

TUGAS AKHIR

REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AHMAD YANI SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG

**Diajukan untuk memnuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan
Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang**



Oleh :

Alvina Rosyikha Hanum

30201700017

Citra Dian Pertiwi

30201700052

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**



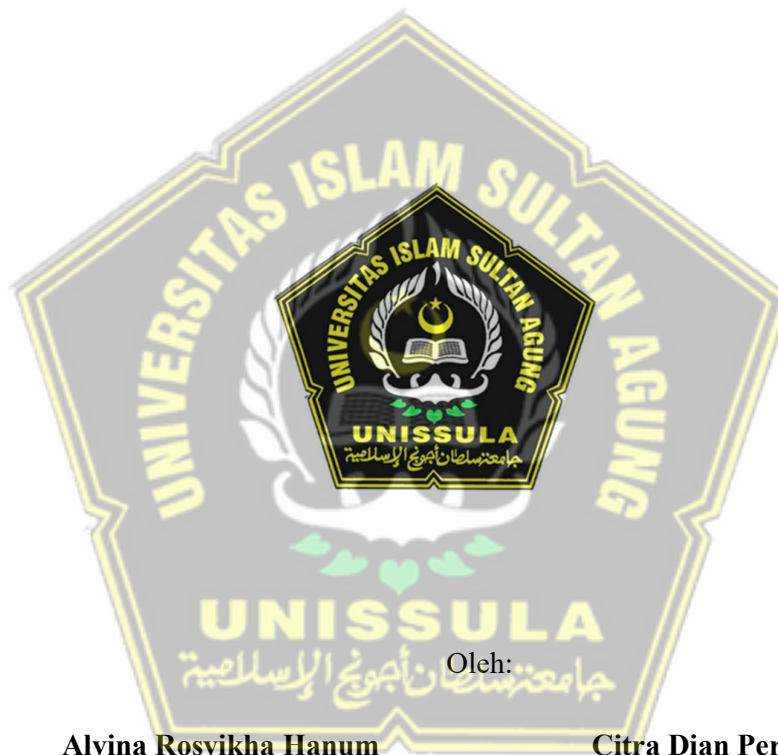
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 PO. BOX 1054 Telepon. 089608181018 Semarang 50112

TUGAS AKHIR

**REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AHMAD
YANI SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan
Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang**



Alvina Rosyikha Hanum
30.2017.00.017

Citra Dian Pertiwi
30.2017.00.052

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG



UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 PO. BOX 1054 Telepon. 089608181018 Semarang 50112

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AHMAD YANI
SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG**

Oleh:



Alvina Rosyikha Hanum
30201700017



Citra Dian Pertiwi
30201700052

Disetujui dan disahkan di Semarang pada tanggal 05 Agustus 2021

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembanding,

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng

Lisa Fitriyana, ST., M. Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 PO. BOX 1054 Telepon. 089608181018 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nomor: 16/A.2/SA-T/III/2021

Pada hari ini Senin, 19 Juli 2021 berdasarkan Surat Keputusan Kepala Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang Nomor: 16/A.2/SA-T/III/2021 Tanggal 6 Februari 2021 perihal penunjukan Dosen Pembimbing Tugas Akhir I dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir II, bersama ini kami :

1. Nama : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
Jabatan Akademik : Guru Besar Fakultas Teknik Unissula
2. Nama : Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unissula

Menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini:

1. Nama/NIM : Alvina Rosyikha Hanum - 30201700017
2. Nama/NIM : Citra Dian Pertiwi - 30201700052

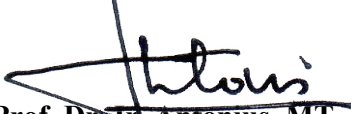
Telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang dengan Beton Prategang” dengan tahapan sebagai berikut:

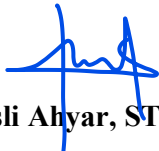
NO	Tahapan	Tanggal
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	26 Februari 2021
2	Konsultasi Pengambilan Tugas Akhir	16 Maret 2021
3	Penyusunan Laporan Tugas Akhir	April – Juli 2021
4	Seminar Tugas Akhir	27 Juli 2021
5	Sidang Pendadaran	Agustus

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

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT


M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Nama : Alvina Rosyikha Hanum
NIM : 30201700017
2. Nama : Citra Dian Pertiwi
NIM : 30201700052

menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul:

“REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AHMAD YANI SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG”

adalah merupakan hasil pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan pendapat-pendapat, rumus-rumus tanpa merujuk pada publikasi-publikasi yang telah ada sebelumnya atau yang telah ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak-benaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Dibuat di: Semarang

Pada tanggal: 5 Agustus 2021

Mahasiswa I



Alvina Rosyikha Hanum
30201700017

Mahasiswa II



Citra Dian Pertiwi
30201700052

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

1. Nama : Alvina Rosyikha Hanum
NIM : 30201700017
2. Nama : Citra Dian Pertiwi
NIM : 30201700052

menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul:

“REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AHMAD YANI SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG”

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Dibuat di: Semarang

Pada tanggal: 5 Agustus 2021

Mahasiswa I

Mahasiswa II



Alvina Rosyikha Hanum
30201700017



Citra Dian Pertiwi
30201700052

MOTO

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. (*Q.S 13 Ar-Ra'd ayat 11*)

Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan. (*Q.S 94 Asy-Syarh ayat 5-6*)

Siapa yang keluar untuk menuntut ilmu maka dia sesungguhnya telah berjuang fi sabilillah hingga dia kembali. (Hadist Riwayat Tirmidzi)

Bersemangatlah atas hal – hal yang bermanfaat bagimu. Minta tolonglah pada Allah, jangan engkau lemah. (Hadist Riwayat Muslim)

Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan bersama kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan. (Hadist Riwayat Tirmidzi)



Semarang, 05 Agustus 2021

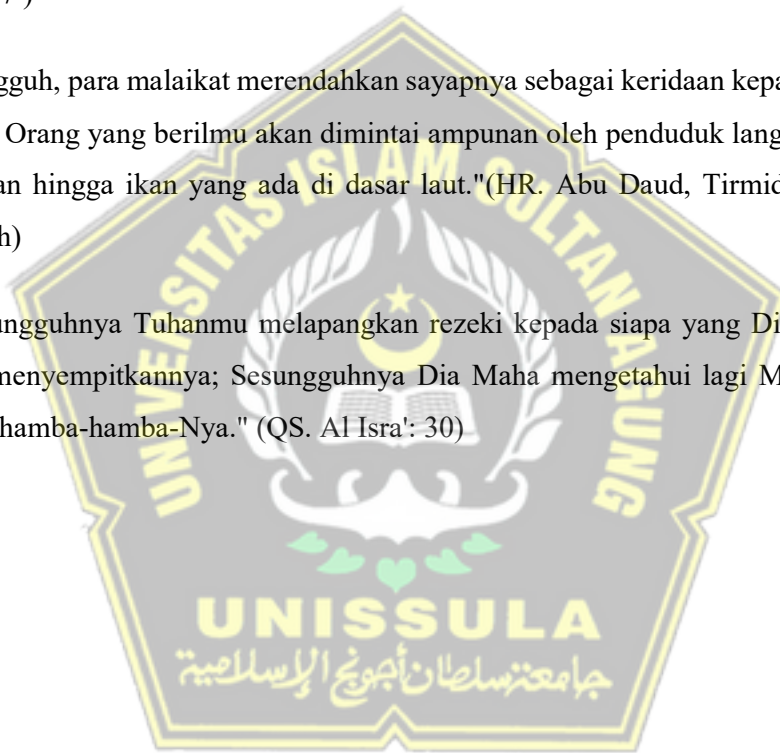
Citra Dian Pertiwi

MOTO

Jika kamu berbuat baik (berarti) kamu berbuat baik bagi dirimu sendiri dan jika kamu berbuat jahat, maka (kejahatan) itu bagi dirimu sendiri, dan apabila datang saat hukuman bagi (kejahatan) yang kedua, (Kami datangkan orang-orang lain) untuk menyuramkan muka-muka kamu dan mereka masuk ke dalam mesjid, sebagaimana musuh-musuhmu memasukinya pada kali pertama dan untuk membinasakan sehabis-habisnya apa saja yang mereka kuasai. (Q.S *Surat Al-Isra'* Ayat 7)

"Sungguh, para malaikat merendahkan sayapnya sebagai keridaan kepada penuntut ilmu. Orang yang berilmu akan dimintai ampunan oleh penduduk langit dan bumi, bahkan hingga ikan yang ada di dasar laut." (HR. Abu Daud, Tirmidzi dan Ibnu Majah)

"Sesungguhnya Tuhanmu melapangkan rezeki kepada siapa yang Dia kehendaki dan menyempitkannya; Sesungguhnya Dia Maha mengetahui lagi Maha melihat akan hamba-hamba-Nya." (QS. Al Isra': 30)



Semarang, 05 Agustus 2021

Alvina Rosyikha Hanum

DEDIKASI

Tugas Akhir ini Kami dedikasikan untuk ilmu pengetahuan Teknik Sipil pada umumnya dan ilmu Konstruksi Jembatan pada khususnya, serta sebagai ibadah Kami kepada Allah Subhanahu Wata'ala.



Semarang, 05 Agustus 2021

Citra Dian Pertiwi

DEDIKASI

*Kebahagiaan adalah berawal dari diri kita sendiri bukan dari orang lain.
Kesuksesan lah hanya dari tangan kita sendiri bukan orang lain. Orang lain
hanyalah sebagai bumbu dalam prosesnya untuk mendukung dan mensupport
prosesnya.*

*Keberhasilan yang akan membuahkan hasil itu adalah bisa mensyukuri sebuah
proses dan menikmati semua proses.*



Semarang, 05 Agustus 2021

Alvina Rosyikha Hanum

PERSEMBAHAN

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bismillahirrohmannirohiim,

Alhamdulillahirobbil'aalaamiin,

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Pnyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang dengan Beton Prategang”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucpkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT dan Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Kedua orang tua saya, Bapak Mulyono dan Ibu Harningsih yang telah memberikan do'a serta dukungan berupa moril dan materil.
5. Adik saya Azza Mulya Yaumi Nurjanah yang selalu memberikan dukungan do'a, motivasi, hiburan dan kasih sayang.
6. Alvina Rosyikha Hanum yang selalu sabar dan setia sebagai partner dalam berjuang bersama menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir.
7. Sahabat – sahabat saya Aldo, Septianika, Alma, Farah, Pipit, Neila, Vivi, Djihan, Afidah, Arissky, Firda yang selalu memberikan dukungan, dorongan, hiburan, dan inspirasi.
8. Keluarga Nocturnal yang selalu menemani, memberikan dukungan, hiburan, dan kasih sayang.

9. Rekan – rekan di Program Studi Teknik Sipil UNISSULA angkatan tahun 2017 dan Angkatan tahun 2016, dan 2015 yang telah memberikan bantuannya.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu – persatu yang terlibat dan telah membantu penyusun Laporan Tugas Akhir ini.

Semoga laporan ini bermanfaat bagi diri kami pada khususnya dan semua pihak yang memerlukan pada umumnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Semarang, 05 Agustus 2021

Citra Dian Pertiwi



PERSEMBAHAN

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bismillahirrohmannirohiim,

Alhamdulillahirobbil'aalaamiin,

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Pnyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang dengan Beton Prategang”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT dan Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Kedua orang tua saya, Bapak Muzahid dan Ibu Muawatif yang telah memberikan do'a, perhatian dan kasih sayang serta dukungan berupa moril dan materil.
5. Kakak saya tercinta Ilvira Ummayah Noor yang selalu memberi dukungan serta motivasi dan semangat tiada hentinya.
6. Kakak-kakak saya Dyah Farakh Jihan dan M. Adam Misbakhul Umam yang selalu memberikan dukungan do'a, motivasi dan kasih sayang.
7. Citra Dian Pertiwi yang selalu sabar dan setia sebagai partner dalam berjuang bersama menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir.

8. Sahabat – sahabat saya sedari SMA Dewi Ayu Winda Sari, Yani Rahim, Silfiani Oktafia, Novita Puji Inda Sari, Nuria Imama yang selalu memberikan dukungan, dorongan, hiburan, dan inspirasi.
9. Teamn-teman terdekat saya saat menempuh kuliah Aditya Hanif Wicaksana, Agustyan Sandy Wibowo, Ashfa Taqiya, Anang Rizky Apriyanto, Arissky Styawan, Zaimah Qurrota A'yuun, Brian Kennardi Hananto Putra dan Nurul Husna Mulia yang selalu membantu dan mensupport serta memberi dukungan yang penuh dengan sabar.
10. Adik-adikku tercinta Adhitama Bhanu, Fabian Alif Nurrizqika Bramandhana, Eka Aji Prasetya, Faqih Hidayatullah, Adji Noer Alim yang selalu menemani dan memberikan motivasi dan semangat serta dukungan dalam bentuk apapun
11. Kakak tingkat saya angkatan 2015 dan 2016 yang selalu membimbing dalam bentuk apapun serta dukungan dan motivasi.
12. Rekan-rekan KMFT Angkatan 2017 yang selalu memberi dukungan dan motivasi.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu – persatu yang terlibat dan telah membantu menyusun Laporan Tugas Akhir ini.

Semoga laporan ini bermanfaat bagi diri kami pada khususnya dan semua pihak yang memerlukan pada umumnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Semarang, 05 Agustus 2021

Alvina Rosyikha Hanum

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Pnyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perencanaan Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang Dengan Beton Prategang”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucpkan terima kasih kepada kepada:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahannya, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahannya, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masi banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, 05 Agustus 2021
Alvina Rosyikha Hanum
Citra Dian Pertiwi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA	iii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN BEBAS PLAGIASI	iv
MOTO	v
DEDIKASI	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxii
DAFTAR NOTASI	xxvi
ABSTRAK	xxvii
<i>ABSTRACT</i>	xxviii
I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Umum	4
2.1.1 Kelebihan Beton Prategang	5
2.1.2 Kekurangan Beton Prategang	6
2.2 Pembebanan Jembatan	6
2.2.1 Beban Primer	6
2.2.2 Beban Sekunder	11
2.2.3 Kombinasi Pembebanan	16

2.3	Komponen Jembatan Beton Prategang	16
2.3.1	Macam – macam gelagar Jembatan Beton Prategan	18
2.3.2	Material Jembatan Beton Prategang	20
2.4	Metode Beton Prategang	24
2.4.1	Pemberian Pratarik (<i>pre – tension</i>).....	24
2.4.2	Pemberian Pascatarik (<i>post – tension</i>).....	25
2.4.3	Konsep Beton Prategang	26
2.5	Kehilangan Prategang	31
2.5.1	Kehilangan Elastis Segera (<i>Immediate Elastic Losses</i>)	31
2.5.2	Keilangan Akibat esekan Sepanjang Tendon	34
2.6	Lintasan (Tendon)	37
2.7	Pondasi	38
2.7.1	Jenis Pondasi	39
2.7.2	Komponen Pondasi	43

III METODOLOGI

3.1	Pendahuluan.....	44
3.2	Langkah Umum Perencanaan Struktur	44
3.3	Pengumpulan Data	45
3.4	Perhitungan Pembebanan	46
3.4.1	Beban Sendiri (MS)	46
3.4.2	Beban Mati Tambahan (MA)	47
3.4.3	Beban Lajur “D” (TD)	47
3.4.4	Gaya Rem (TB)	48
3.4.5	Beban Angin (EW)	49
3.4.6	Beban Gempa (EQ)	49
3.5	Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon	50
3.5.1	Kondisi Awal (Saat Transfer)	50
3.5.2	Kondisi Akhir	51
3.5.3	Posisi Tendon	52
3.5.4	Pemilihan Tendon	52
3.5.5	Penentuan Letak Tendon	53

3.6	Analisis Penampang Balok irder	53
3.6.1	Lendutan Balok Sebelum Komposit	53
3.7	Perhitungan Pondasi dan Data Tanah	55
3.7.1	Metode Mayerhoff (Menggunakan hasil Penyelidikan N-SPT)	55

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Pendahuluan.....	57
4.2.	Perencanaan Awal Analisa Struktur Jembatan	57
4.2.1	Data Struktur	57
4.2.2	Bahan Struktur	58
4.3	Perhitungan Pembebanan Jembatan Beton Prategang.....	59
4.3.1	Berat Sendiri (MS)	59
4.3.2	Beban Mati Tambahan (MA)	62
4.4	Perencanaan Slab Lantai Jembatan	77
4.4.1	Permodelan Slab Lantai Jembatan	77
4.4.2	Pembesian Slab	77
4.4.2.1	Tulangan Lentur Negatif	77
4.4.2.2	Tulangan Lentur Positif	80
4.4.3	Kontrol Lendutan Slab	82
4.4.4	Kontrol Tegangan Geser Pons	86
4.5	Perancangan Balok Jembatan	87
4.5.1	Gaya Prategang Eksentrisitas dan Jumlah Tendon	96
4.5.1.1	Jumlah dan Gaya Prategang pada Tendon	96
4.5.1.2	Perhitungan Selubung Tendon Prategang	98
4.5.1.3	Eksentrisitas Tendon	101
4.5.2	Lintasan Inti Tendon	104
4.5.3	Kehilangan Tegangan (<i>Loss of Prestress</i>) pada Kabel	110
4.5.3.1	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur.....	110
4.5.3.2	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan <i>Cable (Jack Friction)</i>	111
4.5.3.3	Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis)	112
4.5.3.4	Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran (<i>Anchoring</i>)	114
4.5.3.5	Kehilangan Tegangan Akibat <i>Relaxation of Tendon</i>	116

4.5.4	Tegangan yang Terjadi pada Penampang Balok	122
4.5.5	Tegangan yang Terjadi pada Balok Komposit	128
4.5.6	Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi Pembebanan	143
4.5.7	Pembesian <i>End</i> – Balok	148
4.5.8	Lendutan Balok	161
4.5.8.1	Lendutan pada Balok <i>Prestress</i> (Sebelum Composit)	161
4.5.8.2	Lendutan pada Balok Komposit	163
4.5.9	Tinjauan Ultimit Balok <i>Prestress</i>	168
4.5.9.1	Kapasitas Momen Ultimit Balok	168
4.5.9.2	Momen Ultimit Balok <i>Prestress</i>	171
4.5.9.3	Kontrol Kombinasi Momen Ultimit	173
4.6	Perencanaan Struktur Bawah	175
4.6.1	Perencanaan Abutment	175
4.6.1.1	Pembebanan Abutment Gaya Vertikal	175
4.6.1.2	Pembebanan Abutment Gaya Horizontal	179
4.6.1.3	Kombinasi Pembebanan	185
4.6.1.4	Penulangan Abutment	187
4.7	Perencanaan Pilar	193
4.7.1	Analisis Beban Kerja	193
4.7.1.1	Beban Berat Sendiri (MS)	195
4.7.1.2	Beban Mati Tambaan (MA)	198
4.7.1.3	Beban Lajur “D”	199
4.7.1.4	Beban Pedestrian/Pejalan Kaki (TP)	200
4.7.1.5	Beban Rem (TB)	201
4.7.1.6	Beban Angin (EW)	203
4.7.1.7	Beban Gempa (EQ)	206
4.7.1.8	Beban Gesek (FB) dan Pengaruh Temperatur (ET)	213
4.7.2	Kombinasi Beban Kerja	214
4.7.3	Kontrol Stabilitas Guling	220
4.7.4	Kontrol Stabilitas Geser	221
4.7.5	Analisis Beban Ultimit	223
4.8	Perhitungan Pondasi	228

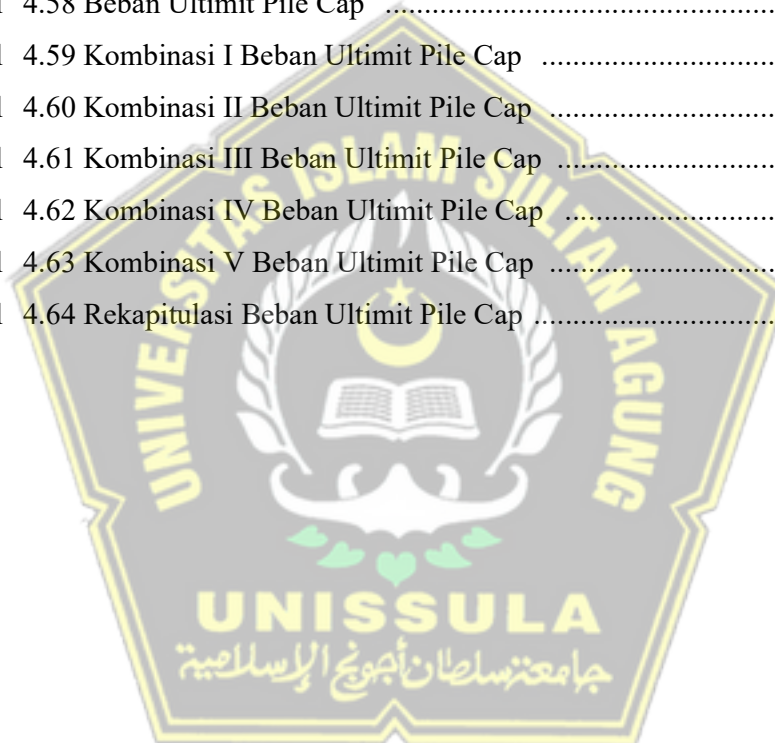
4.8.1	Gaya yan Bekerja	228
4.8.2	Perhitungan Gaya Dukung Tanah	228
4.8.3	Perhitungan Pergeseran Tanah Akibat Gaya Lateral	230
4.8.4	Penulangan Pile Cap	231
4.8.5	Penulangan Tiang Pancang.....	233
4.8.6	Kontrol Terhadap Geser Lentur	236
4.8.7	Kontrol Terhadap Tumbukan Hammer	237
4.8.8	Penulangan Akibat Tumbukan	237
4.8.9	Perhitungan Pondasi	238
4.8.9.1	Menentukan Nilai Q_p (Tahanan Ujung Tiang)	239
4.8.9.2	Menentukan Q_s (Tahanan Gesek Selimut Tiang)	239
4.8.9.3	Daya Dukung Vertikal	242
4.8.9.4	Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang Pancang	242
4.8.9.5	Beban yang ditanggung pada Pondasi dalam Keadaan 10% Horizontal dan 40% Vertikal	243
V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	244
5.2.	Saran	244
DAFTAR PUSTAKA		xxix
LAMPIRAN		xxx

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Beban untuk Berat Sendiri	7
Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambaan	8
Tabel 2.3 Faktor Beban hidup untuk Lajur “D”	8
Tabel 2.4 Faktor Beban untuk Beban Truk “T”	10
Tabel 2.5 Nilai V_0 dan Z_0 Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu	13
Tabel 2.6 Sifat Rata-rata Akibat Pengaruh Temperatur	14
Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkak	15
Tabel 2.8 Kombinasi Pembebanan dan Gaya	16
Tabel 2.9 Jenis Tulangan Prategang	23
Tabel 2.10 Koefisien – koefisien Gesek Kelengkungan dan <i>Wobble</i>	34
Tabel 2.11 Koefisien Susut (Nilai K_{SH})	36
Tabel 2.12 Nilai C	37
Tabel 3.1 Persamaan Momen dan Geser Beban Kombinasi	50
Tabel 4.1 Perhitungan Gaya Geser dan Momen Akibat Beban Sendiri	62
Tabel 4.2 Resume Beban Temperatur	73
Tabel 4.3 Resume Beban	75
Tabel 4.4 Resume Beban Kombinasi	76
Tabel 4.5 Dimensi Balok <i>Prestress</i>	88
Tabel 4.6 Perhitungan <i>Section Properties</i>	92
Tabel 4.7 Perhitungan <i>Section Properties</i> (Balok + Plat)	93
Tabel 4.8 Resume Beban Kombinasi	95
Tabel 4.9 Perhitungan Jarak Tendon pada Tumpuan	102
Tabel 4.10 Perhitungan Jarak Tendon di Tengah Bentang	103
Tabel 4.11 Posisi Lintasan Inti Tendon	105
Tabel 4.12 Perhitungan Sudut Angkur	106
Tabel 4.13 Letak dan <i>Trace Cable</i>	107
Tabel 4.14 Letak dan <i>Trace Cable</i> Pada Jarak Tertentu	108
Tabel 4.15 Perhitungan <i>Loss of Prestress</i>	122
Tabel 4.16 Tegangan Akibat rangkai Beton	134
Tabel 4.17 Superposisi Tegangan Susut dan Rangkak	135

Tabel 4.18 Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur	142
Tabel 4.19 Kontrol Tegangan Terhadap Beban Kombinasi	144
Tabel 4.20 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi I	145
Tabel 4.21 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 2	145
Tabel 4.22 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 3	146
Tabel 4.23 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 4	146
Tabel 4.24 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 5	147
Tabel 4.25 Gaya Prategang Akibat <i>Jacking</i> pada Masing-masing Kabel	148
Tabel 4.26 Perhitungan Sengkang Arah Vertikal	150
Tabel 4.27 Perhitungan Sengkang Arah Horizontal	150
Tabel 4.28 Jumlah Sengkang yang digunakan untuk <i>Bursting Force</i>	151
Tabel 4.29 Tinjauan Geser di Atas Garis Netral	154
Tabel 4.30 Tinjauan Geser di Bawah Garis Netral	155
Tabel 4.31 Jarak Sengkang yang digunakan	157
Tabel 4.32 Perhitungan Jarak <i>Shear Conector</i>	160
Tabel 4.33 Gaya Tekan Beton dan Momen Nominal	170
Tabel 4.34 Resume Momen Balok	172
Tabel 4.35 Momen Ultimit pada Balok Komposit Akibat Beban Kombinasi...	173
Tabel 4.36 Perhitungan Titik Berat Abutment	174
Tabel 4.37 Perhitungan Beban Tanah	178
Tabel 4.38 Kombinasi Pembebanan dan Gaya	184
Tabel 4.39 Kombinasi Pembebanan dan Gaya I	184
Tabel 4.40 Kombinasi Pembebanan dan Gaya II	185
Tabel 4.41 Kombinasi Pembebanan dan Gaya III	185
Tabel 4.42 Kombinasi Pembebanan dan Gaya IV	186
Tabel 4.43 Rekapitulasi Beban Akibat Berat Sendiri	197
Tabel 4.44 Rekapitulasi Beban Akibat Berat Mati Tambahan	197
Tabel 4.45 Distribusi Beban Gempa Arah X	207
Tabel 4.46 Distribusi Beban Gempa Arah Y	209
Tabel 4.47 Kombinasi Beban Kerja	213
Tabel 4.48 Kombinasi I Beban Kerja	214
Tabel 4.49 Kombinasi II Beban Kerja	215

Tabel 4.50 Kombinasi III Beban Kerja	216
Tabel 4.51 Kombinasi IV Beban Kerja	217
Tabel 4.52 Rekapitan Kombinasi Beban Kerja	218
Tabel 4.53 Rekapitan Stabilitas Guling Arah Memanjang	219
Tabel 4.54 Rekapitan Stabilitas Guling Arah Melintang	220
Tabel 4.55 Rekapitan Stabilitas Geser Arah Memanjang	221
Tabel 4.56 Rekapitan Stabilitas Geser Arah Melintang	222
Tabel 4.57 Beban Kerja Pile Cap	222
Tabel 4.58 Beban Ultimit Pile Cap	223
Tabel 4.59 Kombinasi I Beban Ultimit Pile Cap	223
Tabel 4.60 Kombinasi II Beban Ultimit Pile Cap	224
Tabel 4.61 Kombinasi III Beban Ultimit Pile Cap	224
Tabel 4.62 Kombinasi IV Beban Ultimit Pile Cap	225
Tabel 4.63 Kombinasi V Beban Ultimit Pile Cap	225
Tabel 4.64 Rekapitulasi Beban Ultimit Pile Cap	226



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Beban Lajur “D”	9
Gambar 2.2 Pembebanan Truk “T” (500 kN)	9
Gambar 2.3 Faktor Beban Dinamis untuk Pembebanan Lajur	11
Gambar 2.4 Komponen – komponen Jembatan	17
Gambar 2.5 Balok I AASTHO – PCI Tipe III	18
Gambar 2.6 Balok T AASTHO – PCI Tipe <i>bubl-tees</i>	19
Gambar 2.7 Balok U AASTHO – PCI Tipe 40	20
Gambar 2.8 Balok Kotak AASTHO – PCI Tipe 36	20
Gambar 2.9 Prinsip Pra-Tarik (<i>pre-tension</i>)	25
Gambar 2.10 Prinsip Pasca-Tarik (<i>post-tension</i>)	26
Gambar 2.11 Distribusi Tegangan Beton Prategang Konsentris dan Eksentris	27
Gambar 2.12 Penampang Beton Prategang dan Beton Bertulang	29
Gambar 2.13 Konsep Keseimbangan Beban	30
Gambar 2.14 <i>Layout</i> Tendon Parabolik	38
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian.....	45
Gambar 3.2 Posisi Tendon di Tengah Bentang	52
Gambar 3.3 Eksentrisitas Posisi Tendon	53
Gambar 4.1 Permodelan Jembatan Beton Prategang Bandara Ahmad Yani Semarang	58
Gambar 4.2 Girder Akibat Gaya Geser	61
Gambar 4.3 Diagram Gaya yang Bekerja dari Rem	66
Gambar 4.4 Denah Gaya Rem	67
Gambar 4.5 Denah Gaya Angin	69
Gambar 4.6 Pembagian Bidang Temperatur	72
Gambar 4.7 Denah Jembatan	77
Gambar 4.8 Denah Tegangan Geser	86
Gambar 4.9 Potongan Melintang Jembatan	87
Gambar 4.10 Dimensi Balok <i>Prestress</i>	88
Gambar 4.11 Lebar Efektif Plat Lantai	90
Gambar 4.12 <i>Section Properties</i> Balok Prategang	91

Gambar 4.13 <i>Section Properties</i> (Balok + Plat).....	93
Gambar 4.14 Eksentrisitas Tendon.....	96
Gambar 4.15 Selubung Tendon	101
Gambar 4.16 Posisi Tendon di Tumpuan	101
Gambar 4.17 Posisi Tendon di Tengah Bentang	102
Gambar 4.18 Denah Pembesian Balok Tendon	103
Gambar 4.19 Ilustrasi Parabola Tendon	105
Gambar 4.20 Letak dan <i>Trace Cable</i> pada Jarak Tertentu	108
Gambar 4.21 Grafik Posisi Masing-masing Kabel Tendon	109
Gambar 4.22 Detail Angkur Hidup	110
Gambar 4.23 Detail Angkur Mati	110
Gambar 4.24 Diagram Tegangan Saat Transfer	123
Gambar 4.25 Diagram Tegangan Setelah Kehilangan Tegangan	124
Gambar 4.26 Diagram Tegangan Plat dan Balok Menjadi Komposit	127
Gambar 4.27 Tegangan Akibat Berat Sendiri	129
Gambar 4.28 Tegangan Akibat Beban Mati Tambahan	130
Gambar 4.29 Tegangan Akibat Susut Beton	131
Gambar 4.30 Diagram Tegangan Akibat Rangkak Beton	133
Gambar 4.31 Tegangan Akibat Prategang	135
Gambar 4.32 Tegangan Akibat Beban Lajur	136
Gambar 4.33 Tegangan Akibat Beban Pejalan Kaki	137
Gambar 4.34 Tegangan Akibat Gaya Rem (TB)	138
Gambar 4.35 Tegangan Akibat Beban Gempa	140
Gambar 4.36 Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)	141
Gambar 4.37 Denah Pembesian <i>End – Block</i>	148
Gambar 4.38 Plat Angkur	148
Gambar 4.39 Senggang untuk <i>Bursting Force</i>	149
Gambar 4.40 Denah Jumlah Senggang	151
Gambar 4.41 Tinjauan Terhadap Geser	151
Gambar 4.42 Jarak Senggang Tiap Segmen	157
Gambar 4.43 Potongan Melintang Girder dengan Senggang	158
Gambar 4.44 Penghubung Geser (<i>Shear Conector</i>)	158

DAFTAR NOTASI

β	= Rasio sisi Panjang dan pendek kolom
λ	= Rasio Lebar terhadap Tebal
$\rho_{\min}$	= Rasio tulangan minimum yang diijinkan dalam beton
δ_e	= Lendutan akibat beban yang terjadi (mm atau cm)
δ_{ijin}	= Harga lendutan yang diijinkan terjadi (mm atau cm)
B	= Lebar penampang beton bertulang (mm atau cm)
B _{eff}	= bentang efektif pelat beton (mm atau cm)
b _p	= Lebar bidang geser Pons (mm atau cm)
E _c	= Modulus elastisitas penampang beton (MPa)
f _{c'}	= Mutu beton bertulang (MPa)
F _y	= kuat leleh minimum yang nilainya tergantung dari mutu baja (MPa)
I _x	= momen Inersia pada sumbu utama x (in ⁴ atau mm ⁴)
R	= Faktor reduksi gempa
P _{max}	= Beban maksimum setiap tiang pada kelompok tiang (kN/m)
S	= Jarak antar penghubung geser atau tulangan pada pelat beton (mm atau cm)
V	= Nilai gaya geser dasar hasil akumulasi pembebanan gempa pada bangunan (kN atau Kg)

REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AHMAD YANI SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG

Oleh :

Alvina Rosyikha Hanum¹⁾, Citra Dian Pertiwi¹⁾,
Prof.Dr.Ir.Antonius,M.T²⁾, Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng²⁾

ABSTRAK

Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang ini merupakan jembatan yang membantu akses menuju Bandara Ahmad Yani Semarang. Jembatan ini di desain dengan memiliki panjang bentang 40 meter dan lebar 15 meter. Pada perencanaan struktur atas dan struktur bawah Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang menggunakan *prestressed concrete*.

Hasil dari perhitungan perencanaan struktur atas desain *prestressed concrete* jembatan dengan bentang 40 m meliputi luas jumlah tendon rencana yaitu 56 buah, kehilangan gaya prategang 27,22% lebih kecil dari estimasi awal yaitu 30%, serta lendutan sebesar 0,12 m. Tegangan yang terjadi pada *prestress concrete* pada keadaan awal (transfer) ini memenuhi syarat dengan memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai tegangan yang direncanakan yaitu $-0,6 \times f_c'$.

Hasil dari perhitungan perencanaan struktur bawah desain *prestressed concrete* jembatan dengan bentang 40 m dengan menggunakan pondasi tiang denan kedalaman 18 m, denan hasil perencanaan meliputi diameter tiang pancang 500 mm dengan panjang 12 m, tulangan tiang pancang 18 Ø 12. Serta tulangan yang digunakan pada abutment yaitu D12 – 50.

Kata kunci : beton prategang, jembatan, perencanaan, tegangan,

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Unissula

²⁾Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Unissula

REDESIGN “AHMAD YANI AIRPORT” BRIDGE

PRESTRESS CONCRETE STRUCTURE

Oleh :

Alvina Rosyikha Hanum¹⁾, Citra Dian Pertiwi¹⁾,
Prof.Dr.Ir.Antonius,M.T²⁾, Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng²⁾

ABSTRACT

Semarang Ahmad Yani Airport Bridge is a bridge that helps access to Ahmad Yani Airport Semarang. This bridge is designed to have a span of 40 meters and a width of 15 meters. In planning the upper structure and lower structure of the Ahmad Yani Airport Semarang Bridge using prestressed concrete.

The results of the calculation of the structural planning of the prestressed concrete design of the bridge with a span of 40 m include the total number of tendons in the design which is 56 pieces, the loss of prestressing force is 27.22% smaller than the initial estimate of 30%, and the deflection is 0.12 m. The stress that occurs in prestress concrete in the initial state (transfer) is qualified by having a value smaller than the planned stress value, which is $-0.6 \times f_c'$.

The results of the calculation of the planning of the lower structure of the prestressed concrete design of the bridge with a span of 40 m using a pile foundation with a depth of 18 m, with the planning results covering a pile diameter of 500 mm with a length of 12 m, pile reinforcement 18 12. And reinforcement used in the abutment i.e. D12 – 50.

Keywords : prestressed concrete, bridge, planning , stress,

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Unissula

²⁾Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Unissula

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang merupakan pusat pemerintahan Provinsi Jawa Tengah yang menjadi salah satu kota metropolitan di Indonesia. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah memfasilitasi transportasi untuk masyarakat salah satunya berupa pesawat terbang beserta bandar udara yaitu Bandara Ahmad Yani. Kota Semarang merupakan kota metropolitan yang menjadi pusat perkembangan dan kemajuan yang berada di Provinsi Jawa Tengah.

Dengan demikian Kota Semarang maupun Kabupaten Semarang terkenal memiliki beberapa wisata seperti Kota Lama, Lawangsewu, Candi Gedung Songo, Rawa Pening, dll. Dari beberapa wisata tersebut membuat masyarakat luar Kota Semarang tertarik dengan adanya wisata tersebut untuk berkunjung sehingga dipermudah dengan fasilitas transportasi salah satunya yaitu Bandar Udara Ahmad Yani. Dengan perkembangan Kota Semarang yang pesat ini Bandar Udara Ahmad Yani ini memiliki kapasitas yang dapat menampung 6,9 juta penumpang pertahun.

Bandar Udara Ahmad Yani Semarang yang terletak di Kota Semarang memiliki tempat yang sangat strategis antara menuju ke Kota dan ke jalan arteri. Bandar Udara tersebut berdiri diatas dataran pantai utara Jawa Tengah. Oleh karena itu membutuhkan jalan penghubung berupa jembatan untuk menghubungkan antara Bandar Udara dengan jalan arteri untuk akses keluar masuk menuju Bandar Udara Ahmad Yani. Akses penghubung itu sangat dibutuhkan oleh masyarakat guna memperlancar arus lalu lintas menuju bandar udara tersebut.

Pada Tugas Akhir ini penulis merencanakan ulang pembangunan jembatan penghubung Bandara Ahmad Yani Semarang menggunakan metode *presstest* dengan beton prategang.

1.2 Rumusan Masalah

Berkaitan dengan latar belakang diatas maka rumusan permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah Bagaimana merencanakan ulang struktur jembatan

penghubung menuju Bandar Udara Ahmad Yani Semarang sesuai dengan kriteria aman?

1.3 Batasan Masalah

Perencanaan jembatan penghubung menuju Bandar Udara Ahmad Yani Semarang terletak pada batas-batas diantaranya:

- Bagian Utara : Berbatasan Pantai Utara Laut Jawa
- Bagian Timur : Berbatasan kawasan PRPP, Pantai Marina, Komplek Puri Anjasmoro, Puri Maerokoco dan Restoran Kampung Laut.
- Bagian Selatan : Berbatasan Jalan Yos Sudarso
- Bagian Barat : Berbatasan Graha Padma Internusa dan Taman Alamanda Raya Graha Padma

Pada Tugas Akhir ini membahas tentang “Perencanaan Struktur Jembatan Penghubung menuju Bandar Udara Ahmad Yani Semarang” memiliki beberapa batasan masalah diantaranya:

1. Perencanaan Struktur Jembatan Penghubung menuju Bandar Udara Ahmad Yani Semarang dengan *prestress* untuk menganalisa kehilangan tegangan dan lendutan.
2. Menganalisis struktur dibatasi struktur atas, pilar dan pondasi.
3. Perhitungan pembebanan dilakukan dengan metode manual pada perhitungan beton prategang.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan Tugas Akhir ini adalah merencanakan struktur jembatan penghubung menuju Bandar Udara Ahmad Yani Semarang dengan standar yang berlaku menggunakan beton prategang.

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah perencanaan srtuktur jembatan penghubung menuju Bandar Udara Ahmad Yani Semarang sebagai berikut:

1. Menghitung beban lalu lintas jembatan penghubung menuju Bandar Udara Ahmad Yani Semarang
2. Menghitung tegangan pada tendon jembatan penghubung menuju Bandara Ahmad Yani Semarang

3. Merencanakan pondasi jembatan penghubung menuju Bandara Ahmad Yani Semarang

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab dengan memiliki sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Maksud dan Tujuan dan Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi kajian atau teori dari berbagai sumber yang dibutuhkan untuk dijadikan sebagai acuan menganalisis struktur.

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang metode pengumpulan data dan metode analisis.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi bagian penting atau isi dari penulisan laporan yakni berupa analisis, perhitungan beban dan pengecekan terhadap persyaratan.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang didapat dari proses hasil-hasil analisis dan desain gedung dan berisi beberapa hal yang disarankan, khususnya untuk perhitungan bangunan jembatan beban gempa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Sarana prasarana transportasi untuk saat ini sangat dibutuhkan oleh semua masyarakat Indonesia. Pada perkembangan saat ini pemerintah Kota Semarang membangun suatu prasarana untuk membangun jembatan disalah satu Bandar Udara di Kota Semarang. Jembatan ini memiliki fungsi untuk yang sangat penting diantaranya sebagai penunjang lancarnya transportasi untuk masyarakat. Jembatan Bandar Udara Ahmad Yani Semarang merupakan suatu pekerjaan struktur yang menghubungkan ruas jalan raya Yos Sudarso dengan pantai Utara dengan melewati suatu sungai dan rawa untuk menuju Bandar Udara tersebut. Jembatan merupakan jembatan kelas A pada spesifikasi Bina Marga yang menjelaskan tentang beban muatan untuk jembatan dan jalan raya.

Perencanaan konstruksi jembatan terdiri atas dua bagian yaitu konstruksi bagian atas dan konstruksi bagian bawah. Pada perencanaan konstruksi jembatan tersebut menggunakan material yang berupa beton prategang dengan mutu yang sudah ditentukan. Beton prategang merupakan beton bertulang yang diberi tegangan tekan untuk mengurangi tegangan tarik potensial akibat beban kerja yang berat. Dimana beton prategang yang bekerja memberi tegangan internal yang besar untuk mengimbangi beban diluar.

Beton prategang (*Pestressed concrete*) adalah beton bertulang dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban, dan untuk pelat dua arah menggunakan dengan sekurang-kurangnya tulangan minimum prategang (SNI 2847:2019). Jembatan beton prategang mempunyai istilah lain yaitu *Prestressed Concrete Bridge*. Beton yang digunakan dalam pembuatan beton prategang mempunyai nilai kekuatan tekan tinggi pada nilai f'_c pada minimal 30 Mpa.

Pada umumnya struktur jembatan menggunakan material beton bertulang. Namun pada *Redesign* jembatan penghubung Bandar Udara Ahmad Yani Semarang ini menggunakan material beton prategang. Karena material beton prategang mempunyai nilai kekuatan tinggi dengan nilai f'_c minimal 30 Mpa - 40 Mpa. Struktur jembatan penghubung Bandar Ahmad Yani Semarang ini selain menggunakan beton prategang juga menggunakan metode *presstest* pada tendon girder jembatan tersebut.

Pemilihan struktur pekerjaan jembatan Bandar Udara Ahmad Yani Semarang ini dengan beton prategang. Selain memiliki nilai kekuatan yang tinggi, beton prategang sendiri memiliki kombinasi material antara dua jenis yaitu beton dan baja yang memiliki mutu beton yang tinggi dengan kuat tekan $f_c=30$ Mpa, hal itu dibutuhkan untuk menahan tegangan tekan tendon supaya tidak mengakibatkan keretakan saat proses *pres-test*.

2.1.1 Kelebihan Beton Prategang

Pada beton prategang tersebut jembatan penghubung Bandar Udara Ahmad Yani Semarang ini dengan metode *pres-test* ini tidak cukup untuk mengetahui kuat tekan yang tinggi namun juga memiliki kelebihan menurut salah satu para ahli yaitu Andri Budiardi, 2008 diantaranya, yaitu:

1. Dapat memikul beban lentur yang lebih besar dari beton bertulang.
2. Dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang dengan mengatur defleksinya.
3. Ketahanan geser dan puntirnya bertambah dengan adanya penegangan.
4. Berbagai kelebihan lain pada penggunaan struktur khusus, seperti struktur pelat dan cangkang, struktur tangki, struktur pracetak, dan lain-lain.
5. Pada penampang yang diberi penegangan, tegangan tarik dapat dieliminasi karena besarnya gaya tekan disesuaikan dengan beban yang akan diterima.

2.1.2 Kekurangan Beton Prategang

Pada beton prategang tersebut jembatan penghubung Bandar Udara Ahmad Yani Semarang ini dengan metode *pres-test* ini tidak cukup untuk mengetahui kuat tekan yang tinggi namun juga memiliki kekurangan menurut salah satu para ahli yaitu Andri Budiardi, 2008 diantaranya, yaitu:

1. Memerlukan peralatan khusus seperti tendon, angkur, mesin penarik kabel, dan lain-lain.
2. Memerlukan keahlian khusus baik dalam perencanaan maupun pelaksanaannya.

2.2 Pembebanan Jembatan

Dalam perencanaan jembatan mengacu pada pedoman standar struktur yang berlaku di Indonesia sudah ditetapkan pada peraturan “*SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*”. Standart ini menetapkan pada persyaratan minimal untuk pembebanan serta batas pada penggunaan setiap beban, faktor, dan kombinasi pembebanan untuk merencanakan suatu struktur jembatan. Beban yang bekerja pada jembatan diantaranya ada berat sendiri jembatan, beban mati tambahan, dan beban kombinasi.

2.2.1 Beban Primer

Beban primer merupakan beban yang dimana beban utama merupakan perhitungan tegangan pada setiap perencanaan struktur jembatan. Beban primer sendiri terbagi menjadi beberapa beban, diantaranya:

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban tetap yang berasal dari berat beban struktur jembatan itu sendiri atau bagian jembatan yang ditinjau dari, atau termasuk dalam segala aspek tambahan yang dianggap merupakan suatu kesatuan tetap dengan adanya berat sendiri/*selfweight* pada jembatan tersebut.

Menentukan besarnya berat beban mati tersebut, harus menggunakan syarat nilai berat isi sebagai berikut :

- a. Beton biasa 2,50 t/m³
- b. Beton prategang 2,55 t/m³
- c. Baja bertulang 7,85 t/m³
- d. Air 1,00 t/m³

Selain itu, beban berat sendiri/*selfweight* merupakan berat yang memiliki berat seluruh penampang dan komponen-komponen struktural yang ditahannya adalah berat itu sendiri, yang termasuk berat material, komponen pada struktur jembatan, dan komponen non-struktural jembatan yang dianggap tetap. Untuk nilai faktor beban yang dipakai pada berat beban sendiri/*selfweight* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{SMS})		Keadaan Batas Ultimit (γ_{UMS})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton di cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah semua berat beban material pada komponen non struktural dan komponen berat mati tambahan dapat berganti sesuai dengan umur jembatan. Untuk nilai faktor beban yang dipakai pada berat beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.2 Faktor beban untuk berat mati tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layanan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾ :	Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas			

Sumber: SNI 1725:2016

3. Beban Hidup (*Live Load*)

a. Beban Lajur “D” (TD)

Beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan (SNI 1725:2016). Beban lajur D atau beban lalu lintas terbagi menjadi dua beban yaitu beban terbagi rata (BRT) dan beban garis terpusat (BGT). Untuk nilai faktor beban lajur “D” yang dipakai pada analisa jembatan bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Faktor beban hidup untuk lajur “D”

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

Sumber: SNI 1725:2016

Beban terbagi rata (BRT) memiliki intensitas q kPa dengan besaran q sesuai pada panjang jumlah yang dibebani L yaitu sebagai berikut:

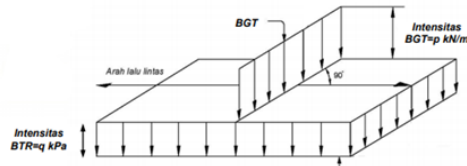
Jika $L \leq 30$ m : 8,0 kPa

Jika $L > 30$ m : $q = 8,0 (0,5 + \frac{15}{L})$ kPa 2.1

Keterangan :

q = intensitas beban terbagi rata (BRT) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)



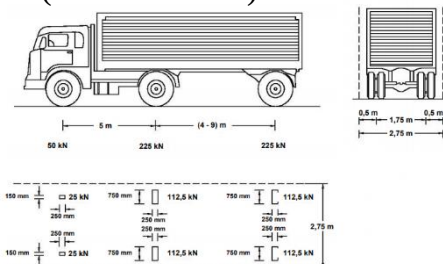
Gambar 2.1 Beban Lajur “D”

Sumber : SNI 1725:2016

b. Beban Truk “T” (TT)

Beban truk “T” adalah beban satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi yang digunakan untuk menganalisis plat jalur lalu-lintas. Distribusi beban “T”, seperti ditujukan pada gambar 2.2 (Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2005)

Pembebebanan truk “T” terdiri atas kendaraan *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat gambar 2.2. berat tiap-tiap gandar disebrakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antar roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. (SNI 1725:2016).



