



**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN JEMBATAN
WIDANG-BABAT PADA BENTANG TENGAH DENGAN
MENGUNAKAN METODE PRATEKAN**

SKRIPSI

**“Diajukan Sebagai Salah Satu Prasyarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Strata 1 (S-1) Teknik Sipil”**



Disusun Oleh:

Andy Amirulloh

21601051109

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG**

2021



**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN JEMBATAN
WIDANG-BABAT PADA BENTANG TENGAH DENGAN
MENGUNAKAN METODE PRATEKAN**

SKRIPSI

**“Diajukan Sebagai Salah Satu Prasyarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Strata 1 (S-1) Teknik Sipil”**



Disusun Oleh:

Andy Amirulloh

21601051109

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
2021**



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(U N I S M A)
FAKULTAS TEKNIK
T E R A K R E D I T A S I

Program Studi : 1. Teknik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Mayjend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andy Amirulloh
NPM : 21601051109
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan bahwa Skripsi/Tugas akhir yang berjudul :

**“STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN JEMBATAN WIDANG-BABAT
PADA BENTANG TENGAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE
PRATEKAN”**

Merupakan karya tulis yang saya buat sendiri dan menurut keyakinan saya skripsi atau tugas akhir ini tidak mengandung bagian skripsi atau karya tulis yang pernah diterbitkan atau ditulis orang lain (jiplakkan), kecuali kutipan referensi yang dimuat dalam naskah skripsi atau tugas akhir ini.

Apabila kemudian hari pernyataan saya tidak benar maka saya sanggup menerima sanksi akademik apapun dari Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Malang, 8 Desember 2021



Andy Amirulloh

Mengetahui,

Dosen Pembimbing I


Ir. H. Warsito, MT.
NPP. 1900200014

Dosen Pembimbing II


Ir. Bambang Suprpto, MT.
NPP. 195604121988111005



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(U N I S M A)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI

Program Studi : 1. Teknik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Jayjend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

LEMBAR ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Andy Amirulloh**

NPM : **21601051109**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis yaitu **“Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat pada Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode Pratekan”** ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil plagiasi maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai dengan hukum yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat sebenar-benarnya.

Malang, 8 Desember 2021



Andy Amirulloh



**UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(UNISMA)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI**

Program Studi : 1. Teknik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Jayjend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

**STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN JEMBATAN WIDANG-BABAT PADA
BENTANG TENGAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE PRATEKAN**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Prasyarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

Andy Amirulloh

NPM : 21601051109

Diajukan dan disahkan Oleh

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Warsito, MT.
NPP. 1900200014

Dosen Pembimbing II

Ir. Bambang Suprpto, MT.
NPP. 195604121988111005

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik



Ir. H. Warsito, MT.
NPP. 1900200014

Ketua Prodi Teknik Sipil

Dr. Azizah Rohmawati, ST., MT.
NPP. 209020003



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(UNISMA)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI

Program Studi : 1. Teknik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Mayjend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : **Andy Amirulloh**
NPM : **21601051109**
Program Studi : **Teknik Sipil**
Fakultas : **Teknik**
Judul : **Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat pada
Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode Pratekan**

Telah diperiksa dan disahkan pada tanggal : 8 Desember 2021

No	Dosen Pembimbing	Tanda Tangan
1	Ir. H. Warsito, MT.	
2	Ir. Bambang Suprpto, MT.	
No	Dosen Penguji	Tanda Tangan
1	Dr. Ir. Hj. Eko Noerhayati, MT.	
2	Dr. Azizah Rokhmawati, ST., MT.	

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ir. H. Warsito, MT.
NPP. 1900200014

Ketua Prodi Teknik Sipil

Dr. Azizah Rokhmawati, ST., MT.
NPP. 209020003



**UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(UNISMA)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI**

Program Studi : 1. Teknik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Jend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Andy Amirulloh
 NPM : 21601051109
 Program Studi : Teknik Sipil
 Fakultas : Teknik
 Judul : **Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat Pada Bentang Tengah Dengan Menggunakan Metode Pratekan**
 Pembimbing I : Ir. H. Warsito, MT.

KONSULTASI BIMBINGAN

NO	TANGGAL	KETERANGAN	TTD
1	19 - 01 - 2021	- Bab I perbaiki teori dan koreksi - Rumus-rumus beton prategang lengkapi - Gambar-gambar diperjelas	h
2	26 - 01 - 2021	- Teori struktur bawah jembatan dikumpulkan jadi satu dibelakang - Lanjutkan Bab IV	h
3	17 - 02 - 2021	- Koreksi dan lanjutkan hitungan	h
4	26 - 01 - 2021	- Perbaiki hitungan tulangan plat dan gambar penulangan	h
5	19 - 03 - 2021	- Perbaiki penulangan lengkapi baton pratekan	h
6	24 - 04 - 2021	- Perbaiki tulangan - Lanjutkan	h
7	28 - 06 - 2021	- Lanjutkan hitungan balok pratekan	h



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(UNISMA)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI

Program Studi : 1. Teknik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

syjend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

8	10 - 07 - 2021	- Cek hitungan titik berat dan I balok	h
9	12 - 07 - 2021	- Cek panjang diafragma - Lengkapi satuan - Cek P ₁ , P ₂ , P ₃	h
10	16 - 07 - 2021	- Cek hitungan momen inersia - Lengkapi sama koreksi	h
11	23 - 07 - 2021	- Lanjutkan	h
12	02 - 08 - 2021	- Cek jarak S - Pahami catatan yang benar dan referensi	h
13	04 - 08 - 2021	- Lanjutkan	h
14	10 - 08 - 2021	- Gambar area kabel tendon diperjelas	h
15	14 - 08 - 2021	- Lanjutkan bangunan bawah	h
16	28 - 08 - 2021	- Cek satuan yang benar - Lanjutkan	h
17	29 - 08 - 2021	- Data boleh asal dalam lokasi yang sama	h
18	08 - 09 - 2021	- Data tanah dilampirkan, kedalaman 6,2m	h
19	11 - 09 - 2021	- Cek hitungan penulangan diameter D50, D40 apa benar ? - Kedalaman dan data tanahnya	h
20	15 - 09 - 2021	- Coba cek lagi hitungan momen tulangnya - Cek lagi tulangan	h
21	12 - 10 - 2021	- Cek hitungan $\sum X^2$ - Lanjutkan hitungannya	h
22	15 - 10 - 2021	- Perbaiki kesimpulan dalam bentuk narasi saja	h



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(U N I S M A)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI

Program Studi : 1. Teknik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Jajend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

23	22 - 10 - 2021	- Dapat diajukan seminar hasil	l
24	14 - 11 - 2021	- Dapat diajukan untuk ujian sidang skripsi	l

Malang, 8 Desember 2021

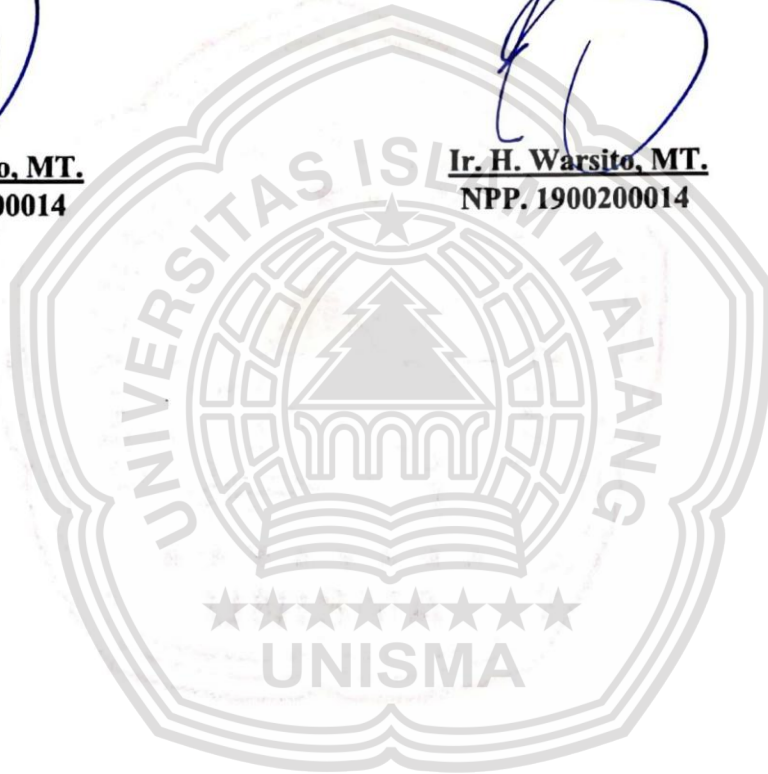


Dekan Fakultas Teknik

Ir. H. Warsito, MT.
FAK. NPP. 1900200014

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Warsito, MT.
NPP. 1900200014





UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(U N I S M A)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI

Program Studi : 1. Tenik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Jend Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Andy Amirulloh
NPM : 21601051109
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Judul : **Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat Pada Bentang Tengah Dengan Menggunakan Metode Pratekan**
Pembimbing II : Ir. Bambang Suprpto, MT.

KONSULTASI BIMBINGAN

No	TANGGAL	KETERANGAN	TTD
1	21 - 01 - 2021	- Latar belakang - Identifikasi masalah - Format penulisan - Daftar pustaka - Foto dan keterangan - Lanjutkan	
2	23 - 01 - 2021	- Siapkan power point untuk sempro	
3	09 - 02 - 2021	- Acc sempro	
4	24 - 04 - 2021	- Skala gambar - Ukuran flend bawah 100 – 110 cm - Lanjutkan	
5	27 - 04 - 2021	- Cek jarak 33,33 cm dan 97,33 cm tabel 4.1 - Lanjutkan	



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(U N I S M A)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI

Program Studi : 1. Tenik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

end Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 exL 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

6	28 - 04 - 2021	- Lanjutkan ke bab lain	✓
7	22 - 06 - 2021	- Cek beff sesudah komposit 185 – 200 cm - Lanjutkan	✓
8	26 - 06 - 2021	- Cek beff pakai 200 cm - Lanjutkan	✓
9	01 - 07 - 2021	- Lihat gambar beff dan jumlah gelagar	✓
10	03 - 07 - 2021	- Cek jumlah gelagar 4 buah - Tebal plat 20 cm	✓
11	06 - 07 - 2021	- Oke perhitungan jumlah beban	✓
12	10 - 07 - 2021	- Cek $A = 2,9044 \text{ m}^2$ - Tebal aspal = 0,05 m - Lanjutkan	✓
13	14 - 07 - 2021	- Cek $P = 0,2 \times L \times t$ - Lanjutkan	✓
14	15 - 07 - 2021	- Rekapulitasi momen oke - Lanjutkan	✓
15	27 - 07 - 2021	- Cek a_1 dan a_2 pada gambar	✓
16	02 - 08 - 2021	- Atur letak tendon Atas, tengah, bawah - Lanjutkan	✓
17	05 - 08 - 2021	- Lanjutkan ke bab lain	✓
18	12 - 08 - 2021	- Kontrol tegangan geser oke - Cek control lendutan	✓
19	14 - 08 - 2021	- Lanjutkan ke bab lain	✓
20	28 - 08 - 2021	- Cek lagi D50, diturunkan ke D40 - Lanjutkan	✓



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
(U N I S M A)
FAKULTAS TEKNIK
TERAKREDITASI

Program Studi : 1. Tenik Sipil 2. Teknik mesin 3. Teknik Elektro

Yogyakarta Haryono 193 Malang, Jawa Timur 65144 Indonesia Telp. 0341 581734, 551932 ext. 124 faks. 0341 552249 e-mail: fak_teknik@unisma.ac.id Website: unisma.ac.id

21	08 - 09 - 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Cek mutu beton Fc pada tiang pancang dan pilar - Cek jarak antar tiang pancang (s) Jarak tepi 0,75 - Jumlah tiang pancang jadikan 10 – 12 buah - Jarak a pada kondisi 2 - Jarak 10,58 (1/3 x L) - Lanjutkan 	Y
22	09 - 09 - 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Lanjutkan kesimpulan, saran dan gambar 	P
23	14 - 01 - 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Cek tekanan tanah 	P
24	16 - 09 - 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Kesimpulan dan saran diperbaiki - Buat PPT semhas 	P
25	28 - 10 - 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Oke Acc semhas 	P
26	13 - 11 - 2021	<ul style="list-style-type: none"> - Daftar pustaka dicari lagi - Acc ujian T.A 	P


Malang, 8 Desember 2021

Dekan Fakultas Teknik



Ir. H. Warsito, MT.
NPP. 1900200014

Dosen Pembimbing II



Ir. Bambang Suprpto, MT.
NPP. 195604121988111005

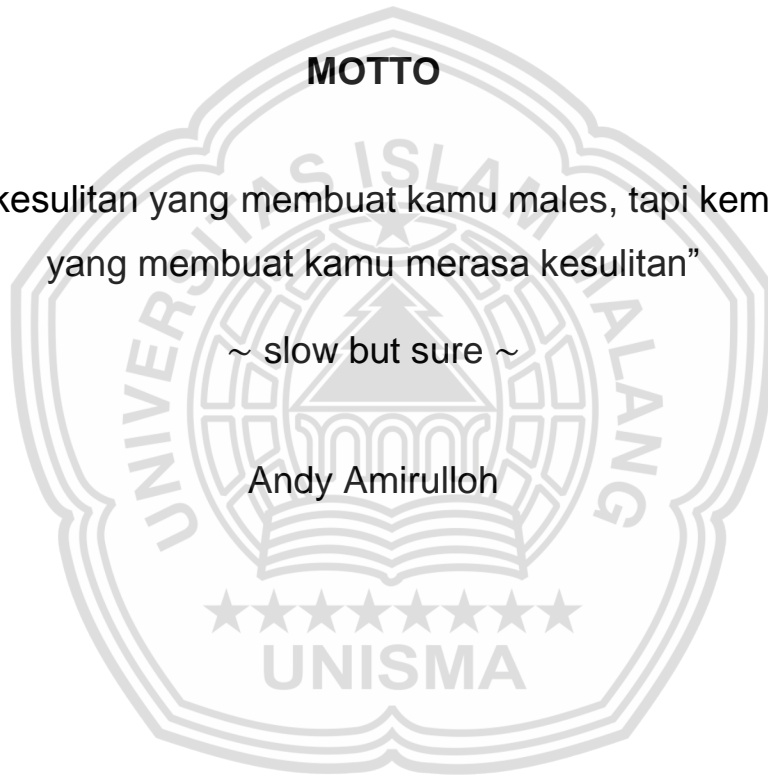


MOTTO

“bukan kesulitan yang membuat kamu males, tapi kemalessan
yang membuat kamu merasa kesulitan”

~ slow but sure ~

Andy Amirulloh





KATA PENGANTAR

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Alhamdulillah rabbil alamin, dengan memanjatkan puji dan syukur kepada Allah SWT. Atas karunia dan rahmat-Nyatak lupa sholawat serta salam semoga tetap tercurah limpah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat Pada Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode Pratekan”. Sebagai salah satu prasyarat untuk kelulusan S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang.

Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Maskuri, M.Si. selaku Rektor Universitas Islam Malang.
2. Bapak Ir. H. Warsito, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Malang.
3. Ibu Dr. Azizah Rachmawati, ST. MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang.
4. Bapak Ir. H. Warsito, MT. selaku dosen pembimbing I.
5. Bapak Ir. Bambang Suprpto, MT. selaku dosen pembimbing II.
6. Jajaran dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan disiplin ilmu semasa perkuliahan.

7. Kedua orang tua saya, dan adik saya yang telah memberi dukungan, semangat dan do'a yang tiada hentinya.
8. Teman-teman saya yang selalu menemani dari awal hingga terselesainya skripsi ini.
9. Seluruh pihak yang telah membantu terlaksanya skripsi ini hingga selesai.

Penulis tentunya menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini jauh dari kesempurnaan,

Sekalipun usaha sudah semaksimal mungkin. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritikan yang bersifat membangun demi demi kesempurnaan dimasa yang akan dating. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan juga pembaca pada umumnya. Amin.

Malang, 8 Desember 2021

Andy Amirulloh



CURRICULUM VITAE

Nama : Andy Amirulloh

NPM : 21601051109

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat pada Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode Pratekan

Tempat Tanggal Lahir : Bojonegoro, 20 Januari 1998

Alamat : RT 02, RT 01 Dusun Prijek Desa Tambahrejo
Kecamatan Kanor Kabupaten Bojonegoro

No. Hp : 085-719-11-51-99

Email : andyamirulloh@gmail.com

Nama Ayah : Mohamad Sidiq

Nama Ibu : Susilowati

Dosen Pembimbing 1 : Ir. H. Warsito, MT.

Dosen Pembimbing 2 : Ir. Bambang Suprpto, MT.

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Hj. Eko Noerhayati, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Azizah Rokhmawati, ST., MT.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Andy Amirulloh adalah nama penulis dari skripsi ini. penulis dilahir di Desa Tambahrejo Kecamatan Kanor Kabupaten Bojonegoro Provinsi Jawa Timur pada tanggal 20 Januari 1998. Penulis lahir dari pasangan Bapak Mohammad Sidiq dan Ibu Susilowati yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari MII Tambahrejo (lulus tahun 2010), MTs ISLAMIYAH AT-TANWIR Talun (lulus tahun 2013), MA ISLAMIYAH AT-TANWIR Talun, Jurusan Ilmu Pengetahuan Sosial (lulus tahun 2016). Setelah lulus dari MA ISLAMIYAH AT-TANWIR Talun pada tahun 2016, penulis mengambil Strata 1 Teknik Sipil Universitas Islam Malang pada tahun 2016. Terdaftar sebagai mahasiswa dengan NMP 21601051109. Di jurusan Teknik Sipil mengambil skripsi bidang struktur jembatan. Jika ingin berbagi informasi dengan penulis dapat melalui email andyamirulloh@gmail.com.

ABSTRAK

Andy Amirulloh, 21601051109, 2021, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Judul Skripsi “Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang–Babat pada Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode pratekan”.
Pembimbing I : Ir. H. Warsito, M.T. Pembimbing II : Ir. Bambang Suprpto, M.T.

Jembatan Widang–Babat merupakan Jembatan yang menghubungkan antara dua daerah yaitu Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan. Jembatan tersebut putus pada tahun 2018 lalu, dan mulai diperbaiki pada tahun 2019. Berdasarkan kondisi perencanaan yang ada dilapangan, diperoleh jembatan dibuat menggunakan *stell box girder* dengan panjang 50 m dan lebar 9 m. tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui beban yang digunakan dalam perencanaan, dimensi gelagar, dan dimensi pilar, serta mengetahui ukuran dan jumlah pondasi yang digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan metode diskriptif kuantitatif yang meliputi metode literatur dan metode observasi. Dari hasil perencanaan gelagar beton pratekan dapat disimpulkan dimensi gelagar direncanakan dengan tinggi 2,50 m, lebar flens atas 1,80 m, lebar flens bawah 1,10 m, tebal flens atas 0,30 m, tebal flens bawah 0,50 m, dan tebal badan ,80 m. tendon direncanakan dengan jenis *strand Uncoated seven wire grade 270 ASTM A416 (VSL strand post-tensioning systems)*. Jumlah tendon yang direncanakan sesuai perhitungan menggunakan 8 buah tendon. Untuk ukuran pilar direncanakan dengan tinggi 5,40 m, panjang pilar 9,00 m, dan lebar pilar 2,20 m. pada perencanaan pondasi digunakan pondasi tiang pancang dengan diameter 0,50 m, dengan kedalaman 6,2 m.

Kata kunci : Jembatan, Pratekan, Widang-Babat.



DAFTAR ISI

LEMBAR SURAT PERNYATAAN

LEMBAR PERTANGGUNG JAWABAN

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI

LEMBAR PERSEMBAHAN

MOTTO

ABSTRAK i

KATA PENGANTAR ii

CURRICULUM VITAE iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR GAMBAR xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 4



1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Lingkup Pembahasan	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

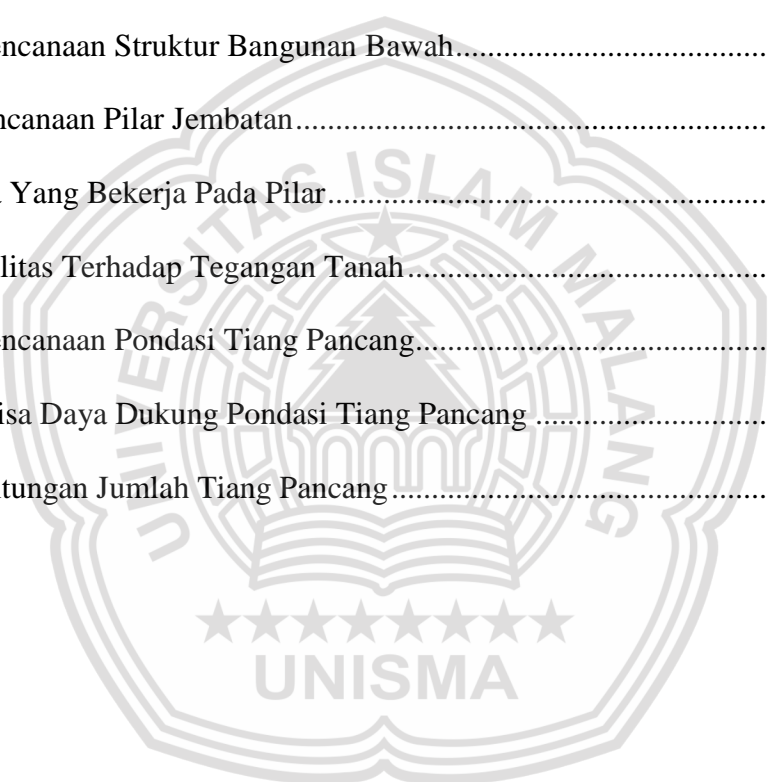
2.1 Jembatan	7
2.2 Klasifikasi Jembatan	8
2.2.1 Fungsi Jembatan.....	8
2.2.2 Bahan Kontruksi Jembatan	8
2.2.3 Tipe Struktur Jembatan.....	9
2.2.4 Kelas Jembatan	11
2.3 Kriteria Pembebanan.....	12
2.3.1 Beban Permanen	12
2.3.2 Berat Sendiri (MS).....	13
2.3.3 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA).....	14
2.3.4 Beban Akibat Tekanan Tanah (TA).....	14
2.3.5 Pengaruh Tetap Pelaksaan	16
2.3.6 Beban Lalu Lintas	16
2.3.6.1 Lajur Lalu Lintas Rencana.....	17
2.3.6.2 Beban Lajur “D” (TD)	18
2.3.6.3 Beban Truk “T” (TT).....	21



2.3.6.4	Klasifikasi Pembebanan Lalu Lintas.....	23
2.3.6.5	Faktor Beban Dinamis	24
2.3.6.6	Gaya Rem (TB).....	26
2.3.6.7	Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP)	26
2.4	Aksi Lingkungan.....	27
2.5	Aksi-Aksi Lainnya	33
2.5.1	Gesekan pada Perletakan (BF).....	33
2.5.2	Pengaruh Getaran.....	33
2.5.3	Beban Pelaksanaan.....	33
2.6	Spesifikasi Struktur Jembatan.....	34
2.6.1	Struktur Atas Jembatan (<i>Superstructures</i>).....	34
2.6.2	Struktur Bawah Jembatan (<i>Substructures</i>).....	35
2.6.3	Pondasi (<i>Foundation</i>).....	35
2.7	Teori Dasar Beton Patekan	36
2.7.1	Sistem Pemberian Gaya Patekan Secara Eksternal dan Internal	37
2.7.2	Metode Patekan	38
2.7.2.1	Pratarik	39
2.7.2.2	Pascatarik	40
2.7.3	Material Beton Patekan	42
2.7.3.1	Beton	42
2.7.3.2	Baja	43



2.7.4 Kehilangan Pratekan	43
2.7.5 Analisa Tegangan.....	44
2.7.6 Analisa Momen Retak.....	44
2.7.7 Jumlah Tendon.....	45
2.7.8 Kontrol Lendutan	45
2.7.9 Penulangan Terhadap Geser	46
2.8 Dasar Perencanaan Struktur Bangunan Bawah.....	47
2.8.1 Perencanaan Pilar Jembatan.....	47
2.8.2 Gaya Yang Bekerja Pada Pilar.....	47
2.8.3 Stabilitas Terhadap Tegangan Tanah.....	48
2.9 Dasar Perencanaan Pondasi Tiang Pancang.....	49
2.9.1 Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang	50
2.9.2 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang	51



BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian.....	52
3.2 Kondisi Daerah Penelitian	53
3.3 Data-data Perencanaan.....	53
3.3.1 Data Primer	53
3.3.2 Data Struktur	54
3.4 Tahapan Penelitian.....	54
3.4.1 Bagan Alir Pengerjaan Skripsi.....	57

BAB IV PERHITUNGAN KONTRUKSI

4.1 Data Teknis Perencanaan.....	59
4.1.1 Data-data Perencanaan.....	59
4.1.2 Data Pembebanan.....	60
4.2 Perencanaan Plat Lantai.....	61
4.2.1 Pembebanan Plat Lantai Kendaraan	61
4.2.2 Perhitungan Plat Lantai Kendaraan.....	62
4.2.3 Momen Akibat Beban Mati.....	63
4.2.4 Momen Akibat Beban Hidup.....	64
4.2.5 Penulangan Plat Lantai Kendaraan Arah Melintang (Y).....	64
4.2.5.1 Penulangan pada Tumpuan	64
4.2.5.2 Penulangan pada Lapangan.....	65
4.2.6 Penulangan Plat Lantai Kendaraan Arah Memanjang (X).....	66



4.3 Perencanaan Trotoar dan Tiang Sandaran	67
4.3.1 Pembebanan Trotoar	67
4.3.2 Pembebanan Sandaran	68
4.3.3 Perhitungan Plat Lantai Trotoar	69
4.3.4 Perhitungan Momen	69
4.3.5 Penulangan Trotoar Arah Melintang (Y)	70
4.3.6 Penulangan Trotoar Arah Memanjang (X)	71
4.3.7 Perencanaan Tiang Sandaran	71
4.3.7.1 Perhitungan Pipa Sandaran	71
4.3.7.2 Penulangan Sandaran	72
4.4 Kontrol Gaya Geser Pons Lantai	73
4.4.1 Muatan “T” dengan $P=25$ kN dan Luas Bidang Kontak Roda 150 mm x 250 mm	74
4.4.2 Muatan “T” dengan $P=112,5$ kN dan Luas Bidang Kontak Roda 250 mm x 750 mm	75
4.5 Perencanaan Balok Pratekan	77
4.5.1 Sebelum Komposit	77
4.5.1.1 Jarak Garis Netral (c.g.c)	79
4.5.1.2 Momen Inersia (I_x)	80
4.5.1.3 Momen Tahanan (W_x)	80
4.5.1.4 Batas Inti (Kern)	80

4.5.2 Sesudah Komposit	80
4.5.2.1 Jarak Garis Netral (c.g.c)	83
4.5.2.2 Momen Inersia (I_x)	84
4.5.2.3 Momen Tahanan (W_x)	84
4.5.2.4 Batas Inti (Kern)	84
4.6 Perhitungan Statika	85
4.6.1 Perhitungan Beban Penampang Komposit	85
4.6.1.1 Beban Primer	85
4.6.1.2 Beban Sekunder	88
4.7 Tegangan Ijin	93
4.8 Desain Pendahuluan Penampang Balok Pratekan	93
4.8.1 Desain Pendahuluan	93
4.9 Perhitungan Tendon	96
4.9.1 Daerah Aman Tendon	97
4.9.2 Menentukan Koordinat Tendon	110
4.10 Kontrol Tegangan	118
4.10.1 Kontrol Kehilangan Tegangan	121
4.11 Perhitungan Balok Ujung (<i>End Block</i>)	127
4.11.1 Kontrol Terhadap Geser	128
4.12 Perencanaan <i>Shear Connector</i>	132
4.13 Kontrol Lendutan	142



4.14 Perencanaan Bantalan Elastomer	145
4.15 Perencanaan Bangunan Bawah	150
4.15.1 Perencanaan Pilar	150
4.15.2 Perhitungan Pembebanan	153
4.15.3 Perhitungan Berat Pilar	155
4.16 Kontrol Stabilitas	162
4.17 Penulangan Pilar	165
4.18 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang	176
4.18.1 Penulangan Tiang Pancang di hitung Berdasarkan Kebutuhan pada saat Pengangkatan	176
4.18.2 Daya Dukung Tiang Pancang	183
4.18.3 Perhitungan Jumlah Tiang	184
4.18.4 Perhitungan Kontrol Jarak Antar Tiang	184
4.18.5 Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang Pancang	185
4.18.6 Kekuatan Tiang Pancang Beton Menerima Gaya Eksentrisitas.....	186
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	188
5.2 Saran	189
DAFTAR PUSTAKA	190
LAMPIRAN.....	192
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	196

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat Isi Untuk Beban Mati	13
Tabel 2.2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri.....	14
Tabel 2.3 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan	14
Tabel 2.4 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah	15
Tabel 2.5 Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan	16
Tabel 2.6 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana	18
Tabel 2.7 Faktor Beban Untuk Beban Lajur “D”	18
Tabel 2.8 Faktor Beban Untuk Beban “T”	21
Tabel 2.9 Faktor Kepadatan Lajur (m).....	23
Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Penurunan.....	27
Tabel 2.11 Faktor Beban Akibat Susut Dan Rangkak	28
Tabel 2.12 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	30
Tabel 2.13 Tekanan Angin Dasar	30
Tabel 2.14 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan	31
Tabel 2.15 Faktor Beban akibat gesekan pada Perletakan.....	33
Tabel 4.1 Analisa Penampang Balok Sebelum Komposit	79
Tabel 4.2 Analisa Penampang Balok Sesudah Komposit.....	82
Tabel 4.3 Rekapulitasi Momen	92
Tabel 4.4 Posisi Masing-Masing Tendon	110
Tabel 4.5 Jalur Tendon	117



Tabel 4.6 Hubungan Antara Kepadatan, Relativ Density, Nilai N, qc dan \emptyset	153
Tabel 4.7 Perhitungan Berat Sendiri Pilar	156
Tabel 4.8 Parameter Desain Seismik	158
Tabel 4.9 Perhitungan Titik Berat Pilar	161
Tabel 4.10 Faktor Daya Dukung untuk Persamaan Terzaghi	163



DAFTAR GEMBAR

Gambar 2.1 Beban Lajur “D”	19
Gambar 2.2 Alternatif Penempatan Beban “D” Dalam Arah Melintang	20
Gambar 2.3 Beban Truk “T”	21
Gambar 2.4 Faktor Dinamis Untuk Beban “T” Pada Pembebanan Lajur “D”	25
Gambar 2.5 distribusi tegangan serat beton pada balok persegi panjang dengan tendon lurus. (a) tendon kosentris, hanya prategang. (b) tendon kosentris , berat sendiri ditambahkan. (c) tendon kosentris, hanya prategang. (d) tendon kosentris, berat sendiri ditambahkan	38
Gambar 2.6 Metode Pratarik	39
Gambar 2.7 Metode Pascatarik	41
Gambar 2.8 Modulus Elastisitas pada Beton	42
Gambar 2.9 Modulus Elastisitas Pada Baja	43
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	52
Gambar 4.1 Potongan Melintang Jembatan	59
Gambar 4.2 Koefisien Momen	63
Gambar 4.3 Penulangan Plat Lantai Kendaraan	67
Gambar 4.4 Perencanaan Tiang Sandaran	71
Gambar 4.5 Bidang Kontak Roda $P = 25 \text{ KN}$	75
Gambar 4.6 Bidang Kontak Roda $P = 112,5 \text{ KN}$	76



Gambar 4.7 Penampang Balok Girder	77
Gambar 4.8 Jarak Titik Pusat Terhadap Sisi Atas Sebelum Komposit.....	78
Gambar 4.9 Jarak Titik Pusat ke c.g.c Sebelum Komposit.....	79
Gambar 4.10 Lebar Efektif Penampang Komposit.....	81
Gambar 4.11 Balok Setelah Komposit.....	82
Gambar 4.12 Jarak Titik Pusat Terhadap Sisi Atas Setelah Komposit.....	82
Gambar 4.13 Jarak Titik Pusat ke c.g.c Setelah Komposit.....	83
Gambar 4.14 Momen Maksimum Balok	85
Gambar 4.15 Momen Maksimum Plat Lantai Kendaraan	85
Gambar 4.16 Dimensi Balok Diafragma.....	86
Gambar 4.17 Denah Penempatan Diafragma.....	86
Gambar 4.18 Momen Maksimum Balok Diafragma	87
Gambar 4.19 Akibat Beban Angin.....	88
Gambar 4.20 Pembebanan Truk “T”	90
Gambar 4.21 Skema Beban Rem	92
Gambar 4.22 Gambar Angkur.....	97
Gambar 4.23 Besar Momen yang Ditampung 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 Memerlukan Garis Pengaruh Dititik 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	103
Gambar 4.24 Daerah Aman Kabel.....	110
Gambar 4.25 Jalur Tendon.....	117
Gambar 4.26 Balok Ujung	127

Gambar 4.27 Tegangan Pada Tengah Bentang Saat Beban Bekerja	132
Gambar 4.28 Tegangan Pada Tengah Bentang Saat Beban Bekerja	134
Gambar 4.29 Skema Pembebanan Beban Hidup dan Gaya Lintang.....	137
Gambar 4.30 Penempatan <i>Shear Connector</i>	141
Gambar 4.31 Data Fisik Elastomer	149
Gambar 4.32 Perencanaan Pilar Tampak Melintang dan Memanjang.....	150
Gambar 4.33 Grafik Data Sondir	152
Gambar 4.34 Gaya Akibat Berat Sendiri Pilar.....	155
Gambar 4.35 Titik Berat Pilar.....	160
Gambar 4.36 Pembagian Perencanaan Penulangan Pilar.....	165
Gambar 4.37 Penulangan Pilar	175
Gambar 4.38 Gaya Angkat Pada Kondisi I.....	176
Gambar 4.39 Gaya Angkat Pada Kondisi II	177
Gambar 4.40 Penampang Tiang Pancang	181
Gambar 4.41 Penulangan Tiang Pancang	182
Gambar 4.42 Kontrol Jarak Antar Tiang Pancang.....	185
Gambar 4.43 Gaya Eksentrisitas Tiang Pancang.....	186

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari kondisi topografi yang beragam dan jumlah penduduk terpadat keempat di dunia. Hal ini juga turut menuntun perekonomian Indonesia agar tetap bias selalu memnuhi kebutuhan dan permintaan masyarakat. Dengan demikian kebutuhan Indonesia akan infastruktur juga kian meningkat. Salah satunya dengan membangun sarana dan prasarana transposrtasi yang memadai agar dapat menunjang mobilitas warga.

Salah satu wilayah dengan kondisi topografi yang beragam yaitu adalah di wilayah Jawa yang memiliki banyak aliran sungai, dengan demikian dibutuhkan pembangunan jembatan sebagai salah satu alternatif penyebrangan agar dapat menghubungkan wilayah pada suatu daerah.

Jembatan adalah bagian jalan yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua jalan yang terpisah karena suatu rintangan seperti sungai, lembah, laut, jalan raya dan rel kereta api. Jembatan sangat vital fungsinya terhadap kehidupan manusia, dan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi tiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik. (Supriyadi, 2007).

Jembatan Widang-Babat merupakan jembatan yang menghubungkan antara Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan. Jembatan tersebut juga bisa digunakan akses menuju jalur pantura. Jembatan ini dibangun pada tahun 1970 dan merupakan jembatan rangka baja *Callendar Hamilton Bridge* dengan panjang total

240 meter yang melintasi sungai Bengawan Solo. Jumlah bentang (segmen) jembatan cincin tersebut, yaitu lima bentang dengan lebar 7 meter, tidak termasuk trotoar di kiri dan kanan jembatan. Bentang pertama hingga keempat masing-masing memiliki panjang 50 meter, sedangkan bentang kelima 40 meter, dengan pondasi tiang pancang beton. Lokasi jembatan tersebut terletak di km. Surabaya 72+240 ruas Jalan Nasioanal dan termasuk dalam jaringan jalan lintas utara Provinsi Jawa Timur yang menghubungkan Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan. Jembatan yang harusnya hanya mampu menahan beban 40 ton ini, putus pada bulan april tahun 2018 lalu. Disebabkan muatan yang melintas diatas jembatan tersebut melebihi batas yang tentukan oleh pembangunnya dulu. Jembatan tersebut putus karena tidak kuat menahan beban tiga truk besar yang berbobot 120 ton lewat bersamaan. Putusnya jembatan tersebut terletak pada bentang ketiga yang berada di tangan jembatan dengan panjang 50 meter. Berdasarkan kondisi perencanaan yang ada di lapangan, bentang yang diperbaiki yaitu bentang $P2 = 50$ m, $P3 = 50$ m, $P4 = 50$ m, $P5 = 40$ m. Perencanaan ulang jembatan menggunakan material komposit dengan *Stell Box Girder*. Dengan uraian data penulis merencanakan penyusunan tugas akhir ini, dengan judul “Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat pada Bentang Tengah dengan Metode Pratekan”.

Beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat beban kerja. (SNI 03-2847-2002). Beton prategang juga dapat didefinisikan sebagai beton dimana tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dihilangkan atau dikurangi sampai batas aman dengan pemberian gaya tekan permanen, dan baja

prategang yang digunakan untuk keperluan ini ditarik sebelum beton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pasca tarik).

Adapun beberapa keunggulan beton prategang yang dapat menjadi tinjauan dalam memilih metode tersebut. Dengan menggunakan beton prategang, maka jumlah baja dalam tulangan lebih sedikit dibandingkan baja pada tulangan beton konvensional serta strukturnya yang lebih kecil dan langsing karena dipasang dengan efektif. Sedangkan dibandingkan menggunakan dengan menggunakan baja, maka beton prategang lebih kuat terhadap tekanan dari beban laju dari kendaraan yang ada diatas jembatan. Hal tersebut yang membuat beton prategang lebih ringan dan kecil pada bagian struktur betonnya. Beton prategang juga merupakan beton yang kedap air dan kuat terhadap pergeseran serta kemiringan yang dapat mengakibatkan keretakan.

Perencanaan harus memperhatikan faktor komponen struktur maupun keseluruhan jembatan dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut (Masnul, 2009):

1. Kontinuitas dan redundansi
2. Semua komponen struktur jembatan harus mempunyai ketahanan yang terjamin terhadap kerusakan dan instabilitas sesuai umur yang direncanakan.
3. Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau beban berlebihan.

Jembatan ini mempunyai struktur utama yang berupa Balok Prategang I (PCI), dengan metode postension dan mutu beton K-500. Untuk plat lantai

menggunakan konstruksi beton bertulang dengan metode *insitu*, sehingga akan terjadi aksi komposit antara balok precast dan pelat cor di tempat. Perencanaan jembatan ini menggunakan SNI 1725-2016 (Peraturan Pembebanan untuk Jembatan), RSNI-T-12-2004 (Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan)

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, ada beberapa identifikasi masalah yang dijadikan bahan perencanaan jembatan Widang-Babat adalah sebagai berikut :

1. Akibat dari beban lalu lintas yang padat, sehingga diperlukan alternatif selain gelager *plate girder*.
2. Usia Jembatan sudah terlalu tua dan tidak mampu menahan beban kendaraan yang lewat.
3. Banyak kendaraan yang bermuatan lebih melintasi jembatan sehingga diperlukan perencanaan pembebanan yang sesuai dengan kondisi saat ini.
4. Terjadinya kegagalan struktur utama pada jembatan sebelumnya.
5. Akibat besarnya lendutan pada gelager, maka lebih efisien jika menggunakan beton pratekan.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, ada beberapa rumusan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar pembebanan yang terjadi pada perencanaan jembatan widang ?
2. Berapa dimensi plat lantai kendaraan pada jembatan widang ?
3. Berapa dimensi gelager yang digunakan pada jembatan widang ?
4. Berapa dimensi pilar pada jembatan widang ?
5. Berapa ukuran dan jumlah pondasi yang direncanakan ?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui berapa beban yang terjadi dalam perencanaan.
2. Mengetahui berapa dimensi plat lantai kendaraan yang direncanakan.
3. Mengetahui berapa dimensi gelagar yang digunakan.
4. Mengetahui berapa dimensi pilar yang sesuai.
5. Mengetahui ukuran dan jumlah pondasi yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi penulis dapat mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang telah diajarkan dan dipelajari selama duduk di bangku perkuliahan ke dalam perencanaan sebuah struktur jembatan.
2. Dapat menambah referensi untuk mahasiswa, khususnya di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Malang.
3. Bagi instansi terkait bisa dijadikan bahan masukan alternatif untuk merencanakan jembatan lainnya.

1.6 Lingkup Pembahasan

Sesuai dengan judul tugas akhir ini “Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang – Babat pada Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode Pratekan” maka pembahasan hanya sampai dengan bangunan bawah yang meliputi :

1. Perhitungan plat lantai kendaraan
 - a. Pembebanan lantai kendaraan
2. Perhitungan trotoar dan sandaran
 - a. Pembebanan trotoar
 - b. Pembebanan sandaran
3. Perhitungan gelagar beton pratekan

- a. Perencanaan balok pratekan
- b. Perhitungan statika
- c. Tegangan ijin
4. Perhitungan jumlah tendon
 - a. Perencanaan tendon
 - b. Perencanaan perhitungan tandon
5. Perhitungan kontrol lendutan
 - a. Menentukan keadaan awal
 - b. Menentukan keadaan setelah kehilangan gaya prategang
6. Perhitungan balok ujung (*end block*)
 - a. Gaya tarik pemecah
 - b. Basar gaya tarik pada lepas gumpal
7. Perhitungan pilar
 - a. Perencanaan pilar
 - b. Perhitungan pembebanan
 - c. Perhitungan gaya horizontal
8. Kontrol stabilitas pilar
 - a. Penulangan pilar
9. Perencanaan pondasi tiang pancang
 - a. Perhitungan berat sendiri pondasi
 - b. Perhitungan daya dukung tanah pondasi
 - c. Menentukan jumlah pondasi
 - d. Kontrol jarak antar pondasi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan menurut ilmu teknik sipil merupakan suatu struktur konstruksi yang menghubungkan suatu rute transportasi yang terpisah oleh rintangan seperti sungai, jalan raya, saluran irigasi dan bahkan menghubungkan antar pulau yang terpisah cukup jauh. Perencanaan jembatan tidak hanya mempertimbangkan aspek struktural dan transportasi saja, tetapi juga perlu meninjau aspek ekonomi dan estetika (Supriyadi & Muntohar, 2007).

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi : aspek lalu lintas, aspek teknis, aspek estika (Supriyadi & Muntohar, 2007).

Jembatan adalah suatu struktur yang berfungsi sebagai lintasan untuk memperpendek jarak dengan menyeberangi suatu rintangan tanpa menutup rintangan itu sendiri. Lintasan yang dimaksud disini adalah berupa suatu jalan raya / jalan rel, perjalan kaki, kanal atau pipa-pipa penyalur. Rintangan yang dimaksud adalah dapat berupa sungai, jalan raya atau lembah. (Dusmara, 2007)

2.2 Klasifikasi Jembatan

Jenis jembatan berdasarkan fungsi, lokasi, bahan konstruksi dan tipe struktur sekarang ini telah mengalami perkembangan pesat sesuai dengan kemajuan zaman dan teknologi, mulai dari yang sederhana sampai dengan kondisi yang mutakhir.

2.2.1 Fungsi Jembatan

Berdasarkan kegunaannya jembatan dapat dibedakan sebagai berikut (Iqbal M, 1995) :

- Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
- Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*)
- Jembatan jalan air (*waterway bridge*)
- Jembatan militer (*military bridge*)
- Jembatan pejalan kaki atau penyebrangan (*pedestrian bridge*)

2.2.2 Bahan Konstruksi Jembatan

Berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain:

1. Jembatan kayu (*log bridge*)

Jembatan yang terdiri dari bahan kayu dengan bentangan yang relatif pendek.

2. Jembatan beton (*concrete bridge*)

Jembatan beton merupakan jembatan yang konstruksinya terbuat dari material utama bersumber dari beton.

3. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)

Jembatan dengan bahan berkekuatan tinggi merupakan alternatif menarik untuk jembatan panjang. Bahan ini dipergunakan secara pada struktur jembatan sejak tahun 1950-an.

4. Jembatan baja (*steel bridge*)

Jembatan yang menggunakan berbagai macam komponen dari sistem struktur baja: *deck*, *girder*, rangka batang, pelengkung, penahan dan penggantung kabel.

5. Jembatan komposit (*composit bridge*)

Jembatan yang memiliki plat lantai beton dihubungkan dengan girder atau gelagar baja yang bekerja sama mendukung beban sebagai satu kesatuan balok. Gelagar baja terutama menahan tarik sedangkan plat beton menahan momen lendutan.

2.2.3 Tipe Struktur Jembatan

Berdasarkan tipe strukturnya jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam (Supriyadi, 2007), antara lain :

1. Jembatan Plat (*Slab Bridge*)

Jembatan dengan bentuk yang paling ekonomis untuk menahan lentur dan gaya geser serta memiliki momen inersia terbesar untuk berat yang relatif rendah setiap unit panjangnya.

2. Jembatan Plat Berongga (*Voided Slab Bridge*)

Jembatan dengan meminimalkan jumlah gelagar dan bagian-bagian fabrikasi, sehingga dapat mengurangi nilai konstruksi. Jarak antara gelagar

lebar dan pengaku lateral dibiarkan.

3. Jembatan Gelagar (*Girde Bridge*)

Jembatan yang memiliki gelagar utama dihubungkan secara melintang dengan balok lantai membentuk pilar bridge dan akan menyalurkan beban bersama-sama. jembatan tipe ini dibagi menjadi 2 yakni, I-girder dan box girder.

4. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan yang terdiri dari elemen-elemen berbentuk batang disusun dengan pola dasar menerus dalam struktur segitiga kaku. Elemen-elemen tersebut dihubungkan dengan sambungan pada ujungnya. Setiap bagian menahan beban axial juga tekan tarik.

5. Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*)

Pelengkung merupakan struktur busur vertikal yang mampu menahan beban tegangan axial.

6. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan dimana gelagar digantung oleh penggantung vertikal atau mendekati vertikal yang kemudian digantung pada kabel penggantung utama yang melewati menara dari tumpuan satu ke tumpuan yang lain. Desain ini sesuai dengan jembatan berbentuk panjang.

7. Jembatan Kabel (*Cable Stayed Bridge*)

Jembatan dimana gelagar digantung oleh kabel berkekuatan tinggi dari satu menara atau lebih. Desain ini lebih sesuai untuk jembatan jarak panjang.

8. Jembatan Cantilever (*Cantelever Bridge*)

Jembatan menerus yang dibuat dengan penempatan sendi di antara pendukung.

2.2.4 Kelas Jembatan

Pada suatu perencanaan jembatan jalan raya terdapat klarifikasi jalan raya yang ditetapkan dalam standar spesifikasi Bina Marga. Adapun spesifikasi tersebut adalah:

1. Jenis 1
 - a. Kelas I Jalan standart tertinggi untuk melayani lalu lintas kecepatan tinggi antar daerah atau antar kota dengan bebas hambatan.
 - b. Kelas II jalan standart tinggi untuk melayani lalu lintas kecepatan tinggi antar daerah atau dalam kota metropolitan dengan bebas hambatan.
2. Jenis 2
 - a. Kelas I jalan standart tertinggi dengan 4 jalur atau lebih untuk melayani antar kota dan dalam-kota kecepatan tinggi, melalui lalu lintas dengan hambatan sebgaiian.
 - b. Kalas II Jalan standart tinggi dengan 2 jalur atau lebih untuk melayani antar/dalam-kota (dalam distrik), kecepatan tinggi, terutama melalui lalu lintas dengan/tanpa hambatan sebgaiian.
 - c. Kelas III Jalan standart menengah dengan 2 jalur atau lebih untuk melayani dalam distrik, kecepatan sedang melalui lalu lintas dengan hambatan.
 - d. Kelas IV Jalan standart rendah dengan satu jalan kendaraan untuk melayani kedaerah pedalaman.

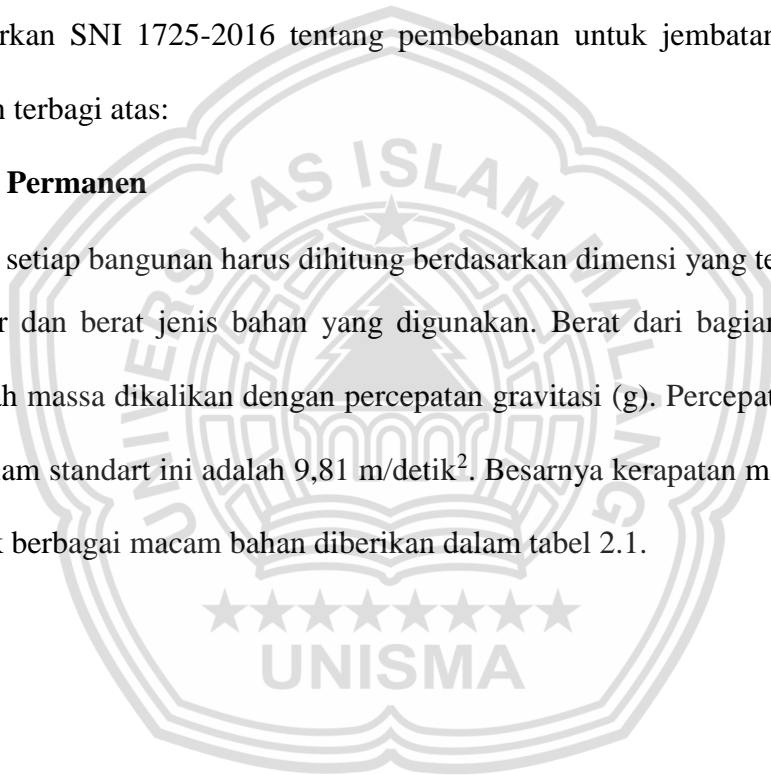
2.3 Kriteria Pembebanan

Faktor beban merupakan hal terpenting dalam perencanaan jembatan. Diperlukan standart khusus untuk perencanaan pembebanan yang nantinya menjadi dasar dan patokan perencanaan. Di Indonesia, standart perencanaan untuk jembatan mengacu pada bridge management system tahun 1992 tentang panduan perencanaan jembatan dan SNI 1725-2016 tentang pembebanan untuk jembatan.

