
f - g	15 - 18	D25	400
g - h	18 - 21	D25	400
h - i	21 - 24	D25	400
i - j	24 - 27	D25	400
j - k	27 - 30	D25	400

4.5.3 Penulangan Blok Ujung (End Block)



Gambar 4.38 Rencana Blok Ujung (End Block)

Diketahui :

- Angker VSL Tipe E 6-43, dengan dimensi (51.99 cm x 51.99 cm)
- Gaya prapenegangan awal (F_o) = 91436,49 kN
Untuk 1 web = 45718,24 kN
- Mutu beton (f_c) = 50,00 Mpa
- Panjang blok ujung (a) = 1,3 . h
= 1,3 . 300
= 390 cm
- Y_a = 127,36 cm
- Y_b = 172,64 cm

4.5.3.1 Penulangan Daerah Pecah Ledak

Tulangan pecah ledak dipasang antara 0.2 a - 1.0 a, dipusatkan pada 0.45 a dimana a adalah panjang daerah blok ujung

Jadi panjang daerah pecah ledak,

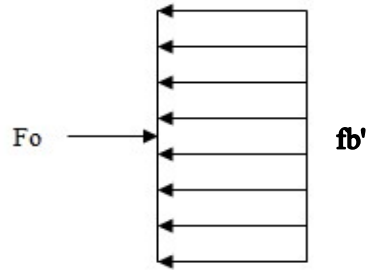
$$a - 0,2 \cdot a = 390 - 0,2 \cdot 390 = 312 \text{ cm}$$

Gaya tarik pada angkur (N)

$$N = \frac{F_o}{\text{Jumlah tendon}} = \frac{91436,49}{8} = 11429,56 \text{ kN}$$

Perencanaan tulangan daerah pecah ledak, yang menyebabkan terjadinya pecah ledak bukan akibat gaya tekan, namun akibat gaya tarik dan adanya perbedaan tegangan, tegangan tekan yang cukup besar dapat menyebabkan pecah ledak terpusat pada 0.45 a (jarak maksimum terjadinya momen pecah ledak

Tegangan tekan uniform pada blok ujung (fb')

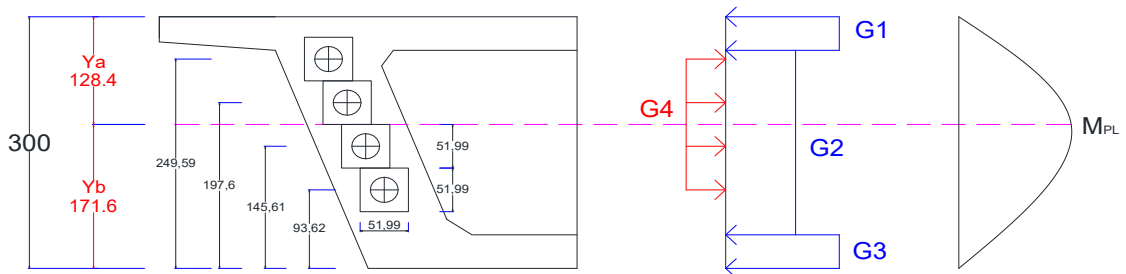


Gambar 4.39 Diagram Tegangan Tekan uniform

$$fb' = \frac{Fo}{A}$$

Dimana A = Luas penampang web = 1,98 m²
= 19800 cm²

$$fb' = \frac{91436,49}{19800} = 4,62 \text{ kN/cm}^2$$



Gambar 4.40 Diagram Tegangan yang Bekerja pada Blok Ujung (End Block)

- Gaya Desak Beton

$$fb' = 4,62 \text{ kN/cm}^2$$

Pada Slab atas (Tinjauan setengah blok ujung)

$$G1 = fb' \cdot b_{\text{slab}} = 4,62 \cdot 450 = 2078,10 \text{ kN/cm}$$

Pada Web (Tinjauan 1 web)

$$G2 = fb' \cdot b_{\text{web}} = 4,62 \cdot 90 = 415,62 \text{ kN/cm}$$

Pada Slab bawah (Tinjauan setengah blok ujung)

$$\begin{aligned} G3 &= f_b \cdot b_{\text{slab}} \\ &= 4,62 \cdot 225 = 1039,05 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