Gambar 2.2 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

Sumber : SNI 1725:2016

Untuk nilai faktor beban truk “T” yang dipakai pada analisa jembatan bisa dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4 faktor beban untuk beban truk “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
	Box Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016

c. Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis adalah hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk merencanakan FBD, beban “*KEL*” maupun “T” akan diperbesar menggunakan FBD yang membagi beban dinamis menjadi beban statis ekuivalen pada ketentuan :

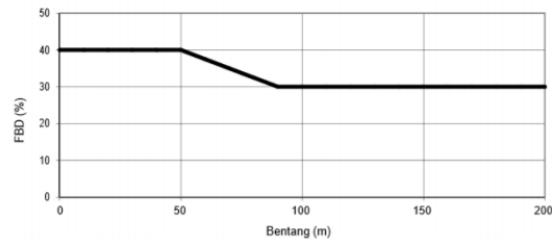
1. Faktor beban dinamis untuk beban “T” adalah sebesar 0,3,
2. Faktor beban dinamis untuk (*KEL*) diambil sebagai berikut:

$$DLA = 0,4 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

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

$$DLA = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

Beban truk yang digunakan pada FDB sebesar 30%. Pada pembebanan BRT didapat dari lajur “D” bisa ditentukan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Faktor Beban Dinamis untuk Pembebanan Lajur “D”

Sumber : SNI 1725:2016

2.2.2 Beban Sekunder

Beban sekunder adalah beban yang memiliki beban sementara atau muatan sementara, selalu bekerja untuk perhitungan tegangan pada setiap perencanaan perhitungan jembatan. Pada umumnya beban sekunder ini mengakibatkan pada tegangan yang relatif lebih kecil dibandingkan tegangan akibat beban primer, dan biasanya tergantung pada bentang, system jembatan dan keadaan setempat.

Pada beban sekunder terdiri dari beberapa beban, yaitu:

1. **Beban Angin**

Pengaruh tekanan angin bekerja dalam arah horizontal sebesar 100 kg/cm². Tekanan angin ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_s) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Ada beberapa jenis jembatan yang harus diselidiki secara khusus untuk mengetahui akibat pengaruh pada beban angin, salah satunya adalah pada reaksi dinamis jembatan. Pada gaya nominal ultimate jembatan dan gaya layan jembatan mengakibatkan kecepatan angin rencana sesuai pada:

Rumus:

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b K_n \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

V_w = kecepatan angin rencana

C_w = koefisien seret

A_b = luas koefisien bagian samping jembatan

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *ralling* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left[\frac{V_{10}}{V_8} \right] \ln \left[\frac{Z}{Z_o} \right]$$

Keterangan:

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

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

V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam 9.6.1 dan Pasal 9.6.2

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

V_o adalah kecepatan gesekan angin yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.4, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_o adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.4 (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 2.5 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

2. Gaya Rem

Gaya rem dapat diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besartnta gaya rem (Sumber: SNI 1725:2016).

Besar gaya rem yang memiliki arah memanjang pada jembatan tergantung pada panjang total jembatan (L). Pengaruh gaya rem dapat diperhitungkan senilai pada pengaruh gaya rem dengan nilai 5% dari beban lajur “D” tanpa memiliki koefisien kejut yang memasuki kriteria pada semua jalur lalu lintas yang ditentukan. Dengan diperhitungkan pada gaya rem arah memanjang pada jembatan dapat ditentukan dengan syarat sebagai berikut:

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

$$HTB = 250 + 2,5(Lt-80) \quad \text{untuk } 80 < Lt < 180 \text{ m}$$

$$HTB = 500 \quad \text{untuk } Lt > 180 \text{ m}$$

Dengan adanya besar gaya rem merupakan HTB atau jumlah balok girder pada jembatan. Pada posisi lengan kerja gaya rem,

$$y = 1,8 + (\text{tebal lapisan aspal} + \text{overlay}) + (0,5 \times \text{tinggi girder}) \dots\dots 2.3$$

3. Gaya Akibat Perbedaan Suhu

Penelitian pada gaya akibat perubahan suhu tersebut ditinjau pada timbulnya perubahan struktural antara bagian-bagian jembatan baik menggunakan material yang sama ataupun dengan material yang berbeda. Perubahan suhu ditetapkan pada data perkembangan suhu setempat pada jembatan yang dibangun di lokasi tersebut. Untuk perhitungan jembatan atau struktural bagian jembatan akibat perubahan suhu tersebut dapat diambil pada harga modulus elastis E dan koefisien muai panjang χ sebagai berikut:

Tabel 2.6 Sifat dan Rata-rata Akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien Perpanjangan Akibat Suhu (α)	Modulus Elastisitas (Mpa)
Baja	12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	200.000
Beton:		
Kuat Tekan < 30 Mpa	10×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$
Kuat Tekan > 30 Mpa	11×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$

Sumber: SNI 1725:2016

4. Gaya Rangkak dan Susut

Gaya rangkak dan susut dapat dipengaruhi oleh besarnya material beton terhadap konstruksi perhitungan beban mati yang berasal dari jembatan. Selain itu, gaya tersebut bisa berpengaruh dengan adanya ketentuan lain yang memiliki nilai gaya yang timbul karena adanya penurunan suhu sebesar 15°C .

Apabila rangkai dan susut bisa mengurangi pengaruh muatan lain, maka nilai rangkai dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang)

Tabel 2.7 Faktor beban akibat susut dan rangkai

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 rangkai bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan		

Sumber: SNI 1725:2016

5. Gaya Akibat Gempa Bumi

Beban akibat gempa bumi ini dapat diperhitungkan pada struktural jembatan yang memiliki daerah rawan adanya gempa bumi. Gaya yang dipengaruhi pada gaya horizontal terhadap konstruksi jembatan dapat dilihat dan perlu ditinjau pada gaya-gaya lain yang bekerja pada beban gempa bumi tersebut.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktural ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots 2.4$$

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)

2.2.3 Kombinasi Pembebanan

Struktural jembatan yang memiliki bagian-bagian yang dapat dilihat dari kombinasi pembebanan yang bekerja pada :

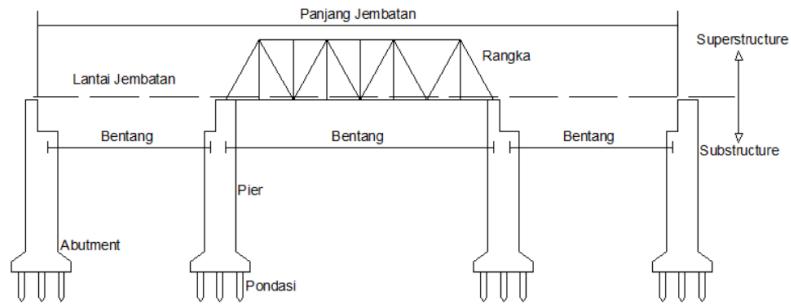
Tabel 2.8 Kombinasi Pembebanan dan Gaya

Kombinasi Pembebanan dan Gaya		Tegangan yang digunakan dalam Prosen Terhadap Tegangan Izin Keadaan Elastis
I.	$M + (H + K) + Ta + Tu$	100 %
II.	$M + Ta + Ah + Gg + A + SR + Tm$	125 %
III.	Komb. (I) + $Rm + Gg + A + SR + Tm + S$	140 %
IV.	$M + Gh + Tag + Gg + Ahg + Tu$	150 %
V.	$M + Pl$	130 %
VI.	$M + (H + K) + Ta + S Tb$	150 %

Sumber: PPPJR (1987)

2.3 Komponen Jembatan Beton Prategang

Jembatan adalah salah satu komponen infrastruktur berperan penting pada lalu lintas dan akses untuk masyarakat yang menghubungkan antar wilayah atau dua tempat yang berbeda tempat (terpisah) karena beberapa kondisi. Komponen-komponen untuk membentuk jembatan prategang diantaranya sebagai berikut:



Gambar 2.4 Komponen – komponen Jembatan

a. *Abutment*

Merupakan perletakan jembatan yang memiliki fungsi sebagaimana pendukung pada struktur jembatan dan dapat menerima beban-beban konstruksi yang terjadi pada struktur diatas jembatan dan dapat melanjutkan ke dasar tanah, baik dari arah horizontal maupun dari arah vertikal dengan memiliki fungsi tambahan sebagai tambahan peralihan dari tumpuan ke timbunan jalan terdekat ke bangunan atas pada jembatan.

b. Girder atau Gelagar

Adalah balok yang terletak membentang pada posisi baik memanjang atau melintang yang memiliki fungsi untuk menerima maupun menyebarkan beban yang bekerja pada struktur atas jembatan dan dapat diteruskan pada struktur bagian bawah jembatan yaitu pondasi yang memiliki fungsi untuk menyalurkan pada tanah keras ke dasar pondasi.

c. Plat Lantai

Merupakan salah satu komponen bagian dari struktur atas pada jembatan yang dimana sebagai tempat kendaraan yang digunakan untuk lewat. Dengan fungsi plat lantai pada jembatan yaitu struktur pertama yang dapat menerima beban dan dapat meneruskan ke gelagar utama pada struktur jembatan.

d. *Railing*

Atau bisa disebut juga dengan tiang sandaran pada jembatan. *Railing* berfungsi sebagai kenyamanan dan keamanan untuk keselamatan bagi pengguna jalan ataupun transportasi pada jembatan tersebut. *Railing* tersebut diberikan pipa yang diletakkan di tiang sandaran pada struktur jembatan.

e. Pilar

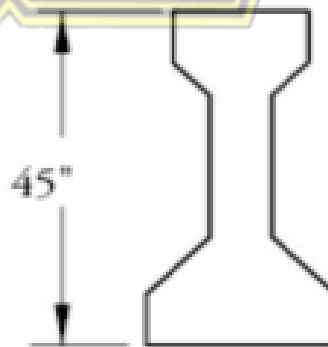
Pilar atau disebut juga dengan pier yang berfungsi sebagai pendukung gaya menyalurkan pada bangunan atas dari arah horizontal maupun arah vertikal.

2.3.1 Macam-macam Gelagar Jembatan Beton Prategang

Gelagar jembatan merupakan bagian salah satu dari struktur pada jembatan prategang dengan memiliki beberapa tipe atau macam-macam gelagar yang sering digunakan pada jembatan prategang adalah sebagai berikut:

a. Penampang – I (I – *Beams*)

Merupakan penampang beton yang membentuk seperti huruf I yang mengkonsentrasikan dan memeri gaya tekan yang dekat dan memiliki serat pada bagian luar sehingga dapat lebih efektif pada saat peralihan beban batas dan peralihan beban saat bekerja. Balok standar yang sesuai pada AASTHO–PCI, penampang I memiliki tipe I s.d IV dengan panjang bentang yang efektif dengan 23 m – 46 m.

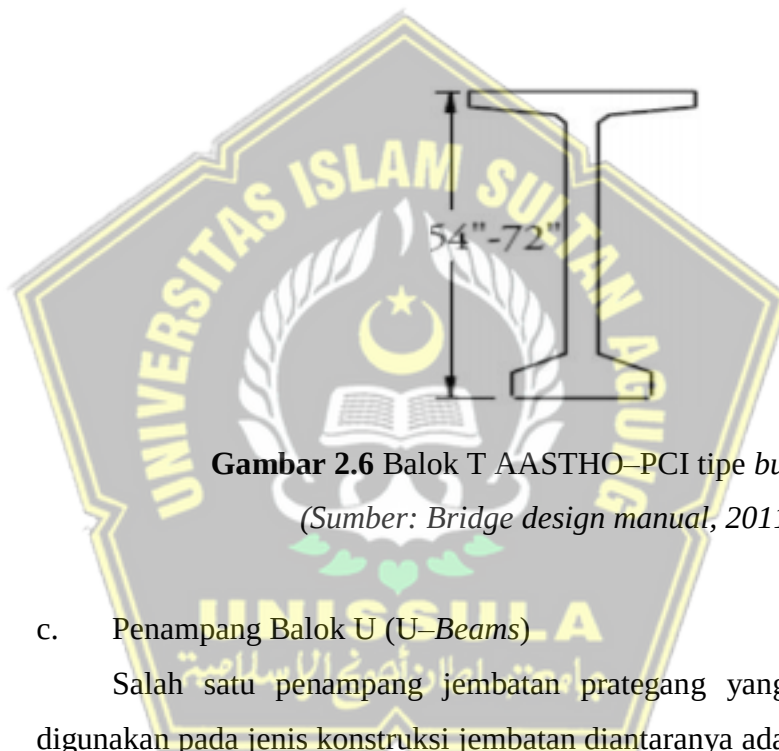


Gambar 2.5 Balok I AASTHO–PCI tipe III

(Sumber: *Bridge design manual*, 2011)

b. Penampang – T (T- *Beams*)

Merupakan penampang yang memiliki salah satu keuntungan yaitu pada saat rasio beban mati lebih besar terhadap beban hidup, karena tidak muncul terjadi adanya masalah yang disebabkan oleh tegangan tekan yang lebih besar dan terletak pada bagian bawah tepi akibat gaya prategang yang telah ditransferkan oleh tegangan gaya tekan tersebut. Balok standar yang sesuai pada AASTHO-PCI, penampang T memiliki tipe BT-54, BT-63, BT-72 dengan panjang bentang yang efektif dengan 38 m – 47 m.



Gambar 2.6 Balok T AASTHO-PCI tipe *bubl-tees*
(Sumber: *Bridge design manual*, 2011)

c. Penampang Balok U (U-*Beams*)

Salah satu penampang jembatan prategang yang paling sering digunakan pada jenis konstruksi jembatan diantaranya adalah *fly over* dan mempunyai ciri khas pada tendon yang tersusun berpasangan, sehingga sistem kerja penampang ini dalam penarikan pada kabel *strand* dapat digunakan dongkak 2 buah secara bersamaan dengan girder. Balok standar yang sesuai pada AASTHO-PCI, penampang U memiliki tipe U-40, U-54, 66G5, 78G5 dengan panjang bentang yang efektif dengan 32 m – 41 m.



Gambar 2.7 Balok U AASTHO–PCI tipe 40

(Sumber: *Bridge design manual*, 2011)

d. Penampang Balok Kotak

Merupakan salah satu penampang sebagai balok langsing yang bekerja pada beban lateral yang dimana penampang yang sering digunakan karena memiliki keperluan khusus yaitu stabilitas pada beban lateral dan momen puntir. Balok standar yang sesuai pada AASTHO–PCI, penampang ini memiliki 2 tipe 36 dan tipe 48 memiliki nomor seri BI–BIV dengan panjang bentang yang efektif dengan 24 m – 37 m.



Gambar 2.8 Balok Kotak AASTHO–PCI tipe 36

(Sumber: *Bridge design manual*, 2011)

2.3.2 Material Jembatan Beton Prategang

Dalam merencanakan sebuah konstruksi pada jembatan beton prategang, hal yang harus dipertimbangkan dalam menganalisis sebuah konstruksi harus

diperhatikan dari segala aspek salah satunya adalah material yang digunakan. Material dalam membangun sebuah konstruksi pada jembatan beton prategang adalah sebagai berikut:

A. Beton Prategang

Beton merupakan gabungan antara beberapa material yang berbentuk semen, air, dan agregat kasar maupun halus yang dicampurkan secara merata dan memiliki gaya tekanan yang bisa bertahan namun tidak bisa bertahan terhadap gaya tarik. Pada perencanaan ini konstruksi dibangun menggunakan beton prategang yang dimana dikenal memiliki tegangan mutu tinggi baik dari segi mutu baja maupun beton. Kombinasi antara baja dan beton yang dimana beton dapat menahan tekanan, sedangkan baja hanya bertahan karena tarikan yang dimana dikenal sebagai beton bertulang (*reinforced concrete*). Kekuatan pada daya tahan yang lama dapat dilampaui dengan kontrol jaminan dan kualitas terhadap produksi yaitu ada dua faktor yang berperan penting untuk merencanakan stuktur beton prategang.

Beton prategang merupakan kombinasi ideal yang bermutu tinggi antara beton dan baja yang memiliki mutu yang tinggi dan dapat bisa dikatakan dengan kombinasi secara aktif. Dikatakan kombinasi cara aktif yaitu cara bekerja pada kuat tarik baja yang bisa menahan pada kuat tekan beton, sehingga beton dapat bekerja pada keadaan tertekan. Struktur beton prategang ini begitu relatif menggunakan material beton yang memiliki spesifikasi mutu yang berkualitas dimana pada referensi ACI318 yaitu mempunyai karakteristik terhadap gaya uji tabung 6000 Psi' (41,4 MPa).

Konstruksi pada beton prategang sendiri menggunakan kualitas yang memiliki spesifikasi mutu tinggi yaitu kuat tekan $f_c' = 30 \sim 40$ MPa., spesifikasi pada beton prategang dapat diperlukan untuk melawan gaya tekan ke dalam angkur sehingga tidak terjadi keretakan-keretakan pada gaya tekan. Batasan tegangan tekan izin sebesar $0,45 f_c'$ yang telah

ditetapkan secara konservatif untuk mengurangi kegagalan komponen struktur beton prategang akibat beban berulang. Uji *fatigue* balok beton prategang menunjukkan bahwa kegagalan tekanan beton bukan merupakan kriteria pengendali. Karena itu batasan tegangan sebesar $0,6 f_c'$ mengizinkan kenaikan sepertiga tegangan tekan yang diizinkan untuk komponen struktur yang dikenai beban hidup yang bergerak. Dalam modulus elastisitas pada beton E_c dalam SNI 2847:2019, diizinkan untuk dihitung berdasarkan:

- a) Untuk nilai w_c diantara 1400 dan 2560 kg/m³

$$E_c = w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

- b) Untuk beton normal

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

w_c' = Berat volume beton (kg/m³)

f_c' = Tegangan tekan beton (MPa)

B. Baja Prategang

Baja prategang merupakan salah satu dari material yang digunakan untuk konstruksi dalam prategang pada struktur jembatan. Baja prategang yang digunakan pada beton prategang mampu mengatasi terjadinya susut beton dan dapat kehilangan rangkai yang diakibatkan oleh gaya prategang yang efektif dan efisien dan memiliki kualitas mutu tinggi sekitar ± 270.000 Psi (1862 MPa atau bisa relatif lebih tinggi). Nilai kehilangan gaya tekanan pada beton prategang untuk baja sendiri memiliki perkiraan batasan antara 35.000 sampai 60 Psi (241 sampai 414 MPa).

Baja memiliki mutu yang tinggi dapat menghasilkan gaya tarik pada beton prategang. Produksi baja yang bermutu tinggi merupakan salah satu dari proses pencampuran (*alloying*) yang dimana pembuatan baja

kemungkinan dapat dilakukan secara normal dalam beroperasi. Salah satu cara untuk kekuatan tarik agar bisa menjadi kuat tarik yang lebih yaitu dengan cara *cold-drawing*, dimana mutu baja yang tinggi melalui serangkaian proses pencampuran atau pencelupan. Proses tersebut cenderung dapat menyusun kembali partikel-partikel dan kekuatan pada *drawing* bertambah pada suatu saat, sehingga semakin kecil diameter pada kawat, maka semakin tinggi kekuatan batasnya. *Cold-drawing* pada kawat dapat berkurang karena proses tersebut.

Baja prategang dapat berupa kawat-kawat tunggal, maupun standar yang terdiri dari beberapa kawat berbentuk ulir maupun tunggal dan memiliki batang-batang yang bermutu tinggi. Selain pada baja prategang, beton prategang akan membutuhkan beberapa penulangan yang tidak dapat memberikan gaya tekan pada prategang, misalnya tulangan memanjang, tulangan sengkang dan tulangan yang digunakan untuk pengukuran yang lainnya, diantaranya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.9 Jenis tulangan prategang

Jenis Material	Nominal Diameter	Luas	Gaya Putus Minimum	Tegangan Tarik Minimum, fpu
	Mm	Mm ²	Kn	MPa
Kawat (wire)	5	19.6	30.4	1550
	5	19.6	33.3	1700
	7	38.5	65.5	1700
7 – Wire Stand Super Grade	9.3	54.7	102	1860
	12.7	100	184	1840
	15.2	143	250	1750
7 – Wire Stand Regular Grade	12.7	94.3	165	1750

Bar	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

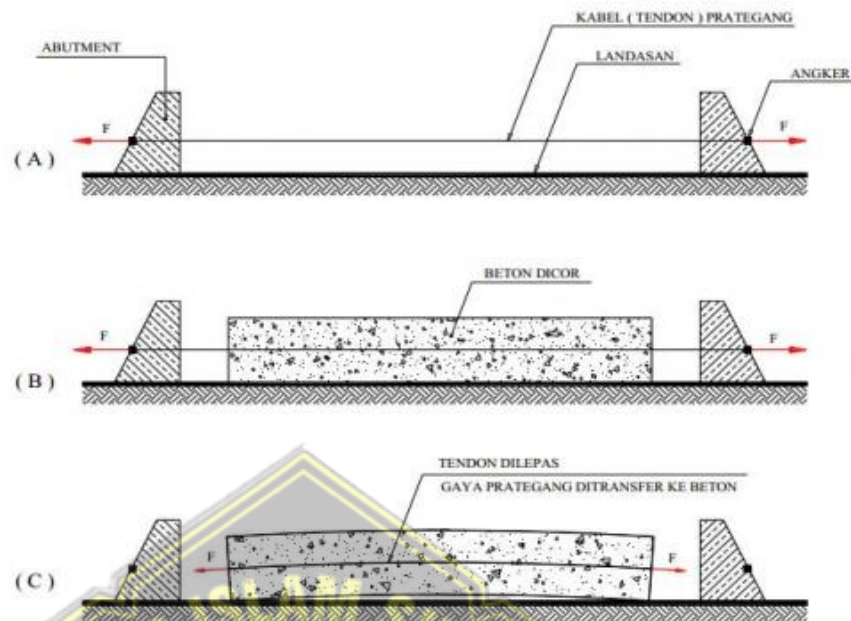
Sumber: Manual Perencanaan Struktur Beton Prategang pada Jembatan

2.4 Metode Beton Prategang

Dalam perencanaan beton prategang mempunyai 2 jenis metode yang biasa digunakan untuk mengetahui gaya prategang pada beton prategang yaitu sebagai berikut:

2.4.1 Pemberian Pratarik (*pre-tension*)

Pada metode *pre-tension* merupakan prinsip kerja yang dimana baja akan diregangkan terdahulu sebelum beton mengeras atau sebelum beton dicetak atau dicor kemudian baja yang berada pada tendon ditarik untuk mengetahui uji tarik baja pada beton prategang. Metode ini kemudian bekerja pada kabel yang ada dalam tendon yang dimana pengecoran beton diberikan gaya *pre-tension* pada pengekeran *independen*. Beton pada saat sudah mengeras, penjangkaran dapat dilepas dan terjadi gaya tarik baja pada tendon dapat melimpah pada gaya tekan beton. Tegangan tekanan beton dapat ditransferkan melalui lekatan (*bond*) antara beton dengan tendon, yang dimana tendon sudah terikat dengan konstruksi angker tanah. Sehingga pada tendon yang sudah terpasang, sehingga beton dapat dicetak, kemudian tendon pada balok bisa dipotong dan beton tersebut terjadi melengkung ke arah atas sebelum mendapat beban kerja. Setelah terjadi beban kerja yang telah bekerja pada beton tersebut, maka balok beton prategang tersebut akan menjadi rata. Kuat tekan beton yang digunakan harus sesuai dengan syarat yang sudah ditentukan pada konsep gambar dibawah ini:

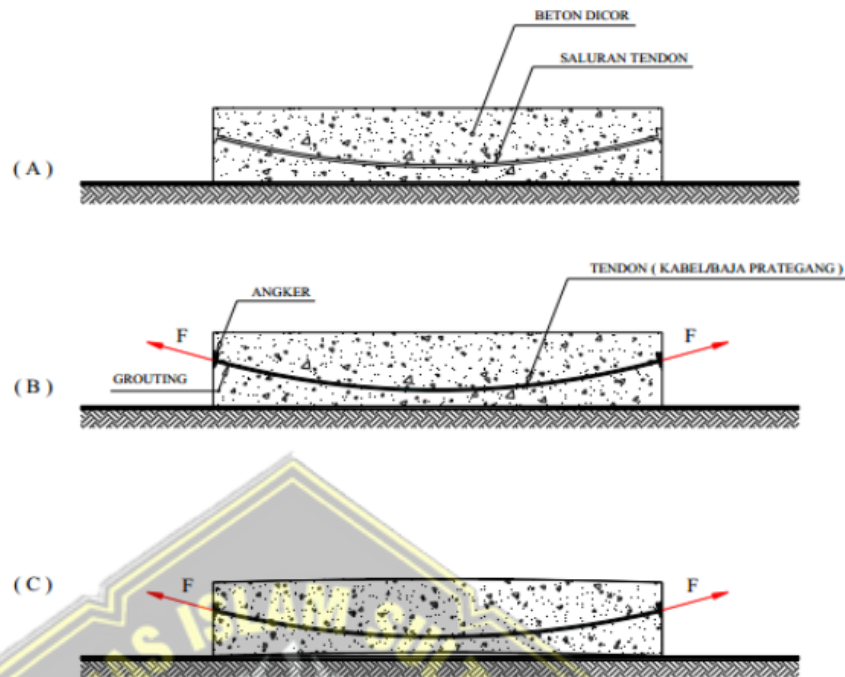


Gambar 2.9 Prinsip Pra-Tarik (*pre – tension*)

(Sumber: *Konstruksi Beton Pratekan*, Ir. Soetoyo)

2.4.2 Pemberian Pascatarik (*post – tension*)

Pada metode *post-tension* merupakan salah satu prinsip kerja dimana baja akan ditarik setelah beton di cor atau beton sudah mengering. Metode *post-tension* ini bekerja dengan dimana menyiapkan cetakan dengan selongsong yang diberi lubang untuk dimana tempat kabel tendon atau kabel prategang (*duct*) yang akan ditarik setelah beton mengeras didistribusikan dari gaya prategang dengan mengangkur kabel prategang pada *abutment*. Tegangan tekan yang dikirim dari tendon ke beton akan menghasilkan gaya tekan tetap. Selongsong tendon dapat diberi bahan *grouting* apabila terjadi penarikan. Metode ini akan menghasilkan gaya tekan yang dimana sudah ditentukan sebagai berikut :



Gambar 2.10 Prinsip Pasca-Tarik (*post – tension*)

(Sumber: *Konstruksi Beton Pratekan, Ir. Soetoyo*)

2.4.3 Konsep Beton Prategang

Menurut dari salah satu ahli yaitu Draft konsensus Pedoman Beton 1988 bahwa beton prategang beton bertulang dimana tela diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja. Selain itu, ada beberapa konsep yang suda ditentukan dari dasar beton prategang yaitu tegangan lebih dulu pada beton bertulang sebelum menerima beban dari luar yang mendapatkan gaya tekan dari internal sampai memperoleh gaya tegangan tarik yang dapat mengeliminir akibat beban eksternal hingga mencapai batas yang tidak dapat ditentukan.

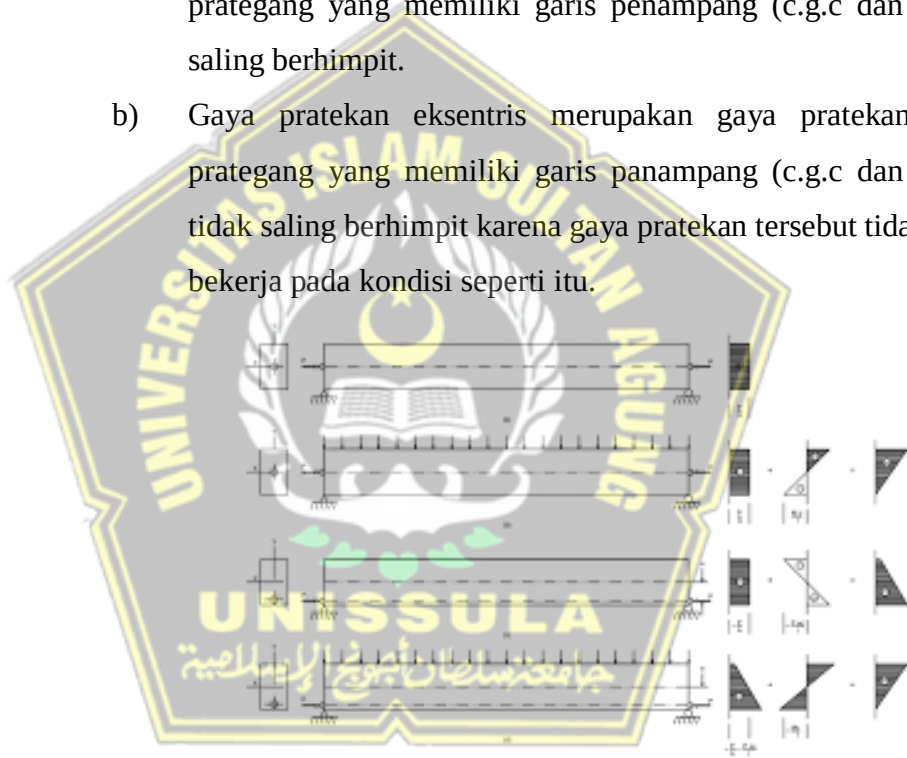
Terdapat diantaranya 3 konsep yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dari beton prategang, sebagai berikut :

1. Konsep pertama

Beton yang dapat mengubah sebuah material yang memiliki sifat getas menjadi bersifat elastis pada sistem pratekan atau prategang. Eugene

Freyssinet mengatakan bahwa beton prategang adalah tekanan yang diberikan terlebih dahulu dimana bahan beton yang akan menjadi bahan bersifat elastis yang memiliki karakteristik mudah keropos (getas). Pada dasarnya beton tidak memiliki gaya tarik dan tidak mungkin terjadi keretakan pada beton, karena beton merupakan material yang getas dan pada metode ini dapat berubah menjadi material yang bersifat elastis. Pada konsep pertama ini beton memiliki 2 kondisi yang dimana :

- a) Gaya pratekan konsentris merupakan gaya pratekan atau prategang yang memiliki garis penampang (c.g.c dan c.g.s) saling berhimpit.
- b) Gaya pratekan eksentris merupakan gaya pratekan atau prategang yang memiliki garis penampang (c.g.c dan c.g.s) tidak saling berhimpit karena gaya pratekan tersebut tidak bisa bekerja pada kondisi seperti itu.



Gambar 2.11 Distribusi Tegangan Beton Prategang
Konsentris dan Eksentris

(Sumber : Nawy & Suryatmono 2001:9)

Gaya prategang yang telah diberi tegangan tekan dengan secara merata pada penampang balok beton sebesar P/A , yang dimana A merupakan luas penampang beton pada tendon dan P adalah beban yang bekerja pada pusat berat penampang beton pada tendon. Pada

balok merata (berat beton sendiri) diberikan tegangan tekan pada garis netral bagian atas dan tegangan tarik pada garis netral bagian bawah dengan memiliki nilai serat pada penampang luar yang akan mengakibatkan beban merata adalah :

$$\text{Tegangan lentur : } f = \frac{M.c}{I} \quad \text{.....(Sumber: Nawy, 2001)}$$

Dimana :

M = Momen lentur pada penampang yang ditinjau

C = Jarak garis netral ke serat terluar penampang

I = Momen inersia penampang

Tegangan tekan memiliki rumus diatas dengan keadaan bagian atas sesudah diberi balok beton prategang yang disatukan akan terjadi pembebanan $-\frac{M.c}{I}$. Sehingga kapasitas pada tegangan tekan balok mampu menahan beban luar yang bekerja akan berkurang karena adanya gaya prategang yang diberi pada balok tendon. Tendon prategang sebaiknya diletakkan pada bawah garis netral tepat tengah bentang, sehingga dapat menumbuhkan tegangan tarik yang diakibatkan gaya prategang diserat pada bagian atas garis netral. Posisi tendon prategang disebut dengan garis c.g.c jika diposisikan pada eksentrisitas “e” dari tengah beban beton “Pe”, dan gaya tegangan pada bagian bawah bentang sebagai berikut :

$$f^t = -\frac{P}{Ac} + \frac{Pec}{Ig} - \frac{Mc}{Ig}$$

$$f_b = -\frac{P}{Ac} - \frac{Pec}{Ig} + \frac{Mc}{Ig}$$

Dimana :

f = Tegangan

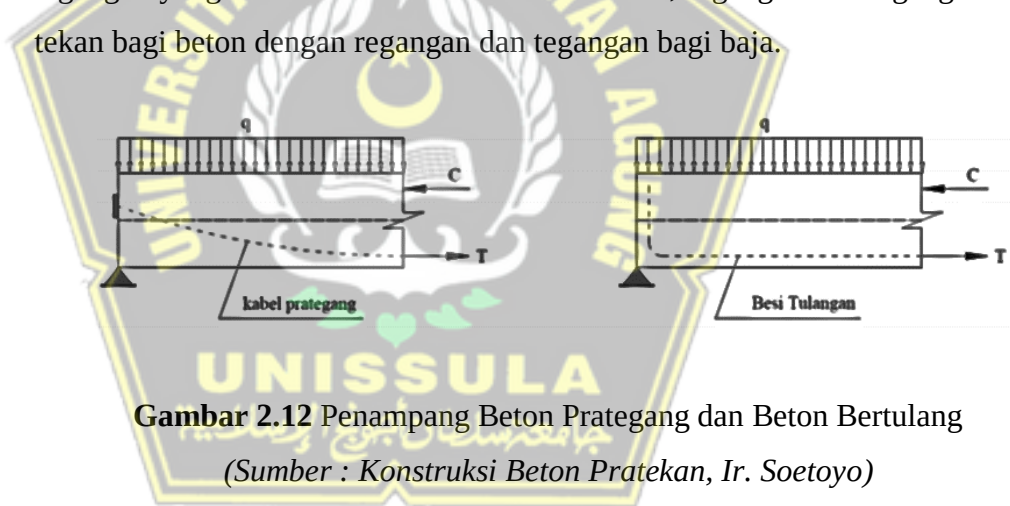
f^t = Tegangan di serat atas beton

f_b = Tegangan di serat bawah beton

- c = Jarak garis netral terhadap serat terluar penampang
 I = Momen inersia penampang
 e = Eksentrisitas

2. Konsep kedua

Sistem prategang atau pratekan yang memiliki material yang berkombinasi antara baja dan beton dengan mutu atau kualitas yang tinggi. Selain itu, beton pada konsep ini mampu menahan beban tekan dan dimana baja mampu menahan beban tarik. Baja prategang dapat ditarik sebelum (pratarik) kekuatan pada beton yang dimanfaatkan. Kuat tarik dilakukan dengan menjangkar ke beton sehingga dapat menghasilkan regangan dan tegangan yang sesuai kriteria antara dua material, regangan dan tegangan tekan bagi beton dengan regangan dan tegangan bagi baja.

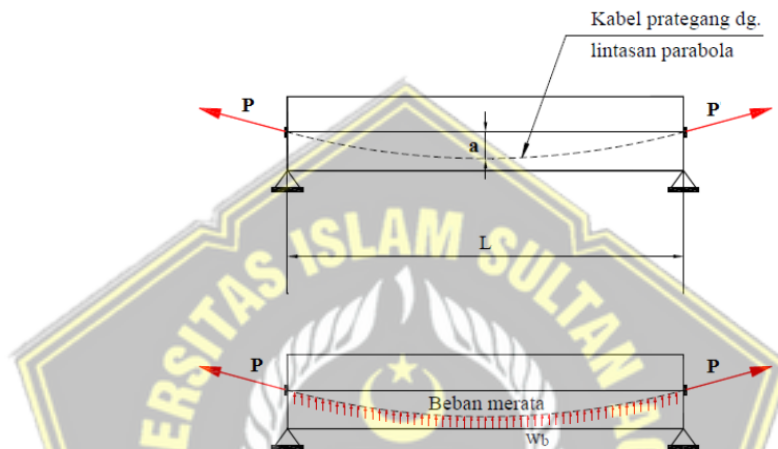


Gambar 2.12 Penampang Beton Prategang dan Beton Bertulang
 (Sumber : *Konstruksi Beton Pratekan, Ir. Soetoyo*)

Pada konsep ini baja mampu ditarik menggunakan gaya prategang T dimana momen membentuk suatu kopel beban pada gaya tekan beton C untuk melawan karena beban eksternal, sementara beton bertulang memiliki besi yang berkualitas rendah dapat menahan gaya tarik T karena beban eksternal. Kopel beban pada konsep ini dapat membentuk menjadi gaya tekan beton C untuk melawan beban eksternal karena momen luar.

3. Konsep ketiga

Sistem prategang atau pratekan suatu beban untuk mencapai suatu keseimbangan (Load Balancing). Gaya prategang yang digunakan untuk mengatur keseimbangan gaya-gaya yang berasal dari beban balok. Konsep yang pertama kali dikenalkan oleh T.Y.Lin, beton merupakan benda yang bekerja bebas pada tendon dan memiliki gaya pratekan sebagai melawan beban yang bereaksi.



Gambar 2.13 Konsep Keseimbangan Beban
(Sumber: *Konstruksi Beton Pratekan*, Ir. Soetoyo)

Balok yang berada pada posisi dua perletakan (*simple beam*) dikasih gaya prategang “P” menyalurkan pada kabel prategang membentuk lintasan parabola. Momen yang diakibatkan oleh gaya prategang atau pratekan dapat didistribusikan dengan cara merata ke arah atas yaitu:

$$w_b = \frac{8 \cdot P \cdot a}{l^2}$$

Dimana:

w_b = Beban merata ke atas, akibat gaya prategang P

a = Tinggi parabola lintasan kabel prategang

l = Bentang balok

P = Gaya prategang

Sehingga dapat disimpulkan momen akibat beban merata (arah ke bawah) dapat menanggapi oleh gaya akibat beban prategang w_b yang menuju ke atas.

2.5 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang merupakan kondisi proses beton mengalami perubahan pada komposisi yang melalui proses reduksi secara progresif sampai senggang waktu kurang lebih selama 5 tahun dengan keadaan gaya prategang yang berkurang dari awal perencanaan. Kehilangan prategang secara umum terdapat beberapa yaitu :

2.5.1 Kehilangan Elastis Segera (*Immediate Elastic Losses*)

Merupakan kehilangan gaya prategang secara langsung pada beton setelah diberi gaya tekan prategang. Pada kehilangan elastis segera bisa diakibatkan oleh beberapa faktor sebagai berikut :

- Adanya sistem *postension* yang mengakibatkan gaya prategang yang hilang oleh gesekan atau tekanan tegangan pada garis yang melengkung pada tendon
- Adanya slip yang masuk ke dalam ankur sehingga mengakibatkan kehilangan beban kerja
- Degradasi pada beton
- Berkurangnya elastisitas tegangan pada beton prategang

Selain akibat diatas yang mengalami kehilangan gaya prategang tersebut, kehilangan elastis segera ada beberapa kehilangan diantaranya :

1. Perpendekan Elastis

Kehilangan ini mencakup 2 metode prategang yaitu *pres-tension* dan *post-tension* yang dimana 2 metode tersebut tidak mengalami kehilangan yang diakibatkan adanya perpendekan elastisitas pada beton. Tegangan yang hilang pada pascatarik selain perpendekan elastis juga diakibatkan pada rasio modulus elastisitas pada baja beton terletak.

Perpendekan elastis dapat dirumuskan untuk kehilangan tegangan pada pascatarik sebagai berikut :

$$ES = \frac{n \cdot T_i}{A_c} \quad \text{atau} \quad \Delta f_p ES = 0,5 \times \Delta f_p ES$$

Dimana :

ES = Kehilangan gaya prategang

Ec = Modulus elastisitas beton

Es = Modulus elastisitas baja prategang

f_c' = Tegangan baja ditempat baja prategang

Ti = Gaya prategang awal

n = Rasio modulus elastisitas $\left(\frac{Es}{Ec} \right)$

0,5 = Komponen struktur pasca-tarik beton

1,0 = Komponen pratarik

Eci = Modulus elastis beton ketika praategang awal

2. Kehilangan pada sistem Angkur

Kehilangan akibat posisi angkur terletak pada elemen struktur dengan pascatarik gaya prategang yang menurunkan aliran menuju angkur sehingga gaya prategang mengalami kehilangan akibat landasan yang ada pada blok-blok angkur. Kehilangan gaya yang diakibatkan pratarik merupakan gaya yang ditransfer melalui landasan dari elemen struktur akibat penyesuaian yang telah dilakukan. Besar slip dalam angkur mencapai rata-rata 2,5 m. Besar slip diperoleh dari panjang total tendon adalah sebagai berikut :

$$\Delta L = \frac{f_{pi}}{ES} L$$

Dan besar akibat kehilangan gaya prategang pada slip angkur diperoleh :

$$ANC = \frac{S_{rata-rata}}{\Delta L} \times 100\%$$

Dimana :

ANC = Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur

ΔL = Deformasi pada ankur

f_{pi} = Tegangan pada tendon

ES = Kehilangan gaya prategang

L = Panjang tendon

$S_{rata-rata}$ = Harga rata-rata slip ankur

3. Kehilangan Akibat Gesekan Sepanjang Tendon

Kehilangan akibat gaya gesekan pada tendon merupakan pengaruh dari perubahannya selongsong (*wobble*) pada tendon dan mengalami garis melengkung pada baja tendon prategang. Efek dari kelengkungan tendon didistribusikan dari awal dan efek dari selongsong didapatkan dari penyelisihan antara alinyemen yang tidak sengaja dapat dihindari oleh aliran yang memiliki posisi tidak sempurna. Selain itu, hal ini terjadi karena adanya 2 material yang berfungsi antara alinyemen tendon (efek selongsong).

Kehilangan ini dapat dirumuskan sebagai berikut dengan melihat tabel koefisien gaya gesekan kelengkungan dan *Wobble* adalah sebagai berikut :

$$\Delta f_{pf} = f_1 (\mu \alpha + KL)$$

Dimana :

μ = Angka koefisien kelengkungan

K = Angka koefisien *wobble*

α = Sudut pada tendon ($\frac{8y}{x}$)

f_1 = Tegangan awal

L = Panjang tendon prategang

Tabel 2.10 Koefisien-koefisien gesek kelengkungan dan *Wobble*

Tipe Tendon	Koefisien <i>Wobble</i> (K) Tiap Meter	Koefisien Kelengkungan (μ)
Tendon pada selubung Logam fleksibel:		
- Tendon kawat	0,0033 – 0,0049	0,15 – 0,25
- Strand dengan untaian 7 kawat	0,0016 – 0,0066	0,15 – 0,25
- Baja mutu tinggi	0,0003 – 0,0020	0,08 – 0,30
Tendon pada selubung logam kayu :		
- Strand dengan untaian 7 kawat	0,0007	0,15 – 0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu :		
- Tendon kawat dan strand dengan 7 untaian kawat	0,001 – 0,0066	0,05 – 0,15
Tendon yang diberi lapisan mastic :		
- Tendon kawat dan strand dengan 7 untaian kawat	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15

Sumber : Lyn & Burns, 1988

2.5.2 Kehilangan Prategang Jangka Panjang

Merupakan kehilangan yang dilihat dari akibat adanya waktu yang sudah direncanakan, diantaranya :

1. Rangkak (*creep*)

Struktur yang terletak diantara beton dan tendon. Rangkak merupakan akibat tegangan longitudinal yang terjadi pada waktu saat aliran deformasi pada material beton dan tendon. Deformasi yang berlaku pada kehilangan ini merupakan waktu yang berfungsi sebagai nilai maksimal dari beban yang bekerja secara lama yang dapat disangga oleh karakteristik beton. Kehilangan tegangan akibat rangkak dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta f_{pCR} = nK_{CR} (\bar{f}_{cs} - \bar{f}_{csd})$$

Dimana:

K_{CR} = 2,0 untuk komponen struktur pratarik
 = 1,60 untuk komponen struktur pascatarik (keduanya untuk beton normal)

$\bar{f}_{cs}$ = Tegangan di beton pada level pusat berat baja segera setelah transfer

$\bar{f}_{csd}$ = Tegangan di beton pada level pusat berat baja akibat semua beban mati tambahan yang bekerja setelah prategang diberikan

n = Rasio modulus

2. Susut pada Beton

Kehilangan nilai dapat dilihat dari beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan tersebut antara lainnya tipe material, waktu perawatan, campuran, dan pemberian gaya prategang serta ukuran struktur dan keadaan lingkungan sekitar. Pada sistem pascatari dapat mengakibatkan hilangnya gaya prategang karena susutnya beton yang sedikit relatif lebih kecil sebelum terjadinya pemberian pascatarik pada beton. Bentuk dan ukuran susut pada beton dapat dirumuskan sebagai :

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

Dimana:

E_{ps} = Modulus elastisitas baja prategang

V = Volume beton dari suatu komponen struktur

S = Luas penampang dari suatu komponen struktur

RH = Kelembapan udara relatif

K_{SH} = Koefisien susut, harganya ditentukan terhadap waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya

prategang (1,0 komponen struktur pascatarik)

Tabel 2.11 Koefisien Susut (Nilai K_{SH})

Waktu dari Akhir Perawatan Basah hingga Pemberian Prategang (Hari)	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

Sumber: Nawy & Suryoatmono (2001:83)

3. Relaksasi Baja Prategang

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja prategang merupakan proses hilangnya perpanjangan waktu yang konstan pada tendon yang mengalami proses *stress-relieved*. Selain akibat relaksasi, tegangan baja bisa berpengaruh dengan lamanya waktu yang berjalan dengan perbandingan antara rasio prategang awal dan akhir yang dikenal dengan $\frac{f'_{pi}}{f_{py}}$. Untuk mengetahui besar tegangan yang hilang pada relaksasi

baja prategang dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\Delta f_{PR} = f'_{pi} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f'_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

Dimana:

f'_{pi} = Tegangan awal baja yang dialami elemen beton

f_{py} = Kuat leleh baja prategang

= 0,80 f_{pu} (batang prategang)

= 0,85 f_{pu} (tendon *stress-relieved*)

= 0,90 f_{pu} (tendon relaksasi rendah)

t_1 = Waktu pada awal suatu interval dihitung dari saat

pendongkrakan

t_2 = Waktu diakhir interval dihitung dari saat pendongkrakan

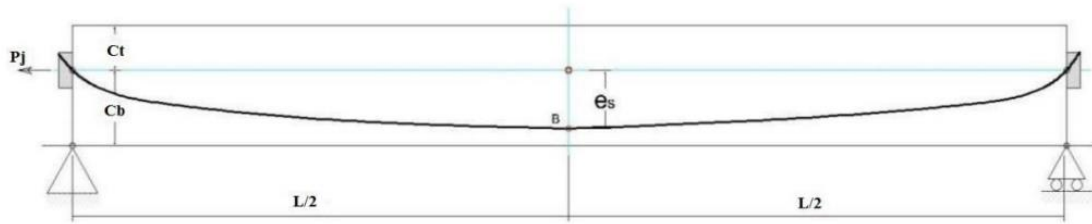
Tabel 2.12 Nilai C

$\frac{f_{pi}}{f_{py}}$	Strand atau Kawat <i>stress-relieved</i>	Batang <i>stress-relieved</i> atau Kawat Relaksasi Rendah
0,80		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,80

Sumber : Lyn & Burns, 1988

2.6 Lintasan (Tendon)

Lintasan tendon merupakan sepanjang daerah pada jembatan yang memiliki kondisi dimana titik berat yang bekerja pada kabel-kabel prategang dapat disebut juga dengan *Center Gravity of Stell* (CGS) yang membuat lintasan secara lurus dengan melalui lintasan menggunakan cara kabel-kabel prategang secara pelan-pelan ditengah bentang yang akan membentuk secara melengkung (*draped*) dan kabel dapat dinaikkan secara mendadak dari pusat bentang ke tumpuan (*harped*). Lintasan tendon yang membentuk melengkung dapat diketahui melalui titik koordinat dengan persamaan parabolik sebagai berikut:



Gambar 2.14 Layout Tendon Parabolik

(Sumber : Perhitungan Box Girder Beton Prestress, Ir. Soetoyo)

Rumus :

$$Y_i = \frac{4 f X_i (L - X_i)}{L^2}$$

Dimana:

- Y_i = Ordinat tendon
- X_i = Absis tendon
- L = Panjang bentang
- f = e_s = Tinggi parabola maksimum

2.7 Pondasi

Pondasi merupakan salah satu bagian yang paling berperan penting dalam sebuah konstruksi yaitu pada struktur bawah yang berfungsi sebagai menyangga atau menyalurkan beban-beban yang terjadi pada struktur diatas dan dapat meneruskan sampai ke dasar tanah baik secara arah vertikal maupun arah horizontal. Sebelum melakukan perencanaan sebuah konstruksi, terlebih dahulu menguji jenis tanah pada lokasi yang akan dibangun sebuah konstruksi yang bertujuan untuk mengetahui seberapa mampu daya dukung pada tanah tersebut untuk menahan beban-beban konstruksi yang akan direncanakan.