Berdasarkan SNI 1725-2016 tentang pembebanan untuk jembatan, beban pada jembatan terbagi atas:

2.3.1 Beban Permanen

Massa setiap bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan yang digunakan dalam standart ini adalah $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam tabel 2.1.



Tabel 2.1 Berat Isi Untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat Isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35$ Mpa	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ Mpa	$22+0,022 f'_c$	$2240+2,29 f'_c$
8	Baja (steel)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu Keras (hard wood)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725-2016)

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Perencanaan jembatan harus menggunakan keahliannya dalam menentukan komponen-komponen tersebut.

2.3.2 Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

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

(Sumber : SNI 1725-2016)

2.3.3 Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Tabel 2.3 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

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

Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

(Sumber : SNI 1725-2016)

2.3.4 Beban Akibat Tekanan Tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah. (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian

tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c dan ϕf .

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s dan nilai rencana dari c serta ϕf . Nilai-nilai rencana dari c serta ϕf diperoleh dengan dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{TA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{TA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{TA}^U)	
	Tekanan Tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan Tanah Vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan Tanah Lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	⁽¹⁾	
Catatan ⁽¹⁾ : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.				

(Sumber : SNI 1725-2016, hal 15)

Tanah di belakang dinding penahan tanah biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 meter yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang bagian tanah

yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan tanah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu diperhitungkan.

Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam umumnya tidak diperhitungkan pada keadaan batas kekuatan. Apabila keadaan demikian timbul, maka faktor beban untuk keadaan batas kekuatan yang digunakan untuk menghitung nilai rencana dari tekanan tanah dalam keadaan aktif. Faktor beban pada keadaan batas daya layan untuk tekanan tanah dalam keadaan diam adalah 1,0 tetapi harus hati-hati dalam pemilihan nilai nominal yang memadai pada waktu menghitung tekanan tanah.

2.3.5 Pengaruh Tetap Pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri.

Tabel 2.5 Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{PL}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PL}^U)	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00 ⁽¹⁾	1,00	1,00

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 37)

2.3.6 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban jalur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan

menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suhu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar ditempatkan pada beberapa posisi dalam jalur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebananyang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan jalur lalu lintas rencana.

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

2.3.6.1 Lajur Lalu Lintas Rencana

Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.6 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu lajur	$3000 \leq W < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq W < 7500$	2
	$7500 \leq W < 10,000$	3
	$10,000 \leq W < 12,500$	4
	$12,500 \leq W < 15,250$	5
	$W \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq W \leq 8000$	2
	$8250 \leq W \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq W \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq W \leq 16,250$	5
	$W \geq 16,500$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah jalur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang. Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan untuk banyak arah.		

(Sumber : SNI 1725-2016, hal 38)

2.3.6.2 Beban Lanjur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT).

Tabel 2.7 Faktor Beban Untuk Beban Lajur “D”

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

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 39)

1. Intensitas beban “D”

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

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

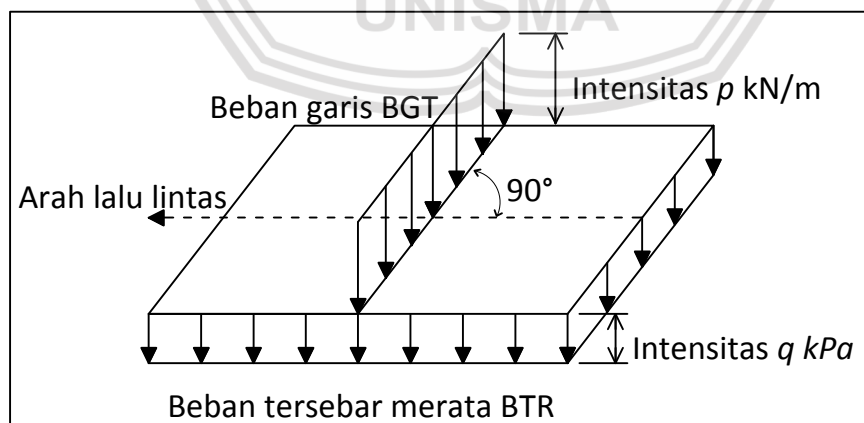
$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

Keterangan :

q = intensitas beban tertinggi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Beban Garis Terpusat (BGT) menurut SNI 1725-2016, beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

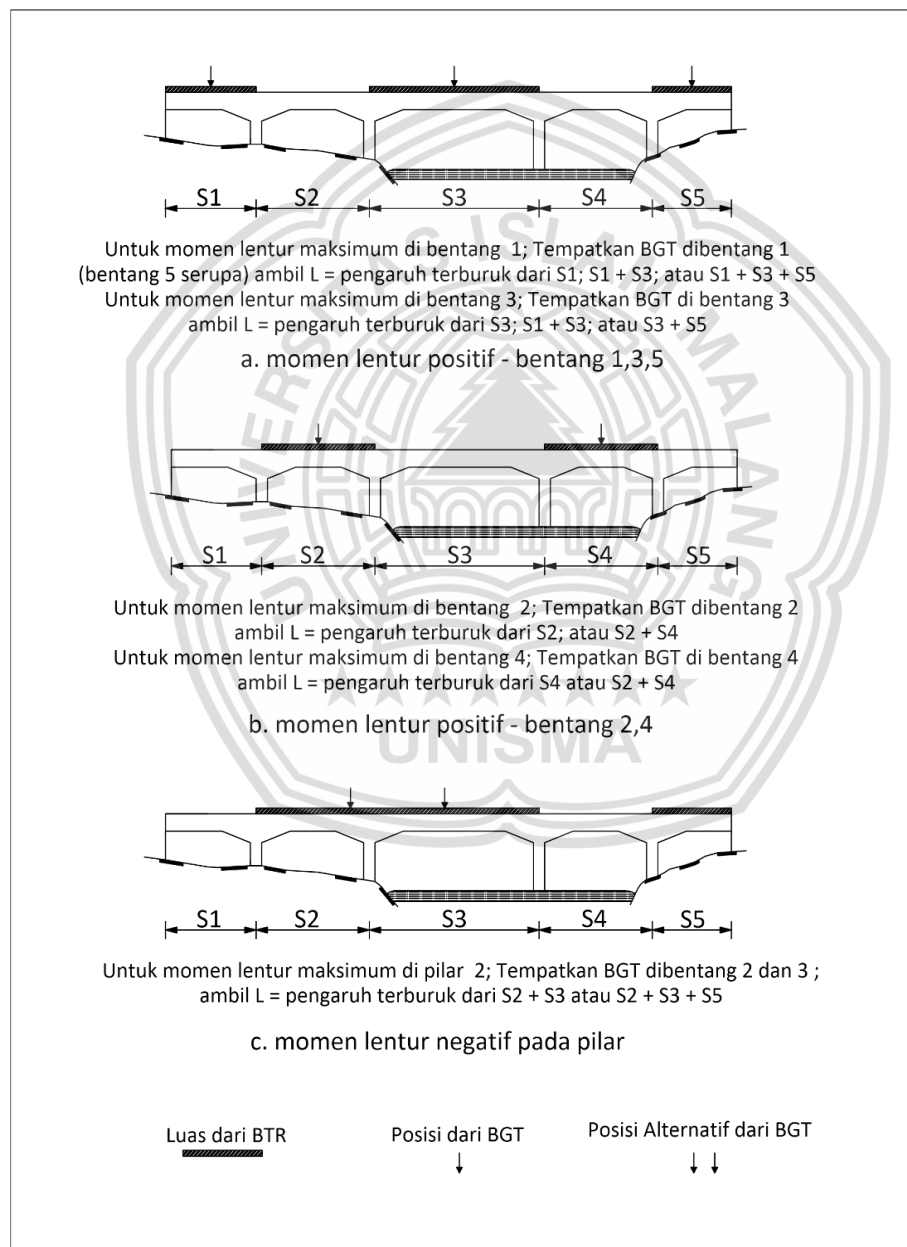


Gambar 2.1 Beban Lajur “D”

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 39)

2. Distribusi beban “D”

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1. kemudian untuk alternatif penempatan arah memanjang dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.2 Alternatif Penempatan Beban “D” Dalam Arah Memanjang
(Sumber: SNI 1725-2016, hal 40)

3. Respons Terhadap Beban Lajur “D”

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

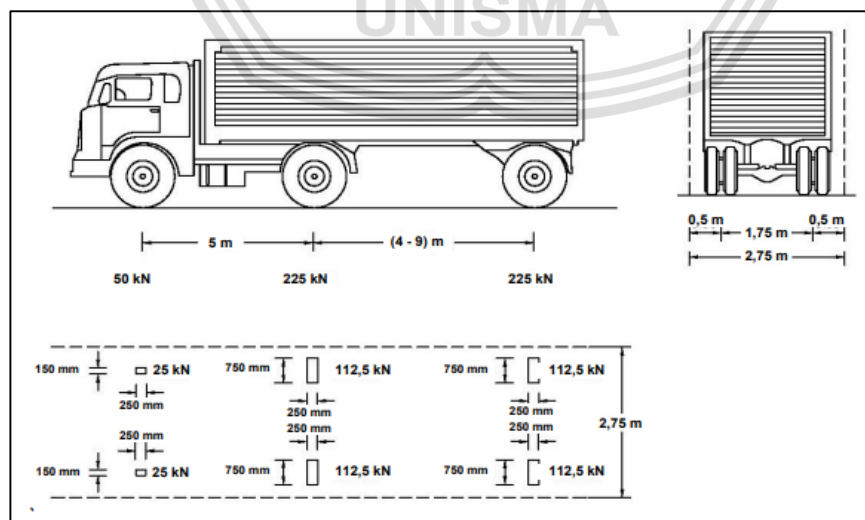
2.3.6.3 Beban Truk “T” (TT)

Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai.

Tabel 2.8 Faktor Beban Untuk Beban “T”

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

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 41)



Gambar 2.3 Beban Truk “T”

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 41)

Beban pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Dalam pendistribusian beban truk, besarnya beban yang akan diakumulasikan pada plat lantai jembatan yaitu sebesar beban titik pada roda truk dalam kN, sehingga persamaan beban truk adalah sebagai berikut.

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

Keterangan :

FBD = faktor beban dinamis dan

T = beban roda truk dalam kN.

1. Posisi Dan Penyebaran Pembebanan Truk “T” Dalam Arah Melintang

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu jalur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu jalur lalu lintas rencana.

2. Kondisi Faktor Kepadatan Lajur

Jika perencanaan menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu lajur, maka pengaruh beban truk harus direduksikan dengan faktor 1,20.

Tetapi jika perencanaan menggunakan *level rule* atau metode statika lainnya

untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.

Tabel 2.9 Faktor Kepadatan Lajur (m)

Jumlah lajur yang dibebani	Faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥ 2	1

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 42)

3. Bidang Kontak Roda Kendaraan

Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi panjang dan panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan beban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak.

4. Distribusi Beban Roda Pada Timbunan

Beban roda harus didistribusikan pada pelat atap gorong-gorong jika tebal timbunan kurang dari 600 mm. Jika tebal timbunan lebih dari 600 mm atau perencanaan menggunakan cara perhitungan pendekatan yang diizinkan, atau melakukan analisis yang lebih rinci, maka beban roda diasumsikan terbagi rata seluas kontak, yang bertambah besar sesuai kedalaman dengan kemiringan sebesar 1,15 kali kedalaman timbunan, dengan memperhatikan kondisi kepadatan lajur.

2.3.6.4 Klarifikasi Pembebanan Lalu Lintas

1. Pembebanan Lalu Lintas Yang Dikurangi

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi menjadi 70% bisa digunakan.

Pembebanan lalu lintas yang dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau semi permanen.

2. Pembebanan Lalu Lintas Yang Berlebihan (*Overload*)

Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” dapat diperbesar di atas 100% untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat.

Faktor pembesaran di atas 100% tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

2.3.6.5 Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dimensi tidak perlu diterapkan untuk:

1. Dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan, dan
2. Komponen pondasi yang seluruhnya berada di bawah permukaan tanah.

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari gerakan lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dikali FBD. FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen. Untuk bentang tunggal panjang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

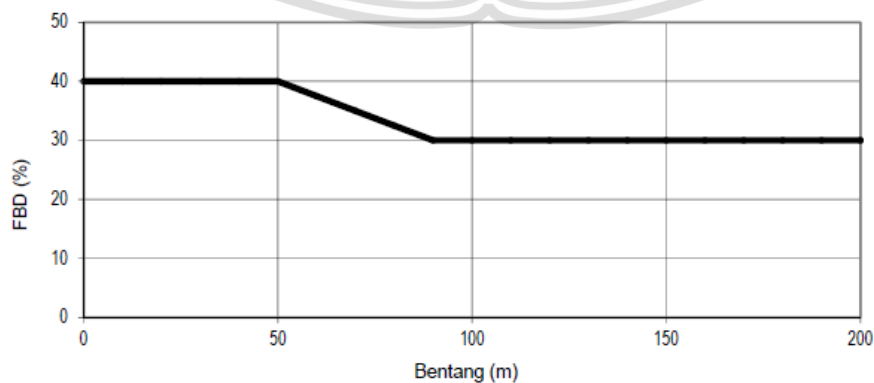
$$L_E = \sqrt{L_{av}L_{max}}$$

Keterangan:

L_{av} = Panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

L_{max} = Panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bawah dan pondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralih linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2.4 Faktor Beban Dinamis Untuk Beban T pada Pembebanan lajur “D”

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 45)

2.3.6.6 Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimutasi sesuai dengan lajur lalu lintas rencana dan yang berisi lalu lintas rencana dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan berlaku untuk menghitung gaya rem.

2.3.6.7 Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

2.4 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standart ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan membesar pengaruh setempat. Perencanaan mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

1. Penurunan (ES)

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk pembebanan penurunan, sebagai aksi daya laya. Pengaruh penurunan yang dikurangi dengan adanya rangkak dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai Tabel 2.10

Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Penurunan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{ES})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{ES}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{ES}^U)
Permanen	1,0	N/A

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 48)

2. Gaya Akibat Deformasi

Gaya dalam yang terjadi karena deformasi akibat rangkak dan susut harus diperhitungkan dalam perencanaan. Selain itu pengaruh temperatur gradien harus dihitung jika diperlukan. Gaya-gaya yang terjadi akibat adanya pengeangan deformasi komponen maupun tumpuan serta deformasi pada lokasi dimana beban bekerja harus diperhitungkan dalam perencanaan.

Pengaruh temperatur dibagi menjadi :

- 1) Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung pergerakan pada temperatur dan sambungan pelat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut (EUn). Perencana harus menentukan besarnya temperatur jembatan rata-rata yang diperlukan untuk memasang sambungan siar muai, perletakan dan lain sebagainya, dan harus memastikan bahwa temperatur tersebut tercantum dalam gambar rencana.
- 2) Variasi temperature (EG) di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam.

3. Pengaruh Susut dan Rangkak (SH)

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 2.11 Faktor Akibat Susut dan Rangkak

Tipe beban	Faktor beban (γ_{SH})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{SH}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{SH}^U)
Tetap	1,0	0,5
Catatan : Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurun waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan.		

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 51)

4. Pengaruh Prategang (PR)

Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

5. Beban Angin

- a. Tekanan angin horizontal

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

Keterangan :

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

V_{10} adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

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

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

V_0 adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel , untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- survei angin pada lokasi jembatan, dan

- jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

 Tabel 2.12 Nilai V_0 dan Z_0 Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 56)

- Beban angin pada struktur (EW_S)

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

Keterangan :

P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam tabel 2.13 (MPa)

Tabel 2.13 Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 56)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari $4,4$ kN/mm pada bidang tekan dan $2,2$ kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari $4,4$ kN/mm pada balok atau gelagar.

- Gaya angin pada kendaraan (EW_I)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintas jembatan.

Tabel 2.14 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 57)

b. Tekanan angin vertikal

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang mempresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar $9,6 \times 10^{-4}$ Mpa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

6. Pengaruh Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien

respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

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

Keterangan :

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis

R_d adalah faktor modifikasi respons

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan nonkonvensional. Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah, kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan. Pengaruh gempa terhadap gorong-gorong persegi dan bangunan bawah tanah tidak perlu diperhitungkan kecuali struktur tersebut melewati patahan aktif. Pengaruh ketidakstabilan keadaan tanah (misalnya : likuifaksi, longsor, dan perpindahan patahan) terhadap fungsi jembatan harus diperhitungkan. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2008 *Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan*. (SNI 1725-2016, hal 59)

2.5 Aksi-Aksi Lainnya

2.5.1 Gesekan pada Perletakan (BF)

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung menggunakan hanya beban tetap, dan nilai rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekuatan geser apabila menggunakan perletakan elastomer)

Tabel 2.15 Faktor Beban Akibat Gesekan pada Perletakan

Jangka waktu	Faktor beban		
	γ_{BF}^S	γ_{BF}^S	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	1,3	0,8
CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.			

(Sumber: SNI 1725-2016, hal 59)

2.5.2 Pengaruh Getaran

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat di atas jembatan dan akibat pejalan kaki pada jembatan penyebrangan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan bangunan.

2.5.3 Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri atas :

1. Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksana itu sendiri dan,
2. Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

2.6 Spesifikasi Struktur Jembatan

Spesifikasi struktur utama penyusun jembatan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

2.6.1 Struktur Atas Jembatan (*superstructures*)

Bangunan atas terletak pada bagian atas konstruksi yang menerima beban-beban akibat lalu lintas kendaraan, pejalan kaki, barang ataupun berat sendiri dari konstruksi. Bagian-bagian yang termasuk bangunan atas jembatan umumnya terdiri dari:

- a. Trotoar
 - 1) Pipa Sandaran dan tiang sandaran
 - 2) Lantai trotoar dan Peninggian trotoar (*kerb*)
- b. Lantai kendaraan
- c. Gelagar pratekan
- d. Belok diafragma

Diafragma merupakan balok sokong yang berfungsi untuk mengurangi atau menghindari terjadinya tekuk lateral pada gelagar jembatan. Sokongan pada gelagar atau kolom dapat berupa sokongan silang yang memanfaatkan kekuatan aksial elemen penyongkong. Juga, songkongan dapat berupa songkongan titik (*point bracing*) yang dihasilkan oleh batang lentur yang bertemu tegal lurus batang yang dipotong. Dalam hal ini kekuatan aksial dan lentur betang penopang dimanfaatkan (Jamal A.Z, 2007)

- e. Ikatan pengaku (ikatan angin dan ikatan melintang)
- f. Tumpuan (*bearing*)

2.6.2 Struktur Bawah Jembatan (*substructures*)

Struktur bawah jembatan berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain termasuk tekanan tanah, aliran air serta tumbuhan dan gesekan pada tumpuan dan sebagainya. Selanjutnya disalurkan ke pondasi dan disalurkan ke tanah dasar. Struktur bawah jembatan meliputi:

- a. Pilar jembatan
 - 1) Kepala pilar (*pier head*)
 - 2) Pilar (*pier*), yang berupa dinding, kolom atau portal
 - 3) Konsol pendek untuk jacking (*Corbel*)
 - 4) Tumpuan (*Bearing*)

2.6.3 Pondasi (*Foundation*)

Pondasi jembatan berfungsi untuk meneruskan seluruh beban dari struktur atas dan struktur bawah jembatan ke tanah dasar. Tipe pondasi atau pier jembatan antara lain:

- a. Pondasi telapak (*Spread Footing*)
- b. Pondasi sumuran (*Caisson*)
- c. Pondasi tiang (*pile foundation*)
 - 1) Tiang pancang kayu (*Log pile*)
 - 2) Tiang pancang baja (*Steel pile*)
 - 3) Tiang pancang beton (*Reinforced concrete pile*)
 - 4) Tiang pancang beton prategang (*Prestressed concrete pile*)
 - 5) Tiang beton cetak ditempat (*Concrete cast in place*)
 - 6) Tiang pancang komposit (*Compossite pile*)

2.7 Teori Dasar Beton Pratekan

Beton adalah suatu bahan yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi kekuatan tariknya relatif rendah. Sedangkan baja adalah suatu material yang mempunyai kekuatan tarik yang sangat tinggi. Dengan mengkombinasikan beton dan baja sebagai bahan struktur maka tegangan tekan dipikulkan kepada beton sementara tegangan tarik dipikulkan kepada baja (Budiadi, 2008)

Keuntungan penggunaan beton prategang adalah :

1. Dapat memikul beban lebih yang lebih besar dari beton bertulang.
 2. Dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang dengan mengatur dafleksinya.
 3. Ketahanan geser dan puntirnya bertambah dengan adanya penegangan.
 4. Dapat dipakai pada rekayasa kontruksi tertentu, misalnya pada konstruksi jembatan segmen.
 5. Berbagai kelebihan lain pada penggunaan struktur khusus, seperti struktur pelat dan cangkang, struktur tangki, struktur pracetak, dan lain-lain.
 6. Pada penampang di beri penegangan, tegangan tarik dapat dieliminasi karena besarnya gaya tekan disesuaikan dengan beban yang akan diterima.
- Kekuatan struktur beton prategang relatif lebih sedikit dibandingkan berbagai kelebihan, diantaranya:
- a. Memerlukan peralatan khusus seperti tandon, angkur, mesin penarik kabel, dll
 - b. Memerlukan keahlian khusus baik dalam perencanaan maupun pelaksanaannya (Andri Budiadi, 2008).

Beton pratekan atau beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja (manual perencanaan struktur beton pratekan untuk jembatan Bina Marga, 2011)

Jembatan beton prategang atau yang terkenal dengan PSC Bridge merupakan salah satu jenis jembatan dengan material konstruksi beton pratekan atau beton yang berisi kabel baja dengan tujuan untuk memberikan tegangan awal berupa tegangan tarik terhadap beton akibat sifat beton yang tidak mampu menahan gaya tarik.

Struktur beton pratekan diklarifikasikan dengan berbagai cara, tergantung dari bagaimana desain dan konstruksi, yaitu antara lain:

2.7.1 Sistem Pemberian Gaya Pratekan Secara Eksternal dan Internal

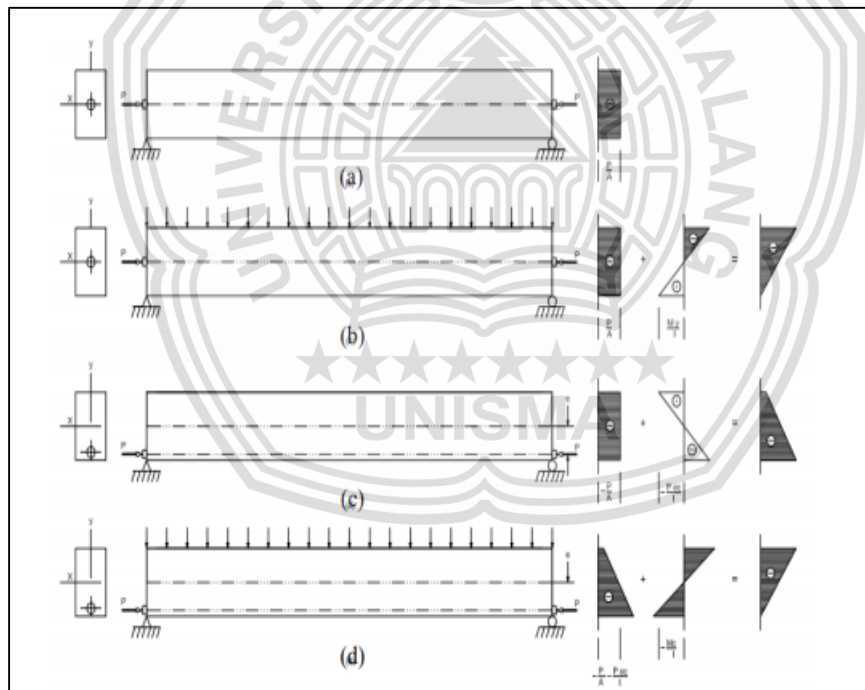
Sistem pemberian gaya pratekan secara eksternal dan internal adalah pemberian gaya ke beton pratekan dengan cara mendongkrak (*jacking*) pada tempat-tempat tertentu untuk menghasilkan tekanan pada serat bawah dan tarikan pada serat atas, sehingga tidak membutuhkan tulangan pada balok.

Semisal contoh ada sebuah busur beton diberikan gaya pratekan dengan memberikan tekanan kedinding penahannya. Susunan yang sederhana itu tidak mudah diprategang, karena walaupun dinding penahan (*abutment*) memungkinkan untuk dikerjakan, tetapi susut dan rangkai pada beton yang mungkin akan mengurangi regangan buatan tersebut kecuali hal itu dapat disesuaikan, lagi pula tempat demikian lebih cocok untuk jembatan busur (T. Y. Lin & H. Burns, 1982).

Sedangkan sistem pemberian gaya pratekan secara internal adalah pemberian gaya pratekan dengan cara membuat tarikan pada balok itu sendiri tanpa melibatkan unsur-unsur luar. Tarikan ini dilakukan dengan memasang tendon pada balok.

2.7.2 Metode Pratekan

Menurut (Budiadi, 2008), untuk memberikan tekanan pada beton pratekan dilakukan sebelum atau setelah beton dicetak/dicor. Kedua kondisi tersebut membedakan sistem pratekan, yaitu *pre-tension* (pra tarik) dan *post-tension* (pasca tarik)

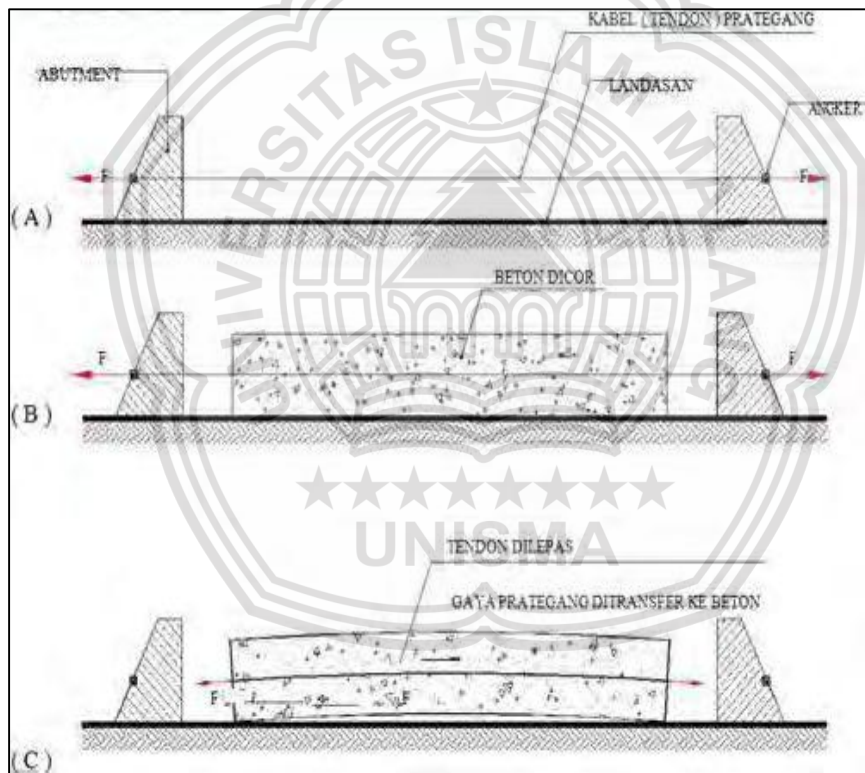


Gambar 2.5 Distribusi tegangan serat beton pada balok persegi panjang dengan tendon lurus. (a) tendon kosentris, hanya prategang. (b) tendon kosentris, berat sendiri ditambahkan. (c) tendon eksentris, hanya prategang. (d) tendon eksentris, berat sendiri ditambahkan.

(Sumber : Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid 1 (G. Nawy, 2001))

2.7.2.1 Pratarik

Pada cara ini, tendon pertama-tama ditarik dan diangkur pada abutmen tetap. Beton dicor pada cetakan yang sudah disediakan dengan melengkapi tendon yang sudah ditarik tersebut. Jika kekuatan beton mencapai yang disyaratkan maka tendon dipotong atau atau angkurnya dilepas. Pada saat baja yang ditarik berusaha untuk berkontraksi, beton akan tertekan. Pada cara ini tidak digunakan selongsong tendon.



Gambar 2.6 Metode Pratarik

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang (T.Y. Lin & H. Burns, 1982))

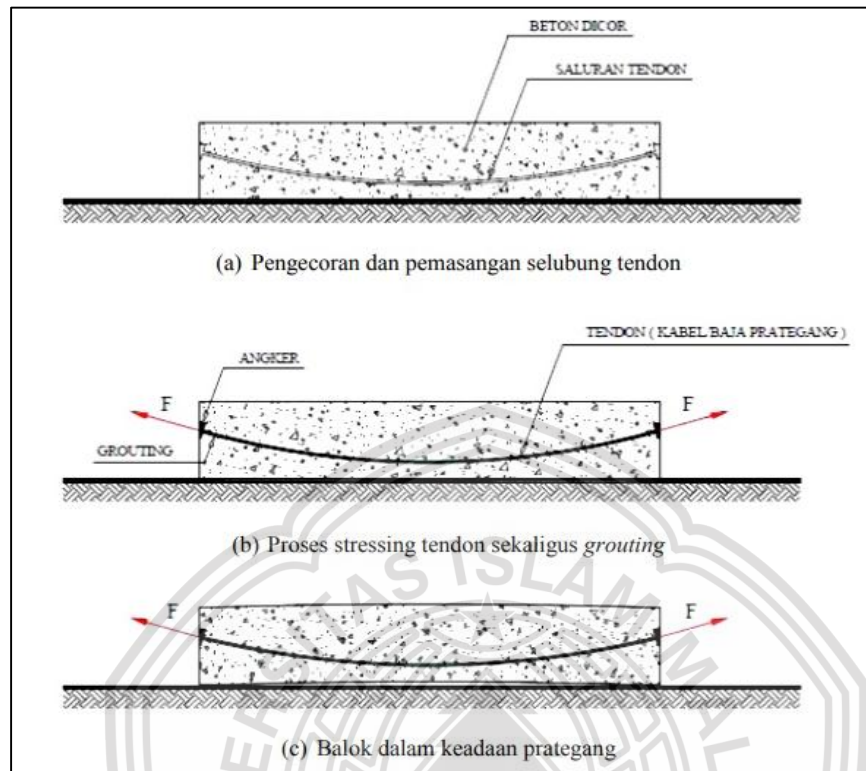
Tahap 1 : kabel pada tendon diberikan gaya tarik terlebih dahulu kemudian diangkur pada abutmen tetap (gambar 3.2 (A)).

Tahap 2 : kemudian dilakukan pengecoran pada cetakan (*framework*) yang sudah disediakan rupa untuk melengkapi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering (gambar 3.2 (B)).

Tahap 3 : setelah mengering sesuai dengan umur beton yang direncanakan, kemudian dilakukan pemotongan kabel pada tendon, sehingga terjadi gaya transfer ke beton. Setelah gaya prategang ditransfer, maka beton akan melengkung ke atas sebelum merima beban kerja, seperti yang terlihat pada gambar 3.2 (C). Setelah beban mulai bekerja, maka balok beton tersebut akan kembali menjadi rata.

2.7.2.2 Pascatarik

Dengan cetakan yang sudah disediakan, beton dicor disekeliling selongsong (*ducts*). Posisi selongsong diatur sesuai dengan bidang momen dari struktur. Biasanya baja tendon tetap berada didalam selongsong selama pengecoran. Jika beton sudah mencapai kekuatan tertentu, tendon ditarik. Tendon bisa ditarik dari satu sisi dan sisi lain diangkur. Atau tendon ditarik di dua sisi diangkur secara bersamaan. Beton menjadi tertekan setelah pengangkur.



Gambar 2.7 Metode Pascatarik

(Sumber: Desain Struktur Beton Prategang (TY Lin and Burn))

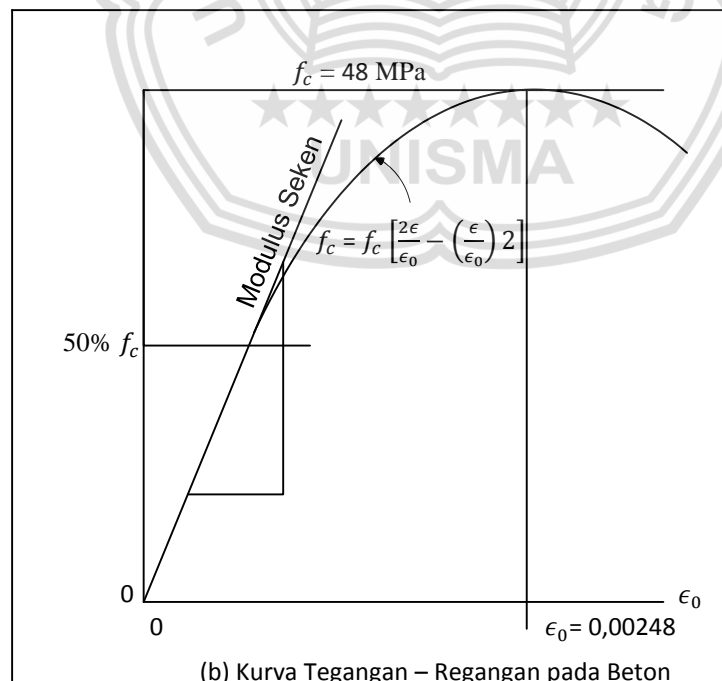
- Tahap 1 : Penyiapan duct melengkung dan cetakan (*framework*), kemudian beton dicor (gambar 2.7 (A)).
- Tahap 2 : Setelah beton cukup umur dan kuat menahan gaya prategang, kemudian kabel baja dimasukkan ke dalam *duct*/saluran melengkung yang sudah disediakan. Selanjutnya dilakukan penarikan dengan menggunakan *jack hydraulic*. Penarikan ini dilakukan pada salah satu sisi, sedangkan pada sisi satunya dilakukan pengangkutan mati. Setelah diangkur, kemudian pada ujung saluran dilakukan *grouting* (gambar 2.7 (B)).
- Tahap 3 : Setelah pengangkutan balok beton akan menjadi tertekan, maka beton mengalami transfer gaya. Karena saluran tendon melengkung, maka balok beton akan melengkung ke atas (gambar 2.7 (C)).

2.7.3 Material Beton Pratekan

2.7.3.1 Beton

Beton adalah campuran dari semen, air dan agregat serta suatu bahan tambahan. Setelah beberapa jam dicampur, bahan-bahan tersebut akan langsung mengeras sesuai bentuk pada waktu basahnya. Campuran tipikal untuk beton dengan perbandingan berat adalah agregat kasar 44%, agregat halus 31%, dan air 7%. Kekuatan beton ditentukan oleh kuat tekan karakteristik pada usia 28 hari atau F'_c (Budiadi, 2008).

Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan nilai F'_c antara 30-45 Mpa. Kuat tekan yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengankuran tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil (Budiadi, 2008).

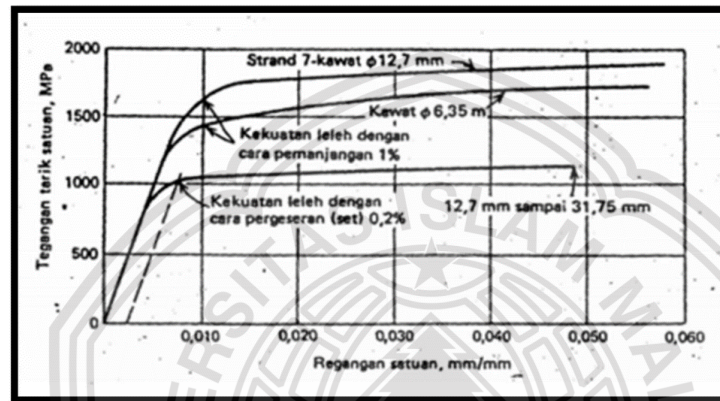


Gambar 2.8 Modulus Elastisitas pada Beton

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang(T.Y. Lin & H. Burns, 1982))

2.7.3.2 Baja

Baja mutu tinggi merupakan bahan yang umum untuk menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton prategang. Yang menjadi penting juga dalam baja prategang adalah diagram tegangan-regangannya (Lin dan Burns, 1996 hal 46). Seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.9 Modulus Elastisitas pada Baja

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang (T.Y. Lin & H. Burns, 1982))

Pada baja prategang diagram tegangan regangannya tidak tetap, tergantung dari diameter baja dan bentuknya. Sedangkan pada baja biasa, mempunyai diagram tegangan-tegangan yang tetap untuk setiap diameter.

2.7.4 Kehilangan Pratekan

Kehilangan gaya prategang itu berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan.

Secara umum kehilangan gaya prategang dapat disajikan sebagai berikut:

1) *Immediete Elastic Losses*

Ini adalah kehilangan gaya prategang langsung atau segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang secara langsung ini disebabkan oleh:

- a) Perpendekan elastic beton
- b) Kehilangan akibat friksi atau gesekan sepanjang kelengkungan dari tendon ini terjadi pada beton prategang dengan sistem *post tension*.
- c) Kehilangan pada sistem ankur, antara lain akibat slip ankur.

2) *Time Dependent Losses*

Ini adalah kehilangan gaya prategang akibat dari pengaruh waktu, yang mana hal ini disebabkan oleh:

- a) Rangkak (*creep*) dan susut pada beton.
- b) Pengaruh temperatur relaksasi baja prategang.

2.7.5 Analisa Tegangan

Tegangan yang bekerja pada komponen balok pracetak dan beton cor ditempat dihitung dengan persamaan lentur sederhana sampai terjadi retak pada penampang. Sebelum beton cor setempat mengeras, seluruh beban yang bekerja ditahan oleh balok pracetak.

Beban yang bekerja, disamping berat sendiri dari balok pracetak adalah juga beban dari beton cor setempat basah, serta beban tambahan dari sistem konstruksi. Setelah beton cor setempat mengeras, seluruh penampang diasumsikan menjadi satu (monolit) dan kekuatannya merupakan kekuatan gabungan dari beton pracetak dan beton cor setempat (Budiadi, 2008).

2.7.6 Analisa Momen Retak

Momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok beton prategang dihitung dengan teori elastik, dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat beton mencapai modulus keruntuhannya.

Harus diperhatikan fakta bahwa modulus keruntuhan hanyalah merupakan permulaan retak-retak rambut yang sering kali tidak terlihat oleh mata secara langsung. Tegangan tarik yang lebih tinggi dari modulus perlu untuk menghasilkan retak-retak yang terlihat. Pada bagian lain, jika beton telah retak sebelumnya oleh beban berlebihan, susut, atau sebab-sebab yang lain, retak-retak dapat terlihat kembali pada tegangan tarik yang terkecil. Jika balok terbuat dari blok beton, kekuatan retak akan tergantung dari kekuatan tarik dari material penyambung (Lin & H. Burns, 1996)

2.7.7 Jumlah Tendon

Jumlah tendon diperlukan:

$$n = \frac{F_o}{\text{gaya tarik terhadap putus satu tendon}}$$

dimana:

n = Jumlah tendon

F_o = Gaya pratekan awal (ton)

Kekuatan putus satu tendon 100% UTS

2.7.8 Kontrol Lendutan

SNI 2002 mendapatkan bahwa semua komponen struktur beton (baik prategang maupun bertulang) harus direncanakan dengan kekuatan yang cukup dan membatasi lendutan yang dapat memperlemah struktur serta mengurangi kemampuan layan. SNI 2002 juga menetapkan bahwa:

1. Lendutan seketika dari komponen struktur harus dihitung dengan metode atau formula standart untuk lendutan elastis. Momen inersi penampang bruto bisa digunakan untuk penampang yang tidak retak.

2. Lentutan jangka panjang tambahan harus dihitung dengan memperhatikan pengaruh tegangan dalam beton dan baja akibat beban tetap. perhitungan lentutan harus mencakup pengaruh sudut, rangka dan relaksasi baja.
3. Lentutan tidak boleh melebihi batas yang ditetapkan sebagai berikut:
 - a. $L/180$ untuk atap datar yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar.
 - b. $L/360$ untuk lantai yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar.
 - c. $L/480$ untuk konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar.
 - d. $L/240$ untuk konstruksi atap atau lantai yang menahan atau disatukan dengan komponen non-struktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lentutan yang besar (Budiadi, 2008).

2.7.9 Penulangan Terhadap Geser

Gabungan dari seluruh kekuatan geser pada penampang beton prategang (kekuatan geser nominal atau V_n) dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan untuk geser ϕ harus lebih besar dari gaya geser terfaktor V_u , atau:

$$V_u \leq \phi V_n$$

Dimana V_n adalah gabungan dari V_c , V_s dan V_p .

Kekuatan geser beton bertulang terdiri dari kekuatan geser beton V_c dan kekuatan geser sengkang V_s . Untuk beton pratekan, dengan adanya komponen

vertikal akibat adanya *balanced load*, V_p akan menambah kekuatan geser penampang. Biasanya harga V_p ini diabaikan dalam perhitungan geser pada beban kerja.

$$V_n = V_c + V_s$$

2.8 Dasar Perencanaan Struktur Bangunan Bawah

2.8.1 Perencanaan pilar Jembatan

Pilar jembatan dan pondasi termasuk dalam bangunan bawah jembatan yang menerima beban dari bangunan di atasnya yang bekerja, meliputi beban mati, beban hidup, dan beban-beban lainnya yang bekerja pada struktur jembatan yang kemudian diteruskan ke tanah sebagai dasar landasan struktur jembatan (Suyono Sosrodarsono)

Walaupun demikian perencanaan pilar jembatan secara praktis dibuat seperti perencanaan tembok penahan tanah, dengan memperhitungkan beban kerja dari bangunan atas. Dengan menganggap bahwa dalam bab tentang tembok penahan tanah, sejauh yang menyangkut grafitasi atau type balok terjepit sebelah (*cantilever beam type*).

2.8.2 Gaya Yang Bekerja Pada Pilar

1. Gaya akibat tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(\tan 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \times K_a \times \gamma \times H^2 \times B$$

$$M_{pa} = \frac{1}{3} \times H \times P_a$$

dimana:

$$K_a = \text{Koefisien tekanan tanah aktif}$$

- \emptyset = Sudut geser tanah ($^{\circ}$)
- P_a = Kekuatan tekanan tanah aktif (kg)
- γ = Berat jenis tanah (kg/m^3)
- H = Tinggi abutment (m)
- B = Lebar abutment (m)
- M_{pa} = Momen yang terjadi akibat tekanan tanah aktif (kg.m)

2. Gaya akibat tekanan tanah pasif

$$K_p = \text{tg}^2 \left(\text{tg} 45^{\circ} + \frac{\emptyset}{2} \right)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \times K_p \times \gamma \times H^2 \times B$$

$$M_{pp} = \frac{1}{3} \times H \times P_p$$

dimana:

K_p = Koefisien tekanan tanah aktif

\emptyset = Sudut geser tanah ($^{\circ}$)

P_p = Kekuatan tekanan tanah aktif (kg)

γ = Berat jenis tanah (kg/m^3)

H = Tinggi pilar (m)

M_{pp} = Momen yang terjadi akibat tekanan tanah aktif (kg.m)

2.8.3 Stabilitas Terhadap Tegangan Tanah

Daya dukung tanah ultimit (q_u) untuk penampang abutment empat persegi panjang dipakai rumus oshiki yaitu:

$$q_u = [a. c. Nc] + [\beta. \gamma. B. N\gamma] + [\gamma. Df. Nq] \text{ (Suyono Sosrodarsono, hal 33)}$$

dimana:

q_u = Daya dukung ultimit (t/m^2)

α, β	= Suatu faktor bentuk
B	= Lebar pondasi (m)
L	= Panjang Pondasi (m)
Df	= Kedalaman pondasi (m)
γ	= Berat volume tanah (t/m^3)
c	= kohesi tanah (t/m^2)
N_c, N_q, N_γ	= Koefisien daya dukung

2.9 Dasar Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Pondasi suatu bangunan berfungsi untuk memindahkan beban-beban pada struktur atas ke tanah. Substruktur ini meliputi pondasi dan balok penghubung. Pondasi tiang pancang berfungsi untuk memindahkan beban-beban dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah yang lebih dalam. Pemilihan pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan

Pertimbangan lain terhadap penggunaan pondasi tiang adalah jika lapisan tanah dibawah permukaan sampai lapisan keras terdiri atas tanah lunak yang tebal sehingga jika dipakai pondasi langsung, biaya penggalian atau pemindahan tanah lunak itu lebih mahal dari pada biaya pondasi tiang pancang itu sendiri. Disamping itu dapat dipergunakan untuk pondasi suatu bangunan apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul beban di atasnya. (SARDJONO 1996).

2.9.1 Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

1. Daya dukung berdasarkan kekuatan bahan

$$P_{\text{tiang}} = \phi P_n \text{ maks} = 0,85 \cdot \phi (0,85 \cdot F_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st})$$

Keterangan:

$\phi P_n \text{ maks}$ = Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang (kg)

$A_{\text{tiang}} (A_g)$ = Luas penampang tiang pancang (mm^2)

$A_{\text{tulangan}} (A_{st})$ = Luas tulangan tiang pancang (mm^2)

2. Daya dukung tiang pancang berdasarkan data sondir (CPT/*Cone Penetration Test*)

$$P = (q_c \times A_p) / 3 + (JHL \times K_a) / 5$$

Keterangan:

P = Daya dukung tiang pancang ijin (kg)

Q_c = Nilai konus (kg/cm^2)

A_p = Luas penampang tiang pancang (cm^2)

K_a = Keliling penampang tiang (cm)

JHL = Jumlah hambatan lekat

SF = Safety Factor : 3 dan 5

3. Daya dukung tiang pancang berdasarkan Data (SPT/ *Standart Penetration Test*)

$$Q_u = (40 \times N_b \times A_p)$$

Keterangan:

Q_u = Daya dukung batas pondasi tiang pancang

N_b = nilai N-SPT rata-rata pada elevasi dasar tiang pancang

$$N_b = (N_1 + N_2) / 2$$

N_1 = Nilai SPT pada kedalaman 3D pada ujung tiang ke bawah

N_2 = Nilai SPT pada kedalaman 8D pada ujung tiang ke atas

A_p = luas penampang dasar tiang pancang (m^2)

$$Q_{si} = q_s \times A_{si}$$

Keterangan:

Q_{si} = Tahanan limit gesek kulit

$Q_s = 0.2N$ → untuk tanah pasir

$0.5N$ → untuk tanah lempung

A_{si} = keliling penampang tiang x tebal lapisan

4. Daya Dukung Tiang Pancang (SPT)

$$P = (Q_u + Q_{si}) / 3$$

Dari hasil ke tiga perhitungan di atas nanti, daya dukung ijin tiang pancang yang akan dipergunakan adalah nilai daya dukung terkecil.

2.9.2 Perhitungan Jumlah Tiang Pancang

$$n = \frac{\sum V}{N}$$

Dimana:

n = Jumlah tiang

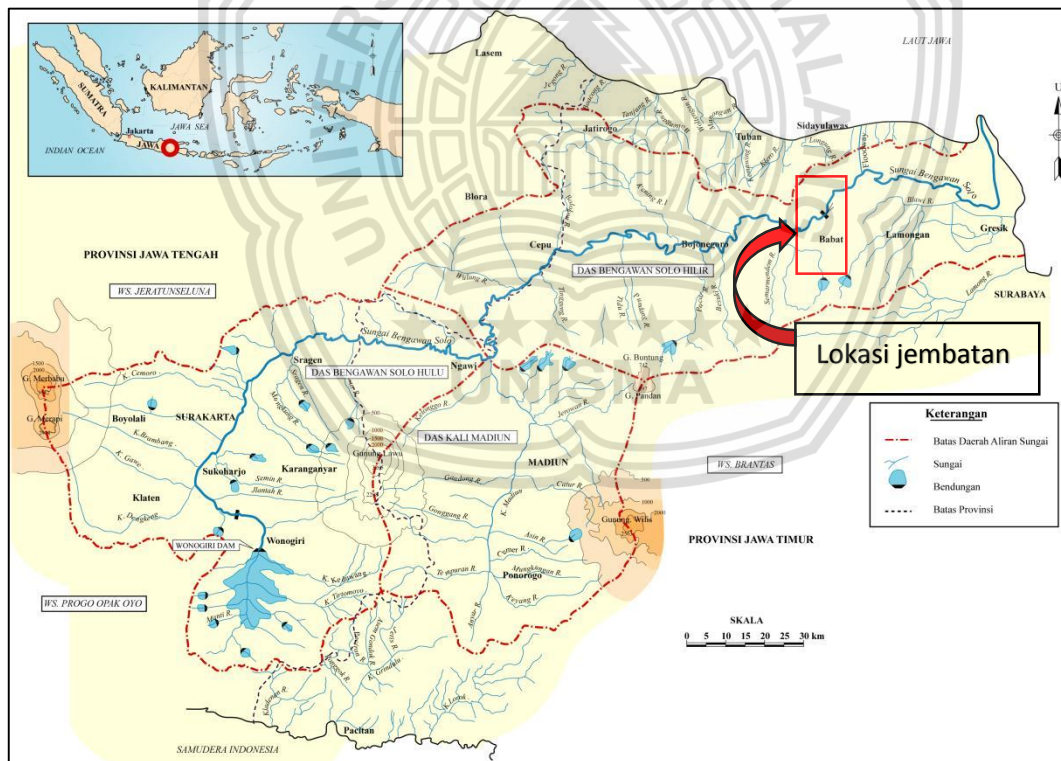
$\sum V$ = Gaya vertikal (kg)

N = Kemampuan satu tiang pancang (kg)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Jembatan widang-Babat merupakan jembatan penghubung antara dua Kabupaten yaitu Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Tuban. Jembatan tersebut mampu menahan beban sekitar 40 ton. Jembatan ini dulunya dibangun dengan menggunakan metode rangka baja. Lokasi penelitian jembatan ini terletak pada dua daerah yaitu Kecamatan Babat Kabupaten Lamongan dan Kecamatan Widang Tuban.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

(Sumber : Google earth, 2018)

3.2 Kondisi Daerah Penelitian

Jembatan Widang-Babat merupakan akses penghubung antara Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Tuban yang melewati Sungai Bengawan Solo. Sekaligus jalur truk angkutan berat yang dari Kabupaten Gresik dan Kota Surabaya yang bertujuan ke Jawa Tengah maupun Jawa Barat lewat jalur Pantura. Jembatan yang dibangun tahun 1970 ini ambruk pada tahun 2018, dan sekarang masih proses perbaikan. Jembatan ini ambruk disebabkan oleh kelebihan beban yang di terima jembatan (*overload*).