- Gaya Desak Angker (untuk 1 web)

$$\begin{aligned} G4 &= \frac{F_o}{h} \\ &= \frac{91436,49}{4 \cdot 51,99} \\ &= 439,68 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

- Momen Pecah Ledak (MPL) didapat di pusat angker

$$\begin{aligned} (M_{PL}) &= (G1 \cdot (Y_a - h_{\text{slab}} / 2)) + (G2 \cdot (Y_b - h_{\text{web}} / 2)) + (G3 \cdot (Y_b - h_{\text{slab}} / 2)) - (G4 \cdot h_{\text{angker}} / 2) \\ &= (2078,10 \cdot (127,36 - 40 / 2)) + (415,62 \cdot (172,64 - 220 / 2)) + (1039,05 \cdot (172,64 - 40 / 2)) - (439,68 \cdot (207,96 / 2)) \\ &= 223112,79 + 26032,91 + 158596,86 - 45718,24 \\ &= 362024,31 \text{ kNcm} \end{aligned}$$

- Tegangan tarik pada blok ujung

$$\begin{aligned} b_{\text{web}} &= 90 \text{ cm} \\ a &= 390 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{7,2 \cdot M_{PL}}{b_{\text{web}} \cdot a^2} \\ &= \frac{7,2 \cdot 362024,31}{90 \cdot 390^2} \\ &= 0,190 \text{ kN/cm}^2 = 19,04 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- Kontrol (Standar Australia) :

$$\begin{aligned} \sigma &\leq \sigma_{\text{ijin}} \\ \sigma &\leq 0,54 \cdot \sqrt{f_c} \\ 19,04 &\leq 0,54 \cdot \sqrt{500} \\ 19,04 &> 12,07 \end{aligned}$$

Karena $\sigma > \sigma_{\text{ijin}}$, maka diperlukan tulangan terhadap pecah ledak

Tulangan pecah ledak direncanakan dipasang pada masing-masing web

Diketahui :

- F_o 1 tendon = 11429,56 kN
- F_y (BJTD) = 400 Mpa
- Angker VSL Tipe E 6-43, dengan dimensi (51.99 cm x 51.99 cm)
- Panjang daerah pecah ledak = 312 cm
- lebar dan tinggi plat angkur = 51,99 cm

- Gaya tarik pada plat angkur

$$\begin{aligned} T &= \frac{2,6 \cdot M_{PL}}{a} \\ &= \frac{2,6 \cdot 362024,31}{390} \\ &= 2413,50 \text{ kN} \\ &= 2413495,43 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas Tulangan yang diperlukan (A_{Sperlu})

$$\begin{aligned} A_{Sperlu} &= \frac{T}{f_y} \\ &= \frac{2413495,43}{400} \\ &= 6033,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 22 mm :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ D22}} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 22^2 \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{S \text{ perlu}}}{A_{s \text{ D22}}} \\ &= \frac{6033,74}{379,94} \\ &= 15,88 \rightarrow 16 \text{ bh} \end{aligned}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned} S &= \frac{\text{Panjang daerah pecah ledak}}{n} \\ &= \frac{312}{16} \\ &= 19,50 \text{ cm} \quad - \quad 170 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rclcl} \text{AS ada} & > & \text{AS perlu} & & \\ \text{AS D22} \cdot n & > & 6033,74 & & \\ 379,94 \cdot 16 & > & 6033,74 & & \\ 6079,04 \text{ mm}^2 & > & 6033,74 \text{ mm}^2 & & \text{OK} \end{array}$$

Digunakan tulangan pecah ledak 16 D22 - 170 mm,

4.5.3.2 Penulangan Anyaman (Pecah Gumpal)

- Penulangan Tulangan Arah Vertikal (Tinjauan 1 web)

Diketahui:

- $F_o = 45718,24 \text{ kN}$
- $F_y \text{ (BJTD)} = 400 \text{ Mpa}$
- Angker VSL Tipe E 6-43, dengan dimensi (51.99 cm x 51.99 cm)
- Panjang daerah pecah gumpal $= 0,2 \cdot a$
 $= 0,2 \cdot 390$
 $= 78 \text{ cm}$
- Tinggi plat angkur ($2y_{po}$) $= 4 \cdot 51,99$
 $= 207,96 \text{ cm}$
 $y_{po} = 103,98 \text{ cm}$
- Tinggi Balok Ekuivalen ($2y_o$) $= 300 \text{ cm}$
 $y_o = 150 \text{ cm}$

Perbandingan distribusi :

$$\frac{y_{po}}{y_o} = \frac{103,98}{150}$$
$$= 0,7$$

- Tarikan memecah tendon (F_{bst})

$$F_{bst} = 0,3 \cdot F_o \cdot \left[\left(1 - \frac{y_{po}}{y_o} \right)^{0,58} \right]$$
$$= 0,3 \cdot 45718,24 \cdot \left[\left(1 - 0,7 \right)^{0,58} \right]$$
$$= 6911,73 \text{ kN}$$
$$= 6911732,08 \text{ N}$$

- Luas Tulangan yang diperlukan (A_{Sperlu})

$$A_{Sperlu} = \frac{F_{bst}}{0,87 \cdot f_y}$$
$$= \frac{6911732,08}{0,87 \cdot 400}$$
$$= 19861,30 \text{ mm}^2$$

- Digunakan tulangan D 36 mm :

$$A_s \text{ D36} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 36^2$$

$$= 1017,36 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$n = \frac{AS \text{ perlu}}{AS \text{ D36}}$$

$$= \frac{19861,30}{1017,36}$$

$$= 19,52 \rightarrow 20 \text{ Tulangan Vertikal}$$

Direncanakan tulangan vertikal dipasang pada arah melintang dan memanjang untuk box girder, jadi dilakukan pembagian terhadap jumlah tulangan total

$$n \text{ melintang (nx)} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ memanjang (ny)} = 5 \text{ buah}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$s_y = \frac{0,2 \cdot a}{n_y}$$

$$= \frac{78}{5}$$

$$= 15,60 - 15 \text{ cm}$$

$$s_x = \frac{b \text{ web}}{n_x}$$

$$= \frac{90}{4}$$

$$= 22,50 - 20 \text{ cm}$$

- Kontrol :

$$AS \text{ ada} > AS \text{ perlu}$$

$$AS \text{ D36} \cdot n > 19861,30$$

$$1017,36 \cdot 20 > 19861,30$$

$$20347,2 \text{ mm}^2 > 19861,30 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Maka dipakai tulangan = - Arah Melintang = 4 D36 - 20 cm

- Arah Memanjang = 5 D36 - 15 cm

Karena alasan ekonomis, maka pada tulangan anyaman vertikal direncanakan mampu menggantikan tulangan geser (sejau) pada jarak sejauh $0,2 \cdot a = 78 \text{ cm}$ gaya geser yang harus ditanggung oleh tulangan anyaman vertikal (V_s) 2747168,61 N

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl}
 \text{VS ada} & > & \text{VS perlu} \\
 \frac{\text{As } 36 \cdot f_y \cdot d}{s} & > & 2747168,61 \\
 \frac{1017,36 \cdot 400 \cdot 2400}{150} & > & 2747168,61 \\
 6511104 \text{ N} & > & 2747168,61 \text{ N} \quad \mathbf{OK}
 \end{array}$$

Jadi, tulangan anyaman vertikal mampu menahan beban geser dan dapat digunakan sebagai pengganti tulangan geser pada daerah terjadi pecah gumpal sejauh $0,2 \cdot a$

- Penulangan Tulangan Arah Horizontal (Tinjauan pada web)

Diketahui:

- $F_o = 45718,24 \text{ kN}$
- $F_y \text{ (BJTD)} = 400 \text{ Mpa}$
- Angker VSL Tipe E 6-43, dengan dimensi (51.99 cm x 51.99 cm)
- Panjang daerah pecah gumpal
 - $= 0,2 \cdot a$
 - $= 0,2 \cdot 390$
 - $= 78 \text{ cm}$
- Lebar plat angkur ($2y_{po}$)
 - $= 112 \text{ cm}$
 - $x_{po} = 56 \text{ cm}$
- Lebar Balok Ekuivalen ($2y_o$)
 - $= 900 \text{ cm}$
 - $y_o = 450 \text{ cm}$