Pondasi direncanakan setelah mengetahui uji tanah yaitu diantaranya menghasilkan data N-SPT (Nilai *Standart Penetration Test*). Data N-SPT didapatkan dengan menguji tanah pada lokasi tersebut menggunakan alat yang dinamakan *Cone Penetration Test* (CPT). Pada pengujian tersebut tanah dapat disimpulkan ada beberapa

jenis kandungan diantaranya yaitu pasir, lempung, lumpur atau lanau yang berfungsi untuk mengetahui partikel-partikel yang ada pada kandungan jenis tanah tersebut dengan mengetahui ukuran butiran yang telah diteliti. Untuk jenis lempung merupakan jenis tana yang memiliki sifat tanah yang kohesif, sedangkan pasir memiliki sifat tanah yang non-kohesif.

2.7.1 Jenis Pondasi

Dari beberapa banyak jenis dan macam konstruksi di Indonesia terutama adalah pada konstruksi jembatan pada umumnya menggunakan pondasi dengan mengetahui kestabilan daya dukung tanahnya diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Pondasi *Bored Pile*

Pondasi *bored pile* adalah pondasi yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu, kemudian dicor (Hadiyatmo, 2010). Sehingga dari pengertian tersebut, tanah yang terlebih dahulu sudah di bor menggunakan alat bor tanah lalu diisi dengan tulangan yang sudah dirangkai sesuai perencanaan kemudian tahap selanjutnya adalah di cor beton. Jika posisi konstruksi yang akan dilakukan menggunakan pondasi ini, maka membutuhkan pipa (*temporary casing*) yang berfungsi sebagai menahan dinding lubang yang telah dibor atau gerusan pada pipa ini akan mengeluarkan air pada saat pengecoran berlangsung.

Kapasitas untuk daya dukung tanah untuk pondasi *bored pile* dapat dilihat dari data N-SPT dengan pengambilan sampel tanah yang telah direncanakan sebelumnya. Untuk mengetahui daya dukung pondasi *bored pile* dapat menggunakan metode dari Mayerhoff (1976). Dapat dirumuskan sebagai berikut:

a. Tanah non-kohesif

$$Q_p = 40 \times N\text{-SPT} \times D \times L \times A_p < 400 \times N\text{-SPT} \times A_p$$

$$Q_s = 2 \times N\text{-SPT} \times p \times L$$

Dimana :

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (*end bearing*)

Q_s = Kapasitas geser selimut tiang (*skin friction*)

D = Diameter tiang (m)

L = Panjang tiang (m)

A_p = Luas tiang (m^2)

L_i = Panjang Lapisan tanah (m)

P = Keliling tiang (m)

b. Tanah kohesif

$Q_p = 9 \times c_u \times A_p$

$Q_s = \alpha \times c_u \times p \times L_i$

Dimana :

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (*end bearing*)

Q_s = Kapasitas geser selimut tiang (*skin friction*)

A_p = Luas tiang (m^2)

L_i = Panjang Lapisan tanah (m)

P = Keliling tiang (m)

c. Kapasitas daya dukung ijin tanah (kN)

$$Q_{ijin} = \frac{Q_p + Q_s}{SF}$$

Dimana:

Q_p = Kapasitas dukung ujung tiang (*end bearing*)

Q_s = Kapasitas geser selimut tiang (*skin friction*)

SF = *Safety Factor*

d. Jumlah tiang

$$n = \frac{P_u}{Q_{ijin}}$$

Dimana:

P_u = Beban yang bekerja pada *abutment* (kN)

Q_{ijin} = Kapasitas dukung yang diijinkan (kN)

e. Efisiensi kelompok tiang pondasi

$$E_g = \frac{P_u}{n \times Q_{ijin}}$$

Dimana:

P_u = Beban yang bekerja pada *abutment* (kN)

Q_{ijin} = Kapasitas dukung yang diijinkan (kN)

n = Jumlah tiang (buah)

f. Kontrol kelompok tiang

$$n \times E_g \times Q_{ijin} > P_u$$

Dimana :

P_u = Beban yang bekerja pada *abutment* (kN)

Q_{ijin} = Kapasitas dukung yang diijinkan (kN)

n = Jumlah tiang (buah)

E_g = Efisiensi kelompok tiang

2. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang merupakan pondasi yang digunakan pada umumnya pada konstruksi gedung yang berlantai tinggi, jembatan dan konstruksi yang memiliki daya dukung tanah yang tidak mendukung. Kapasitas untuk daya dukung tanah untuk pondasi tiang pancang dapat dilihat dari data N-SPT dengan pengambilan sampel tanah yang telah direncanakan sebelumnya. penentuan daya dukung tanah untuk pondasi tiang pancang dapat dilihat dari panjang tiang yang akan digunakan. Untuk mengetahui daya dukung pondasi tiang pancang dapat menggunakan metode dari Mayerhoff (1976). Dapat dirumuskan sebagai berikut:

a. Menentukan kapasitas daya dukung tanah dari N-SPT

$$Q_u = 40 \times N_b \times A_p < 380 \times N_b \times A_p$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

Dimana :

Q_{all} = Kapasitas dukung diijinkan (kN)

Q_u = Kapasitas dukung ultimit tiang pancang (kN)
 N_b = Nilai rata-rata pada dasar tiang $\left(\frac{(N_1+N_2)}{2}\right)$
 N_1 = Nilai rata-rata pada N-SPT pada kedalaman 8D diatas tiang
 N_2 = Nilai rata-rata pada N-SPT pada kedalaman 2D dibawah tiang
 A_p = Luas penampang tiang (m)
 SF = *Safety Factor*

b. Jumlah Tiang

$$n = \frac{P_u}{Q_{all}}$$

Dimana:

P_u = Beban yang bekerja pada *abutment* (kN)

Q_{all} = Kapasitas dukung diijinkan (kN)

c. Efisien Kelompok Tiang

$$E_g = \frac{P_u}{n \times Q_{ijin}}$$

Dimana:

P_u = Beban yang bekerja pada *abutment* (kN)

Q_{ijin} = Kapasitas dukung yang diijinkan (kN)

n = Jumlah tiang (buah)

d. Kontrol kelompok tiang

$$n \times E_g \times Q_{ijin} > P_u$$

Dimana :

P_u = Beban yang bekerja pada *abutment* (kN)

Q_{ijin} = Kapasitas dukung yang diijinkan (kN)

n = Jumlah tiang (buah)

E_g = Efisiensi kelompok tiang

2.7.2 Komponen Pondasi

Pondasi adalah peran penting untuk konstruksi yang memiliki fungsi sebagai penyangga beban diatas dan menyalurkan hingga dasar tanah. Selain itu, pondasi memiliki beberapa komponen diantaranya yaitu:

1. **Abutment (Pangkal Jembatan)**

Merupakan perletakan jembatan yang memiliki fungsi sebagaimana pendukung pada struktur jembatan dan dapat menerima beban-beban konstruksi yang terjadi pada struktur diatas jembatan dan dapat melanjutkan ke dasar tanah, baik dari arah horizontal maupun dari arah vertikal dengan memiliki fungsi tambahan sebagai tambahan peralihan dari tumpuan ke timbunan jalan terdekat ke bangunan atas pada jembatan. Selain itu, pangkal jembatan (*abutment*) memiliki fungsi sebagai penahan gaya longitudinal tanah pada bagian bawah jembatan yang melintas. Komponen dari pangkal jembatan (*abutment*) adalah sebagai berikut :

- a. Dinding penahan
- b. Dinding belakang
- c. Dinding sayapp
- d. Oprit, plat injak
- e. Konsol pendek untuk jacking

2. **Pier (Pilar Jembatan)**

Pilar adalah komponen struktur bawah yang memiliki daya dukung pada bangunan diantara 2 abutment yang terletak ditengah. Pilar atau disebut juga dengan pier yang berfungsi sebagai pendukung gaya menyalurkan pada bangunan atas dari arah horizontal maupun arah vertikal.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Pendahuluan

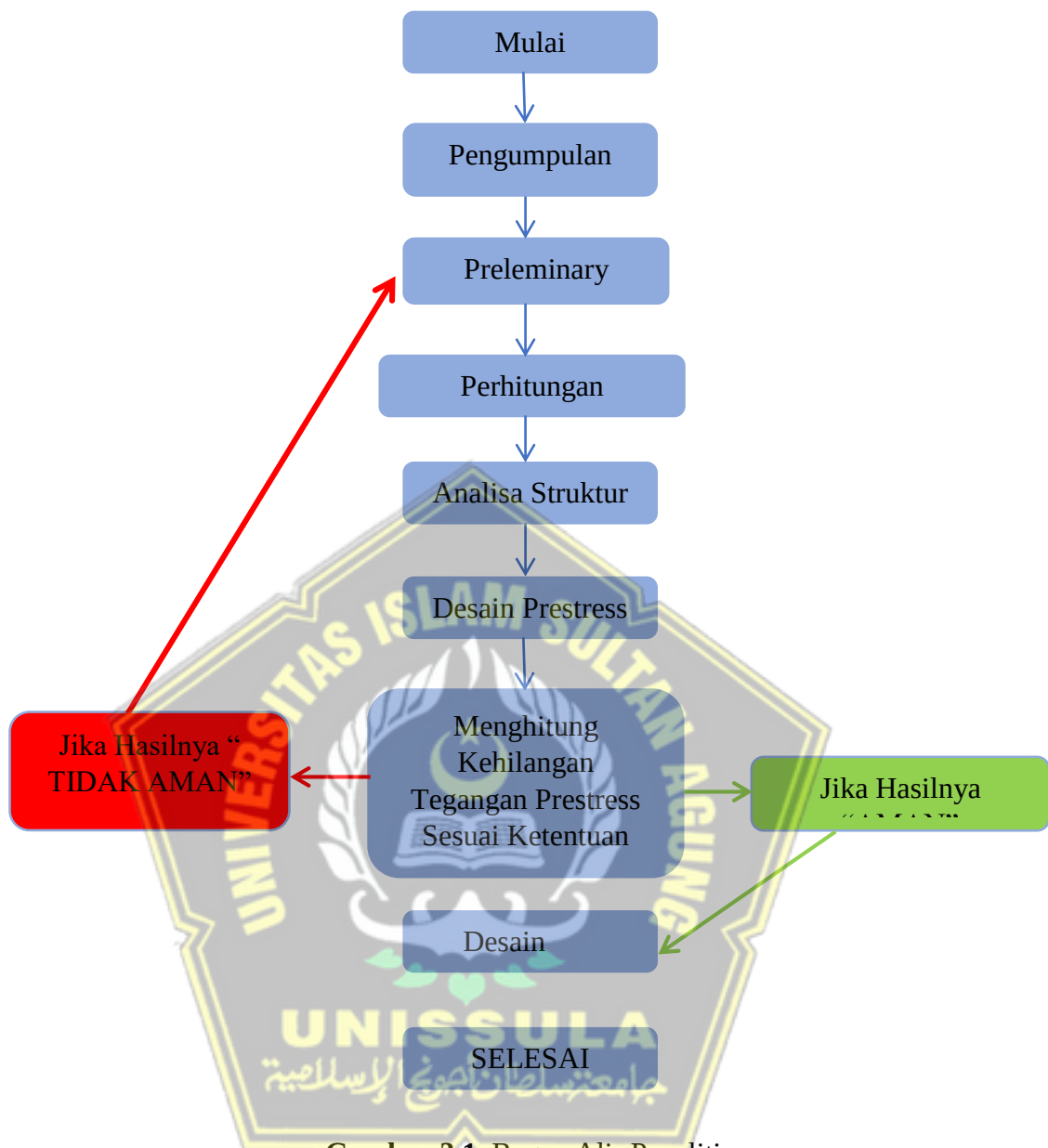
Metodologi dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang dengan Beton Pretageng yang bertujuan untuk menghitung ulang konstruksi dengan mencari pembebanan dan analisa struktur secara manual dengan menggunakan Ms. Excel untuk mengecek keakuratan perhitungan yang baik dan benar.

Pedoman-pedoman yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang dengan Beton Pretageng dengan baik diantaranya adalah :

1. SNI 1725 – 2016, tentang Tata Cara Pembebanan untuk Jembatan
2. SNI 2833 – 2016, tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan
3. SNI 2874 – 2019, tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Jembatan dan Gedung
4. NAASRA *Bridge Design Specification*

3.2. Langkah Umum Perencanaan Struktur

Perhitungan pada konstruksi jembatan ini dapat diperhitungkan untuk mengetahui beban – beban pada momen yang bekerja dari struktur atas hingga struktur bawah jembatan. Perencanaan struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang dengan Beton Pretageng terdapat langkah-langkah yang saling berkaitan diantaranya adalah langkah-langkah umum perancangan perhitungan pada struktur yang dijadikan pedoman pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah awal yang dilakukan dalam perencanaan struktur yang umumnya terdiri dari :

1. Deskripsi umum bangunan
2. Metode analisa perhitungan dan desain struktur konstruksi seperti struktur atas hingga pondasi
3. Menentukan beban yang bekerja pada struktur

4. Mutu bahan yang digunakan bepedoman pada SNI yang telah ditentukan dan SNI terbaru
5. Standard referensi yang dipakai untuk perencanaan perhitungan struktur atas hingga struktur bawah

3.4 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan yang mempengaruhi mulai dari bangunan bawah yaitu pondasi yang berupa tiang pancang yang mendistribusikan beban-beban ke tanah di bawahnya. . Pembebanan yang diperhitungkan pada analisa ini adalah:

Beban yang bekerja pada jembatan diantaranya ada berat sendiri jembatan, beban mati tambahan, dan beban kombinasi

3.4.1 Beban Sendiri (MS)

Beban sendiri adalah berat bagian jembatan yang merupakan elemen tructural, ditambah elemen non-struktural yang dipikul pada konstruksi itu sendiri. Beban sediri dihitung sebagai berikut :

a. Berat Diafragma

Berat diafragma dihitung sebagai berikut :

$$M_{\max} = \left(\frac{1}{2} \times n \times x_4 - x_3 - x_2 - x_1 \right) \times W \text{ (kNm)}$$

$$Q_{\text{diafragma}} = 8 \times \frac{M_{\max}}{L^2} \text{ (kN/m)}$$

b. Berat Balok Prategang

$$W_{\text{balok}} = A \times L \times w_c \text{ (kN)}$$

$$Q_{\text{balok}} = \frac{W_{\text{balok}}}{L} \text{ (kN/m)}$$

c. Gaya Geser dan Momen Akibat Berat Sendiri

$$Q_{\text{MS}} = A \times w \text{ (kN/m)}$$

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

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

3.4.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan (superimposed dead load) adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada balok (girder) jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Girder jembatan direncanakan mampu memikul beban mati tambahan berupa :

- a. Aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan Kembali dikemudian hari (overlay)
- b. Genangan air hujan setinggi 50 mm apabila saluran drainase tidak bekerja dengan baik

Beban mati tambahan dihitung sebagai berikut :

$$\text{Beban, } Q_{MA} = A \times w \text{ (kN/m)}$$

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

$$\text{Momen, } M_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{MA} \times L^2$$

3.4.3 Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur D atau beban lalu lintas terbagi menjadi dua beban yaitu beban terbagi rata (BRT) dan beban garis terpusat (BGT). Beban Lajur “D” dihitung sebagai berikut . Beban lajur merupakan beban kendaraan yang terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT).

a. Beban Terbagi Rata (BTR)

$$TD = q$$

dimana :

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 8,0 \text{ kPa}$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 8,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L} \right)$$

Keterangan :

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

L = panjang total jembatan yang dibebani (m)

b. Beban Garis (BGT)

$$\text{FDB} = 0,4 \quad \text{untuk } L \leq 50\text{m}$$

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

$$\text{FDB} = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90\text{m}$$

3.4.4 Gaya Rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada jarak 1800mm diatas permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung Panjang total jembatan (L). Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem (Sumber: SNI 1725:2016).

Dengan diperhitungkan pada gaya rem arah memanjang pada jembatan dapat ditentukan dengan syarat sebagai berikut:

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

$$\text{HTB} = 250 + 2,5(L_t - 80) \quad \text{untuk } 80 < L_t < 180 \text{ m}$$

$$\text{HTB} = 500 \quad \text{untuk } L_t > 180 \text{ m}$$

Dengan adanya besar gaya rem merupakan HTB atau jumlah balok girder pada jembatan. Pada posisi lengan kerja gaya rem, $y = 1,8 + (\text{tebal lapisan aspal} + \text{overlay}) + (0,5 \times \text{tinggi girder})$.

$$\text{Gaya rem untuk } L_t \leq 80 \text{ m} : T_{TB} = H_{TB} / n_{\text{balok}} \text{ (kN)}$$

$$\text{Gaya Rem, } T_{TB} = 5\% \text{ beban lajur "D" tanpa factor beban dinamis,}$$

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

$$\text{Beban momen akibat gaya rem, } M = T_{TB} \times y \text{ (kNm)}$$

$$\text{Gaya Geser, } V_{TB} = \frac{M}{L} \text{ (kN)}$$

$$\text{Momen Maksimum pada balok akibat gaya rem, } M_{TD} = \frac{1}{2} \times M \text{ (kNm)}$$

3.4.5 Beban Angin (EW)

Beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan diatas lantai jembatan dihitung dengan rumus :

$$T_{EW} = 0,0012 \times C_W \times (V_W)^2$$

$$\text{Panjang balok, } Q_{EW} = \left[\frac{1}{2} \times \frac{h}{x} \times T_{EW} \right] \text{ (kN/m)}$$

$$\text{Gaya geser, } V_{EW} = \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L \text{ (kN)}$$

$$\text{Momen Maksimum, } M_{EW} = \frac{1}{8} \times Q_{EW} \times L^2 \text{ (kNm)}$$

3.4.6 Beban Gempa (EQ)

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)

Berikut rumus perhitungan gaya geser dan momen maksimum beban gempa vertical :

$$\text{Gaya geser, } V_{EQ} = \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L \text{ (Kn)}$$

$$\text{Momen Maksimum, } M_{EQ} = \frac{1}{8} \times Q_{EQ} \times L^2 \text{ (kNm)}$$

Tabel 3.1 Persamaan Momen dan Geser Beban Kombinasi

No.	Jenis Beban	Persamaan Momen	Persamaan Gaya Geser
1.	Berat Sendiri (MS)	$M_x = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times (L \cdot x - x^2)$	$V_x = Q_{MS} \times (\frac{L}{2} - x)$
2.	Mati Tambahan (MA)	$M_x = \frac{1}{2} \times Q_{MA} \times (L \cdot x - x^2)$	$V_x = Q_{MA} \times (\frac{L}{2} - x)$
3.	Lajur “D” (TD)	$M_x = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times (L \cdot x - x^2) + \frac{1}{2} \times P_{TD} \cdot x$	$V_x = Q_{MS} \times (\frac{L}{2} - x) + \frac{1}{2} \times P_{TD}$
4.	Gaya Rem (TB)	$M_x = \frac{x}{L} \times M_{TB}$	$V_x = \frac{M_{TB}}{L}$
5.	Angin (EW)	$M_x = \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times (L \cdot x - x^2)$	$V_x = Q_{EW} \times (\frac{L}{2} - x)$
6.	Gempa (EQ)	$M_x = \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times (L \cdot x - x^2)$	$V_x = Q_{EQ} \times (\frac{L}{2} - x)$

Sumber: Ir. M. Noer Ilham, MT

3.5 Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

3.5.1 Kondisi Awal (Saat Transfer)

Kuat tekan beton :

$$f_c' = 0.83 \times K \times 100 \text{ (kPa)}$$

Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer) :

$$f_{ci}' = 0.80 \times f_c' \text{ (kPa)}$$

Ditetapkan jarak titik berat tendon terhadap alas balok = z_0

Eksentrisitas tendon :

$$e_s = y_b - z_0 \text{ (m)}$$

Tegangan di serat atas :

$$0 = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \times e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a} \quad \text{(persamaan 1)}$$

Tegangan di serat bawah :

$$0.6 \times f_{ci}' = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \times e_s}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b} \quad \text{(persamaan 2)}$$

Besarnya gaya prategang awal :

$$\text{Dari persamaan 1, } P_t = \frac{M_{\text{balok}}}{\frac{e_s - W_a}{A}}$$

$$\text{Dari persamaan 2, } P_t = \frac{0,6 \times f_{ci} \times W_b + M_{\text{balok}}}{\frac{W_b}{A} + e_s}$$

Diambil besarnya gaya prategang

3.5.2 Kondisi Akhir

DATA STRANDS CABLE – STANDAR VSL

Uncoated 7 wire super strand ASTM A – 416 grade 270

Tegangan leleh *strands* (f_{pv}) = 1580 MPa

Kuat tarik *strands* (f_{pu}) = 1860 MPa

Diameter nominal *strands* = 12,7 mm

Luas tampang nominal satu *strands* (A_{st}) = 98,7 mm²

Beban putus minimal satu *strands* (P_{bs}) = 187,32 kN (100% UTS)

Jumlah kawat untai (*strands cable*) = 19 kawat untai/tendon

Diameter selubung ideal = 64 mm

Luas penampang *strands* = 1875 mm²

Beban putus satu tendon (P_{b1}) = 3559 kN (100% UTS)

Modulus elastisitas *strands* (E_s) = 193000 MPa

Tipe = VSL 19

Gaya prategang awal : P_1

Beban putus satu tendon : P_{b1}

Beban putus minimal satu strand : P_{bs}

$$\text{Gaya prategang jacking : } P_j = \frac{P_{t1}}{0,85} \quad (\text{persamaan 1})$$

$$P_j = 0.80 \times P_{b1} \times n_t \quad (\text{persamaan 2})$$

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

$$n_t = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{b1}}$$

Jumlah kawat untai (strands cable) yang diperlukan :

$$n_s = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{bs}}$$

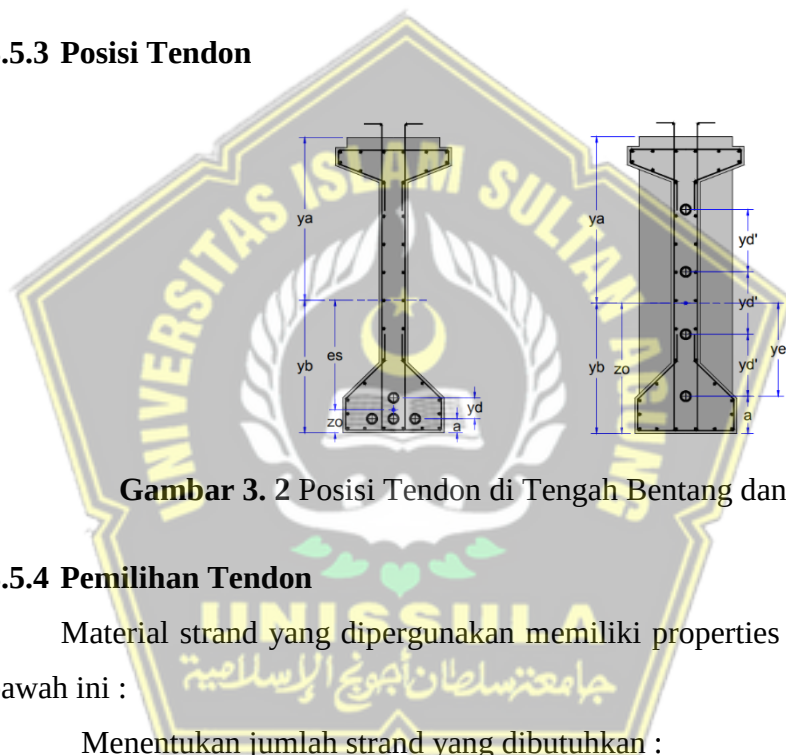
Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% Jacking Force) :

$$p_o = \frac{P_t}{0,85 \times n_s \times P_{bs}}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking :

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs}$$

3.5.3 Posisi Tendon



Gambar 3. 2 Posisi Tendon di Tengah Bentang dan di Tumpuan

3.5.4 Pemilihan Tendon

Material strand yang dipergunakan memiliki properties seperti tertera bawah ini :

Menentukan jumlah strand yang dibutuhkan :

$$n = \frac{T_i}{R \cdot A_s \cdot f_u}$$

Cek jumlah tendon yang digunakan

$T_i \leq T_i$ tendon yang dipergunakan

$T_i \text{ tendon} = n \times A_s \times F_u \times R$

3.5.5 Penentuan Letak Tendon

Letak Batas Aman Tendon

Pada kondisi awal agar pengaruh beban kerja dan pusat tekanan tidak jatuh digaris kern bawah, maka garis cgs tidak boleh ditempatkan dibawah kern dengan jarak minimal :

$$a_2 = \frac{M_c}{T_1}$$

Dimana :

a_2 = Jarak titik berat tendon dibawah batas bawah (k_b)

M_c = Momen akibat berat sendiri girder

T_1 = Gaya pratekan awal

3.6 Analisa Penampang Balok Girder

3.6.1 Lendutan Balok Sebelum Komposit

a. *Central Gravity of Concrete (cgc)*

Perhitungan letak cgc pada sumbu X adalah dengan rumus :

$$\hat{Y} = Y_b = \frac{\sum A_c \cdot Y}{\sum A_c}$$

$$Y_t = Y - Y_b$$

Dimana :

Y_b = Jarak letak sumbu X dari alas balok girder (cm)

A_c = Luas Balok Prategang (cm²)

Y = Jarak titik berat balok terhadap alas balok girder (cm)

Y_t = Jarak total titik berat balok terhadap alas balok girder (cm)

b. Momen Inersia Sumbu x (I_x)

Perhitungan momen inersia terhadap sumbu x balok girder digunakan rumus :

$$I_x = \frac{1}{12} \times b \times h^3 + A \times Y^2 \text{ (persegi)}$$

$$I_y = \frac{1}{36} \times b \times h^3 + A \times Y^2 \text{ (segitiga)}$$

Dimana :

I_x = Momen inersia sumbu x (cm^4)

b = Lebar bagian balok yang ditinjau (cm)

h = Tinggi bagian balok yang ditinjau (cm)

A = Luas bagian balok yang ditinjau (cm)

Y = Jarak titik berat balok yg ditinjau terhd. sumbu x (cm)

c. Statis Momen

Perhitungan statis momen balok girder digunakan rumus:

$$S = \frac{I_x}{Y}$$

Dimana :

S = Statis momen (cm^3)

I_x = Momen inersia penampang (cm^4)

Y = Jarak titik yang ditinjau terhadap sumbu X (cm)

d. Jari-jari Inersia (r^2)

$$r^2 = \frac{\sum I_x}{Ac}$$

e. Penentuan Batas Inti Balok Prategang

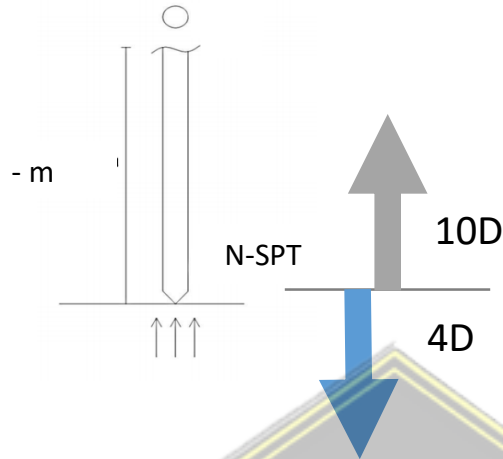
$$\text{Bagian atas, } k_t = \frac{i^2}{Y_b}$$

$$\text{Bagian bawah, } k_b = \frac{i^2}{Y_t}$$

3.7 Perhitungan Pondasi dan Data Tanah

3.7.1 Metode Mayerhof (Menggunakan hasil penyelidikan N-SPT)

a.) Menentukan Qp (Tahanan Ujung Tiang)



Kedalaman (m)	N-SPT	Qc (kg/cm ²)
35	22	89
40	24	97

➤ Penampang Pondasi

$$Q_p = 0,1 \times p_a \times N$$

Keterangan :

p_a = tekanan atmosfer 100 Kn/m²

p_a = 100 Kn/ m²

N = rata-rata pada kedalaman 4D ke bawah hingga 10D ke atas

Kedalaman	33 m	50 m	40
N- SPT	31	43	34

$$N = \frac{N-SPT}{n}$$

$$\text{Maka, } q_p = 0,1 \times p_a \times N$$

$$\text{Dimana : } A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$\text{Sehingga, } Q_p = q_p \times A_p$$

b.) Menentukan Qs (Tahanan Gesek Selimut Tiang)

➤ Pada kedalaman 0 – 5 m

$$N-Spt = 0$$

Sehingga perhitungan QS pada kedalaman 0 m – 5 m dengan jenis tanah lempung dan diketahui $c = 4,71$, dan $\alpha = 1$ (berdasarkan grafik API) yaitu sebagai berikut :

$$F_{av} = \alpha \times C_u$$

$$P = \pi \times D$$

$$Q_{s1} = P \times L \times f_{\Delta v}$$

c.) Hasil perhitungan menggunakan data hasil N-SPT

- Kapasitas daya dukung di Ujung Tiang

Menentukan Nilai Q_p (Tahanan Ujung Tiang)

Kohesi Undrained :

$$C_u = \frac{2}{3} \times N-SPT \times 10$$

Tahanan ujung tiang pancang pada pondasi (Q_p)

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

- Kapasitas daya dukung selimut

Menentukan Nilai Q_s (Tahanan gesek selimut tiang)

$$C_u = 0.6 \times N-SPT$$

$$f_{\Delta v} = \alpha \times C_u$$

$$Q_s = P \times \Delta L \times f_{\Delta v}$$

- Kontrol daya dukung vertikal

$$Q_{ultimate} = Q_p + Q_s \text{ Total}$$

$$Q_{allowable} = \frac{Q_{ult}}{F}$$

- Kontrol daya dukung tiang

Menggunakan rumus berikut :

$$Q_{ultimate \text{ grup}} = (m \times n) \times Q_{ultimate} \times E$$

$$Q_{allowable} = \frac{Q_{allowable \text{ grup}}}{FS}$$

Untuk mengetahui daya dukung tana pada perencanaan pondasi yang suda direncanakan diatas dengan keadaan aman atau tidak dengan persamaan :

$$P_{max} < Q_{allowable}$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Pada pembangunan konstruksi struktur jembatan beton prategang Bandara Ahmad Yani Semarang harus dilakukan perhitungan momen-momen dtruktural pada pembebanan untuk membentuk struktural konstruksi jembatan ini. Perhitungan dilakukan agar bisa membentuk konstruksi yang aman dan kuat dari segi mutu maupun kualitas jembatan prategang tersebut.

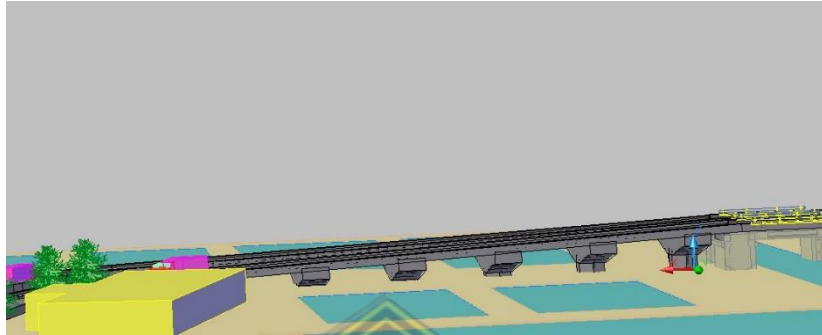
Dalam analisa perhitungan jembatan prategang Bandara Ahmad Yani Semarang kami gunakan analisis perhitungan secara manual dengan menggunakan Ms. Excel untuk mengecek ketelitian yang akurat. Hasil dari perhitungan Ms. Excel dapat kami sajikan dalam bentuk tabel maupun grafik.

4.2 Perencanaan Awal Analisa Struktur Jembatan

4.2.1 Data Struktur

Panjang bentang jembatan (L)	: 40 m
Lebar total jembatan (b)	: 15 m
Tebal slab lantai jembatan (t_s)	: 0,20 m
Tebal lapisan aspal + overlay (t_a)	: 0,10 m
Tebal genangan air hujan (t_h)	: 0,05 m
Jarak antara balok prategang (s)	: 1,8 m
Lebar jalur lalu lintas (b_1)	: 6,00 m
Lebar trotoar (b_2)	: 1m
Lebar median (pemisah jalur) (b_3)	: 1 m
Konstruksi Atas	: Beton Prategang
Konstruksi Bawah	: Pondasi Tiang Pancang
	Diameter 500 mm

Berikut adalah design jembatan beton prategang Bandara Ahmad Yani Semarang dengan perencanaan panjang bentang 40 m, lebar jembatan 15 m serta jarak antar balok girder jembatan beton prategang adala 1,8 m.



Gambar 4.1 Permodelan jembatan 3D dan 2D beton prategang Bandara Ahmad Yani

Semarang

4.2.2 Bahan Struktur

Mutu beton (K)	= 500
Kuat tekan beton (f_c')	$= \frac{0,83 \times K}{10}$
	$= \frac{0,83 \times 500}{10}$
	= 41.5 MPa
Modulus elastik (E_c)	$= 4700 \times \sqrt{f_c'}$
	$= 4700 \times \sqrt{41.5}$
	= 30277 MPa
Angka poisson (ν)	= 0,2
Modulus geser (G)	$= \frac{E_c}{[2 \times (1 + \nu)]}$
	$= \frac{30277}{[2 \times (1 + 0.2)]}$
	= 12615 MPa
Koefisien panjang untuk beton (α)	= 1,0E-05
Mutu Baja (U)	= 32

Tegangan leleh baja (f_y)	$= U \times 10$
	$= 32 \times 10$
	$= 320 \text{ MPa}$
Beton prategang (w_c)	$= 25,50 \text{ kN/m}^3$
Beton prategang (w_c')	$= 25,00 \text{ kN/m}^3$
Beton (w_c'')	$= 24,00 \text{ kN/m}^3$
Aspal (w_{aspal})	$= 22,00 \text{ kN/m}^3$
Air Hujan (w_{air})	$= 9,80 \text{ kN/m}^3$

4.3 Perhitungan Pembebanan Jembatan Beton Prategang

4.3.1 Berat Sendiri (MS)

a. Berat Diafragma

Tebal Diafragma (t)	$= 0,20 \text{ m}$
Lebar Diafragma (h)	$= 1,60 \text{ m}$
Tinggi Diafragma (s)	$= 1,60 \text{ m}$
Berat Jenis Diafragma	$= 0,000025 \text{ N/mm}^3$
Berat Diafragma (W)	$= 12,8 \text{ kN}$
Jumlah Diafragma (n)	$= 9 \text{ buah}$
$W_{\text{Diafragma}}$	$= 12,8 \times 9$
	$= 115,2 \text{ kN}$
Panjang Bentang	$= 40,00 \text{ m}$
Jarak Diafragma :	

x_4	$= 20,00 \text{ m}$	(dari tengah bentang)
x_3	$= 14,80 \text{ m}$	(dari tengah bentang)
x_2	$= 9,80 \text{ m}$	(dari tengah bentang)
x_1	$= 4,80 \text{ m}$	(dari tengah bentang)
x_0	$= 0,00 \text{ m}$	(dari tengah bentang)

Momen Maksimal di tengah bentang L, (M_{max}):

$$\begin{aligned} M_{max} &= \left(\frac{1}{2} \times n \times (X_4 - X_3 - X_2 - X_1) \right) \times W \\ &= 775,68 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berat Diafragma ekivalen :

$$\begin{aligned} Q_{\text{Diafragma}} &= 8 \times \frac{M_{max}}{L^2} \\ &= 3,87 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Berat Balok Prategang

$$\text{Panjang Balok Prategang (L)} = 4000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (A)} &= 0,752 \text{ m}^2 \\ &= 752000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis PCI Girder (Bj)} &= 25,50 \text{ KN/m}^3 \\ &= 0,0000255 \text{ N/mm}^3 \end{aligned}$$

Berat Balok Prategang + 10%

$$\begin{aligned} W_{\text{balok}} &= A \times L \times W_c \\ &= 767,04 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{balok}} &= \frac{W_{\text{balok}}}{L} \\ &= 19,176 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

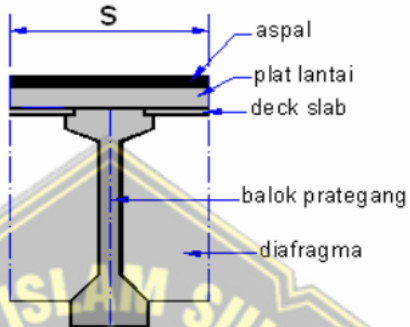
Atau :

$$\begin{aligned} W_{\text{balok}} &= A \times Bj \\ &= 752000 \times 0,0000255 \\ &= 16,92 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen PCI} &= \frac{1}{8} \times Q_{\text{PCI}} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 19,176 \times 40^2 \\ &= 3836,73 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Geser } PCI &= \frac{1}{2} \times Q_{PCI} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 16,92 \times 40 \\
 &= 338,67 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Gaya Geser dan Momen Akibat Berat Sendiri (MS)



Gambar 4.2 Girder akibat gaya geser

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Bentang} &= 40.00 \text{ m} \\
 \text{Beban } (Q_{MS}) &= A \times w \\
 &= 0,752 \times 12,8 \\
 &= 9,626 \text{ Kn/m} \\
 \text{Gaya Geser } (V_{MS}) &= \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 9,626 \times 40 \\
 &= 192,512 \text{ kN} \\
 \text{Momen } (M_{MS}) &= \frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 9,626 \times 40^2 \\
 &= 1925,12 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Perhitungan gaya geser dan momen akibat beban sendiri

No.	Jenis Beban Berat Sendiri	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m ²)	Berat Sat. w (kN/m ³)	Beban Q _{MS} (kN/m)	Geser V _{MS} (kN)	Momen M _{MS} (kN.m)
1.	Balok Prategang					19,176	383,520	3835,20
2.	Plat Lantai	1,80	0,20	0,360	25,00	9,00	180,00	1800,00
3.	Deck Slab	1,16	0,07	0,081	25,00	2,03	40,60	406,00
4.	Diafragma					3,88	77,57	775,68
Total						34,092	681,841	6818,41

4.3.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan (*superimposed dead load*) adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada balok (girder) jembatan yang merupakan elemen non – structural, dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

a. Beban Trotoar

Luas penampang trotoar (A)= 80 m

Panjang balok (L) = 40 m
= 40000 mm

Bj. Beton Prategang = 25,50 kN/m³
= 0.0000255 N/mm³

Berat *PCI* = 19,176 kN/m

Momen *PCI* = $\frac{1}{8} \times Q_{PCI} \times L$
= $\frac{1}{8} \times 19,176 \times 40$
= 3,835 kNm

$$\begin{aligned}
 \text{Geser } PCI &= \frac{1}{2} \times Q_{PCI} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 19,176 \times 40 \\
 &= 383,52 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Beban Aspal

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Aspal (A)} &= 0,180 \text{ m} \\
 \text{Tebal Aspal (h)} &= 0,10 \text{ m} \\
 \text{Berat Satuan Aspal (w)} &= 22 \text{ KN/m}^3 \\
 Q_{\text{Aspal}} &= A \times w
 \end{aligned}$$

$$= 0,180 \times 22$$

$$= 3,96 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen (M}_{MA}) &= \frac{1}{8} \times Q_{\text{Aspal}} \times L^2
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{8} \times 3,96 \times 40^2$$

$$= 792 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Geser (VMA)} &= \frac{1}{2} \times Q_{\text{Aspal}} \times L
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} \times 3,96 \times 40$$

$$= 79,2 \text{ kN}$$

c. Beban Genangan Air

$$\text{Lebar Genangan (b)} = 0,180 \text{ m}$$

$$\text{Tebal Genangan (h)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Berat satuan Air (w)} = 9,80 \text{ KN/m}$$

$$Q_{\text{Air}} = A \times w$$

$$= 1,80 \times 9,80$$

$$= 0,832 \text{ kN/mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen} &= \frac{1}{8} \times Q_{\text{Air}} \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 0,0832 \times 40^2 \\
 &= 176.400 \text{ kNm} \\
 \text{Geser} &= \frac{1}{2} \times Q_{\text{Air}} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 0,832 \times 40 \\
 &= 17,640 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d. Beban Lajur “D” (TD)

Bentang Jembatan 40 m, maka :

$$\begin{aligned}
 Q &= 8,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{40}\right) \dots\dots\dots 2.1 \\
 &= 7,87 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban garis (P)} = 49 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak Balok Prategang (s)} &= 1,8 \text{ m} \\
 &= 1800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Merata pada Girder (Q}_{\text{TD}}) &= Q \times s \\
 &= 7,87 \times 1,8 \\
 &= 14,17 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Beban Dinamis (FBD)} = 0,4 \text{ untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

Beban akibat Faktor Beban Dinamis :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{TD}} &= (1+\text{FBD}) \times p \times s \\
 &= (1 + 0,4) \times 49 \times 1,8 \\
 &= 123,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Momen Akibat Beban Lajur :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{TD}} &= \frac{1}{8} \times Q_{\text{TD}} \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_{\text{TD}} \times L \\
 &= \frac{1}{8} \times 14,17 \times 40^2 + \frac{1}{4} \times 123,48 \times 40 \\
 &= 4069,8 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Geser Akibat Beban Lajur :

$$\begin{aligned}V_{TD} &= \frac{1}{2} \times Q_{TD} \times L + \frac{1}{2} \times P_{TD} \\&= \frac{1}{2} \times 14,17 \times 40 + \frac{1}{2} \times 123,48 \\&= 345,24 \text{ kN}\end{aligned}$$

e. Beban Pejalan Kaki (TP)

Hubungan antara beban merata dan luasan yang dibebani pada trotoar dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Untuk } A \leq 10 \text{ m}^2 = 5 \text{ kPa}$$

$$\text{Untuk } A > 100 \text{ m}^2 = 2 \text{ kPa}$$

$$\text{Untuk } 10 \text{ m}^2 < A \leq 100 \text{ m}^2 : 5 - 0,0033 \times (A - 10) \text{ (kPa)}$$

$$\text{Panjang Bentang} = 40 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Trotoar (b}_t\text{)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Intensitas Beban pada Trotoar (q)} = 5 \text{ kPa}$$

$$\text{Jumlah Trotoar (n)} = 2$$

Pembebanan Jembatan untuk Trotoar :

$$\begin{aligned}Q_{TP} &= q \times b_t \times n \\&= 5 \times 1 \times 2 \\&= 10 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Pembebanan tiap girder, :

$$Q_{TP} = \frac{10}{5}$$

$$= 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Momen Beban Pejalan Kaki} = \frac{1}{8} \times Q_{TP} \times L^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 2 \times 40^2$$

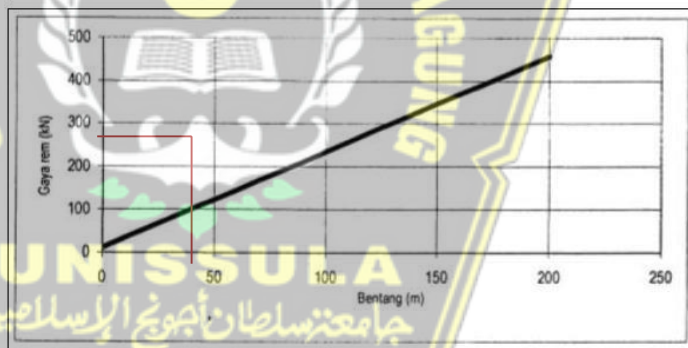
$$= 400 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Geser Beban Pejalan Kaki} &= \frac{1}{2} \times Q_{TP} \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 2 \times 40 \\
 &= 40 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

f. Beban Gaya Rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada jarak 1.80 m diatas permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (L_t) sebagai berikut :

Panjang <i>PCI Girder</i> (L)	= 40 m
Jumlah <i>PCI Girder</i> (n)	= 5 buah
Besar Gaya Rem (H_{TB})	= 250 kN



Gambar 4.3 Diagram gaya yang bekerja dari rem

Panjang Balok *Girder* perencanaan 40 m, maka menggunakan H_{TB} yaitu $H_{TB} = 250 \text{ kN}$, karena memiliki nilai $L_t \leq 80 \text{ m}$.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya Rem Tiap } \textit{Girder} (T_{TB}) &= \frac{H_{TB}}{n} \\
 &= \frac{250}{5} \\
 &= 50 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Apabila mengacu pada SNI 1725–2016, pembebanan rem merupakan gaya yang diambil paling terbesar dari:

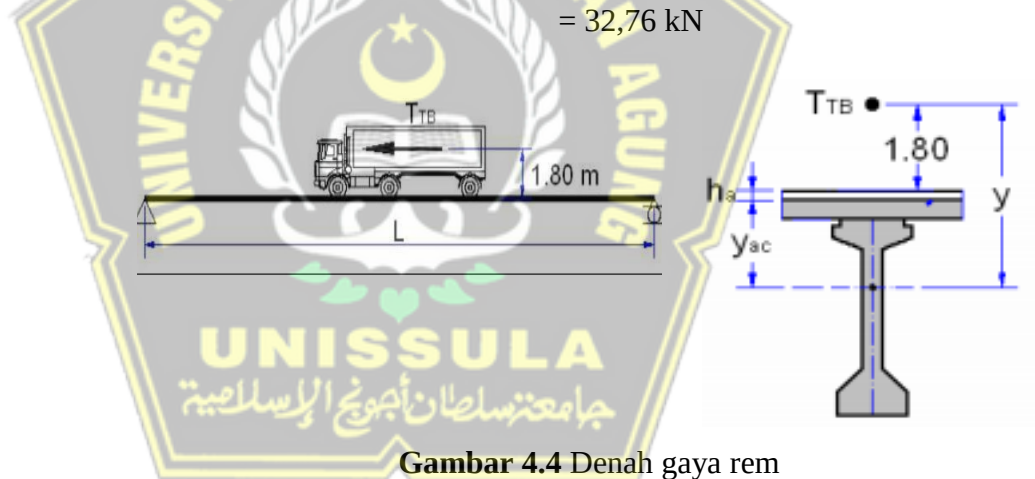
- 25% dari berat gandar truk desain, atau
- 5% dari beban truk rencana ditambah dengan beban lajur terbagi rata

Gaya rem (T_{TB}) = 5% beban lajur “D” tanpa faktor dinamis,

$$\begin{aligned} Q_{TD} &= q \times s \\ &= 7,87 \times 1,8 \\ &= 14,175 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{TD} &= p \times s \\ &= 88,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besar Gaya Rem } (T_{TB}) &= 5\% \times (Q_{TD} \times L + P_{TD}) \\ &= 5\% \times (14,175 \times 40 + 88,2) \\ &= 32,76 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Denah gaya rem

Syarat : $T_{TB} < 50 \text{ kN}$, maka diambil :

Lengan Terhadap Titik Berat Balok :

$$\begin{aligned} y &= 1,8 + \text{Tebal Plat Lantai} + \text{Tebal Aspal} + y_{ac} \dots\dots\dots 2.3 \\ &= 1,8 + 0,20 + 0,05 + 1,004 \\ &= 3,054 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen Akibat Gaya Rem

$$\begin{aligned} M &= T_{TB} \times y \\ &= 50 \times 3,054 \\ &= 152,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya Geser Gaya Rem :

$$\begin{aligned} V_{TD} &= \frac{M}{L} \\ &= \frac{152,7}{40} \\ &= 3,8175 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen Maksimum Gaya Rem :

$$\begin{aligned} M_{TD} &= \frac{1}{2} \times M \\ &= \frac{1}{2} \times 152,7 \\ &= 76,35 \text{ kNm} \end{aligned}$$

g. Beban Angin (EW)

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

$$T_{EW} = 0.0012 \times C_w \times (V_w)^2 \text{ kN/m} \dots\dots\dots 2.2$$

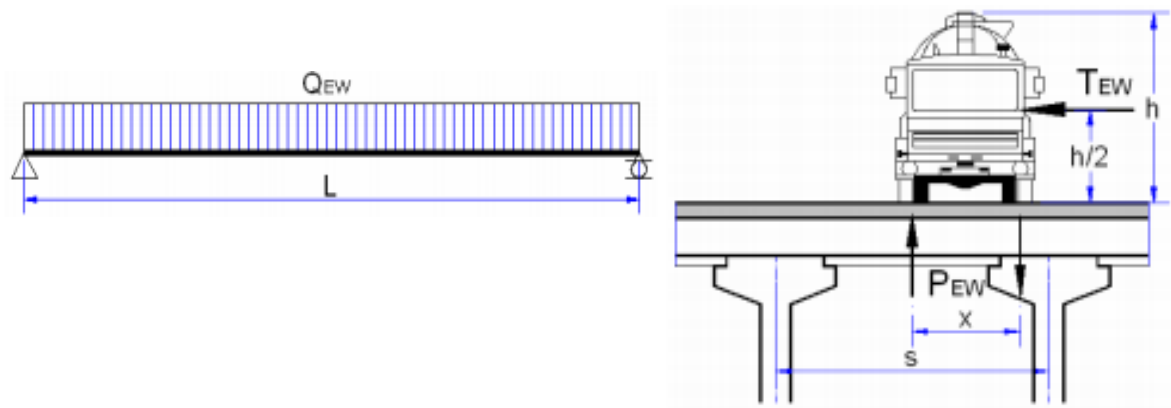
Dimana :

$$\text{Koefisien seret } (C_w) = 1,20$$

$$\text{Kecepatan angin rencana } (V_w) = 35 \text{ m/det}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} T_{EW} &= 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2 \\ &= 0,0012 \times 1,20 \times 35 \\ &= 1,76 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



Gambar 4.5 Denah gaya angin

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2.00 m di atas lantai jembatan (h).