3.3 Data-data Perencanaan

Pengumpulan data merupakan sarana terpenting dalam menyelesaikan suatu masalah secara ilmiah. Dalam pengumpulan data, peran instansi yang terkait juga sangat diperlukan sebagai pendukung dalam memperoleh data-data yang diperlukan. Pengumpulan data dilakukan secara langsung dengan survey kelapangan melihat kondisi dan selanjutnya ke kantor instansi yang terkait, hingga diperoleh data-data apa kita butuhkan.

3.3.1 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait antara lain:

1. Data Tanah (SPT)

Data tanah yang diperoleh pada lokasi jembatan tersebut, digunakan untuk merencanakan pondasi dan pilar yang sesuai pada tanah tersebut.

2. Data Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan jembatan meliputi keseluruhan bagian atau struktur pada jembatan tersebut dari bangunan bawah jembatan yaitu pondasi, pilar

dan sampai dengan bangunan atas jembatan yaitu gelagar, plat lantai kendaraan, sandaran dan trotoar.

Metode yang digunakan selama proses perhitungan sebagai berikut :

1. SNI 1725 – 2016 Pembebanan untuk jembatan
2. BMS *Volume 1*
3. SNI 3967 – 2008 Spesifikasi bantalan elastomer
4. VSL *Post-Tensioning Systems*
5. Pondasi Tiang Pancang jilid 2

3.3.2 Data Struktur

- 1) Kelas Jembatan : 1 (satu)
- 2) Panjang Bentang : 50 meter
- 3) Lebar jembatan : 9 meter
- 4) Tipe Jembatan : Jembatan Beton Pretekan

3.4 Tahapan Penelitian

Dalam perencanaan jembatan tahapan pertama yang harus dipersiapkan adalah pengambilan data proyek seperti data tanah dan data gambar. Setelah pengambilan data gambar lalu dilakukan pengkajian gambar jembatan guna untuk mengetahui acuan perencanaan, perhitungan dan juga desain jembatan yang akan di ajukan oleh penulis. Perhitungan dan perencanaan dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan merupakan proses awal untuk perencanaan jembatan, perhitungan ini bertujuan untuk menghitung beban rencana yang

akan digunakan dalam perencanaan jembatan tersebut yang mengacu pada (SNI 1725-2016).

2. Perhitungan Plat Lantai, Trotoar dan Sandaran

Perhitungan plat lantai, trotoar, dan sandaran merupakan struktur atas dari jembatan yang berfungsi untuk menampung beban-beban yang di timbulkan oleh lalu lintas kendaraan, pejalan kaki atau beban lainnya yang mengacu pada perhitungan pembebanan.

3. Perencanaan Dimensi Gelagar

Perhitungan pada perencanaan gelagar ini berfungsi untuk menerima beban-beban yang bekerja di bagian atas konstruksi jembatan dan menyalurkan ke bangunan bawahnya.

4. Perencanaan Diafragma

Perencanaan diafragma menggunakan *simple beam*, yaitu diafragma dianggap berdiri sendiri sehingga hanya menerima beban berat sendiri. Adapun fungsinya sebagai pengunci dan pengaku antar girder agar tidak terjadi guling.

5. Perhitungan Jumlah Tendon

Pada tahapan selanjutnya setelah didapatkan gaya prategang awal dan telah ditentukan baja prategang yang digunakan maka kita dapat mencari jumlah tendon yang digunakan.

6. Daerah Aman Tendon dan Tata Letak Tendon

Tujuan dari perhitungan daerah aman tendon adalah untuk mengetahui daerah batas dimana tendon dapat diletakkan agar tidak terjadi tegangan tarik pada

serat terjauh penampang balok baik pada saat transfer maupun pada saat masa layan. Sedangkan Perhitungan tata letak tendon yang dimaksud adalah untuk mengetahui letak masing - masing tendon pada penampang balok *prestressed* disepanjang bentang jembatan.

7. Perencanaan *Shear Connector*

Dalam perencanaan jembatan komposit perlu adanya perhitungan geser (*Shear Connector*) karena perhitungan ini berfungsi untuk melekatkan antara gelagar melintan dan plat beton.

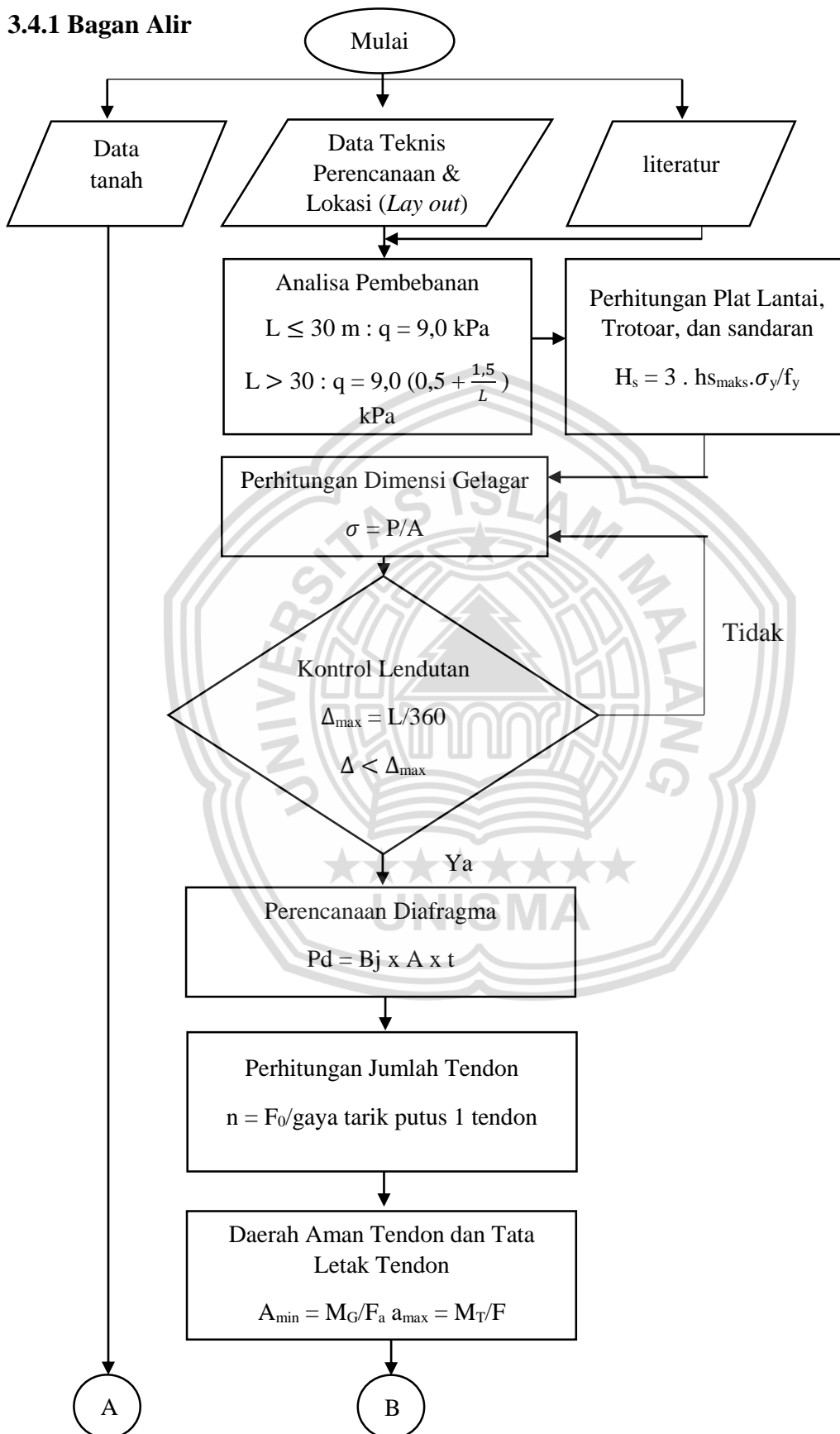
8. Perhitungan Pilar

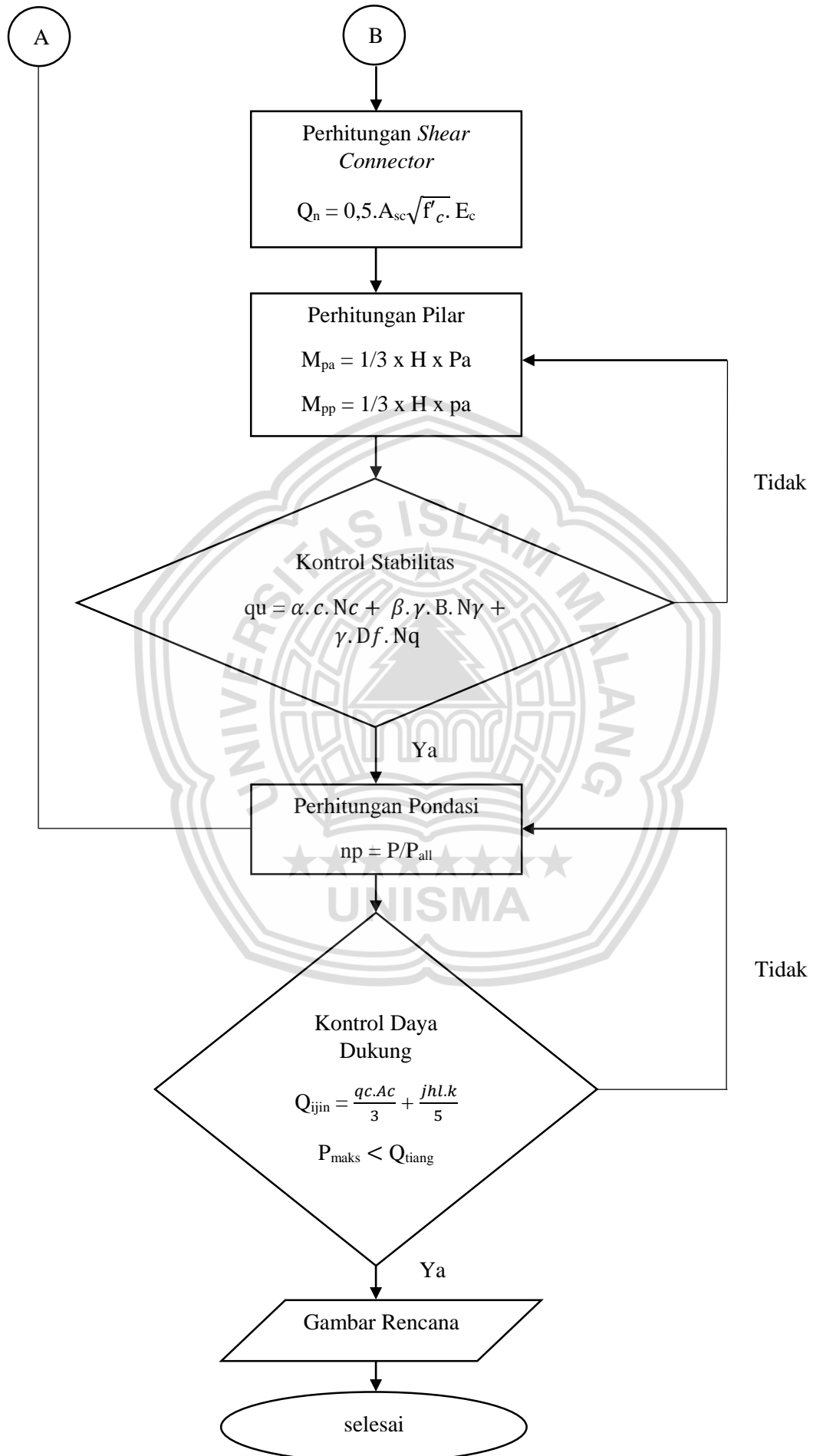
Perhitungan Pilar berfungsi untuk menyalurkan beban vertikal dari bangunan atas ke pondasi yang bertujuan untuk menentukan bentuk pilar, pembebanan pilar, stabilitas pilar dan dimensi tulangan pilar.

9. Perencanaan Dimensi Pondasi

Perencanaan pondasi di tinjauu terhadap pebebanan vertikal dan lateral, dimana berdasarkan data tanah di ketahui bahwa lapisan tanah keras berada pada lapisan dalam.

3.4.1 Bagan Alir



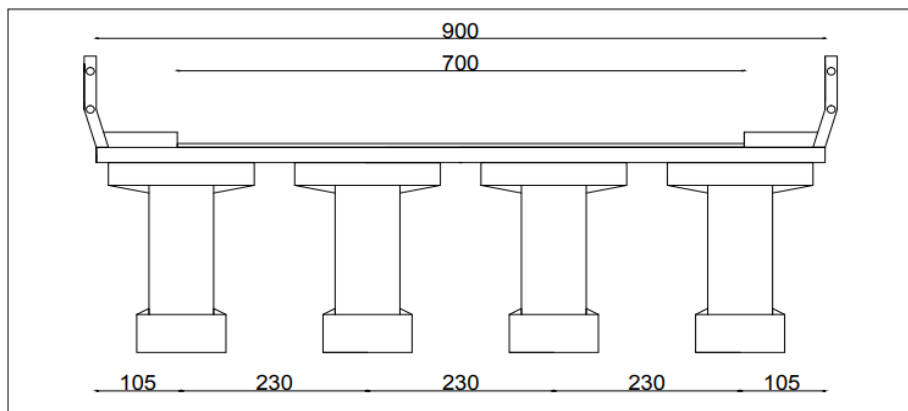


BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis Perencanaan

4.1.1 Data-Data Perencanaan

Tipe gelagar jembatan	= Gelagar Pratekan
Bentang jembatan	= 50,00 m
Lebar total jembatan	= 9,00 m
Lebar trotoar	= 2 x 1,00 m
Lebar lantai kendaraan	= 7,00 m
Jerak gelagar pratekan	= 230 cm
Tebal plat lantai kendaraan	= 20 cm
Tebal trotoar	= 20 cm
Mutu baja tulangan (f_y)	= 350 MPa (SNI 1725-2016)
Mutu beton (f_c')	= 25 MPa (SNI 1725-2016)
- Balok pracetak	
▪ Mutu baja (f_y)	= 400 MPa (SNI 1725-2016)
▪ Mutu beton (f_c')	= 50 MPa (SNI 1725-2016)



Gambar 4.1 Potongan Melintang Jembatan
(Sumber : Gambar perencanaan)

4.1.2 Data Pembebanan

a) Lapisan aspal lantai kendaraan

- Tebal aspal = 0,05 meter
- Berat jenis aspal = 2245 Kg/m³ (SNI 1725-2016, hal : 13)
- Faktor beban K = 1,30 (SNI 1725-2016, hal : 14)

b) Plat beton lantai trotoar

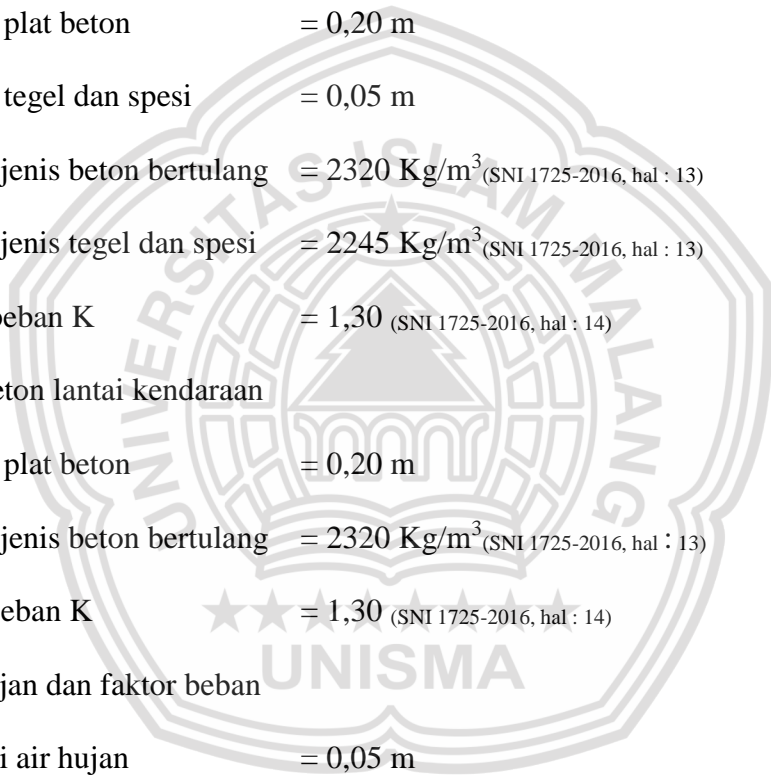
- Tebal plat beton = 0,20 m
- Tebal tegel dan spesi = 0,05 m
- Berat jenis beton bertulang = 2320 Kg/m³ (SNI 1725-2016, hal : 13)
- Berat jenis tegel dan spesi = 2245 Kg/m³ (SNI 1725-2016, hal : 13)
- Faktor beban K = 1,30 (SNI 1725-2016, hal : 14)

c) Plat beton lantai kendaraan

- Tebal plat beton = 0,20 m
- Berat jenis beton bertulang = 2320 Kg/m³ (SNI 1725-2016, hal : 13)
- Faktor beban K = 1,30 (SNI 1725-2016, hal : 14)

d) Air hujan dan faktor beban

- Tinggi air hujan = 0,05 m
- Berat jenis air hujan = 1000 Kg/m³
- Faktor beban K = 2,00



4.2 Perencanaan Plat Lantai

4.2.1 Pembebanan Plat Lantai Kendaraan

a) Beban Mati

- Berat plat lantai = tebal plat x 1,00 x berat jenis x keadaan layan
 $= 0,20 \times 1 \times 2320 \times 1,3 = 603,2 \text{ kg/m}$
- Berat lapisan aspal = tebal aspal x 1,00 x berat jenis x keadaan layan
 $= 0,05 \times 1 \times 2245 \times 1,3 = 145,9 \text{ Kg/m}$
- Berat air hujan = tinggi air hujan x 1,00 x berat jenis x keadaan layan
 $= 0,05 \times 1 \times 1000 \times 2,0 = 100 \text{ Kg/m}$ +
 $q_1 = 849,1 \text{ Kg/m}$

Catatan : 1,00 adalah tiap meter panjang plat.

b) Beban Hidup

- Muatan “T” yang bekerja pada lantai kendaraan adalah tekanan gandar =
 $225 \text{ kN} = 22500 \text{ kg}$, atau tekanan roda 11250 kg (SNI 1725-2016, hal :
 41).
- Faktor beban dinamis “FBD” untuk beban “T” diambil $30\% \text{ FBD} = 0,30$
 (SNI 1725-2016, hal : 45).

Faktor beban kendaraan batas ultimit (γ_{TT}^U) = 1,8 (SNI 1725-2016)

$$\text{Maka } P = (1 + 0,30) \times 11250 = 14625 \text{ Kg}$$

$$\text{Jadi beban total hidup } P = 14625 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{ult}} \text{ atau Beban "T"} = 1,8 \times 14625 = 26325 \text{ Kg}$$

4.2.2 Perhitungan Plat Lantai Kendaraan

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{L_y}{S_y} \text{ (Istiawan, 1994 hal 45)}$$

dimana bentang jembatan diambil berdasarkan lebar efektif jembatan yaitu

1/7 x bentang

$$L_y = 1/7 \times 5000 = 714 \text{ cm} \rightarrow \text{bentang terpanjang di ambil 500 cm}$$

$$L_x = 1/7 \times 900 = 128 \text{ cm} \rightarrow \text{bentang terpendek di ambil 200 cm}$$

Maka :

$$L_y = L_n = \text{Bentang netto dari bentang terpanjang} = 500 \text{ cm}$$

$$L_x = S_n = \text{Bentang netto dari bentang terpendek} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Maka } \beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{500}{200} = 2,5 > 2 \text{ (Pelat satu arah)}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25}{350} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + 350} = 0,032 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,032 = 0,024$$

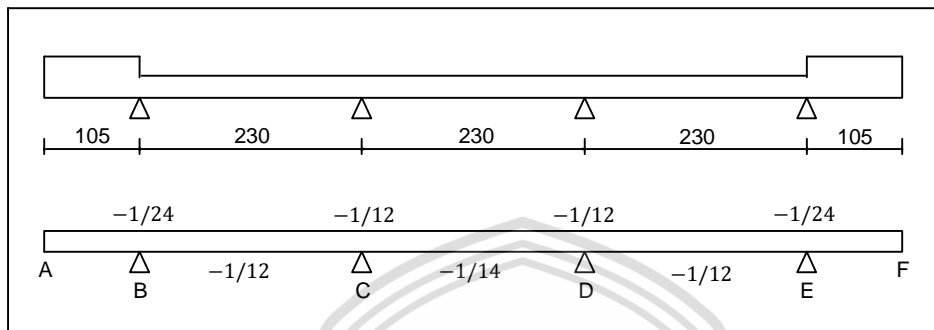
$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$d = h - \frac{1}{2} \emptyset - \text{tebal selimut beton}$$

$$= 200 - (\frac{1}{2} 16) - 20 = 172 \text{ mm}$$

4.2.3 Momen Akibat Beban Mati

Plat dianggap sebagai balok lebar ini



Gambar 4.2 Koefisien Momen
 (Sumber : Gambar perencanaan)

Momen pada tumpuan :

$$\begin{aligned}
 Mb' = Me' &= -1/24 \times q_1 \times L^2 \\
 &= -1/24 \times 849,1 \times 2,30^2 = -187,16 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mc' = Md' &= -1/12 \times q_1 \times L^2 \\
 &= -1/12 \times 849,1 \times 2,30^2 = -374,31 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen kantilever } A' = G' &= 0,5 \times q_1 \times L^2 \\
 &= 0,5 \times 849,1 \times 1,00^2 = 424,55 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Momen pada lapangan :

$$\begin{aligned}
 Mbc' = M_{DE}' &= 1/12 \times q_1 \times L^2 \\
 &= 1/12 \times 849,1 \times 2,30^2 = 374,31 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{CD}' &= 1/14 \times q_1 \times L^2 \\
 &= 1/14 \times 849,1 \times 2,30^2 = 320,84 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Momen Akibat Beban Hidup

Momen pada tumpuan dan lapangan sama

$$M_T = M_L = 0,8 \times \frac{S+0,6}{10} \times Plut$$

dimana :

P = Beban roda (KN)

$$P_{ult} = 26325 \text{ Kg}$$

Bentang S diambil sebagian :

S = bentang bersih, bila pelat lantai bersatu dengan balok atau dinding (tanpa peninggi)

S = bentang bersih + setelah lebar dudukan tumpuan, bila pelat lantai didukung pada gelagar dari bahan berbeda atau tidak dicor menjadi kesatuan

$$S \rightarrow 2,30 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned} M_T = M_L &= 0,8 \times \frac{S+0,6}{10} \times Plut \\ &= 0,8 \times \frac{2,30+0,6}{10} \times 26.325 \\ &= 6170,4 \text{ kg.m} = 61,70 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

4.2.5 Penulangan Plat Lantai Kendaraan Arah Melintang (Y)

4.2.5.1 Penulangan Pada Tumpuan

$$M_U = \text{Momen kantilever } A' + M_T$$

$$424,55 \text{ Kg.m} + 6170,4 \text{ Kg.m} = 6.531,95 \text{ Kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6.531,95}{0,8} = 8.164,94 \text{ Kg.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{8.164,91 \times 10^4}{1000 \times 172^2} = 2,760 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,47 \text{ Mpa}$$

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

$$= \frac{1}{16,47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 2,760}{350}} \right)$$

$$= 0,0085$$

$$\rho_{\min} = 0,004 < \rho = 0,0085 < \rho_{\max} = 0,024$$

Maka dipakai $\rho = 0,0085$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0085 \times 1000 \times 172 = 1.462 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan rangkap D14 – 100 ; $A_s = 1.539 \text{ mm}^2$

(SNI 2052-2014 “baja tulangan beton”)

4.2.5.2 Penulangan Pada Lapangan

$$M_U = \text{Momen lapangan} + M_L$$

$$= 374,31 + 6.170,4 = 6.544,71 \text{ Kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6544,71}{0,8} = 8.180,89 \text{ Kg.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{8.180,89 \times 10^4}{1000 \times 172^2} = 2,765 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,47 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 2,765}{350}} \right) \\ &= 0,0085\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,004 < \rho = 0,0085 < \rho_{\max} = 0,024$$

Maka dipakai $\rho = 0,0085$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0085 \times 1000 \times 172 = 1462 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan rangkap D14 – 100 ; $A_s = 1539 \text{ mm}^2$

(SNI 2052-2014 “baja tulangan beton”)

4.2.6 Penulangan Plat Lantai Kendaraan Arah Memanjang (X)

Dipasang tulangan susut dan suhu dengan ketentuan sebagai berikut:

$$A_{S_{\min}} = 0,0020 A_{S_{\text{Bruto}}} \text{ (Tulangan deform / ulir mutu 300)}$$

$$A_{S_{\min}} = 0,0018 A_{S_{\text{Bruto}}} \text{ (Tulangan deform / ulir mutu 400)}$$

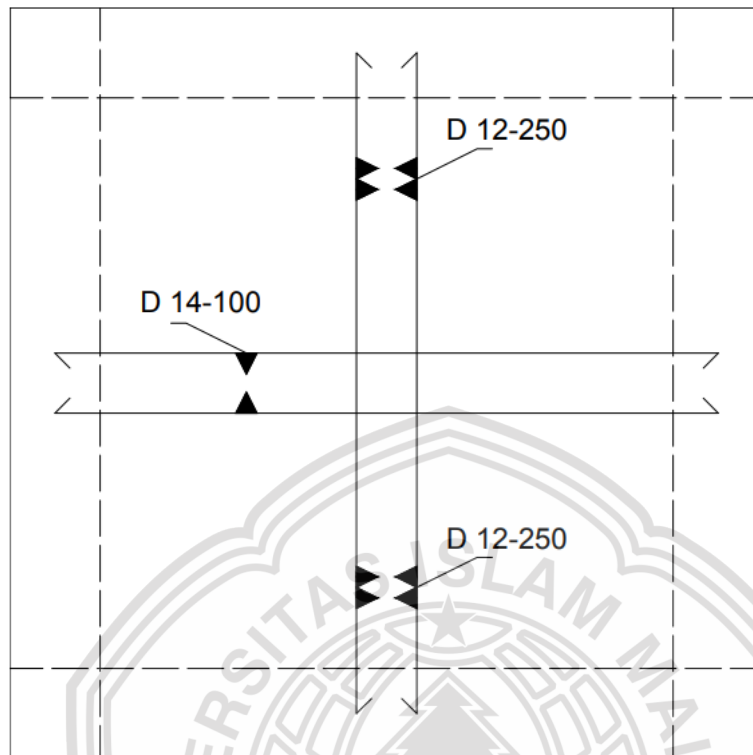
$$A_{S_{\min}} = 0,0018 \times 172 \times 1000 = 309,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok $\emptyset 12 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak maksimum antar tulangan} = \frac{113,04}{309,6} \times 1000 = 365,116 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai tulangan } \emptyset 12 - 250 ; A_s = 452,4 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.3 Penulangan Plat Lantai Kendaraan
(Sumber : Gambar perencanaan)

4.3 Perencanaan Trotoar dan Tiang Sandaran

4.3.1 Pembebanan Trotoar

1. Beban mati

$$\text{Berat plat beton} = \text{Tebal plat} \times 1,00 \times \text{B.jenis} \times \text{K.layan}$$

$$= 0,20 \times 1,00 \times 2320 \times 1,3 = 603,2 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat spesi + tegel} = \text{Tebal spesi+tegel} \times 1,00 \times \text{B.jenis} \times \text{K.layan}$$

$$= 0,05 \times 1,00 \times 2245 \times 1,3 = 145,925 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat pasir urug} = \text{Tebal pasir urug} \times 1,00 \times \text{B.jenis} \times \text{K.layan}$$

$$= 0,05 \times 1,00 \times 1755 \times 2 = 175,5 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat air hujan} &= \text{Tinggi air hujan} \times 1,00 \times \text{B.jenis} \times \text{K.layan} \\ &= 0,05 \times 1,00 \times 1000 \times 2,0 = \underline{100 \text{ kg/m}} + \\ q_2 &= 1.024,625 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Catatan : 1,00 adalah tiap meter panjang plat.

2. Beban hidup

Beban hidup trotoar harus diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 5

kPa = $500 \text{ kg/m}^2 = 500 \times 1 = 500 \text{ kg/m}$, dengan faktor beban 1,8 (SNI 1725

: 2016)

$$q_u = 500 \times 1,8 = 900 \text{ kg/m}$$

4.3.2 Pembebanan Sandaran

$$\begin{aligned} \text{Berat pipa sandaran} &= \text{panjang P. sandaran} \times 1,00 \times \text{B. jenis} \times \text{K. layan} \\ &= 2,00 \times 1,00 \times 5,08 \times 1,1 = 11,176 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tiang sandaran} &= \text{panjang} \times \text{lebar T.sandaran} \times 1,00 \times \text{B.jenis} \times \\ &\quad \text{K. layan} \\ &= 0,15 \times 0,15 \times 1,00 \times 2400 \times 1,3 = 70,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya horizontal} &= \text{besar gaya horizontal} \times 1,00 \\ &= 100 \times 1,00 = \underline{100 \text{ kg/m}} + \end{aligned}$$

$$q_3 = 181,376 \text{ kg/m}$$

Catatan : 1,00 adalah tiap meter panjang plat.

Beban mati (q_4)

Beban mati $q_2 = 1.024,625 \text{ kg/m}$

Beban mati $q_3 = \underline{181,376 \text{ kg/m}} +$

$q_4 = 1.206,001 \text{ kg/m}$

4.3.3 Perhitungan Plat Lantai Trotoar

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{L_y}{S_x} \text{ (Istimawan, 1994)}$$

Dimana :

$L_y = L_n =$ bentang netto dari bentang terpanjang = 500 cm

$L_x = S_n =$ bentang netto dari bentang terpendek = 200 cm

Maka Maka $\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{500}{200} = 2,5 > 2$ (Pelat satu arah)

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25}{350} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + 350} = 0,032 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,032 = 0,024$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$d = h - \frac{1}{2} \phi$ - tebal selimut beton

$$= 200 - (\frac{1}{2} 16) - 20 = 172 \text{ mm}$$

4.3.4 Perhitungan Momen

$$M_{q4} = \text{beban mati } q_4 \times 0,5 \times 1,00^2$$

$$= 1.206,001 \times 0,5 \times 1,00^2 = 603,001 \quad \text{kg.m}$$

$$Mq_u = q_u \times 0,5 \times 1,00^2$$

$$= 900 \times 0,5 \times 1,00^2 = \underline{450} \quad \text{kg.m} +$$

$$Mu = 1.053,001 \quad \text{kg.m}$$

Catatan : 1,00 adalah tiap meter panjang plat.

4.3.5 Penulangan Trotoar Arah Melintang (Y)

$$Mu = 1.053,001 \text{ kg.m}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{1.053,001}{0,8} = 1.326,251 \text{ kg.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{1.053,001 \times 10^4}{1.000 \times 172^2} = 0,356 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot fc'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,471 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{1}{16,471} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,471 \times 0,356}{350}} \right)$$

$$= 0,011$$

$$\rho_{min} = 0,004 < \rho = 0,011 < \rho_{max} = 0,024$$

Maka dipakai $\rho = 0,011$

$$A_{Sperlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,011 \times 1000 \times 172 = 1892 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan rangkap D14 – 75 ; $A_s = 2053 \text{ mm}^2$

(SNI 2052-2014 “baja tulangan beton”)

4.3.6 Penulangan Trotoar Arah Memanjang (X)

Dipasang tulangan susut dan suhu dengan ketentuan sebagai berikut:

$$A_{s_{\min}} = 0,0020 A_{s_{\text{Bruto}}} \text{ (Tulangan deform / ulir mutu 300)}$$

$$A_{s_{\min}} = 0,0018 A_{s_{\text{Bruto}}} \text{ (Tulangan deform / ulir mutu 400)}$$

$$A_{s_{\min}} = 0,0018 \times 172 \times 1000 = 309,6 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok $\varnothing 12 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 = 113,04 \text{ mm}^2$$

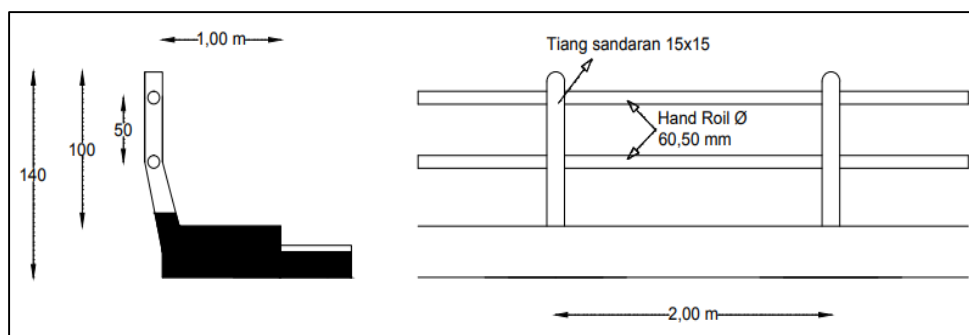
$$\text{Jarak maksimum antar tulangan} = \frac{113,04}{309,6} \times 1000 = 365,116 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai tulangan } \varnothing 12 - 250 ; A_s = 452,4 \text{ mm}^2$$

4.3.7 Perencanaan Tiang Sandaran

Hand roil direncanakan menumpu pada tiang sandaran dengan bentang 2 meter. Hand roil direncanakan menahan beban horizontal 100kg/m yang bekerja pada ketinggian 100 cm diatas lantai trotoar.

4.3.7.1 Perhitungan Pipa Sandaran



Gambar 4.4 Perencanaan Tiang Sandaran
(Sumber : Gambar perencanaan)

Direncanakan menggunakan pipa :

$$\emptyset = 60,50 \text{ mm}$$

$$q_d = 3,30 \text{ kg/m}$$

$$t = 2,30 \text{ mm}$$

$$I = 17,80 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 5,90 \text{ cm}^3$$

$$M = 1/8 (q_d + q_h) L^2 = 1/8 (3,3 + 100) 2^2 = 51,65 \text{ kg.m}$$

Tegangan yang terjadi :

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{51,65}{5,9} = 875,42 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/cm}^2$$

4.3.7.2 Penulangan Sandaran

Penulangan direncanakan mampu menahan muatan horizontal sebesar 100 kg/cm yang bekerja sepanjang 2,00 m, dengan tinggi 1,00 m diatas lantai trotoar. Momen yang ditahan tiang sandaran :

$$M_1 = 2.H.L = 2 \times 100 \times 1 = 200 \text{ kg.m}$$

Direncanakan dimensi sandaran 15/15

Mutu baja (f_y) = 350 Mpa, mutu beton (f_c') = 25 Mpa.

$$d = 150 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 12 = 104 \text{ mm}$$

$$M_u = 200 \text{ kg.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\emptyset} = \frac{200}{0,8} = 250 \text{ kg.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{250 \times 10^4}{1500 \cdot 104^2} = 0,154 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{350}{0,8 \times 25} = 16,47 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 0,154}{350}} \right) \\ &= 0,0004 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,004 > \rho = 0,0004 < \rho_{\max} = 0,024$$

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

$$A_{S\text{perlu}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,004 \times 150 \times 104 = 62,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 20\% \times A_{S\text{perlu}} = 20\% \times 62,4 = 12,48 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan tarik 2 Ø 12 $A_s = 452 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan tekan 2 Ø 12 $A_s = 452 \text{ mm}^2$

4.4 Kontrol Gaya Geser Pons Lantai

Berdasarkan peraturan perencanaan teknik jembatan (*perencanaan struktur beton bertulang untuk jembatan*) 2008, pasal 7.2.2 yaitu :

$$V_{uc} = u \cdot d \cdot f_{cv}$$

$$f_{cv} = \frac{1}{6} \times \left(1 + \frac{2}{\beta_n} \right) \times \sqrt{f_{c'}}$$

dimana:

V_{uc} = Kekuatan geser ultimit dengan tidak memperhitungkan tulangan geser.

u = Panjang efektif dari garis keliling geser kritis.

d = Tinggi efektif, diambil rata-rata disekeliling garis keliling geser kritis.

f_{cv} = Kuat geser beton.

β_h = Perbandingan antara dimensi terpanjang dari luas efektif yang dibebani
 n”y” dengan dimensi “x” atau “y/x”.

**4.4.1 Muatan “T” dengan P = 25 kN dan luas bidang kontak roda 150 mm x
 250 mm. (SNI 1725 - 2016, Hal 41)**

$$P = 25 \text{ kN}$$

$$P_{ult} = 2,0 \times \{(1 + 0,3) \times P\} = 65 \text{ kN}$$

$$= 2,0 \times \{(1 + 0,3) \times 25\} = 65 \text{ kN}$$

Mencari kekuatan geser pons beton:

$$\frac{d}{2} = \frac{172}{2} = 86 \text{ mm}$$

$$u = 2 \times \{(150 + (2 \times 86)) + (250 + (2 \times 86))\} = 1488 \text{ mm}$$

$$f_{cv} = 1/6 \times \left\{1 + \left(\frac{2}{250/150}\right)\right\} \times \sqrt{25} = 1,833 \text{ Mpa}$$

$$0,34 \times \sqrt{f_{c'}} < f_{cv}$$

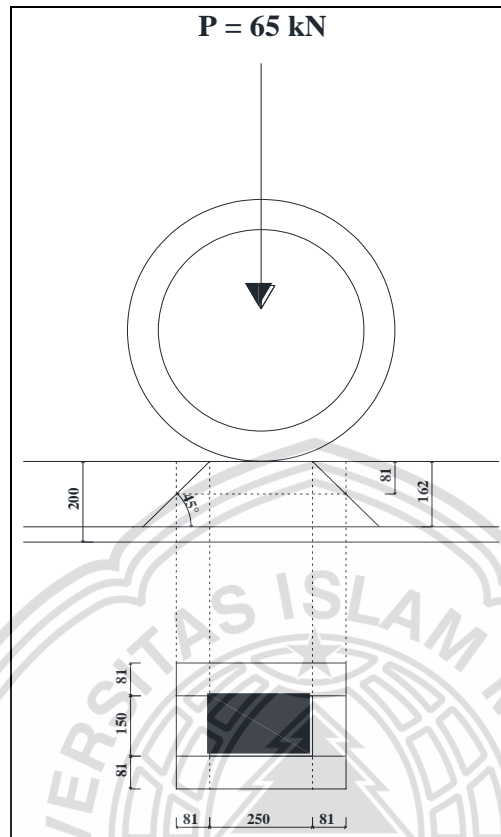
$$0,34 \times \sqrt{25} = 1,7 \text{ Mpa} < f_{cv} = 1,833 \text{ Mpa}$$

Karena $f_{cv} = 1,833 \text{ Mpa} \geq 0,34 \times \sqrt{25} = 1,7 \text{ Mpa}$, maka:

$$V_{uc} = u \times d \times f_{cv}$$

$$= 1488 \times 172 \times 1,833 = 469130,688 \text{ N} \Rightarrow 469,13 \text{ KN}$$

$$P = 65 \text{ KN} < V_{uc} = 469,13 \text{ KN} \dots \dots \text{ (Tidak perlu tulangan geser)}$$



Gambar 4.5 Bidang Kontak Roda $P = 25 \text{ kN}$
(Sumber : Gambar perencanaan)

4.4.2 Muatan “T” dengan $P = 112,5 \text{ kN}$ dan luas bidang kontak roda 250 mm

$x 750 \text{ mm}$.

$$P = 112,5 \text{ kN}$$

$$P_{\text{ult}} = 2,0 \times \{(1 + 0,3) \times 112,5\} = 292,5 \text{ kN}$$

Mencari kekuatan geser pons beton:

$$\frac{d}{2} = \frac{172}{2} = 86 \text{ mm}$$

$$u = 2 \times \{(250 + (2 \times 86)) + (750 + (2 \times 86))\} = 2688 \text{ mm}$$

$$f_{\text{cv}} = 1/6 \times \left\{ 1 + \left(\frac{2}{750/250} \right) \right\} \times \sqrt{25} = 1,388 \text{ Mpa}$$

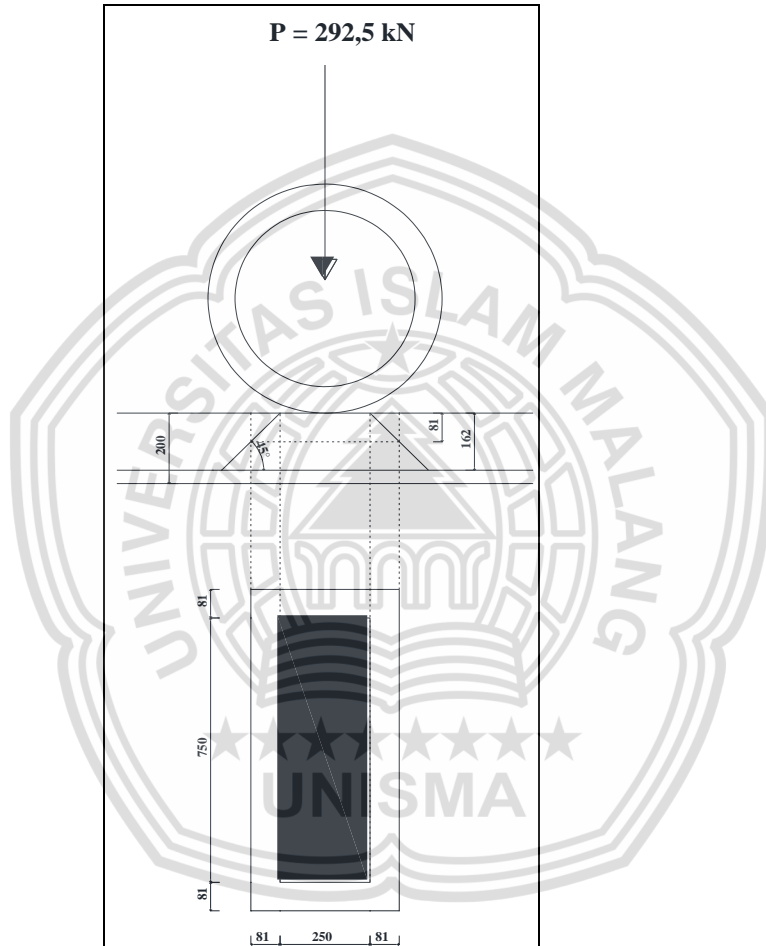
$$0,34 \times \sqrt{f_{\text{c}'}} < f_{\text{cv}}$$

$$0,34 \times \sqrt{25} = 1,7 \text{ Mpa} > f_{cv} = 1,388 \text{ Mpa}$$

$$V_{uc} = u \times d \times f_{cv}$$

$$= 2688 \times 172 \times 1,388 = 641722,368 \text{ N} \Rightarrow 641,722 \text{ KN}$$

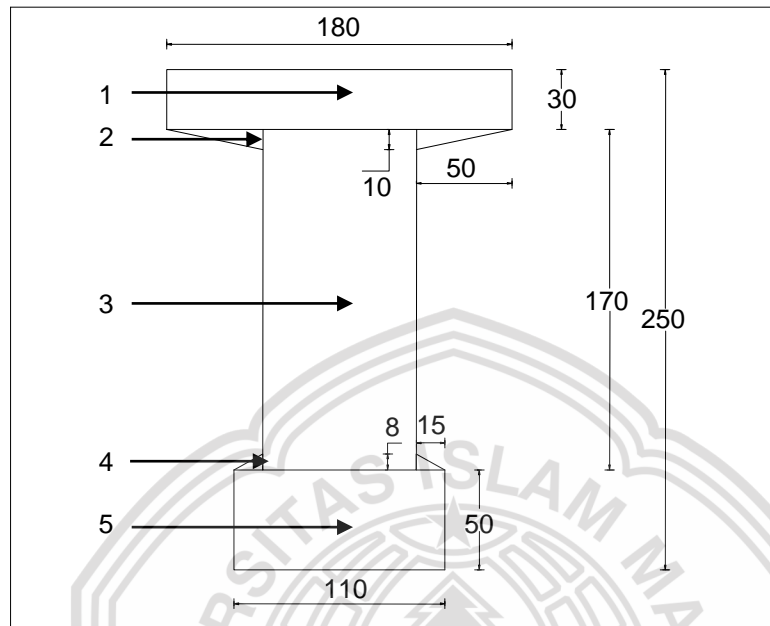
$$P = 292,5 \text{ kN} < V_{uc} = 641,722 \text{ KN} \dots \dots \dots (\text{Tidak perlu tulangan geser})$$



Gambar 4.6 Bidang Kontak Roda P = 112,5 KN
(Sumber : Gambar perencanaan)

4.5 Perencanaan Balok Pratekan

4.5.1 Sebelum Komposit

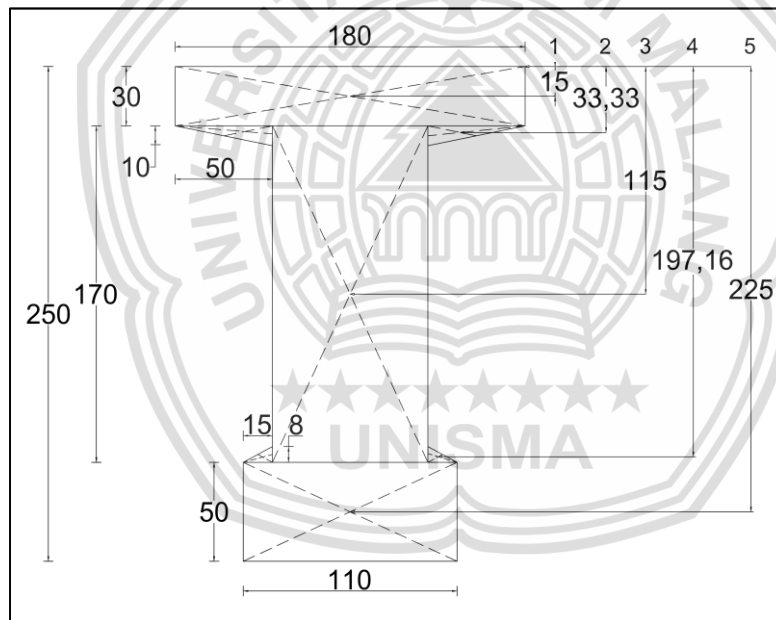


Gambar 4.7 Penampang Balok Girder
(Sumber : Gambar perencanaan)

Penaksiran Data Balok :

- Tinggi balok (h) $= \frac{1}{20} \times L$
 $= \frac{1}{20} \times 50 = 2,5 \text{ m} \rightarrow 250 \text{ cm}$
- Lebar Balok Atas (ba) $= 0,7 \times h$
 $= 0,7 \times 2,5 = 1,75 \text{ m} \rightarrow 175 \text{ cm}$
 di ambil 180 cm
- Lebar Bawah (bb) $= \frac{1}{2} \times ba$
 $= \frac{1}{2} \times 1,75 = 0,875 \text{ m} \rightarrow 87,5 \text{ cm}$
 di ambil 110 cm

- Tebal flens atas (t_1) = $0,1 \times h$
 $= 0,1 \times 2,5 = 0,25 \text{ m} \rightarrow 25 \text{ cm}$
 di ambil 30 cm
- Tebal flens bawah (t_2) = $2 \times t_1$
 $= 2 \times 0,25 = 0,5 \text{ m} \rightarrow 50 \text{ cm}$
- Lebar badan = $0,3 \times h$
 $= 0,3 \times 2,5 = 0,75 \text{ m} \rightarrow 75 \text{ cm}$
 di ambil 80 cm



Gambar 4.8 Jarak Titik Pusat Terhadap Sisi Atas Sebelum Komposit
 (Sumber : Gambar Perencanaan)

Tabel 4.1 Analisa Penampang Balok

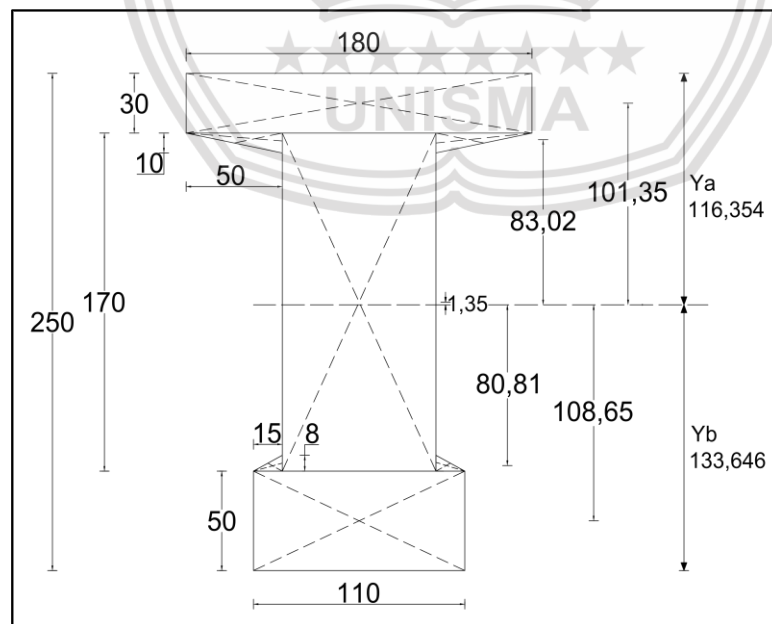
No ruas	Lebar (b) cm	Tinggi (h) cm	Luas (f) cm ²	Jarak sisi atas ketitik berat ruas cm	Statis momen cm ³
1	180	30	5.400	15	81.000
2a	½ x 50	10	250	33,33	8.332,5
2b	½ x 50	10	250	33,33	8.332,5
3	80	170	13.600	115	1.564.000
4a	½ x 15	8	60	197,16	11.829,6
4b	½ x 15	8	60	197,16	11.829,6
5	110	50	5.500	225	1.237.500
Jumlah			25.120		2.922.824,2