Perbandingan distribusi :

$$\frac{y_{po}}{y_o} = \frac{56}{450}$$

$$= 0,1$$

- Tarikan memecah tendon (F_{bst})

$$F_{bst} = 0,3 \cdot F_o \cdot \left[\left(1 - \frac{y_{po}}{y_o} \right)^{0,58} \right]$$

$$= 0,3 \cdot 45718,24 \cdot \left[\left(1 - 0,1 \right)^{0,58} \right]$$

$$= 12698,00 \text{ kN}$$

$$= 12698000,50 \text{ N}$$

- Luas Tulangan yang diperlukan (A_{Sperlu})

$$A_{Sperlu} = \frac{F_{bst}}{0,87 \cdot f_y}$$

$$= \frac{12698000,50}{0,87 \cdot 400}$$

$$= 36488,51 \text{ mm}^2$$

- Digunakan tulangan D 36 mm :

$$A_s \text{ D36} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 36^2$$

$$= 1017,36 \text{ mm}^2$$

- Jumlah Tulangan (n) :

$$\begin{aligned} n &= \frac{AS \text{ perlu}}{AS \text{ D36}} \\ &= \frac{36488,51}{1017,36} \\ &= 35,9 \rightarrow 40 \text{ Tulangan Horizontal} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan horizontal dipasang pada arah melintang dan memanjang untuk box girder, jadi dilakukan pembagian terhadap jumlah tulangan total

$$n \text{ melintang (nx)} = 8 \text{ buah}$$

$$n \text{ memanjang (ny)} = 5 \text{ buah}$$

- Jarak Tulangan (s) :

$$\begin{aligned} s_y &= \frac{0,2 \cdot a}{n_y} & s_x &= \frac{h}{n_x} \\ &= \frac{78}{5} & &= \frac{300}{8} \\ &= 15,60 - 15 \text{ cm} & &= 37,50 - 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Kontrol :

$$\begin{array}{rcl} AS \text{ ada} & > & AS \text{ perlu} \\ AS \text{ D36} \cdot n & > & 36488,51 \\ 1017,36 \cdot 40 & > & 36488,51 \\ 40694,4 \text{ mm}^2 & > & 36488,51 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \text{OK}$$

Maka dipakai tulangan = - Arah Melintang = 8 D36 - 30 cm

- Arah Memanjang = 5 D36 - 15 cm

r

ang
isis
nanya

tinjau

an
ge
g.

)

on

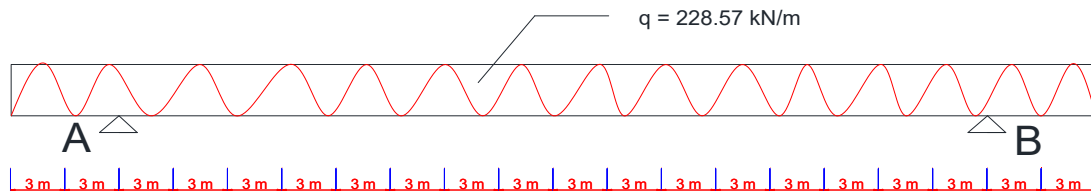
1

)