Jarak antar roda kendaraan (x) = 1,75 m

Transfer beban angin ke lantai jembatan :

$$Q_{EW} = \left[\frac{\frac{1}{2} \times h}{x \cdot T_{EW}} \right] = 1,008 \text{ kN/m}$$

Panjang balok (L) = 40 m

$$\begin{aligned} \text{Gaya Geser Akibat Beban Angin} &= \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 1,008 \times 40 \\ &= 20,160 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Maksimum} &= \frac{1}{8} \times Q_{EW} \times L^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1,008 \times 40^2 \\ &= 201,60 \text{ kNm} \end{aligned}$$

h. Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal pada balok prategang dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0.10 \times g$ (g =percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekuivalen.

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri (Q}_{MS}\text{)} &= 34,092 \text{ kN/m} \\ \text{Beban mati tambahan (Q}_{MA}\text{)} &= 4,842 \text{ kN/m} \\ \text{Panjang bentang balok (W}_t\text{)} &= (Q_{MS} + Q_{MA}) \times L \\ &= (34,092 + 4,842) \times 40 \\ &= 1557,362 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\text{Momen Inersia Balok Prategang (I}_{xc}\text{)} = 0,669 \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus elastik (E}_c\text{)} &= 3,6 \text{E} + 04 \text{ Mpa} \\ &= 35669973 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Kekakuan Balok Prategang :

$$\begin{aligned}K_p &= 48 \times E_c \times \frac{I_{xc}}{L^3} \\ &= 48 \times 35669973 \times \frac{0,669}{40^3} \\ &= 17895 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu getar (T)} &= 2 \times \pi \times \sqrt{\frac{W_t}{(g \times K_p)}} \\ &= 2 \times 3,14 \times \sqrt{\frac{1557,362}{(9,81 \times 17895)}} \\ &= 0,5981 \text{ detik}\end{aligned}$$

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis beton prategang penuh memiliki syarat sebagai berikut :

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

Dengan :

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

fungsi F harus diambil ≥ 1

Keterangan :

F = Faktor pergerakan

n = Jumlah sendi plastis yang menahan deformasi lateral

Sehingga:

$$\begin{aligned} F &= 1,25 - 0,025 \times 1 \\ &= 1,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor tipe struktur (S)} &= 1,3 \times F \\ &= 1,3 \times 1,225 \\ &= 1,5925 \end{aligned}$$

Koefisien beban gempa horizontal :

$$\begin{aligned} K_h &= C \times S \\ &= 0,125 \times 1,5925 \\ &= 0,199 \end{aligned}$$

Koefisien beban gempa vertikal :

$$\begin{aligned} K_v &= 50\% \times K_h \\ &= 50\% \times 0,199 \\ &= 0,099 < 0,10 \end{aligned}$$

Maka, diambil nilai koefisien beban gempa vertikal yaitu sebesar 0.10. Mengacu pada SNI 1725 – 2016, bahwa beban gempa diambil dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E_Q &= \frac{0,5}{1,5} \times 1557,36 \dots\dots\dots 2.4 \\ &= 519,121 \end{aligned}$$

Mengacu pada SNI 1725 – 2016 bahwa beban gempa vertikal diambil 10% dari beban permanen, maka:

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= 0,10 \times W_t \\ &= 0,10 \times 1557,362 \\ &= 155,736 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban gempa Vertikal :

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

$$= \frac{155,736}{40} = 3,893 \text{ kN/m}$$

Gaya Geser akibat Beban Vertikal :

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

$$= \frac{1}{2} \times 3,893 \times 40 = 77,86 \text{ kN}$$

Momen maksimum :

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

$$= \frac{1}{8} \times 3,893 \times 40^2 = 778,6 \text{ kNm}$$

i. Beban Temperatur (TG)

Gaya internal akibat perbedaan temperatur (P_t) :

$$P_t = \frac{A_t \times E_c \times \beta (T_a - T_b)}{2}$$

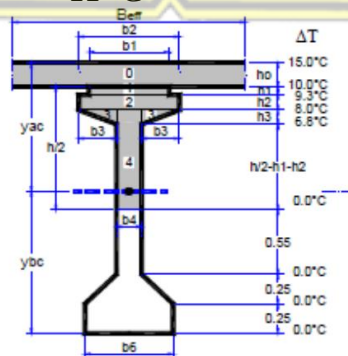
Modulus elastis balok (E_c) = $3,57 \times 10^7$ Mpa

Perbedaan temperatur :

$$\Delta T = \alpha \times L \times (T_{\text{maz design}} - T_{\text{min design}})$$

$$= 11 \times 10^{-6} \times 40000 \times (40 - 15)$$

$$= 11 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Gambar 4.6 Pembagian Bidang Temperatur

Tabel 4.2 Resume beban temperatur

No	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas	Temperatur		$T_a + T_b /$	Gaya (Kg)	Lengan Terhadap Titik Berat Penampang Balok Komposit	Zi	Momen
				Atas	Bawah					
0	1.36	0.25	0.34	11	6	8.5	860.909	$Z y_{ac} - h$	0.706805	608.495
1	0.64	0.07	0.0448	6	5.3	5.65	75.4026	$Z y_{ac} - h - h$	0.546805	41.2305
2	0.8	0.13	0.104	5.3	4	4.65	144.061	$Z y_{ac} - h - h - h$	0.446805	64.3671
3	0.3	0.12	0.036	4	2.8	3.4	36.462	$Z y_{ac} - h - h - h - h$	0.341805	12.4629
4	0.2	0.85	0.17	2.8	0	1.4	70.8984	$Z y_{ac} - h - h - h - h - h_4$	0.043195	3.06246
Jumlah							1187.73			729.618

j. Beban Kombinasi

$$\text{Kuat 1} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 1.8 \text{ TD} + 1.8 \text{ TB} + 1.8 \text{ TP} + 0 \text{ TG}$$

$$\text{Kuat 2} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 1.4 \text{ TD} + 1.4 \text{ TB} + 1.4 \text{ TP} + 0 \text{ TG}$$

$$\text{Kuat 3} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 1.4 \text{ EW}_s + 0 \text{ TG}$$

$$\text{Kuat 4} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA}$$

$$\text{Kuat 5} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 1.0 \text{ EW}_L + 0 \text{ TG}$$

$$\text{Ekstrem 1} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 0.5 \text{ TD} + 0.5 \text{ TB} + 0.5 \text{ TP} + 1.0 \text{ EQ}$$

$$\text{Ekstrem 2} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 0.5 \text{ TD} + 0.5 \text{ TB} + 0.5 \text{ TP}$$

$$\text{DayaLayan 1} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 1.0 \text{ TD} + 1.0 \text{ TB} + 1.0 \text{ TP} + 1.0 \text{ EW}_L + 0.5 \text{ TG}$$

$$\text{DayaLayan 2} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 1.3 \text{ TD} + 1.3 \text{ TB} + 1.3 \text{ TP}$$

$$\text{DayaLayan 3} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 0.8 \text{ TD} + 0.8 \text{ TB} + 0.8 \text{ TP} + 0.5 \text{ TG}$$

$$\text{Daya Layan 4} = 1.0 \text{ MS} + 1.0 \text{ MA} + 0.7 \text{ EW}_s$$

Tabel 4.3 Resume beban

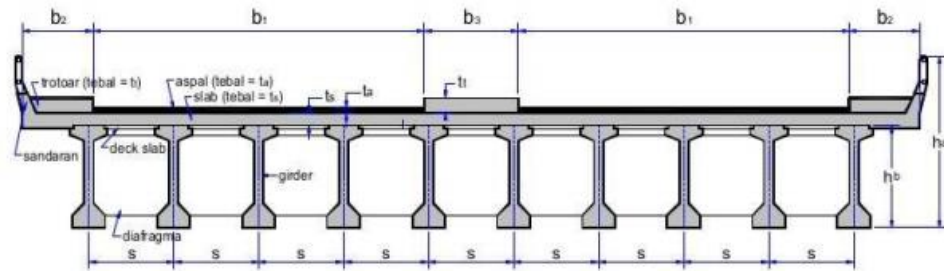
No.	Jenis Beban	Kode beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat Balok Prategang	Balok	19,176	-	-	Beban merata, Qbalok
2	Berat Plat Prategang	Plat	9,000	-	-	Beban merata, Qplat
3	Berat Sendiri	MS	34,092	-	-	Beban merata, QMS
4	Mati Tambahan	MA	4,792	-	-	Beban merata, QMA
5	Lajur "D"	TD	14,175	88,2	-	Beban merata, QMA dan terpusat, PTD
6	Gaya Rem	TB	-	-	152,7	Beban merata, MTB
7	Angin	EW	1,008	-	-	Beban merata, QEW
8	Gempa	EQ	3,893	-	-	Beban merata, QEQ

Tabel 4.4 Resume beban kombinasi

Jenis Beban		Gaya Momen(kNm)	Gaya Geser (kN)	Kuat					Ekstrem		Daya layan			
				Kuat1	Kuat 2	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5	Ekstrem 1	Ekstrem 2	Daya Layan 1	Daya layan 2	Daya Layan 3	Daya Layan 4
No	Beban Hidup (MS)													
1	Beban Box Girder	1925,12	192,512											
2	Beban Deck Slab	406,0	40,6											
3	Berat Diafragma	775,68	77,568											
4	Beban Pelat Lantai	1800	180											
5	Beban Trotoar	3,835	383,5											
Total		4910,64	874,180											
No	Beban Mati Tambahan (MA)													
1	Beban Aspal	792	79,2	14199,5	12350,5	6161,28	5879,04	6080,64	8968,885	8190,285	10706,7125	11888,285	9580,6125	5884,0435
2	Beban Genangan	176,4	17,64											
Total		968,4	96,84											
	Beban Lajur (TD)	4069,8	345,24											
	Beban Pejalan Kaki (TP)	400	40											
	Beban Rem (TB)	152,7	3,8175											
	Beban Angin (Ew)	201,6	20,16											
	Beban Gempa (EQ)	778,6	77,86											
	Beban Temperatur (TG)	7,155												

4.4 Perencanaan Slab Lantai Jembatan

4.4.1 Permodelan Slab Lantai Jembatan



Gambar 4.7 Denah jembatan

4.4.2 Pembesian Slab

4.4.2.1 Tulangan Lentur Negatif

Momen Rencana Tumpuan (M_u) = 82,612 kNm

Mutu beton (K) = 500

Kuat tekan beton (f_c') = 41,5 Mpa

Mutu Baja (U) = 32

Tegangan leleh baja (f_y) = 320 MPa

Tebal slab beton (h) = 200 mm

Jarak tulangan pada sisi luar beton (d') = 35 mm

Modulus elastisitas baja (E_s) = 2,00E+05

Faktor distribusi tegangan beton :

$$\beta_1 = 0,85$$

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

$$= 0,85 \times 0,85 \times \frac{41,5}{320} \times \frac{600}{(600 + 320)}$$

$$= 0,061$$

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left[\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{(0,85 \times f_c')} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,061 \times 320 \times \left[\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,061 \times 320}{(0,85 \times 41,5)} \right]$$

$$= 11,617$$

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,80

Momen rencana ultimit (M_u) = 73 kNm

Tebal efektif slab beton (d) = $h - d'$
= 200 – 35
= 165 mm

Ditinjau slab beton selebar 1 m (b) = 1000 mm

Momen nominal rencana :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{82,612}{0,80} \\ &= 103,26 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Faktor tahanan momen :

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n \times 10^{-6}}{(b \times d^2)} \\ &= \frac{103,26 \times 10^{-6}}{(1000 \times 165^2)} \\ &= 3,79 < R_{\max} = 11,62 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times R_n}{(0,85 \times f_c')}} \right] \\ &= 0,85 \times \frac{41,5}{320} \times \left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times 3,79}{(0,85 \times 41,5)}} \right] \\ &= 0,013 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 25\% \times \frac{1,4}{f_y} \\ &= 25\% \times \frac{1,4}{320} \\ &= 0,000195 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,13 \times 1000 \times 165 = 2074 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan (D)= 16 mm

Jarak tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{3,14 \times 16^2}{4} \times \frac{1000}{2074} = 96,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 – 100

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{3,14 \times 17^2}{4} \times \frac{1000}{96,89} = 2341,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan bagi/susut arah memanjang diambil 50% tulangan pokok :

$$\begin{aligned} A_s' &= 50\% \times A_s \\ &= 50\% \times 2341,39 \\ &= 1037,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan (D)= 13 mm

Jarak tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{3,14 \times 13^2}{4} \times \frac{1000}{1037,02} = 127,93 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 – 100

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{3,14 \times 14^2}{4} \times \frac{1000}{127,93} = 1202,69 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.4.2.2 Tulangan Lentur Positif

Momen Rencana Tumpuan (M_u) = 73 kNm

Mutu beton (K) = 500

Kuat tekan beton (f_c') = 41,5 MPa

Mutu Baja (U) = 32

Tegangan leleh baja (f_y) = 320 MPa

Tebal slab beton (h) = 200 mm

Jarak tulangan pada sisi luar beton (d') = 35 mm

Modulus elastisitas baja (E_s) = 2,00E+05

Faktor distribusi tegangan beton :

$$\beta_1 = 0,85$$

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

$$= 0,85 \times 0,85 \times \frac{41,5}{320} \times \frac{600}{(600 + 320)}$$

$$= 0,061$$

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left[\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{(0,85 \times f_c')} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,061 \times 320 \times \left[\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,061 \times 320}{(0,85 \times 41,5)} \right]$$

$$= 11,62$$

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0.80

Momen rencana ultimit (M_u) = 73 kNm

Tebal efektif slab beton (d) = h - d'

$$= 165 \text{ mm}$$

Ditinjau slab beton selebar 1 m (b) = 1000 mm

Momen nominal rencana :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{73}{0,80}$$

$$= 91,26 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen :

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n \times 10^{-6}}{(b \times d^2)} \\ &= \frac{91,26 \times 10^{-6}}{(1000 \times 165^2)} \\ &= 3,35 < R_{\max} = 11,62 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times R_n}{(0,85 \times f_c')}} \right] \\ &= 0,85 \times \frac{41,5}{320} \times \left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times 3,35}{(0,85 \times 41,5)}} \right] \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= 25\% \times \frac{1,4}{f_y} \\ &= 0,000195 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 1819 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan (D) = 16 mm

Jarak tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{3,14 \times 16^2}{4} \times \frac{1000}{1819} \\ &= 110,46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 – 100

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{s} \\ &= \frac{3,14 \times 17^2}{4} \times \frac{1000}{110,46} \\ &= 2054 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan bagi/susut arah memanjang diambil 50% tulangan pokok:

$$\begin{aligned}A_s' &= 50\% \times A_s \\&= 50\% \times 1819 \\&= 909,67 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan (D) = 13 mm

Jarak tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{A_s} \\&= \frac{3,14 \times 13^2}{4} \times \frac{1000}{909,67} \\&= 145,84 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D16 – 100

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{\pi \times D^2}{4} \times \frac{b}{s} \\&= \frac{3,14 \times 16^2}{4} \times \frac{1000}{145,84} \\&= 1055 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

4.4.3 Kontrol Lendutan Slab

Mutu beton (K) = 500

Kuat tekan beton (f_c') = 41,5 Mpa

Mutu Baja (U) = 32

Tegangan leleh baja (f_y) = 320 MPa

Tebal slab beton (h) = 200 mm

Jarak tulangan pada sisi luar beton (d') = 35 mm

Modulus elastisitas baja (E_s) = 2,00E+05

Modulus elastis beton (E_c) = $4700 \times \sqrt{f_c'}$
= $4700 \times \sqrt{41,5}$
= 30278 MPa

Tebal efektif slab beton (d) = $h - d'$
= 165 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan slab (A}_s\text{)} &= 2341 \text{ mm}^2 \\
 \text{Panjang bentang slab (Lx)} &= 1800 \text{ mm} \\
 \text{Ditinjau slab sebarang (b)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{Beban terpusat (P}_{TT}\text{)} &= 130,000 \text{ kN} \\
 \text{Beban merata (Q = P}_{MS} + P_{MA}\text{)} &= 7,790 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan total } \delta_{tot} &= \frac{L}{240} \\
 &= \frac{1800}{240} \\
 &= 7500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Inersia brutto penampang plat (I}_g\text{)} &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 1000 \times 200^3 \\
 &= 6,67E + 08
 \end{aligned}$$

Modulus keruntuhan lentur beton :

$$\begin{aligned}
 f_r &= 0,7 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 0,7 \times \sqrt{41,5} \\
 &= 4,51 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Nilai perbandingan modulus elastis :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{200000}{30278} \\
 &= 6,61 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas beton :

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{n \times A_s}{b} \\
 &= \frac{6,61 \times 2341}{1000} \\
 &= 15,47 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{3} \times b \times c^3 + n \times A_s \times (d - c)^2 \\ &= \frac{1}{3} \times 1000 \times 15.47^3 + 6.61 \times 2341 \times (165 - 15.47)^2 \\ &= 3,47E + 08 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_t &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{200}{2} \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen retak :

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r \times I_g}{y_t} \\ &= \frac{4,51 \times 6,67E+08}{100} \\ &= 3,01E+07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen maksimum akibat beban (tanpa faktor beban) :

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{8} \times Q \times L_x^2 + \frac{1}{4} \times P \times L_x \\ &= \frac{1}{8} \times 7790 \times 1800^2 + \frac{1}{4} \times 7790 \times 1800 \\ &= 66,15 \text{ kNm} \\ &= 6,62E + 07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan :

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{M_c}{M_a} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_c}{M_a} \right)^3 \right] \times I_{cr} \\ &= \left(\frac{3,01E+07}{6,62E+07} \right)^3 \times 6,67E+08 + \left[1 - \left(\frac{3,01E+07}{6,62E+07} \right)^3 \right] \times 3,47E+08 \\ &= 3,77E+08 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup :

$$\begin{aligned}\delta_e &= \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L_x^4}{(E_c \times I_e)} + \frac{1}{48} \times \frac{P \times L_x^4}{(E_c \times I_e)} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{7790 \times 1800^4}{(30278 \times 3,77E+08)} + \frac{1}{48} \times \frac{140000 \times 1800^4}{(30278 \times 3,77E+08)} \\ &= 1,58 \text{ mm}\end{aligned}$$

Rasio tulangan slab lantai jembatan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{(b \times d)} \\ &= \frac{2341}{(1000 \times 165)} \\ &= 0,0142\end{aligned}$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun),
nilai :

$$\begin{aligned}\xi &= 2,0 \\ \chi &= \frac{\xi}{(1+50 \times \rho)} \\ &= \frac{2,0}{(1+50 \times 0,0142)} \\ &= 1,17\end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut :

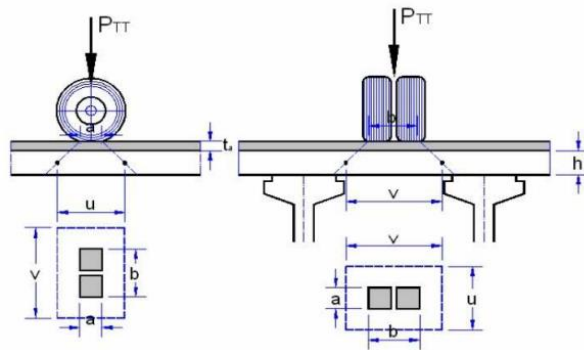
$$\begin{aligned}\delta_g &= \chi \times \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L_x^4}{(E_c \times I_e)} \\ &= 1,17 \times \frac{5}{384} \times \frac{7790 \times 1800^4}{(30278 \times 3,77E+08)} \\ &= 0,11 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan total pada plat lantai jembatan :

$$\begin{aligned}\delta_{tot} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 1,58 + 0,11 \\ &= \mathbf{1.69} < \frac{L_x}{240} \\ &< 7.5\end{aligned}$$

OK

4.4.4 Kontrol Tegangan Geser Pons



Gambar 4.8 Denah tegangan geser

Mutu beton (K) = 500

Kuat tekan beton (f_c') = 41,5 Mpa

Kuat geser pons yang disyaratkan :

$$\begin{aligned} f_v &= 0,3 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 0,3 \times \sqrt{41,5} \\ &= 1,93 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,60

Beban roda truk pada slab (P_{TT}) = 130 kN

$$= 130000 \text{ N}$$

h = 0,20 m a = 0,30 m

t_a = 0,10 m b = 0,50 m

u = $a + 2 \times t_a + h$ v = $b + 2 \times t_a + h$

$$= 0,30 + 2 \times 0,10 + 0,20 = 0,50 + 2 \times 0,10 + 0,20$$

$$= 0,7 \text{ m} = 0,9 \text{ m}$$

$$= 700 \text{ mm} = 900 \text{ mm}$$

Tebal efektif plat (d) = 165 mm

Luas bidang geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times (u + h) \times d \\ &= 2 \times (0,7 + 0,9) \times 165 \\ &= 29,7 \text{ mm} \\ &= 29700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Gaya geser pons nominal :

$$\begin{aligned}P_n &= A_v \times f_v \\&= 29700 \times 1934 \\&= 573987 \text{ N}\end{aligned}$$

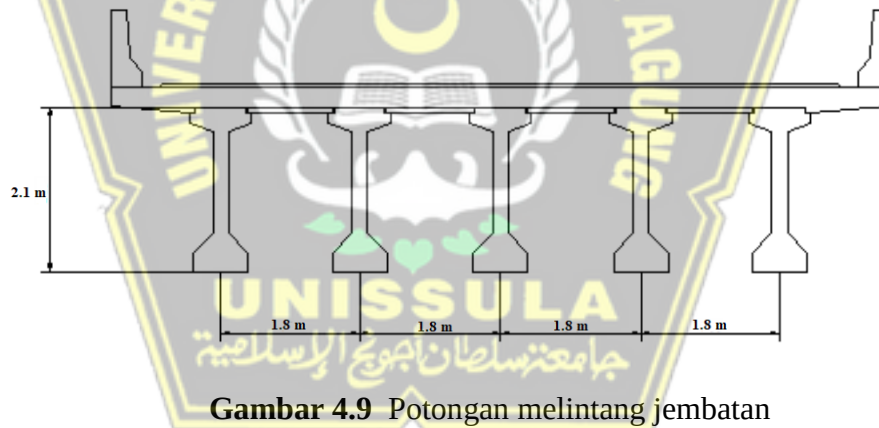
$$\begin{aligned}\phi \times P_n &= 0,60 \times 573987 \\&= 344392 \text{ N}\end{aligned}$$

Faktor ultimit (K_{TT}) = 2.0

Beban ultimit roda truk pada slab :

$$\begin{aligned}P_u &= K_{TT} \times P_{TT} \\&= 2,0 \times 140000 \\&= 280000 \text{ N} < \phi \times P_n \\&< 344392 \text{ N} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

4.5 Perancangan Balok Jembatan



Gambar 4.9 Potongan melintang jembatan

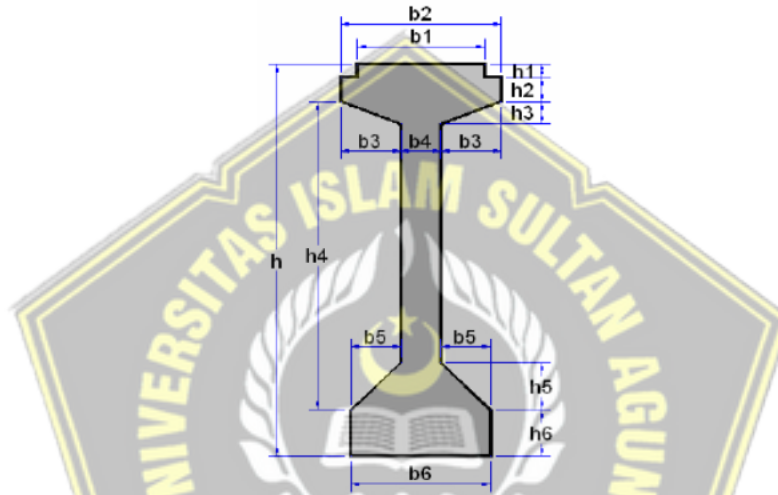
a. Data Balok Jembatan Prategang

Panjang balok prategang (L)	= 40 m
Jarak antara balok prategang	= 1,8 m
Tebal plat lantai jembatan (h_o)	= 0,20 m
Tebal lapisan aspal + overlay (h_a)	= 0,10 m
Tinggi genangan air hujan (t_h)	= 0,05 m

b. Spesific Gravity

Beton prategang (w_c)	= 25,50 kN/m ³
Beton prategang (w_c')	= 25 kN/m ³
Beton (w_c'')	= 24 kN/m ³
Aspal (w_{aspal})	= 22 kN/m ³
Air Hujan (w_{air})	= 9,80 kN/m ³

c. Dimensi Balok Prestress



Gambar 4.10 Dimensi balok prestress

Tabel 4.5 Dimensi balok prestress

No.	Kode	Lebar/Tinggi (m)
1.	b1	0.64
2.	b2	0.80
3.	b3	0.30
4.	b4	0.20
5.	b5	0.25
6.	b6	0.70
7.	h1	0.07
8.	h2	0.13
9.	h3	0.12
10.	h4	1.65
11.	h5	0.25
12.	h6	0.25
13.	h	2.10

d. Beton Prategang

$$\text{Mutu beton girder prestress} = K-500$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan beton (f'c)} &= 0,83 \times \frac{K}{10} \\ &= 41,5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus elastisitas beton (E}_c\text{)} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\ &= 30278 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{Angka Poisson (v)} = 0.15$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus geser (G)} &= \frac{E_c}{[2 \times (1+u)]} \\ &= 13164 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\text{Koefisien muai panjang untuk beton } \alpha = 1.0 \text{ E-05 } ^\circ\text{C}$$

Kuat tekan beton pada keadaan awal (saat transfer), (f_{ci}) :

$$\begin{aligned}f_{ci} &= 0,80 \times f'c \\ &= 33,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan ijin beton saat penarikan :

$$\begin{aligned}\text{➤ Tegangan ijin tekan} &= 0,60 \times f'ci \\ &= 19,92 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤ Tegangan ijin tarik} &= 0,50 \times \sqrt{f'ci} \\ &= 2,88 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tegangan ijin beton keadaan akhir :

$$\begin{aligned}\text{➤ Tegangan ijin tekan} &= 0,45 \times f'c \\ &= 18,68 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤ Tegangan ijin tarik} &= 0,50 \times \sqrt{f'c} \\ &= 3,22 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Mutu beton plat lantai jembatan : K-300 :

$$\begin{aligned}\text{➤ Kuat tekan beton (f'c)} &= 0,60 \times f'ci \\ &= 19,92 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{➤ Modulus elastisitas beton (E}_c\text{)} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\ &= 27081 \text{ MPa}\end{aligned}$$

e. Baja Prategang

DATA STRANDS CABLE – STANDAR VSL

Uncoated 7 wire super strand ASTM A – 416 grade 270

Tegangan leleh *strands* (f_{pv}) = 1580 MPa

Kuat tarik *strands* (f_{pu}) = 1860 MPa

Diameter nominal *strands* = 12,7 mm

Luas tampang nominal satu *strands* (A_{st}) = 98,7 mm²

Beban putus minimal satu *strands* (P_{bs}) = 187,32 kN (100% UTS)

Jumlah kawat untai (*strands cable*) = 19 kawat untai/tendon

Diameter selubung ideal = 64 mm

Luas penampang *strands* = 1875 mm²

Beban putus satu tendon (P_{bt}) = 3559 kN (100% UTS)

Modulus elastisitas *strands* (E_s) = 193000 MPa

Tipe = VSL 19

f. Baja Tulangan

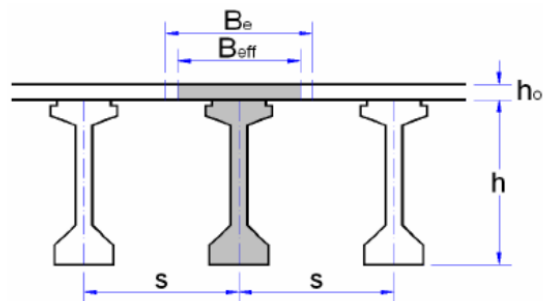
Untuk baja tulangan deform D > 12 mm, U-36

Kuat leleh baja (f_y) = U x 10
= 360 Mpa

Untuk baja tulangan polos $\varnothing \leq 12$ mm, U-24

Kuat leleh baja (f_y) = U x 10
= 240 MPa

g. Penentuan Lebar Efektif Pelat Lantai



Gambar 4.11 Lebar efektif pelat lantai

Lebar efektif plat (B_e) diambil nilai terkecil dari :

$$\frac{L}{4} = 10 \text{ m}$$

$$S = 1,80 \text{ m}$$

$$12 \times h_0 = 3 \text{ m}$$

$$\text{Diambil lebar efektif plat lantai, } B_e = 1,80 \text{ m}$$

$$\text{Kuat tekan beton plat (} f'_c(\text{plat}) \text{)} = 0,83 \times K_{(\text{plat})}$$

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

$$\text{Kuat tekan beton balok (} f'_c(\text{balok}) \text{)} = 0,83 \times K_{(\text{balok})}$$

$$= 41,50 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastic plat beton (} E_{(\text{plat})} \text{)} = 4700 \times \sqrt{f'_c(\text{plat})}$$

$$= 2,35\text{E}+04 \text{ MPa}$$

Modulus elastic balok beton prategang :

$$E_{(\text{balok})} = 0,043 \times (w_c)^{1,5} \times \sqrt{f'_c(\text{balok})}$$

$$= 3,57\text{E}+04$$

Nilai perbandingan modulus elastic plat dan balok (n) :

$$n = \frac{E_{\text{plat}}}{E_{\text{balok}}}$$

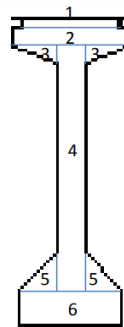
$$= 0,6574985$$

Jadi lebar pengganti beton plat lantai jembatan (B_{eff}) :

$$B_{\text{eff}} = n \times B_e$$

$$= 1,18 \text{ m}$$

h. Section Properties Balok Prategang



Gambar 4.12 Section properties balok prategang

Tabel 4.6 Perhitungan *section properties*

No.	Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak terhadap alas y (m)	Statis Momen A x y (m ³)	Inersia Momen A x y ² (m ²)	Inersia Momen I ₀ (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
1.	0.64	0.07	0.04480	2.07	0.09215	0.19104	0.00002
2.	0.80	0.13	0.10400	1.97	0.20436	0.40157	0.00015
3.	0.30	0.12	0.03600	1.86	0.06696	0.12455	0.00003
4.	0.20	1.65	0.33000	1.08	0.35475	0.38136	0.07487
5.	0.25	0.25	0.06250	0.33	0.02083	0.00694	0.00022
6.	0.70	0.25	0.17500	0.13	0.02188	0.00273	0.00091
Total			0.75702		0.76695	1.11770	0.07654

Dimana :

Tinggi balok prategang (h) = 2,10 m

(h₀) = 0,20 m

Luas penampang balok prategang (A) = 0,76 m²

(B_{eff}) = 1,18 m

Letak titik berat $\left[Y_b = \frac{\sum A \times y}{\sum A} \right]$ = 1,29 m

$[Y_a = h - y_b]$ = 1,09 m

Momen inersia terhadap alas balok :

$$I_0 = \sum A \times y^2 + \sum I_0$$

$$= 1,19 \text{ m}^4$$

Momen inersia terhadap titik berat balok :

$$I_x = I_0 - A \times y_b^2$$

$$= 0.42 \text{ m}^4$$

Tahapan momen sisi atas :

$$W_a = \frac{I_x}{y_a}$$

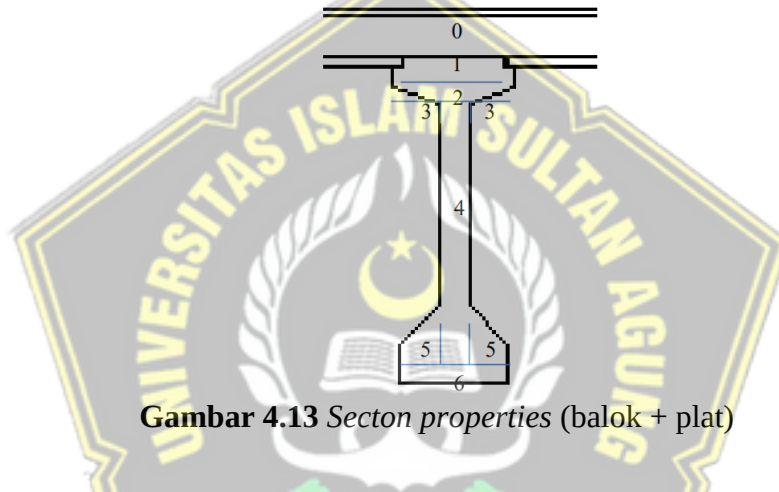
$$= 0.38 \text{ m}^3$$

Tahapan momen sisi bawah :

$$W_b = \frac{I_x}{y_b}$$

$$= 0.41 \text{ m}^3$$

i. **Section Properties Balok Prategang (Balok + Plat)**



Gambar 4.13 Section properties (balok + plat)

Tabel 4.7 Perhitungan section properties (balok + plat)

NO.	DIMENSI		Luas Tampang A (m ²)	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A x y (m ³)	Inersia Momen A x y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _o (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
0	1,180	0,20	0,23600	2,20	0,51920	1,14224	0,00079
1.	0,6409	0,07	0,04486	2,07	0,09287	0,19223	0,00002
2.	0,8009	0,13	0,10412	1,97	0,20511	0,40407	0,00015
3.	0,3009	0,12	0,03611	1,86	0,06716	0,12492	0,00003
4.	0,2009	1,65	0,33149	1,08	0,35800	0,38664	0,07521
5.	0,2509	0,25	0,06273	0,33	0,02070	0,00683	0,00022
6.	0,7109	0,25	0,17773	0,13	0,02310	0,00300	0,00093
Total :			0,99302		1,28615	2,25994	0,07733

Dimana :

$$\begin{aligned}\text{Tinggi balok Composit } (h_c) &= 2,30 \text{ m} \\ \text{Luas penampang balok Composit } (A_c) &= 0,99 \text{ m}^2 \\ \text{Letak titik berat } \left[Y_{bc} = \frac{\sum A_c \times y}{\sum A_c} \right] &= 1,29 \text{ m} \\ [Y_{ac} = h_c - y_{bc}] &= 1,004 \text{ m}\end{aligned}$$

Momen inersia terhadap alas balok :

$$\begin{aligned}L_{bc} &= \sum A_c \times y + \sum I_{co} \\ &= 2,33 \text{ m}^4\end{aligned}$$

Momen inersia terhadap titik berat balok Composit :

$$\begin{aligned}I_{xc} &= I_{bc} - A_c \times y_{bc}^2 \\ &= 0,67 \text{ m}^4\end{aligned}$$

Tahapan momen sisi atas plat :

$$\begin{aligned}W_{ac} &= \frac{I_{xc}}{y_{ac}} \\ &= 0,67 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Tahapan momen sisi atas balok :

$$\begin{aligned}W'_{ac} &= \frac{I_{xc}}{(y_{ac} - h_0)} \\ &= 0,83 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Tahapan momen sisi bawah balok :

$$\begin{aligned}W_{bc} &= \frac{I_{xc}}{y_{bc}} \\ &= 0,52 \text{ m}^3\end{aligned}$$

j. **Pembebanan Balok Prategang**

Tabel 4.8 Resume beban kombinasi

Jenis Beban		Gaya Momen(kNm)	Gaya Geser (kN)	Kuat					Ekstrem		Daya layan			
No				Kuat1	Kuat 2	Kuat 3	Kuat 4	Kuat 5	Ekstrem 1	Ekstrem 2	Daya Layan 1	Daya layan 2	Daya Layan 3	Daya Layan 4
Beban Hidup (MS)														
1	Beban Box Girder	1925,12	192,512											
2	Beban Deck Slab	406,0	40,6											
3	Berat Diafragma	775,68	77,568											
4	Beban Pelat Lantai	1800	180											
5	Beban Trotoar	3,835	383,5											
Total		4910,64	874,180											
Beban Mati Tambahan (MA)														
1	Beban Aspal	792	79,2	14199,5	12350,5	6161,28	5879,04	6080,64	8968,885	8190,285	10706,7125	11888,285	9580,6125	5884,0435
2	Beban Genangan	176,4	17,64											
Total		968,4	96,84											
Beban Lajur (TD)		4069,8	345,24											
Beban Pejalan Kaki (TP)		400	40											
Beban Rem (TB)		152,7	3,8175											
Beban Angin (Ew)		201,6	20,16											
Beban Gempa (EQ)		778,6	77,86											
Beban Temperatur (TG)		7,155												

4.5.1 Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

4.5.1.1 Jumlah dan Gaya Prategang pada Tendon

Mutu beton = K-500

Kuat Tekan Beton :

$$\begin{aligned} f_c' &= 0,83 \times K \times 100 \\ &= 0,83 \times 500 \times 100 \\ &= 41500 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Diameter nominal = 18 mm

Beban Putus (UTS) = 380 kN

Tegangan Tarik = 1700 MPa

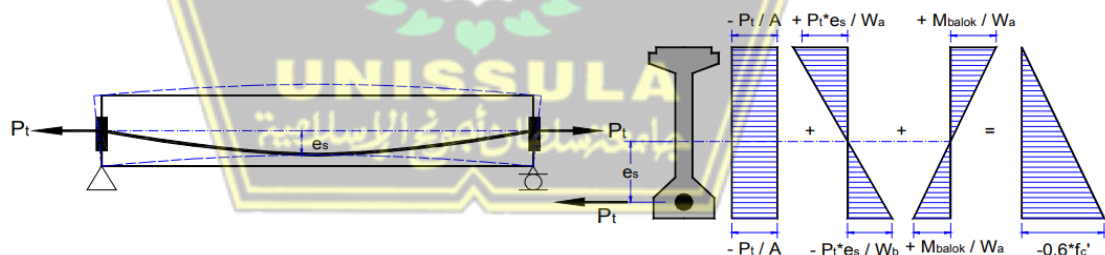
Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer) :

$$\begin{aligned} f_{ci}' &= 0,80 \times f_c' \\ &= 0,80 \times 41500 \\ &= 33200 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Section Properties (W_a) = 0,38 m³

(W_b) = 0,41 m³

Luas Penampang (A) = 0,75 m²



Gambar 4.14 Eksentrisitas Tendon

Ditetapkan jarak titik tendon terhadap alas balok :

$$z_0 = 0,14 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksentrisitas tendon } (e_s) &= y_b - z_0 \\ &= 1295 - 125 \\ &= 1170 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya prategang Efektif

$$F_b = 0$$

$$= -\frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times e}{w_b} + \frac{M_{Total}}{w_b}$$

(sumber : Desain Praktis Beton Prategang, Anndri Budiadi)

$$0 = -\frac{P_{eff}}{752000} - \frac{P_{eff} \times 1170}{403100000} + \frac{14199500000}{403100000}$$

$$P_{eff} = 8558346 \text{ N}$$

$$= 8558 \text{ kN}$$

Asumsi kehilangan tegangan 20%

Maka gaya prategang awal yaitu :

$$P_t = 20 \% \times P_{eff}$$

$$= 20\% \times 8558346$$

$$= 1711673 \text{ N}$$

$$= 1712 \text{ kN}$$

Untuk menentukan jumlah strand (n_s) digunakan 80% UTS

$$n_s = \frac{P_t}{80\% \times UTS}$$

$$= \frac{1711673}{80\% \times 380000}$$

$$= 56,3 \text{ strand}$$

$$= 57 \text{ strand}$$

$$= 57 \text{ strand}$$

Diambil jumlah kabel strand pada satu tendon adalah 17

Jumlah tendon yang digunakan :

$$n_t = \frac{n_s}{17}$$

$$= \frac{57}{17}$$

$$= 3,35 \approx 4 \text{ Tendon}$$

Sehingga tendon yang digunakan sebanyak 4 buah dengan masing-masing strand adalah 17 strand.