(Sumber : Hasil analisa perhitungan)

4.5.1.1 Jarak Garis Netral (c.g.c)

Terhadap sisi atas : $Y_a = \frac{2.922.824,2}{25.120} = 116,354 \text{ cm}$

Terhadap sisi bawah : $Y_b = h - Y_a = 250 - 116,354 = 133,646 \text{ cm}$



Gambar 4.9 Jarak Titik Pusat ke c.g.c Sebelum Komposit

(Sumber : Gambar perencanaan)

4.5.1.2 Momen Inersia (Ix)

No ruas	Perhitungan momen inersia □ $1/12 \times b \times h^3 + f \times a^2$ atau △ $1/36 \times b \times h^3 + f \times a^2$	Ix (cm ⁴)
1	$1/12 \times 180 \times 30^3 + 5.400 \times 101,35^2$	55.872.841,500
2	$1/36 \times 50 \times 10^3 + 250 \times 83,02^2$	1.724.468,989
3	$1/36 \times 50 \times 10^3 + 250 \times 83,02^2$	1.724.468,989
4	$1/12 \times 80 \times 170^3 + 13.600 \times 1,35^2$	32.778.119,333
5	$1/36 \times 15 \times 8^3 + 60 \times 80,81^2$	392.028,699
6	$1/36 \times 15 \times 8^3 + 60 \times 80,81^2$	392.028,699
7	$1/12 \times 110 \times 50^3 + 5.500 \times 108,65^2$	66.072.357,083
Jumlah		158.956.313,292

4.5.1.3 Momen Tahanan (Wx)

$$W_a = \frac{\sum I_x}{Y_a} = \frac{158.956.313,292}{116,354} = 1.366.143,951 \text{ cm}^3$$

$$W_b = \frac{\sum I_x}{Y_b} = \frac{158.956.313,292}{133,646} = 1.189.383,246 \text{ cm}^3$$

4.5.1.4 Batas Inti (kern)

$$K_a = \frac{W_b}{\sum A} = \frac{1.189.383,246}{25.120} = 47,348 \text{ cm}$$

$$K_b = \frac{W_a}{\sum A} = \frac{1.366.143,951}{25.120} = 54,385 \text{ cm}$$

4.5.2 Sesudah Komposit

Karakteristik profil yang digunakan :

- Mutu beton balok pracetak $f_c' = 50 \text{ Mpa}$
 $f_c' = 50 \text{ MPa} \rightarrow E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{50} = 33234,02 \text{ MPa}$
- Mutu beton plat lantai Kendaraan $f_c' = 25 \text{ MPa}$
 $f_c' = 25 \text{ MPa} \rightarrow E_c = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$

- Analisa lebar efektif penampang komposit

$$B_{\text{eff}} = b_e \cdot \frac{E_c \text{ Pelat}}{E_c \text{ Balok}} = b_e \cdot n_c \text{ (Winarni Hadipratomo 1988 hal : 87)}$$

Dimana :

- $n_c = \frac{E_c \text{ Pelat}}{E_c \text{ Balok}} = \frac{23500}{33234,02} = 0,71$

- $b_e \leq b_w + 16 h_f$

$$b_e \leq 80 + 16 \times 30 = 560 \text{ cm}$$

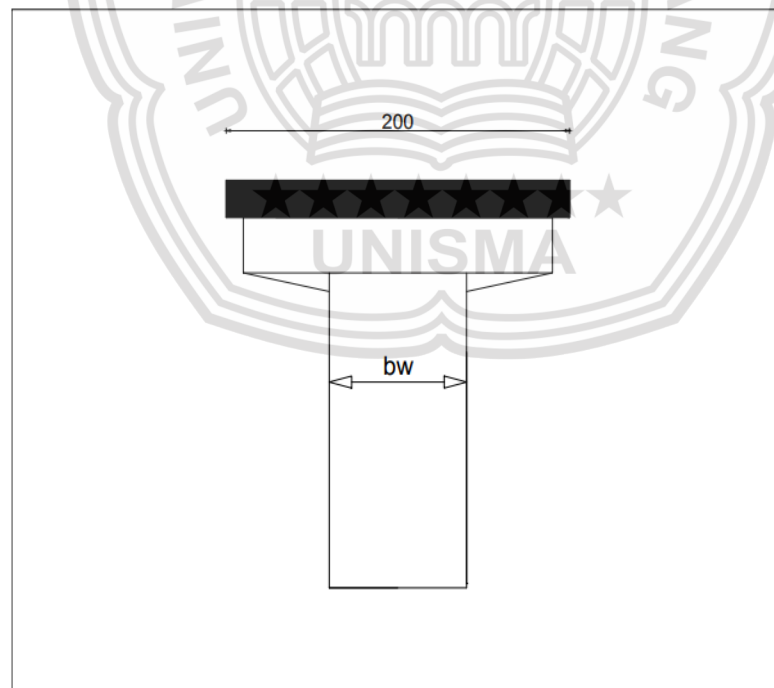
- $b_e \leq S$

$$b_e \leq 200 \text{ cm}$$

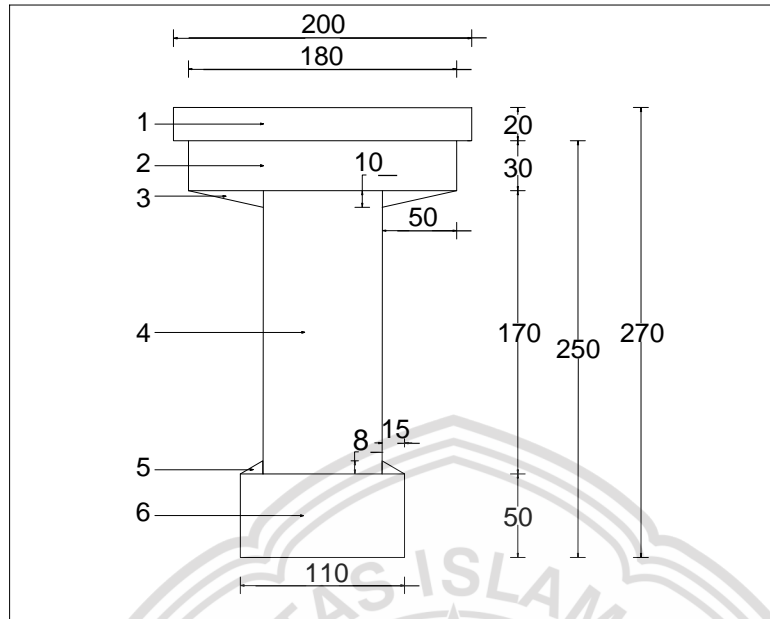
- $b_e \leq \frac{1}{4} L$

- $b_e \leq \frac{1}{4} 5000 = 1250 \text{ cm}$

jadi b_{eff} diambil = 200 cm

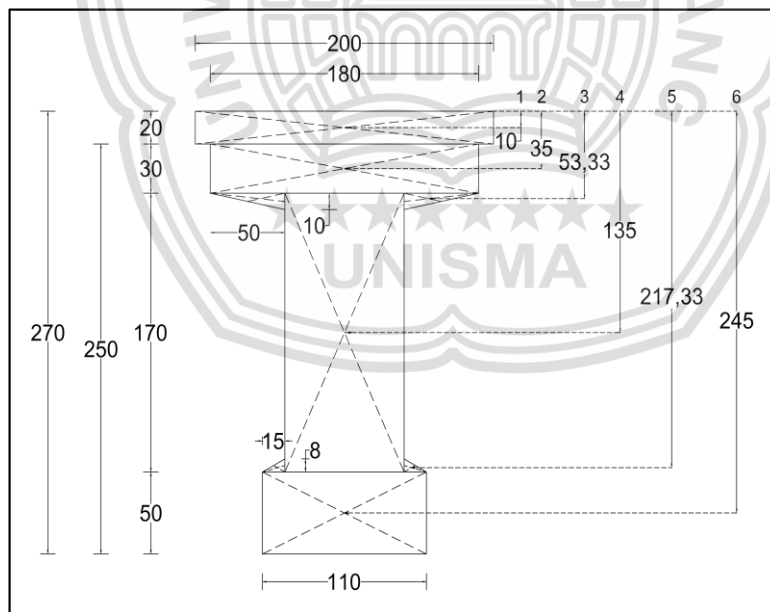


Gambar 4.10 Lebar Efektif Penampang Komposit
(Sumber : Gambar perencanaan)



Gambar 4.11 Balok Setelah Komposit

(Sumber : Gambar perencanaan)



Gambar 4.12 Jarak Titik Pusat Terhadap Sisi Atas Setelah Komposit

(Sumber : Gambar perencanaan)

Tabel 4.2 Analisa Penampang Balok Prategang Sesudah Komposit

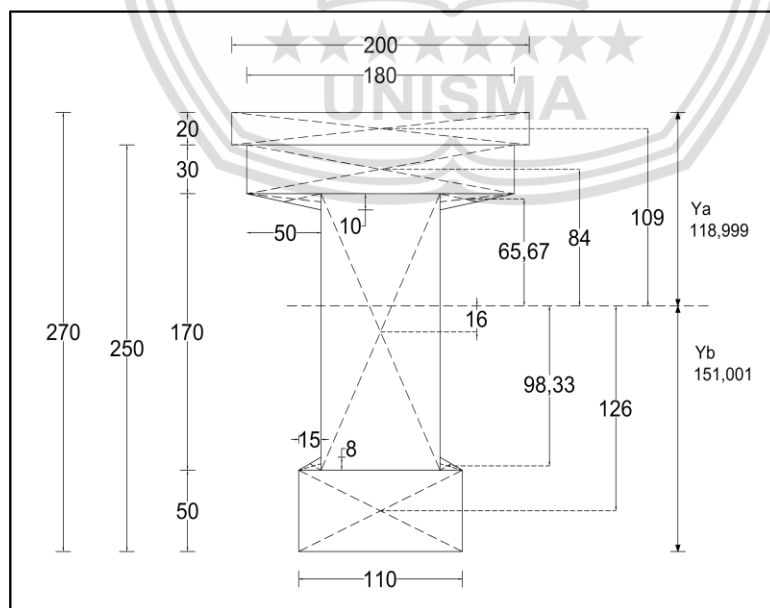
No ruas	Lebar (b) cm	Tinggi (h) cm	Luas (f) cm ²	Jarak sisi atas ketitik berat ruas cm	Statis momen cm ³
1	200	20	4.000	10	40.000
2	180	30	5.400	35	189.000
3a	½ x 50	10	250	53,33	13.332,5
3b	½ x 50	10	250	53,33	13.332,5
4	80	170	13.600	135	1.836.000
5a	½ x 15	8	60	217,33	13.039,8
5b	½ x 15	8	60	217,33	13.039,8
6	110	50	5.500	245	1.347.500
Jumlah			29.120		3.465.244,6

(Sumber : Hasil analisa perencanaan)

4.5.2.1 Jarak Garis Netral (c.g.c)

Terhadap sisi atas : $Y_a = \frac{3.465.244,6}{29.120} = 118,999 \text{ cm}$

Terhadap sisi bawah : $Y_b = h - Y_a = 270 - 118,999 = 151,001 \text{ cm}$



Gambar 4.13 Jarak Titik Pusat ke c.g.c Setelah Komposit

(Sumber : Gambar perencanaan)

4.5.2.2 Momen Inersia (Ix)

No ruas	Perhitungan momen inersia □ $1/12 \times b \times h^3 + f \times a^2$ atau △ $1/36 \times b \times h^3 + f \times a^2$	Ix (cm ⁴)
1	$1/12 \times 200 \times 20^3 + 4.000 \times 109^2$	47.657.333,333
2	$1/12 \times 180 \times 30^3 + 5.400 \times 84^2$	38.507.400
3	$1/36 \times 50 \times 10^3 + 250 \times 65,67^2$	1.079.526,114
4	$1/36 \times 50 \times 10^3 + 250 \times 65,67^2$	1.079.526,114
5	$1/12 \times 80 \times 170^3 + 13.600 \times 16^2$	36.234.933,333
6	$1/36 \times 15 \times 8^3 + 60 \times 98,33^2$	580.340,667
7	$1/36 \times 15 \times 8^3 + 60 \times 98,33^2$	580.340,667
8	$1/12 \times 110 \times 50^3 + 5.500 \times 126^2$	88.463.833,333
Jumlah		214.183.233,561

4.5.2.3 Momen Tahanan (Wx)

$$W_a = \frac{\sum I_x}{Y_a} = \frac{214.183.233,561}{118,999} = 1.799.874,23 \text{ cm}^3$$

$$W_b = \frac{\sum I_x}{Y_b} = \frac{214.183.233,561}{151,001} = 1.418.422,617 \text{ cm}^3$$

4.5.2.4 Batas Inti (kern)

$$K_a' = \frac{W_b}{\sum A} = \frac{1.418.422,617}{29.120} = 48,709 \text{ cm}$$

$$K_b' = \frac{W_a}{\sum A} = \frac{1.799.874,23}{29.120} = 61,809 \text{ cm}$$

4.6 Perhitungan Statika

4.6.1 Perhitungan Beban Penampang komposit

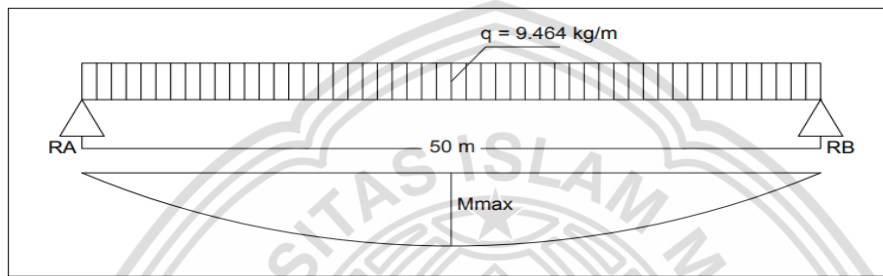
Hal – hal yang perlu dihitung dalam perhitungan statika balok adalah :

4.6.1.1 Beban Primer

1. Berat Sendiri Balok

$$q = A \cdot \gamma_{\text{beton}} = 2,912 \times 2.500 \times 1,3 = 9.464 \text{ Kg/m}$$

$$M_{\text{max}} = 1/8 \cdot q \cdot l = 1/8 \times 9.464 \times 50^2 = 2.957.500 \text{ kg.m}$$



Gambar 4.14 Momen Maksimum Balok

(Sumber : Gambar perencanaan)

2. Berat Pelat Lantai Kendaraan

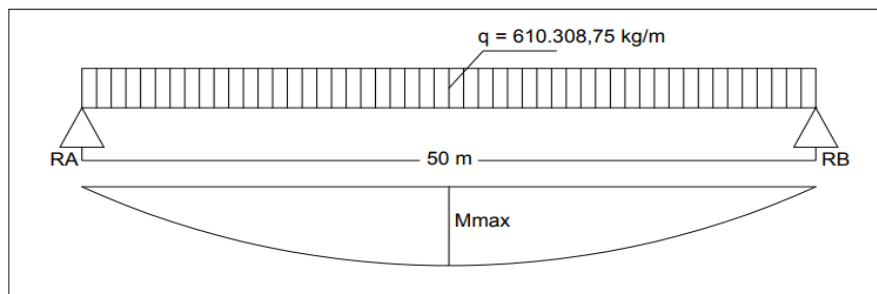
$$\text{Berat pelat lantai} = 0,20 \times 2,30 \times 2320 \times 1,3 = 1.387,36 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat lapis aspal} = 0,05 \times 2,30 \times 2245 \times 1,3 = 335,628 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat air hujan} = 0,05 \times 2,30 \times 1000 \times 2,0 = \underline{230} \text{ kg/m} \pm$$

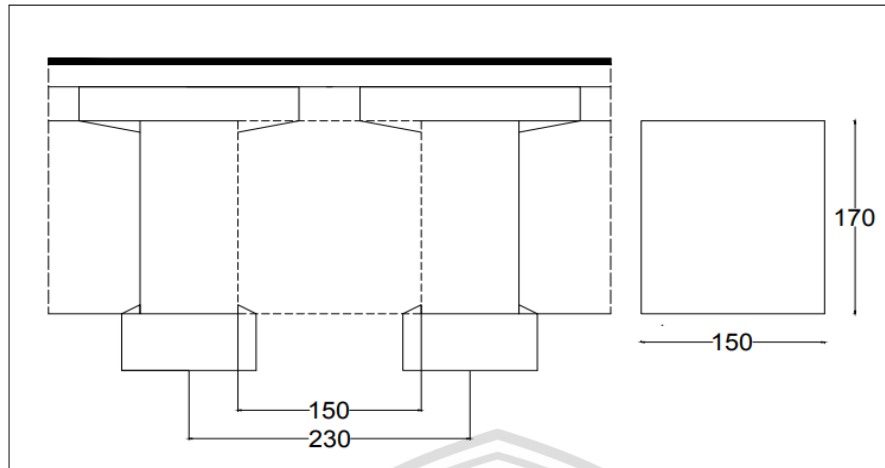
$$q_{\text{total}} = 1.952,988 \text{ kg/m}$$

$$M_{\text{max}} = 1/8 \times q \times L^2 = 1/8 \times 1.952,988 \times 50^2 = 610.308,75 \text{ kg.m}$$



Gambar 4.15 Momen Maksimum Pelat Lantai kendaraan

(Sumber : Gambar perencanaan)



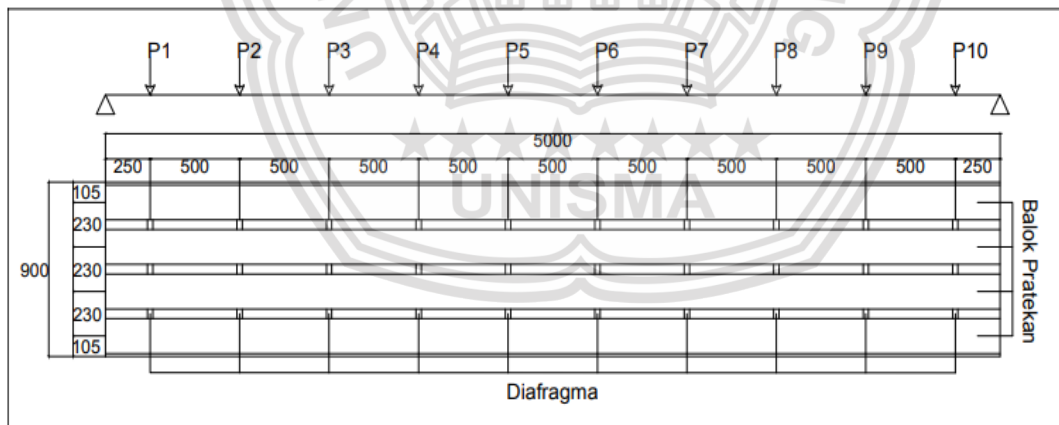
Gambar 4.16 Dimensi Balok Diafragma

(Sumber : Gambar perencanaan)

3. Berat Diafragma

Keterangan balok diafragma :

- Lebar = 150 cm
- Tinggi = 170 cm



Gambar 4.17 Denah Penempatan Diafragma

(Sumber : Gambar perencanaan)

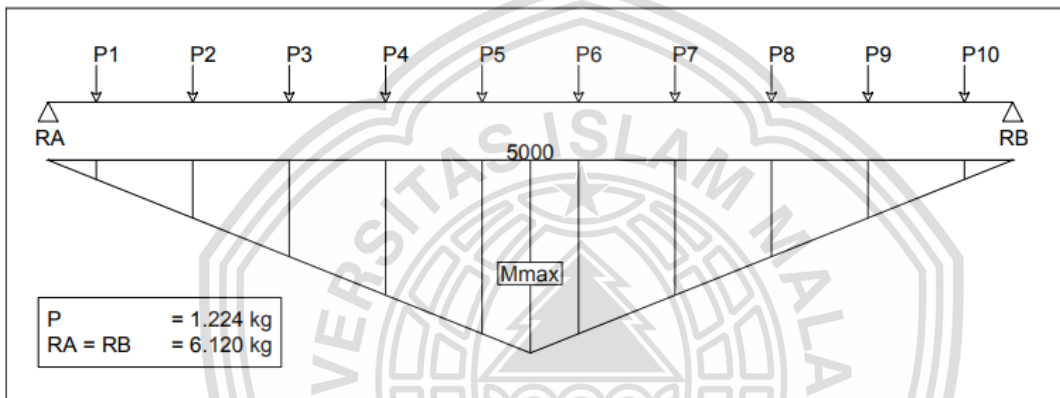
Berat sendiri diafragma (P)

$$P = 0,2 \times 1,5 \times 1,7 \times 2.400 \times 1,2 = 1.224 \text{ kg/m}$$

$$P_{\text{total}} = 1.224 \times 10 = 12.240 \text{ kg}$$

$$RA = RB = \frac{\sum P}{2} = \frac{12.240}{2} = 6.120 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= RA \times 25 - P \times 22,5 - P \times 17,5 - P \times 12,5 - P \times 7,5 - P \times 2,5 \\ &= 6.120 \times 25 - 1.224 \times 22,5 - 1.224 \times 17,5 - 1.224 \times 12,5 - 1.224 \times 7,5 \\ &\quad - 1.224 \times 2,5 \\ &= 76.500 \text{ kg.m} \end{aligned}$$



Gambar 4.18 Momen Maksimum Balok Diafragma

(Sumber : Gambar perencanaan)

4. Beban Hidup

- a. Beban tersebar merata (BTR) faktor beban = 1,8

$$L = 50 > 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{50}\right) \text{ kPa}$$

$$= 7,2 \text{ kPa} = 720 \text{ kg/m}^2 \text{ (SNI 1725-2016, hal:39)}$$

Jarak antar gelagar = 2,30 m, maka :

$$q' = 2,30 \times 720 \times 1,8 = 2.980,8 \text{ kg/m}$$

$$M_{L1} = \frac{1}{8} \times q' \times L^2 = \frac{1}{8} \times 2.980,8 \times 50^2$$

$$= 931.500 \text{ kg.m}$$

b. Akibat beban garis “P” : faktor beban = 1,8

$$P = 49,0 \text{ kN/m} = 4900 \text{ kg/m (SNI 1725-2016, hal:39)}$$

Faktor Beban Dinamis koefisien kejut

$$L = 50 \text{ m, maka FBD diambil } 40\% = 0,4 \text{ (SNI 1725-2016, hal:45)}$$

$$K = 1 + \text{FBD} = 1 + 0,4 = 1,4$$

$$P = (1 + 0,4) \times 4900 \times 1,8 = 12.348 \text{ kg/m}$$

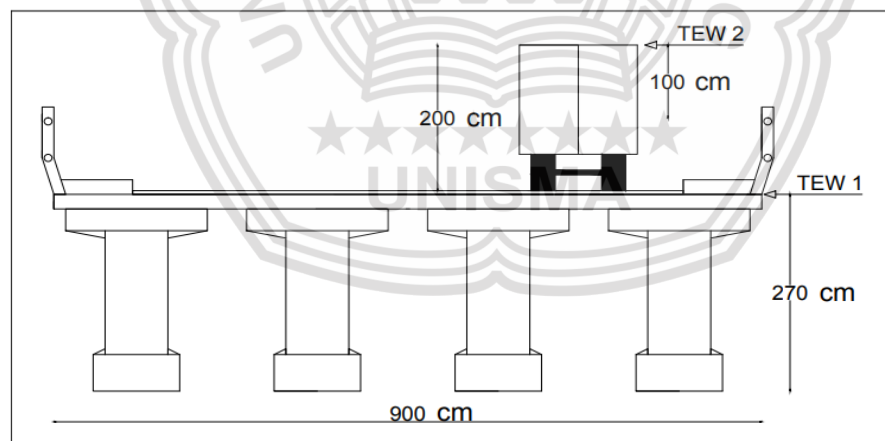
$$M_{L2} = \frac{1}{4} \times P \times L = \frac{1}{4} \times 12.348 \times 50 = 154.350 \text{ kg.m}$$

Jadi momen akibat beban lajur “D” (BTR + BGT)

$$\begin{aligned} M_L &= M_{L1} + M_{L2} = 931.500 + 154.350 \\ &= 1.085.850 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

4.6.1.2 Beban Sekunder

1. Beban Angin Pada Jembatan



Gambar 4.19 Akibat Beban Angin

(Sumber : Gambar perencanaan)

Gaya nominal dan gaya layan jembatan sangat tergantung kepada angin rencana sebagai berikut :

$$V_{DZ} = 2,5 \times V_0 \times \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (\text{SNI 1725-2016, hal:55})$$

$$V_{DZ} = 2,5 \times 13,2 \times \left(\frac{110}{110}\right) \ln \left(\frac{10500}{70}\right) = 165,351 \text{ km/jam}$$

Beban pada tepi jembatan yang terkena angin :

Tekanan angin rencana :

$$P_D = P_B \times \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2 \quad (\text{SNI 1725-2016, hal:56})$$

$$P_D = 0,0024 \times \left(\frac{165,351}{110}\right)^2 = 0,0054 \text{ Mpa} = 0,54 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} TEW_1 &= P_D \times A_b \\ &= 0,54 \text{ kN/m}^2 \times (2,7 \text{ m} \times 50 \text{ m}) \\ &= 72,9 \text{ kN} = 7.290 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Beban pada sisi kendaraan yang terkenan angin :

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak llurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. (SNI 1725:2016)

$$\begin{aligned} TEW_2 &= 1,46 \text{ kN/mm} \times 1800 \text{ mm} \\ &= 2628 \text{ N} = 262,8 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_a &= TEW_1 + TEW_2 \\ &= 7.290 + 262,8 = 7.552,8 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$P_{au} = 7.552,8 \times 1,2 = 9.063,36 \text{ Kg}$$

Panjang gelagar yang terkena angin sepanjang 50 m dan dianggap beban merata, maka :

$$q_w = \frac{9.063,36}{50} = 181,267 \text{ Kg/m}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{8} \times q_w \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 181,267 \times 50^2$$

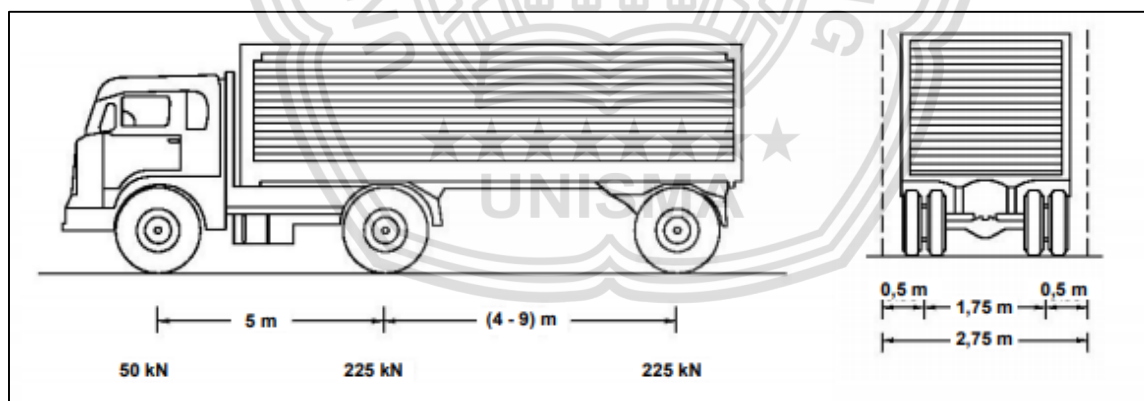
$$= 56.645,937 \text{ Kg.m}$$

2. Akibat gaya rem (faktor beban = 1,8)

Panjang jembatan = 50 m

Menurut SNI-1725-2016 gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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



Gambar 4.20 Pembebanan Truck “T”

(Sumber : SNI 1725-2016)

Diketahui :

- Berat gandar truck = 225 kN
- Berat truck rencana = 225 + 225 + 50 = 500 kN

Gaya ini diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arag longitudinal dan dipilih mana yang paling menentukan.

$$a. P1 = 25\% \times 225 = 56,25 \text{ kN}$$

$$b. P2 = 5\% \times \{(50 + 225 + 225) + 29,808\} = 26,49 \text{ kN}$$

Maka gaya rem yang dipakai adalah $56,25 \text{ kN} = 5.625 \text{ Kg}$

Faktor beban = 1,0 (untuk keadaan batas layan)

= 1,8 (keadaan batas ultimit)

$$PR = \frac{1}{2} \times 5.625$$

$$= 2.812,5 \text{ Kg}$$

$$PRU = 2.812,5 \times 1,0$$

$$= 2.812,5 \text{ Kg}$$

Zr = tebal aspal + jarak garis netral (Y_a) sesudah komposit + keadaan

batas ultimit

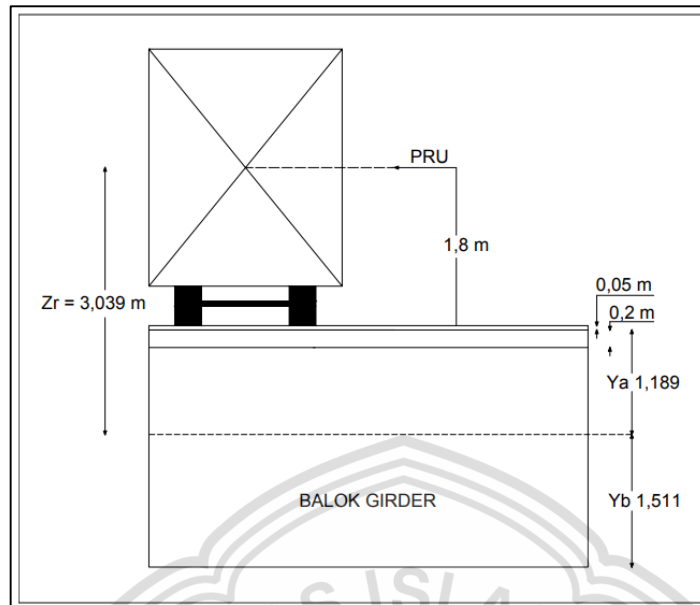
$$Zr = 0,05 + 1,189 + 1,8$$

$$= 3,039 \text{ m}$$

$$Mr = PRU \times Zr$$

$$= 2.812,5 \times 3,039$$

$$= 8.547,187 \text{ Kg.m}$$



Gambar 4.21 Skema Beban Rem
(Sumber : Gambar perencanaan)

Tabel 4.3 Rekapitulasi Momen

Momen	Besar Gaya Momen (kg.m)
Akibat berat sendiri balok	2.957.500
Akibat berat plat lantai kendaraan	610.308,75
Akibat berat diafragma	76.500
Akibat beban hidup	1.085.850
Akibat beban angin	56.645,937
Akibat beban rem	8.547,187
Jumlah Total	4.795.351,874

(Sumber : Hasil analisa perencanaan)

4.7 Tegangan Ijin

Pemeriksaan tegangan pada penampang harus ditinjau pada beberapa keadaan yaitu :

a. Keadaab awal (saat transfer)

Keadaan awal adalah tegangan ijin setelah pelimpahan (transfer) pratekan, sebelum terdapat kehilangan tegangan diukur terhadap kuat tekan saat pratekan awal :

$$\text{Tegangan tarik } \sigma_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f'c} = 0,25 \cdot \sqrt{50} = 1,77 \text{ Mpa} = 17,7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan tekan } \sigma_{ci} = 0,60 \cdot f'c = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ Mpa} = 300 \text{ Kg/cm}^2$$

b. Kondisi akhir (saat service)

Keadaan akhir adalah tegangan ijin beton pada tahap pelayanan beban kerja (sesudah kehilangan pratekan)

$$\text{Tegangan tarik } \sigma_{ts} = 0,5 \cdot \sqrt{f'c} = 0,5 \cdot \sqrt{50} = 3,53 \text{ Mpa} = 35,3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Tegangan tekan } \sigma_{cs} = 0,45 \cdot f'c = 0,45 \cdot 50 = 22,5 \text{ Mpa} = 225 \text{ Kg/cm}^2$$

4.8 Desain Pendahuluan Penampang Balok Pratekan

4.8.1 Desain Pendahuluan

a. Menentukan Gaya Pratekan

$$MG = 295.750.000 \text{ Kg.cm}$$

$$MT = 479.535.187,4 \text{ Kg.cm}$$

$$\frac{MG}{MT} \times 100 \% = \frac{295.750.000}{479.535.187,4} \times 100 \% = 61,674 \%$$

$$\text{Karena } \frac{MG}{MT} > 20\%$$

Maka kondisi awal akibat MG tidak menentukan desain, Maka kondisi awal akibat MG tidak menentukan desain, dan desain pendahuluan dibuat hanya dengan memperhatikan MT sehingga gaya pratekan efektif yang diperlukan adalah

$$F = \frac{MT}{0,65 h} \quad (\text{T.Y lin \& H. Bruns, 1996})$$

Dimana :

H = tinggi girder

$$F = \frac{479.535.187,4}{0,65 \times 250} = 2.950.985,769 \text{ Kg}$$

Kehilangan gaya pratekan diperkirakan 15% maka :

$$F_o = \frac{F}{0,85} = \frac{2.950.985,769}{0,85} = 3.471.747,963 \text{ Kg}$$

b. Menentukan eksentrisitas

$$\sum I = 158.956.313,292 \text{ cm}^4$$

$$Y_a = 116,354 \text{ cm}$$

$$K_b = 54,385 \text{ cm}$$

$$e_1 = \frac{f_a \times \sum I}{y_a \times f_o} = \frac{17,68 \times 158.956.313,292}{116,354 \times 3.471.747,963} = 6,957 \text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{MG}{f_o} = \frac{295.750.000}{3.471.747,963} = 85,188 \text{ cm}$$

$$e = e_1 + e_2 + K_b$$

$$= 6,957 + 85,188 + 54,385 = 146,53 \text{ cm}$$

(T.Y Lin & H. Bruns, 1996 hal. 184)

c. Gaya pratekan efektif yang dibutuhkan

$$K_a = 47,348 \text{ cm}$$

$$F_{eff} = \frac{MT}{e + k_a} = \frac{479.535.187,4}{146,53 + 47,348} = 2.473.386,291 \text{ Kg}$$

Gaya pratekan awal :

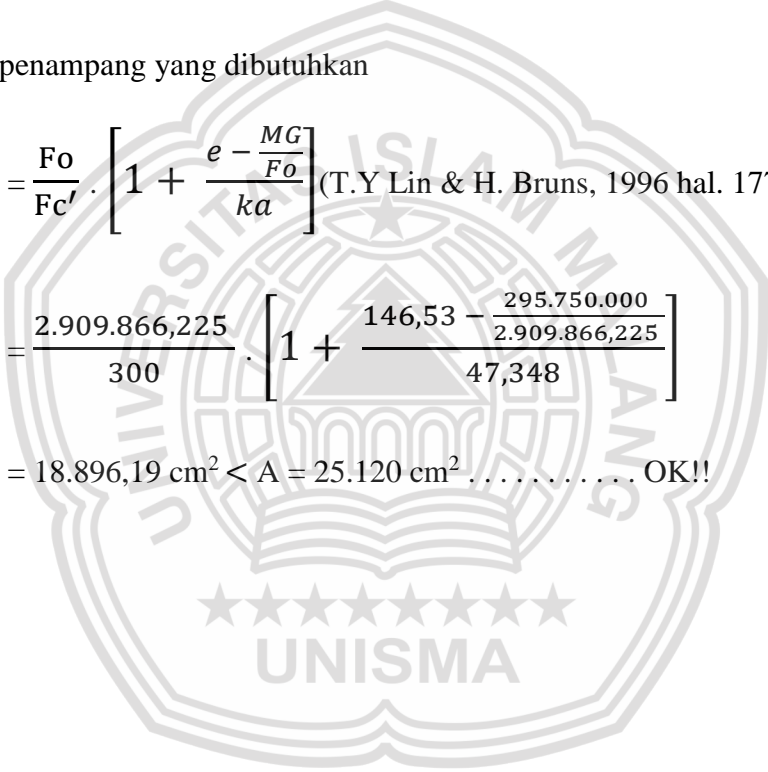
$$F_o = \frac{F_{eff}}{0,85} = \frac{2.473.386,291}{0,85} = 2.909.866,225 \text{ Kg}$$

d. Luas penampang yang dibutuhkan

$$A_c = \frac{F_o}{F_c'} \cdot \left[1 + \frac{e - \frac{MG}{F_o}}{k_a} \right] \text{ (T.Y Lin \& H. Bruns, 1996 hal. 177)}$$

$$A_c = \frac{2.909.866,225}{300} \cdot \left[1 + \frac{146,53 - \frac{295.750.000}{2.909.866,225}}{47,348} \right]$$

$$= 18.896,19 \text{ cm}^2 < A = 25.120 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{OK!!}$$



4.9 Perhitungan Tendon

Pada perencanaan balok beton pratekan, spesifikasi kabel prategang yang digunakan sebagai berikut :

Jenis strand : Uncoated seven wire strand grade
270 ASTM A416 (VSL strand post-tensioning systems)

Minimal UTS : 1860 Mpa = 18600 kg/cm²

Luas penampang nominal (A_{st}) : 98,7 mm² = 9,87 cm²

Tegangan putus strand (f_{pu}) : 18.600/9,871 = 1.884,307 kg/cm²

Tegangan leleh strand (f_{py}) : 1.670 Mpa = 16.700 kg/cm²

Diameter nominal (0,5") : 12,7 mm = 1,27 cm

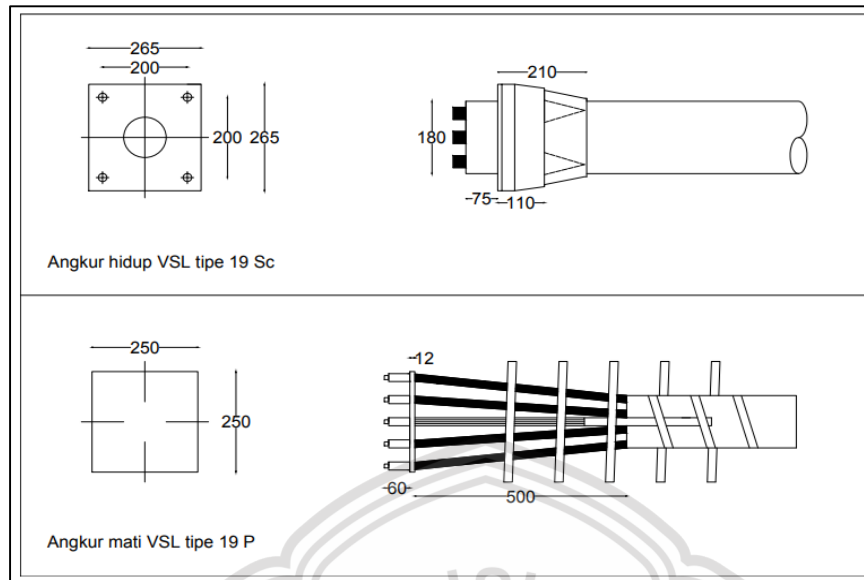
Kekuatan putus satu tendon 100% : 350.000 kg

$F_{pi} = 0,7 \times 1.884,307 = 1.319,015 \text{ kg/cm}^2$

$$n = \frac{F_o}{\text{gaya prategang sebelum putus}}$$

$$n = \frac{2.909.866,225}{350.000} = 8,314 \rightarrow \text{dipakai 8 tendon}$$

Jadi digunakan 8 buah tendon dengan masing-masing tendon terdapat 19 strand. Dari tabel VSL digunakan angkur hidup tipe 5-19 Sc dan angkur mati tipe 5-19 P dengan spesifikasi sebagai berikut :



Gambar 4.22 Gambar Angkur

(Sumber : VSL *Multistrand Post-Tensioning*)

4.9.1 Daerah Aman Tendon

Untuk menghitung bebar momen yang ditampung 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 diperlukan garis pengaruh dititik 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 :

$$\text{Di titik 1 : } Y_1 = (47,5 \times 2,5) / 50 = 2,375 \text{ m}$$

$$Y_2 = (45 \times 2,5) / 50 = 2,25 \text{ m}$$

$$Y_3 = (42,5 \times 2,5) / 50 = 2,125 \text{ m}$$

$$Y_4 = (40 \times 2,5) / 50 = 2 \text{ m}$$

$$Y_5 = (37,5 \times 2,5) / 50 = 1,875 \text{ m}$$

$$Y_6 = (35 \times 2,5) / 50 = 1,75 \text{ m}$$

$$Y_7 = (32,5 \times 2,5) / 50 = 1,625 \text{ m}$$

$$Y_8 = (30 \times 2,5) / 50 = 1,5 \text{ m}$$

$$Y_9 = (27,5 \times 2,5) / 50 = 1,375 \text{ m}$$

$$Y_{10} = (25 \times 2,5) / 50 = 1,25 \text{ m}$$

Di titik 2 :

$$\begin{aligned} Y_1 &= (45 \times 5) / 50 = 4,5 \text{ m} \\ Y_2 &= (42,5 \times 5) / 50 = 4,25 \text{ m} \\ Y_3 &= (40 \times 5) / 50 = 4 \text{ m} \\ Y_4 &= (37,5 \times 5) / 50 = 3,75 \text{ m} \\ Y_5 &= (35 \times 5) / 50 = 3,5 \text{ m} \\ Y_6 &= (32,5 \times 5) / 50 = 3,25 \text{ m} \\ Y_7 &= (30 \times 5) / 50 = 3 \text{ m} \\ Y_8 &= (27,5 \times 5) / 50 = 2,75 \text{ m} \\ Y_9 &= (25 \times 5) / 50 = 2,5 \text{ m} \\ Y_{10} &= (22,5 \times 5) / 50 = 2,25 \text{ m} \end{aligned}$$

Di titik 3 :

$$\begin{aligned} Y_1 &= (42,5 \times 7,5) / 50 = 6,375 \text{ m} \\ Y_2 &= (40 \times 7,5) / 50 = 6 \text{ m} \\ Y_3 &= (37,5 \times 7,5) / 50 = 5,625 \text{ m} \\ Y_4 &= (35 \times 7,5) / 50 = 5,25 \text{ m} \\ Y_5 &= (32,5 \times 7,5) / 50 = 4,875 \text{ m} \\ Y_6 &= (30 \times 7,5) / 50 = 4,5 \text{ m} \\ Y_7 &= (27,5 \times 7,5) / 50 = 4,125 \text{ m} \\ Y_8 &= (25 \times 7,5) / 50 = 3,75 \text{ m} \\ Y_9 &= (22,5 \times 7,5) / 50 = 3,375 \text{ m} \\ Y_{10} &= (20 \times 7,5) / 50 = 3 \text{ m} \end{aligned}$$

Di titik 4 :

$$Y_1 = (40 \times 10) / 50 = 8 \text{ m}$$
$$Y_2 = (37,5 \times 10) / 50 = 7,5 \text{ m}$$
$$Y_3 = (35 \times 10) / 50 = 7 \text{ m}$$
$$Y_4 = (32,5 \times 10) / 50 = 6,5 \text{ m}$$
$$Y_5 = (30 \times 10) / 50 = 6 \text{ m}$$
$$Y_6 = (27,5 \times 10) / 50 = 5,5 \text{ m}$$
$$Y_7 = (25 \times 10) / 50 = 5 \text{ m}$$
$$Y_8 = (22,5 \times 10) / 50 = 4,5 \text{ m}$$
$$Y_9 = (20 \times 10) / 50 = 4 \text{ m}$$
$$Y_{10} = (17,5 \times 10) / 50 = 3,5 \text{ m}$$

Di titik 5 :

$$Y_1 = (37,5 \times 12,5) / 50 = 9,375 \text{ m}$$
$$Y_2 = (35 \times 12,5) / 50 = 8,75 \text{ m}$$
$$Y_3 = (32,5 \times 12,5) / 50 = 8,125 \text{ m}$$
$$Y_4 = (30 \times 12,5) / 50 = 7,5 \text{ m}$$
$$Y_5 = (27,5 \times 12,5) / 50 = 6,875 \text{ m}$$
$$Y_6 = (25 \times 12,5) / 50 = 6,25 \text{ m}$$
$$Y_7 = (22,5 \times 12,5) / 50 = 5,625 \text{ m}$$
$$Y_8 = (20 \times 12,5) / 50 = 5 \text{ m}$$
$$Y_9 = (17,5 \times 12,5) / 50 = 4,375 \text{ m}$$
$$Y_{10} = (15 \times 12,5) / 50 = 3,75 \text{ m}$$

Di titik 6 :

$$\begin{aligned} Y_1 &= (35 \times 15) / 50 = 10,5 \text{ m} \\ Y_2 &= (32,5 \times 15) / 50 = 9,75 \text{ m} \\ Y_3 &= (30 \times 15) / 50 = 9 \text{ m} \\ Y_4 &= (27,5 \times 15) / 50 = 8,25 \text{ m} \\ Y_5 &= (25 \times 15) / 50 = 7,5 \text{ m} \\ Y_6 &= (22,5 \times 15) / 50 = 6,75 \text{ m} \\ Y_7 &= (20 \times 15) / 50 = 6 \text{ m} \\ Y_8 &= (17,5 \times 15) / 50 = 5,25 \text{ m} \\ Y_9 &= (15 \times 15) / 50 = 4,5 \text{ m} \\ Y_{10} &= (12,5 \times 15) / 50 = 3,75 \text{ m} \end{aligned}$$

Di titik 7 :

$$\begin{aligned} Y_1 &= (32,5 \times 17,5) / 50 = 11,375 \text{ m} \\ Y_2 &= (30 \times 17,5) / 50 = 10,5 \text{ m} \\ Y_3 &= (27,5 \times 17,5) / 50 = 9,625 \text{ m} \\ Y_4 &= (25 \times 17,5) / 50 = 8,75 \text{ m} \\ Y_5 &= (22,5 \times 17,5) / 50 = 7,875 \text{ m} \\ Y_6 &= (20 \times 17,5) / 50 = 7 \text{ m} \\ Y_7 &= (17,5 \times 17,5) / 50 = 6,125 \text{ m} \\ Y_8 &= (15 \times 17,5) / 50 = 5,25 \text{ m} \\ Y_9 &= (12,5 \times 17,5) / 50 = 4,375 \text{ m} \\ Y_{10} &= (10 \times 17,5) / 50 = 3,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Di titik 8 :

$$Y_1 = (30 \times 20) / 50 = 12 \text{ m}$$

$$Y_2 = (27,5 \times 20) / 50 = 11 \text{ m}$$

$$Y_3 = (25 \times 20) / 50 = 10 \text{ m}$$

$$Y_4 = (22,5 \times 20) / 50 = 9 \text{ m}$$

$$Y_5 = (20 \times 20) / 50 = 8 \text{ m}$$

$$Y_6 = (17,5 \times 20) / 50 = 7 \text{ m}$$

$$Y_7 = (15 \times 20) / 50 = 6 \text{ m}$$

$$Y_8 = (12,5 \times 20) / 50 = 5 \text{ m}$$

$$Y_9 = (10 \times 20) / 50 = 4 \text{ m}$$

$$Y_{10} = (7,5 \times 20) / 50 = 3 \text{ m}$$

Di titik 9 :

$$Y_1 = (27,5 \times 22,5) / 50 = 12,375 \text{ m}$$

$$Y_2 = (25 \times 22,5) / 50 = 11,25 \text{ m}$$

$$Y_3 = (22,5 \times 22,5) / 50 = 10,125 \text{ m}$$

$$Y_4 = (20 \times 22,5) / 50 = 9 \text{ m}$$

$$Y_5 = (17,5 \times 22,5) / 50 = 7,875 \text{ m}$$

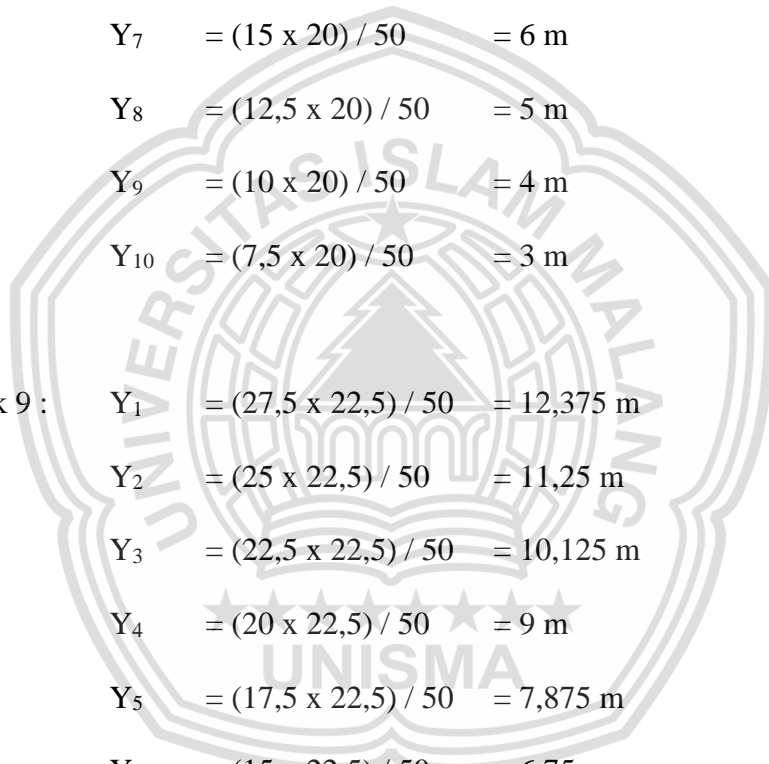
$$Y_6 = (15 \times 22,5) / 50 = 6,75 \text{ m}$$

$$Y_7 = (12,5 \times 22,5) / 50 = 5,625 \text{ m}$$

$$Y_8 = (10 \times 22,5) / 50 = 4,5 \text{ m}$$

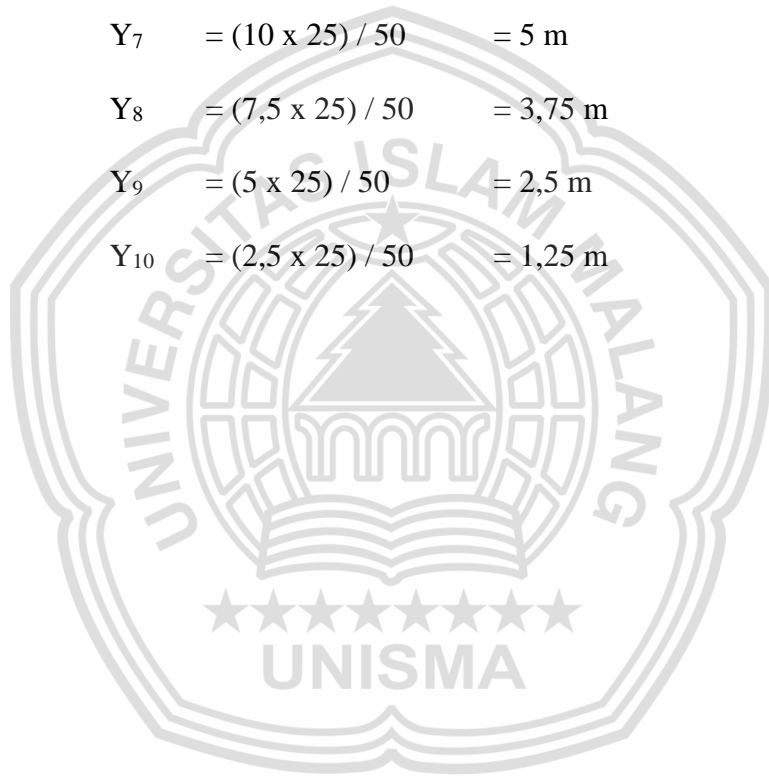
$$Y_9 = (7,5 \times 22,5) / 50 = 3,375 \text{ m}$$