4,6 Perencanaan Pengangkatan

Beban akibat berat sendiri girder (q) = 228,45 kN/m

Pengangkatan dilakukan pada 2 sisi balok dengan jarak = 3 m



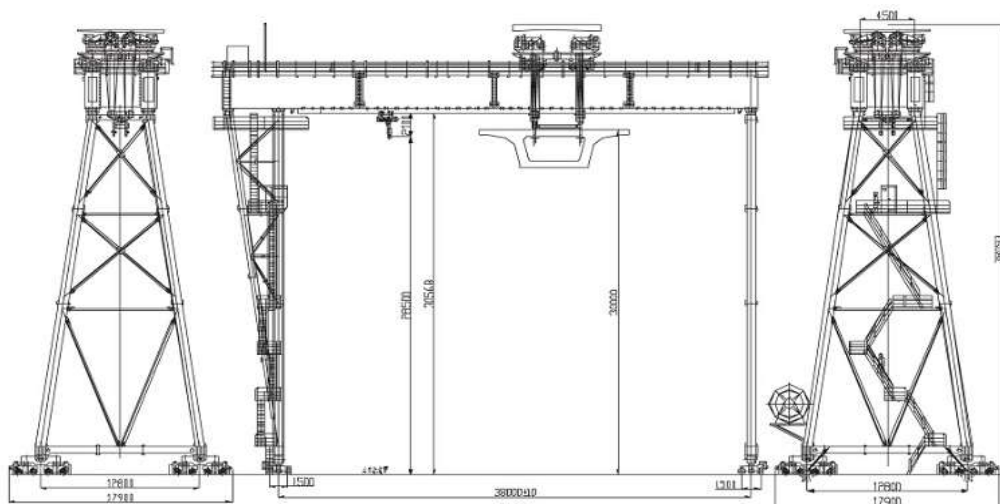
Gambar 4.45 Beban Merata pada Proses Pengangkatan

Digunakan portal hoise "Lift Bridge - Girder Gantry Crane" dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.24 Spesifikasi Portal Hoise

起重量 Lifting capacity	单机	t	450 (不含吊具重量)
	合抬	t	450+450
跨度 Span		m	38 (净跨36m)
起升高度 Lifting Height		m	30
双轨中心距 Double Steel Rack Center Interval		mm	1500
速度 Speed	起升 Hoisting	m/min	0.05~0.5~1 (空载)
	小车运行 Traversing		0.2~2~4 (空载)
	大车运行 Travelling		0.5~5~10 (空载)
电动葫芦 Electric hoist	型号 Type		CD,16-30D
	起重量 Lifting capacity	t	16
	起升速度 Hoisting speed	m/min	3.5
	运行速度 Traversing speed		20
	起升高度 Lifting Height	m	28.5
工作制度 Duty		A3	
荐用钢轨 Steel track Recommended			P50, P60
最大轮压 Max.wheel load		KN	360
工作制度 Duty			A5
总质量 Total Weight		t	410
总功率 Total power		KW	175
电源 Power Source			三相交流 3-phase A.C .50Hz 380V

Sumber : <http://www.craneus.com/Lift Bridge Girder Gantry Crane 58.html>



Gambar 4.46 Spesifikasi Portal Hoise

Digunakan 2 portal hoise dengan 2 mesin gantry pada masing - masing porta

Cek :

- Kapasitas angkat 1 mesin gantry : 450 ton
- = 450 . 2
- Kapasitas angkat mesin gantry = 900 ton

Reaksi pada tumpuan (sling)

$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot L \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 228,45 \cdot 60 \\
 &= 6853,5 \text{ kN} \\
 &= 685,35 \text{ ton} < 900 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

OK

]

]

]

1

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan Fly Over Simpang Air Hitam Samarinda digunakan beton pracetak prategang dengan penampang kotak (box girder) dengan lebar total 9 meter (lebar lantai kendaraan 7,5 meter dan lebar trotoir 2 x 0,75 meter) dengan bentang 60 meter.

1. Terdiri dari 20 segmen box girder dengan tinggi penampang = 3 meter, dan panjang tiap segmen = 3 meter. Tebal slab atas = 40 cm, tebal slab bawah = 40 cm, dan tebal web = 50 cm.
2. Digunakan prategang penuh dengan metode penarikan tendon pasca tarik, dimana tendon tidak melekat pada beton.
3. Digunakan tendon VSL Tipe E 0,6" seri 6 – 43 dengan 43 untaian, dengan gaya pra penegangan efektif terhadap beban putus 80% = 2519,8 kips dengan diameter selubung = 6,57 inch dan diperlukan 8 buah tendon dengan tata letak masing masing 4 tendon diletakkan pada web.
4. Total kehilangan gaya prategang yang terjadi = 12,87 % < 20% (kehilangan yang direncanakan).