4.5.1.2 Perhitungan Selubung Tendon Prategang

Jari-jari inersia penampang :

$$r = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$= \sqrt{\frac{765400000000}{752000}}$$

$$= 1009 \text{ mm}$$

$$r^2 = 1017819 \text{ mm}$$

$$y_a = 1090 \text{ mm}$$

$$y_b = 1295 \text{ mm}$$

$$k_b = \frac{r^2}{y_a}$$

$$= \frac{1017819}{1090}$$

$$= 933 \text{ mm}$$

$$k_t = \frac{r^2}{y_b}$$

$$= \frac{1017819}{1295}$$

$$= 785.84 \text{ mm}$$

a. Selubung Bawah

$$\text{Selubung bawah} = y_b - k_b - a_{\min}$$

$$a_{\min} = \frac{M_{\text{PCI}}}{P_t}$$

Keterangan :

$a_{\min}$ = Jarak titik tendon dibawah batas

kern

M_{PCI} = Momen akibat berat sendiri girder

P_t = Gaya Pratekan awal

(sumber : T.Y LIN & H. BURNS, desain struktur beton prategang 1996)

- Tengah Bentang

$$\begin{aligned}
 a_{\min} &= \frac{M_{PCI}}{P_t} \\
 &= \frac{383673000}{1711673} \\
 &= 0,224 \text{ m} \\
 &= 224,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka } e_1 &= y_b - k_b - a_{\min} \\
 &= 1295,2 - 933,35 - 224,15 \\
 &= 137,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Seperempat Bentang

$$\begin{aligned}
 a_{\min} &= \frac{M_{PCI} \times 0.75}{P_t} \\
 &= \frac{383673000 \times 0,75}{1711673} \\
 &= 0,168 \text{ m} \\
 &= 168,113 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka } e_1 &= y_b - k_b - a_{\min} \\
 &= 1295,2 - 1116,36 - 168,113 \\
 &= 10,727
 \end{aligned}$$

- Tumpuan

$$\begin{aligned}
 a_{\min} &= 0 \\
 \text{Maka } e_1 &= y_b - k_b - a_{\min} \\
 &= 1295,2 - 1116,36 - 0 \\
 &= 178,84 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Selubung Atas

$$\text{Selubung atas} = y_a - a_{\max} + k_t$$

$$a_{\max} = \frac{M_{DI}}{P_t}$$

Keterangan:

$a_{\max}$ = Jarak titik berat tendon dibawah batas kern

M_{DI} = Momen akibat berat sendiri girder

P_t = gaya pratekan awal

(sumber : T.Y LIN & H. BURNS, desain struktur beton prategang 1996)

- Tengah Bentang

$$a_{\max} = \frac{M_{DI+lajur}}{P_t}$$

$$= \frac{790653000}{1711673}$$

$$= 0,463 \text{ m}$$

$$= 462,92 \text{ mm}$$

$$\text{Maka } e_2 = y_b - a_{\max} + k_t$$

$$= 1295,2 - 462,92 + 785,839$$

$$= 1591,12 \text{ mm}$$

- Seperempat Bentang

$$a_{\max} = \frac{M_{DI} \times 0,75}{P_t}$$

$$= \frac{383673000 \times 0,75}{1711673}$$

$$= 0,168 \text{ m}$$

$$= 168,113 \text{ mm}$$

$$\text{Maka } e_2 = y_b - a_{\max} + k_t$$

$$= 1295,2 - 168,113 + 785,84$$

$$= 1912,92 \text{ mm}$$

- Tumpuan

$$a_{\max} = 0$$

$$\text{Maka } e_2 = y_b - a_{\max} + k_t$$

$$= 1295,2 - 0 + 785,84$$

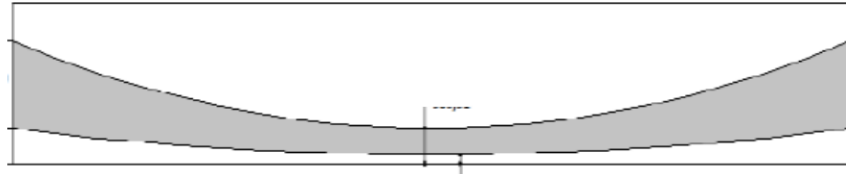
$$= 2081,04 \text{ mm}$$

Diameter selubung tendon yang disediakan :

- Tumpuan = 2081,04 – 178,88

$$= 1902 \text{ mm}$$

- Seperempat tendon = $1912,92 - 10,73$
= 1902,196 mm
- Tengah bentang = $1591,12 - 137,698$
= 1453,421 mm



Gambar 4.15 Selubung tendon

4.5.1.3 Eksentrisitas Tendon

a. Posisi Tendon di Tumpuan



Gambar 4.16 Posisi tendon di tumpuan

Jarak as dari tendon baawah terhadap alas balok *PCI* girder yaitu,

Dimana :

$$a' = \frac{M_{pci}}{P_t}$$

(sumber: T.Y. LIN & H. BURNS, desain struktur beton prategang, 1996)

$$\begin{aligned} a' &= \frac{383673000}{1711672880} \\ &= 0,224 \text{ m} \\ &= 224,151 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diameter selubung tendon yang digunakan adalah 75 mm

Jarak bersih tendon ke alas adalah

$$\begin{aligned} a' - \frac{D}{2} &= 224,151 - \frac{75}{2} \\ &= 186,651 \text{ mm} \end{aligned}$$

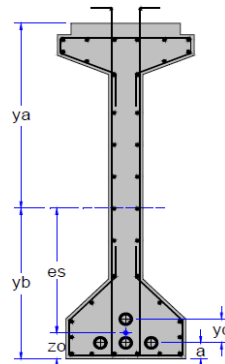
Jarak antar tendon :

$$\begin{aligned} y_d &= \frac{\text{Tumpuan selubung tendon}}{n} \\ &= \frac{1902,199}{3} \\ &= 634,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Perhitungan jarak tendon pada tumpuan

Nomor Tendo n	Posisi Tendon di Tumpuan x = 0.00	a	Yd	Zn
1	$Z_1 = a + 3 y_d$	224,151	634,066	2126,34
2	$Z_2 = a + 2 y_d$	224,151	634,066	1492,28
3	$Z_3 = a + y_d$	224,151	634,066	858,21
4	$Z_4 = a$	224,151	634,066	224,151

b. Posisi Tendon di Tengah Bentang



Gambar 4.17 Posisi tendon di tengah bentang

Jarak alas ke as tendon baris bawah (a) = 100 mm

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar tendon yaitu } (y_d) &= \frac{\text{Tumpuan selubung tendon}}{n} \\ &= \frac{1453,421}{1} \\ &= 1453,421 \text{ mm} \\ \text{Ditetapkan } (y_d) &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Perhitungan jarak tendon di tengah bentang

Nomor Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang $x = 20.00$	a' (mm)	Yd (mm)	Zn (mm)
1	$Z_1 = a' + y_d$	100	150	250
2	$Z_2 = a'$	100	150	100
3	$Z_3 = a'$	100	150	100
4	$Z_4 = a'$	100	150	100

c. Pembesian Balok Prategang



Gambar 4.18 Denah pembesian balok tendon

Tulangan arah memanjang digunakan diameter besi: D13 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= 0,00013 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tampang bagian bawah (A}_{s \text{ bawah}}) &= 0,287 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas tulangan bagian bawah (A}_{s \text{ bawah}}) &= 0.5\% \times A_{s \text{ bawah}} \\
 &= 0,00144 \text{ m}^2 \\
 \text{Jumlah tulangan} &= \frac{A_{s \text{ bawah}}}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \\
 &= 10,83 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Digunakan 12 D 13

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tampang bagian bawah (A}_{s \text{ atas}}) &= 0,209 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas tulangan bagian bawah (A}_{s \text{ atas}}) &= 0.5\% \times A_{s \text{ atas}} \\
 &= 0,00104 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan} &= \frac{A_{s \text{ atas}}}{\frac{\pi}{4} \times D^2} \\
 &= 7,87 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Digunakan 10 D 13

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tampang bagian bawah (A}_{s \text{ badan}}) &= 0,33 \text{ m}^2 \\
 \text{Luas tulangan bagian bawah (A}_{s \text{ badan}}) &= 0,5\% \times A_{s \text{ badan}} \\
 &= 0,00165 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

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

Digunakan 14 D 13

4.5.2 Lintasan Inti Tendon

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang PCU Girder} &= 40 \text{ m} \\
 \text{Eksentrisitas (e}_s) &= 1170 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dengan : $f = e_s$

Persamaan lintasan tendon yaitu :

$$y = \frac{4 \cdot f \cdot X}{L^2} \times (L - X)$$

Keterangan:

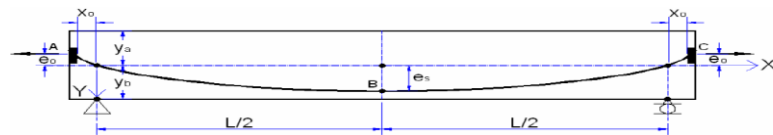
y = Ordinat tendon yang ditinjau

X = Absis tendon yang ditinjau

L = Panjang Bentang

f = Tinggi puncak parabola maksimum

(sumber : T.Y. LIN & H. BURNS, desain struktur beton prategang, 1996)



Gambar 4.19 Ilustrasi parabola tendon

Tabel 4.11 Posisi lintasan inti tendon

X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
-0,25	-0,0294378	20,00	1,1702
0,00	0	21,00	1,1672745
1,00	0,11	22,00	1,158498
2,00	0,222338	23,00	1,1438705
3,00	0,3247305	24,00	1,123392
4,00	0,421272	25,00	1,0970625
5,00	0,5119625	26,00	1,064882
6,00	0,596802	27,00	1,0268505
7,00	0,6757905	28,00	0,982968
8,00	0,748928	29,00	0,9332345
9,00	0,8162145	30,00	0,87765
10,00	0,87765	31,00	0,8162145
11,00	0,9332345	32,00	0,748928
12,00	0,982968	33,00	0,6757905
13,00	1,0268505	34,00	0,596802
14,00	1,064882	35,00	0,5119625
15,00	1,0970625	36,00	0,421272
16,00	1,123392	37,00	0,3247305
17,00	1,1438705	38,00	0,222338
18,00	1,158498	39,00	0,1140945
19,00	1,1672745	40,00	0
		0,25	0,029072156

$$\begin{aligned}
 X_0 &= 0,25 \text{ m} \\
 e_0 &= 0,029 \text{ m} \\
 \alpha_{AB} &= \frac{2x(e_s + e_0)}{\frac{L}{2} + x_0} \\
 &= 0,12 \text{ rad}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{BC} &= \frac{2x(e_s + e_0)}{\frac{L}{2} + x_0} \\
 &= 0,12 \text{ rad}
 \end{aligned}$$

a. Sudut angkur

Persamaan lintasan tendon :

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{4 \cdot f \cdot X}{L^2} \times (L - X) \\
 \frac{dY}{dX} &= \frac{4 \cdot f_i \cdot X}{L^2} \times (L - X)
 \end{aligned}$$

Dimana, sudut angkur (α) = $\text{ATAN} \left(\frac{dY}{dX} \right)$

Tabel 4.12 Perhitungan sudut angkur

No. Tendon	Jumlah Strand	Eksentrisitas, fi (mm)		$\frac{dY}{dX}$ (mm)	Sudut Angkur
1	17	f1	1876,34	187,634	0,187
2	17	f2	1392,28	139,228	0,139
3	17	f3	758,21	75,821	0,075
4	17	f4	124,15	12,4151	0,012

b. Tata Letak dan Trace Cable

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang PCI Girder (L)} &= 40 \text{ m} \\
 &= 40000 \text{ mm} \\
 \text{Eksentrisitas (e}_s\text{)} &= 1170 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$y_b = 1295 \text{ mm}$$

$$\text{Posisi Trace Cable (Z}_0\text{)} = y_b - \frac{4 \cdot e_s \cdot X}{L^2} \times (L - X)$$

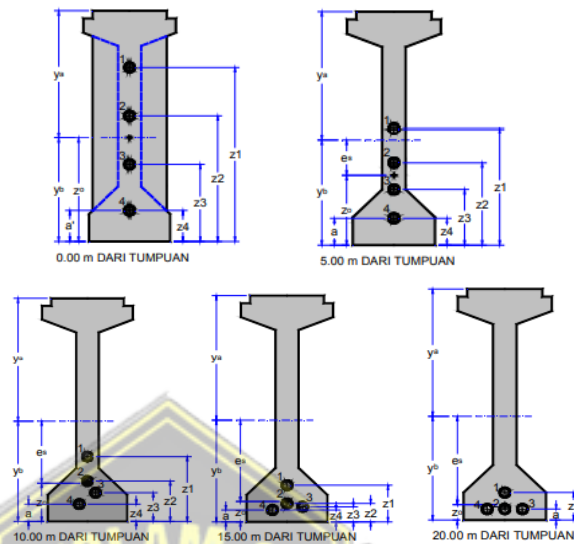
Posisi masing-masing kabel ($Z_i = Z_{i'}$) :

$$Z_i = Z_{i'} - \frac{4 \cdot f_i \cdot X}{L^2} \times (L - X)$$

Tabel 4.13 Letak dan *Trace Cable*

Jarak X (m)	Trace Z0 (m)	Posisi Masing masing cable			
		Z1 (m)	Z2 (m)	Z3 (m)	Z4 (m)
0,00	1,295	2,12634	1,49228	0,85821	0,85821
1,00	1,1809055	1,94339685	1,3565327	0,784285	0,7842845
2,00	1,072662	1,7698354	1,2277468	0,71415	0,7141501
3,00	0,9702695	1,60565565	1,1059223	0,647807	0,6478067
4,00	0,873728	1,4508576	0,9910592	0,585254	0,5852544
5,00	0,7830375	1,30544125	0,8831575	0,526493	0,5264931
6,00	0,698198	1,1694066	0,7822172	0,471523	0,4715229
7,00	0,6192095	1,04275365	0,6882383	0,420344	0,4203437
8,00	0,546072	0,9254824	0,6012208	0,372956	0,3729556
9,00	0,4787855	0,81759285	0,5211647	0,329359	0,3293585
10,00	0,41735	0,719085	0,44807	0,289553	0,2895525
11,00	0,3617655	0,62995885	0,3819367	0,253538	0,2535375
12,00	0,312032	0,5502144	0,3227648	0,221314	0,2213136
13,00	0,2681495	0,47985165	0,2705543	0,192881	0,1928807
14,00	0,230118	0,4188706	0,2253052	0,168239	0,1682389
15,00	0,1979375	0,36727125	0,1870175	0,147388	0,1473881
16,00	0,171608	0,3250536	0,1556912	0,130328	0,1303284
17,00	0,1511295	0,29221765	0,1313263	0,11706	0,1170597
18,00	0,136502	0,2687634	0,1139228	0,107582	0,1075821
19,00	0,1277255	0,25469085	0,1034807	0,101896	0,1018955
20,00	0,1248	0,25	0,1	0,1	0,1

c. Letak dan *Trace Cable* pada Jarak Tertentu

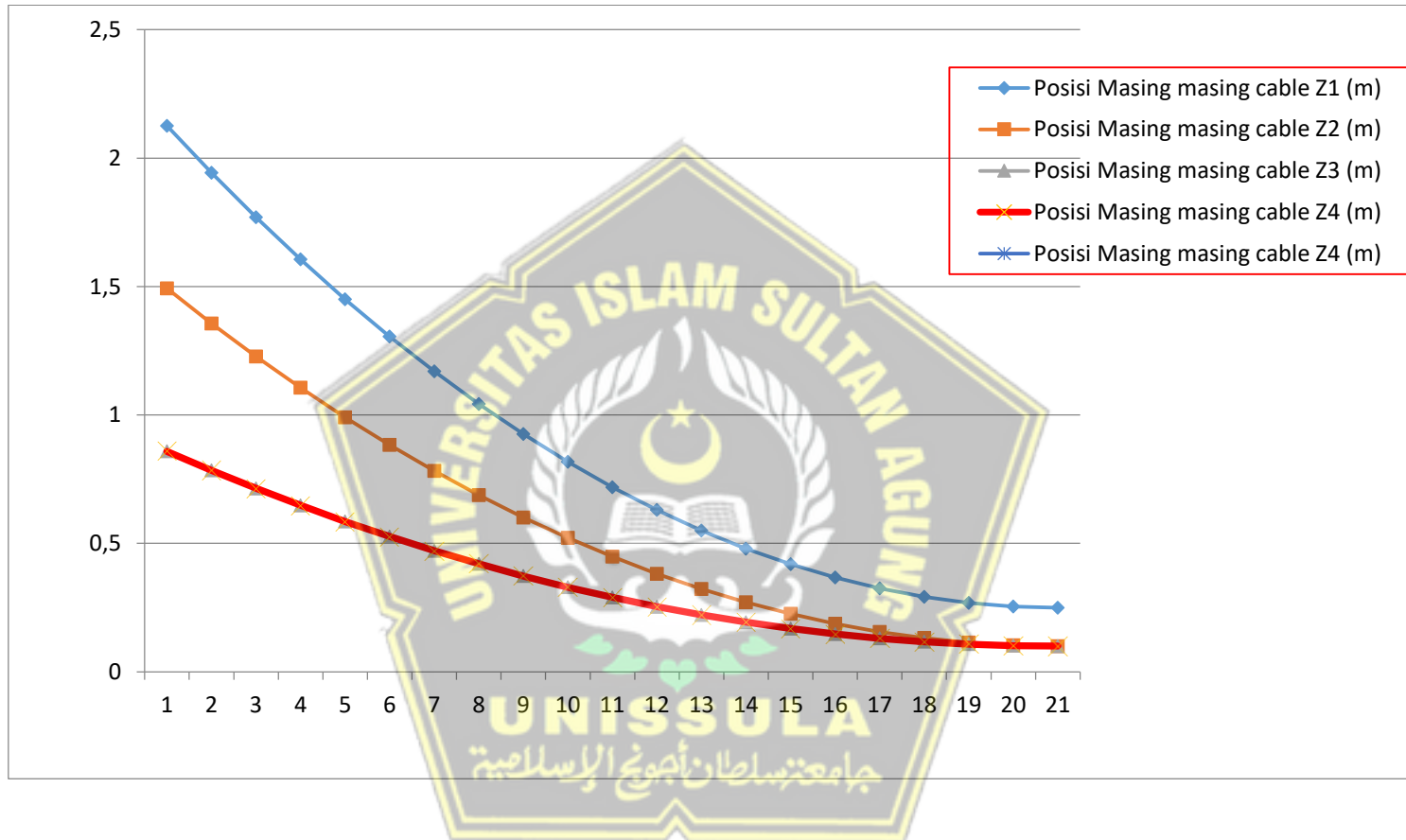


Gambar 4. 20 Letak dan *trace cable* pada jarak tertentu

Tabel 4.14 Letak dan *trace cable* pada jarak tertentu

Jarak X (m)	Trace Z0 (m)	Posisi Masing masing cable			
		Z1 (m)	Z2 (m)	Z3 (m)	Z4 (m)
0,00	1,295	2,12634	1,49228	0,85821	0,85821
5,00	0,7830375	1,305441	0,88316	0,52649	0,52649
10,00	0,41735	0,719085	0,44807	0,28955	0,28955
15,00	0,1979375	0,367271	0,18702	0,14739	0,14739
20,00	0,1248	0,25	0,1	0,1	0,1

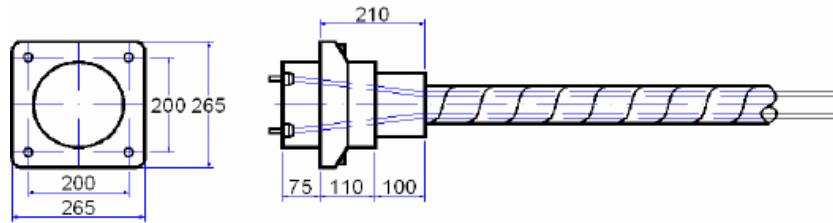
Gambar 4. 21 Grafik posisi masing-masing kabel tendon



d. Pemakaian Angkur

Angkur Hidup = VSL

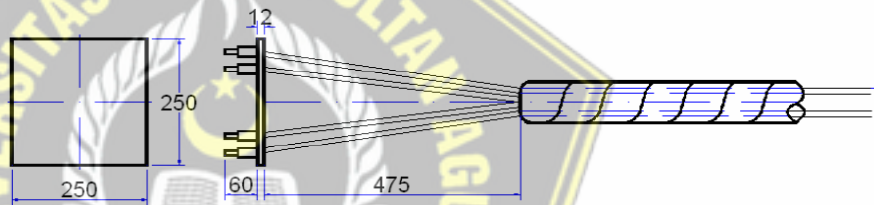
Tipe = 19 Sc



Gambar 4.22 Detail ankur hidup

Angkur Mati = VSL

Tipe = 19 P



Gambar 4. 23 Detail ankur mati

4.5.3 Kehilangan Tegangan (*loss of prestress*) pada Kabel

4.5.3.1 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur (*Anchorage Friction*)

Gaya prategang akibat *jacking* (*jacking force*) :

$$P_j = 8305,39 \text{ kN}$$

Kehilangan gaya akibat gesekan ankur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat *jacking* :

$$\begin{aligned} P_o &= 97\% \times P_j \\ &= 97\% \times 8305,39 \\ &= 8056,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.5.3.2 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan *Cable (Jack Friction)*

Sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah :

$$\alpha_{AB} = 0,12 \text{ rad}$$

$$\alpha_{BC} = 0,12 \text{ rad}$$

Perubahan sudut total lintasan tendon :

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

$$= 0,12 + 0,12$$

$$= 0,24 \text{ rad}$$

$$\text{Koefisien Gesek } (\mu) = 0,2$$

Tabel 6.6 NASSRA Bridge Design Spesification

TABLE 6.6
VALUES OF COEFFICIENT μ
(SIMULTANEOUS STRESSING)

Type of duct or tendon support	Typical values for μ
Bright or zinc-coated metal duct	0.20
Lead-coated metal duct	0.15
Unlined preformed holes in concrete	0.50
External tendons over machined cast steel saddles fixed to concrete	0.15
Bars, without ducts, greased and wrapped with tape prior to concreting	0.20

$$\text{Koefisien Wobble } (\beta) = 0,012$$

Tabel 6.7 NASSRA Bridge Design Spesification

TABLE 6.7
VALUES OF COEFFICIENT β

Type of duct or tendon support	Typical values for β
Ducts containing tendons other than bars:	
(a) 50 mm and less internal diameter	0.016
(b) over 50 mm and up to 90 mm diameter	0.012
(c) over 90 mm internal diameter	0.008
Ducts of any diameter containing bars	0.008
Unlined holes in concrete formed by steel tubing or bars	0.008
Bars without ducts, greased and wrapped with tape prior to concreting	0.008

Gaya prategang akibat *jacking* setelah memperhitungkan *loss of prestress* akibat gesekan angkur :

$$P_o = 8056,23 \text{ kN}$$

Loss of Prestress akibat gesekan kabel :

$$P_x = P_o \times e^{-\mu x(\alpha + \beta x L_x)}$$

Dengan:

$$e = 2,74 \quad (\text{bilangan natural})$$

$$\text{Untuk } L_x = 20,04 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_x &= P_o \times e^{-\mu x(\alpha + \beta x L_x)} \\ &= 8056,23 \times 2,74^{-0,2 \times (0,236 + 0,012 \times 20,40)} \\ &= 7317,62 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Untuk } L_x = 40,80 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_x &= P_o \times e^{-\mu x(\alpha + \beta x L_x)} \\ &= 8056,23 \times 2,74^{-0,2 \times (0,236 + 0,012 \times 40,80)} \\ &= 6967,98 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.5.3.3 Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis (*Elastic Shortening*)

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat tampang balok

$$e_s = 1,17 \text{ m}$$

$$\text{Momen inersia tampang balok beton } (I_x) = 0,076 \text{ m}^4$$

$$\text{Luas tampang balok beton } (A) = 0,752 \text{ m}^2$$

$$\text{Modulus elastis balok beton } (E_{\text{balok}}) = 3,567 \text{E}+07 \text{ kPa}$$

$$\text{Modulus elastis baja prategang } (E_s) = 1,930 \text{E}+08 \text{ kPa}$$

$$\text{Jumlah total strands } (n_s) = 56$$

$$\text{Luas tampang nominal satu strands } (A_{st}) = 0,00010 \text{ m}^2$$

$$\text{Beban putus satu strands } (P_{BS}) = 187,32 \text{ kN}$$

$$\text{Momen akibat berat sendiri balok } (M_{\text{balok}}) = 3836,73 \text{ kNm}$$

Luas tampang tendon baja prategang :

$$\begin{aligned} A_t &= n_s \times A_{st} \\ &= 0,00681 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Modulus ratio antara baja prategang dengan balok beton :

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_{balok}} \\ &= \frac{3,567\text{E}+07}{1,930\text{E}+08} \\ &= 5,411 \end{aligned}$$

Jari-jari inersia penampang balok beton :

$$\begin{aligned} i &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{0,0765}{0,752}} \\ &= 0,32 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_e &= \frac{A_t}{A} \times \left(1 + \frac{e_s^2}{i^2} \right) \\ &= \frac{0,0056}{0,752} \times \left(1 + \frac{1,17^2}{0,32^2} \right) \\ &= 0,11 \end{aligned}$$

Tegangan baja prategang sebelum *loss of prestress* (di tengah bentang):

$$\begin{aligned} \sigma_{pi} &= \frac{n_s}{P_{BS}} \\ &= 1873200 \text{ kPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{pe'} &= \frac{\sigma_{pi} \times n \times K_e}{(1+n \times K_e)} \\ &= 689418 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang

Pt:

$$\begin{aligned}\sigma_{bt} &= \frac{\Delta\sigma_{pe'}}{n} - \frac{M_{balok} \times e_s}{I_x} \\ &= \frac{689418}{5,411} - \frac{3836,73 \times 1,17}{0,0765} \\ &= 68758 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri :

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{pe} &= \frac{1}{2} \times n \times \sigma_{bt} \\ &= \frac{1}{2} \times 5,411 \times 68758 \\ &= 186016 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Loss of prestress akibat pemendekan elastis :

$$\begin{aligned}\Delta P_e &= \Delta\sigma_{pe} \times A_t \\ &= 186016 \times 0,0056 \\ &= 1041,69 \text{ kN}\end{aligned}$$

4.5.3.4 Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran (*Anchoring*)

$$\begin{aligned}\text{Panjang tarik masuk (2 – 7 mm) } (\Delta L) &= 0,002 \text{ m} \\ \text{Modulus elastis baja prategang } (E_s) &= 1,930\text{E}+08 \text{ kPa} \\ &= 193000000\end{aligned}$$

Luas tampang tendon baja prategang :

$$\begin{aligned}A_t &= n_s \times A_{st} \\ &= 0.00681 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Loss of Prestress akibat gesekan angkur :

$$\begin{aligned}P_o &= 97\% \times P_j \\ &= 97\% \times 8305.39 \\ &= 8056.23 \text{ kN}\end{aligned}$$

Loss of Prestress akibat gesekan cable :

$$\begin{aligned}
 P_x &= P_O \times e^{-\mu x(\alpha + \beta x L_x)} \\
 &= 8056.23 \times 2.7381^{-0.2 \times (0.236 + 0.012 \times 20.40)} \\
 &= 7317.62 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Jarak dari ujung sampai tengah bentang balok (L_x) = 20.40 m

Kemiringan diagram gaya :

$$\begin{aligned}
 m &= \tan \omega \\
 &= \frac{(P_O - P_x)}{L_x} \\
 &= \frac{(8056.232 - 7317.621)}{20.40} \\
 &= 36.206 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Jarak pengaruh kritis slip angkur dari ujung:

$$\begin{aligned}
 L_{\max} &= \sqrt{\frac{\Delta L \times E_s \times A_t}{m}} \\
 &= \sqrt{\frac{0.002 \times 193000000 \times 0.0056}{36.206}} \\
 &= 7.727 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Loss of Prestress akibat angkur :

$$\begin{aligned}
 \Delta P_e &= 2 \times L_{\max} \times \tan \omega \\
 &= 2 \times 7.727 \times 36.206 \\
 &= 559.513 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P'_{\max} &= P_O - \frac{\Delta P_e}{2} \\
 &= 8056.232 - \frac{559.513}{2} \\
 &= 7776.48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= P'_{\max} - \Delta P_e \\
 &= 7776.48 - 559.513 \\
 &= 7216.96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.5.3.5 Kehilangan Tegangan Akibat *Relaxation of Tendon*

1. Pengaruh Susut (*Shrinkage*)

Regangan dasar susut (*basic shrinkage strain*):

$$(\epsilon_b) = 0.0006$$

Tabel 6.4 NAASRA Bridge Design Spesification

TABLE 6.4
VALUES OF COEFFICIENT ϵ_b

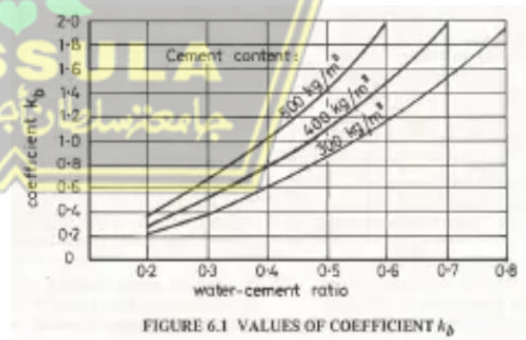
Climatic condition	Average relative humidity as a percentage ^{a,b}	Basic shrinkage strain ϵ_b
Dry air	< 50	600×10^{-6}
Generally in the open air, and not subject to periods of prolonged high temperature or low humidity	50 to 75	400×10^{-6}
In very humid air, e.g. over water	> 75	200×10^{-6}

Koefisien yang tergantung pada pemakaian air semen (*water cement ratio*) untuk beton mutu tinggi dengan faktor air semen:

$$w = 0.40 \quad \text{Cement concrete} = 4.5 \text{ kN/m}^3$$

$$k_b = 0.905$$

Kurva 6.1 NAASRA Bridge Design Spesification



Koefisien yang tergantung pada tebal teoritis (e_m) :

$$k_e = 0.734$$

Kurva 6.2 NAASRA Bridge Design Spesification

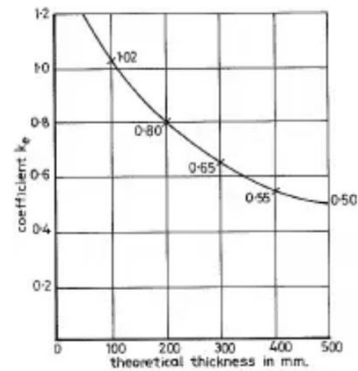


FIGURE 6.2 VALUES OF COEFFICIENT k_e

Luas penampang balok (A) = 0.752 m²

Keliling penampang balok (K) = 5.700 m

$$e_m = 2 \times \frac{A}{K}$$

$$= 2 \times \frac{0.752}{5.700}$$

$$= 0.264 \text{ m}$$

Koefisien yang tergantung pada luas tulangan baja memanjang non prategang :

$p = 0.50\%$ (presentase luas tulangan memanjang terhadap luas tampang balok)

$$k_p = \frac{100}{(100 + 20 \times P)}$$

$$= 0.999$$

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

$$= 0.0006 \times 0.905 \times 0.734 \times 0.999$$

$$= 0.00039816$$

Modulus elastisitas baja prategang :

$$E_s = 1.93E+08 \text{ kPa}$$

$$= 193000000 \text{ kPa}$$

Tegangan susut :

$$\begin{aligned}\sigma_{sh} &= \Delta \epsilon_{su} \times E_s \\ &= 76845.62 \text{ kPa}\end{aligned}$$

2. Pengaruh Rayapan (Creep)

Koefisien yang tergantung pada kelembaban udara, untuk perhitungan diambil kondisi kering dengan kelembaban udara < 50%.

$$k_c = 3$$

Tabel 6.5 NAASRA Bridge Design Spesification

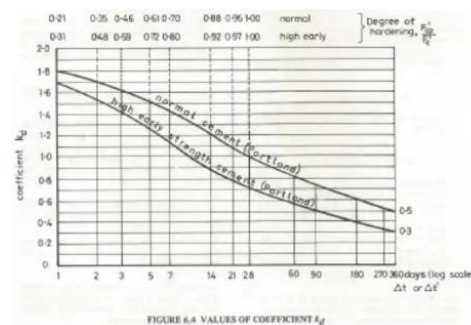
TABLE 6.5
VALUES OF COEFFICIENT k_c

Climatic condition	Average relative humidity as a percentage**	k_c
Dry air	< 50	3.0
Generally in the open air, and not subject to periods of prolonged high temperature or low humidity.	50 to 75	2.5
In very humid air, e.g. over water	> 75	1.5
In water	100	1.0

Koefisien yang tergantung pada derajat pengerasan beton saat dibebani dan pada suhu rata-rata di sekelilingnya selama pengerasan beton.

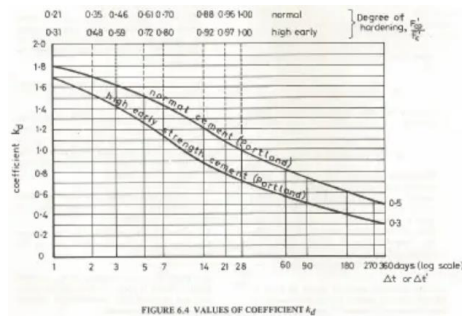
$$k_d = 0.938$$

Kurva 6.4 NAASRA Bridge Design Spesification



Koefisien yang tergantung pada waktu (k_{tn}) = 0.2

Kurva 6.4 NAASRA Bridge Design Spesification



P initial (keadaan transfer) di tengah bentang :

$$\begin{aligned} P_i &= P_x - \Delta P_e \\ &= 7317.621 - 559.513 \\ &= 6758.108 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{n_s}{P_{BS}} \times 100\% \\ &= \frac{56}{187.32} \times 100\% \\ &= 64.425\% \end{aligned}$$

Momen akibat berat balok sendiri :

$$M_{\text{balok}} = 3836.73 \text{ kNm}$$

Tahanan momen inersia atas :

$$I_{wa} = 0.38049 \text{ m}^3$$

Tahanan momen inersia bawah :

$$W_b = 0.40910 \text{ m}^3$$

Modulus elastis baja prategang :

$$\begin{aligned} E_s &= 1.930 \times 10^8 \text{ kPa} \\ &= 193000000 \end{aligned}$$

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat tampang balok :

$$e_s = 1.1702 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang balok (A)} = 0.752 \text{ m}^2$$

- Tegangan beton di serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_a &= - \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \times e_s}{w_a} - \frac{M_{balok}}{w_a} \\
 &= - \frac{6758.108}{0.752} + \frac{6758.108 \times 1.1702}{0.38049} - \frac{3836.73}{0.38049} \\
 &= -19687.806 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah :

$$\begin{aligned}
 f_b &= - \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \times e_s}{w_b} + \frac{M_{balok}}{w_b} \\
 &= - \frac{6758.108}{0.752} - \frac{6758.108 \times 1.1702}{0.38049} + \frac{3836.73}{0.38049} \\
 &= 965.753 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$$f_c = f_b = 965.753 \text{ kPa}$$

Regangan akibat *Creep* :

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{cr} &= \left(\frac{f_c}{E_{balok}} \right) \\
 &= \left(\frac{965.753}{35670000} \right) \\
 &= 0.00001
 \end{aligned}$$

Tegangan akibat *Creep* :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{cr} &= \epsilon_{cr} \times E_s \\
 &= 0.00001 \times 193000000 \\
 &= 1953.52 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

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

$$= 1953.52 + 76845.62$$

$$= 78799.15 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{pi} = \frac{P_i}{A_t}$$

$$= 1206805.027 \text{ kPa}$$

Besar tegangan terhadap UTS :

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{n_s}{P_{BS}} \times 100\% \\ &= \frac{56}{187.32} \times 100\% \\ &= 64.425\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_r &= X \times C \times (\sigma_{pi} - \Delta\sigma_{sc}) \\ &= 1.725 \times 0.0025 \times (1206805.027 - 78799.15) \\ &= 48645.254 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Loss of Prestress jangka panjang :

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_{sc} + \sigma_r &= 78799.15 + 48645.254 \\ &= 127444.40 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= (\Delta\sigma_{sc} + \sigma_r) \times A_t \\ &= 127444.04 \times 0.0056 \\ &= 713.688 \text{ kN} \end{aligned}$$

Loss of Prestress di tengah bentang balok :

$$\begin{aligned} P_{eff} &= P_i - \Delta P \\ &= 6758.108 - 713.688 \\ &= 6044.420 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang total :

$$\begin{aligned} \left(1 - \frac{P_{eff}}{P_j}\right) \times 100\% &= 27.22\% \\ &= 30\% \end{aligned}$$

Sehingga, kehilangan gaya prategang akhir cukup dekat dengan estimasi awal 30%. **OK**

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

- Tegangan ijin tendon pasca tarik

$$0.70 \times f_{pu} = 0.70 \times 1860000$$

$$= 1302000 \text{ kPa}$$

- Tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik :

$$f_p = \frac{P_{eff}}{A_t}$$

$$= \frac{6044.420}{0.0056}$$

$$= 1079361 \text{ kPa}$$

Tabel 4.15 Perhitungan *Loss of Prestress*

Gaya	(kN)	Loss of prestress	%UTS
Pj	8305,394	Anchorage friction	58,14 %
Po	8056,23218	Jack friction	56,39 %
Px	7317,62142	Elastic shortening	51,22 %
Pi	6758,108	Relaxation of tendon	47,31 %
Peff	6044,42		42,31 %
Loss of Prestress			27,22 %

4.5.4 Tegangan yang Terjadi pada Penampang Balok

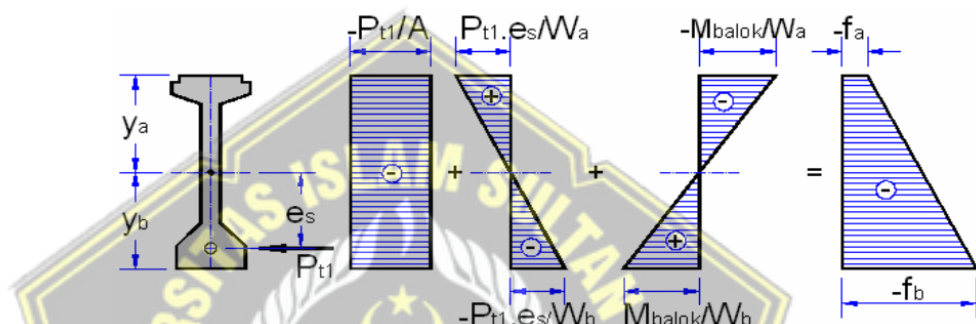
Menurut Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (*Bridge Design Specification*), tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadi kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- 1) Tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0.60 \times f_{ci}'$ dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$
- 2) Tegangan serat tarik terluar harus $\leq 0.50 \times f_{ci}'$ dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$

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

- 1) Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati, dan beban hidup $\leq 0.45 \times f_c'$
- 2) Tegangan serat tarik terluar yang pada awalnya mengalami tekan $\leq 0.50 \times f_c'$

a. Keadaan Awal (Saat Transfer)



Gambar 4. 24 Diagram tegangan saat transfer

Mutu beton prategang (K) = 500

Kuat tekan beton :

$$f_c' = 0.83 \times K \times 100$$

$$= 0.83 \times 500 \times 100$$

$$= 41500 \text{ kPa}$$

Kuat tekan beton saat transfer :

$$f_{ci}' = 0.80 \times f_c'$$

$$= 0.80 \times 41500$$

$$= 33200 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin tekan beton

$$= -0.6 \times f_{ci}'$$

$$= -0.6 \times 33200$$

$$= -19920 \text{ kPa}$$

Gaya prategang awal (P_t)

$$= 7059.656 \text{ kN}$$

Momen berat sendiri balok (M_{balok}) = 3836.73 kNm

Tahanan momen sisi atas (W_a) = 0.3805 m³

Tahanan momen sisi bawah (W_b) = 0.4091 m³

Luas penampang balok (A) = 0.753 m²

Eksentrisitas Tendon (e_s) = 1.702 m

- Tegangan di serat atas :

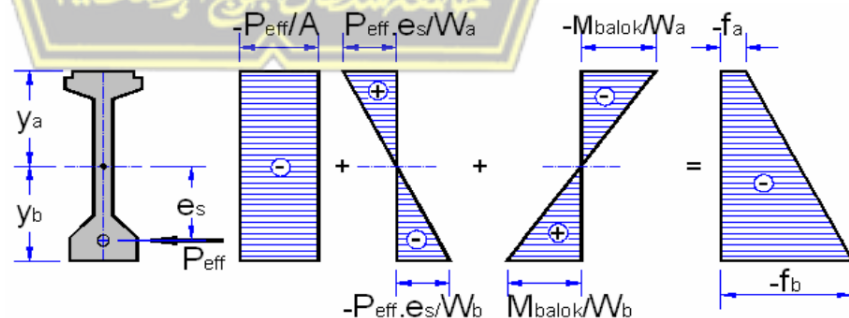
$$\begin{aligned} f_{ca} &= - \frac{P_t}{A} + \frac{P_t \times e_s}{w_a} - \frac{M_{\text{balok}}}{w_a} \\ &= - \frac{7059.656}{0.753} + \frac{7059.656 \times 1.1702}{0.3805} - \frac{3836.73}{0.3805} \\ &= - 21003.746 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan di serat bawah :

$$\begin{aligned} f_{cb} &= - \frac{P_t}{A} - \frac{P_t \times e_s}{w_b} + \frac{M_{\text{balok}}}{w_b} \\ &= - \frac{7059.656}{0.753} - \frac{7059.656 \times 1.1702}{0.4091} + \frac{3836.73}{0.4091} \\ &= - 20190.527 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan di serat bawah yang terjadi pada penampang balok dalam keadaan awal (saat transfer) dapat memenuhi nilai yaitu $< - 0.6 \times f_{ci}'$ (AMAN).

b. Keadaan Setelah Loss of Prestress



Gambar 4.25 Diagram tegangan setelah kehilangan tegangan

Mutu beton prategang (K) = 500

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan beton } (f_c') &= 0.83 \times K \times 100 \\ &= 0.83 \times 500 \times 100 \\ &= 41500 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ijin tekan beton} &= -0.45 \times f_c' \\ &= -0.45 \times 41500 \\ &= -18675 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Gaya prategang awal (P_{eff}) = 6044.420 kN

Momen berat sendiri balok (M_{balok}) = 3836.73 kNm

Tahanan momen sisi atas (W_a) = 0.3805 m³

Tahanan momen sisi bawah (W_b) = 0.4091 m³

Luas penampang balok (A) = 0.753 m²

Eksentrisitas Tendon (e_s) = 1.702 m

- Tegangan di serat atas :

$$\begin{aligned}f_a &= -\frac{P_{\text{eff}}}{A} + \frac{P_{\text{eff}} \times e_s}{W_a} - \frac{M_{\text{balok}}}{W_a} \\ &= -\frac{6044.420}{0.753} + \frac{6044.420 \times 1.1702}{0.3805} - \frac{3836.73}{0.3805} \\ &= -16533.12 \text{ kPa}\end{aligned}$$

- Tegangan di serat bawah :

$$\begin{aligned}f_b &= -\frac{P_{\text{eff}}}{A} - \frac{P_{\text{eff}} \times e_s}{W_b} + \frac{M_{\text{balok}}}{W_b} \\ &= -\frac{6044.420}{0.753} - \frac{6044.420 \times 1.1702}{0.4091} + \frac{3836.73}{0.4091} \\ &= -15938.27 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Sehingga tegangan diserat bawah yang terjadi pada penampang balok dalam keadaan awal (saat transfer) dapat memenuhi nilai yaitu $< -0.45 \times f_c'$ (AMAN).

c. Keadaan Setelah Plat Lantai Selesai di Cor (Beton Muda)

Mutu beton prategang (K) = 500

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan beton } (f_c') &= 0.83 \times K \times 100 \\ &= 0.83 \times 500 \times 100 \\ &= 41500 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ijin tekan beton} &= -0.45 \times f_c' \\ &= -0.45 \times 41500 \\ &= -18675 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Gaya prategang awal (P_{eff}) = 6044.420 kN

Momen berat sendiri balok (M_{balok}) = 3836.73 kNm

Momen berat sendiri plat (M_{plat}) = 1800 kNm

Jumlah momen berat sendiri balok dan plat :

$$\begin{aligned}M_{\text{balok}} + M_{\text{plat}} &= 3836.73 + 1800 \\ &= 5636.73 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Tahanan momen sisi atas (W_a) = 0.3805 m³

Tahanan momen sisi bawah (W_b) = 0.4091 m³

Luas penampang balok (A) = 0.753 m²

Eksentrisitas Tendon (e_s) = 1.702 m

- Tegangan di serat atas :

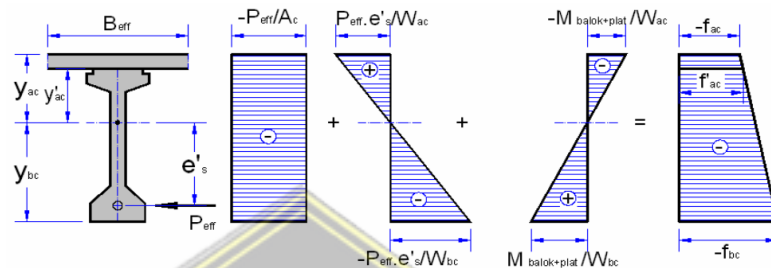
$$\begin{aligned}f_a &= -\frac{P_{\text{eff}}}{A} + \frac{P_{\text{eff}} \times e_s}{W_a} - \frac{M_{\text{balok}} + M_{\text{plat}}}{W_a} \\ &= -\frac{6044.420}{0.753} + \frac{6044.420 \times 1.1702}{0.3805} - \frac{5636.73}{0.3805} \\ &= -11802.38 \text{ kPa}\end{aligned}$$

- Tegangan di serat bawah :

$$\begin{aligned}f_b &= -\frac{P_{\text{eff}}}{A} - \frac{P_{\text{eff}} \times e_s}{W_b} + \frac{M_{\text{balok}} + M_{\text{plat}}}{W_b} \\ &= \frac{6044.420}{0.753} - \frac{6044.420 \times 1.1702}{0.4091} + \frac{5636.73}{0.4091} \\ &= -4515.87 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Sehingga tegangan diserat bawah yang terjadi pada penampang balok dalam keadaan awal (saat transfer) dapat memenuhi nilai yaitu $< -0.45 \times f_c'$ **(AMAN)**.

d. Keadaan Setelah Plat dan Balok menjadi Komposit



Gambar 4.26 Diagram tegangan plat dan balok menjadi komposit

Mutu beton prategang (K) = 500

Kuat tekan beton (f_c') = $0.83 \times K \times 100$
 $= 0.83 \times 500 \times 100$
 $= 41500 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tekan beton = $-0.45 \times f_c'$
 $= -0.45 \times 41500$
 $= -18675 \text{ kPa}$

Gaya prategang awal (P_{eff}) = 6044.420 kN

Momen berat sendiri balok (M_{balok}) = 3836.73 kNm

Momen berat sendiri plat (M_{plat}) = 1800 kNm

Jumlah momen berat sendiri balok dan plat :

$$M_{balok} + M_{plat} = 3836.73 + 1800$$

$$= 5636.73 \text{ kNm}$$

Tahanan sisi atas balok (W_{ac}) = 0.66644 m^3

Tahanan sisi atas plat (W'_{ac}) = 0.83228 m^3

Tahanan sisi bawah balok (W_{bc}) = 0.51602 m^3

Luas penampang balok Komposit (A_c) = 0.98900 m^2

Eksentrisitas Tendon penampang komposit :

$$\begin{aligned} e'_s &= e_s + (y_{bc} - y_b) \\ &= 1.702 + (1.29 - 1.295) \\ &= 1.1652 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat atas plat :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= - \frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \times e'_s}{w_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{plat}}{w_{ac}} \\ &= - \frac{6044.420}{0.989} + \frac{6044.420 \times 1.1652}{0.66644} - \frac{5636.73}{0.66644} \\ &= - 8221.708 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat atas balok :

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= - \frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \times e'_s}{w'_{ac}} - \frac{M_{balok} + M_{plat}}{w'_{ac}} \\ &= - \frac{6044.420}{0.989} + \frac{6044.420 \times 1.11652}{0.83228} - \frac{5636.73}{0.83228} \\ &= - 7801.258 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok :

$$\begin{aligned} f_{bc} &= - \frac{P_{eff}}{A_c} - \frac{P_{eff} \times e'_s}{w_{bc}} + \frac{M_{balok} + M_{plat}}{w_{bc}} \\ &= - \frac{6044.420}{0.989} - \frac{6044.420 \times 1.1652}{0.51602} + \frac{5636.73}{0.51602} \\ &= - 3386.505 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Sehingga tegangan diserat bawah yang terjadi pada penampang balok dalam keadaan awal (saat transfer) dapat memenuhi nilai yaitu $< - 0.45 \times f'_c$ (AMAN).