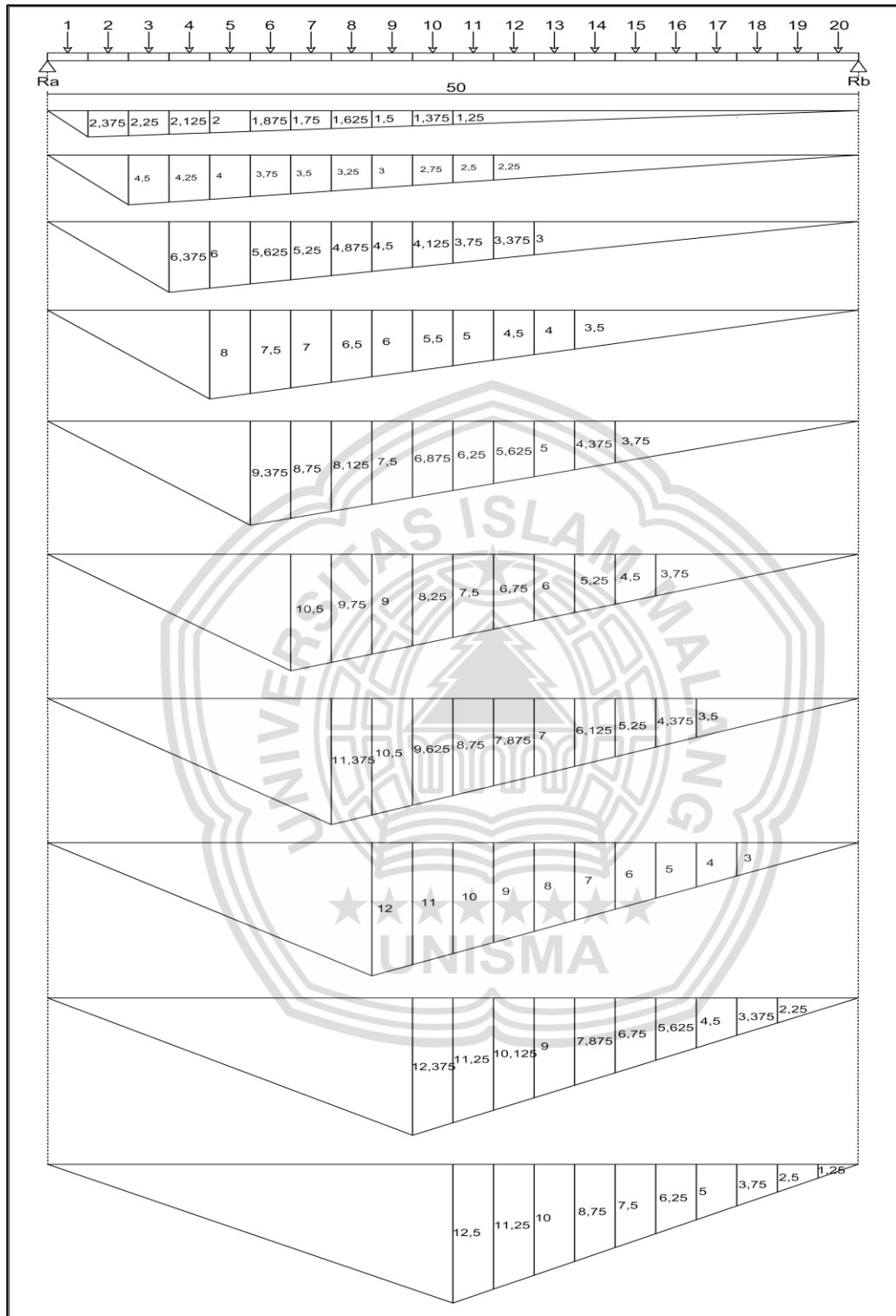
$$Y_{10} = (5 \times 22,5) / 50 = 2,25 \text{ m}$$



Di titik 10 :

$$\begin{aligned} Y_1 &= (25 \times 25) / 50 &= 12,5 \text{ m} \\ Y_2 &= (22,5 \times 25) / 50 &= 11,25 \text{ m} \\ Y_3 &= (20 \times 25) / 50 &= 10 \text{ m} \\ Y_4 &= (17,5 \times 25) / 50 &= 8,75 \text{ m} \\ Y_5 &= (15 \times 25) / 50 &= 7,5 \text{ m} \\ Y_6 &= (12,5 \times 25) / 50 &= 6,25 \text{ m} \\ Y_7 &= (10 \times 25) / 50 &= 5 \text{ m} \\ Y_8 &= (7,5 \times 25) / 50 &= 3,75 \text{ m} \\ Y_9 &= (5 \times 25) / 50 &= 2,5 \text{ m} \\ Y_{10} &= (2,5 \times 25) / 50 &= 1,25 \text{ m} \end{aligned}$$





Gambar 4.23 Besar Momen yang Ditampung 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 Memerlukan Garis Pengaruh Dititik 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10

(Sumber : Gambar Perencanaan)

Luas bidang pengaruh

$$A_1 = \frac{1}{2} \times 50 \times 2,375 = 59,375 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \times 50 \times 4,5 = 112,5 \text{ m}^2$$

$$A_3 = \frac{1}{2} \times 50 \times 6,375 = 159,375 \text{ m}^2$$

$$A_4 = \frac{1}{2} \times 50 \times 8 = 200 \text{ m}^2$$

$$A_5 = \frac{1}{2} \times 50 \times 9,375 = 234,375 \text{ m}^2$$

$$A_6 = \frac{1}{2} \times 50 \times 10,5 = 265,5 \text{ m}^2$$

$$A_7 = \frac{1}{2} \times 50 \times 11,375 = 284,375 \text{ m}^2$$

$$A_8 = \frac{1}{2} \times 50 \times 12 = 300 \text{ m}^2$$

$$A_9 = \frac{1}{2} \times 50 \times 12,375 = 309,375 \text{ m}^2$$

$$A_{10} = \frac{1}{2} \times 50 \times 12,5 = 312,5 \text{ m}^2$$

a. Keadaan awal akibat berat sendiri balok pratekan

Berat sendiri balok pratekan, $q = 9.464 \text{ Kg/m}$

$$M_{a1} = 59,375 \times 9.464 = 561.925 \text{ kg.m}$$

$$M_{a2} = 112,5 \times 9.464 = 1.064.700 \text{ kg.m}$$

$$M_{a3} = 159,375 \times 9.464 = 1.508.325 \text{ kg.m}$$

$$M_{a4} = 200 \times 9.464 = 1.892.800 \text{ kg.m}$$

$$M_{a5} = 234,375 \times 9.464 = 2.218.125 \text{ kg.m}$$

$$M_{a6} = 265,5 \times 9.464 = 2.512.692 \text{ kg.m}$$

$$M_{a7} = 284,375 \times 9.464 = 2.691.325 \text{ kg.m}$$

$$M_{a8} = 300 \times 9.464 = 2.839.200 \text{ kg.m}$$

$$M_{a9} = 309,375 \times 9.464 = 2.927.925 \text{ kg.m}$$

$$M_{a10} = 312,5 \times 9.464 = 2.957.500 \text{ kg.m}$$

$$a_{a1} = \frac{M_{a1}}{F_o} = \frac{56.192.500}{2.909.866,225} = 19,311 \text{ cm}$$

$$a_{a2} = \frac{M_{a2}}{F_o} = \frac{106.470.000}{2.909.866,225} = 36,589 \text{ cm}$$

$$a_{a3} = \frac{M_{a3}}{F_o} = \frac{150.832.500}{2.909.866,225} = 51,835 \text{ cm}$$

$$a_{a4} = \frac{M_{a4}}{F_o} = \frac{189.280.000}{2.909.866,225} = 65,048 \text{ cm}$$

$$a_{a5} = \frac{M_{a5}}{F_o} = \frac{221.812.500}{2.909.866,225} = 76,228 \text{ cm}$$

$$a_{a6} = \frac{M_{a6}}{F_o} = \frac{251.269.200}{2.909.866,225} = 86,351 \text{ cm}$$

$$a_{a7} = \frac{M_{a7}}{F_o} = \frac{269.132.500}{2.909.866,225} = 92,49 \text{ cm}$$

$$a_{a8} = \frac{M_{a8}}{F_o} = \frac{283.920.000}{2.909.866,225} = 97,571 \text{ cm}$$

$$a_{a9} = \frac{M_{a9}}{F_o} = \frac{292.792.500}{2.909.866,225} = 100,621 \text{ cm}$$

$$a_{a10} = \frac{M_{a10}}{F_o} = \frac{295.750.000}{2.909.866,225} = 101,637 \text{ cm}$$

b. Keadaan setelah kehilangan tegangan

Pada keadaan kehilangan tegangan, pembebanan = berat sendiri balok prategang

$$a_{b1} = \frac{M_{a1}}{F_{eff}} = \frac{56.192.500}{2.473.386,291} = 22,719 \text{ cm}$$

$$a_{b2} = \frac{M_{a2}}{F_{eff}} = \frac{106.470.000}{2.473.386,291} = 43,046 \text{ cm}$$

$$a_{b3} = \frac{M_{a3}}{F_{eff}} = \frac{150.832.500}{2.473.386,291} = 60,982 \text{ cm}$$

$$a_{b4} = \frac{M_{a4}}{F_{eff}} = \frac{189.280.000}{2.473.386,291} = 76,527 \text{ cm}$$

$$a_{b5} = \frac{M_{a5}}{F_{eff}} = \frac{221.812.500}{2.473.386,291} = 89,68 \text{ cm}$$

$$a_{b6} = \frac{M_{a6}}{F_{eff}} = \frac{251.269.200}{2.473.386,291} = 101,589 \text{ cm}$$

$$a_{b7} = \frac{M_{a7}}{F_{eff}} = \frac{269.132.500}{2.473.386,291} = 108,811 \text{ cm}$$

$$a_{b8} = \frac{M_{a8}}{F_{eff}} = \frac{283.920.000}{2.473.386,291} = 114,79 \text{ cm}$$

$$a_{b9} = \frac{M_{a9}}{F_{eff}} = \frac{292.792.500}{2.473.386,291} = 118,377 \text{ cm}$$

$$a_{b10} = \frac{M_{a10}}{F_{eff}} = \frac{295.750.000}{2.473.386,291} = 119,573 \text{ cm}$$

c. Keadaan setelah plat beton dicor

Berat plat lantai kendaraan, $q = 1.952,988 \text{ kg/m}$

Besarnya $q = \text{berat } q \text{ total sendiri balok} + \text{berat } q \text{ total lantai kendaraan}$

$$q = 9.464 + 1.952,988 = 11.416,988 \text{ kg/m}$$

$$M_{c1} = 59,375 \times 11.416,988 = 677.883,662 \text{ kg.m}$$

$$M_{c2} = 112,5 \times 11.416,988 = 1.284.411,15 \text{ kg.m}$$

$$M_{c3} = 159,375 \times 11.416,988 = 1.819.582,462 \text{ kg.m}$$

$$M_{c4} = 200 \times 11.416,988 = 2.283.397,6 \text{ kg.m}$$

$$M_{c5} = 234,375 \times 11.416,988 = 2.675.856,562 \text{ kg.m}$$

$$M_{c6} = 265,5 \times 11.416,988 = 3.031.210,314 \text{ kg.m}$$

$$M_{c7} = 284,375 \times 11.416,988 = 3.246.705,962 \text{ kg.m}$$

$$M_{c8} = 300 \times 11.416,988 = 3.425.096,4 \text{ kg.m}$$

$$M_{c9} = 309,375 \times 11.416,988 = 3.532.130,662 \text{ kg.m}$$

$$M_{c10} = 312,5 \times 11.416,988 = 3.567.808,75 \text{ kg.m}$$

$$a_{c1} = \frac{M_{c1}}{F_{eff}} = \frac{67.788.366,2}{2.473.386,291} = 27,407 \text{ cm}$$

$$a_{c2} = \frac{M_{c2}}{F_{eff}} = \frac{128.441.115}{2.473.386,291} = 51,929 \text{ cm}$$

$$a_{c3} = \frac{M_{c3}}{F_{eff}} = \frac{181.958.246,2}{2.473.386,291} = 73,566 \text{ cm}$$

$$a_{c4} = \frac{M_{c4}}{F_{eff}} = \frac{228.339.760}{2.473.386,291} = 92,319 \text{ cm}$$

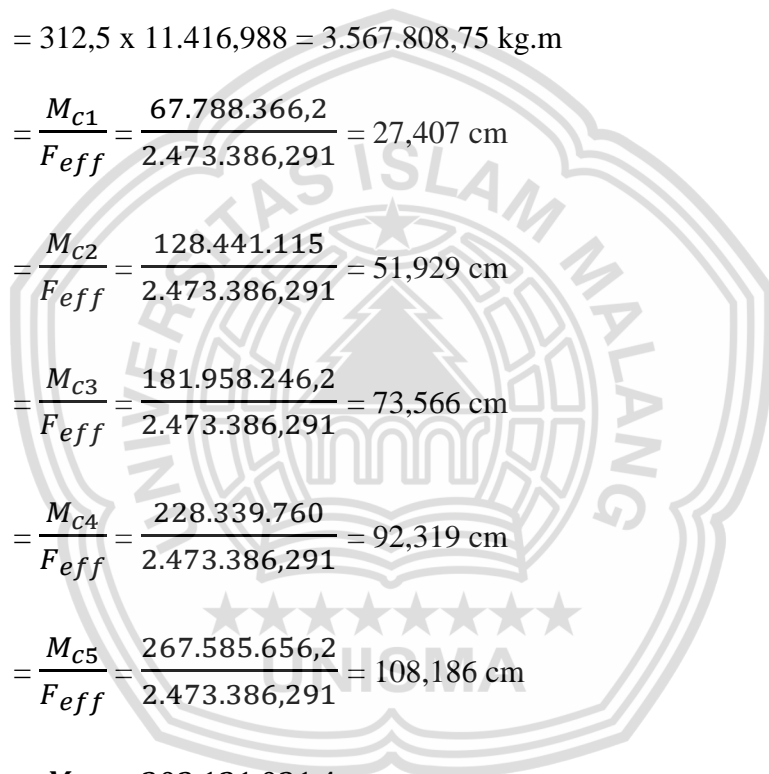
$$a_{c5} = \frac{M_{c5}}{F_{eff}} = \frac{267.585.656,2}{2.473.386,291} = 108,186 \text{ cm}$$

$$a_{c6} = \frac{M_{c6}}{F_{eff}} = \frac{303.121.031,4}{2.473.386,291} = 122,553 \text{ cm}$$

$$a_{c7} = \frac{M_{c7}}{F_{eff}} = \frac{324.670.596,2}{2.473.386,291} = 131,266 \text{ cm}$$

$$a_{c8} = \frac{M_{c8}}{F_{eff}} = \frac{342.509.640}{2.473.386,291} = 138,478 \text{ cm}$$

$$a_{c9} = \frac{M_{c9}}{F_{eff}} = \frac{353.213.066,2}{2.473.386,291} = 142,805 \text{ cm}$$



$$a_{c10} = \frac{M_{c10}}{F_{eff}} = \frac{356.780.875}{2.473.386,291} = 144,248 \text{ cm}$$

d. Keadaan saat beban luar bekerja

Beban BTR $q = 2.980,8 \text{ kg/m}$

$$q = 11.416,988 + 2.980,8 = 14.397,788 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat $P = 12.348 \text{ kg}$

$$M_d = (q \times A) + (P \times Y)$$

$$M_{d1} = (14.397,788 \times 59,375) + (12.348 \times 2,375) = 884.195,162 \text{ kg.m}$$

$$M_{d2} = (14.397,788 \times 112,5) + (12.348 \times 4,5) = 1.675.317,15 \text{ kg.m}$$

$$M_{d3} = (14.397,788 \times 159,375) + (12.348 \times 6,375) = 2.373.365,962 \text{ kg.m}$$

$$M_{d4} = (14.397,788 \times 200) + (12.348 \times 8) = 2.978.341,6 \text{ kg.m}$$

$$M_{d5} = (14.397,788 \times 234,375) + (12.348 \times 9,375) = 3.490.244,062 \text{ kg.m}$$

$$M_{d6} = (14.397,788 \times 265,5) + (12.348 \times 10,5) = 3.952.266,714 \text{ kg.m}$$

$$M_{d7} = (14.397,788 \times 284,375) + (12.348 \times 11,375) = 4.234.829,462 \text{ kg.m}$$

$$M_{d8} = (14.397,788 \times 300) + (12.348 \times 12) = 4.467.512,4 \text{ kg.m}$$

$$M_{d9} = (14.397,788 \times 309,375) + (12.348 \times 12,375) = 4.607.122,162 \text{ kg.m}$$

$$M_{d10} = (14.397,788 \times 312,5) + (12.348 \times 12,5) = 4.653.658,75 \text{ kg.m}$$

$$a_{d1} = \frac{M_{d1}}{F_{eff}} = \frac{88.419.516,2}{2.473.386,291} = 35,748 \text{ cm}$$

$$a_{d2} = \frac{M_{d2}}{F_{eff}} = \frac{167.531.715}{2.473.386,291} = 67,734 \text{ cm}$$

$$a_{d3} = \frac{M_{d3}}{F_{eff}} = \frac{237.336.596,2}{2.473.386,291} = 95,956 \text{ cm}$$

$$a_{d4} = \frac{M_{d4}}{F_{eff}} = \frac{297.834.160}{2.473.386,291} = 120,415 \text{ cm}$$

$$a_{d5} = \frac{M_{d5}}{F_{eff}} = \frac{349.024.406,2}{2.473.386,291} = 141,112 \text{ cm}$$

$$a_{d6} = \frac{M_{d6}}{F_{eff}} = \frac{395.226.671,4}{2.473.386,291} = 159,792 \text{ cm}$$

$$a_{d7} = \frac{M_{d7}}{F_{eff}} = \frac{423.482.946,2}{2.473.386,291} = 171,216 \text{ cm}$$

$$a_{d8} = \frac{M_{d8}}{F_{eff}} = \frac{446.751.240}{2.473.386,291} = 180,623 \text{ cm}$$

$$a_{d9} = \frac{M_{d9}}{F_{eff}} = \frac{460.712.216,2}{2.473.386,291} = 186,268 \text{ cm}$$

$$a_{d10} = \frac{M_{d10}}{F_{eff}} = \frac{465.365.875}{2.473.386,291} = 188,149 \text{ cm}$$

Dari keadaan di atas maka, batas atas dan bawah kabel dapat ditentukan :

- batas atas (a_1) $\frac{MT}{F_{eff}}$, diukur dari kern atas (ka') arah ke bawah.

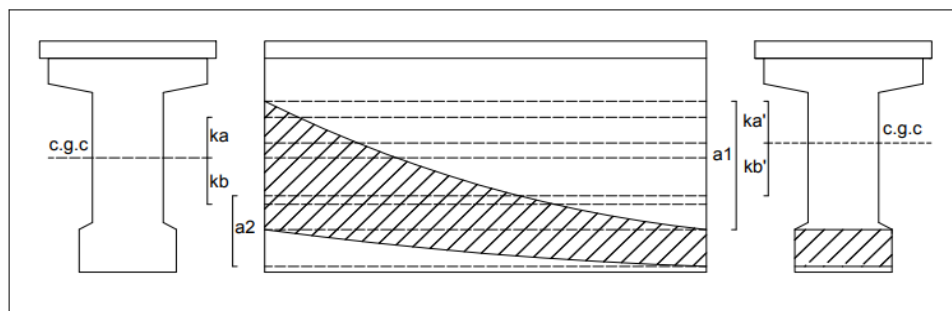
(T.Y lin & H. Burn, 1996 hal 275)

$$a_1 = \frac{MT}{F_{eff}} = \frac{479.535.187,4}{2.473.386,291} = 193,878 \text{ cm}$$

- batas bawah (a_2) $\frac{MG}{F_o}$, diukur dari kern bawah (kb') arah ke bawah.

(T.Y lin & H. Burn, 1996 hal 275)

$$a_2 = \frac{MG}{F_o} = \frac{295.750.000}{2.909.866,225} = 101,634 \text{ cm}$$


Gambar 4.24 Daerah Aman Kabel

(Sumber : Gambar perencanaan)

Tabel 4.4 Posisi Masing–Masing Tendon

Tendon	(z1) posisi tendon di tumpuan (cm)	Jumlah strand	(z2) posisi tendon di tengah bentang (cm)	F (cm)
1	235	19	37,5	197,5
2	235	19	37,5	197,5
3	177,5	19	37,5	140
4	135	19	37,5	97,5
5	92,5	19	12,5	80
6	25	19	12,5	12,5
7	25	19	12,5	12,5
8	25	19	12,5	12,5

(sumber : Hasil analisa perhitungan)

4.9.2 Menentukan Koordinat Tendon

Berdasarkan bentuk tendon parabola maka penempatan kabel disusun :

$$Y = z_1 - \frac{4 \cdot f \cdot x \cdot (L - x)}{L^2}$$

f = tegangan puncak parabola

x = panjang jarak antar diafragma

y = perbedaan tinggi tendon diukur dari ujung

L = panjang benteng = 50 m

- letak tendon 1

$$Y_1 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 197,475 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 163,9 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 134,275 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1000 (5.000 - 1000)}{5.000^2} = 108,6 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 86,875 \text{ cm}$$

$$Y_6 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 69,1 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 55,275 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 45,4 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 39,475 \text{ cm}$$

$$Y_{10} = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 37,5 \text{ cm}$$

- letak tendon 2

$$Y_1 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 197,475 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 163,9 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 134,275 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1000 (5.000 - 1000)}{5.000^2} = 108,6 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 86,875 \text{ cm}$$

$$Y_6 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 69,1 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 55,275 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 45,4 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 39,475 \text{ cm}$$

$$Y_{10} = 235 - \frac{4 \times 197,5 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 37,5 \text{ cm}$$

- letak tendon 3

$$Y_1 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 150,9 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 127,1 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 106,1 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 1.000 (5.000 - 1.000)}{5.000^2} = 87,9 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 72,5 \text{ cm}$$

$$Y_6 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 59,9 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 50,1 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 43,1 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 38,9 \text{ cm}$$

$$Y_{10} = 177,5 - \frac{4 \times 140 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 37,5 \text{ cm}$$

- letak tendon 4

$$Y_1 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 116,475 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 99,9 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 85,275 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 1.000 (5.000 - 1.000)}{5.000^2} = 72,6 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 61,875 \text{ cm}$$

$$Y_6 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 52,848 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 46,275 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 41,4 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 38,475 \text{ cm}$$

$$Y_{10} = 135 - \frac{4 \times 97,5 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 37,5 \text{ cm}$$

- letak tendon 5

$$Y_1 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 77,3 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 63,7 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 51,7 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 1.000 (5.000 - 1.000)}{5.000^2} = 41,5 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 32,5 \text{ cm}$$

$$Y_6 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 25,3 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 19,7 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 15,7 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 13,3 \text{ cm}$$

$$Y_{10} = 92,5 - \frac{4 \times 80 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 12,5 \text{ cm}$$

- letak tendon 6

$$Y_1 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 22,625 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 20,5 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 18,625 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.000 (5.000 - 1.000)}{5.000^2} = 17 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 15,625 \text{ cm}$$

$$Y_6 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 14,5 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 13,625 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 13 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 12,625 \text{ cm}$$

$$Y_{10} = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 12,5 \text{ cm}$$

- letak tendon 7

$$Y_1 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 22,625 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 20,5 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 18,625 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.000 (5.000 - 1.000)}{5.000^2} = 17 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 15,625 \text{ cm}$$

$$Y_6 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 14,5 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 13,625 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 13 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 12,625 \text{ cm}$$

$$Y_{10} = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 12,5 \text{ cm}$$

- letak tendon 8

$$Y_1 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 250 (5.000 - 250)}{5.000^2} = 22,625 \text{ cm}$$

$$Y_2 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 500 (5.000 - 500)}{5.000^2} = 20,5 \text{ cm}$$

$$Y_3 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 750 (5.000 - 750)}{5.000^2} = 18,625 \text{ cm}$$

$$Y_4 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.000 (5.000 - 1.000)}{5.000^2} = 17 \text{ cm}$$

$$Y_5 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.250 (5.000 - 1.250)}{5.000^2} = 15,625 \text{ cm}$$

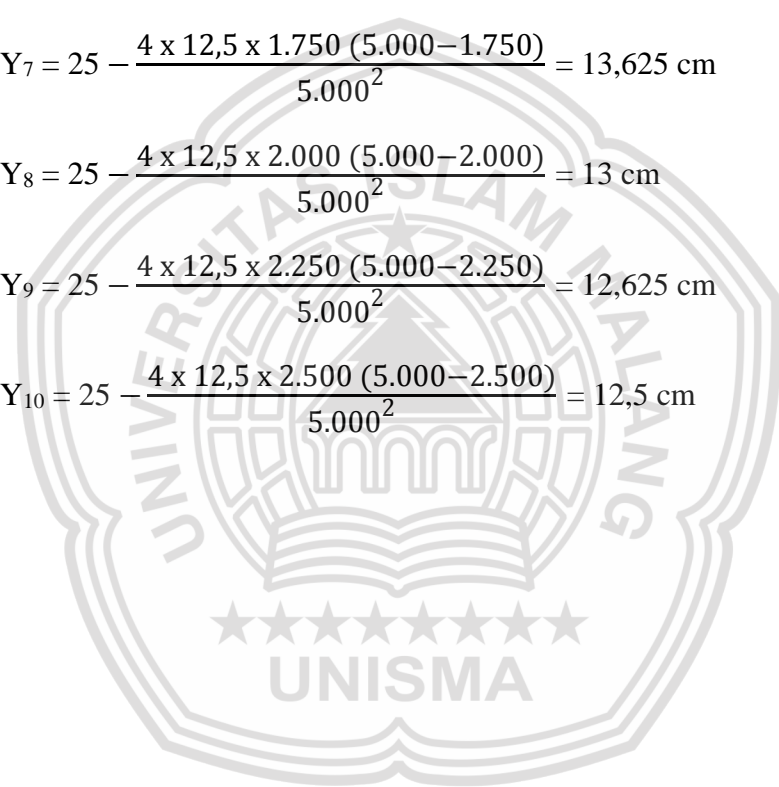
$$Y_6 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.500 (5.000 - 1.500)}{5.000^2} = 14,5 \text{ cm}$$

$$Y_7 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 1.750 (5.000 - 1.750)}{5.000^2} = 13,625 \text{ cm}$$

$$Y_8 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.000 (5.000 - 2.000)}{5.000^2} = 13 \text{ cm}$$

$$Y_9 = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.250 (5.000 - 2.250)}{5.000^2} = 12,625 \text{ cm}$$

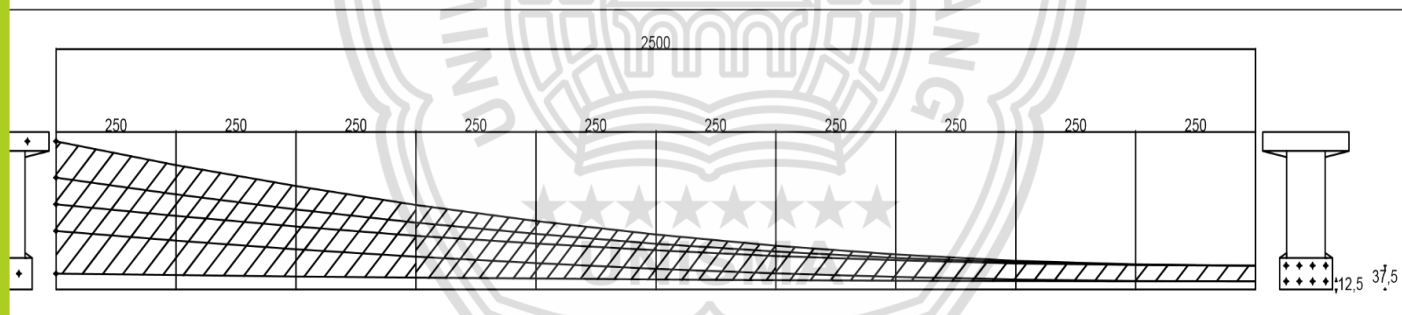
$$Y_{10} = 25 - \frac{4 \times 12,5 \times 2.500 (5.000 - 2.500)}{5.000^2} = 12,5 \text{ cm}$$



Tabel 4.5 Jalur Tendon

Jarak x (cm)	Tendon 1 (cm)	Tendon 2 (cm)	Tendon 3 (cm)	Tendon 4 (cm)	Tendon 5 (cm)	Tendon 6 (cm)	Tendon 7 (cm)	Tendon 8 (cm)
2.50	197,475	197,475	150,9	116,475	77,3	22,625	22,625	22,625
5.00	163,9	163,9	127,1	99,9	63,7	20,5	20,5	20,5
7.50	134,275	134,275	106,1	85,275	51,7	18,625	18,625	18,625
1.000	108,6	108,6	87,9	72,6	41,5	17	17	17
1.250	86,875	86,875	72,5	61,875	32,5	15,625	15,625	15,625
1.500	69,1	69,1	59,9	52,848	25,3	14,5	14,5	14,5
1.750	55,275	55,275	50,1	46,275	19,7	13,625	13,625	13,625
2.000	45,4	45,4	43,1	41,4	15,7	13	13	13
2.250	39,475	39,475	38,9	38,475	13,3	12,625	12,625	12,625
2.500	37,5	37,5	37,5	37,5	12,5	12,5	12,5	12,5

(sumber : hasil analisa perhitungan)



Gambar 4.25 Jalur Tendon

(Sumber : Gambar perencanaan)

4.10 Kontrol Tegangan

Pemeriksaan tegangan pada penampang harus ditinjau dalam beberapa keadaan yaitu :

$$f = -\frac{f_o}{A} \pm \frac{f_o \cdot e \cdot Y}{I} \pm \frac{MG \cdot Y}{I} \quad (\text{T.Y lin \& H. Burns, 1996})$$

Dimana :

$$MG = 295.750.000 \text{ kg.cm}$$

$$\begin{aligned} MD &= MG + M_{\text{plat}} + M_{\text{diafragma}} \\ &= 295.750.000 + 61.030.875 + 7.650.000 = 364.430.875 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$ML = 108.585.000 \text{ kg.cm}$$

$$F_o = 2.909.866,225 \text{ kg}$$

$$F = 2.950.985,769 \text{ kg}$$

$$A = 25.120 \text{ cm}^2$$

$$e = 146,53 \text{ cm}$$

$$I = 158.956.313,292 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{komp}} = 214.183.233,561 \text{ cm}^4$$

$$Y_a = 116,354 \text{ cm}$$

$$Y_b = 113,646 \text{ cm}$$

$$Y_{a'} = 118,999 \text{ cm}$$

$$Y_{b'} = 151,001 \text{ cm}$$

- Keadaan awal

$$\begin{aligned}
 f_a &= -\frac{f_o}{A} + \frac{f_o \cdot e \cdot Y_a}{I} - \frac{MG \cdot Y_a}{I} \\
 &= -\frac{2.909.866,225}{25.120} + \frac{2.909.866,225 \times 146,53 \times 116,354}{158.956.313,292} \\
 &\quad - \frac{295.750.000 \times 116,354}{158.956.313,292}
 \end{aligned}$$

$$= -115,839 + 312,107 - 216,485$$

$$= -20,217 \text{ kg/cm}^2 < 17,68 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok}$$

$$\begin{aligned}
 f_b &= -\frac{f_o}{A} - \frac{f_o \cdot e \cdot Y_b}{I} + \frac{MG \cdot Y_b}{I} \\
 &= -\frac{2.909.866,225}{25.120} - \frac{2.909.866,225 \times 146,53 \times 113,646}{158.956.313,292} \\
 &\quad + \frac{295.750.000 \times 113,646}{158.956.313,292}
 \end{aligned}$$

$$= -115,839 - 304,843 + 211,447$$

$$= -209,235 \text{ kg/cm}^2 < 300 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok}$$

- Keadaan setelah kehilangan gaya pratekan

$$\begin{aligned}
 f_a &= -\frac{f}{A} + \frac{f \cdot e \cdot Y_a}{I} - \frac{MG \cdot Y_a}{I} \\
 &= -\frac{2.950.985,769}{25.120} + \frac{2.950.985,769 \times 146,53 \times 116,354}{158.956.313,292} \\
 &\quad - \frac{295.750.000 \times 116,354}{158.956.313,292}
 \end{aligned}$$

$$= -117,475 + 316,517 - 216,485$$

$$= -17,443 \text{ kg/cm}^2 < 17,68 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok}$$

$$\begin{aligned} \text{fb} &= -\frac{f}{A} - \frac{f.e.Yb}{I} + \frac{MG.Yb}{I} \\ &= -\frac{2.950.985,769}{25.120} - \frac{2.950.985,769 \times 146,53 \times 113,646}{158.956.313,292} \\ &\quad + \frac{295.750.000 \times 113,646}{158.956.313,292} \end{aligned}$$

$$= -117,475 - 309,150 + 211,447$$

$$= -215,178 \text{ kg/cm}^2 < 300 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok}$$

- Keadaan setelah pelat lantai di cor (MG + MD)

$$\begin{aligned} \text{fa} &= -\frac{f}{A} + \frac{f.e.Ya}{I} - \frac{MG.Ya}{I} - \frac{MD.Ya}{I} \\ &= -\frac{2.950.985,769}{25.120} + \frac{2.950.985,769 \times 146,53 \times 116,354}{158.956.313,292} - \\ &\quad \frac{295.750.000 \times 116,354}{158.956.313,292} - \frac{364.430.875 \times 116,354}{158.956.313,292} \end{aligned}$$

$$= -117,475 + 316,517 - 216,485 - 266,759$$

$$= -284,202 \text{ kg/cm}^2 < 17,68 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok}$$

$$\begin{aligned} \text{fb} &= -\frac{f}{A} - \frac{f.e.Yb}{I} + \frac{MG.Yb}{I} + \frac{MD.Yb}{I} \\ &= -\frac{2.950.985,769}{25.120} - \frac{2.950.985,769 \times 138,593 \times 113,646}{158.956.313,292} + \\ &\quad \frac{295.750.000 \times 113,646}{158.956.313,292} + \frac{364.430.875 \times 113,646}{158.956.313,292} \end{aligned}$$

$$= -117,475 - 292,405 + 211,447 + 260,550$$

$$= 62,117 \text{ kg/cm}^2 < 300 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok}$$

- Keadaan setelah beban luar bekerja (MG + MD + ML)

$$\begin{aligned}
 f_a &= -\frac{f}{A} + \frac{f.e.Y_a}{I} - \frac{MG.Y_a}{I} - \frac{MD.Y_a}{I} - \frac{ML.Y_a}{I} \\
 &= -\frac{2.950.985,769}{25.120} + \frac{2.950.985,769 \times 146,53 \times 116,354}{158.956.313,292} - \\
 &\quad \frac{295.750.000 \times 116,354}{158.956.313,292} - \frac{364.430.875 \times 116,354}{158.956.313,292} - \\
 &\quad \frac{108.585.000 \times 118,999}{158.956.313,292} \\
 &= -117,475 + 316,517 - 216,485 - 266,759 - 81,29 \\
 &= -365,492 \text{ kg/cm}^2 < 17,68 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok} \\
 f_b &= -\frac{f}{A} - \frac{f.e.Y_b}{I} + \frac{MG.Y_b}{I} + \frac{MD.Y_b}{I} - \frac{ML.Y_b}{I} \\
 &= -\frac{2.950.985,769}{25.120} - \frac{2.950.985,769 \times 146,53 \times 113,646}{158.956.313,292} + \\
 &\quad \frac{295.750.000 \times 113,646}{158.956.313,292} + \frac{364.430.875 \times 113,646}{158.956.313,292} - \\
 &\quad \frac{108.585.000 \times 151,001}{158.956.313,292} \\
 &= -117,475 - 309,150 + 211,447 + 260,55 - 103,151 \\
 &= -57,779 \text{ kg/cm}^2 < 300 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{ok}
 \end{aligned}$$

4.10.1 Kontrol Kehilangan Tegangan

Metode penarikan kabel menggunakan sistem post tensioning, sehingga jenis kehilangan gaya pratekan adalah :

1. Kehilangan akibat deformasi elastisitas beton

$$ES = \Delta f_s = \frac{n \times F_o}{Ac} \text{ (T.Y lin \& H. Bruns, 1996)}$$

Dimana :

$$F_o = \text{gaya pratekan satu tendon} = 350.000 \text{ kg}$$

$$n = E_s / E_c$$

$$E_s = 1,9 \cdot 10^6 \text{ kg. cm}^2 \text{ (tabel VCL)}$$

$$= 1.900.000 \text{ kg. cm}^2$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c}$$

$$= 4700\sqrt{50} = 33.234,02 \text{ Mpa}$$

$$= 332.340,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \frac{1.900.000}{332.340,2} = 5,7$$

$$A_c = \text{luas penampang balok} = 25.120 \text{ cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon pertama :

$$F_o = 8 \times 350.000 = 2.800.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 2.800.000}{25.120} = 635,35 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon kedua :

$$F_o = 7 \times 350.000 = 2.450.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 2.450.000}{25.120} = 555,931 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon ketiga :

$$F_o = 6 \times 350.000 = 2.100.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 2.100.000}{25.120} = 476,513 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon keempat :

$$F_o = 5 \times 350.000 = 1.750.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 1.750.000}{25.120} = 397,094 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon kelima :

$$F_o = 4 \times 350.000 = 1.400.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 1.400.000}{25.120} = 317,675 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon keenam :

$$F_o = 3 \times 350.000 = 1.050.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 1.050.000}{25.120} = 238,256 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon ketujuh :

$$F_o = 2 \times 350.000 = 700.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 700.000}{25.120} = 158,837 \text{ kg/cm}^2$$

- Gaya yang menyebabkan perpendekan pada tendon kedelapan :

$$F_o = 1 \times 350.000 = 350.000 \text{ kg}$$

$$\Delta f_s = \frac{n \times F_o}{A_c} = \frac{5,7 \times 350.000}{25.120} = 79,419 \text{ kg/cm}^2$$

Maka kehilangan rata-rata untuk tendon perpendekan elastis adalah :

$$ES = \frac{635,35 + 555,931 + 476,513 + 397,094 + 317,675 + 238,256 + 158,837 + 79,419}{8}$$

$$= 357,384 \text{ kg/cm}^2$$

2. Kehilangan Akibat Beban Rangkak

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cir} - f_{cds}) \text{ (T.Y lin \& H Bruns, 1996)}$$

Dimana :

K_{cr} = 2,0 untuk struktur pratarik,

= 1,6 untuk struktur pasca tarik

E_s = $1,9 \cdot 10^6$ kg. cm² (tabel VCL)

= 1.900.000 kg. cm²

E_c = modulus elastisitas beton

= $4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{50} = 33.234,02$ Mpa = 332.340,2 kg/cm²

MT = 479.535.187,4 Kg.cm

ML = 108.585.000 Kg.cm

MP = MT – ML

= 479.535.187,4 – 108.585.000 = 370.950.187,4 kg.cm

F_{cir} = Tegangan beton pada garis berat baja (c.g.c) akibat F_o

$$F_{cir} = \frac{F_o}{A} + \frac{F_o \cdot e^2}{I} - \frac{MG \cdot e}{I}$$

$$f_{cir} = \frac{2.909.866,225}{25.120} + \frac{2.909.866,225 \cdot 146,53^2}{158.956.313,292} - \frac{295.750.000 \cdot 146,53}{158.956.313,292}$$

= 115,839 + 393,05 – 27,23 = 481,659 kg/cm²

f_{cds} = Tegangan beton pada c.g.c akibat seluruh beban mati yang bekerja

pada komponen struktur setelah diberi gaya pratekan.

$$f_{cds} = \frac{MP \cdot e}{I} = \frac{370.950.187,4 \times 146,53}{158.956.313,292} = 341,951 \text{ kg/cm}^2$$

$$CR = 1,6 \cdot \frac{1.900.000}{332.340,2} (481,659 - 341,951) = 1.277,944 \text{ kg/cm}^2$$

3. Kehilangan akibat susut beton

$$SH = \epsilon_{sh} \cdot K_{sh} \cdot E_s \text{ (T.Y lin \& H Bruns, 1996)}$$

Dimana :

$$\epsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,006 \times \frac{V}{S} \right) \times (100 - RH)$$

$$K_{sh} = \text{koefisien susut} = 0,8 \text{ (5 hari setelah perawatan basah)}$$

$$V = \text{luas penampang} = 25.120 \text{ cm}^2$$

$$S = \text{keliling balok yang berhubungan dengan udara terbuka}$$

$$\begin{aligned} &= 180 + 30 + 50,99 + 152 + 17 + 50 + 110 + 50 + 17 + 152 + 50,99 \\ &+ 30 \\ &= 889,98 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{25.120}{889,98} = 28,225 \text{ cm}$$

$$RH = \text{Kelembaban udara relatif } 70\% \text{ (normal) ; } 90\% \text{ (lembab)}$$

$$\epsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,006 \times \frac{V}{S} \right) \times (100 - 70)$$

$$= 8,2 \times 10^{-6} (1 - 0,06 \times 28,225) \times (100 - 70)$$

$$= 2,043 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned}
 SH &= \epsilon_{sh} \cdot K_{sh} \cdot E_s \\
 &= 2,043 \times 10^{-4} \times 0,8 \times 1.900.000 \\
 &= 310,536 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

4. Kehilangan akibat relaksasi baja

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)] \cdot C \text{ (T.Y lin \& H Bruns, 1996)}$$

Tipe tendon yang digunakan adalah strand atau kawat stress relieved 1860 Mpa, maka didapat nilai $J = 0,15$ dan $K_{re} = 138 \text{ Mpa} = 1380 \text{ kg/cm}^2$

(T.Y lin & H Bruns, 1996)

$$\begin{aligned}
 f_{pi} / f_{pu} &= 13.190,153 / 18.843,076 = 0,7 \text{ maka } C = 0,75 \\
 RE &= [1.380 - 0,15(310,536 + 1.277,944 + 357,384)] \cdot 0,75 \\
 &= 816,09 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Total kehilangan gaya prapenegangan adalah :

$$\begin{aligned}
 f_{st} &= ES + CR + SH + RE \\
 &= 357,384 + 1.277,944 + 310,536 + 816,09 \\
 &= 2.761,954 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Prosentase kehilangan tegangan adalah :

$$\frac{f_{st}}{f_{pu}} \times 100\% = \frac{2.761,954}{18.843,076} \times 100\% = 14,657\% < 20\% \dots \text{ aman !}$$

4.11 Perhitungan Balok Ujung (*End Block*)

Gaya yang bekerja pada balok adalah akibat distribusi gaya pratekan pada balok balok yang bekerja sebagai gaya yang terbagi rata pada penampang balok.

- Gaya tarik satu tendon (P) = 350.000 kg
- Digunakan angkur hidup tipe 5-19 Sc dan angkur mati tipe 5-19 P
- Bearing plat (26,5 x 26,5) cm²

Perhitungan End Block merupakan gaya tunggal yang sentris

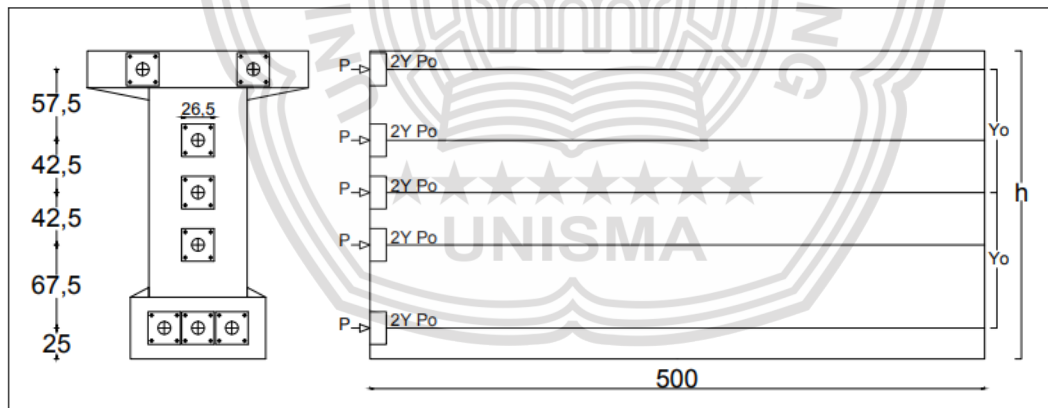
$$d = 26,5 \text{ cm}$$

$$d' = 500 \text{ cm (panjang daerah end block)}$$

$$2Y_{Po} = d = 26,5 \text{ cm}$$

$$2Y_o = d' = 500 \text{ cm}$$

$$F_y = 350 \text{ MPa} = 3.500 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 4.26 Balok Ujung

(Sumber : Gambar perencanaan)

$$\text{Perbandingan} = \frac{2Y_{Po}}{2Y_o} = \frac{26,5}{500} = 0,053 \text{ cm}$$

Gaya tarik pemecah (*Bursting Force*) :

$$F_{bst} = 03 \cdot P \left(1 - \frac{2YP_0}{2Y_0} \right)^{0,58} \quad (\text{Krisna Raju, 1989})$$

$$= 0,3 \times 350.000 (1 - 0,053)^{0,58} = 101.735,444 \text{ kg.cm}$$

Tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \frac{F_{bst}}{F_y} = \frac{101.735,444}{3500} = 29,067 \text{ cm}^2 = 2.906,7 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D19 – 75 ; $A_s = 3.780 \text{ mm}^2$

4.11.1 Kontrol Terhadap Geser

1. Akibat Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 9,464 \text{ kg}$$

$$\text{Berat plat lantai kendaraan} = 1.952,988 \text{ kg} +$$

$$q = 11.416,988 \text{ kg}$$

$$\text{Balok diafragma (P)} = 1.224 \text{ kg}$$

$$R_A = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L + \left(\frac{1}{2} \cdot P \right)$$

$$= \frac{1}{2} \times 11.416,988 \times 50 + \left(\frac{1}{2} \times 1.224 \right) = 286.036,7 \text{ kg}$$

$$V_{td} = \text{sepanjang } 2,50 \text{ m}$$

$$V_{td} = R_A - P - (q \cdot 2,50)$$

$$= 286.036,7 - 1.224 - (11.416,988 \times 2,50)$$

$$= 256.270,23 \text{ kg}$$

Momen yang terjadi sejauh 2,50 m dari tumpuan :

$$\begin{aligned}M_{DL} &= RA \cdot x - (\frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2) - p \cdot x \\&= 270.036,7 \times 2,50 - (\frac{1}{2} \times 11.416,988 \times 2,50^2) - 1.224 \times 2,50 \\&= 636.353,662 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

2. Akibat Beban Hidup

Reaksi perletakan :

$$\begin{aligned}RA &= RB \\&= \frac{1}{2} \cdot q \cdot L + p \text{ (Nilai } q \text{ dari BTR dan } p \text{ dari BGT)} \\&= \frac{1}{2} \times 2.980,8 \times 50 + 12.348 \\&= 86.868 \text{ kg} \\VL &= RA - (q \cdot 2,50) \\&= 86.868 - (2.980,8 \times 2,50) \\&= 79.416 \text{ kg}\end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada jarak 2,50 m adalah :

$$\begin{aligned}MLL &= RA \cdot 2,50 - (\frac{1}{2} \cdot q \cdot 2,50) - (p \cdot 2,50) \\&= 86.868 \times 2,50 - (\frac{1}{2} \times 2.980,8 \times 2,50) - (12.348 \times 2,50) \\&= 182.574 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser :

$$Vu = V_{td} + VL$$

$$= 256.270,23 + 79.416$$

$$= 335.686,23 \text{ kg}$$

$$M_u = M_{DL} + M_{LL}$$

$$= 636.353,662 + 182.574$$

$$= 818.927,662 \text{ kg.m}$$

Kuat geser pada beton :

$$V_c = \left(\frac{1}{20} + \frac{5 \cdot V_u \cdot d}{M_u} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Dimana :

V_u = gaya geser berfaktor pada penampang

b_w = lebar badan balok = 0,8 m

d = merupakan nilai terbesar dari jarak serat tekan terluar ke serat tarik terluar atau (0,8 x h), dengan h adalah tinggi balok = 0,8 x 2,50 = 2,00 m

M_u = momen lentur pada penampang

$$V_c = \left(\frac{1}{20} + \frac{5 \times 335.686,23 \times 2}{818.927,662} \right) \times 0,8 \times 2$$

$$= 7,393 \text{ kg}$$

$V_u > V_c$ maka diperlukan tulangan geser.