5. Lendutan yang terjadi :

$$\text{Jangka pendek : akibat berat sendiri + gaya prategang} = 0,8 \text{ cm (} \downarrow \text{)}$$

$$\text{Akibat berat sendiri + gaya prategang + beban hidup} = 2 \text{ cm (} \downarrow \text{)}$$

$$\text{Jangka panjang : akibat berat sendiri + gaya prategang} = 5 \text{ cm (} \downarrow \text{)}$$

$$\text{Akibat berat sendiri + gaya prategang + beban hidup} = 6,3 \text{ cm (} \downarrow \text{)}$$

6. Tidak terjadi tegangan tarik pada penampang box girder yang artinya sesuai dengan syarat teori elastis dimana tidak diperbolehkannya ada terjadi tarik pada beton.

7. Digunakan tulangan melintang:

- Pada slab atas : Tulangan tumpuan : Pokok = D36 – 130 mm

: Bagi = D19 – 190 mm

- : Tulangan lapangan : Pokok = D36 – 150 mm
- : Bagi = D19 – 200 mm
- Pada slab bawah : Tulangan tumpuan : Pokok = D19 – 250 mm
- : Bagi = D13 – 250 mm
- : Tulangan lapangan : Pokok = D19 – 250 mm
- : Bagi = D13 – 250 mm
- Pada web : Tulangan Melintang = D25 – 200 mm
- : Tulangan Memanjang = D13 – 250 mm

8. Digunakan tulangan geser :

- Titik a – f = D25 – 200 mm
(Dengan jarak 0 – 15 m)
- Titik f – k = D25 – 400 mm
(Dengan jarak 15 – 30 m)

9. Tulangan daerah angkur :

- Tulangan Pecah Ledak = 16 D22 – 17 cm
- Tulangan Vertikal : Arah melintang = 4 D36 – 20 cm
Arah memanjang = 5 D36 – 15 cm
- Tulangan Horizontal : Arah melintang = 8 D36 – 30 cm
Arah memanjang = 5 D36 – 15 cm

5.2. **Saran**

1. Dalam merencanakan bentuk penampang segmen perlu diperhatikan dimensi slab dan web, karena akan sangat berpengaruh terhadap beban yang bekerja, tata letak tendon, dan kapasitas penampang itu sendiri.
2. Dalam perencanaan komponen fly over perlu diperhatikan segi keamanan dari kemungkinan terjadi adanya kegagalan struktur khususnya pada perencanaan tiang sandaran dari faktor kelalaian manusia.
3. Dalam penentuan tendon yang digunakan perlu diperhatikan terhadap jumlah untaian yang dipilih, karena adanya kelebihan dalam penentuan jumlah tendon mampu mengakibatkan adanya gaya tambahan ke atas yang berpengaruh pada lendutan itu sendiri, dan disisi lain dari segi efisiensi penggunaan biaya.
4. Perlu dilakukan kontrol yang teliti terhadap tegangan dan lendutan yang terjadi pada penampang terhadap tegangan dan lendutan yang diijinkan.
5. Dalam penentuan tulangan, perlu diperhatikan dan dilakukan pengaturan terhadap tata letak dan jarak tulangan khususnya pada daerah blok ujung (end block), karena pada blok ujung akan terdapat banyak tulangan oleh karena itu diperlukan pengaturan tata letak yang baik terhadap blok ujung.

DAFTAR PUSTAKA

- Asiyanto (2005). Metode Konstruksi Jembatan Beton, Universitas Indonesia. Jakarta, Indonesia
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2011), *Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan untuk Jembatan*
- Lin, T.Y, dan Burns, H. (1982). Desain Struktur Beton Prategang, Erlangga. Jakarta, Indonesia
- Nawy G, Edward (2001). Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar, Erlangga. Jakarta, Indonesia
- Raju, Khrisna. (1986). Beton Prategang. Erlangga. Jakarta, Indonesia
- Standar Nasional Indonesia, Pembebanan untuk Jembatan, RSNI T-02-1725-2005
- Standar Nasional Indonesia, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013
- Standar Nasional Indonesia, Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung SNI 7833-2012
- Supriyadi, Bambang. (2007). Jembatan. Beta Offset. Yogyakarta, Indonesia