4.5.5 Tegangan yang Terjadi pada Balok Komposit

a. Tegangan Akibat Berat Sendiri (MS)

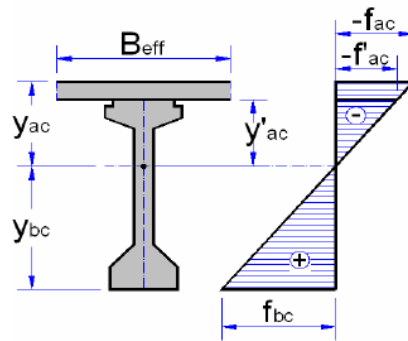
Momen akibat berat sendiri, $M_{MS \text{ balok } + \text{ plat}} = 6818 \text{ kNm}$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$



Gambar 4.27 Tegangan akibat berat sendiri

- Tegangan beton di serat atas plat :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{Mms}{W_{ac}} \\ &= -\frac{5636,78}{0,66644} \\ &= -8457,970 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat atas balok :

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= -\frac{Mms}{W'_{ac}} \\ &= -\frac{5636,73}{0,83228} \\ &= -6772,6366 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= \frac{Mms}{W_{bc}} \\ &= \frac{5636,73}{0,51602} \\ &= 10923,4719 \text{ kPa} \end{aligned}$$

b. Tegangan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

Momen akibat beban mati tambahan,

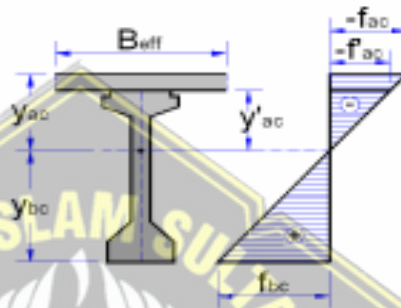
$$M_{MA} = 958,4 \text{ kNm}$$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$



Gambar 4.28 Tegangan akibat beban mati tambahan

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned} f_{ac} &= - \frac{M_{ms}}{W_{ac}} \\ &= - \frac{958,48}{0,66644} \\ &= -1438,08895 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat atas balok

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= - \frac{M_{ms}}{W'_{ac}} \\ &= - \frac{958,4}{0,83228} \\ &= -1151,535541 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= \frac{M_{ms}}{W_{bc}} \\ &= \frac{958,4}{0,51602} \\ &= 1857,292353 \text{ kPa} \end{aligned}$$

c. Tegangan Akibat Susut Beton

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

$$P_s = A_{plat} \times E_{plat} \times \Delta \varepsilon_{su} \times n \times [(1 - e^{-cf})/cf]$$

$$A_{plat} = \text{Luas Penampang Plat}$$

$$\text{Modulus elastisitas } (E_{plat}) = 2,35E+07$$

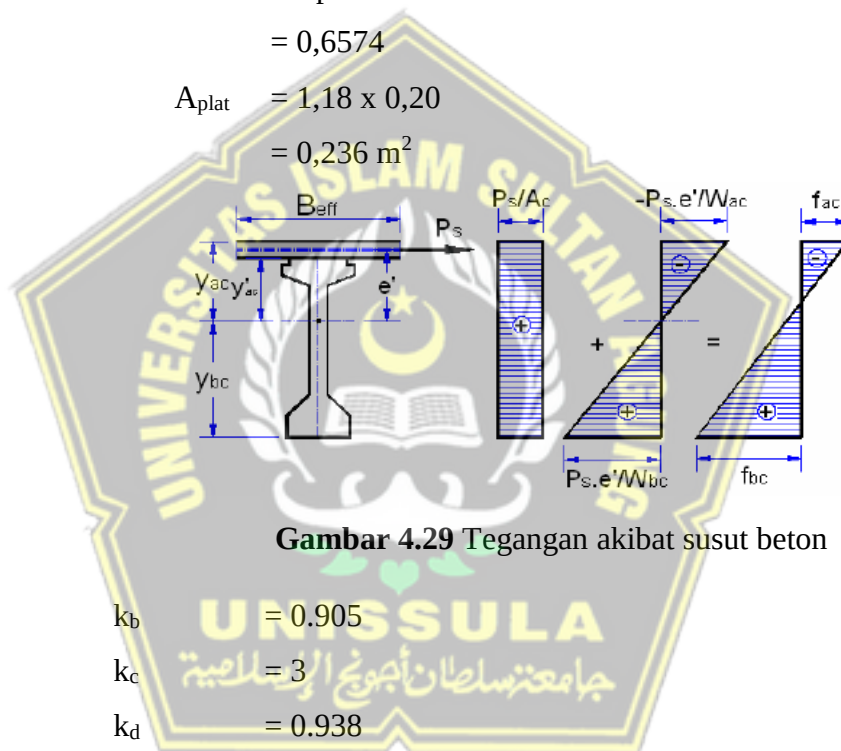
$$\text{Bilangan natural } (e) = 2,7183$$

$$n = E_{plat}/E_{balok}$$

$$= 0,6574$$

$$A_{plat} = 1,18 \times 0,20$$

$$= 0,236 \text{ m}^2$$



Gambar 4.29 Tegangan akibat susut beton

$$k_b = 0.905$$

$$k_c = 3$$

$$k_d = 0.938$$

$$k_e = 0.734$$

$$k_{tn} = 0,2$$

Eksentrisitas tendon :

$$e' = y_{ac} - h_0/2$$

$$= 1,004 - 0,2$$

$$= 0,904 \text{ m}$$

Gaya internal yang timbul akibat susut:

$$\begin{aligned}\Delta \varepsilon_{su} &= \varepsilon_0 \times k_b \times k_e \times k_p \\ &= 0.0003982\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_f &= k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times (1 - k_{tn}) \\ &= 0.905 \times 3 \times 0.938 \times 0.734 \times (1 - 0.2) \\ &= 1.495\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_s &= A_{plat} \times E_{plat} \times \Delta \varepsilon_{su} \times n \times [(1 - e^{-C_f})/C_f] \\ &= 751,738 \\ &= 712,1318208\end{aligned}$$

d. Tegangan akibat susut yang terjadi

- Tegangan beton diserat atas plat

$$\begin{aligned}f_{ca} &= \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s \cdot e'}{W \cdot a_c} \\ &= \frac{712,13}{0,989} - \frac{712,13 \cdot 0,904}{0,66644} \\ &= -245,9267848 \text{ kPa}\end{aligned}$$

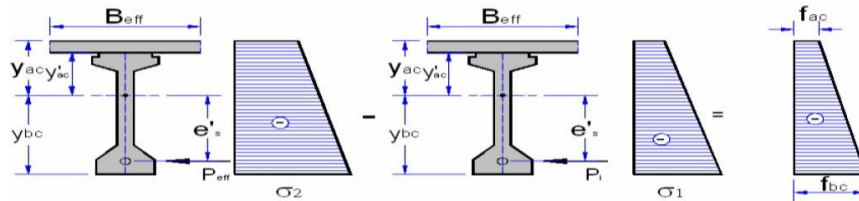
- Tegangan beton diserat atas plat

$$\begin{aligned}f'_{ca} &= \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s \cdot e'}{W' \cdot a_c} \\ &= \frac{712,13}{0,989} - \frac{712,13 \cdot 0,904}{0,83228} \\ &= -53,4459 \text{ kPa}\end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned}f_{bc} &= \frac{P_s}{A_c} + \frac{P_s \cdot e'}{W \cdot b_c} \\ &= \frac{712,13}{0,989} + \frac{712,13 \times 0,904}{0,51602} \\ &= 1967,614829 \text{ kPa}\end{aligned}$$

e. Tegangan Akibat Rangkak Beton



Gambar 4.30 Diagram tegangan akibat rangkak beton

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

$$\Sigma_{cr} = (1 - e^{-c_f}) \times (\sigma_2 - \sigma_1)$$

Σ_1 = tegangan pada balok komposit pada kondisi awal sebelum kehilangan tegangan

σ_2 = tegangan pada balok komposit pada kondisi akhir setelah kehilangan tegangan

c_f = the residual creep factor

$$= k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times (1 - k_{tn})$$

e = bilangan natural

$$= 2,7183$$

$$(1 - e^{-c_f}) = 0,77584$$

$$\begin{aligned} Cr &= 0,905 \times 3 \times 0,938 \times 0,734 \times (1 - 0,2) \\ &= 1,495 \end{aligned}$$

$$P_t = 6758,10 \text{ kN}$$

$$P_{eff} = 6044,42 \text{ kN}$$

$$e'_0 = 1,1652 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{balok + plat} &= 3836,73 + 1800 \\ &= 5636,73 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$

Tegangan pada balok sebelum kehilangan tegangan :

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{pt}{Ac} + \frac{pt.e'0}{W_{ac}} - \frac{M_{balok+plat}}{W_{ac}} \\ &= \frac{6758,10}{0,9890} + \frac{6758,10 \times 1,1652}{0,66644} - \frac{5636,73}{0,666443228} \\ &= -3475,406065 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= -\frac{pt}{Ac} + \frac{pt.e'0}{W'_{ac}} - \frac{M_{balok+plat}}{W'_{ac}} \\ &= \frac{6758,10}{0,9890} + \frac{6758,10 \times 1,1652}{0,83228} - \frac{5636,73}{0,83228} \\ &= -4144,494408 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{pt}{Ac} + \frac{pt.e'0}{W_{bc}} - \frac{M_{balok+plat}}{W_{bc}} \\ &= -11169,96193 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan pada balok setelah kehilangan tegangan :

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff}.e'0}{W_{ac}} - \frac{M_{balok+plat}}{W_{ac}} \\ &= -3135,817169 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat atas balok

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= -\frac{pt}{Ac} + \frac{pt.e'0}{W'_{ac}} - \frac{M_{balok+plat}}{W'_{ac}} \\ &= -3965,372214 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff}.e'0}{W_{bc}} - \frac{M_{balok+plat}}{W_{bc}} \\ &= -12675,74968 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tabel 4.16 Tegangan Akibat Rangkak Beton

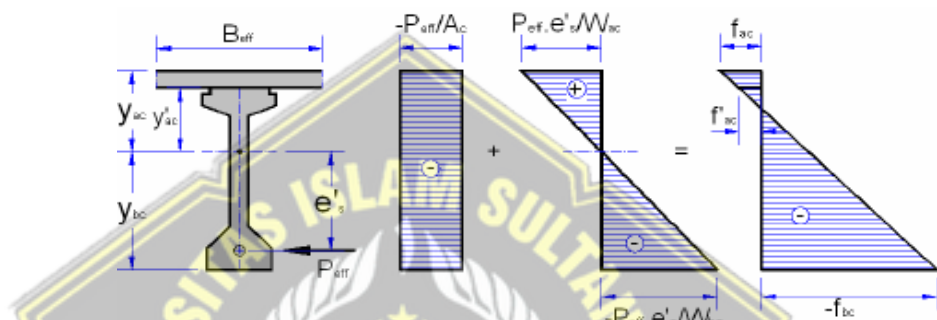
	σ_2	σ_1	$\sigma_2 - \sigma_1$	$(1 - e - cf)$	σ_{cr}
$F_{ac} =$	-3135,817169	-3475,406065	339,5888957	0,77584	263,4666489
$F'_{ac} =$	-3965,372214	-4144,494408	179,1221936	0,77584	138,9701627
$F_b =$	-12675,74968	-11169,96193	1505,787752	0,77584	1168,25037

f. Superposisi Tegangan Susut Dan Rangkak

Tabel 4.17 Tegangan Akibat Susut dan Rangkak Beton

Nama tegangan	Susut (kPa)	Rangkak (kPa)	Susut dan Rangkak (kPa)
Fca	-245,9267848	-263,4666489	-509,3934336
F'ca	-53,44590389	-138,9701627	-192,4160666
Fcb	1967,614829	-1168,25037	799,3644593

g. Tegangan Akibat Prategang (PR)



Gambar 4.31 Tegangan akibat prategang

$$P_{eff} = 6044,42 \text{ kN}$$

$$e'_0 = 1,1652 \text{ m}$$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$

- Tegangan beton di serat atas plat

$$f_{ac} = -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff}.e'_0}{W_{ac}}$$

$$= 5322,153541 \text{ kPa}$$

- Tegangan beton di serat atas balok

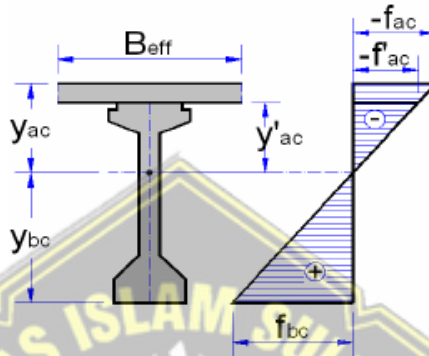
$$f'_{ac} = -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff}.e'_0}{W'_{ac}}$$

$$= 2807,264398 \text{ kPa}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e'0}{W_{bc}} \\ &= -23599,22164 \text{ kPa} \end{aligned}$$

h. Tegangan Akibat Beban Lajur “D” (TD)



Gambar 4.32 Tegangan akibat beban lajur

Momen akibat berat sendiri,

$$M_{TD} = 4069,8 \text{ kNm}$$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{M_{TD}}{W_{ac}} \\ &= -6106,776304 \text{ kPa} \end{aligned}$$

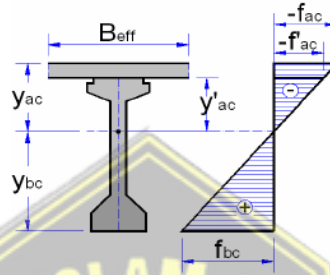
- Tegangan beton di serat atas balok

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= -\frac{M_{TD}}{W'_{ac}} \\ &= -4889,940885 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{MTD}{W_{bc}} \\ &= 7886,9 \text{ kPa} \end{aligned}$$

i. Tegangan Akibat Pejalan Kaki (TP)



Gambar 4.33 Tegangan akibat beban pejalan kaki

Momen akibat berat sendiri, $M_{TP} = 400 \text{ kNm}$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,51602 \text{ m}^3$$

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{MT_p}{W_{ac}} \\ &= -600,2040694 \text{ kPa} \end{aligned}$$

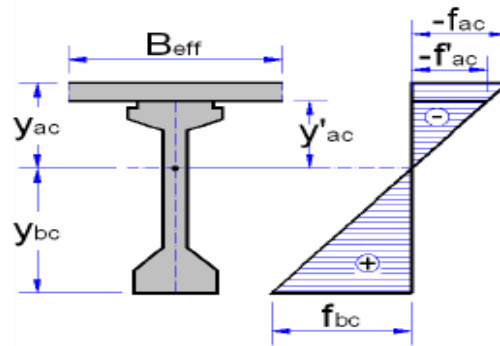
- Tegangan beton di serat atas balok

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= -\frac{MT_p}{W'_{ac}} \\ &= -480,6074879 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{MT_p}{W_{bc}} \\ &= 775,1637533 \text{ kPa} \end{aligned}$$

j. Tegangan Akibat Gaya Rem (TB)



Gambar 4.34 Tegangan akibat gaya rem (TB)

Momen akibat berat sendiri, M_{TB} = 152,7 kNm

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned} f_{ac} &= - \frac{MT_b}{W_{ac}} \\ &= - \frac{152,7}{0,66644} \\ &= -229,1279035 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat atas balok

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= - \frac{MT_b}{W'_{ac}} \\ &= - \frac{152,7}{0,83228} \\ &= -183,4719085 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= - \frac{MT_b}{W_{bc}} \\ &= - \frac{152,7}{0,51602} \\ &= 295,9187628 \text{ kPa} \end{aligned}$$

k. Tegangan Akibat Beban Angin (EW)

Momen akibat berat sendiri, $M_{EW} = 201,6 \text{ kNm}$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned} f_{ac} &= - \frac{MEW}{W_{ac}} \\ &= - \frac{201,6}{0,66644} \\ &= -302,502851 \text{ kPa} \end{aligned}$$

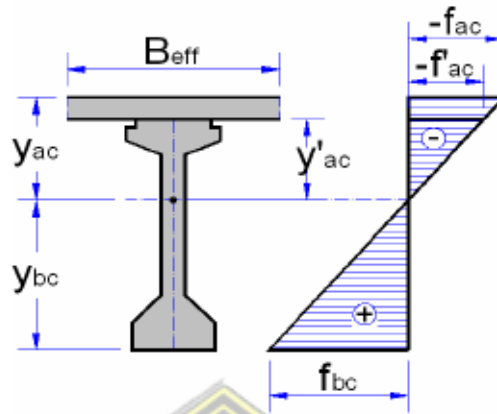
- Tegangan beton di serat atas balok

$$\begin{aligned} f'_{ac} &= - \frac{MEW}{W'_{ac}} \\ &= - \frac{201,6}{0,83228} \\ &= -242,2261739 \text{ kPa} \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned} f_{bc} &= - \frac{MEW}{W_{bc}} \\ &= - \frac{201,6}{0,51602} \\ &= - 390,6825317 \text{ kPa} \end{aligned}$$

I. Tegangan Akibat Beban Gempa (EQ)



Gambar 4.35 Tegangan akibat beban gempa

Momen akibat berat sendiri, $M_{EQ} = 778,6 \text{ kNm}$

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$

- Tegangan beton di serat atas plat

$$f_{ac} = -\frac{M_{EQ}}{W_{ac}} = -586,2231134 \text{ kPa}$$

- Tegangan beton di serat atas balok

$$f'_{ac} = -\frac{M_{EQ}}{W'_{ac}} = -935,5024751 \text{ kPa}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$f_{bc} = -\frac{M_{EQ}}{W_{bc}} = 1508,856246 \text{ kPa}$$

m. Tegangan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya internal akibat perbedaan temperature :

$$P_t = A_t \times E_{\text{balok}} \times \beta \times (T_a + T_b)/2 \text{ Dimana:}$$

A_t = Luas tampang yang ditinjau

T_a = Perbedaan temperatur gradient bagian atas

T_b = Perbedaan temperature gradient bagian bawah

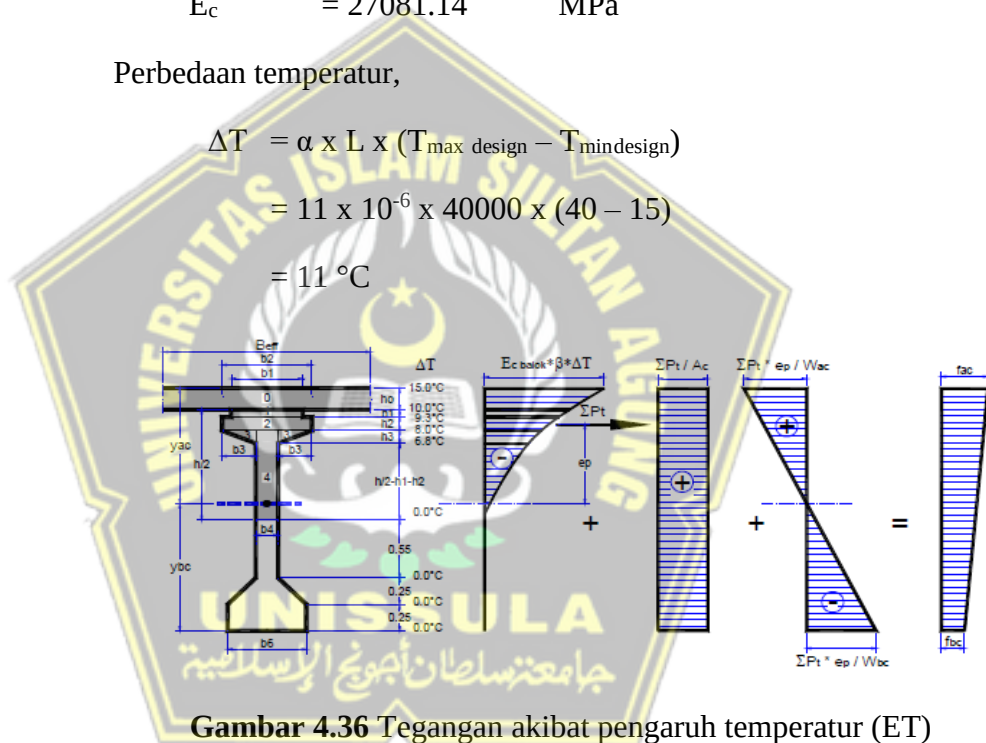
Gaya internal akibat perbedaan temperature,

$$P_t = A_t \times E_c \times \beta \times (T_a - T_b)/2 \text{ Modulus elastis balok}$$

$$E_c = 27081.14 \text{ MPa}$$

Perbedaan temperatur,

$$\begin{aligned} \Delta T &= \alpha \times L \times (T_{\text{max design}} - T_{\text{mindesign}}) \\ &= 11 \times 10^{-6} \times 40000 \times (40 - 15) \\ &= 11 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$



Gambar 4.36 Tegangan akibat pengaruh temperatur (ET)

$$A_c = 0,98900 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 0,66644 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 0,83228 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,51602 \text{ m}^3$$

$$B_{eff} = 1,118 \text{ m}$$

$$H = 2,1 \text{ m}$$

Tabel 4.18 Tegangan akibat pengaruh temperatur

No	Lebar (b) (m)	Tinggi (h) (m)	Luas (At)	Temperatur		Ta+Tb/2 (°C)	Gaya Pt (Kg)	Lengan Terhadap Titik Berat Penampang Balok Komposit	Zi	Momen
				Atas (Ta) (°C)	Bawah (Tb) (°C)					
0	04.19	0,20	0,24	11,00	6,00	14,00	838,3914	$Z0 = yac-h0/2$	0,904	758
1	0,64	0,07	0,04	6,00	0,21	6,11	69,19887333	$Z1 = yac-h0-h1/2$	0,769	53
2	19.12	0,13	0,10	0,21	4,00	2,21	58,16048333	$Z2 = yac-h0-h1-h2/2$	0,669	39
3	07.12	0,12	0,04	4,00	0,09	4,04	36,8368	$Z3 = Yac-h0-h1-h2-h3/2$	0,544	20
4	04.48	0,17	0,17	0,09	0,00	0,09	3,823111111	$Z4 = yac-h0-h1-h2-h3-h4/2$	0,399	2
ΣPt							1006,410668	ΣM_{pt}		872

$$\begin{aligned}
 \text{Eksentrisitas, } e_p &= \Sigma M_{pt} / \Sigma P_t \\
 &= 872 / 1006,4 \\
 &0.866 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi akibat perbedaan temperature

Tegangan beton di serat atas plat

- Tegangan beton di serat atas plat

$$\begin{aligned}
 f_{ac} &= -E_{balok} * \beta * \Delta T + \frac{\Sigma Pt}{Ac} + \frac{\Sigma Pt * e_0}{W_{ac}} \\
 &= -2,30E+07 * 1,1E+05 * 11 + \frac{1006,4}{0,989} + \frac{1006,4 * 0,866}{0,6664} \\
 &= -2792,894143 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat atas balok

$$\begin{aligned}
 f'_{ac} &= -E_{balok} * \beta * \Delta T + \frac{\Sigma Pt}{Ac} + \frac{\Sigma Pt * e_0}{W'_{ac}} \\
 &= -2,30E+07 * 1,1E+05 * 11 + \frac{1006,4}{0,989} + \frac{1006,4 * 0,866}{0,83228} \\
 &= -757,9444515 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan beton di serat bawah balok

$$\begin{aligned}
 f_{bc} &= \frac{\Sigma Pt}{Ac} - \frac{\Sigma Pt * e_0}{W_{bc}} \\
 &= -\frac{201,6}{0,51602} \\
 &= 390,6825317 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

4.5.6 Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi Pembebanan

Mutu beton = K-500

Kuat tekan beton, f_c' = $0,83 * K * 100$

= 41500 kpa

Tegangan ijin tekan beton, F_c' = $-0,45 f_c'$

= -18675 kpa

Tegangan ijin tarik beton = $0,50 * \sqrt{f_c'}$

= 102 kpa

Tabel 4.19 Kontrol tegangan terhadap beban kombinasi

Aksi Beban	Simbol	Kombinasi Pembebanan				
		1	2	3	4	5
Aksi Tetap						
Berat Sendiri	MS	√	√	√	√	√
Beban Mati Tambahan	MA	√	√	√	√	√
Susut dan Rangkak	SR	√	√	√	√	√
Prategang	PR	√	√	√	√	√
Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	TD	√	√	√	√	
Gaya Rem	TB	√	√	√	√	
Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	ET		√	√		
Beban Angin	EW					
Beban Gempa	EQ					√

Tabel 4.20 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 1

Tegangan	t sendiri	(Mati Tambahan	Susut-Rangkak (SR)	Prategang (PR)	Lajur "D" (TD)	Rem (TB)	Temperatur (ET)	Angin (EW)	Gempa (EQ)	Tegangan Kombinasi	Keterangan
f_{ac}	-8458	-1438,08895	-509,3934336	5322,153541	-6106,776304	-229,1279				-11419,20376	< F_c' (Aman)
f_{ac}	-6773	-1151,535541	-192,4160666	2807,264398	-4889,940885	-183,47191				-10382,73662	< F_c' (Aman)
f_{bc}	10923	1857,292353	799,3644593	-23599,22164	7886,903608	295,918763				-1836,270497	< F_c' (Aman)

Tegangan beton diserat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental **(AMAN)**

Tabel 4.21 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 2

Tegangan	t sendiri	(Mati Tambahan	Susut-Rangkak (SR)	Prategang (PR)	Lajur "D" (TD)	Rem (TB)	Temperatur (ET)	Angin (EW)	Gempa (EQ)	Tegangan Kombinasi	Keterangan
f_{ac}	-8458	-1438,08895	-509,3934336	5322,153541	-6106,776304	-229,1279	-2792,894143			-11419,20376	< F_c' (Aman)
f_{ac}	-6773	-1151,535541	-192,4160666	2807,264398	-4889,940885	-183,47191	-757,9444515			-10382,73662	< F_c' (Aman)
f_{bc}	10923	1857,292353	799,3644593	-23599,22164	7886,903608	295,918763	-671,4654167			-1836,270497	< F_c' (Aman)

Tegangan beton diserat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental **(AMAN)**

Tabel 4.22 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 3

Tegangan	t sendiri	(Mati Tambahan	Susut-Rangkak (SR)	Prategang (PR)	Lajur "D" (TD)	Rem (TB)	Temperatur (ET)	Angin (EW)	Gempa (EQ)	Tegangan Kombinasi	Keterangan
fac	-8458	-1438,08895	-509,3934336	5322,153541	-6106,776304	-229,1279		-302,502851		-11419,20376	<Fc' (Aman)
fac	-6773	-1151,535541	-192,4160666	2807,264398	-4889,940885	-183,47191		-242,2261739		-10382,73662	<Fc' (Aman)
fbc	10923	1857,292353	799,3644593	-23599,22164	7886,903608	295,918763		390,6825317		-1836,270497	<Fc' (Aman)

Tegangan beton diserat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental **(AMAN)**

Tabel 4.23 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 4

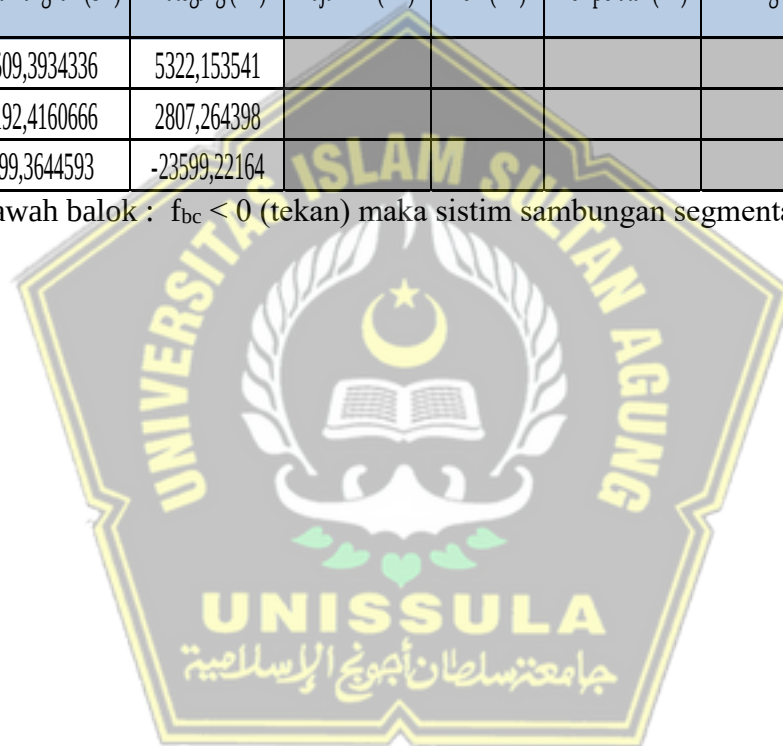
Tegangan	t sendiri	(Mati Tambahan	Susut-Rangkak (SR)	Prategang (PR)	Lajur "D" (TD)	Rem (TB)	Temperatur (ET)	Angin (EW)	Gempa (EQ)	Tegangan Kombinasi	Keterangan
fac	-8458	-1438,08895	-509,3934336	5322,153541	-6106,776304	-229,1279	-2792,894143	-302,502851		-11419,20376	<Fc' (Aman)
fac	-6773	-1151,535541	-192,4160666	2807,264398	-4889,940885	-183,47191	-757,9444515	-242,2261739		-10382,73662	<Fc' (Aman)
fbc	10923	1857,292353	799,3644593	-23599,22164	7886,903608	295,918763	-671,4654167	390,6825317		-1836,270497	<Fc' (Aman)

Tegangan beton diserat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental **(AMAN)**

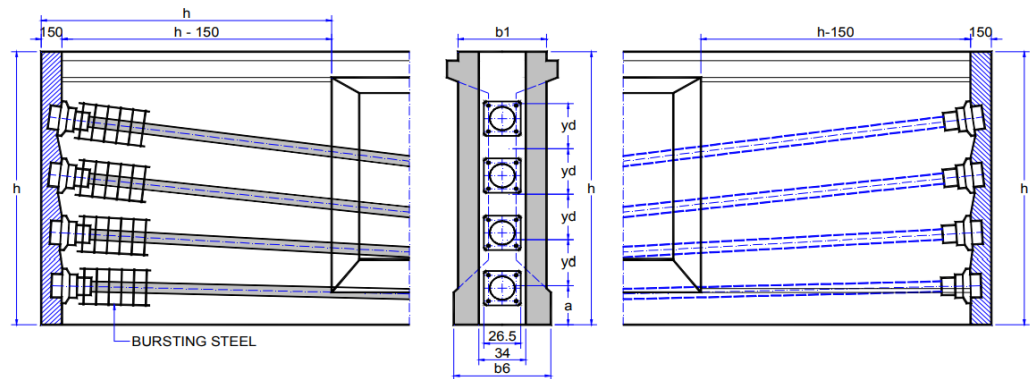
Tabel 4.24 Kontrol Tegangan Terhadap Pembebanan Kombinasi 5

Tegangan	t sendiri	Mati Tambahan	Susut-Rangak (SR)	Prategang (PR)	Lajur "D" (TD)	Rem (TB)	Temperatur (ET)	Angin (EW)	Gempa (EQ)	Tegangan Kombinasi	Keterangan
f_{ac}	-8458	-1438,08895	-509,3934336	5322,153541					-586,223113	-5083,299553	< F_c' (Aman)
f_{ac}	-6773	-1151,535541	-192,4160666	2807,264398					-935,502475	-5309,323822	< F_c' (Aman)
f_{bc}	10923	1857,292353	799,3644593	-23599,22164					1508,856246	-10019,09287	< F_c' (Aman)

Tegangan beton diserat bawah balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) maka sistim sambungan segmental **(AMAN)**



4.5.7 Pembesian *End-Balok*

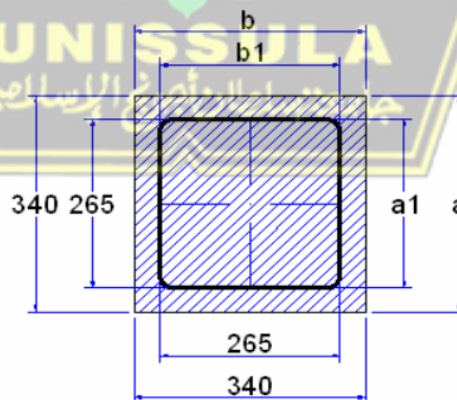


Gambar 4.37 Denah pembesian *End Block*

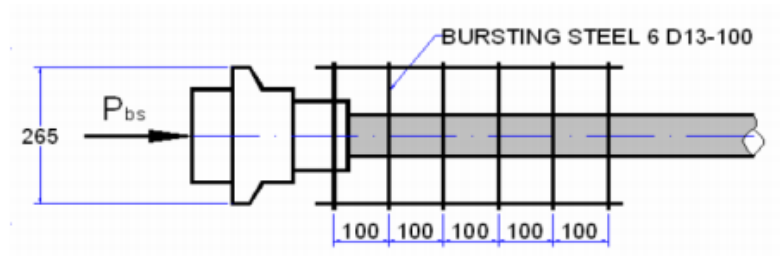
Tabel 4.25 Gaya Prategang Akibat Jacking pada masing-masing kabel

No.	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		ns	Pbs (kN)	Po	Pj (kN)	Sudut ($^{\circ}$)
	Sc	Dim	P	Dim	STRAND				
1	19	265	19	250	17	187,32	19,197%	635,933	7.418
2	19	265	19	250	18	187,32	19,197%	673,340	6.002
3	19	265	19	250	19	187,32	19,197%	710,748	3.723
4	19	265	19	250	19	187,32	19,197%	710,748	1.432

a. Perhitungan Sengkan untuk *Bursting Force*



Gambar 4.38 Plat ankur



Gambar 4.39 Sengkang untuk *Bursting Force*

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah vertikal dan horizontal :

$$r_a = \frac{a_1}{a} \quad \text{dan} \quad r_b = \frac{b_1}{b}$$

Bursting force untuk sengkang arah vertikal :

$$P_{bta} = 0.30 \times (1 - r_a) \times P$$

Bursting force untuk sengkang arah horizontal :

$$P_{btb} = 0.30 \times (1 - r_b) \times P_j$$

Luas tulangan sengkang arah vertikal dan horizontal yang diperlukan:

$$A_{ra} = \frac{P_{bta}}{(0.85 \times f_s)} \quad \text{dan} \quad A_{rb} = \frac{P_{btb}}{(0.85 \times f_s)}$$

Tegangan leleh dan ijin baja sengkang :

$$f_y = 320000 \text{ kPa}$$

$$f_s = 0.578 \times f_y$$

$$= 184960 \text{ kPa}$$

Luas penampang sengkang :

$$A_s = \frac{2 \times \pi}{(4 \times D^2)} \\ = 0.0002655 \text{ m}^2$$

Jumlah sengkang arah vertikal dan horizontal :

$$n = \frac{A_{ra}}{A_s} \quad \text{dan} \quad n = \frac{A_{rb}}{A_s}$$

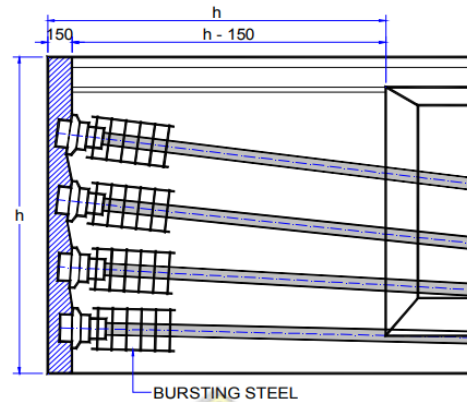
Tabel 4.26 Perhitungan sengkang arah vertikal

No. Cable	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		P _j (kN)	a' (mm)	a (mm)	r _a	P _{bta} (kN)	A _{ra} (m ²)	Jumlah Sekarang
	S _c	Dim	P	Dim							
1	19	265	19	250	635,933	250	340	0,735	50,501	0,00032	1,21
2	19	265	19	250	673,340	250	340	0,735	53,471	0,00034	1,28
3	19	265	19	250	710,748	250	340	0,735	56,442	0,00036	1,35
4	19	265	19	250	710,748	250	340	0,735	56,442	0,00036	1,35

Tabel 4.27 Perhitungan sengkang arah horizontal

No. Cable	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		P _j (kN)	b' (mm)	b (mm)	r _a	P _{bta} (kN)	A _{ra} (m ²)	Jumlah Sekarang
	S _c	Dim	P	Dim							
1	19	265	19	250	0,735	250	340	0,735	0,058	0,00032	1,21
2	19	265	19	250	0,735	250	340	0,735	0,058	0,00034	1,28
3	19	265	19	250	0,735	250	340	0,735	0,058	0,00036	1,35
4	19	265	19	250	0,735	250	340	0,735	0,058	0,00036	1,35

b. Jumlah Senggang yang digunakan untuk *Bursting Force*

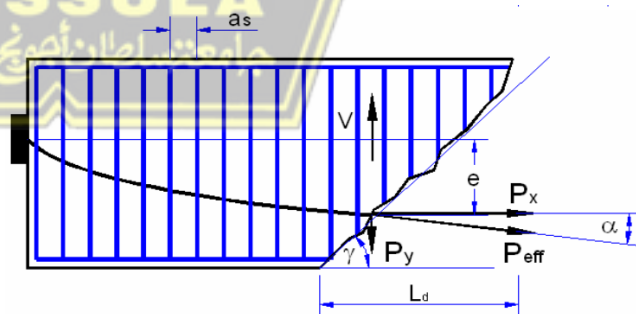


Gambar 4.40 Denah jumlah senggang

Tabel 4.28 Jumlah Senggang yang digunakan untuk *Bursting Force*

No.	Angkur Hidup VSL		Angkur Mati VSL		Jumlah Sekarang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)	
1	19	265	19	250	2
2	19	265	19	250	2
3	19	265	19	250	2
4	19	265	19	250	2

c. Tinjauan Terhadap Geser



Gambar 4.41 Tinjauan terhadap Geser

$$\text{Luas tulangan geser (A}_t\text{)} = 0.000133 \text{ m}^2$$

$$\text{Eksentrisitas (e}_s = f\text{)} = 1.1702 \text{ m}$$

$$\text{Panjang penampang balok (L)} = 40 \text{ m}$$

Gaya prategang akhis *Loss of Prestress*

$$P_{eff} = 6044.420 \text{ kN}$$

$$\text{Lebar (b)} = 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Luas Penampang balok (A)} = 0.753 \text{ m}^2$$

Momen inersia terhadap titik berat balok

$$I_x = 0.07654 \text{ m}^3$$

Momen statis luasan plat terhadap titik berat penampang komposit :

$$\begin{aligned} S_x &= b_{eff} \times h_o \times \left(y_{ac} - \frac{h_o}{2} \right) \\ &= 0.255687 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Tahanan momen inersia atas (w}_a\text{)} = 0.38049 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahanan momen inersia bawah (w}_b\text{)} = 0.40910 \text{ m}^3$$

Dimana, nilai $X = 0.00$, dengan percobaan hingga jarak ke 20 m :

Eksentrisitas tendon :

$$\begin{aligned} e &= Y \\ &= \frac{4 \times f \times X}{L^2 \times (L-X)} \\ &= 0,00 \text{ m} \end{aligned}$$

Sudut kemiringan tendon :

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{ATAN} \left[\frac{4 \times f \times (L-2 \times X)}{L^2} \right] \\ &= \text{ATAN} \left[\frac{4 \times 1.1702 \times (40 - 2 \times 0)}{40^2} \right] \\ &= 0.11702 \text{ rad} \end{aligned}$$

Komponen gaya arah X dan Y :

$$\begin{aligned} P_x &= P_{eff} \times \cos \alpha \\ &= 6003 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= P_{eff} \times \sin \alpha \\ &= 706 \text{ kN} \end{aligned}$$

Resultan gaya gesek :

$$\begin{aligned} V_r &= V - P_y \\ &= 1129.26 - 706 \\ &= 424 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tegangan geser yang terjadi :

$$\begin{aligned} f_v &= \frac{V \times S_x}{(b \times I_x)} \\ &= \frac{1129.26 \times 0.255687}{(0.30 \times 0.07654)} \\ &= 4716.35 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Tegangan beton diatas serat atas dan bawah :

$$\begin{aligned} f_a &= - \frac{P_x}{A} + \frac{P_x \times e}{W_a} - \frac{M}{W_a} \\ &= - \frac{6003}{0.753} + \frac{6003 \times 0.00}{0.38049} - \frac{0.00}{0.38049} \\ &= - 7972.22 \text{ kPa} \\ f_b &= - \frac{P_x}{A} + \frac{P_x \times e}{W_b} - \frac{M}{W_b} \\ &= - \frac{6003}{0.753} + \frac{6003 \times 0.00}{0.40910} - \frac{0.00}{0.40910} \\ &= - 7972.22 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Sudut bidang geser :

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{1}{2} \times \text{ATAN} \times \left(\frac{2 \times f_v}{f_b} \right) \\ &= \frac{1}{2} \times \text{ATAN} \times \left(\frac{2 \times 4716.35}{- 7972.22} \right) \\ &= -0.5916 \text{ rad} \end{aligned}$$

Jarak sengkang yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} a_s &= \frac{f_a \times A_t}{(f_v \times b \times \tan \gamma)} \\ &= \frac{-7972.22 \times 0.000133}{(4716.35 \times 0.30 \times \tan 0.5916)} \\ &= 0.0011 \text{ m} \end{aligned}$$

Resume persamaan yang digunakan untuk tinjauan momen dan geser di atas dan di bawah garis netral :

Persamaan I :

$$e = \frac{4 \times f \times X}{L^2 \times (L-X)}$$

Persamaan II :

$$\alpha = \text{ATAN} \left[\frac{4 \times f \times (L-2 \times X)}{L^2} \right]$$

Persamaan III :

$$P_x = P_{\text{eff}} \times \cos \alpha$$

Persamaan IV :

$$P_y = P_{\text{eff}} \times \sin \alpha$$

Persamaan V :

$$V_r = V - P_y$$

Persamaan VI :

$$f_v = \frac{V \times S_x}{(b \times I_x)}$$

Persamaan VII :

$$f_a = - \frac{P_x}{A} + \frac{P_x \times e}{W_a} - \frac{M}{W_a} \quad (\text{atas})$$

$$f_b = - \frac{P_x}{A} + \frac{P_x \times e}{W_b} - \frac{M}{W_b} \quad (\text{bawah})$$

Persamaan VIII :

$$\gamma = \frac{1}{2} \times \text{ATAN} \times \left(\frac{2 \times f_v}{f_b} \right)$$

Persamaan IX :

$$a_s = \frac{f_a \times A_t}{(f_v \times b \times \tan \gamma)}$$

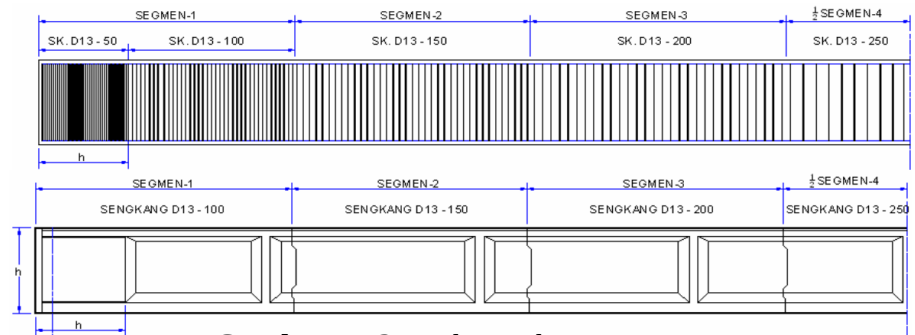
Tabel 4.29 Tinjauan geser di atas garis netral

X (m)	Kombinasi III		Pers. I e (m)	Pers. II α (md)	Pers. III Px (kN)	Pers. IV Py (kN)	Pers. V Vr (kN)	Pers. VI fv (kPa)	Pers. VII fa (kPa)	Pers. VIII γ (rad)	Pers. IX as (m)
	Momen M (kNm)	Geser V (kN)									
0	0,0	1129,26	0,00	0,117	6003	706	424	4716,35	-7972,22	-0,5916	0,0011
1	1102,2	1075,19	0,11	0,111	6007	671	459	5107,60	-9073,12	-0,5629	0,0012
2	2150,4	1021,12	0,22	0,105	6011	635	494	5499,10	-10121,79	-0,5433	0,0013
3	3144,5	967,06	0,32	0,099	6015	600	529	5890,85	-11118,58	-0,5298	0,0014
4	4084,5	912,99	0,42	0,094	6018	565	564	6282,82	-12063,82	-0,5208	0,0015
5	4970,5	858,92	0,51	0,088	6021	530	599	6675,01	-12957,84	-0,5151	0,0015
6	5802,3	804,86	0,60	0,082	6024	495	635	7067,40	-13800,91	-0,5121	0,0015
7	6580,2	750,79	0,68	0,076	6027	459	670	7459,98	-14593,33	-0,5112	0,0015
8	7303,9	696,72	0,75	0,070	6030	424	705	7852,73	-15335,35	-0,5121	0,0015
9	7973,6	642,65	0,82	0,064	6032	389	741	8245,65	-16027,20	-0,5145	0,0015
10	8589,2	588,59	0,88	0,059	6034	353	776	8638,71	-16669,11	-0,5182	0,0015
11	9150,8	534,52	0,93	0,053	6036	318	811	9031,91	-17261,27	-0,5232	0,0015
12	9658,3	480,45	0,98	0,047	6038	283	846	9425,23	-17803,87	-0,5294	0,0014
13	10111,7	426,39	1,03	0,041	6039	247	882	9818,65	-18297,07	-0,5366	0,0014
14	10511,0	372,32	1,06	0,035	6041	212	917	10212,18	-18741,01	-0,5449	0,0013
15	10856,3	318,25	1,10	0,029	6042	177	952	10605,78	-19135,82	-0,5542	0,0013
16	11147,5	264,19	1,12	0,023	6043	141	988	10999,45	-19481,60	-0,5646	0,0012
17	11384,7	210,12	1,14	0,018	6043	106	1023	11393,17	-19778,43	-0,5760	0,0012
18	11567,8	156,05	1,16	0,012	6044	71	1059	11786,94	-20026,39	-0,5886	0,0011
19	11696,8	101,98	1,17	0,006	6044	35	1094	12180,73	-20225,52	-0,6022	0,0011
20	11771,8	47,92	1,17	0,000	6044	0	1129	12574,53	-20375,85	-0,6171	0,0010