Perhitungan Tulangan Geser :

$$F_y = 350 \text{ Mpa} = 3.500 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_u = 335.686,23 \text{ kg}$$

$$V_c = 7,393 \text{ kg}$$

Digunakan diameter tulangan = 22 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas sengkang } A_v &= 2 \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\ &= \left(\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 22^2 \right) \\ &= 379,94 \text{ mm}^2 = 3,799 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$V = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{335.686,23}{0,85} - 7,393 = 394.917,583 \text{ kg}$$

$$S = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{v} = \frac{3,799 \times 3.500 \times 200}{394.917,583} = 6,734 \text{ cm}$$

Kontrol Tulangan Geser :

$$V_s = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{s} = \frac{5,668 \times 3.500 \times 200}{6,734} = 589.189,189 \text{ cm}$$

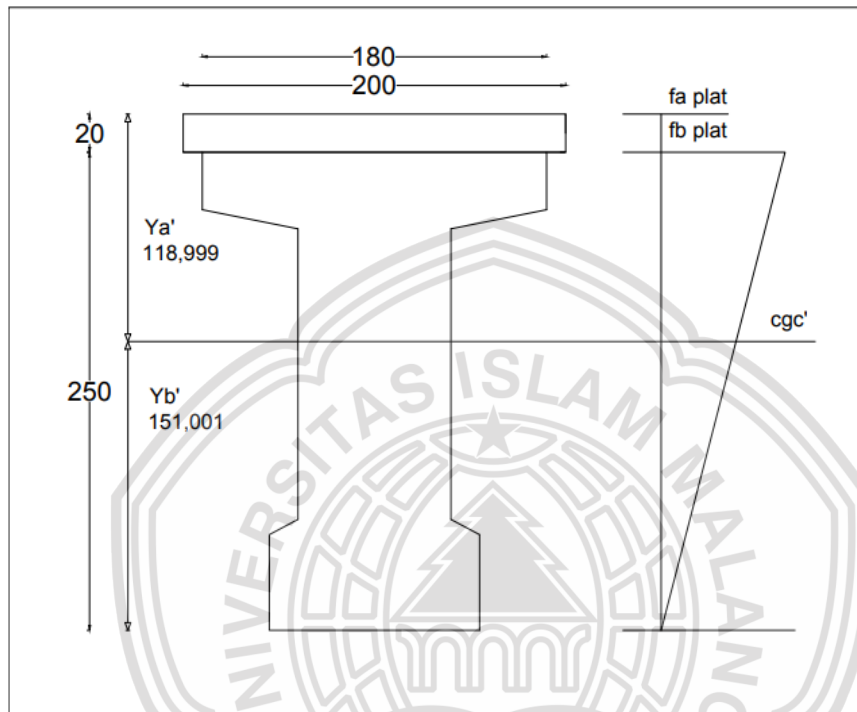
$$\text{Syarat : } V_u \leq \phi (V_c + V_s)$$

$$\text{Maka : } 335.686,23 \leq 0,85 (7,393 + 589.189,189)$$

$$: 335.686,23 \leq 500.817,095 \text{ kg} \dots \text{ok}$$

4.12 Perencanaan *Shear Conector*

Penggunaan *Shear conector* dimaksudkan agar terjadi ikatan antara balok girder prategang dengan pelat lantai jembatan, sehingga tidak terjadi gaya gesek.



Gambar 4.27 Tegangan Pada Tengah Betang Saat Beban Bekerja

(Sumber : Gambar perencanaan)

$$\text{Mutu plat} = f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu balok} = F_c' = 50 \text{ Mpa}$$

$$E_c \text{ plat} = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa} = 235000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c \text{ balok} = 4700 \sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{50} = 33234,02 \text{ MPa} = 332340,2 \text{ kg/cm}^2$$

Rasio modulus elastisitas plat dan balok :

$$n = \frac{E_{\text{cor ditempat}}}{E_{\text{pracetak}}} = \frac{E_c \text{ plat}}{E_c \text{ balok}} = \frac{235000}{332340,2} = 0,71$$

$$I_{\text{komp}} = 214.183.233,561 \text{ cm}^4$$

$$MT = 479.535.187,4 \text{ kg.cm}$$

$$\begin{aligned}
 A' &= 29.120 \text{ cm}^2 \\
 F &= 2.950.985,769 \text{ kg} \\
 Ya' &= 118,999 \text{ cm} \\
 e &= 146,53 \text{ cm} \\
 hf &= 20 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

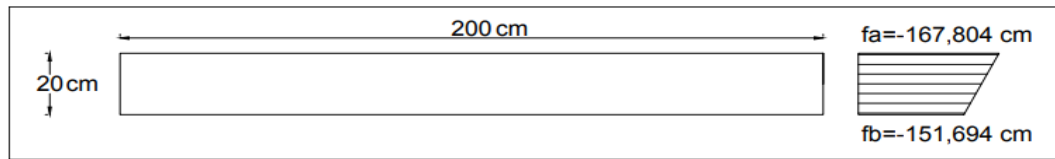
- Tegangan serat plat atas

$$\begin{aligned}
 fa \text{ plat} &= -\frac{F}{A'} \cdot n + \frac{F \cdot e ya'}{I_{komp}} \cdot n - \frac{MT \cdot ya'}{I_{komp}} \\
 &= -\frac{2.950.985,769}{29.120} \times 0,71 + \frac{2.950.985,769 \times 146,53 \times 118,999}{214.183.233,561} \times 0,71 - \\
 &\quad \frac{479.535.187,4 \times 118,999}{214.183.233,561} \\
 &= -71,95 + 170,573 - 266,427 = -167,804 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Tegangan pada serat bawah

$$\begin{aligned}
 fb \text{ plat} &= -\frac{F}{A'} \cdot n + \frac{F \cdot e (ya' - hf)}{I_{komp}} \cdot n - \frac{MT \cdot (ya' - hf)}{I_{komp}} \\
 &= -\frac{2.950.985,769}{29.120} \times 0,71 + \frac{2.950.985,769 \times 146,53 \times (118,999 - 20)}{214.183.233,561} \times \\
 &\quad 0,71 - \frac{479.535.187,4 \times (118,999 - 20)}{214.183.233,561} \\
 &= -71,95 + 141,905 - 221,649 = -151,694 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

- Gaya geser horizontal



Gambar 4.28 Tegangan pada Tengah Bentang saat Beban Bekerja

(Sumber : Gambar perencanaan)

$$H = \frac{fa+fb}{2} hf \cdot beff$$

$$= \frac{167,804 + 151,694}{2} \times 20 \times 200 = 638,996 \text{ kg}$$

Perhitungan jumlah shear connector

Data perencanaan :

- Panjang bentang (L) = 50 m, setengah bentang 25 m
- Diameter shear connector = D16 mm
- Kuat leleh (fy) = 350 Mpa
- Mutu beton (fc') = 25 Mpa

Penyelesaian :

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

$$= 4700 \sqrt{25} = 23.500 \text{ MPa}$$

Ukuran shear connector yang direncanakan adalah

$$Asc = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2$$

$$= 200,96 \text{ mm}^2$$

Kuat geser satu shear connector dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_n &= 0,5 \cdot A_{sn} \cdot \sqrt{f_{c'} \cdot E_c} \\
 &= 0,5 \times 200,96 \times \sqrt{25 \times 23.500} \\
 &= 77.016,461 \text{ Mpa/mm}^2 \\
 &= 770.164,61 \text{ kg/mm}^2 \\
 &= 7701,646 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi, untuk 2 stud = $2 \times 7701,646 = 15.403,292 \text{ kg/cm}^2$

Jarak antar shear connector dipengaruhi oleh besarnya gaya yang bekerja pada balok girder. Semakin besar gaya lintang yang bekerja pada balok girder maka, jarak antara shear connector akan semakin rapat.

Tegangan geser yang terjadi :

a. Akibat beban mati ★★★★★★

Berat plat lantai kendaraan (q)	= 1.952,988	kg.m
Berat sendiri balok (q)	= <u>9.464</u>	<u>kg.m</u> +
q total	= 11.416,988	kg.m
Berat diafragma (P)	= 1.224	kg.m
P total = 1.224 x 10	= 12.240	kg.m
Panjang jembatan (L)	= 50	m

- Gaya lintang pada tiap titik :

$$\begin{aligned}R_a &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot L + P \\ &= \frac{1}{2} \times 11.416,988 \times 50 + 12.240 = 297.664,7 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$D_x = R_a - q \cdot x$$

Dimana :

$$D_x = \text{Gaya lintang di titik } x \text{ (kg)}$$

$$R_a = \text{Reaksi tumpuan (kg)}$$

$$q = \text{Berat plat lantai (kg/m)}$$

$$x = \text{Jarak titik tinjau (m)}$$

$$\begin{aligned}D_c &= R_a - (q \times 2,5) \\ &= 297.664,7 - (11.416,988 \times 2,5) \\ &= 269.122,23 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_d &= R_a - (q \times 7,5) \\ &= 297.664,7 - (11.416,988 \times 7,5) \\ &= 212.037,29 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_e &= R_a - (q \times 12,5) \\ &= 297.664,7 - (11.416,988 \times 12,5) \\ &= 154.952,35 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_f &= R_a - (q \times 17,5) \\ &= 297.664,7 - (11.416,988 \times 17,5) \\ &= 97.867,41 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_g &= R_a - (q \times 22,5) \\
 &= 297.664,7 - (11.416,988 \times 22,5) \\
 &= 40.782,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_h &= R_a - (q \times 27,5) \\
 &= 297.664,7 - (11.416,988 \times 27,5) \\
 &= -16.302,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. Akibat beban hidup :

$$\text{Berat BTR (q)} = 2.980,8 \text{ kg/m}$$

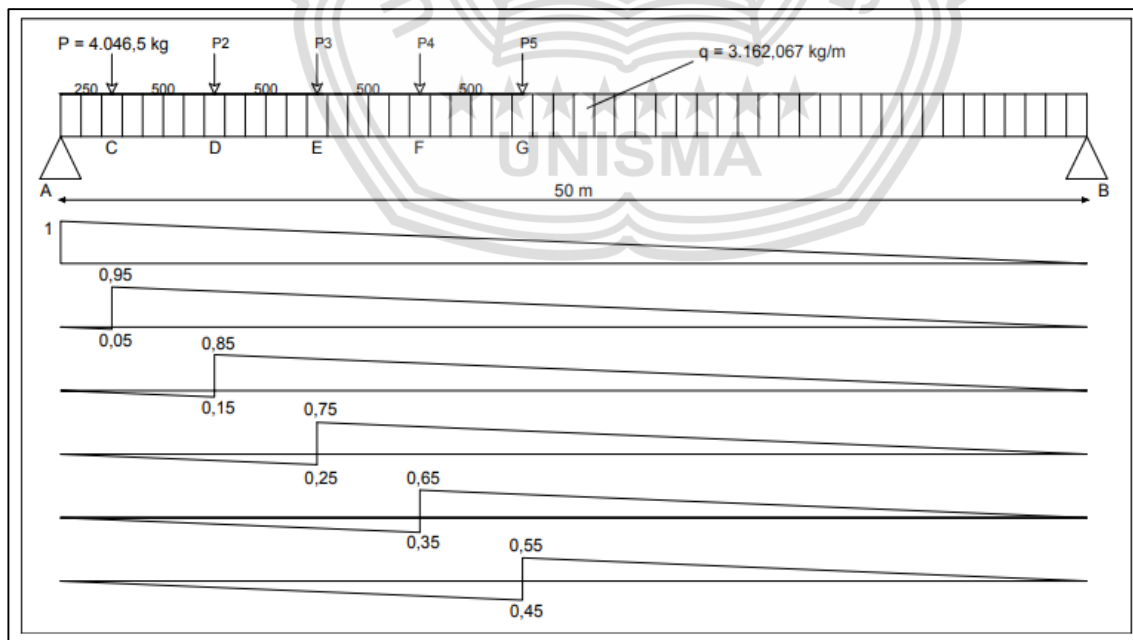
$$q_w = 181,267 \text{ kg/m} +$$

$$q \text{ total} = 3.162,067 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban garis (P)} = 1.234 \text{ kg}$$

$$\text{PRU} = 2.812,5 \text{ kg} +$$

$$P \text{ total} = 4.046,5 \text{ kg}$$



Gambar 4.29 Skema Pembebanan beban Hidup dan Gaya Lintang

(Sumber : Gambar perencanaan)

- Gaya lintang pada titik :

$$RA = \frac{1}{2} \cdot q \cdot L + P$$

$$= \frac{1}{2} \times 3.162,067 \times 50 + 4.046,5 = 83.098,175 \text{ kg}$$

$$Dx = P \cdot y + \left(\frac{1}{2} \cdot q \cdot y \cdot L - x\right)$$

Dimana :

$$Dx = \text{Gaya lintang di titik } x \text{ (kg)}$$

$$P = \text{Beban garis total (kg)}$$

$$y = \text{Nilai garis pengaruh pada titik tinjau}$$

$$x = \text{Jarak titik tinjau (m)}$$

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

$$q = \text{Beban merata total (kg/m)}$$

$$DC = 4.046,5 \times 0,95 + \left(\frac{1}{2} \times 3.162,067 \times 0,95 \times 50 - 2,5\right) = 78.940,766 \text{ kg}$$

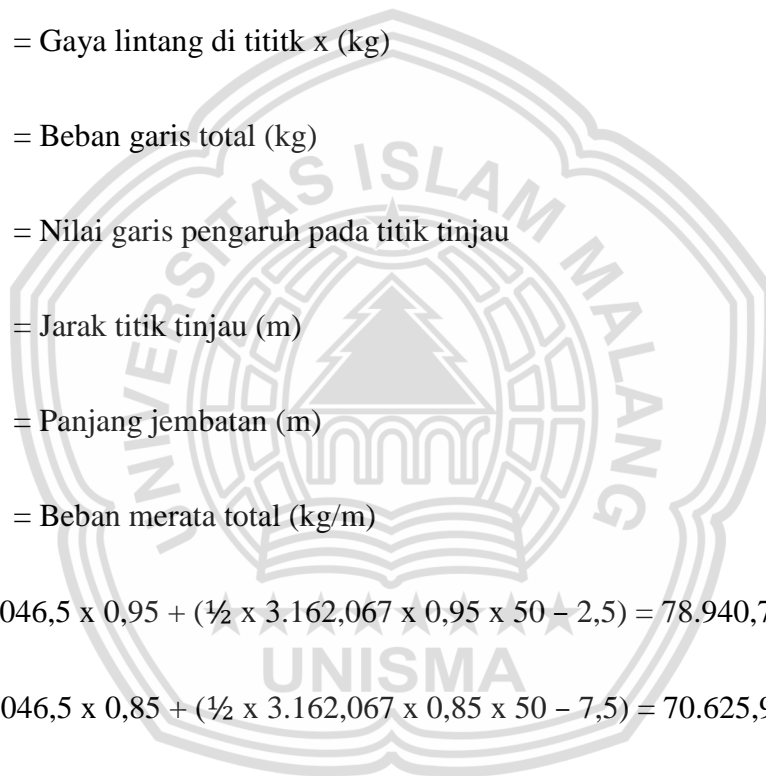
$$DD = 4.046,5 \times 0,85 + \left(\frac{1}{2} \times 3.162,067 \times 0,85 \times 50 - 7,5\right) = 70.625,949 \text{ kg}$$

$$DE = 4.046,5 \times 0,75 + \left(\frac{1}{2} \times 3.162,067 \times 0,75 \times 50 - 12,5\right) = 62.311,131 \text{ kg}$$

$$DF = 4.046,5 \times 0,65 + \left(\frac{1}{2} \times 3.162,067 \times 0,65 \times 50 - 17,5\right) = 53.996,314 \text{ kg}$$

$$DG = 4.046,5 \times 0,55 + \left(\frac{1}{2} \times 3.162,067 \times 0,55 \times 50 - 22,5\right) = 45.681,496 \text{ kg}$$

$$DH = 4.046,5 \times 0,45 + \left(\frac{1}{2} \times 3.162,067 \times 0,45 \times 50 - 27,5\right) = 37.366,679 \text{ kg}$$



Rekapitulasi gaya geser akibat beban mati dan beban hidup :

$$DA = 297.664,7 + 83.098,175 = 380.762,875 \text{ kg}$$

$$DC = 269.122,23 + 78.940,766 = 348.062,996 \text{ kg}$$

$$DD = 212.037,29 + 70.625,949 = 282.663,239 \text{ kg}$$

$$DE = 154.952,35 + 62.311,131 = 217.263,481 \text{ kg}$$

$$DF = 97.867,41 + 53.996,314 = 151.863,724 \text{ kg}$$

$$DG = 40.782,47 + 45.681,496 = 86.463,966 \text{ kg}$$

$$DH = 16.302,47 + 37.366,679 = 53.669,149 \text{ kg}$$

c. Daya dukung shear connector masing masing pada tiap titik

$$q = \frac{D \cdot S}{I_{koms}}$$

Dimana :

D = gaya lintang ★★★★★★

I_{komp} = momen inersia balok pratekan setelah komposit
= 214.183.333,333 cm⁴

Ya' = 118,999 cm

S = Section modulus beton $q = \frac{I_{komp}}{Y}$

$$= \frac{214.183.333,333}{118,999} = 1.799.875,069 \text{ cm}^3$$

$$q_A = \frac{DA \cdot S}{I} = \frac{380.762,875 \times 1.799.875,069}{214.183.333,333} = 3.199,715 \text{ kg/cm}$$

$$q_C = \frac{DC \cdot S}{I} = \frac{348.062,996 \times 1.799.875,069}{214.183.333,333} = 2.924,924 \text{ kg/cm}$$

$$q_D = \frac{DD \cdot S}{I} = \frac{282.663,239 \times 1.799.875,069}{214.183.333,333} = 2.375,341 \text{ kg/cm}$$

$$q_E = \frac{DE \cdot S}{I} = \frac{217.263,481 \times 1.799.875,069}{214.183.333,333} = 1.800,539 \text{ kg/cm}$$

$$q_F = \frac{DF \cdot S}{I} = \frac{151.863,724 \times 1.799.875,069}{214.183.333,333} = 1.276,176 \text{ kg/cm}$$

$$q_G = \frac{DG \cdot S}{I} = \frac{86.463,966 \times 1.799.875,069}{214.183.333,333} = 726,594 \text{ kg/cm}$$

$$q_H = \frac{DH \cdot S}{I} = \frac{53.669,149 \times 1.799.875,069}{214.183.333,333} = 451,005 \text{ kg/cm}$$

d. Perhitungan jarak *shear connector*

$$m = \frac{Q}{q}$$

Dimana :

m = Jarak antar *shear connector*

Q = Kekuatan batas *shear connector*

q = Daya dukung *shear connector* di tiap titik

$$m_A = \frac{Q}{q_A} = \frac{15.403,292}{3.199,715} = 4,814 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$$

$$m_C = \frac{Q}{q_C} = \frac{15.403,292}{2.924,924} = 5,266 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm, jumlah 50 buah.}$$

$$m_D = \frac{Q}{q_D} = \frac{15.403,292}{2.375,341} = 6,485 \text{ cm} \approx 6 \text{ cm, jumlah 84 buah.}$$

$$m_E = \frac{Q}{q_E} = \frac{15.403,292}{1.800,539} = 8,555 \text{ cm} \approx 9 \text{ cm, jumlah 56 buah.}$$

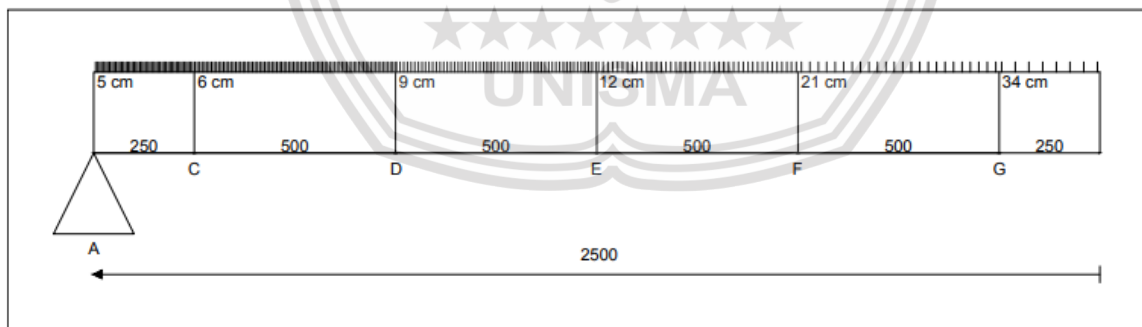
$$m_F = \frac{Q}{q_F} = \frac{15.403,292}{1.276,176} = 12,07 \text{ cm} \approx 12 \text{ cm, jumlah 42 buah.}$$

$$m_G = \frac{Q}{q_G} = \frac{15.403,292}{726,594} = 21,199 \text{ cm} \approx 21 \text{ cm, jumlah 24 buah.}$$

$$m_H = \frac{Q}{q_H} = \frac{15.403,292}{451,005} = 34,153 \text{ cm} \approx 34 \text{ cm, jumlah 16 buah.}$$

$$= \frac{16}{2} = 8 \text{ buah}$$

Karena titik tengah berada diantara titik G dan H, maka untuk mencari jumlah *shear connector* yaitu dengan cara membagi 2 jumlah dari m_H .



Gambar 4.30 Penempatan *Shear Connector*

(Sumber : Gambar perencanaan)

4.13 Kontrol Lendutan

Lendutan ditinjau dari keadaan yang paling berbahaya yaitu :

Dimana :

$$F_o = 2.909.866,225 \text{ kg}$$

$$e = 146,53 \text{ cm}$$

$$I_{\text{komp}} = 214.183.233,561 \text{ cm}^4$$

$$E_c = 4700 \sqrt{25} = 23.500 \text{ MPa}$$

$$L = 50 \text{ m} = 5.000 \text{ cm}$$

$$\text{Berat sendiri balok (q)} = 9.464 \text{ kg/m}$$

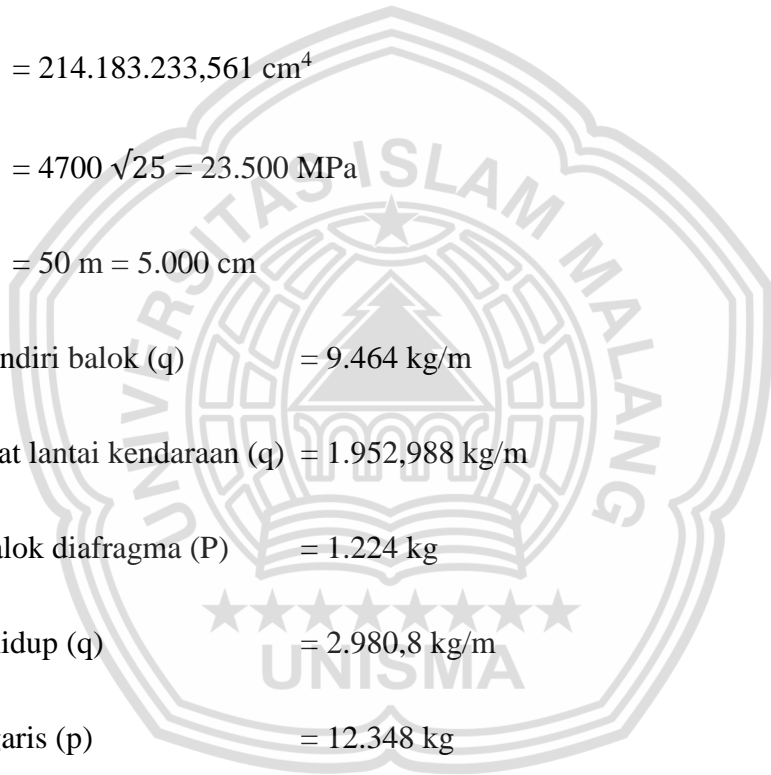
$$\text{Berat plat lantai kendaraan (q)} = 1.952,988 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat balok diafragma (P)} = 1.224 \text{ kg}$$

$$\text{Beban hidup (q)} = 2.980,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban garis (p)} = 12.348 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya rem (p)} = 5.625 \text{ kg}$$



a. Akibat gaya pratekan

$$\Delta = \frac{5 \cdot F_0 \cdot e \cdot L^2}{48 \cdot Ec \cdot I_{komp}} \quad (\text{Krisna Raju, 1989})$$

$$= \frac{5 \times 2.909.866,225 \times 146,53 \times 5000^2}{48 \times 23.500 \times 214.183.233,561}$$

$$= 220,604 \text{ cm (ke atas)}$$

b. Akibat beban mati

- Beban mearata

$$q = 9.464 + 1.952,988 = 11.416,988 \text{ kg/m} = 114,17 \text{ kg/cm}$$

$$\Delta = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot Ec \cdot I_{komp}}$$

$$= \frac{5 \times 114,17 \times 5000^4}{384 \times 23.500 \times 214.183.233,561}$$

$$= 184,594 \text{ cm (ke bawah)}$$

- Beban terpusat (diafragma)

$$\Delta = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot Ec \cdot I_{komp}}$$

$$= \frac{12,24 \times 5000^3}{48 \times 23.500 \times 214.183.233,561}$$

$$= 0,006 \text{ cm (ke bawah)}$$

c. Akibat beban hidup

- Beban merata

$$q = 2.980,8 \text{ kg/m} = 29,808 \text{ kg/cm}$$

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot Ec \cdot I_{kompI}} \\ &= \frac{5 \times 29,808 \times 5000^4}{384 \times 23.500 \times 214.183.233,561} \\ &= 48,194 \text{ cm (ke bawah)}\end{aligned}$$

- Beban terpusat (beban garis)

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot Ec \cdot I} \\ &= \frac{123,48 \times 5000^3}{48 \times 23.500 \times 214.183.233,561} \\ &= 0,021 \text{ cm (ke bawah)}\end{aligned}$$

- d. Akibat beban rem

$$\begin{aligned}\Delta &= \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot Ec \cdot I_{komp}} \\ &= \frac{5.625 \times 5000^3}{48 \times 23.500 \times 214.183.233,561} \\ &= 2,91 \text{ cm (ke bawah)}\end{aligned}$$

Maka total lendutan yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned}\Delta \text{ total} &= (184,594 + 0,006 + 48,194 + 0,021 + 2,91) - 220,604 \\ &= 15,121 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\Delta \text{ ijin} = \frac{5.000}{300} = 16,667 \text{ cm}$$

$$\Delta \text{ total} < \Delta \text{ ijin} = 15,121 \text{ cm} < 16,667 \text{ cm}$$

4.14 Perencanaan Bantalan Elastomer

Data diketahui dari perhitungan sebelumnya :

- Berat sendiri balok (q) = 9.464 kg/m
- Berat plat lantai kendaraan (q) = 1.952,988 kg/m
- Berat balok diafragma (P) = 1.224 kg
- Beban hidup (q) = 2.980,8 kg/m
- Beban garis (p) = 12.348 kg
- Gaya rem (p) = 5.625 kg
- Beban angin = 181,267 kg/m
- Beban mati (DL)
 - Beban mati lantai kendaraan = 1.952,988 kg/m x 50 m = 97649,4 kg.m
 - Beban sendiri gelagar = 9.464 kg/m x 50 m = 473200 kg.m
 - Beban diafragma = 1.224 kg.m x 10 buah = 12.240 kg.m
 - Total beban mati P_{DL} = $\frac{1}{2} \times (97649,4 + 473200 + 12.240)$
 = 291.544,7 kg.m \rightarrow 2.915,447 N.m
- Beban hidup (LL)
 - Beban hidup merata = 2.980,8 kg/m x 50 m = 149.045 kg.m
 - Beban garis P = 12.348 kg = 12.348 kg.m
 - Beban angin = 181,267 kg/m x 50 m = 9063,35 kg.m
 - Gaya rem = 5.625 kg = 5.625 kg.m
 - Total beban hidup P_{LL} = $\{\frac{1}{2} \times (149.045 + 9063,35)\} + 12.348 + 5.625$
 = 97.027,175 kg.m \rightarrow 970,272 N.m

- Perpindahan memanjang jembatan = 50 mm
 - Batas tegangan delaminasi = 7 Mpa
 - Rotasi = 0,005 radian
 - Modulus geser (G) = 0,55 Mpa
 - Karet alam = 50 duro (SNI 03-3967-2008)
 - Kekuatan pelat baja (f_y) = 240 Mpa
 - Panjang elastomer (L) = 750 mm
 - Lebar elastomer (W) = 750 mm
 - Tebal elastomer = 230 mm
 - Tebal lapisan dalam karet (h_{r_i}) = 18 mm
 - Tebal lapisan luar karet (h_{cov}) = 9 mm
 - Tebal lapis tepi = 10 mm
 - Jumlah lapis karet (n) = 9 buah
 - Tebal pelat baja (h_s) = 5 mm
- a. Luas area elastomer yang diperhitungkan :

$$A_{perlu} > \frac{7481,677 \times 1000}{7} = 1.068.811 \text{ mm}^2$$

- b. Hitung *Shape factor* / Faktor bentuk

$$S = \frac{A}{I_p \cdot h_{r_i}}$$

$$I_p = 2 (L + W)$$

$$A = L \times W$$

$$I_p = 2 (750 + 750) = 3.000 \text{ mm}$$

$$S = \frac{750 \times 750}{3000 \times 18} = 10,415 \text{ mm}$$

$$4 < 10,415 < 12 \dots \text{OK !}$$

c. Cek tegangan ijin

$$\sigma_S = \frac{P_{DL} + P_{LL}}{A} = \frac{2.915,447 \times 1000 \text{ kg} + 970,272 \times 1000}{750 \times 750} = 6,908 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_L = \frac{P_{LL}}{A} = \frac{970,272 \times 1000}{700 \times 750} = 1,725 \text{ Mpa}$$

Bantalan dengan deformasi geser yang tidak dikekang

$$\sigma_S < 7,0 \text{ Mpa} \rightarrow 6,908 \text{ Mpa} < 7,0 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

$$\sigma_S < 1,0 \text{ G.S} \rightarrow 6,908 \text{ Mpa} < 1,0 \times 0,55 \times 10,415 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow 6,908 \text{ Mpa} < 5,728 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

Bantalan dengan deformasi yang dikekang

$$\sigma_S < 7,7 \text{ Mpa} \rightarrow 6,908 \text{ Mpa} < 7,7 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

$$\sigma_S < 1,1 \text{ G.S} \rightarrow 6,908 \text{ Mpa} < 1,1 \times 0,55 \times 10,415 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow 6,908 \text{ Mpa} < 6,301 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

d. Cek deformasi geser

$$\text{Total deformasi geser rencana } \Delta s = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Deformasi ijin} = 2 \Delta s = 2 \times 50 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

Ketebalan total elastomer

$$h_{rt} = (\text{jumlah tebal lapisan internal} + \text{jumlah tebal cover})$$

$$h_{rt} = (18 \text{ mm} \times 7 \text{ buah}) + (9 \text{ mm} \times 2 \text{ buah}) = 144 \text{ mm}$$

$$h_{ri} > 2 \Delta s \rightarrow 144 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

e. Cek rotasi

$$\sigma S \geq 0,5 \cdot G \cdot S \left(\frac{L}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_{s,x}}{n} \rightarrow \sigma S \geq 0,5 \times 0,55 \times 10,415 \left(\frac{750}{18} \right)^2 \frac{0,005+0,005}{9}$$

$$6,908 \text{ Mpa} \geq 5,5249 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

$$\sigma S \geq 0,5 \cdot G \cdot S \left(\frac{W}{h_{ri}} \right)^2 \frac{\theta_{s,y}}{n} \rightarrow \sigma S \geq 0,5 \times 0,6 \times 10,415 \left(\frac{750}{18} \right)^2 \frac{0,005+0,005}{9}$$

$$6,908 \text{ Mpa} \geq 5,5249 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

f. Cek stabilitas

Ketebalan total bantalan

$$h_{ri} + h_s (n + 1) = 144 + 2,5 (8 + 1) = 184,5 \text{ mm}$$

$$h < L/3 = 750/3 = 250 \text{ mm} > 184,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$h < W/3 = 750/3 = 250 \text{ mm} > 184,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$h_{cover} < 0,7 \cdot h_{ri} = 0,7 \times 19 \text{ mm} = 13,3 \text{ mm} > 5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

a. Menentukan tebal pelat

Kondisi Layan

$$h_s \geq \frac{3 \times h_{ri} \times \sigma S}{f_y}$$

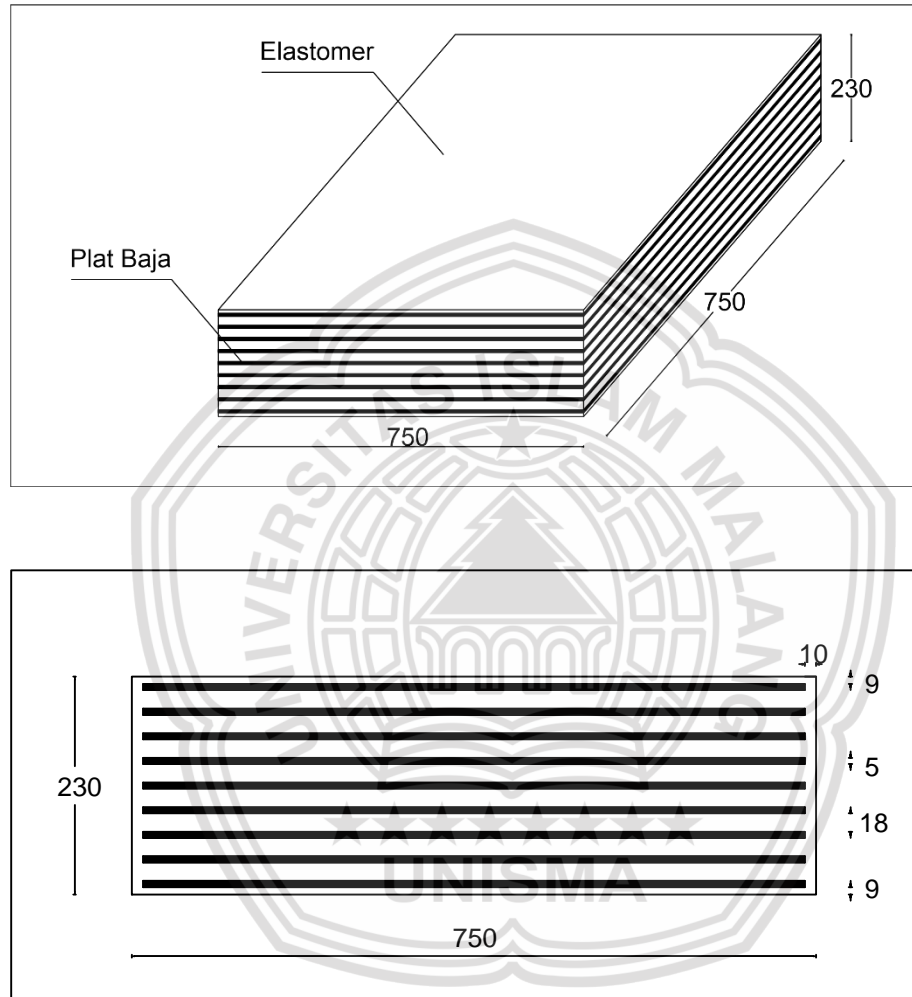
$$h_s \geq \frac{3 \times 18 \times 6,908}{240} = 1,554$$

Kondisi fatik

$$h_s \geq \frac{2 \times h_{ri} \times \sigma L}{F_{TH}}$$

$$h_s \geq \frac{2 \times 18 \times 1,725}{240} = 0,259$$

Tebal pelat baja yang digunakan adalah 5 mm (BMS section 7 tabel7.4(j))

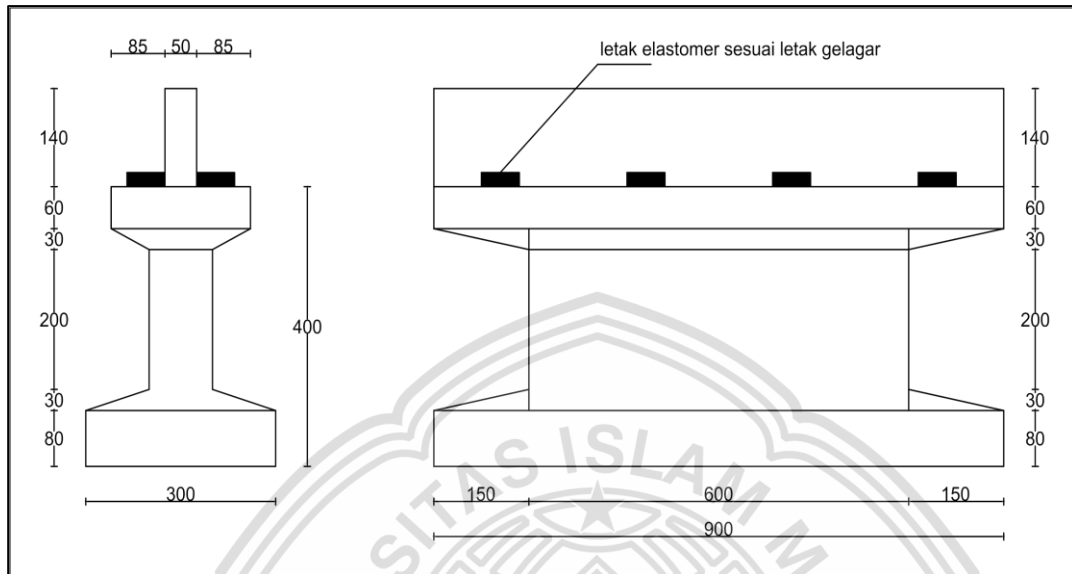


Gambar 4.31 Data Fisik Elastomer

(Sumber : BSM Volume 1)

4.15 Perencanaan Bangunan Bawah

4.15.1 Perencanaan Pilar



Gambar 4.32 Perencanaan Pilar Tampak Melintang dan Memanjang
(Sumber : Gambar perencanaan)

Keterangan :

Panjang (L) = 9 m

Lebar (b) atas = 2,2 m (85+50+85)

Lebar (b) bawah = 3 m

Berat satuan beton = 2.320 kg/m^3 (SNI 1725 – 2016)

Berat satuan tanah (γ) = 1.755 kg/m^3 (SNI 1725 – 2016)

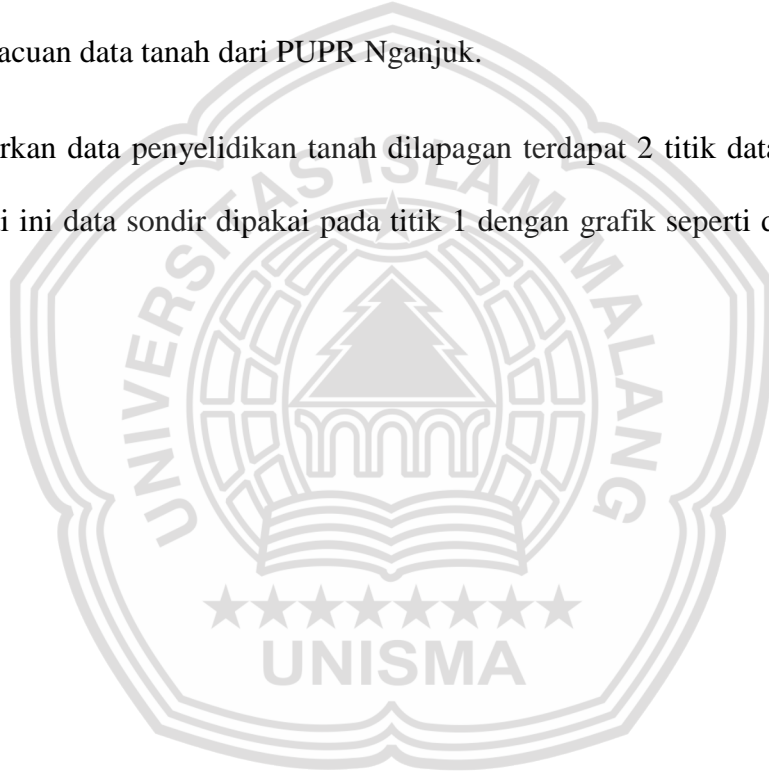
Mutu beton (f_c') = 35 MPa (SNI 1725 – 2016)

Mutu baja tulangan (f_y) = 350 MPa (SNI 1725 – 2016)

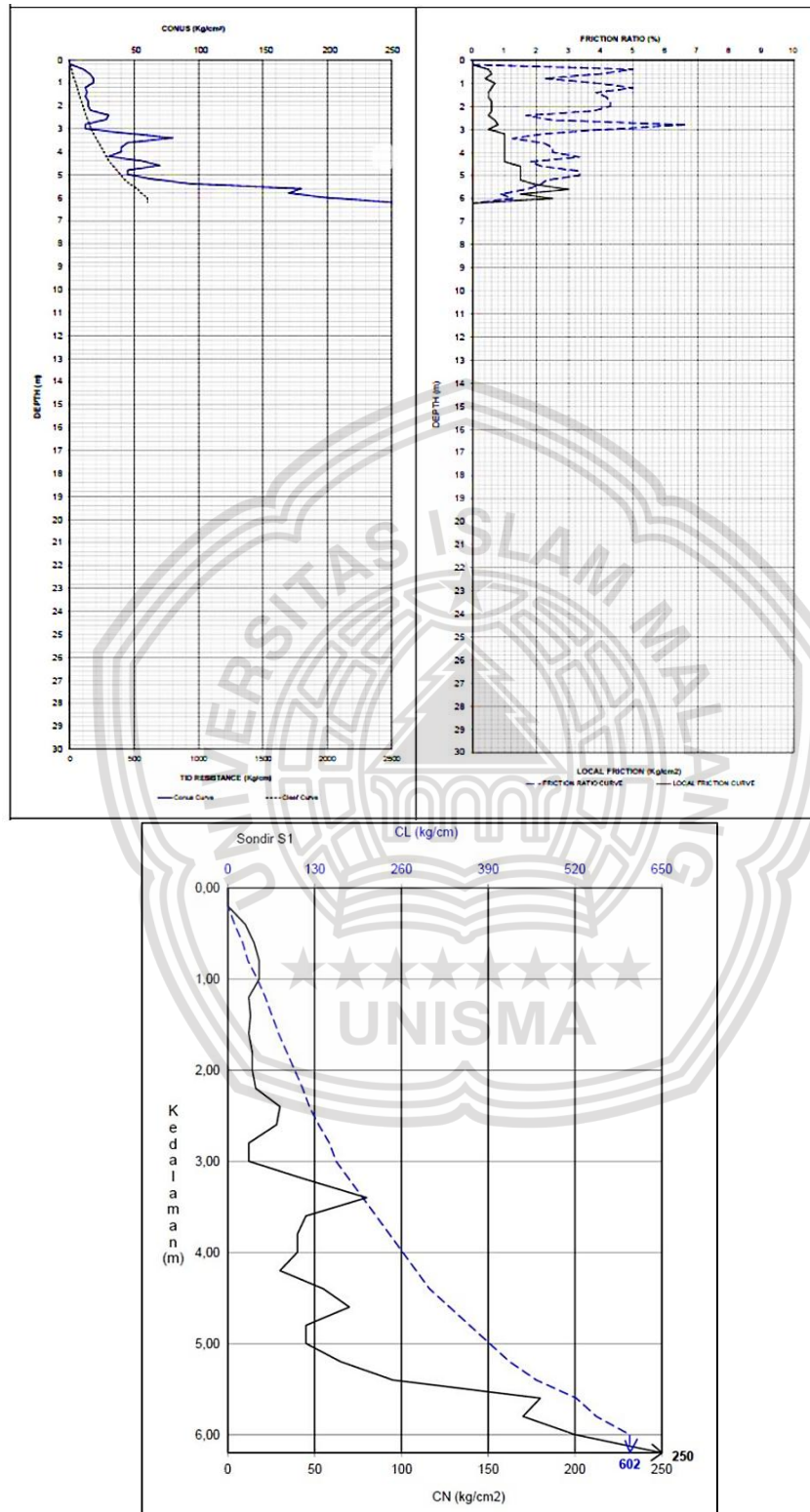
Catatan :

Dalam proyek renovasi bangunan atas jembatan widang-babat yang dijadikan objek pada penelitian skripsi ini hanya mengerjakan bangunan atas jembatan dan tidak memiliki data tanah yang dapat dijadikan acuan untuk merencanakan bangunan bawah atau pondasi, namun dalam upaya menambah wawasan, maka dalam penelitian ini tetap merencanakan pondasi dengan acuan data tanah dari PUPR Nganjuk.

Berdasarkan data penyelidikan tanah dilapangan terdapat 2 titik data sondir, dalam studi ini data sondir dipakai pada titik 1 dengan grafik seperti di bawah ini.:



Grafik sondir titik 1



Gambar 4.33 Grafik Data Sondir

(Sumber : Dinas PUPR Nganjuk)

Dari data penyelidikan tanah sesuai dengan grafik diatas maka di peroleh data

- data sebagai berikut :

Kedalaman = 6,2 m

Tekanan Konus (q_c) = 250 kg/cm²

JPH = 602 kg/cm

Dari hasil korelasi antara besar tekanan konus $q_c = 250$ kg/cm² sesuai dengan table di bawah ini, maka didapatkan nilai sudut geser sebesar $\phi = 45^\circ$ dengan jenis kepadatannya yaitu *Very Dense*.

Tabel 4.6 Hubungan antara Kepadatan, Relativ Density, Nilai N, q_c dan ϕ

Kepadatan	Relativ Density (Dr)	Nilai N	Tekanan Konus q_c (kg/cm ²)	Sudut Geser ϕ°
<i>Very loose</i>	< 0,2	< 4	< 20	< 30
<i>Loose</i>	0,2 - 0,4	4 - 10	20 - 40	30 - 50
<i>Medium dense</i>	0,4 - 0,6	10 - 30	40 - 120	35 - 40
<i>Dense</i>	0,6 - 0,8	30 - 50	120 - 200	40 - 45
<i>Very Dense</i>	0,8 - 1,0	>50	> 200	> 45

(Sumber : Mayerhof, 1965)

4.15.2 Perhitungan Pembebanan

Diketahui dari hasil perhitungan sebelumnya :

Berat plat lantai = 849,1 Kg/m

Berat trotoar = 1.024,625 kg/m

Berat balok pratekan = 9.464 Kg/m

Berat diafragma = 1.224 kg/m

Berat pipa sandaran = 11,176 kg/m

Berat tiang sandaraan = 70,2 kg/m

Jumlah diafragma = 30 buah

Jumlah tiang sandaran = 2 x 26 buah

Jumlah pipa sandaran = 2 x 2

Beban mati :

Berat plat lantai = $849,1 \times 50 \times 9$ = 382,095 kg

Berat trotoar = $2 \times 1.024,625 \times 50 \times 1$ = 102.462,5 kg

Berat balok pratekan = $4 \times 9.464 \times 50$ = 1.892.800 kg

Berat diafragma = 30×1.224 = 36.720 kg

Berat pipa sandaran = $2 \times 2 \times 11,176 \times 50$ = 2.235,2 kg

Berat tiang sandaran = $2 \times 26 \times 70,2$ = 3.650,4 kg +

R = 2.038.250,195 kg

Reaksi akibat beban mati (Rm) = $\frac{1}{2} \times R$

= $\frac{1}{2} \times 2.038.250,195$

= 1.019.125,098 kg

Beban hidup :

Beban hidup merata (q) = 2.980,8 kg/m

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

$$= \frac{1}{2} \times 2.980,8 \times 50$$

$$= 74.520 \text{ kg}$$

$$\text{Beban garis (P)} = 12.348 \text{ kg}$$

$$R_{\text{total}} = R_m + R_h + P$$

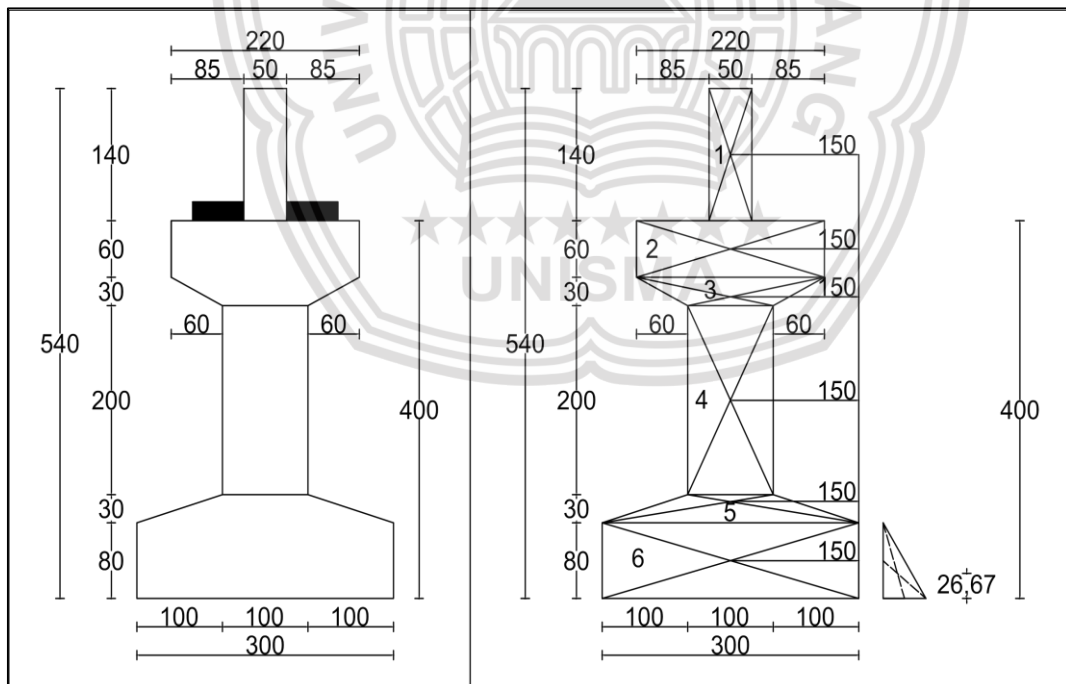
$$= 1.019.125,098 + 74,520 + 12.348$$

$$= 1.105.993,098 \text{ kg}$$

4.15.3 Perhitungan Berat Pilar

1. Gaya – gaya vertikal

Berat sendiri pilar :



Gambar 4.34 Gaya Akibat Berat Sendiri Pilar

(Sumber : Gambar Perencanaan)

Bidang segi empat = $p \times l \times t \times \text{berat jenis beton}$

Bidang trapesium = $\left(\frac{a+b}{2} \times t\right) \times p \times \text{berat jenis beton}$

Tabel 4.7 Perhitungan Berat Sendiri Pilar

Titik	Gaya – gaya vertikal	V (ton)	Jarak (m)	Momen (t.m)
1	$0,5 \times 1,4 \times 9 \times 2,400$	15,12	1,5	22,68
2	$0,6 \times 2,2 \times 9 \times 2,400$	28,512	1,5	42,768
3	$\left(\frac{1+2,2}{2}\right) \times 0,3 \times 9 \times 2,400$	10,368	1,5	15,552
4	$1 \times 2 \times 6 \times 2,400$	28,8	1,5	4,2
5	$\left(\frac{1+3}{2}\right) \times 0,3 \times 9 \times 2,400$	12,96	1,5	19,44
6	$0,8 \times 3 \times 9 \times 2,400$	51,84	1,5	77,76
R		1.105,993	1,5	1.658,989
Jumlah		1.253,593		1.841,389

(Sumber : Hasil analisa perhitungan)

2. Gaya – gaya Horizontal

a. $Tg 45^\circ$ (tabel 4.6)

$$Kp = tg^2 \left(tg 45^\circ + \frac{\theta}{2} \right)$$

$$Kp = tg^2 \left(tg 45^\circ + \frac{45^\circ}{2} \right) = 5,828$$

$$\begin{aligned} Pp &= \frac{1}{2} \times Kp \times \gamma \times H^2 \times B \\ &= \frac{1}{2} \times 5,828 \times 1,775 \times 0,8^2 \times 9 \\ &= 29,792736 \text{ ton} = 29.792,736 \text{ kg} \end{aligned}$$

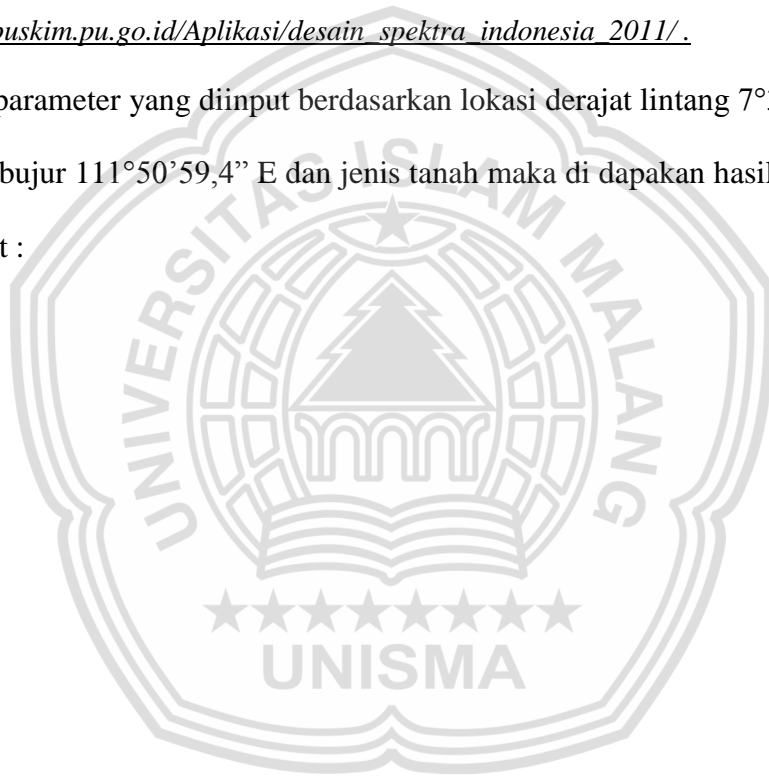
$$\begin{aligned} Mpp &= \frac{1}{3} \times H \times Pp \\ &= \frac{1}{3} \times 0,8^2 \times \\ &= 6.355,784 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

b. Akibat gaya gempa

Berdasarkan data sondir pada kedalaman 6,2 m dengan didapat nilai $q_c = 250 \text{ kg/m}^2$. sehingga di klasifikasikan situs yang di gunakan pada kelas adalah jenis tanah keras. Untuk mendapatkan hasil yang akurat. Kementrian Pekerjaan Umum menyediakan fasilitas software Bernama Desain Spektra Indonesia yang dapat di akses pada :

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.

Hasil parameter yang diinput berdasarkan lokasi derajat lintang $7^{\circ}33'53,5''$ S dan bujur $111^{\circ}50'59,4''$ E dan jenis tanah maka di dapatkan hasil sebagai berikut :



Tabel 4.8 Parameter Desain Seismik

Tanah keras	
PGA (g)	0.381
S _s (g)	0.764
S ₁ (g)	0.311
C _{RS}	1.001
C _{R1}	0.937
F _{PGA}	1.019
F _A	1.094
F _V	1.489
PSA (g)	0.388
S _{MS} (g)	0.836
S _{M1} (g)	0.463
S _{DS} (g)	0.558
S _{D1} (g)	0.309
T ₀ (detik)	0.111
T _s (detik)	0.554

http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \text{ (SNI 2833:2016)}$$

Dimana :

E_Q = gaya gempa horizontal

C_{sm} = Koefisien dasar gempa

R = faktor modifikasi respon = 2 (SNI 2833:2016)

W_t = Berat total seluruh dari beban mati dan hidup yang sesuai
(kN)

T = waktu getar struktur (detik)

$$= 2\pi \sqrt{(W_t / g.K)}$$

g = percepatan gravitasi = $9,81 \text{ m/det}^2$

K = kekuatan pilar jembatan

E = Modulus elastisitas beton

$$= 33.234,02 \text{ Mpa} = 3.323.402 \text{ t/m}^2$$

I = momen inersia penampang pilar

$$= 1/12 \times 4 \times 9^3$$

$$= 243 \text{ m}^4$$

$$K = \frac{3 \times E \times I}{L^3}$$

$$= \frac{3 \times 3.323.402 \times 243}{9^3} = 3.223.402 \text{ t/m}$$

W_t = 1.267,993 ton (tabel 4.7)

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\frac{W_t}{g \times K}\right)}$$

$$T = 2 \times 3,14 \sqrt{\left(\frac{1.253,593}{9,81 \times 3.223.402}\right)} = 0,039 \text{ detik}$$

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

Data parameter desain *seismic* :

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \times \frac{T}{T_0} + A_s \quad (\text{SNI 2833:2016})$$

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

$$= 1,019 \times 0,381$$

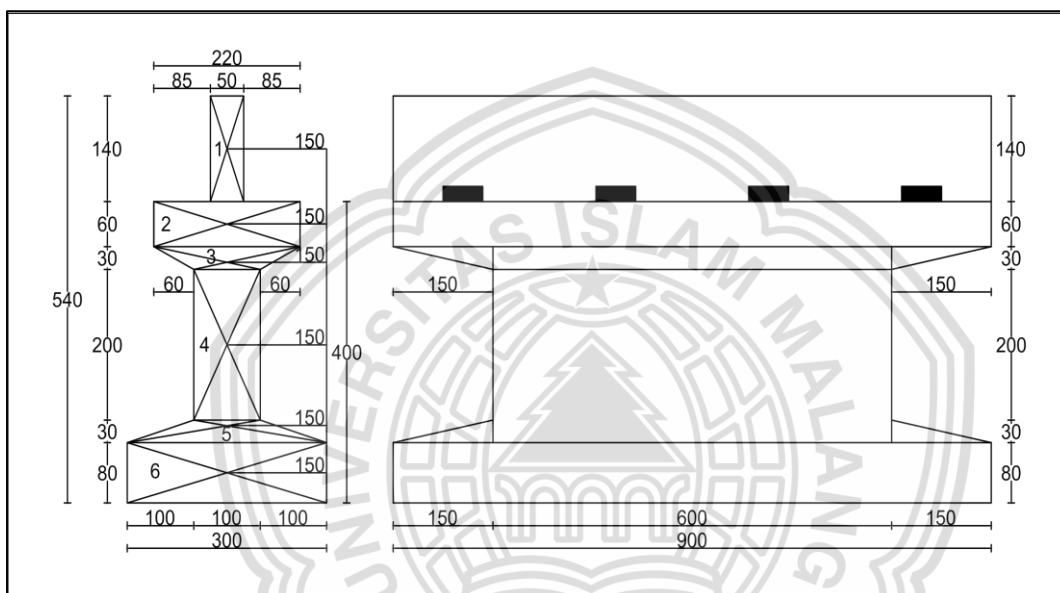
$$= 0,388$$

$$C_{sm} = (0,558 - 0,388) \times \frac{0,039}{0,111} + 0,388$$

$$= 0,448$$

$$E_Q = \frac{0,448}{2} \times 1.253,593$$

$$= 280,804832 \text{ ton} = 280.804,832 \text{ kg}$$



Gambar 4.35 Titik Berat Pilar
(Sumber : Gambar perencanaan)

Bidang segi empat = $p \times l \times t$

Bidang trapesium = $\left(\frac{a+b}{2} \times t\right) \times p$

Tabel 4.9 Perhitungan Titik Berat Pilar

Titik	Gaya – gaya vertikal	V (ton)	Jarak (m)	Momen (t.m)
1	0,5 x 1,4 x 9	6,3	1,5	9,45
2	0,6 x 2,2 x 9	11,88	1,5	17,82
3	$\left(\frac{1+2,2}{2}\right) \times 0,3 \times 9$	4,32	1,5	6,48
4	1 x 2 x 6	12	1,5	18
5	$\left(\frac{1+3}{2}\right) \times 0,3 \times 9$	5,4	1,5	8,1
6	0,8 x 3 x 9	21,6	1,5	32,4
Jumlah		61,5		92,25

(sumber : Hasil analisa perhitungan)

$$Y = \frac{92,25}{61,5} = 1,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} ME_Q &= 280,804832 \times 1,5 \\ &= 421,207248 \text{ t.m} = 421.207,248 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Kombinasi pembebanan :

Beban vertikal :

$$\begin{aligned} \sum B_v &= B_s. \text{ Pilar} \\ &= 1.253,593 \text{ ton} = 1.253.593 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_v &= \text{Momen } B_s. \text{ pilar} \\ &= 1.841,389 \text{ t.m} = 1.841.389 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Beban horizontal

$$\begin{aligned} \sum B_H &= E_Q - P_p \\ &= 280.804,832 - 29.792,736 = 251.012,096 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_H &= ME_Q - M_{pp} \\ &= 421.207,248 - 6.355,784 = 414.851,464 \text{ kg.m}\end{aligned}$$

4.16 Kontrol Stabilitas

Stabilitas terhadap guling :

$$SF = \frac{\sum MV}{\sum MH} \geq 1,5 \quad (\text{suryo lelono, 1994})$$

$$SF = \frac{\sum MV}{\sum MH} = \frac{1.841.389}{414.851,464} = 4,439 > 1,5 \text{ OK}$$

Stabilitas terhadap geser :

$$SF = \frac{\sum BV}{\sum BH} = \frac{1.253.593 \times \tan 45}{251.012,096} = 4,994 > 1,5 \text{ OK}$$

Stabilitas terhadap eksentris :

$$\begin{aligned}e &= \frac{1}{2} B - \frac{\sum MV - \sum MH}{\sum BH} < \frac{1}{6} B \\ &= \frac{1}{2} 3 - \frac{1.841.389 - 414.851,464}{251.012,096} < \frac{1}{6} 3 \\ &= - 8,183 < 0,5 \text{ OK}\end{aligned}$$

Dari data tanah yang di peroleh

$$q_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 45^\circ$$

$$c = \frac{q_c}{20} \quad (\text{Sunggono, 1995})$$

$$= \frac{250}{20} = 12,5 \text{ t/m}^2$$

Nilai-nilai N_γ untuk ϕ sebesar 34 dan 48° adalah nilai Terzaghi yang asli dan digunakan untuk menghitung balik Kp_γ .

Tabel 4.10 Faktor Daya Dukung untuk Persamaan Terzaghi

Φ, deg	N_c	N_q	N_γ	Kp_γ
0	5,7	1,0	0,0	10,8
5	7,3	1,6	0,5	12,2
10	9,6	2,7	1,2	14,7
15	12,9	4,4	2,5	18,6
20	17,7	7,4	5,0	25,0
25	25,1	12,7	9,7	35,0
30	37,2	22,5	19,7	52,0
34	52,6	36,5	36,0	
35	57,8	41,4	42,4	82,0
40	95,7	81,3	100,4	141,0
45	172,3	173,3	297,5	298,0
48	258,3	287,9	780,1	
50	347,5	415,1	1153,2	800,0

(Sumber: Bowles 1991)

$$N_c = 172,3$$

$$N_\gamma = 297,5$$

$$N_q = 173,3$$

Perumusan Terzaghi daya dukung pondasi persegi Panjang :

$$P_o = H \times \gamma = 5,4 \times 1,775 = 9,585 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= c \times N_c (1 + 0,3 \times B/L) + (P_o \times N_q) + (0,5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times \\
 &\quad (0,5 - 0,1 \times B/L)) \\
 &= 12,5 \times 172,3 \times (1 + 0,3 \times 3/9) + (9,585 \times 173,3) + (0,5 \times 1,775 \times \\
 &\quad 3 \times 297,5 \times (0,5 - 0,1 \times 3/9)) \\
 &= 4.399,849 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan angka kedalaman 3, maka daya dukung tanah yang di ijininkan :

$$Q_{ijin} = \frac{q_u}{3} = \frac{4.399,849}{3} = 1.466,616 \text{ t/m}^2$$

$$Q_n = \frac{\sum V}{B \times L} \times \left(1 \pm \frac{6 \times e}{B}\right)$$

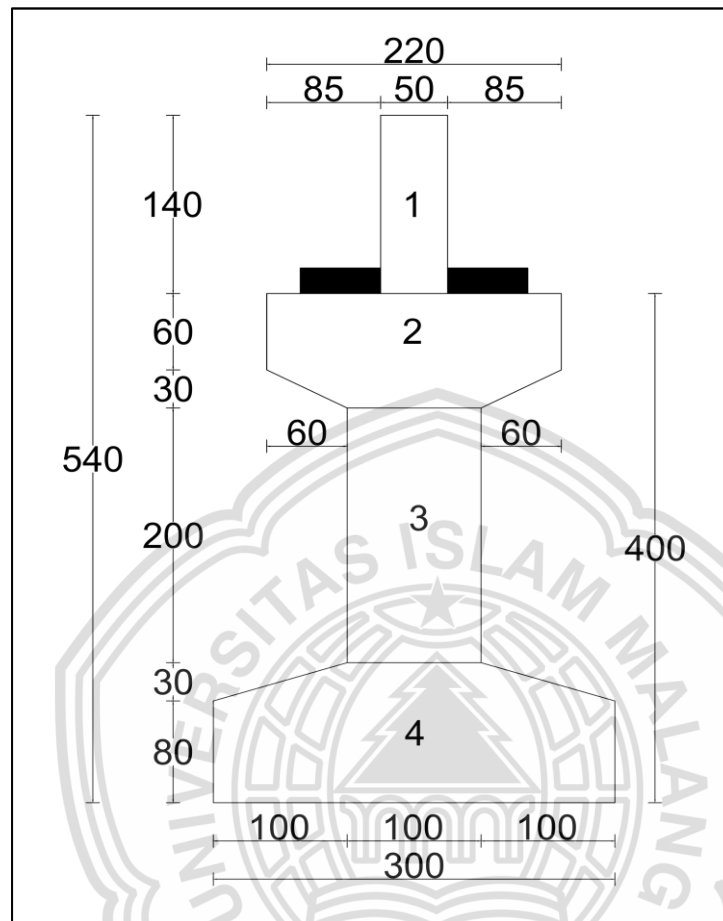
$$Q_{max} = \frac{1.253,593}{3 \times 9} \times \left(1 + \frac{6 \times (-8,183)}{3}\right) = -713,434 \text{ t/m}^2$$

$$Q_{min} = \frac{1.253,593}{3 \times 9} \times \left(1 - \frac{6 \times (-8,183)}{3}\right) = 759,863 \text{ t/m}^2$$

$$Q_{max} = -713,434 \text{ t/m}^2 < Q_{ijin} = 1.466,616 \text{ t/m}^2 \quad \text{OK}$$

$$Q_{min} = 759,863 \text{ t/m}^2 < Q_{ijin} = 1.466,616 \text{ t/m}^2 \quad \text{OK}$$

4.17 Penulangan Pilar



Gambar 4.36 Pembagian Perencanaan Penulangan Pilar
(Sumber : Gambar perencanaan)

Perhitungan sesuai gambar pilar dari samping (melintang) :

1. Penulangan bagian 1

Pembebanan :

$$\text{Beban terbagi merata (R}_{BTR}) = 74.520 \text{ kg}$$

$$\text{Beban garis (R}_p) = 12.348 \text{ kg}$$

$$\text{Beban rem} = \underline{5.625 \text{ kg} +}$$

$$P_u = 92.493 \text{ kg}$$

Penulangan untuk beban gaya vertikal :

$$\emptyset = 0,65$$

$$L = 9 \text{ m}$$

$$P_n = \frac{Pu}{L} = \frac{92.493}{9} = 10.277 \text{ kg/m} = 102,77 \text{ kN/m}$$

$$A_v = \frac{P_n}{f_y \cdot u} = \frac{102,77 \times 10^3}{350 \times 1,4} = 209,735 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D10 – 300, $A_s = 262 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan pelat)

Penulangan untuk gaya horizontal :

$$N_u \text{ min} = 0,2 \times pu = 0,2 \times 92.493 = 18.498,6 \text{ kg} = 184,986 \text{ kN}$$

$$A_H = \frac{N_u}{f_y \cdot \emptyset} = \frac{184,986 \times 10^3}{350 \cdot 0,65} = 813,125 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D14 – 175, $A_s = 880 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan pelat)

Menentukan tulagan utama :

$$A_s = 2/3 \times A_v + A_H$$

$$= (2/3 \times 2.904,018 + 813,125) = 2.478,095 \text{ mm}^2$$

$$A_h = 1/2 \times (A_s - A_H)$$

$$= 1/2 (2.478,095 - 813,125) = 832,485 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D14 – 175, $A_s = 880 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan pelat)

2. Penulangan bagian 2

Pembebanan pilar :

$$R_{TOTAL} = 1.105.993,098 \text{ kg}$$

$$\text{Beban penulangan daerah 1} = \underline{92.493 \text{ kg}} +$$

$$Pu2 = 1.198.486,098 \text{ Kg}$$

$$= 11.984,86098 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Vertikal } (\Sigma B_V) = 1.253.593 \text{ kg} = 12.535,93 \text{ kN}$$

$$\text{Momen beban horizontal } (\Sigma M_H) = 414.851,464 \text{ kg.m}$$

$$= 4.148,515 \text{ kN.m (dari perhitungan hal 100)}$$

$$\text{Luas trapesium (A)} = \left(\frac{a+b}{2} \times t \right)$$

$$A = \left(\frac{1+2,2}{2} \times 9 \right) = 14,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Diambil contoh perhitungan dalam } 1 \text{ m}^2 = 14,4 \times 1 = 14,4 \text{ m}^2$$

$$P_n = \frac{Pu2}{\phi \cdot A \cdot 0,85 \cdot f_c} = \frac{11.984,86098 \times 10^3}{0,65 \times 14,4 \times 10^6 \times 0,85 \times 35} = 0,043 \text{ mm}$$

Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{\Sigma M_H}{\Sigma B_V} = \frac{4.148,515}{12.535,93} = 0,331 \text{ m}$$

$$e/h = \frac{331}{900} = 0,368 \text{ mm}$$

Maka,

$$P_uH = P_n \times (e/h)$$

$$= 0,043 \times 0,368 = 0,015 \text{ dipakai } 0,1$$

Dari grafik dan tabel SKSNI-T- 1991-03 maka di dapatkan :

$$r = 0,001$$

$$\beta = 1,33$$

$$\rho = r + \beta = 0,001 + 1,33 = 0,00133$$

$$A = 14,4 \text{ m}^2 \rightarrow 14.400.000 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \rho \times A$$

$$= 0,00133 \times 14.400.000 = 19.152 \text{ mm}^2$$

jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{\frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}} = \frac{1.000}{\frac{19.152}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 36^2}} = 53,12 \text{ mm} \rightarrow 50 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1.000}{50} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 36^2\right) = 20.347,2 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ ada} > A_s \rightarrow 20.347,2 \text{ mm}^2 > 19.152 \text{ mm}^2$$

Diapakai tulangan 20 D36 – 50, $A_s = 20.358 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan balok dan kolom)

Penulangan untuk beban gaya horizontal :

$$\text{Momen horizontal } (M_H) = 414.851,464 \text{ kg.m} = 4.148,515 \text{ kN.m}$$

$$d = 900 - (1/2 \times 36) + 75 = 957 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_H}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4.148,515 \times 10^6}{0,8 \times 1.000 \times 957^2} = 5,662 \text{ MPa}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times R_n}{35}} \right) \\ &= 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times 5,662}{35}} \right) = 0,181 \end{aligned}$$

$$\rho = w \times \frac{f_c}{f_y} = 0,181 \times \frac{35}{350} = 0,018$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,018 \times 1.000 \times 957 = 17.226 \text{ mm}^2$$

jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{\frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2}} = \frac{1.000}{\frac{17.226}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 36^2}} = 59,733 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) = \frac{1.000}{55} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 36^2 \right) = 18.497 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ ada} > A_s \rightarrow 18.497 \text{ mm}^2 > 17.226 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 19 D36 – 55, $A_s = 19.340 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan balok dan kolom)

Tulangan bagi :

$$A_s' = 20 \% \times A_s$$

$$= 20 \% \times 17.226 = 3.445,2 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{\frac{A_s'}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}} = \frac{1.000}{\frac{3.445,2}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 29^2}} = 191,625 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1.000}{150} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 29^2\right) = 4.403,434 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ ada} > A_s' \rightarrow 4.403,434 \text{ mm}^2 > 3.445,2 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 7 D29 – 150, $A_s = 4.624 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan balok dan kolom)

3. Penulangan bagian 3

Pembebanan pilar :

$$\text{Beban penulangan daerah 1} = 92.493 \text{ kg}$$

$$\text{Beban penulangan daerah 2} = \underline{1.198.486,098 \text{ Kg} +}$$

$$P_{u3} = 1.290.979,098 \text{ Kg}$$

$$= 12.909,79098 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Vertikal (} B_v \text{)} = 1.253.593 \text{ kg} = 12.535,93 \text{ kN}$$

$$\text{Momen beban horizontal (} M_H \text{)} = 181.420,5017 \text{ kg.m}$$

$$= 1.814,205017 \text{ kN.m}$$

Luas persegi panjang (A) = p x l

$$A = 1 \times 2 = 2 \text{ m}^2$$

$$P_n = \frac{P_{u3}}{\phi \cdot A \cdot 0,85 \cdot f_c} = \frac{12.909,79098 \times 10^3}{0,65 \times 2 \times 10^6 \times 0,85 \times 35} = 0,334$$

Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{\sum H}{\sum V} = \frac{4.148,515}{12.535,93} = \mathbf{0,331 \text{ m}}$$

$$e/h = \frac{331}{2300} = 0,144$$

Maka,

$$PuH = Pn \times (e/h)$$

$$= 0,331 \times 0,144 = 0,048 \text{ dipakai } 0,1$$

Dari grafik SKSNI-T- 1991-03 maka di dapatkan :

$$r = 0,001$$

$$\beta = 1,33$$

$$\rho = 0,00133$$

$$As = \rho \times A$$

$$= 0,00133 \times 2 \times 10^6 = 2.660 \text{ mm}^2$$

jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{As / \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right)} = \frac{1.000}{2.660 / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 36^2 \right)} = 382,466 \text{ mm}$$

$$As \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1.000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 36^2 \right) = 3.391,2 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ ada} > As \rightarrow 3.391,2 \text{ mm}^2 > 2.660 \text{ mm}^2$$

Diapakai tulangan 34 D36 – 300, $As = 34.608 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan balok dan kolom)

Penulangan untuk beban gaya horizontal :

$$\text{Momen horizontal } (M_H) = 414.851,464 \text{ kg.m} = 4.148,51464 \text{ kN.m}$$

$$d = 2.000 - (1/2 \times 36) + 75 = 2.057 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_H}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4.148,51464 \times 10^6}{0,8 \times 1.000 \times 2.057^2} = 1,225 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$w = 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times R_n}{35}} \right)$$

$$= 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times 1,225}{35}} \right) = 0,036$$

$$\rho = w \times \frac{f_c}{f_y} = 0,036 \times \frac{35}{350} = 0,004$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \times 1.000 \times 2.057 = 8.228 \text{ mm}^2$$

jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{\frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2}} = \frac{1.000}{\frac{8.228}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 36^2}} = 123,646 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) = \frac{1.000}{100} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 36^2 \right) = 10.173,6 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ ada} > A_s \rightarrow 10.173,6 \text{ mm}^2 > 6.363,9 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 10 D36 – 100, $A_s = 10.179 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan balok dan kolom)

Tulangan bagi :

$$A_s' = 20\% \times A_s$$

$$= 20\% \times 8.228 = 1.645,6 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{\frac{A_s'}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}} = \frac{1.000}{\frac{1.645,6}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2}} = 172,208 \text{ mm}$$

$$As \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right) = \frac{1.000}{200} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \right) = 1.416,925 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ ada} > As'$$

$$1.416,925 \text{ mm}^2 > 1.272,78 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 6 D19 – 200, $As = 1.701 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan balok dan kolom)

4. Penulangan bagian 4

$$\text{Beban Vertikal (Bv)} = 1.253.593 \text{ kg} = 12.535,93 \text{ kN}$$

$$\text{Momen Vertikal (Mv)} = 1.841.389 \text{ kg.m} = 18.413,89 \text{ kN.m}$$

$$d = 1.100 - (1/2 \times 40) + 75 = 1.150 \text{ mm}^2$$

$$Rn = \frac{Mv}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{18.413,89 \times 10^6}{0,8 \times 3.000 \times 1.150^2} = 5,801 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$w = 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times Rn}{35}} \right)$$

$$= 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times 5,801}{35}} \right) = 0,186$$

$$\rho = w \times \frac{fc}{fy} = 0,186 \times \frac{35}{350} = 0,019$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d = 0,019 \times 3.000 \times 1.155 = 65.550 \text{ mm}^2$$

jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{\frac{As}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2}} = \frac{3.000}{\frac{65.550}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 40^2}} = 89,817 \text{ mm}$$

$$As \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) = \frac{3.000}{80} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 50^2 \right) = 69.264,706 \text{ mm}^2$$

As ada > As

$$69.264,706 \text{ mm}^2 > 65.550 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 36 D50 – 80, As = 70.686 mm² (Tabel tulangan balok dan kolom)

Tulangan yang dipakai untuk menahan momen horizontal :

Momen horizontal (M_H) = 414.851,464 kg.m = 4.148,51464 kN.m

$$d = 1.100 - (1/2 \times 40) + 75 = 1.155 \text{ mm}^2$$

$$R_n = \frac{M_H}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{4.148,51464 \times 10^6}{0,8 \times 3.000 \times 1.155^2} = 1,296 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

$$w = 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times R_n}{35}} \right)$$

$$= 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times 1,296}{35}} \right) = 0,038$$

$$\rho = w \times \frac{f_c}{f_y} = 0,038 \times \frac{35}{350} = 0,004$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,004 \times 3.000 \times 1.155 = 13.860 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{\frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2}} = \frac{3.000}{\frac{13.860}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 40^2}} = 271,861 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) = \frac{3.000}{200} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 40^2 \right) = 18.840 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ ada} > A_s \rightarrow 18.840 \text{ mm}^2 > 13.860 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 16 D40 – 200, As = 20.106 mm² (Tabel tulangan balok dan kolom)

Tulangan bagi :

$$As' = 20 \% \times As$$

$$= 20\% \times 13.860 = 2.772 \text{ mm}^2$$

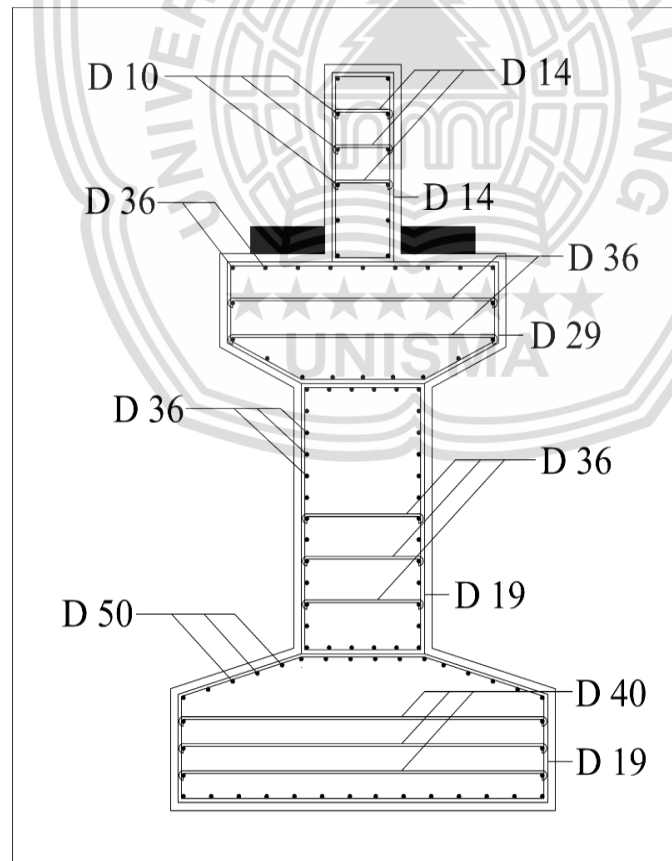
Jarak antar tulangan :

$$s = \frac{b}{As' / \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right)} = \frac{3.000}{2.772 / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \right)} = 306,694 \text{ mm}$$

$$As \text{ ada} = \frac{b}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{3.000}{300} \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \right) = 2.833,85 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ ada} > As' \rightarrow 2.833,85 \text{ mm}^2 > 2.772 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 10 D19 – 300, $As = 2835 \text{ mm}^2$ (Tabel tulangan balok dan kolom)



Gambar 4.37 Penulangan Pilar

(Sumber : Gambar perencanaan)

4.18 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Data Perencanaan

Diameter tiang pancang = 50 cm = 0,5 m (diasumsikan)

Panjang tiang pancang = 6,2 m (Data hasil test sondir)

Mutu baja f_y (BjTD 40) = 400 Mpa = 4000 kg/cm²

Mutu beton f_c' = 35 Mpa = 350 kg/cm²

Berat jenis beton (γ_{beton}) = 2320 kg/m³ (SNI-1725-2016;13)

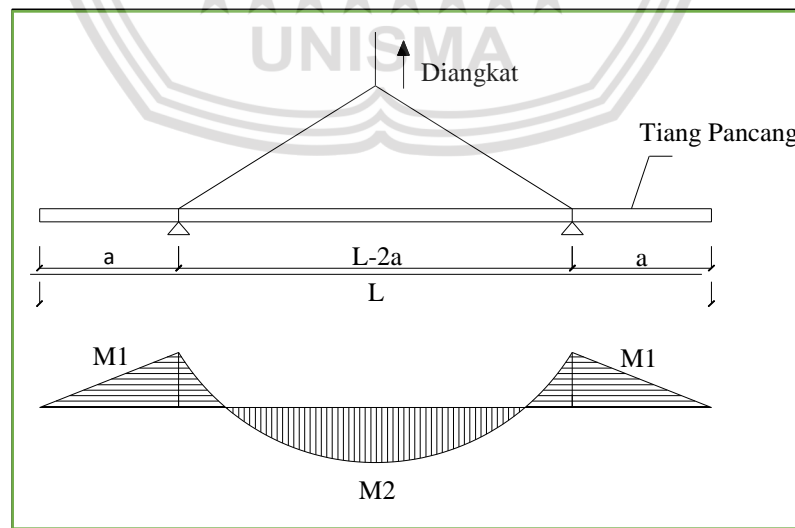
Di pakai beban dan momen dari perencanaan pilar

Beban vertikal (B_v) = 1.267.993 kg = 1.267,993 ton

Momen horizontal (M_H) = 414.851,464 kg.m = 414,851464 t.m

4.18.1 Penulangan Tiang Pancang Dihitung Berdasarkan Kebutuhan pada saat Pengangkatan

Kondisi I



Gambar 4.38 Gaya Angkat pada Kondisi 1

(Sumber : Gambar perencanaan)

Berat tiang pancang :

$$q = \frac{1}{4} \times \pi \times (D_{\text{tiang}})^2 \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,5)^2 \times 2320 = 455,3 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi :

$$M1 = \frac{1}{2} \times q \times a^2$$

$$M2 = \frac{1}{8} \times q \times (L-2a)^2 - \frac{1}{2} \times q \times a^2$$

$$M1 = M2 = \frac{1}{2} \times q \times a^2 = \frac{1}{8} \times q \times (L-2a)^2 - \frac{1}{2} \times q \times a^2$$

$$4a^2 + 4aL - L^2 = 0$$

$$4a^2 + 4a(6,2) - (6,2)^2 = 0$$

$$4a^2 + 24,8a - 38,44 = 0$$

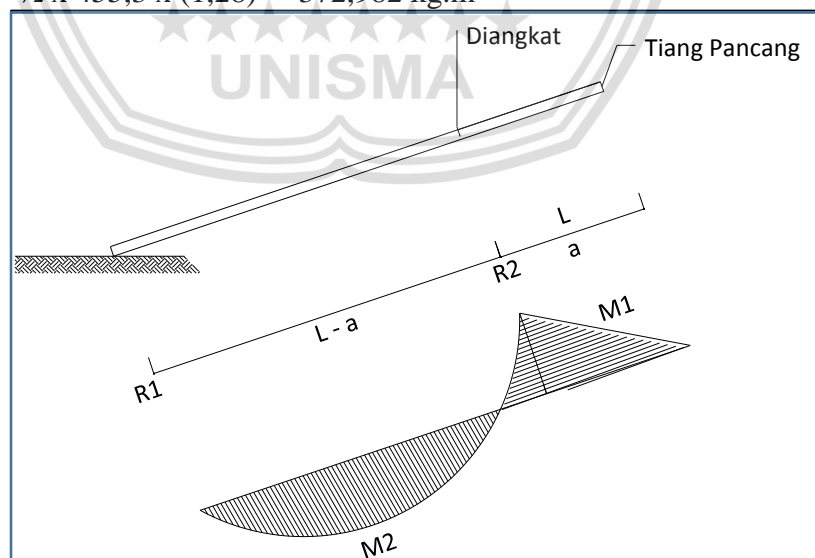
$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_{1,2} = \frac{-(24,8) \pm \sqrt{(24,8)^2 - 4 \times 4 \times (-38,44)}}{2 \times 4} = 1,28 \text{ m}$$

$$M1 = M2 = \frac{1}{2} \times q \times a^2$$

$$M = \frac{1}{2} \times 455,3 \times (1,28)^2 = 372,982 \text{ kg.m}$$

Kondisi 2



Gambar 4.39 Gaya Angkat pada Kondisi II

(Sumber : Gambar perencanaan)

Berat tiang pancang :

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{1}{4} \times \pi \times (D_{\text{tiang}})^2 \times \gamma_{\text{beton}} \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,5)^2 \times 2320 = 455,3 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{1}{2} \times q \times (L - a) - \left(\frac{\frac{1}{2} q \times a^2}{L - a} \right) \\
 &= \left(\frac{q(L - a)}{2} \right) - \left(\frac{q \times a^2}{2(L - a)} \right) \\
 &= \left(\frac{qL^2 - 2 \times a \times q \times L}{2(L - a)} \right)
 \end{aligned}$$

$$M_x = R_1 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$$

$$\text{Syarat ekstrim : } \frac{dM_x}{dx}$$

$$R_1 - qx = 0$$

$$x = \frac{R_1}{q} = \left(\frac{L^2 - 2 \times a \times L}{2(L - a)} \right)$$

$$M_{\text{Max}} = M_2 = R_1 \left(\frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)} \right) - \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)} \right)^2$$

$$M_{\text{Max}} = M_2 = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)} \right)^2$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Max}} = M_2 &= \frac{1}{2} \times q \times a^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)} \right)^2
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{L^2 - 2 \cdot a \cdot L}{2(L - a)}$$

$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0$$

$$2a^2 - 4a(6,2) + (6,2)^2 = 0$$

$$2a^2 - 24,8a + 38,44 = 0$$

$$\begin{aligned}
 a_{1,2} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{24,8 \pm \sqrt{(24,8^2) - (4 \times 2 \times 38,44)}}{2 \times (2)} = 1,816 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2} \times q \times a^2$$

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{1}{2} \times 455,3 \times (1,816)^2 \\
 &= 750,757 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Jadi momen yang paling menentukan adalah pada kondisi 2 (diambil momen terbesar 7.812,075 kg.m).

a. Perhitungan tulangan tiang pancang

Momen maksimum dari dua kondisi pengangkatan adalah berdasarkan metode pengangkatan satu tumpuan dengan $M_u = 750,757 \text{ kgm}$ dan nilai $a = 1,816 \text{ m}$ dari tepi.

Direncanakan :

$$\text{tulangan utama} = \text{D13} \star \star \star \star \star \star \star$$

$$\text{tulangan sengkang} = \text{D12}$$

Tulangan utama :

$$d = h - p - \emptyset \text{ sengkang} - \left(\frac{1}{2} \times \emptyset \text{ tulanga utama} \right)$$

$$= 500 - 40 - 12 - \left(\frac{1}{2} \times 13 \right) = 441,5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{750,757 \times 10^4}{0,8 \times 500 \times 441,5^2} = 0,096 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$w = 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times Rn}{fc'}} \right)$$

$$= 0,85 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times 0,096}{35}} \right) = 0,00274$$

$$\rho = w \times \frac{fc}{fy}$$

$$= 0,00274 \times \frac{35}{400} = 0,000239 < \rho_{\min} = 0,0035$$

$$As = \rho_{\min} \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 500 \times 441,5$$

$$= 772,625 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok 12 D13 : $As = 1593 \text{ mm}^2$

Tulangan geser :

Untuk tulangan geser menggunakan tulangan spiral D12

$$\text{Rumus : } \rho_s = 0,45 \times \left(\frac{Ag}{Ac} - 1 \right) \times \frac{fc}{fy}$$

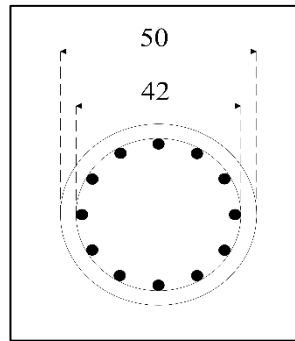
Dimana :

S = jarak spasi spiral (mm)

Ag = luas penampang lintang dari kolom

Ac = luas penampang lintang inti kolom

fy = tegangan leleh tulangan baja spiral (< 390 Mpa)



Gambar 4.40 Penampang Tiang Pancang
(Sumber : Gambar perencanaan)

Maka,

$$A_g = A_{\text{tiang}} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (500^2) = 196.250 \text{ mm}^2$$

$$A_c = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (420^2) = 138.474 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 35 \text{ Mpa}$$

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

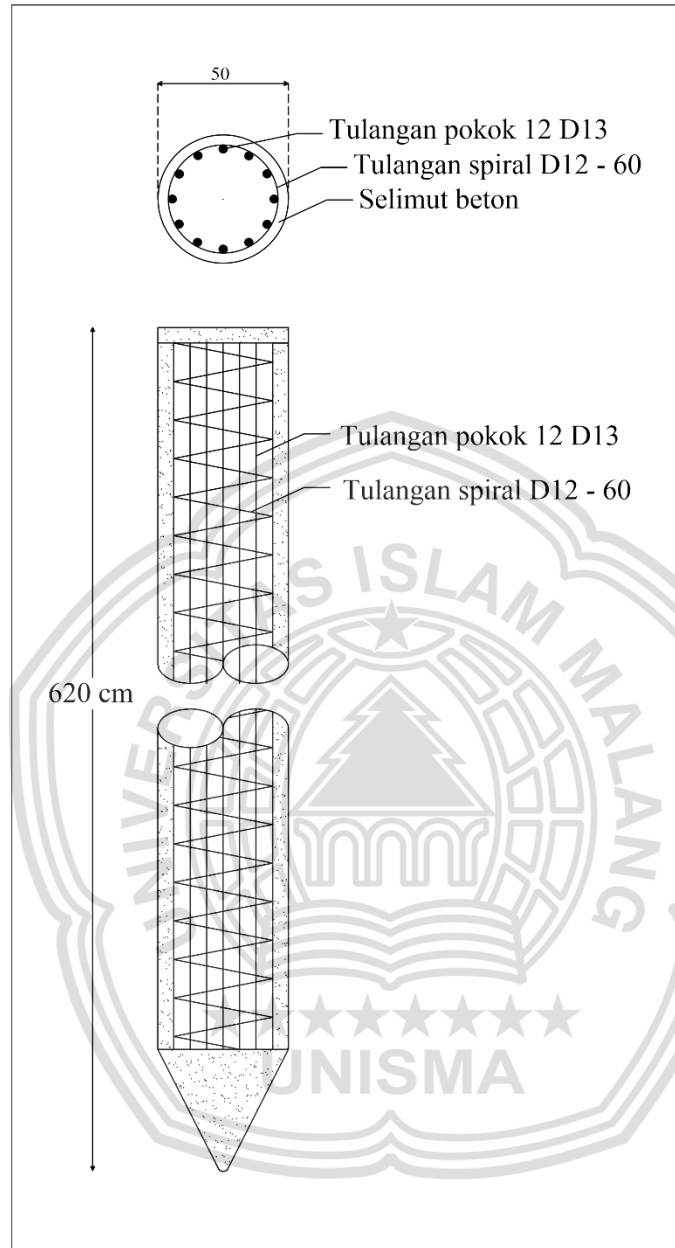
Sehingga diperoleh :

$$\rho_{s(\text{min})} = 0,45 \times \left(\frac{196.250}{138.474} - 1 \right) \times \frac{35}{390} = 0,017$$

Sedangkan jarak spasi maksimum diperoleh dengan cara:

$$\begin{aligned} A_{sp} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 12^2 \\ &= 113,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_s \text{ aktual} &= \frac{4 \times A_{sp}}{f_y \times \rho_{s(\text{min})}} \\ &= \frac{4 \times 113,04}{390 \times 0,017} = 68,199 \rightarrow 60 \text{ mm (jarak tulangan spiral)} \end{aligned}$$



Gambar 4.41 Penulangan Tiang Pancang
(Sumber : Gambar perencanaan)

4.18.2 Daya Dukung Tiang Pancang

- a. Berdasarkan kekuatan material

$$\begin{aligned}\sigma_b &= 0,33 \times f'c' \\ &= 0,33 \times 350 = 115,5 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{tiang} &= \sigma_b \times A_g \\ &= 115,5 \times 1.962,50 \\ &= 226.668,78 \text{ kg} = 226,669 \text{ ton}\end{aligned}$$

- b. Berdasarkan kemampuan terhadap kekuatan tanah :

$$P_a = \frac{qc \times A_g}{3} + \frac{K_a \times JHP}{5}$$

Keterangan

- P_a = Daya dukung ijin pondasi tiang pancang
 A_g = luas penampang tiang pancang
 K_a = Keliling penampang tiang
 qc = tekanan konus Rata-rata pada ujung pondasi tiang pancang
 JHP = Jumlah hambatan pelekat
 $3 \ \& \ 5$ = Angka keamanan

Pengecekan daya dukung ijin berdasarkan data data sondir :

$$qc = 250 \text{ kg/cm}^2 \text{ (dipakai kedalaman tanah 6,2 m)}$$

$$JPH = 602 \text{ kg/cm}$$

$$K_a = 3,14 \times 50 = 157 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}P_a &= \frac{250 \times 1.962,50}{3} + \frac{157 \times 602}{5} \\ &= 182.444,467 \text{ kg} = 182,444 \text{ ton}\end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapat daya dukung berdasarkan kekuatan material bahan = 226,669 ton, sedangkan daya dukung terhadap kekuatan tanah paa kedalaman 6,2 m = 182,444 ton. Jadi daya dukung yang menentukan berdasarkan kekuatan tanah.

$$B_{Stiang} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,5^2 \times 6,2 \times 2,320 = 2,823 \text{ ton}$$

$$Q_{sp} = 182,444 - 2,823 = 179,621 \text{ ton}$$

4.18.3 Perhitungan Jumlah Tiang

$$n = \frac{\sum V}{Q_{sp}} \text{ (Sardjono 1998, hal : 53)}$$

Keterangan :

n = jumlah tiang

$\sum V$ = gaya vertical

Q_{sp} = kemampuan satu tiang pancang

$$n = \frac{1.267,993}{179,621} = 7,059 \text{ buah}$$

Direncanakan tiang pancang 12 buah

4.18.4 Perhitungan Kontrol Jarak Antar Tiang

Jarak antar tiang minimum :

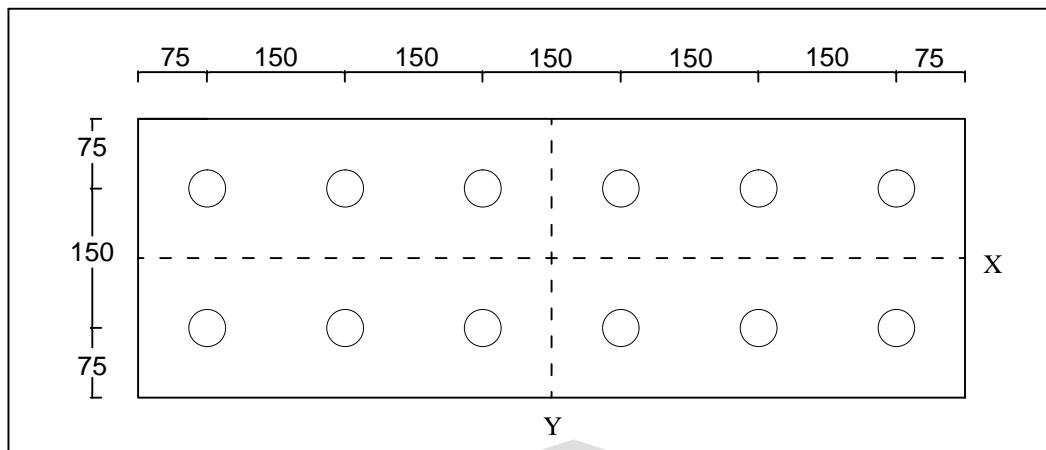
$$2,5 \cdot \emptyset_{tiang} - 3 \cdot \emptyset_{tiang} \quad \text{(Sardjono, 1998)}$$

$$2,5 \times 50 - 3 \times 50$$

$$125 \text{ cm} - 150 \text{ cm}$$

Maka, diambil jarak 150 cm

$$\text{Jarak tepi} = S > 1,25 \times D = 62,5 \text{ maka di ambil } S = 75 \text{ cm}$$



Gambar 4.42 Kontrol Jarak Antar Tiang
(Sumber : Gambar perencanaan)

4.18.5 Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang Pancang

Efisiensi dari rumus “Uniform Building Code” dari AASHO

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{m \cdot n} \right] \text{ (Sardjono 1998, hal : 34)}$$

Dimana :

m = Jumlah baris (2)

n = Jumlah tiang dalam satu baris (6)

d = Diameter tiang (50 cm)

s = Jarak antar tiang (150 cm)

θ = Sudut geser (0^0)

$$\theta = \text{arc} \cdot \tan \frac{D}{S}$$

$$= \text{arc} \cdot \tan \frac{50}{150} = 18,435$$

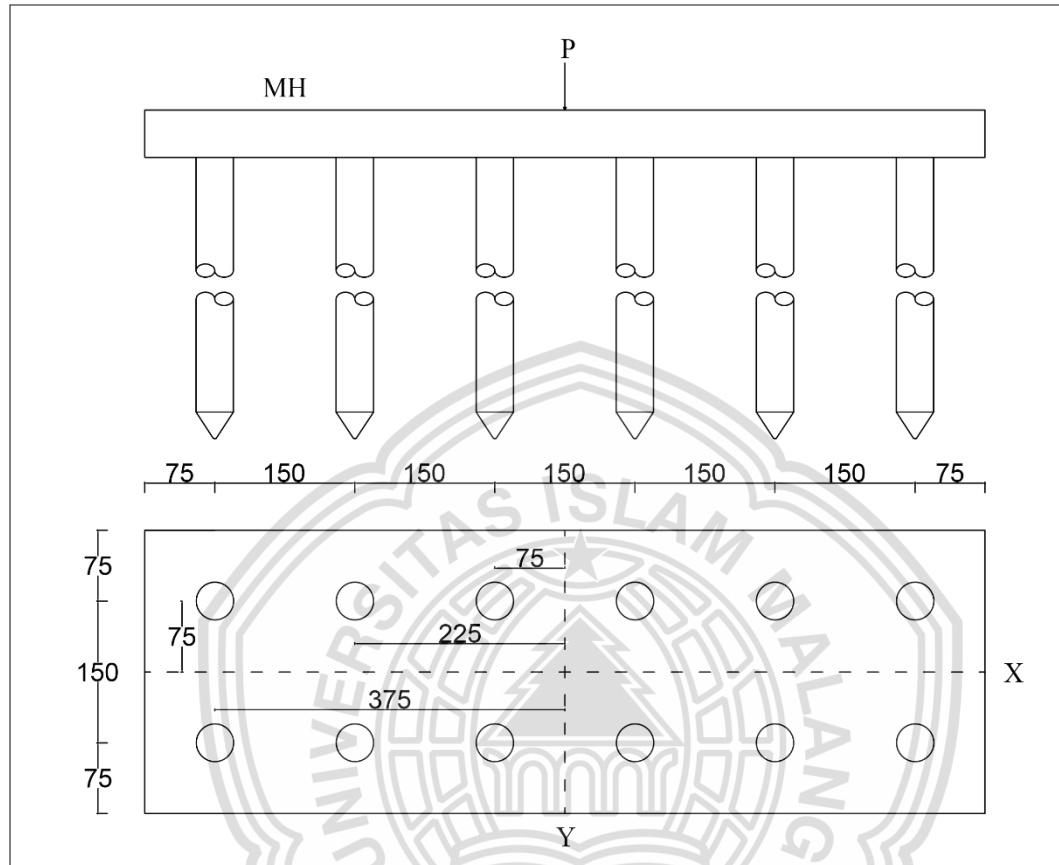
$$\eta = 1 - \frac{18,435}{90} \times \left[\frac{(6-1) \times 2 + (2-1) \times 6}{2 \times 6} \right] = 0,727$$

$$\text{Maka daya dukung tiang} = \eta \times Q_{Sp}$$

$$= 0,727 \times 179,621 \text{ ton}$$

$$= 130,584 \text{ ton}$$

4.18.6 Kekuatan Tiang Pancang Menerima Gaya Eksentrisitas



Gambar 4.43 Gaya Eksantrisitas Tiang Pancang
(Sumber : Gambar perencanaan)

Diketahui :

$$\text{Beban Vertikal (Bv)} = 1.253.593 \text{ kg} = 1.253,593 \text{ ton}$$

$$\text{Momen beban horizontal} = 414.851,464 \text{ kg.m} = 414,851 \text{ t.m}$$

$$n_x = 6 \text{ buah}$$

$$n_y = 2 \text{ buah}$$

$$X_{\max} = 3,75 \text{ m}$$

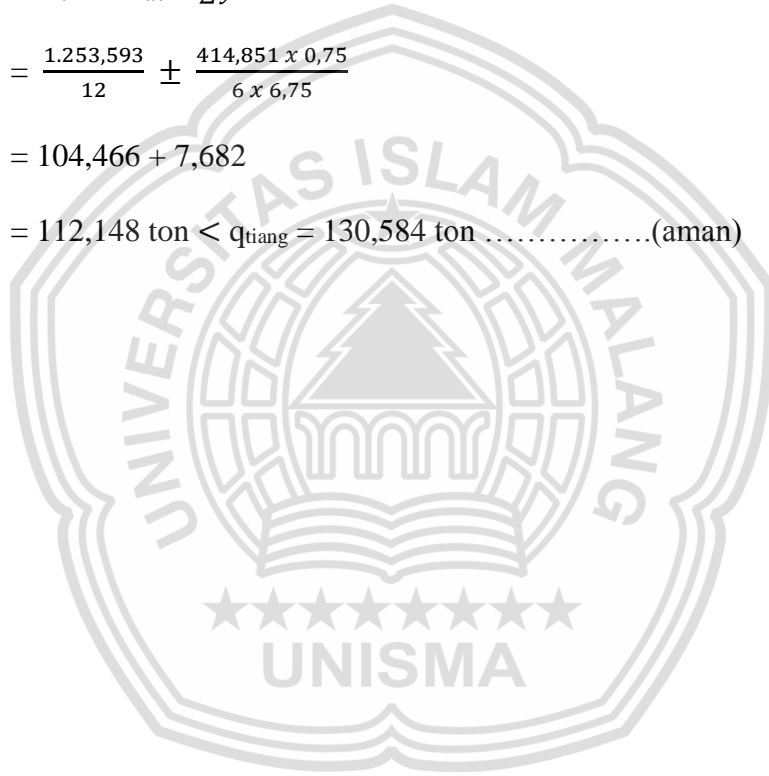
$$Y_{\max} = 0,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\rightarrow \sum X^2 &= 2 \cdot 2 \cdot [3,75^2] + 2 \cdot 2 \cdot [0,75^2] + 2 \cdot 2 \cdot [2,25^2] \\ &= 78,75 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rightarrow \sum Y^2 &= 6 \cdot 2 \cdot [0,75^2] \\ &= 6,75 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Maka, kekuatan tiang pancang :

$$\begin{aligned}P_{mak} &= \frac{\sum V}{n} \pm \frac{\sum MH \cdot y_{max}}{nx \cdot \sum y^2} \quad (\text{Sarjono Hs, 1998 hal : 21}) \\ &= \frac{1.253,593}{12} \pm \frac{414,851 \times 0,75}{6 \times 6,75} \\ &= 104,466 + 7,682 \\ &= 112,148 \text{ ton} < q_{tiang} = 130,584 \text{ ton} \dots\dots\dots(\text{aman})\end{aligned}$$



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa dari perhitungan studi alternatif perencanaan jembatan widang-babat pada bentang tengah dengan menggunakan metode pratekan, maka dapat di simpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perencanaan besarnya pembebanan dan dimensi plat lantai kendaraan dari hasil perhitungan beban primer didapat, berat plat lantai kendaraan : 849,1 Kg/m, berat sendiri gelagar : 9.464 Kg/m, beban hidup : 2.980,8 kg/m, beban garis “p” : 12.348 kg. Sedangkan untuk beban sekunder didapat beban angin : 181,267 Kg/m, dan akibat gaya rem : 5.625 Kg.
2. Hasil perencanaan dimensi gelagar jembatan dengan tinggi : 250 cm, lebar flens bawah : 110 cm, tebal flens bawah : 50 cm, lebar flens atas : 180 cm, tebal flens atas : 30 cm, dan tebal badan gelagar : 80 cm.
3. Hasil perencanaan plat lantai kendaraan diperoleh tebal plat beton : 20 cm, tulangan pokok D14 – 100 mm dan tulangan bagi D12 – 250 mm.
4. Hasil perencanaan pilar jembatan diperoleh dengan ukuran tinggi pilar : 5,4 m, panjang pilar : 9 m, lebar atas : 2,2 m, dan lebar bawah : 3 m.
5. Berdasarkan data sondir, pondasi pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang dengan kedalaman 6,2 m, diameter 50 cm, dengan tulangan pokok 12 D13 mm dan tulangan spiral D12 – 60 mm dengan jumlah tiang pancang sebanyak 12 buah.