Tabel 4.30 Tinjauan geser di bawah garis netral

X (m)	Kombinasi III		Pers. I e (m)	Pers. II α (md)	Pers. III Px (kN)	Pers. IV Py (kN)	Pers. V Vr (kN)	Pers. VI fv (kPa)	Pers. VII fb (kPa)	Pers. VIII γ (rad)	Pers. IX as (m)
	Momen M (kNm)	Geser V (kN)									
0	0,00	1129,26	0,00	0,117	6003	706	424	4716,35	-7972,22	-0,5916	0,0011
1	1102,22	1075,19	0,11	0,111	6007	671	459	5107,60	-8996,50	-0,5677	0,0012
2	2150,38	1021,12	0,22	0,105	6011	635	494	5499,10	-9972,19	-0,5514	0,0013
3	3144,47	967,06	0,32	0,099	6015	600	529	5890,85	-10899,60	-0,5405	0,0014
4	4084,49	912,99	0,42	0,094	6018	565	564	6282,82	-11779,06	-0,5334	0,0014
5	4970,45	858,92	0,51	0,088	6021	530	599	6675,01	-12610,85	-0,5293	0,0014
6	5802,34	804,86	0,60	0,082	6024	495	635	7067,40	-13395,25	-0,5276	0,0014
7	6580,16	750,79	0,68	0,076	6027	459	670	7459,98	-14132,51	-0,5279	0,0014
8	7303,92	696,72	0,75	0,070	6030	424	705	7852,73	-14822,87	-0,5298	0,0014
9	7973,60	642,65	0,82	0,064	6032	389	741	8245,65	-15466,56	-0,5331	0,0014
10	8589,23	588,59	0,88	0,059	6034	353	776	8638,71	-16063,78	-0,5378	0,0014
11	9150,78	534,52	0,93	0,053	6036	318	811	9031,91	-16614,71	-0,5436	0,0013
12	9658,27	480,45	0,98	0,047	6038	283	846	9425,23	-17119,53	-0,5506	0,0013
13	10111,69	426,39	1,03	0,041	6039	247	882	9818,65	-17578,38	-0,5586	0,0013
14	10511,04	372,32	1,06	0,035	6041	212	917	10212,18	-17991,40	-0,5676	0,0012
15	10856,33	318,25	1,10	0,029	6042	177	952	10605,78	-18358,70	-0,5777	0,0012
16	11147,54	264,19	1,12	0,023	6043	141	988	10999,45	-18680,38	-0,5888	0,0011
17	11384,70	210,12	1,14	0,018	6043	106	1023	11393,17	-18956,53	-0,6010	0,0011
18	11567,78	156,05	1,16	0,012	6044	71	1059	11786,94	-19187,19	-0,6143	0,0010
19	11696,80	101,98	1,17	0,006	6044	35	1094	12180,73	-19372,43	-0,6288	0,0010
20	11771,75	47,92	1,17	0,000	6044	0	1129	12574,53	-19512,26	-0,6444	0,001

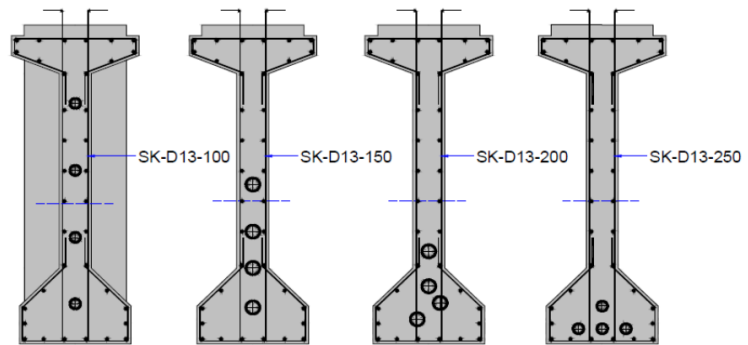
d. Jarak Senggang yang digunakan



Gambar 4.42 Jarak sengkang tiap segmen

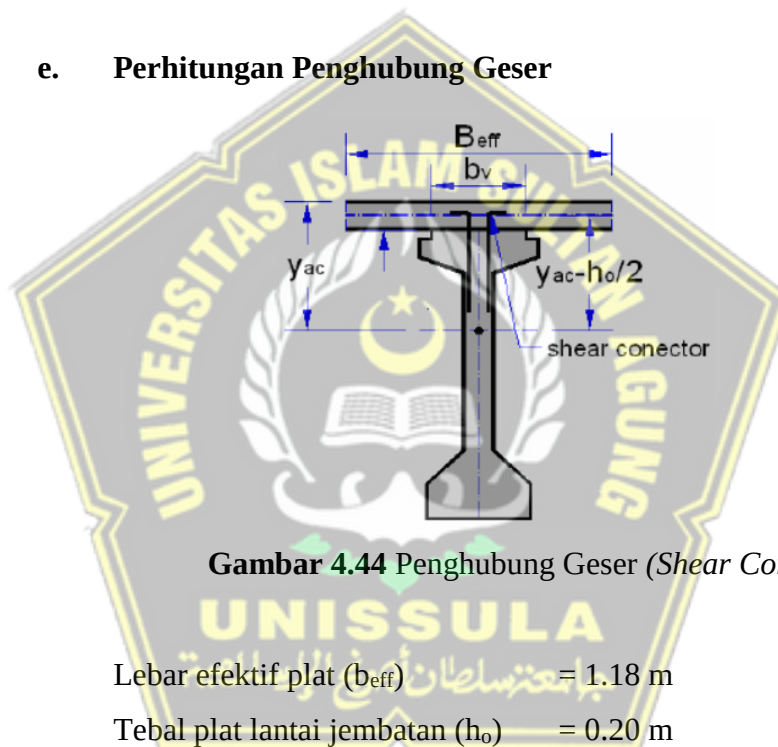
Tabel 4.31 Jarak sengkang yang digunakan

X (m)	Jarak Sengkang D13		
	Tinjauan geser-1	Tinjauan geser-2	Jarak yang diambil
0	11,13	11,13	50
1	12,45	12,21	50
2	13,48	13,04	50
3	14,25	13,64	100
4	14,80	14,04	100
5	15,16	14,28	150
6	15,36	14,38	150
7	15,42	14,37	150
8	15,36	14,25	150
9	15,21	14,06	150
10	14,96	13,79	200
11	14,65	13,46	200
12	14,28	13,08	200
13	13,85	12,67	200
14	13,39	12,22	200
15	12,89	11,74	250
16	12,37	11,25	350
17	11,82	10,73	250
18	11,26	10,21	250
19	10,68	9,67	250
20	10,10	9,13	250



Gambar 4.43 Potongan Melintang Girder dengan Senggang

e. Perhitungan Penghubung Geser



Gambar 4.44 Penghubung Geser (*Shear Conector*)

Lebar efektif plat (b_{eff}) = 1.18 m

Tebal plat lantai jembatan (h_o) = 0.20 m

Lebar bidang gesek (b_v) = 0.64 m

Letak titik berat (y_{ac}) = 1.004 m

Momen inersia balok prategang (I_{xc}) = 0.669 m⁴

Mutu beton (K) = 500

Kuat tekan beton (f_c') = 0.80 x K x 100

= 0.80 x 500 x 100

= 41500 kPa

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ijin beton } (f_{ci}) &= 0.30 \times f_c' \\ &= 12450 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ijin geser } (f_{vi}) &= 0.20 \times f_{ci} \\ &= 2490 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\text{Mutu Baja} = U - 32$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan leleh } (f_y) &= U \times 10^4 \\ &= 320000 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan ijin } (f_s) &= 0.578 \times f_y \\ &= 184960 \text{ kPa}\end{aligned}$$

$$\text{Koefisien gesek pada bidang kotak } (k_t) = 1$$

$$\text{Shear Conector pada tulangan} = D13$$

$$\text{Jumlah besi tulangan } (n_s) = 2$$

Luas satu *Shear Conector* :

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3.14}{4} \times 13^2 \\ &= 0.00013 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Luas total *Shear Conector* :

$$\begin{aligned}A_{st} &= n_s \times A_s \\ &= 2 \times 0.00013 \\ &= 0.00027 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Momen statis luasan plat terhadap titik berat penampang komposit :

$$\begin{aligned}S_x &= b_{eff} \times h_o \times \left(\frac{y_{ac} - h_o}{2} \right) \\ &= 0.21391 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Tegangan geser horisontal akibat gaya lintang pada penampang yang ditinjau dengan perhitungan :

$$\begin{aligned}f_v &= \frac{V_i \times S_x}{(b_v \times I_{xc})} \\ &= 552.642 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tabel 4.32 Perhitungan Jarak *Shear Conector*

X (m)	KOMB. I Vi (kN)	KOMB. II Vi (kN)	KOMB. III Vi (kN)	KOMB. I fv (kN)	KOMB. II fv (kN)	KOMB. III fv (kN)	KONTROL fvi 2490	KOMB. I as (kN)	KOMB. II as (kN)	KOMB. III as (kN)	Diambil Jarak Shear Conect (mm)
0	1109,10	1125,44	1129,26	552,64	560,79	562,69	< fvi (aman)	0,03	0,03	0,03	100
1	1056,04	1071,37	1075,19	526,20	533,84	535,75	< fvi (aman)	0,03	0,03	0,03	100
2	1002,98	1017,31	1021,12	499,77	506,90	508,81	< fvi (aman)	0,03	0,03	0,03	100
3	949,92	963,24	967,06	473,33	479,96	481,87	< fvi (aman)	0,03	0,03	0,03	100
4	896,86	909,17	912,99	446,89	453,02	454,93	< fvi (aman)	0,03	0,03	0,03	100
5	843,80	855,11	858,92	420,45	426,08	427,98	< fvi (aman)	0,04	0,04	0,04	100
6	790,74	801,04	804,86	394,01	399,14	401,04	< fvi (aman)	0,04	0,04	0,04	150
7	737,68	746,97	750,79	367,57	372,20	374,10	< fvi (aman)	0,04	0,04	0,04	150
8	684,63	692,90	696,72	341,14	345,26	347,16	< fvi (aman)	0,05	0,04	0,04	150
9	631,57	638,84	642,65	314,70	318,32	320,22	< fvi (aman)	0,05	0,05	0,05	150
10	578,51	584,77	588,59	288,26	291,38	293,28	< fvi (aman)	0,05	0,05	0,05	150
11	525,45	530,70	534,52	261,82	264,44	266,34	< fvi (aman)	0,06	0,06	0,06	200
12	472,39	476,64	480,45	235,38	237,50	239,40	< fvi (aman)	0,07	0,06	0,06	200
13	419,33	422,57	426,39	208,94	210,56	212,46	< fvi (aman)	0,07	0,07	0,07	200
14	366,27	368,50	372,32	182,51	183,62	185,52	< fvi (aman)	0,08	0,08	0,08	200
15	313,21	314,44	318,25	156,07	156,68	158,58	< fvi (aman)	0,10	0,10	0,10	200
16	260,15	260,37	264,19	129,63	129,74	131,64	< fvi (aman)	0,12	0,12	0,12	250
17	207,09	206,30	210,12	103,19	102,80	104,70	< fvi (aman)	0,15	0,15	0,15	250
18	154,04	152,23	156,05	76,75	75,86	77,76	< fvi (aman)	0,20	0,20	0,20	250
19	100,98	98,17	101,98	50,31	48,91	50,82	< fvi (aman)	0,31	0,31	0,30	250
20	47,92	44,10	47,92	23,88	21,97	23,88	< fvi (aman)	0,64	0,70	0,64	250

4.5.8 Lendutan Balok

4.5.8.1 Lendutan pada Balok Prestress (Sebelum Composit)

Modulus Elastisitas Balok Prategang (E_{balok}) = $3.6E+07$ kPa

Momen inersia terhadap titik berat balok (I_x) = 0.07654 m^4

Panjang balok Prategang (L) = 40 m

- Nilai keamanan untuk Lendutan :

$$= \frac{L}{240}$$

$$= 0.1667 \text{ m ke atas}$$

a. Lendutan pada Keadaan Awal (Transfer)

Gaya Prategang awal (P_t) = 1711.673 kN

Momen maksimum berat balok (M_{balok}) = 3836.73 kNm

Eksentrisitas tendon (e_s) = 1.1702 m

$$Q_{Pt} = \frac{8 \times P_t \times e_s}{L^2}$$
$$= 10.015 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok} = \frac{8 \times M_{balok}}{L^2}$$
$$= 19.184 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{(-Q_{Pt} + Q_{balok}) \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)}$$
$$= 0.11 \text{ m} < 0.1667$$

OK

b. Lendutan Setelah Loss of Prestress

Gaya Prategang akhir (P_{eff}) = 6044.42 kN

Momen maksimum berat balok (M_{balok}) = 3836.73 kNm

Eksentrisitas tendon (e_s) = 1.1702 m

$$Q_{Peff} = \frac{8 \times P_{eff} \times e_s}{L^2}$$
$$= 35.366 \text{ kN/m}$$

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

$$= 19.184 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{(-Q_{\text{eff}} + Q_{\text{balok}}) \times L^4}{(E_{\text{balok}} \times I_x)}$$

$$= -0.916 \text{ m} < 0.1667$$

OK

c. Lendutan Setelah Plat Selesai di Cor (Beton Muda)

$$\text{Gaya Prategang akhir } (P_{\text{eff}}) = 6044.42 \text{ kN}$$

Momen maksimum berat balok dan Plat :

$$(M_{\text{balok} + \text{plat}}) = 3836.73 + 1.800$$

$$= 5636.73 \text{ kNm}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } (e_s) = 1.1702 \text{ m}$$

$$Q_{\text{Peff}} = \frac{8 \times P_{\text{eff}} \times e_s}{L^2}$$

$$= 35.366 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok+plat}} = \frac{8 \times M_{\text{balok+plat}}}{L^2}$$

$$= 28.184 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{(-Q_{\text{Peff}} + Q_{\text{balok+plat}}) \times L^4}{(E_{\text{balok}} \times I_x)}$$

$$= -0.09 \text{ m} < 0.1667$$

OK

d. Lendutan Setelah Plat dan Balok Menjadi Komposit

$$\text{Gaya Prategang akhir } (P_{\text{eff}}) = 6044.42 \text{ kN}$$

Momen maksimum berat balok dan Plat :

$$(M_{\text{balok} + \text{plat}}) = 3836.73 + 1.800$$

$$= 5636.73 \text{ kNm}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } (e'_s) = 1.1652 \text{ m}$$

$$Q_{Peff} = \frac{8 \times P_{eff} \times e_s}{L^2}$$

$$= 35.215 \text{ kN/m}$$

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

$$= 28.1834 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{(-Q_{Peff} + Q_{balok+plat}) \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)}$$

$$= -0.01 \text{ m} < 0.1667$$

OK

4.5.8.2 Lendutan pada Balok Komposit

$$\text{Gaya Prategang awal } (P_t) = 1711.673 \text{ kN}$$

$$\text{Momen maksimum berat balok } (M_{balok}) = 3836.73 \text{ kNm}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } (e'_s) = 1.1652 \text{ m}$$

$$\text{Panjang bentang balok } (L) = 40 \text{ m}$$

$$\text{Gaya Prategang akhir } (P_{eff}) = 6044.42 \text{ kN}$$

$$A_c = 0.989 \text{ m}^2$$

$$\text{Momen sisi atas plat } (W_{ac}) = 0.66644 \text{ m}^3$$

$$\text{Momen sisi bawah plat } (W_b) = 0.51602 \text{ m}^3$$

- Nilai keamanan untuk Lendutan :

$$= \frac{L}{240} = 0.1667 \text{ m ke atas}$$

a. Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

$$Q_{TD} = 34.092 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{TD} \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)}$$

$$= 0.05 \text{ m} < 0.1667$$

OK

b. Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

$$Q_{MA} = 4.792 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{MA} \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)}$$

$$= 0.01 \text{ m} < 0.1667$$

OK

c. Lendutan Akibat Prestress (PR)

$$P_{\text{eff}} = 6044.42 \text{ kN/m}$$

$$e'_s = 1.1652 \text{ m}$$

$$\delta = 8 \times \frac{P_{\text{eff}} \times e'_s}{L^2}$$

$$= -0.05 \text{ m} < 0.1667$$

OK

d. Lendutan Akibat Susut dan Rangkak (SR)

$$P_s = 712.132 \text{ kN}$$

$$e' = 0.904 \text{ m}$$

1) Lendutan Akibat Susut (Shrinkage)

$$Q_{\text{PS}} = 8 \times \frac{P_s \times e'_s}{L^2}$$

$$= 3.219 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{\text{PS}} \times L^4}{(E_{\text{balok}} \times I_x)}$$

$$= 0.00 \text{ m} < 0.1667$$

OK

2) Lendutan Akibat Rangkak (Creep)

Lendutan pada balok setelah plat lantai dicor :

$$\delta_1 = -0.09 \text{ m}$$

Lendutan pada balok setelah menjadi komposit

$$\delta_2 = -0.01 \text{ m}$$

Lendutan akibat rangkak :

$$\delta = \delta_1 - \delta_2$$

$$= -0.09 - (-0.01)$$

$$= 0.08 \text{ m}$$

Lendutan (superposisi) akibat susut dan rangkak :

$$\delta = \delta (\text{akibat susut}) + \delta (\text{akibat rangkak})$$

$$= 0.00 + 0.08$$

$$= 0.08 < 0.1667$$

OK

e. Lendutan Akibat Beban Lajur “D” (TD)

$$Q_{TD} = 14.175 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = 88.2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{1}{48} \times \frac{P_{TD} \times L^3}{(E_{balok} \times I_x)} + \frac{5}{384} \times \frac{Q_{TD} \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)} \\ &= 0.02 \text{ m} < 0.1667 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

f. Lendutan Akibat Beban Rem (TB)

$$M_{TB} = 152.7 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}\delta &= 0.0642 \times \frac{M_{TB} \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)} \\ &= 0.0007 \text{ m} < 0.1667 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

g. Lendutan Akibat Pengaruh Temperatur (ET)

$$\sum P_t = 1006.41 \text{ kN}$$

$$e_p = 1.1546 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\delta &= 0.0642 \times \frac{\sum P_t \times e_p \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)} \\ &= 0.00 \text{ m} < 0.1667 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

h. Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

$$Q_{EW} = 1.008 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \times \frac{Q_{EW} \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)} \\ &= 0.0014 \text{ m} < 0.1667 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

i. Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)

$$Q_{EQ} = 3.893 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \times \frac{Q_{EQ} \times L^4}{(E_{balok} \times I_x)} \\ &= 0.01 \text{ m} < 0.1667 \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Kontrol Lendutan Balok Terhadap Kombinasi Beban

Lendutan maksimum yang diijinkan :

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{L}{300} \\ &= \frac{40}{300} \\ &= 0.133 \text{ m}\end{aligned}$$

KOMBINASI – 1

Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lendutan	Berat Sendiri MS	Mati tambahan MA	Susut rangkai SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan KOMB.	Keterangan
δ	0,05	0,01	0,09	-0,05	0,02	0,0007				0,12	0,133 (OK)

KOMBINASI – 2

Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lendutan	Berat Sendiri MS	Mati tambahan MA	Susut rangkai SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan KOMB.	Keterangan
δ	0,05	0,01	0,09	-0,05	0,02	0,0007	0,00			0,12	0,133 (OK)

KOMBINASI – 3 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lendutan	Berat Sendiri MS	Mati tambahan MA	Susut rangkak SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan KOMB.	Ket.
δ	0,05	0,01	0,09	-0,05	0,02	0,001		0,0014		0,12	0,133 (OK)

KOMBINASI – 4 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

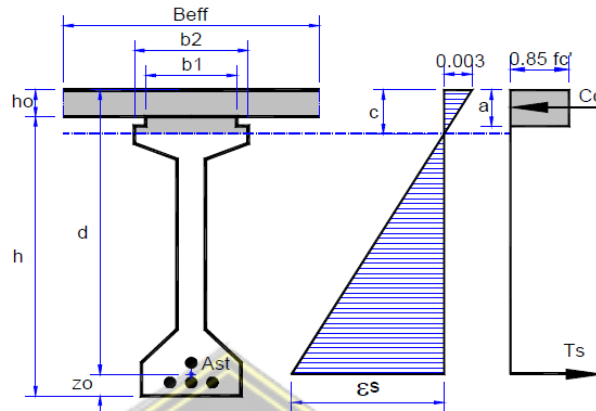
Lendutan	Berat Sendiri MS	Mati tambahan MA	Susut rangkak SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan KOMB.	Ket.
δ	0,05	0,01	0,09	-0,05	0,02	0,0007	0,00	0,0014		0,13	0,133 (OK)

KOMBINASI – 5 Lendutan (m) pada balok komposit akibat beban

Lendutan	Berat Sendiri MS	Mati tambahan MA	Susut rangkak SR	Prategang PR	Lajur "D" TD	Rem TB	Temperatur ET	Angin EW	Gempa EQ	Lendutan KOMB.	Ket.
δ	0,05	0,01	0,09	-0,05					0,01	0,10	0,133 (OK)

4.5.9 Tinjauan Ultimit Balok *Prestress*

4.5.9.1 Kapasitas Momen Ultimit Balok



Gambar 4.45 Dimensi balok ultimit

Modulus Elastisitas Baja (E_s) = 193000 MPa

Jumlah total strands (n_s) = 57 buah

Luas tampang strands (A_{st}) = 0,00010 m²

Tegangan leleh tendon (f_{py}) = 1580 MPa

Luas tampang tendon baja (A_{ps}) = 0,0057 m²

Mutu Beton = K – 500

Kuat tekan beton (f_c') = 41,5 MPa

Panjang bentang balok (L) = 40 m

Tinggi total balok (H) = 2,3 m

Gaya Prestress efektif (P_{eff}) = 6044,42 kN

Tegangan efektif baja prestress (f_{eff}) = 1060,42 MPa

Luas penampakan balok komposit (A_c) = 0,989 m²

Rasio luas baja prestress (ρ_p) = 0,0058

Kuat leleh baja prestress (f_{ps}) dalam keadaan ultimit dirumuskan sebagai berikut :

Untuk nilai, $\frac{L}{H} \leq 35$

$$\frac{40}{2,30} \leq 35$$

$$17,39 \leq 35 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{eff} + 150 + \frac{fc'}{100 \times \rho_p} \\ &= 1060,42 + 150 + \frac{41,5}{100 \times 0,0058} \\ &= 1282,43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{ps} \text{ harus } \leq f_{eff} + 400$$

$$1282,43 \leq 1060,42 + 400$$

$$1282,43 \leq 1460,42 \text{ MPa}$$

Diambil kuat leleh baja prategang :

$$\begin{aligned} f_{ps} &= 0,8 \times f_{py} \\ &= 0,8 \times 1580 \\ &= 1264 \text{ MPa} \\ &= 12640000 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(fc' - 30)}{7} \quad \text{untuk } fc' > 30 \text{ MPa} \\ &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(41,5 - 30)}{7} \\ &= 0,768 \end{aligned}$$

$$\text{Letak titik berat tendon } (z_o) = 0,14 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi efektif balok } (d) = 2,16 \text{ m}$$

$$\text{Kuat tekan beton } (fc') = 41500 \text{ kPa}$$

Gaya tarik pada baja *prestress* :

$$\begin{aligned} T_s &= A_{ps} \times f_{ps} \\ &= 0,0057 \times 12640000 \\ &= 7205 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diperkirakan :

$$a < (h_0 + h_1)$$

dimana :

$$a = \frac{\frac{T_s}{(0,85 \times f_c')} \cdot B_{eff} \times h_0}{b_1 + h_0}$$

$$= \frac{\frac{7205}{(0,85 \times 41,5)} \cdot 1,18 \times 0,2}{0,64 + 0,2}$$

$$= 0,150 \text{ m} < (h_0 + h_1)$$

$$= 0,150 \text{ m} < 0,27 \text{ m} \quad \text{OK}$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{0,150}{0,768}$$

$$= 0,196 \text{ m}$$

Regangan baja prestress :

$$\epsilon_{ps} = \frac{0,003 \times (d - c)}{c}$$

$$= \frac{0,003 \times (2,163 - 0,196)}{0,196}$$

$$= 0,029 < 0,03 \quad \text{OK}$$

Tabel 4.33 Gaya tekan beton dan momen nominal

No.	lebar (m)	tinggi (m)	luas (m ²)	gaya (kN)	lengan (y) (m)	momen (kNm)
1.	1,18	0,165	0,1947	6,866	2,063	14161
2.	0,64	0,015	0,0096	0,339	1,987	672,98
Cc = Ts				7205	Mn	14834
					Ø	0,8
					Mn x Ø	18167

4.5.9.2 Momen Ultimit Balok *Prestress*

a. Momen Akibat Susut dan Rangkak

$$\text{Gaya internal akibat susut } (P_s) = 712,312 \text{ kN}$$

$$\text{Eksentrisitas gaya susut } (e') = 0,904 \text{ m}$$

Momen akibat susut :

$$\begin{aligned} M_s &= - P_s \times e' \\ &= - 712,312 \times 0,904 \\ &= - 643,93 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen akibat rangkak :

$$\begin{aligned} M_R &= (P_i - P_{eff}) \times e_s' \\ &= (6758 - 6044) \times 1,170 \\ &= 835,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen akibat susut dan rangkak :

$$\begin{aligned} M_{SR} &= M_s + M_R \\ &= - 643,93 + 835,16 \\ &= 191,23 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Momen Akibat Pengaruh Temperatur

$$\text{Gaya internal beban temperatur } (P_t) = 1006 \text{ kN}$$

$$\text{Eksentrisitas penampang balok } (e_p) = 1,155 \text{ m}$$

Momen akibat pengaruh temperatur :

$$\begin{aligned} M_{ET} &= P_t \times e_p \\ &= 1006 \times 1,155 \\ &= 1162 \text{ kNm} \end{aligned}$$

c. Momen Akibat Prategang

$$\text{Gaya prategang efektif } (P_{eff}) = 6044 \text{ kN}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon } (e'_s) = 1,165 \text{ m}$$

Momen akibat gaya prategang :

$$\begin{aligned} M_{PR} &= - P_{eff} \times e'_s \\ &= - 6044 \times 1,165 \\ &= - 7043 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 4.34 Resume momen balok

Aksi/Beban	Faktor Beban Ultimit		Momen		Momen Ultimit	
			M	kNm	Mu	kNm
A. Aksi Tetap						
Berat Sendiri	K _{MS}	1,3	M _{MS}	6818	K _{MS} x M _{MS}	8864
Beban Mati Tambahan	K _{MA}	2,0	M _{MA}	958,4	K _{MA} x M _{MA}	1917
Susut dan Rangkak	K _{SR}	1,0	M _{SR}	191,23	K _{SR} x M _{SR}	191,23
Prategang	K _{PR}	1,0	M _{PR}	-7043	K _{PR} x M _{PR}	-7043
B. Aksi Transien						
Beban Lajur "D"	K _{TD}	2,0	M _{TD}	4070	K _{TD} x M _{TD}	8140
Gaya Rem	K _{TB}	2,0	M _{TB}	152,7	K _{TB} x M _{TB}	305,4
C. Aksi Lingkungan						
Pengaruh Temperatur	K _{ET}	1,2	M _{ET}	1162	K _{ET} x M _{ET}	1394
Beban Angin	K _{EW}	1,2	M _{EW}	201,6	K _{EW} x M _{EW}	241,92
Beban Gempa	K _{EQ}	1,0	M _{EQ}	778,6	K _{EQ} x M _{EQ}	778,6

4.5.9.3 Kontrol Kombinasi Momen Ultimit

$$\begin{aligned}
 M_u &= \phi \times M_n \\
 &= 0,8 \times 14838 \\
 &= 18167 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

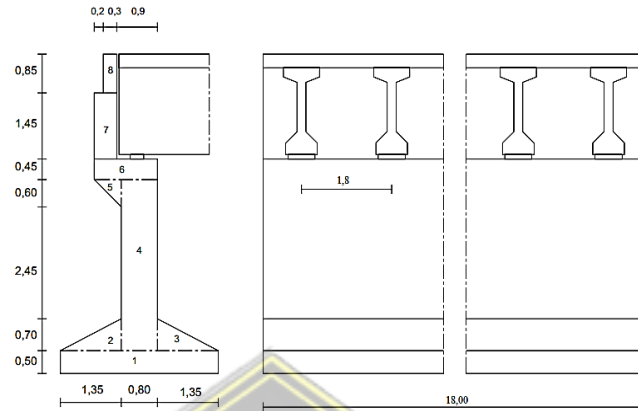
Tabel 4.35 Momen ultimit pada balok komposit akibat beban Kombinasi

KOMBINASI 1											
Momen Ultimit	Berat Sendiri KMS x MMS	Mati Tambahan KMA x MMA	Susut - rangkai KSR x MSR	Prategang KPR x MPR	Lajur "D" KTD x MTD	Rem KTB x MTB	Temperatur KET x MET	Angin KEW x MEW	Gempa KEQ x MEQ	Momen Ultimit KOMB.	Ket.
Mxx	8864	1917	1917	-7043	8140	305,4				14100	< Mu
KOMBINASI 2											
Mxx	8864	1917	1917	-7043	8140	305,4	1394			14549	< Mu
KOMBINASI 3											
Mxx	8864	1917	1917	-7043	8140	305,4		242		14341	< Mu
KOMBINASI 4											
Mxx	8864	1917	1917	-7043	8140		1394	242		14036	< Mu
KOMBINASI 5											
Mxx	8864	1917	1917	-7043					778,6	6433	< Mu

Sehingga balok yang digunakan pada preliminary design diatas dinyatakan aman jika nilai M_u lebih kecil dari M_n dengan diambil nilai terbesar dari beban kombinasi yaitu kombinasi 2 dengan memiliki nilai M_n yaitu 14549 kN lebih kecil dari nilai M_u yaitu 18167 kNm.

4.6 Perencanaan Struktur Bawah

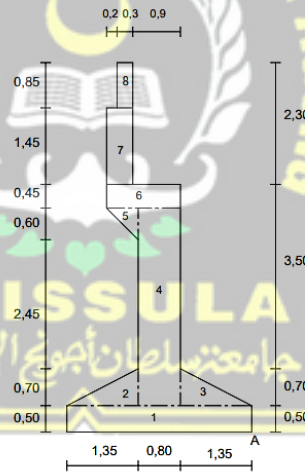
4.6.1 Perencanaan Abutment



Gambar 4.46 Perencanaan dimensi abutment

4.6.1.1 Pembebanan Abutment Gaya Vertikal

a. Gaya Akibat Berat Sendiri Abutment



Gambar 4.47 Titik berat abutment

Tabel 4.36 Perhitungan titik berat abutment

No.	b	h	A	x	y	A . x	A . y	W
1	3,5	0,5	1,75	1,75	0,25	3,0625	0,4375	78,75
2	1,35	0,7	0,4725	2,6	0,733	1,2285	0,34634	21,2625
3	1,35	0,7	0,4725	0,9	0,733	0,42525	0,34634	21,2625
4	0,8	3,75	3,00	1,75	2,375	5,25	7,125	135

5	0,6	0,6	0,18	2,35	4,05	0,423	0,729	8,1
6	1,4	0,45	0,63	2,05	4,475	1,2915	2,81925	28,35
7	0,5	1,45	0,725	2,5	5,425	1,8125	3,93313	32,625
8	0,3	0,85	0,225	2,4	6,575	0,54	1,47938	10,125
Σ			7,455	Σ		14,0333	17,2159	335,475

Panjang Bentang Abutment = 18 m

Berat jenis beton (γ) = 2.5 t/m³

$$\begin{aligned}
 W &= A \times L \times \gamma \\
 &= 1.75 \times 18 \times 2.5 \\
 &= 78.5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Titik berat penampakan abutment (dari titik A) :

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\Sigma Ax}{\Sigma A} \\
 &= \frac{14.0333}{7.455} \\
 &= 1.8824 \text{ m} \\
 Y &= \frac{\Sigma Ay}{\Sigma A} \\
 &= \frac{17.2159}{7.455} \\
 &= 2.30923 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Berat sendiri abutment :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total}} &= W_{\text{ab}} \\
 &= 335.475 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Lengan gaya terhadap titik acuan awal = 1.8824 m

$$\begin{aligned}
 \text{Momen yang terjadi} &= W_{\text{ab}} \times X \\
 &= 335.475 \times 1.8824 \\
 &= 631.496 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

b. Beban Mati Akibat Konstruksi Atas

$$\begin{aligned}
 - \text{ Lapis perkerasan} &= 2 \times 8 \times 32 \times 0.1 \times 2.2 \\
 &= 112.64 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Air ujan = $2 \times 8 \times 32 \times 0.05 \times 1.0$
= 25.60 ton
 - Plat lantai = $2 \times 10 \times 32 \times 0.2 \times 2.5$
= 320 ton
 - Balok prategang = $9 \times 32 \times 0.7235 \times 2.5$
= 520.92 ton
 - Diafragma = $7 \times 2 \times 8 \times 1.08 \times 0.2 \times 2.5$
= 60.48 ton
 - Trotoar 1 = $1 \times 1.5 \times 0.25 \times 32 \times 2.5$
= 30 ton
 - Trotoar 2 = $2 \times 1.0 \times 0.25 \times 32 \times 2.5$
= 40 ton
 - Pipa sandara = $4 \times 32 \times 5.08 \times 10^{-3}$
= 0.65024 ton
 - Tiang sandaran 1 = $30 \times 0.5 \times 9.3 \times 10^{-3}$
= 0.1395 ton
 - Tiang sandaran 2 = $32 \times 0.75 \times 0.25 \times 10^{-3}$
= 30 ton
- Total beban mati (W) = 1140.43 ton

Beban mati yang diterima abutment :

$$W_{ba} = \frac{W}{2}$$

$$= \frac{1140.43}{2}$$

$$= 570.215 \text{ ton}$$

c. Beban Hidup Akibat Konstruksi Atas

Beban terbagi rata :

$$q' = \frac{5.5}{2.75 \times 2.1633} + \frac{2.5}{2.75 \times 2.1633} \times 50\%$$

$$= 5.31 \text{ t/m}$$

Beban garis :

$$K = 1 + \frac{20}{(50 + 32)}$$

$$= 1.2439$$

$$P = \frac{5.5}{2.75 \times 12} + \frac{2.5}{2.75 \times 12} \times 50\% \times 1.2439$$

$$= 36.638 \text{ ton}$$

$$\text{Beban hidup total} = (32.531 + 36.638) \times 2$$

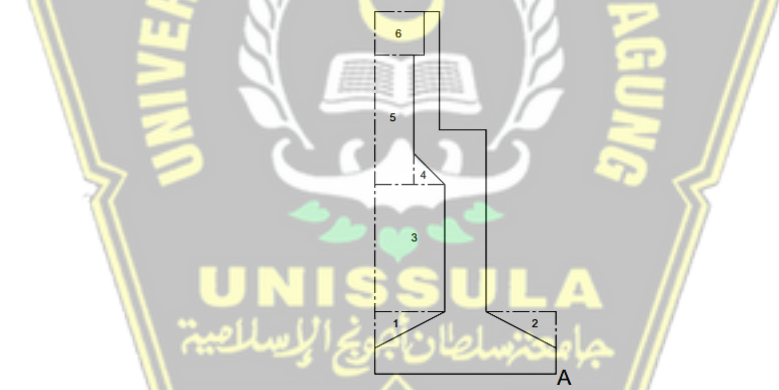
$$= 413.116 \text{ ton}$$

$$\text{Beban hidup tiap abutment} = \frac{\text{Beban hidup total}}{2}$$

$$= \frac{413.116}{2}$$

$$= 206.558 \text{ ton}$$

d. Beban Tanah Vertikal



Gambar 4.48 Beban akibat berat tanah diatas abutment

Berat tanah dihitung dari rumus :

$$W = V \times \gamma$$

Keterangan :

W = Berat tanah (ton)

V = Volume tana yang dihitung (m³)

γ = berat isi tanah pada yang ditinjau (1.6272 t/m³)

Tabel 4. 37 Perhitungan beban tanah

No.	b	h	A	W	x	y	Wx	Wy
1	1,35	0,7	0,4725	13,8393	3,05	0,9666	42,21	13,3771
2	1,35	0,7	0,4725	13,8393	0,45	0,9666	6,2277	13,3771
3	1,35	2,45	3,3075	96,8754	2,825	2,425	273,673	234,923
4	0,6	0,6	0,18	5,27213	2,55	3,85	13,4439	20,2977
5	0,75	2,5	1,40625	41,1885	3,125	4,9	128,714	201,824
6	0,95	0,85	0,8075	23,6514	3,025	6,575	71,5453	155,508
			Wt	194,666			535,814	639,306

$$\begin{aligned}
 W &= A \times L \times \gamma \\
 &= 0.4725 \times 18 \times 1.6272 \\
 &= 15.377 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

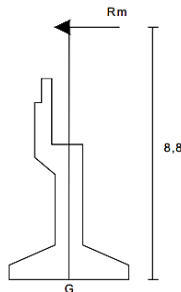
- Titik berat penampakan abutment (dari titik A) :

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\sum Wx}{\sum W} \\
 &= \frac{535.814}{194.666} \\
 &= 2.7525 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{\sum Wy}{\sum W} \\
 &= \frac{639.306}{194.666} \\
 &= 3.2841 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.6.1.2 Pembebanan Abutment Gaya Horizontal

a. Gaya Rem dan Traksi



Gambar 4.9 Beban akibat gaya rem dan traksi

Beban Hidup :

$$q = \frac{5.5}{2.75} \times 2.1633 \times 32$$

$$= 138.451 \text{ ton}$$

$$q = \frac{5.5}{2.75} \times 2.1633 \times 32 \times 0.5$$

$$= 31.466 \text{ ton}$$

$$P = \frac{5.5}{2.75} \times 12$$

$$= 24 \text{ ton}$$

$$P = \frac{5.5}{2.75} \times 12 \times 0.5$$

$$= 5.454 \text{ ton}$$

$$\text{Total beban hidup} = 199.371 \text{ ton}$$

$$R_m = 5\% \times \text{Total beban}$$

$$= 5\% \times 199.371$$

$$= 9.969 \text{ ton}$$

$$\text{Lengan gaya terhadap titik G} = 8.8 \text{ m}$$

$$\text{Momen gaya terhadap titik G} = R_m \times \text{Lengan G}$$

$$= 9.969 \times 8.8$$

$$= 87.727 \text{ tm}$$

b. Gaya Geser Tumpuan dengan Balok Prategang

$$F = f \times W_d$$

Keterangan :

F = Gaya gesek tumpuan dengan balok

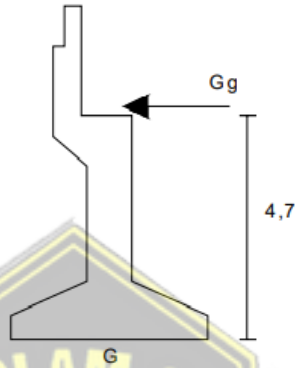
W_{ba} = Beban mati bangunan atas

f = Koefisien gesek antara karet dengan beton/baja ($f = 0.15 - 0.18$)

$$g = 0.15 \times 570.215$$

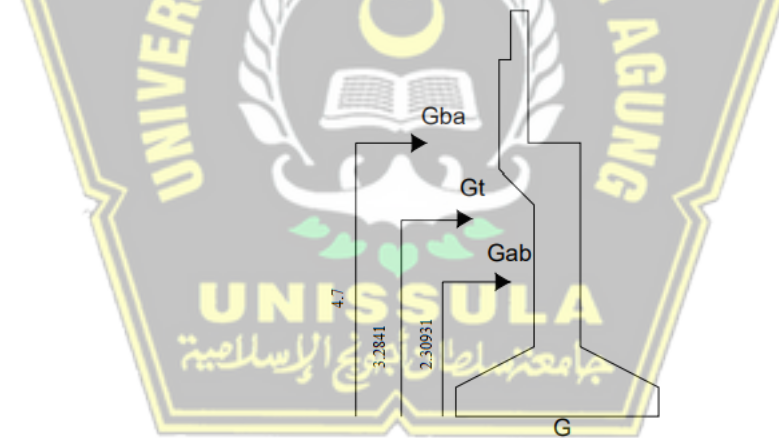
$$= 85.532 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lengan gaya terhadap titik G} &= 4.7 \text{ m} \\
 \text{Momen gaya terhadap titik G} &= g \times G \\
 &= 85.532 \times 4.7 \\
 &= 402.0004 \text{ tm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.50 Beban akibat gaya geser tumpuan

c. Gaya Akibat Gempa



Gambar 4.51 Beban akibat gaya gempa

Gaya gempa arah memanjang :

$$T = C \times W$$

Keterangan :

T = Gaya horizontal akibat gempa

C = Koefisien gempa untuk wilayah Jawa Tengah
(0.14)

W = Muatan mati dari bagian konstruksi yang ditinjau (ton)

- Gaya gempa terhadap bangunan atas :

$$W_{ba} = 570.215 \text{ ton}$$

$$C = 0.14$$

$$\begin{aligned} T_{ba} &= 570.215 \times 0.14 \\ &= 79.8301 \text{ ton} \end{aligned}$$

Lengan gaya terhadap titik G = 4.7 m

$$\begin{aligned} \text{Momen terhadap titik G} &= T_{ba} \times \text{titik lengan} \\ &= 79.8301 \times 4.7 \\ &= 375.2015 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Gaya gempa terhadap abutment :

$$W_{ab} = 335.475 \text{ ton}$$

$$C = 0.14$$

$$\begin{aligned} T_{ab} &= 335.475 \times 0.14 \\ &= 46.9665 \text{ ton} \end{aligned}$$

Lengan gaya terhadap titik G = 2.30931 m

$$\begin{aligned} \text{Momen terhadap titik G} &= T_{ab} \times \text{titik lengan} \\ &= 46.9665 \times 2.30931 \\ &= 108.46 \text{ ton} \end{aligned}$$

- Gaya gempa terhadap beban tanah :

$$W_t = 194.666 \text{ ton}$$

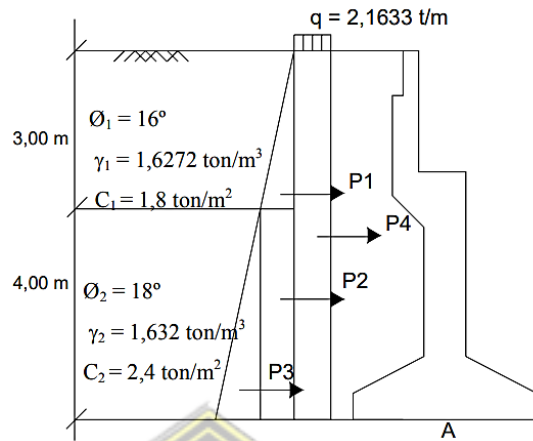
$$C = 0.14$$

$$\begin{aligned} T_t &= 194.666 \times 0.14 \\ &= 27.2532 \text{ ton} \end{aligned}$$

Lengan gaya terhadap titik G = 3.28412 m

$$\begin{aligned} \text{Momen terhadap titik G} &= T_t \times \text{titik lengan} \\ &= 27.2532 \times 3.28412 \\ &= 89.5028 \text{ ton} \end{aligned}$$

d. Tekanan Aktif Tanah



Gambar 4.52 Tekanan Tanah Aktif

➤ Tekanan Tanah Aktif :

- $K_{a1} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$
 $= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{16^\circ}{2} \right)$
 $= 0.568$
- $K_{a2} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$
 $= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{18^\circ}{2} \right)$
 $= 0.528$

➤ Gaya Tekanan Tanah Aktif :

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{1}{2} \times \gamma_1 \times K_{a1} \times H_1^2 \times L_{abutment} \\
 &= \frac{1}{2} \times 1.6272 \times 0.568 \times 3^2 \times 18 \\
 &= 74.8642 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= \gamma_1 \times K_{a1} \times H_1 \times H_2 \times L_{abutment} \\
 &= 1.6272 \times 0.568 \times 3^2 \times 4^2 \times 18 \\
 &= 199.638 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$P_3 = \frac{1}{2} \times \gamma_2 \times K_{a2} \times H_2^2 \times L_{abutment}$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.632 \times 0.528 \times 4^2 \times 18$$

$$= 124.084 \text{ ton}$$

$$P_4 = K_{a1} \times q \times (H_1 + H_2) \times L_{abutment}$$

$$= 0.568 \times 2.1633 \times (3 + 4) \times 18$$

$$= 154.823 \text{ ton}$$

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$= 74.8642 + 199.638 + 124.084 + 154.823$$

$$= 553.409 \text{ ton}$$

$$M_1 = 74.8642 \times 5$$

$$= 374.321 \text{ tm}$$

$$M_2 = 199.638 \times 2$$

$$= 399.276 \text{ tm}$$

$$M_3 = 124.084 \times 1.333$$

$$= 165.404 \text{ tm}$$

$$M_4 = 154.823 \times 3.5$$

$$= 541.881 \text{ tm}$$

$$M_{total} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$$

$$= 374.321 + 399.276 + 165.404 + 541.881$$

$$= 1480.88 \text{ tm}$$

$$Y = \frac{M_{total}}{P_{total}}$$

$$= \frac{1480.88}{553.409}$$

$$= 2.6759 \text{ m}$$

4.6.1.3 Kombinasi Pembebanan

Abutment dapat dilihat dari koombinasi pembebanan yaitu :

Tabel 4.38 Kombinasi pembebanan dan gaya

No.	Kombinasi Pembebanan	Tegangan yang dipakai terhadap Tegangan Ijin
1.	$M + (H + K) + T_a + T_u$	100 %
2.	$M + T_a + Ah + Gg + A + SR + T_m$	125 %
3.	Kombinasi (I) + $R_m + Gg + A + SR + T_m + S$	140 %
4.	$M + Gh + Tag + Gg + Ahg + T_u$	150 %

Tabel 4.39 Kombinasi pembebanan dan gaya I

Beban		Gaya (T)		Jarak Terhadap Acuan (A)		Momen (Tm)	
Jenis	Baian	V	H	x	y	MV	MH
M	Wab	335,475	-	1,88239	-	631,496	-
	Wba	570,215	-	1,75	-	997,876	-
	Wt	194,666	-	2,75248	-	535,814	-
H+K	-	206,558	-	1,75	-	361,477	-
Ta	-	-	553,409	-	2,67592	-	1480,88
Tu	-	-	-	-	-	-	-
Total		1306,91	553,409	8,13487	2,67592	2526,66	1480,88

Tabel 4.40 Kombinasi Pembebanan dan Gaya II

Beban		Gaya (T)		Jarak Terhadap Acuan (A)		Momen (Tm)	
Jenis	Baian	V	H	x	y	MV	MH
M	Wab	335,475	-	1,8824	-	631,4963	-
	Wba	570,215	-	1,75	-	997,8763	-
	Wt	194,666	-	2,752478	-	535,8139	-
Ta	-	-	553,40941	-	2,6759	-	1480,8819
Ah	-	-	-	-	-	-	-
Gg	Gg	-	91,2344	-	4,7	-	428,80168
A	-	-	-	-	-	-	-
SR	-	-	-	-	-	-	-
Tm	-	-	-	-	-	-	-
Total		1100,36	644,6438	6,3848	7,3759	2165,186	1909,683

Tabel 4.41 Kombinasi Pembebanan dan Gaya III

Beban		Gaya (T)		Jarak Terhadap Acuan (A)		Momen (Tm)	
Jenis		V	H	x	y	MV	MH
KOMB. I		1306,914	553,409	-	-	2526,66	1480,8819
Rm		-	9,969	-	8,8	-	87,7272
Gg		-	91,2344	-	4,7	-	428,80168
A		-	-	-	-	-	-
SR		-	-	-	-	-	-
Tm		-	-	-	-	-	-
S		-	-	-	-	-	-
Total			654,613	-	13,5	2526,66	1997,4108

Tabel 4.42 Kombinasi Pembebanan dan Gaya IV

Beban		Gaya (T)		Jarak Terhadap Acuan (A)		Momen (Tm)	
Jenis	Baian	V	H	x	y	MV	MH
M	Wab	335,475	-	1,8823944	-	631,49625	-
	Wba	570,215	-	1,75	-	997,87625	-
	Wt	194,666	-	2,7524779	-	535,81387	-
Gh	Tba	-	79,8301	-	4,7	-	375,2015
	Tab	-	46,9665	-	2,309314	-	108,4604
Tag	Tt	-	27,2532	-	3,284117	-	89,50283
Gg	Gg	-	91,2344	-	4,7	-	428,8017
Ahg	-	-	-	-	-	-	-
Tu	-	-	-	-	-	-	-
Total		1100,36	245,284	6,3848723	14,99343	2165,1864	1001,966