5.2 Saran

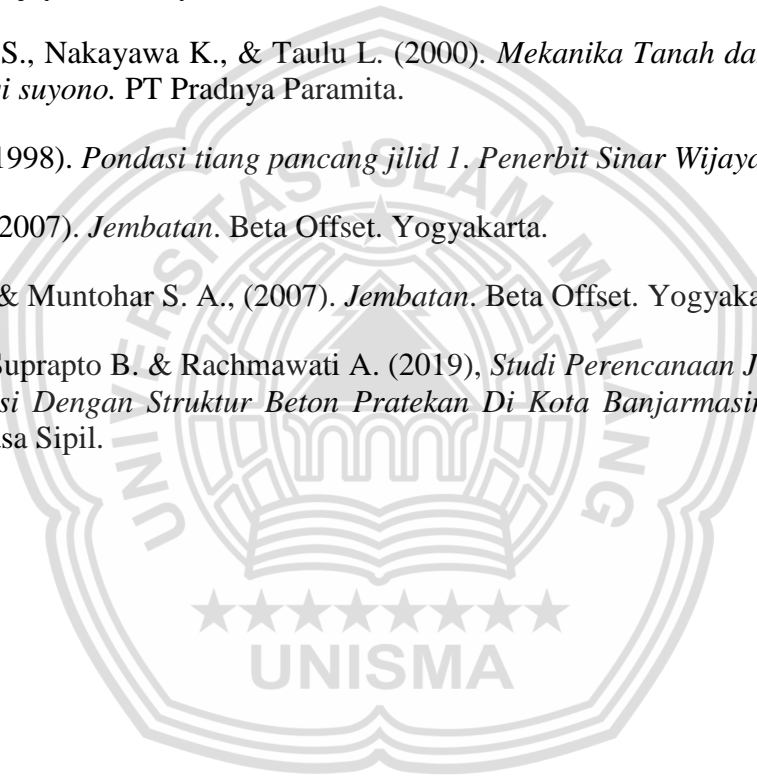
1. Dalam tugas akhir ini jembatan direncanakan menggunakan beton prategang, namun bisa juga digunakan alternatif lain seperti *stell box girder*.
2. Untuk merencanakan plat lantai kendaraan selain pakai pelat konvensional dapat menggunakan pelat bondek.
3. Untuk perencanaan pondasi dapat memakai pondasi kaisan/sumuran.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011. *Perencanaan Beton Pratekan Untuk Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Anonim, 2004. *Rsni-t-12-2004-perenc-str-jembatan-beton1*. Badan Standard Nasional.
- Anonim, 1992. “Bridge Management System Section 1”, Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2008. SNI 1967:2008, *Spesifikasi bantalan elastomer tipe polos dan tipe berlapis untuk perletakan jembatan*. Badan Standardisasi Nasional
- Anonim, 2015. *Pedoman Perencanaan bantalan Elastomer untuk Perletakan Jembatan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim, 2016. *SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan*. Badan standard Nasional.
- Anonim, 2016. SNI 2833:2016 *Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*. Badan standard Nasional.
- ASTM, 2017, *Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressd Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA
- Basah K. S., 1994. *Teknik Fondasi Bagian II*, Nafiri, Yogyakarta.
- Bowles, J. E. (1991). *Analisa dan desain Pondasi*. Edisi Keempat Jilid, 1. Penerbit Erlangga.
- Budiadi, A. (2008). *Desain Praktis Beton Prategang*. Penerbit andi. Yogyakarta
- G. Nawy, E. (2001). *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar*. Erlangga. Jakarta.
- Istimawan, 1994, *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Umum. Jakarta.
- Iqbal M, A. (1995). *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. PT Mediatama Saptakarya, DPU.
- Jamal A.Z, A. (2007). *Analisi Pengaruh Diafragma Terhadap Tekuk Lateral Pada Gelagar Memanjang Jembatan*.
- Kamalia, N., Warsito & Suprpto, B. (2021). *Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Pratekan Di Desa Kemuning Kecamatan Sampang-Madura*. Jurnal Rekayasa Sipil.

- Lin, T. Y., & H. Burns, N. (1982). *Design of Prestressed Concrete Structures*. John Wiley and Sons.
- Lin, T. Y., & H. Burns, N. (1996). *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Rahman A., Warsito & Suprpto B. (2021), *Studi Perencanaan Jembatan Petak Kabupaten Nganjuk dengan Menggunakan Metode Prategang*. Jurnal Rekayasa Sipil.
- Sardjono H. S., (1996). *pondasi-tiang-pancang (untuk Universitas dan umum)*. Sinar Wijaya. Surabaya.
- Sosrodarsono, S., Nakayawa K., & Taulu L. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi suyono*. PT Pradnya Paramita.
- Sardjono, H. (1998). *Pondasi tiang pancang jilid 1*. Penerbit Sinar Wijaya.
- Supriyadi, B. (2007). *Jembatan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Supriyadi, B., & Muntohar S. A., (2007). *Jembatan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Yusni A. M., Suprpto B. & Rachmawati A. (2019), *Studi Perencanaan Jembatan Sulawesi Dengan Struktur Beton Pratekan Di Kota Banjarmasin*. Jurnal Rekayasa Sipil.



LAMPIRAN

A. Foto dokumentasi dilapangan saat pengerjaan



Foto : Persiapan komponen jembatan
Sumber : *Dokumtasi Pribadi, 2020*



Foto : Pengecekan dan pemasangan launcher
Sumber : *Dokumtasi pribadi, 2020*



Foto : Persiapan pemasangan *stell box girder*
Sumber : *Dokumtasi pribadi, 2020*



Foto : Observasi lokasi penelitian
Sumber : *Dokumestasi pribadi, 2020*

B. Foto jembatan sebelum ambruk



Foto : Kondisi saat lalu lintas padat
Sumber : Google, 2018



Foto : Kondisi usia jembatan yang sudah terlalu tua
Sumber : Google, 2018



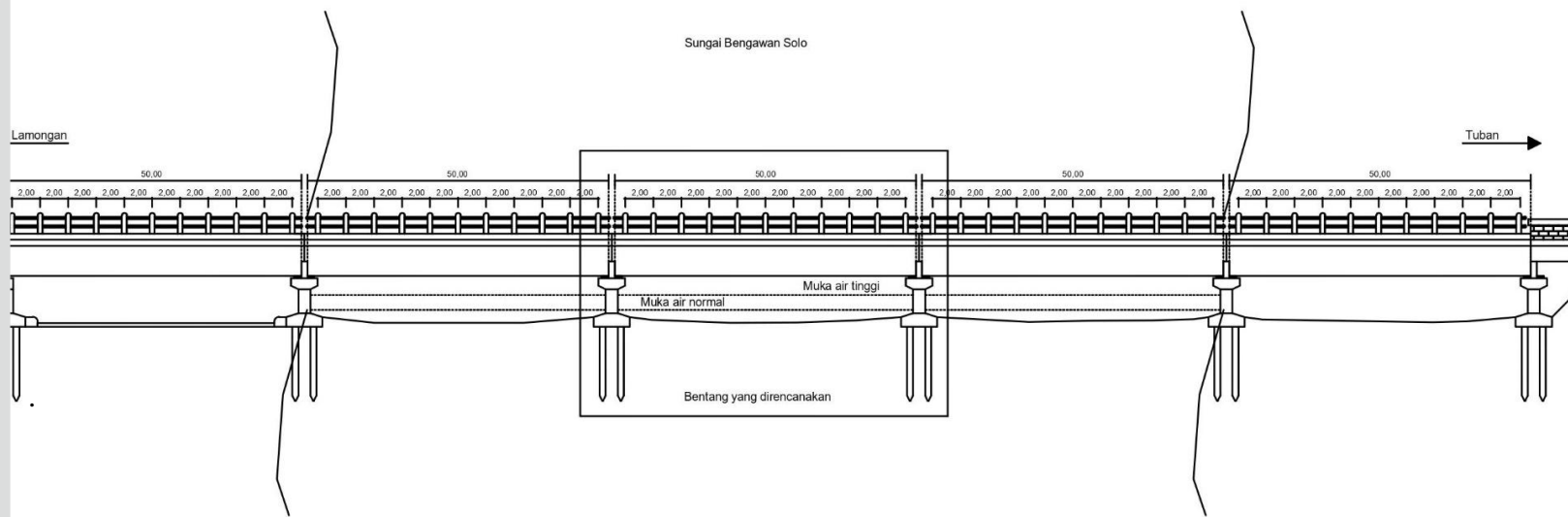
Foto : Kendaraan bermuatan lebih
Sumber : Google, 2018



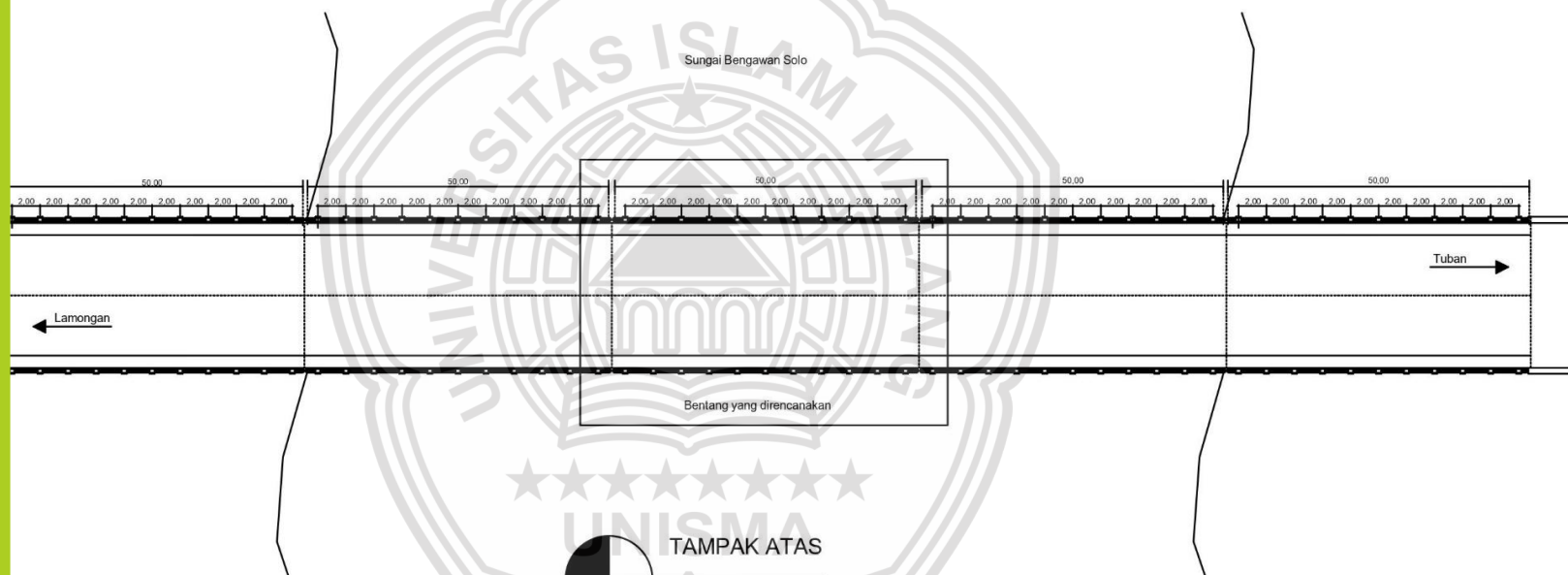
Foto : Putusnya Jembatan Widang-Babat
Sumber : Google, 2018



GAMBAR HASIL PERENCANAAN



 TAMPAK SAMPIING
Skala 1 : 100



 TAMPAK ATAS
Skala 1 : 100



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK SIPIL

Judul Skripsi

Studi Alternatif Perencanaan
Jembatan Widang - Babat
pada Bentang Tengah
dengan Menggunakan
Metode Pratekan

Nama

Andy Amirulloh
21601051109

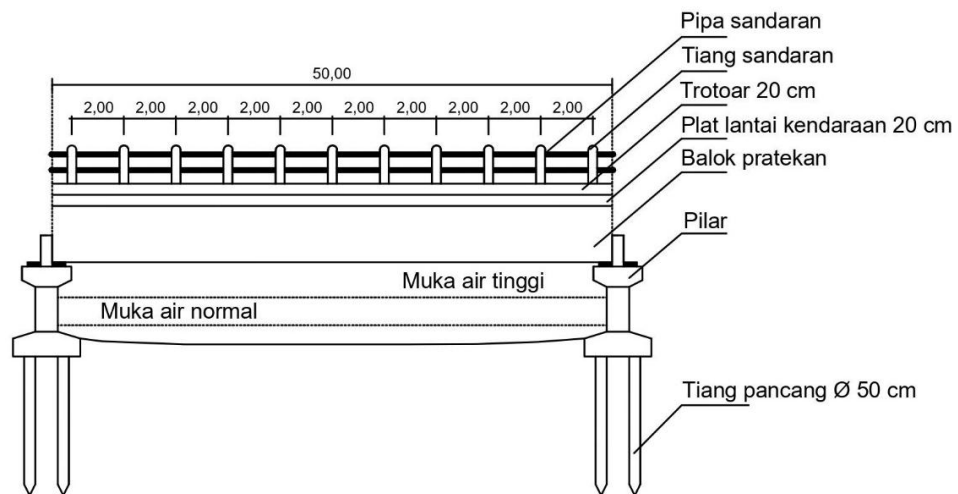
Pembimbing 1

Ir. H. Warsito, M.T.

Pembimbing 2

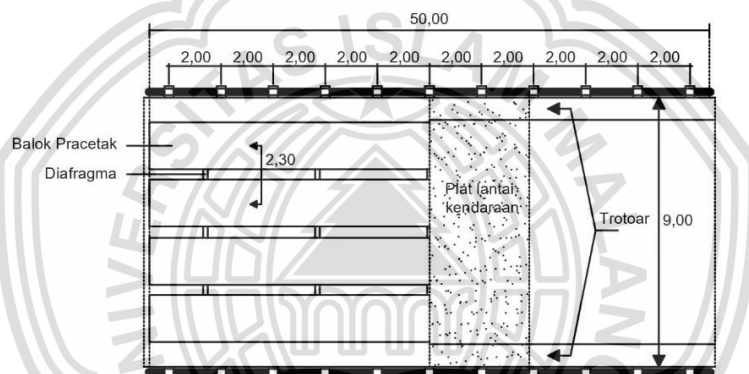
Ir. BAMBANG SUPRAPTO., M.T.

Halaman Gambar



BENTANG YANG DIRENCANAKAN

Skala 1 : 50



TAMPAK ATAS BENTANG YANG DIRENCANAKAN

Skala 1 : 50



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK SIPIL

Judul Skripsi

Studi Alternatif Perencanaan
Jembatan Widang - Babat
pada Bentang Tengah
dengan Menggunakan
Metode Pratekan

Nama

Andy Amirulloh
21601051109

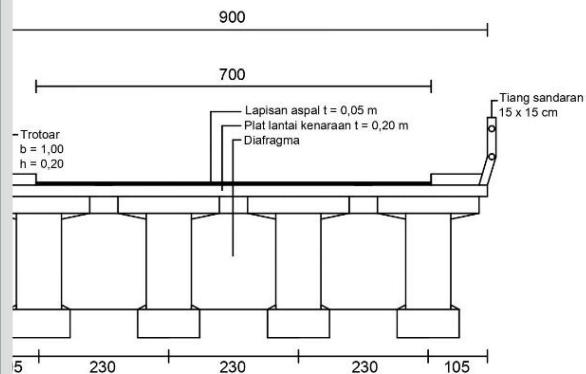
Pembimbing 1

Ir. H. Warsito, M.T.

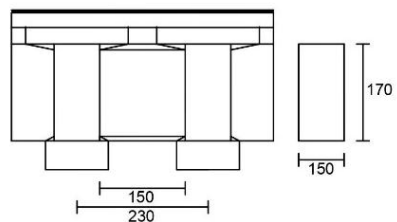
Pembimbing 2

Ir. BAMBANG SUPRAPTO., M.T.

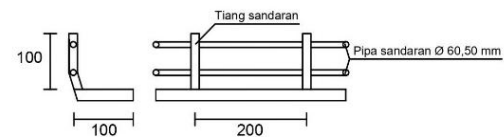
Halaman Gambar



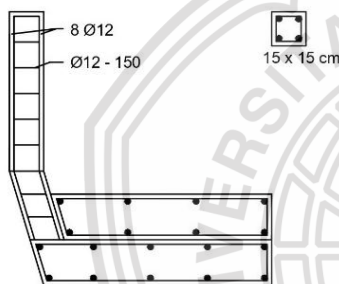
TAMPAK MELINTANG
Skala 1 : 50



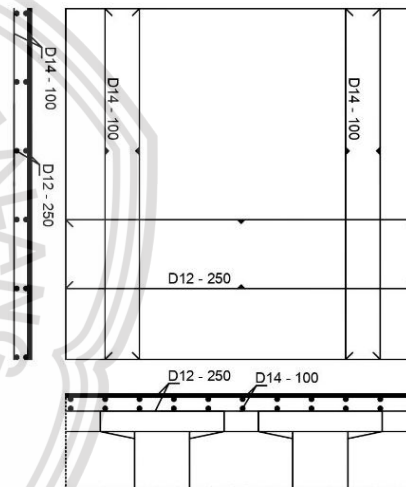
DETAIL DIAFRAGMA
Skala 1 : 50



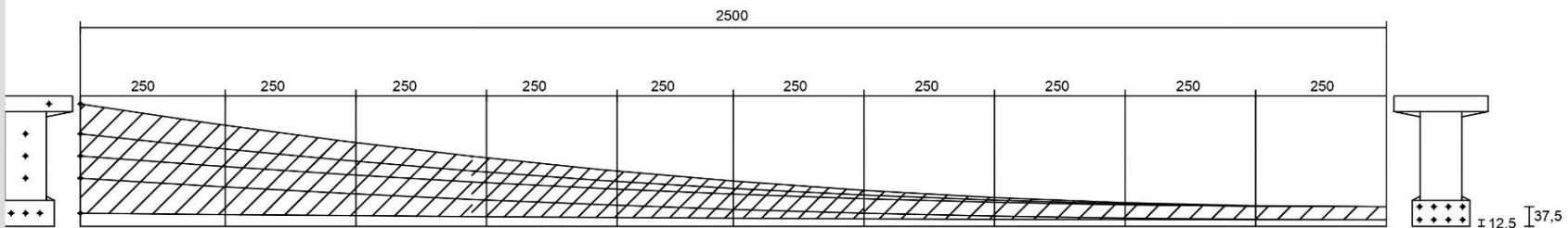
DETAIL TROTOAR DAN TIANG SANDARAN
Skala 1 : 50



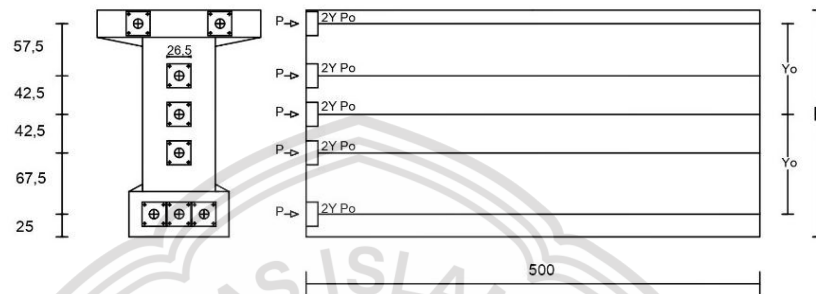
DETAIL TULANGAN TIANG SANDARAN DAN TROTOAR
Skala 1 : 20



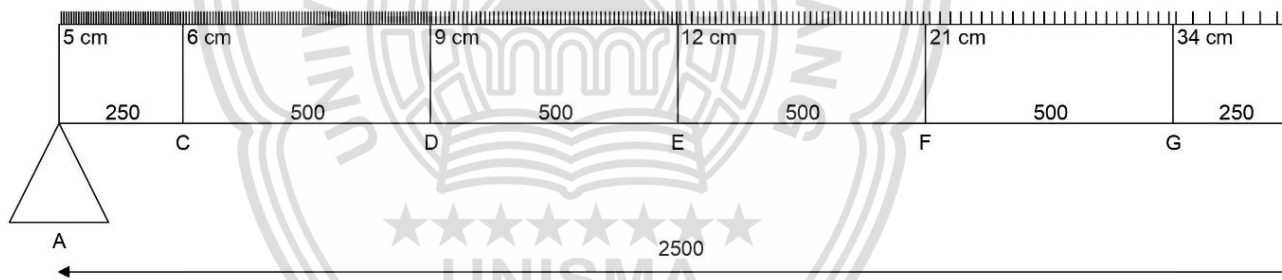
DETAIL TULANGAN PLAT LANTAI KENDARAAN
Skala 1 : 20



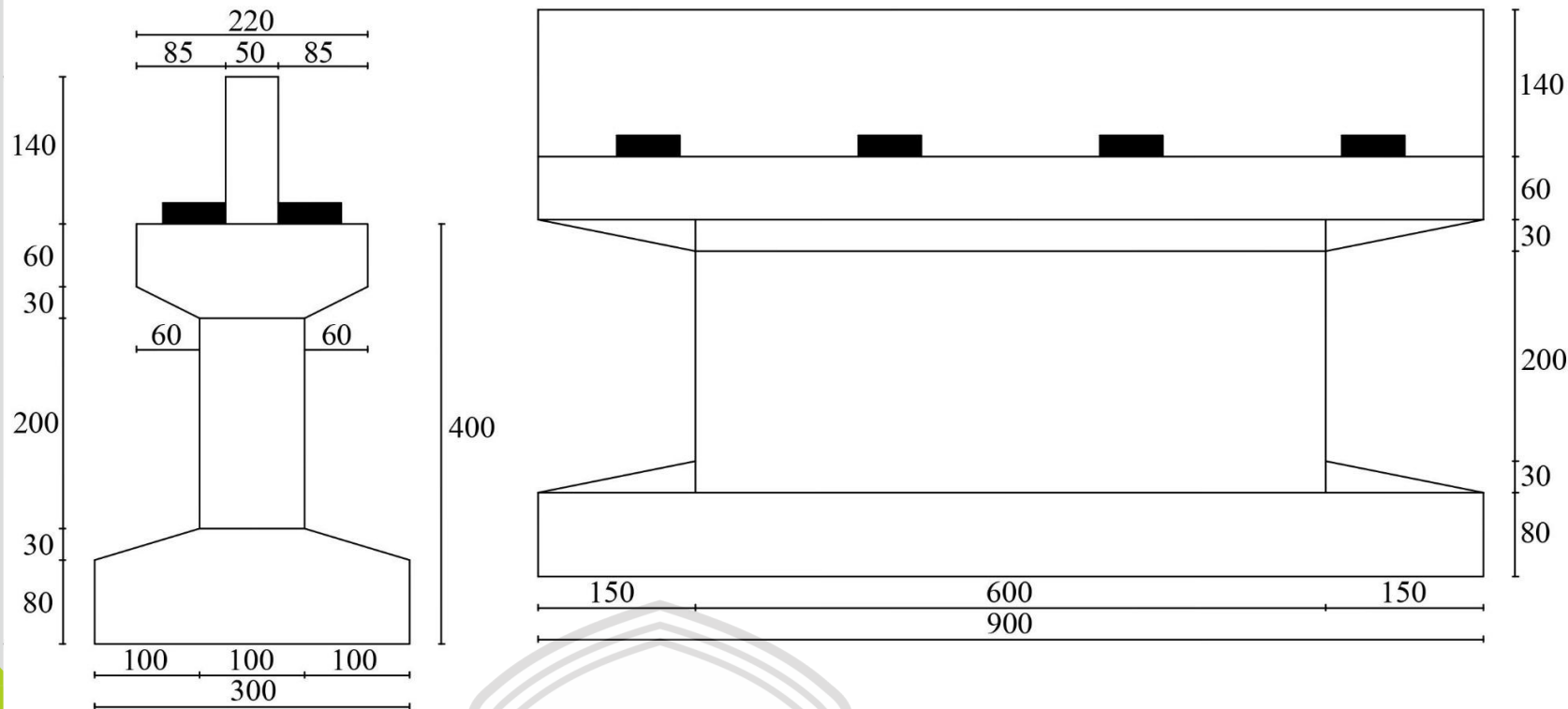
DENAH KABEL TENDON
Skala 1 : 50



DETAIL BALOK UJUNG
Skala 1 : 50

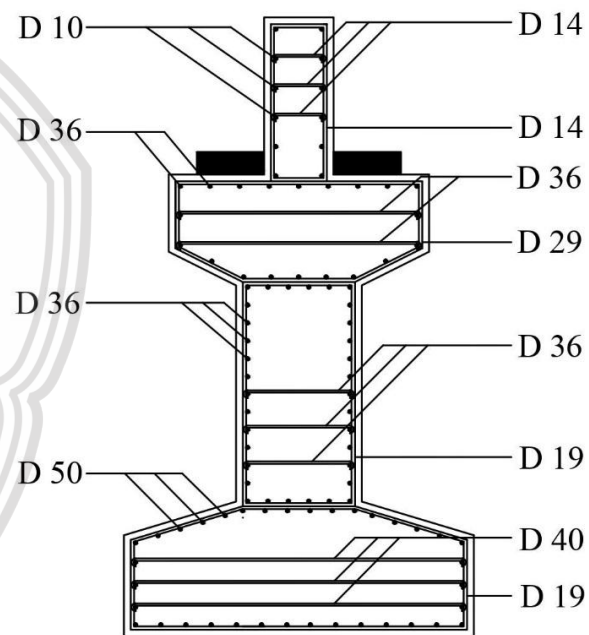


DETAIL SHEAR CONNECTOR
Skala 1 : 50



DETAIL PILAR

Skala 1 : 20



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK SIPIL

Judul Skripsi

Studi Alternatif Perencanaan
Jembatan Widang - Babat
pada Bentang Tengah
dengan Menggunakan
Metode Pratekan

Nama

Andy Amirulloh
21601051109

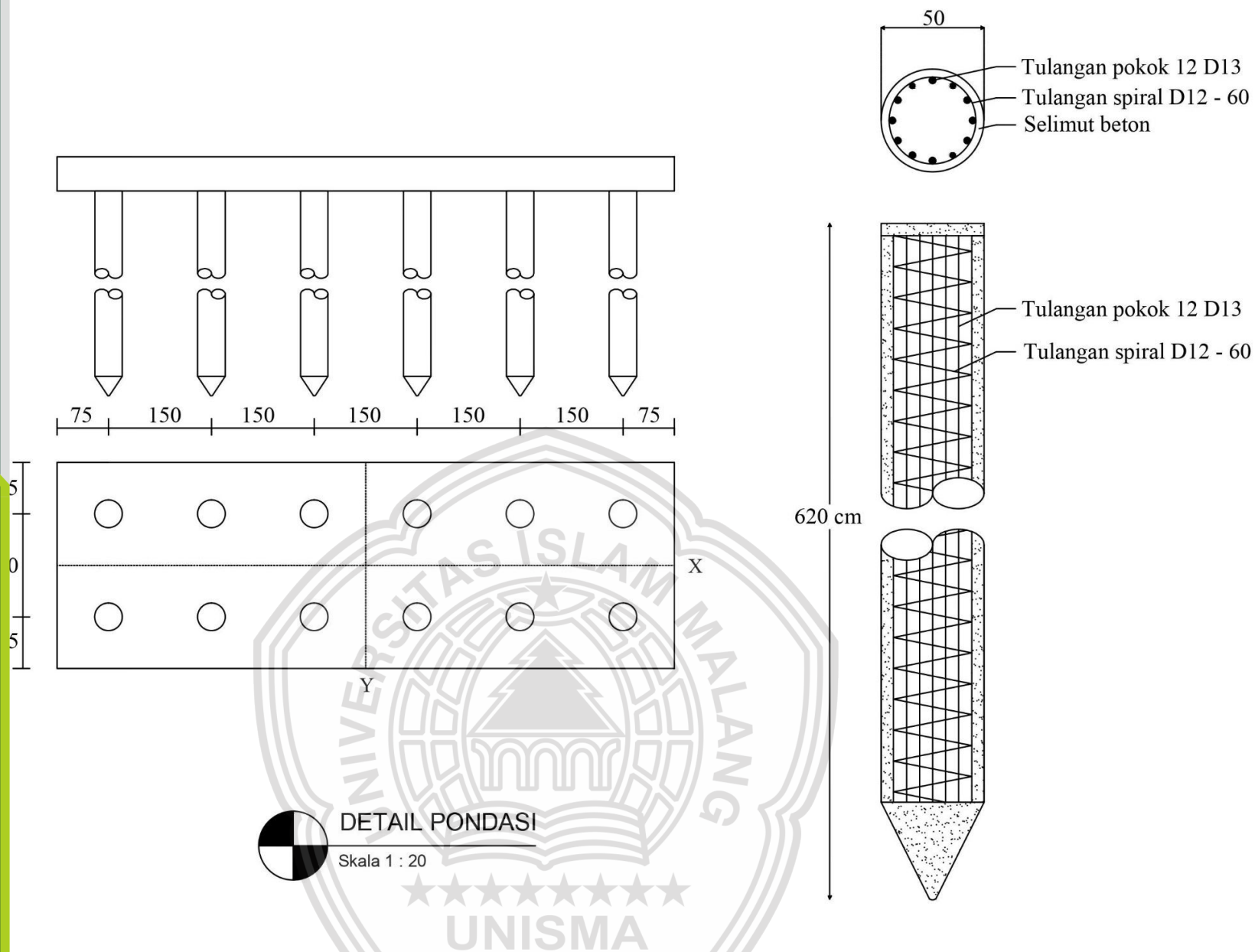
Pembimbing 1

Ir. H. Warsito, M.T.

Pembimbing 2

Ir. BAMBANG SUPRAPTO., M.T.

Halaman Gambar



UNIVERSITAS ISLAM MALANG
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK SIPIL

Judul Skripsi

Studi Alternatif Perencanaan
Jembatan Widang - Babat
pada Bentang Tengah
dengan Menggunakan
Metode Pratekan

Nama

Andy Amirulloh
21601051109

Pembimbing 1

Ir. H. Warsito, M.T.

Pembimbing 2

Ir. BAMBANG SUPRAPTO., M.T.

Halaman Gambar

ABSTRAK

Andy Amirulloh, 21601051109, 2021, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Judul Skripsi “Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang–Babat pada Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode pratekan”.
Pembimbing I : Ir. H. Warsito, M.T. Pembimbing II : Ir. Bambang Suprpto, M.T.

Jembatan Widang–Babat merupakan Jembatan yang menghubungkan antara dua daerah yaitu Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan. Jembatan tersebut putus pada tahun 2018 lalu, dan mulai diperbaiki pada tahun 2019. Berdasarkan kondisi perencanaan yang ada dilapangan, diperoleh jembatan dibuat menggunakan *stell box girder* dengan panjang 50 m dan lebar 9 m. tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui beban yang digunakan dalam perencanaan, dimensi gelagar, dan dimensi pilar, serta mengetahui ukuran dan jumlah pondasi yang digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan metode diskriptif kuantitatif yang meliputi metode literatur dan metode observasi. Dari hasil perencanaan gelagar beton pratekan dapat disimpulkan dimensi gelagar direncanakan dengan tinggi 2,50 m, lebar flens atas 1,80 m, lebar flens bawah 1,10 m, tebal flens atas 0,30 m, tebal flens bawah 0,50 m, dan tebal badan ,80 m. tendon direncanakan dengan jenis *strand Uncoated seven wire grade 270 ASTM A416 (VSL strand post-tensioning systems)*. Jumlah tendon yang direncanakan sesuai perhitungan menggunakan 8 buah tendon. Untuk ukuran pilar direncanakan dengan tinggi 5,40 m, panjang pilar 9,00 m, dan lebar pilar 2,20 m. pada perencanaan pondasi digunakan pondasi tiang pancang dengan diameter 0,50 m, dengan kedalaman 6,2 m.

Kata kunci : Jembatan, Pratekan, Widang-Babat.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari kondisi topografi yang beragam dan jumlah penduduk terpadat keempat di dunia. Hal ini juga turut menuntun perekonomian Indonesia agar tetap bias selalu memnuhi kebutuhan dan permintaan masyarakat. Dengan demikian kebutuhan Indonesia akan infastruktur juga kian meningkat. Salah satunya dengan membangun sarana dan prasarana transposrtasi yang memadai agar dapat menunjang mobilitas warga.

Salah satu wilayah dengan kondisi topografi yang beragam yaitu adalah di wilayah Jawa yang memiliki banyak aliran sungai, dengan demikian dibutuhkan pembangunan jembatan sebagai salah satu alternatif penyebrangan agar dapat menghubungkan wilayah pada suatu daerah.

Jembatan adalah bagian jalan yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua jalan yang terpisah karena suatu rintangan seperti sungai, lembah, laut, jalan raya dan rel kereta api. Jembatan sangat vital fungsinya terhadap kehidupan manusia, dan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi tiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik. (Supriyadi, 2007).

Jembatan Widang-Babat merupakan jembatan yang menghubungkan antara Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan. Jembatan tersebut juga bisa digunakan akses menuju jalur pantura. Jembatan ini dibangun pada tahun 1970 dan merupakan jembatan rangka baja *Callendar Hamilton Bridge* dengan panjang total

240 meter yang melintasi sungai Bengawan Solo. Jumlah bentang (segmen) jembatan cincin tersebut, yaitu lima bentang dengan lebar 7 meter, tidak termasuk trotoar di kiri dan kanan jembatan. Bentang pertama hingga keempat masing-masing memiliki panjang 50 meter, sedangkan bentang kelima 40 meter, dengan pondasi tiang pancang beton. Lokasi jembatan tersebut terletak di km. Surabaya 72+240 ruas Jalan Nasioanal dan termasuk dalam jaringan jalan lintas utara Provinsi Jawa Timur yang menghubungkan Kabupaten Tuban dan Kabupaten Lamongan. Jembatan yang harusnya hanya mampu menahan beban 40 ton ini, putus pada bulan april tahun 2018 lalu. Disebabkan muatan yang melintas diatas jembatan tersebut melebihi batas yang tentukan oleh pembangunnya dulu. Jembatan tersebut putus karena tidak kuat menahan beban tiga truk besar yang berbobot 120 ton lewat bersamaan. Putusnya jembatan tersebut terletak pada bentang ketiga yang berada di tangan jembatan dengan panjang 50 meter. Berdasarkan kondisi perencanaan yang ada di lapangan, bentang yang diperbaiki yaitu bentang $P2 = 50$ m, $P3 = 50$ m, $P4 = 50$ m, $P5 = 40$ m. Perencanaan ulang jembatan menggunakan material komposit dengan *Stell Box Girder*. Dengan uraian data penulis merencanakan penyusunan tugas akhir ini, dengan judul “Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang-Babat pada Bentang Tengah dengan Metode Pratekan”.

Beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat beban kerja. (SNI 03-2847-2002). Beton prategang juga dapat didefinisikan sebagai beton dimana tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dihilangkan atau dikurangi sampai batas aman dengan pemberian gaya tekan permanen, dan baja

prategang yang digunakan untuk keperluan ini ditarik sebelum beton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pasca tarik).

Adapun beberapa keunggulan beton prategang yang dapat menjadi tinjauan dalam memilih metode tersebut. Dengan menggunakan beton prategang, maka jumlah baja dalam tulangan lebih sedikit dibandingkan baja pada tulangan beton konvensional serta strukturnya yang lebih kecil dan langsing karena dipasang dengan efektif. Sedangkan dibandingkan menggunakan dengan menggunakan baja, maka beton prategang lebih kuat terhadap tekanan dari beban laju dari kendaraan yang ada diatas jembatan. Hal tersebut yang membuat beton prategang lebih ringan dan kecil pada bagian struktur betonnya. Beton prategang juga merupakan beton yang kedap air dan kuat terhadap pergeseran serta kemiringan yang dapat mengakibatkan keretakan.

Perencanaan harus memperhatikan faktor komponen struktur maupun keseluruhan jembatan dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut (Masnul, 2009):

1. Kontinuitas dan redundansi
2. Semua komponen struktur jembatan harus mempunyai ketahanan yang terjamin terhadap kerusakan dan instabilitas sesuai umur yang direncanakan.
3. Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau beban berlebihan.

Jembatan ini mempunyai struktur utama yang berupa Balok Prategang I (PCI), dengan metode postension dan mutu beton K-500. Untuk plat lantai

menggunakan konstruksi beton bertulang dengan metode *insitu*, sehingga akan terjadi aksi komposit antara balok precast dan pelat cor di tempat. Perencanaan jembatan ini menggunakan SNI 1725-2016 (Peraturan Pembebanan untuk Jembatan), RSNI-T-12-2004 (Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan)

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, ada beberapa identifikasi masalah yang dijadikan bahan perencanaan jembatan Widang-Babat adalah sebagai berikut :

1. Akibat dari beban lalu lintas yang padat, sehingga diperlukan alternatif selain gelager *plate girder*.
2. Usia Jembatan sudah terlalu tua dan tidak mampu menahan beban kendaraan yang lewat.
3. Banyak kendaraan yang bermuatan lebih melintasi jembatan sehingga diperlukan perencanaan pembebanan yang sesuai dengan kondisi saat ini.
4. Terjadinya kegagalan struktur utama pada jembatan sebelumnya.
5. Akibat besarnya lendutan pada gelager, maka lebih efisien jika menggunakan beton pratekan.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, ada beberapa rumusan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar pembebanan yang terjadi pada perencanaan jembatan widang ?
2. Berapa dimensi plat lantai kendaraan pada jembatan widang ?
3. Berapa dimensi gelager yang digunakan pada jembatan widang ?
4. Berapa dimensi pilar pada jembatan widang ?
5. Berapa ukuran dan jumlah pondasi yang direncanakan ?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui berapa beban yang terjadi dalam perencanaan.
2. Mengetahui berapa dimensi plat lantai kendaraan yang direncanakan.
3. Mengetahui berapa dimensi gelagar yang digunakan.
4. Mengetahui berapa dimensi pilar yang sesuai.
5. Mengetahui ukuran dan jumlah pondasi yang digunakan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi penulis dapat mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang telah diajarkan dan dipelajari selama duduk di bangku perkuliahan ke dalam perencanaan sebuah struktur jembatan.
2. Dapat menambah referensi untuk mahasiswa, khususnya di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Malang.
3. Bagi instansi terkait bisa dijadikan bahan masukan alternatif untuk merencanakan jembatan lainnya.

1.6 Lingkup Pembahasan

Sesuai dengan judul tugas akhir ini “Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Widang – Babat pada Bentang Tengah dengan Menggunakan Metode Pratekan” maka pembahasan hanya sampai dengan bangunan bawah yang meliputi :

1. Perhitungan plat lantai kendaraan
 - a. Pembebanan lantai kendaraan
2. Perhitungan trotoar dan sandaran
 - a. Pembebanan trotoar
 - b. Pembebanan sandaran
3. Perhitungan gelagar beton pratekan

- a. Perencanaan balok pratekan
- b. Perhitungan statika
- c. Tegangan ijin
4. Perhitungan jumlah tendon
 - a. Perencanaan tendon
 - b. Perencanaan perhitungan tandon
5. Perhitungan kontrol lendutan
 - a. Menentukan keadaan awal
 - b. Menentukan keadaan setelah kehilangan gaya prategang
6. Perhitungan balok ujung (*end block*)
 - a. Gaya tarik pemecah
 - b. Basar gaya tarik pada lepas gumpal
7. Perhitungan pilar
 - a. Perencanaan pilar
 - b. Perhitungan pembebanan
 - c. Perhitungan gaya horizontal
8. Kontrol stabilitas pilar
 - a. Penulangan pilar
9. Perencanaan pondasi tiang pancang
 - a. Perhitungan berat sendiri pondasi
 - b. Perhitungan daya dukung tanah pondasi
 - c. Menentukan jumlah pondasi
 - d. Kontrol jarak antar pondasi

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil analisa dari perhitungan studi alternatif perencanaan jembatan widang-babat pada bentang tengah dengan menggunakan metode pratekan, maka dapat di simpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perencanaan besarnya pembebanan dan dimensi plat lantai kendaraan dari hasil perhitungan beban primer didapat, berat plat lantai kendaraan : 849,1 Kg/m, berat sendiri gelagar : 9.464 Kg/m, beban hidup : 2.980,8 kg/m, beban garis “p” : 12.348 kg. Sedangkan untuk beban sekunder didapat beban angin : 181,267 Kg/m, dan akibat gaya rem : 5.625 Kg.
2. Hasil perencanaan dimensi gelagar jembatan dengan tinggi : 250 cm, lebar flens bawah : 110 cm, tebal flens bawah : 50 cm, lebar flens atas : 180 cm, tebal flens atas : 30 cm, dan tebal badan gelagar : 80 cm.
3. Hasil perencanaan plat lantai kendaraan diperoleh tebal plat beton : 20 cm, tulangan pokok D14 – 100 mm dan tulangan bagi D12 – 250 mm.
4. Hasil perencanaan pilar jembatan diperoleh dengan ukuran tinggi pilar : 5,4 m, panjang pilar : 9 m, lebar atas : 2,2 m, dan lebar bawah : 3 m.
5. Berdasarkan data sondir, pondasi pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang dengan kedalaman 6,2 m, diameter 50 cm, dengan tulangan pokok 12 D13 mm dan tulangan spiral D12 – 60 mm dengan jumlah tiang pancang sebanyak 12 buah.

5.2 Saran

1. Dalam tugas akhir ini jembatan direncanakan menggunakan beton prategang, namun bisa juga digunakan alternatif lain seperti *stell box girder*.
2. Untuk merencanakan plat lantai kendaraan selain pakai pelat konvensional dapat menggunakan pelat bondek.
3. Untuk perencanaan pondasi dapat memakai pondasi kaisan/sumuran.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011. *Perencanaan Beton Pratekan Untuk Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Anonim, 2004. *Rsni-t-12-2004-perenc-str-jembatan-beton1*. Badan Standard Nasional.
- Anonim, 1992. “Bridge Management System Section 1”, Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 2008. SNI 1967:2008, *Spesifikasi bantalan elastomer tipe polos dan tipe berlapis untuk perletakan jembatan*. Badan Standardisasi Nasional
- Anonim, 2015. *Pedoman Perencanaan bantalan Elastomer untuk Perletakan Jembatan*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Anonim, 2016. *SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan*. Badan standard Nasional.
- Anonim, 2016. SNI 2833:2016 *Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*. Badan standard Nasional.
- ASTM, 2017, *Standard Specification for Low-Relaxation, Seven-Wire Steel Strand for Prestressd Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA
- Basah K. S., 1994. *Teknik Fondasi Bagian II*, Nafiri, Yogyakarta.
- Bowles, J. E. (1991). *Analisa dan desain Pondasi*. Edisi Keempat Jilid, 1. Penerbit Erlangga.
- Budiadi, A. (2008). *Desain Praktis Beton Prategang*. Penerbit andi. Yogyakarta
- G. Nawy, E. (2001). *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar*. Erlangga. Jakarta.
- Istimawan, 1994, *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Umum. Jakarta.
- Iqbal M, A. (1995). *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. PT Mediatama Saptakarya, DPU.
- Jamal A.Z, A. (2007). *Analisi Pengaruh Diafragma Terhadap Tekuk Lateral Pada Gelagar Memanjang Jembatan*.
- Kamalia, N., Warsito & Suprpto, B. (2021). *Studi Alternatif Perencanaan Jembatan Pratekan Di Desa Kemuning Kecamatan Sampang-Madura*. Jurnal Rekayasa Sipil.

- Lin, T. Y., & H. Burns, N. (1982). *Design of Prestressed Concrete Structures*. John Wiley and Sons.
- Lin, T. Y., & H. Burns, N. (1996). *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Rahman A., Warsito & Suprpto B. (2021), *Studi Perencanaan Jembatan Petak Kabupaten Nganjuk dengan Menggunakan Metode Prategang*. Jurnal Rekayasa Sipil.
- Sardjono H. S., (1996). *pondasi-tiang-pancang (untuk Universitas dan umum)*. Sinar Wijaya. Surabaya.
- Sosrodarsono, S., Nakayawa K., & Taulu L. (2000). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi suyono*. PT Pradnya Paramita.
- Sardjono, H. (1998). *Pondasi tiang pancang jilid 1*. Penerbit Sinar Wijaya.
- Supriyadi, B. (2007). *Jembatan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Supriyadi, B., & Muntohar S. A., (2007). *Jembatan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Yusni A. M., Suprpto B. & Rachmawati A. (2019), *Studi Perencanaan Jembatan Sulawesi Dengan Struktur Beton Pratekan Di Kota Banjarmasin*. Jurnal Rekayasa Sipil.