4.6.1.4 Penulangan Abutment

a. Penulangan Badan Abutment

Penulangan badan abutment dilihat dari momen yang bekerja pada dasar abutment, didapatkan dari tabel kombinasi I Tabel 4.43 yaitu sebagai berikut :

$$PV = 1306.914 \text{ ton}$$

$$PH = 654.613 \text{ ton}$$

$$MH = 1997.411 \text{ tm}$$

Direncanakan :

$$f'_c = 41.5 \text{ MPa}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

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

$$d = 800 - 40 - 0.5 \times 22 - 16$$

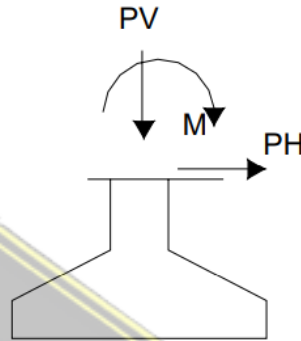
$$= 733 \text{ mm}$$

$$d' = 800 - 733$$

$$= 67 \text{ mm}$$

$$\Phi = 0.65$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= 800 \times 1000 \\
 &= 8 \times 10^5 \text{ mm}^2 \\
 R_I &= 0.85 \times 41.5 \\
 &= 32.275 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.53 Pembebanan pada badan abutment

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{M_u'}{L_{abutment}} \\
 &= 110.9673 \text{ tm} \\
 P_u &= \frac{P_u}{\phi \times A_g \times 0.85 \times f'_c} \\
 &= 1.53 > 0.1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_t &= \frac{M_u}{P_u} \\
 &= 84.908 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{e_t}{h} = \frac{84.908}{800}$$

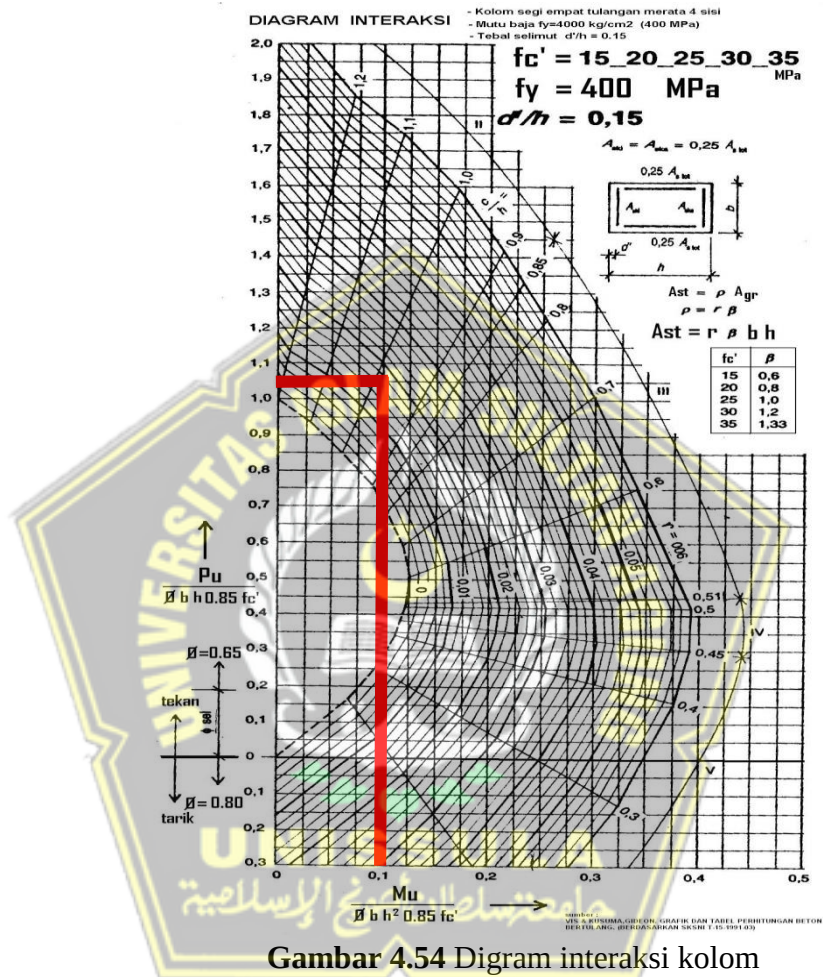
$$= 0.106$$

$$= \frac{P_u}{\phi \times A_g \times 0.85 \times f'_c} \times \frac{e_t}{h}$$

$$= 0.116$$

Dari Grafik 9.8 Buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang dengan tulangan simetris ($A_{ski} = A_{ska} = 0.5 A_{stot}$)

$$\begin{aligned}
 r &= 0.0125 \\
 \beta &= 1.2 \text{ (} f'_c = 30 \text{ MPa)} \\
 \rho &= r \times \beta \\
 &= 0.015
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_{stot} &= \rho \times A_g \\
 &= 12000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{ski} &= A_{ska} \\
 &= D22 - 60 \text{ (} A_s = 6335.5 \text{ mm}^2 \text{)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan bagi} &= 0.2 \times A_s \\
 &= 1267 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi, tulangan yang digunakan untuk penulangan badan abutment adalah **D16 – 50** ($A_s = 1340 \text{ mm}^2$)

b. Tulangan Geser

$$V = \frac{1306.914}{18}$$

$$= 72.6063 \text{ ton}$$

Syarat perlu tulangan geser :

$$V_u > \phi V_c ; \text{ untuk } f'_c 41.5 \text{ Mpa} \rightarrow \phi V_c = 0.55 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{72.6063 \times 10^4}{1000 \times 754} \\ &= 0.9629 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$V_u > \phi V_c$, maka dibutuhkan tulangan geser

$$V_s \leq \phi V_c ; \text{ untuk } f'_c 41.5 \text{ Mpa} \rightarrow \phi V_c = 2.19 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 0.9629 - 0.55 \\ &= 0.4129 > 2.19 \end{aligned}$$

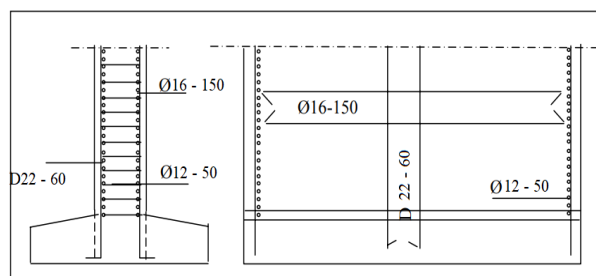
$$\begin{aligned} \text{As sengkang minimal} &= \frac{b \times y}{3 \times f_y} \\ &= 3266.667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As sengkang} &= \frac{(V_s - \phi V_c) \times b \times y}{0.6 \times f_y} \\ &= 5359.86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As sengkang > As sengkang minimum

$$\begin{aligned} \text{Tulangan geser parameter} &= \frac{5359.86}{2.45} \\ &= 2202.392 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi, tulangan yang digunakan untuk penulangan badan abutment pada gaya geser adalah **D12 – 50** ($A_s = 2262 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.55 Penulangan badan abutment

c. Plat Pemisah Balok

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

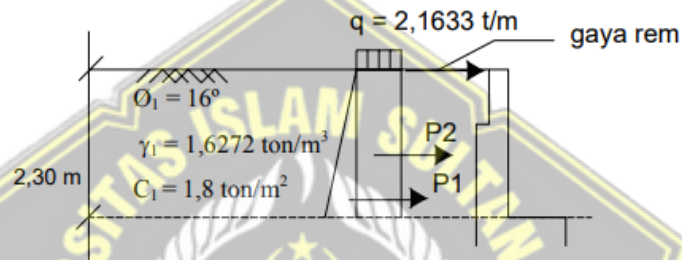
$$h = 800 \text{ mm}$$

$$p = 40 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - p - 0,5 \times 22 \\ &= 800 - 40 - 0,5 \times 22 \\ &= 749 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$f'_c = 41.5 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$



Gambar 4.56 Pembebanan plat pemisah balok

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= 0.568 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{2} \times \gamma_1 \times K_{a1} \times H_1^2 \times L_{abutment} \\ &= \frac{1}{2} \times 1.6272 \times 0.568 \times 2.3^2 \times 18 \\ &= 44.004 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \gamma_1 \times q \times H \times L_{abutment} \\ &= 1.6272 \times 2.1633 \times 2.3 \times 18 \\ &= 50.870 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= 44.004 \times 0.766 \\ &= 33.707 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= 50.870 \times 1.151 \\ &= 58.501 \text{ tm} \end{aligned}$$

Gaya rem : 9.969 ton

$$M_r = \text{gaya rem} \times H$$

$$= 9.969 \times 2.3$$

$$= 22.929 \text{ tm}$$

$$M_{\text{tot}} = M_1 + M_2 + M_r$$

$$= 33.707 + 58.501 + 22.929$$

$$= 1151.364 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Jadi, momen per meter dari panjang abutment yaitu

$$= \frac{1151.364 \times 10^6}{18}$$

$$= 63964664 \text{ Nmm.}$$

$$M_u = \frac{63964664}{0.8}$$

$$= 79955831 \text{ Nmm}$$

$$K = \frac{M}{b \times d^2 \times RI}$$

$$= \frac{79955831}{1000 \times 749^2 \times 25.5}$$

$$= 0.0056$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

$$= 0.0056$$

$$F_{\text{max}} = \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y}$$

$$= 0.3206$$

$F < F_{\text{max}}$

$$\rho = \frac{F \times RI}{f_y}$$

$$= \frac{0.0056 \times 25.5}{320}$$

$$= 0.00045 < \rho_{\text{min}} = 0.0035$$

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

$$= 0.00045 \times 1000 \times 749$$

$$= 2621.5 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D22 – 125 ($A_s = 3041 \text{ mm}^2$)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

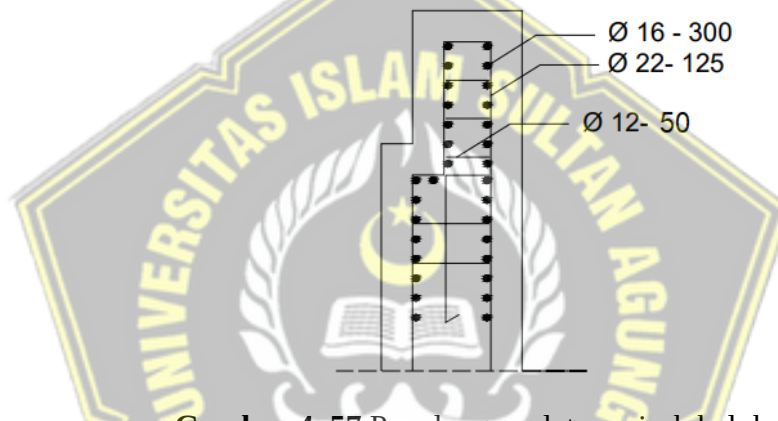
$$= \frac{2621.5}{1000 \times 749}$$

$$= 0.0041 \quad \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$\begin{aligned} \text{Tulangan bagi} &= 0.2 \times A_s \\ &= 0.2 \times 2621.5 \\ &= 608.200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

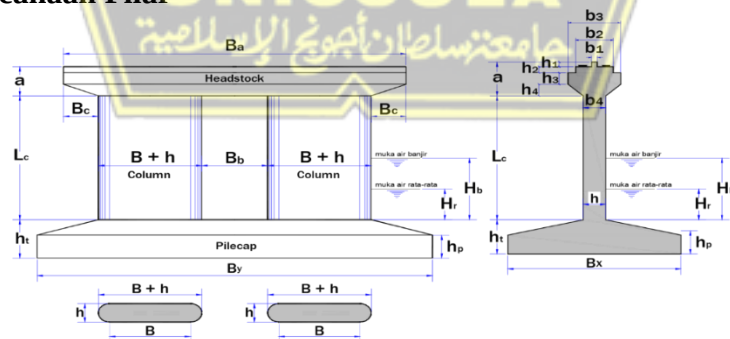
Jadi, tulanan yan dipakai sebagai pemisah balok yaitu

D16 – 300 ($A_s = 670.206 \text{ mm}^2$)



Gambar 4. 57 Penulangan plat pemisah balok

4.7 Perencanaan Pilar



Gambar 4.58 Perencanaan pillar jembatan

a. Data Umum

Headstock			
Notasi	(m)	Notasi	(m)
b_1	0,3	h_1	0,3
b_2	1,9	h_2	0,4
b_3	2,7	h_3	0,75
b_4	1,2	h_4	0,75
B_a	18	a	2,2

b. Data Struktur

Data Sungai		
Kedalaman Air	Notasi	(M)
Saat banjir rencana	H_b	3
Rata-rata tahunan	H_r	1,5
Sudut arah aliran sungai terhadap Pier	θ	10°

Tanah Dasar Pile Cap		
Berat volume, $w_s =$	18,4	kN/m^3
Sudut gesek, $\phi =$	15	$^\circ$
Kohesi, $C =$	5	kPa

Bahan Struktur	
Mutu Beton	K - 300
Mutu Baja Tulangan	U - 39

4.7.1 Analisis Beban Kerja

4.7.1.1 Beban Berat Sendiri (MS)

1. Berat Sendiri Struktur Atas

No.	Beban	Parameter Volume				Berat	Satuan	Berat (kN)
		b (m)	t (m)	L (m)	n			
1	Slab	16	0,2	40	1	25	kN/m3	9000
2	Deck Slab	1,16	0,07	40	9	25	kN/m3	2030
3	Trotoar (slab, sandaran, dll)			40	2	0	kN/m3	0
4	Balok prategang			40	10	21,1	kN/m3	19184
5	Diafragma			40	9	3,88	kN/m3	3878
	Total berat sendiri struktur atas,						PMS =	34092

Letak titik berat struktur atas terhadap pondasi ,

$$\begin{aligned}
 z_a &= \frac{h_t + L_c + a + h_a}{2} \\
 &= \frac{2 + 7 + 2.2 + 2.75}{2} \\
 &= 12,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Berat Sendiri Struktur Bawah

No.	Parameter Berat Bagian				Berat (kN)	Lengan Terhadap Alas		Mom. Stat (Knm)
	b (m)	h (m)	L (m)	Shape		y	(m)	
1	0,3	0,3	18	1	40,5	a-h1/2	2,05	83,025
2	1,9	0,4	18	1	342	a-h1-h2/2	1,7	581,4
3	2,7	0,75	18	1	911	h4+h3/2	1,125	1025,156
4	1,2	0,75	15,2	1	342	h4/2	0,375	128,25
5	1,5	0,75	15,2	1	428	2/3 x h4	0,5	213,75
				Wh=	2063	kN	Mh=	2031,581

Letak titik berat terhadap alas,

$$\begin{aligned}
 y_h &= \frac{M_h}{W_h} \\
 &= \frac{2031.581}{2063} \\
 &= 0,9847
 \end{aligned}$$

Letak titik berat terhadap dasar pondasi

$$\begin{aligned} z_h &= y_h + L_c + h_t \\ &= 0,9847 + 7 + 2 \\ &= 9,98465 \end{aligned}$$

3. Berat Pier Wall (Coloumn)

NO	Parameter Berat Bagian				Σ	Berat (kN)	Lengan y (m)	Mom. Stat (kNm)
	b (m)	h (m)	L (m)	Shape				
1	5	1,2	7	1	2	2100	3,5	7350
2		1,2	7	$\pi/4 \times h^2$	2	475,00881	3,5	1662,531
	Berat Pier Wall				Wc	2575,0088	Mc	9012,531

Letak titik berat terhadap alas

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{M_c}{W_c} \\ &= \frac{9012,531}{2575,0088} \\ &= 3,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Letak titik berat terhadap dasar pondasi

$$\begin{aligned} z_c &= y_c + h_t \\ &= 3,5 + 2 \\ &= 5,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas penampang pier wall

$$\begin{aligned} A &= 2 \times \left(B + h + \frac{\pi}{4} \times h^2 \right) \\ &= 14,261 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Lebar Pier Wall

$$\begin{aligned} B_e &= \frac{A}{h} \\ &= \frac{14,261}{1,2} \\ &= 11,884 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Berat Pile Cap

No.	Parameter berat bagian				Berat	lengan terhadap		mom stat (knm)
	b	h	L	shape		y	(m)	
1	1,2	0,8	17,6	1	422	$hp+(ht-hp)/2$	1,6	675,84
2	6,8	0,8	17,6	0,5	1197	$hp+(ht-hp)/3$	1,467	1755,307
3	8	2	20	1	8000	$hp/2$	0,6	4800
Wp					9619	Mp		7231,147

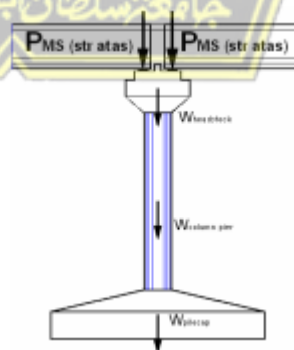
Letak titik berat terhadap alas :

$$\begin{aligned}
 Y_p &= \frac{M_p}{W_p} \\
 &= \frac{7231.147}{9619} \\
 &= 0,751741
 \end{aligned}$$

Letak titik berat terhadap dasar pondasi:

$$\begin{aligned}
 z_p &= y_p \\
 &= 0,751741
 \end{aligned}$$

5. Rekap Berat Sendiri Struktur Bawah

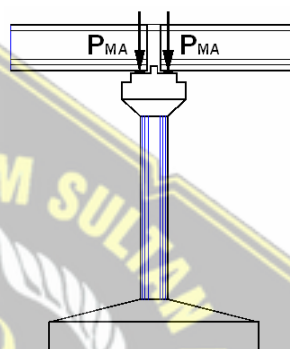


Gambar 4.59 Pembebanan berat sendiri

Tabel 4.43 Rekapitan beban akibat berat sendiri

No.	Berat sendiri	P_{MS} (kN)
1	Struktur atas	34092
2	Struktur bawah	14257,459

4.7.1.2 Beban Mati Tambaan (MA)



Gambar 4.60 Pembebanan Berat Mati Tambahan

Tabel 4.44 Rekapitan beban akibat berat mati tambahan

No	Jenis beban mati tambahan	Tebal (m)	Lebar (m)	Panjang (m)	Jumlah	w (kN/m ³)	Berat (kN)
1	Lap. Aspal + overlay	0,1	6	40	2	22	1056
2	Railing, lights	w =	0,5	40	2		40
3	Instalasi ME	w =	0,1	40	2		8
4	Air hujan	0,05	15	40	1	9,8	294
						$P_{MA} =$	1398

Beban mati tambahan pada pier :

$$P_{MA} = 1398 \text{ kN}$$

Letak titik berat beban mati tambahan terhadap pondasi :

$$z_a = h_t + L_c + a + \frac{h_a}{2}$$

$$= 12,575 \text{ m}$$

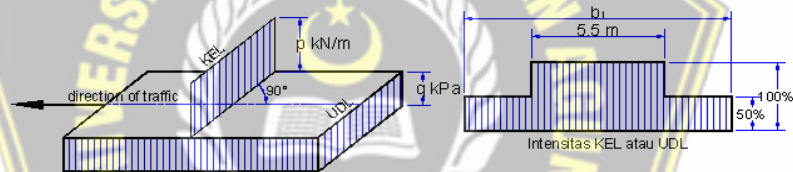
4.7.1.3 Beban Lajur

Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (Uniformly Distributed Load), UDL dan beban garis (Knife Edge Load), KEL seperti terlihat pada **Gambar 4.72**

UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani lalu-lintas seperti Gambar 2 atau dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$q = 8.0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 8.0 \times (0.5 + 15 / L) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L > 30 \text{ m}$$



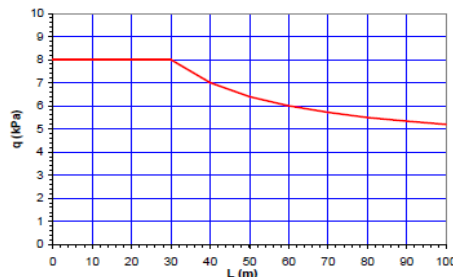
Gambar 4.61 Faktor Beban Garis (KEL)

Untuk panjang bentang, $L=40\text{m}$ yaitu :

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

$$= 7 \text{ kPa}$$

KEL mempunyai intensitas, $p = 44 \text{ kN/m}$



Gambar 4.62 Intensitas Uniformly Distributed Load (UDL)

Faktor beban dinamis (Dynamic Load Allowance) untuk KEL diambil sebagai berikut :

$$DLA = 0.4 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

$$DLA = 0.4 - 0.0025 \times (L - 50) \text{ untuk } 50 < L < 90 \text{ m}$$

$$DLA = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$

$$\text{Untuk } L = 40, \text{ bt} = 7\text{m}, DLA = 0,4$$

Besar beban lajur “D” pada pier,

$$\begin{aligned} P_{TD} &= 2 \times [q \times L \times (5.5 + b) / 2 + p \times DLA \times (5.5 + b) / 2] \\ &= 2 \times (7 \times 40 \times (5,5+6) / 2 + 44 \times 0,4 \times (5,5+6)/2) \\ &= 3422,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.7.1.4 Beban Pedestrian / Pejalan Kaki (TP)

Jembatan jalan raya direncanakan mampu memikul beban hidup merata pada trotoar yang besarnya tergantung pada luas bidang trotoar yang didukungnya. Hubungan antara beban merata dan luasan yang dibebani pada trotoar, dilukiskan seperti Gambar 4 atau dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

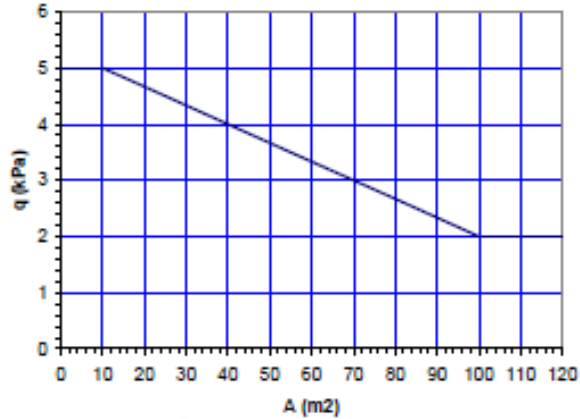
$$\text{Untuk } A \leq 10 \text{ m}^2 : \quad q = 5 \quad \text{kPa}$$

$$\text{Untuk } 10 \text{ m}^2 < A \leq 100 \text{ m}^2 \quad q = 5 - 0.033 \times (A - 10) \text{ kPa}$$

$$\text{Untuk } A > 100 \text{ m}^2 \quad q = 2 \text{ kPa}$$

A = luas bidang trotoar yang dibebani pejalan kaki (m^2)

q = beban hidup merata pada trotoar (kPa)



Gambar 4.63 Pembebanan untuk pejalan kaki

Panjang bentang (L) = 40 m

Lebar trotoar (b_2) = 1 m

Jumlah trotoar (n) = 2

Luas bidang trotoar yang di dukung Pier :

$$\begin{aligned} A &= b_2 \times L \times n \\ &= 80 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Beban merata pada pedestrian (q) = 2 kPa

Beban pada Pier akibat pejalan kaki :

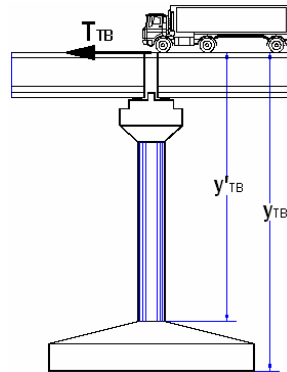
$$\begin{aligned} P_{TP} &= A \times q \\ &= 80 \times 2 \\ &= 160 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.7.1.5 Beban Rem (TB)

Gaya rem, $T_{TB} = 20 \text{ kN}$ untuk $L_t \leq 80 \text{ m}$

Gaya rem, $T_{TB} = 250 + 2.5 \times (L_T - 80)$ untuk
 $80 \leq L_T < 180 \text{ m}$

Gaya rem, $T_{TB} = 500 \text{ kN}$ untuk $L_t \geq 80 \text{ m}$



Gambar 4.64 Posisi beban rem pada pier

Panjang bentan (L) = 40 m

Gaya rem pada pier (untuk 2 jalur lalu lintas) :

$$\begin{aligned} T_{TB} &= 2 \times 250 \\ &= 500 \end{aligned}$$

Lengan terhadap fondasi :

$$\begin{aligned} Y_{TB} &= h_t + L + a + h_{tb} \\ &= 13.3 \end{aligned}$$

Momen pada pondasi akibat gaya rem :

$$\begin{aligned} M_{TB} &= P_{TB} \times Y_{TB} \\ &= 13300 \end{aligned}$$

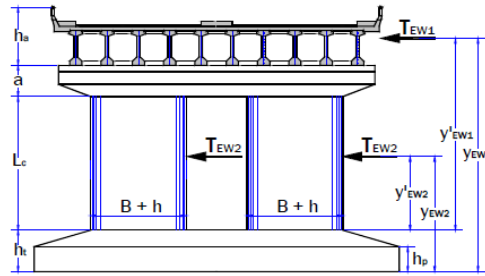
Lengan terhadap dasar *pier wall* :

$$\begin{aligned} Y'_{TB} &= L + a + b_{TB} \\ &= 11.3 \end{aligned}$$

Momen pada *pier wall* akibat gaya rem :

$$\begin{aligned} M_{TB} &= P_{TB} \times Y'_{TB} \\ &= 11300 \end{aligned}$$

4.7.1.6 Beban Angin (EW)



Gambar 4.65 Posisi beban angin

Beban angin dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$T_{ew} = 0,0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b$$

Keterangan :

V_w = kecepatan angin rencana (m/det)

C_w = koefisien seret

A_b = Luas bidang samping jembatan (m^2)

$C_w = 1,25$

$V_w = 35$ m/det

Panjang bentang (L) = 40 m

Tinggi bidang samping atas (h_a) = 27.5 m

Tinggi bidang samping kendaraan (b_k) = 2 m

$Ab_1 = L \times (h_a + h_k)$

= 190 m^2

1. Beban Angin Arah Y (Melintang Jembatan)

• Beban Angin pada Struktur Atas

$$T_{EW1} = 174,563 \text{ kN}$$

Lengan terhadap pondasi :

$$Y_{EW1} = h_t + L_c + a + h_a/2$$

$$= 12,575 \text{ m}$$

Momen pada pondasi akibat angin atas,

$$M_{EW1} = T_{EW1} \times Y_{EW1}$$

$$= 2195,12 \text{ kNm}$$

Lengan terhadap dasar pier wall :

$$\begin{aligned} Y'_{EW1} &= Lc+a+ha/2 \\ &= 10.575 \end{aligned}$$

- **Beban Angin pada Struktur Bawah**

Tinggi bidang samping struktur bawah :

$$\begin{aligned} Lc+a &= 9,2\text{m} \\ Ab2 &= 2 \times h \times (Lc+a) \\ &= 22,08 \text{ m}^2 \\ T_{EW2} &= 20,286 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lengan terhadap pondasi :

$$\begin{aligned} Y_{EW2} &= ht+(Lc+a)/2 \\ &= 6,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen pada pondasi akibat angin atas :

$$\begin{aligned} M_{EW2} &= T_{EW2} \times Y_{EW2} \\ &= 133,888 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Lengan terhadap dasar pier wall :

$$\begin{aligned} Y'_{EW2} &= (Lc+a)/2 \\ &= 4,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen pada pier wall akibat angin atas :

$$\begin{aligned} M'_{EW2} &= T_{EW2} \times Y'_{EW2} \\ &= 20,286 \times 4,6 \\ &= 93,3156 \end{aligned}$$

Total gaya akibat beban angin :

$$\begin{aligned} T_{Ew} &= T_{Ew} + T_{EW2} \\ &= 194.84 \end{aligned}$$

Total momen pada pondasi akibat beban angin :

$$M_{EW1} + M_{EW2} = 2329.01$$

Total momen pada pier wall akibat beban angin :

$$M'_{EW1} + M'_{EW2} = 2329.01$$

Beban garis merata tambahan arah horisintal pada permukaan lantai jembatan akibat beban angin yang meniup kendaraan diatas lantai jembatan dihitung dengan rumus :

$$T_{EW} = 1.76 \text{ kNm}$$

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi 2 m diatas lantai jembatan ($h = 2 \text{ m}$), jarak antar roda kendaraan ($x = 1.75 \text{ m}$).

Gaya pada abutment akibat transfer beban angin ke lantai jembatan :

$$P_{EW} = 2 \times \left(\frac{1}{2} \times \frac{h}{x} \times T_{EW} \right) \times L$$

$$= 80.64 \text{ kN}$$

2. Beban Angin Arah X (Memanjang Jembatan)

Ukuran bidang pier yang ditiup angin :

$$\text{Tinggi} = 9.2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 12.4 \text{ m}$$

Luas bidang pier yang ditiup angin :

$$A_b = 2 \times (B + h) \times (L_c + a)$$

$$= 114.08 \text{ m}^2$$

Beban angin pada struktur atas :

$$T_{EW} = 0.0006 \times C_w \times V_w^2 \times A_b$$

$$= 104.811 \text{ kN}$$

Lengan terhadap pondasi :

$$Y_{EW} = h_t + \frac{(L_c + a)}{2}$$

$$= 6.6 \text{ m}$$

Momen pada pondasi akibat beban angin :

$$M_{EW} = T_{EW} \times Y_{EW}$$

$$= 691.753 \text{ kNm}$$

Lengan terhadap pier wall :

$$Y_{EW} = \frac{(L_c + a)}{2}$$

$$= 4.6 \text{ m}$$

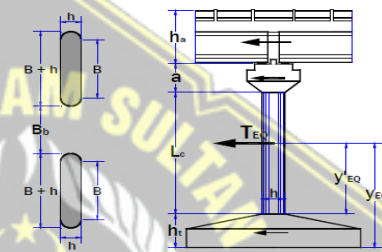
Momen pada pier wall akibat beban angin :

$$M_{EW} = T_{EW} \times Y_{EW}$$

$$= 428.131 \text{ kNm}$$

4.7.1.7 Beban Gempa (EQ)

1. Beban Gempa Arah X (Memanjang Jembatan)



Gambar 4.66 Beban arah X

Luas penampang pier wall :

$$A = 2 \times \left(B \times h + \frac{p}{4} \times h^2 \right)$$

$$= 14.26195 \text{ m}^2$$

Tebal penampang pier wall :

$$h = 1.2 \text{ m}$$

lebar penampang pier wall ekivalen :

$$Be = \frac{A}{h}$$

$$= 11.88496 \text{ m}^2$$

Tinggi pier wall (L_c) = 7 m

Inersia penampang pier wall :

$$I_c = \frac{1}{2} \times Be \times h^3$$

$$= 1.711434 \text{ m}^4$$

Mutu beton = K – 300

Kuat Tekan Beton (f'_c) = 24.9 Mpa

Modulus elastisitas beton, E_c = 23452.95 Mpa

Nilai kekuatan pier wall K_p = 351062.7 kN/m³

Percepatan gravitasi (g) = 9.81 m/det²

Berat sendiri struktur atas, P_{MS} = 34092 kN

Berat sendiri *head stock*, P_{MS} = 2063.25 kN

Separuh berat pier wall = 1287.504 kN

Beban mati struktur atas, P_{MA} = 1398 kN

Berat total (W_t) = 38840.75 kN

Waktu getar alami struktur, T = 0,66726 detik

Dari kurva koefisien geser pada gambar 6 => koefisien geser dasar, C = 0,2

Untuk jembatan dengan sendi plastis, faktor jenis struktur dihitung dengan rumus :

$S = 1.0 \times F$ dengan $F = 1,25 - 0,025 \times n$ dan F harus diambil ≥ 1 yaitu 1,125

F = faktor perangkaan (diambil 1,225)

n = jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral (diambil 1)

Koefisien beban gempa horizontal :

$$K_h = C \times S = 0,2085$$

Untuk jembatan yang memuat >2000 kendaraan/hari, jembatan pad jalan raya utama atau arteri, dan jembatan dimana terdapat route alternatif, maka diambil faktor kepentingan

Gaya gempa :

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= K_h \times I \times W_t \\ &= 0,20825 \end{aligned}$$

Tabel 4.45 Distribusi beban gempa arah X

No	Jenis Beban Mati	W (kN)	T _{EQ} (kN)	Lengan thd fond	Z (m)	T _{EQ} x Z (kNm)
1	Beban Sendiri Struktur Atas	34092	7099,659	Za	12,575	89278,2
2	Beban Mati Tambahan	1398	291,1335	Za	12,575	3661
3	Berat Sendiri Headstock	2063,25	429,6718	Zh	10,024	4307,03
4	Berat Sendiri Pier Wall	2575,01	536,2456	Zc	5,5	2949,35
5	Berat Sendiri Pilecap	9616,2	2002,574	Zp	0,752	1505,94
gaya pd fondasi akibat gempa, T _{EQ}			10359,28	kN	M _{EQ}	101702

Lengan terhadap pondasi :

$$\begin{aligned}
 Y_{EQ} &= \frac{M_{EQ}}{T_{EQ}} \\
 &= 9.81743
 \end{aligned}$$

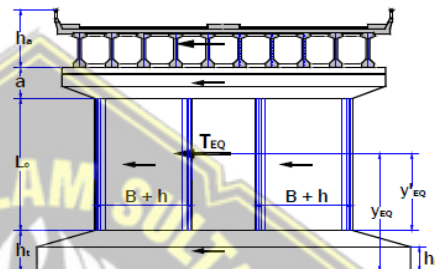
Lengan terhadap pier wall :

$$\begin{aligned} Y'_{EQ} &= Y_{EQ} - h_t \\ &= 7.81743 \end{aligned}$$

Momen pada pier wall akibat beban gempa :

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= T_{EQ} \times Y'_{EQ} \\ &= 80983 \end{aligned}$$

2. Beban Gempa Arah Y (Memanjang Jembatan)



Gambar 4.67 Beban Arah Y

Inersia penampang pier wall

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{1}{2} \times B_e \times h^3 \\ &= 167.8776 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Nilai kekuan :

$$\begin{aligned} K_p &= 3 \times E_c \times \frac{I_c}{L_c^3} \\ &= 34436369 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Waktu getar alami struktur (T)= 0.067372 detik

Koefisien geser dasar (C) = 0.18

Faktor tipe struktur (S) = 1.225

Faktor kepentingan (I) = 1

Koefisien gempa horizontal (Kh) = 0.2205

Gaya gempa (T_{EQ}) = 0.002

Tabel 4.46 Distribusi beban gempa arah Y

No	Jenis Beban Mati	W (kN)	T _{EQ} (kN)	lengan thd fond	Z (m)	T _{EQ} x Z (kNm)
1	Beban Sendiri Struktur Atas	34092	7517,286	Za	12,575	94529,9
2	Beban Mati Tambahan	1398	308,259	Za	12,575	3876,36
3	Berat Sendiri Headstock	2063,25	454,9466	Zh	10,024	4560,38
4	Berat Sendiri Pier Wall	2575,01	567,7894	Zc	5,5	3122,84
5	Berat Sendiri Pilecap	9616,2	2120,372	Zp	0,752	1594,52
gaya pd fondasi akibat gempa, T _{EQ}			10968,65	kN	M _{EQ}	107684

Lengan terhadap pondasi :

$$Y_{EQ} = \frac{M_{EQ}}{T_{EQ}}$$

$$= 9.81743 \text{ m}$$

Lengan terhadap pier wall :

$$\begin{aligned} Y'_{EQ} &= Y_{EQ} - h_t \\ &= 7.81743 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen pada pier wall akibat beban gempa :

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= T_{EQ} \times Y'_{EQ} \\ &= 85746.7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Tekanan Air Lateral Akibat Gempa

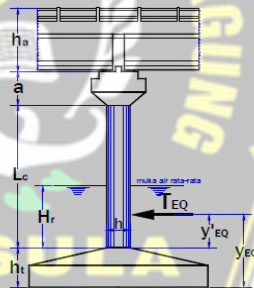
$$W_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$$

$$H_r = 1.5 \text{ m}$$

$$K_h = 0.20825$$

$$I = 1$$

4. Tekanan Air Akibat Gempa Arah X (Memanjang Jembatan)



Gambar 4.66 Tekanan air akibat gempa arah X

Lebar pier arah memanjang jembatan :

$$\begin{aligned} B_p &= 2 \times (B + h) \\ &= 12.4 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air lateral :

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= 0.58 \times K_h \times I \times W_w \times B_p \times H_r^2 \\ &= 33.025 \text{ kN} \end{aligned}$$

Lengan terhadap pondasi :

$$\begin{aligned} Y_{EQ} &= \frac{H_r}{2} + h_t \\ &= 2.75 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen pada pondasi akibat tekanan air

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= T_{EQ} \times Y_{EQ} \\ &= 90.8188 \text{ kNm} \end{aligned}$$

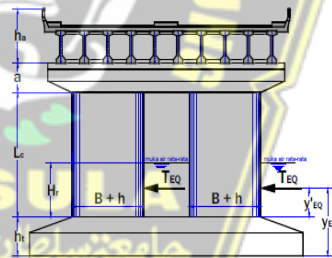
Lengan terhadap pier wall :

$$\begin{aligned} Y'_{EQ} &= \frac{H_r}{2} \\ &= 0.75 \text{ m} \end{aligned}$$

Momen pada pier wall akibat tekanan air lateral :

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= T_{EQ} \times Y'_{EQ} \\ &= 24.7688 \text{ kNm} \end{aligned}$$

5. Tekanan Air Akibat Gempa Arah Y (Memanjang Jembatan)



Gambar 4.69 Tekanan air akibat gempa arah Y

Lebar pier arah melintang jembatan :

$$\begin{aligned} B_p &= 2 \times h \\ &= 2.4 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air lateral :

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= 0.58 \times K_h \times I \times W_w \times B_p \times H_r^2 \\ &= 6.39194 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen pada pondasi akibat tekanan air :

$$\begin{aligned}M_{EQ} &= T_{EQ} \times Y_{EQ} \\&= 17.5778 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Lengan terhadap pier wall :

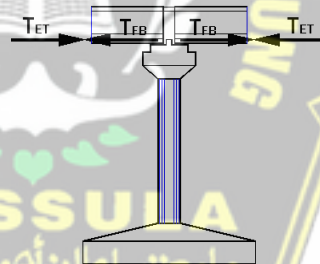
$$\begin{aligned}Y'_{EQ} &= \frac{H_r}{2} \\&= 0.75 \text{ m}\end{aligned}$$

Momen pada pier wall akibat tekanan air lateral :

$$\begin{aligned}M_{EQ} &= T_{EQ} \times Y'_{EQ} \\&= 4.79396 \text{ kNm}\end{aligned}$$

4.7.1.8 Gaya Gesek (FB) dan Pengaruh Temperatur (ET)

Gaya gesek pada perletakan bergerak (T_{FB}) maupun gaya yang ditimbulkan oleh perbedaan temperatur (T_{ET}) resultan gayanya = 0 (saling meniadakan), sehingga gaya-gaya tsb. tidak diperhitungkan dalam analisis Pier.



Gambar 4.70 Gaya gesek akibat temperatur

4.7.2 Kombinasi Beban Kerja

Tabel 4.47 Kombinasi beban kerja

Rekap Beban Kerja Pada Pier			Vertikal	Horizontal		Momen	
No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri	MS	48349,5				
2	Beban Mati Tambahan	MA	1398				
3	Beban Lalu-Lintas						
4	Beban Lajur "D"	TD	3422,4				
5	Beban Pedestrian	TP	160				
6	Gaya Rem	TB		500		6650	
	Aksi Lingkungan						
7	Aliran Air	EF		152,984	23,0299	535,445	80,6046
8	Hanyutan/ Tumbukan	EF			470,4		2069,76
9	Beban Angin	EW	80,64	104,811	194,849	691,753	2329,01
10	Beban Gempa	EQ		10359,3	10968,7	101702	107684
11	Tekanan Air Gempa	EQ		33,025	6,39194	90,8188	17,5778

Tabel 4.48 Kombinasi I beban kerja

Kombinasi-1			Vertikal	Horizontal		Momen	
No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri	MS	48349,46				
2	Beban Mati Tambahan	MA	1398				
	Beban Lalu-Lintas						
4	Beban Lajur "D"	TD	3422,4				
5	Beban Pedestrian	TP	160				
6	Gaya Rem	TB					
	Aksi Lingkungan						
7	Aliran Air	EF					
8	Hanyutan/ Tumbukan	EF					
9	Beban Angin	EW					
10	Beban Gempa	EQ					
11	Tekanan Air Gempa	EQ					
			53329,86	0	0	0	0

Tabel 4.49 Kombinasi II Beban Kerja

Kombinasi-2			Vertikal	Horizontal		Momen	
No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri	MS	48349,46				
2	Beban Mati Tambahan	MA	1398				
	Beban Lalu-Lintas						
4	Beban Lajur "D"	TD	3422,4				
5	Beban Pedestrian	TP	160				
6	Gaya Rem	TB					
	Aksi Lingkungan						
7	Aliran Air	EF		152,9842	23,02988	535,4446	80,60456
8	Hanyutan/ Tumbukan	EF			470,4		2069,76
9	Beban Angin	EW					
10	Beban Gempa	EQ					
11	Tekanan Air Gempa	EQ					
			53329,86	152,9842	493,4299	535,4446	2150,365

Tabel 4.50 Kombinasi III Beban Kerja

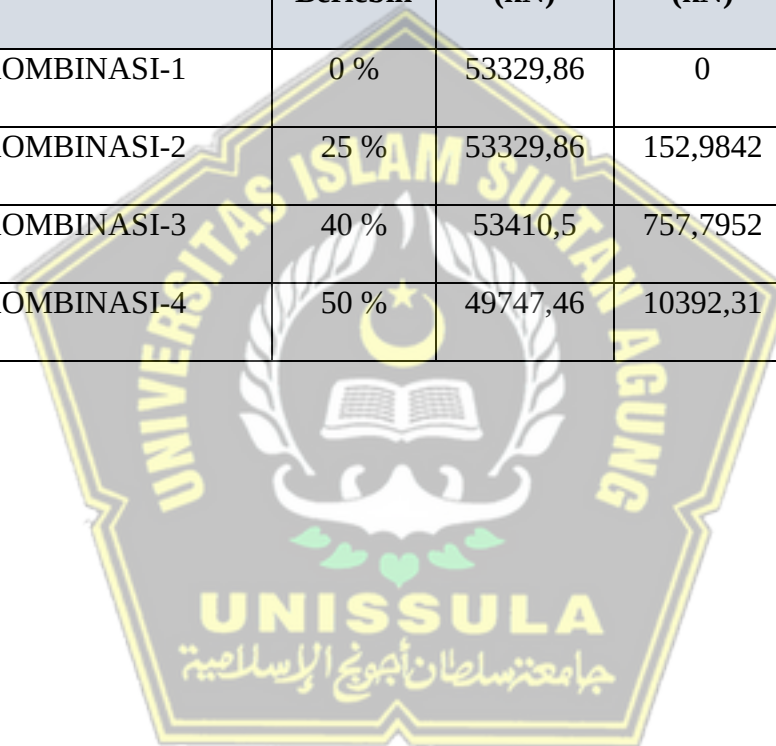
KOMBINASI-3			vertikal	horizontal		momen	
No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri	MS	48349,46				
2	Beban Mati Tambahan	MA	1398				
	Beban Lalu-Lintas						
4	Beban Lajur "D"	TD	3422,4				
5	Beban Pedestrian	TP	160				
6	Gaya Rem	TB		500		6650	
	Aksi Lingkungan						
7	Aliran Air	EF		152,9842	23,02988	535,4446	80,60456
8	Hanyutan/ Tumbukan	EF			470,4		2069,76
9	Beban Angin	EW	80,64	104,811	194,8485	691,7526	2329,011
10	Beban Gempa	EQ					
11	Tekanan Air Gempa	EQ					
			53410,5	757,7952	688,2784	7877,197	4479,376

Tabel 4.51 Kombinasi IV Beban Kerja

KOMBINASI-4			vertikal	horizontal		momen	
No	Aksi/ Beban	Kode	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Aksi Tetap							
1	Berat Sendiri	MS	48349,46				
2	Beban Mati Tambahan	MA	1398				
	Beban Lalu-Lintas						
4	Beban Lajur "D"	TD					
5	Beban Pedestrian	TP					
6	Gaya Rem	TB					
	Aksi Lingkungan						
7	Aliran Air	EF					
8	Hanyutan/ Tumbukan	EF					
9	Beban Angin	EW					
10	Beban Gempa	EQ		10359,28	10968,65	101701,5	107684
11	Tekanan Air Gempa	EQ		33,02503	6,391942	90,81885	17,57784
			49747,46	10392,31	10975,05	101792,4	107701,6

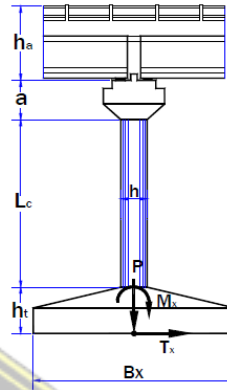
Tabel 4.52 Rekapitan Kombinasi Beban Kerja

No	Kombinasi Beban	Tegangan Berlebih	P (kN)	T _x (kN)	T _y (kN)	M _x (kNm)	M _y (kNm)
1	KOMBINASI-1	0 %	53329,86	0	0	0	0
2	KOMBINASI-2	25 %	53329,86	152,9842	493,4299	535,4446	2150,365
3	KOMBINASI-3	40 %	53410,5	757,7952	688,2784	7877,197	4479,376
4	KOMBINASI-4	50 %	49747,46	10392,31	10975,05	101792,4	107701,6



4.7.3 Kontrol Stabilitas Guling

1. Stabilitas Guling Arah Memanjang Jembatan



Gambar 4.71 Stabilitas guling arah memanjang

Letak titik guling A (ujun pondasi) terhadap pusat pondasi:

k = Persen kelebihan beban yang diijinkan (%)

M_x = Momen penyebab guling

Momen penahan guling :

$$M_p = P \times \left(\frac{B_x}{2} \right) \times (1 + k)$$

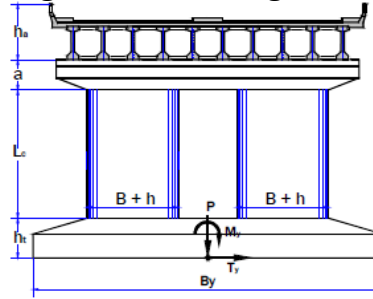
Angka aman terhadap guling :

$$Sf = \frac{M_p}{M_x} \text{ harus } \geq 2.2$$

Tabel 4.53 Rekapan stabilitas guling arah memanjang

No	Kombinasi Beban	k	P (kN)	M _x (kNm)	M _p (kNm)	SF	Ket
1	KOMBINASI-1	0%	53329,86	0	213319,4		
2	KOMBINASI-2	25%	53329,86	535,4446	266649,3	497,996	> 2,2 OK
3	KOMBINASI-3	40%	53410,5	7877,197	299098,8	37,97021	> 2,2 OK
4	KOMBINASI-4	50%	49747,46	101792,4	298484,8	2,932291	> 2,2 OK

2. Stabilitas Guling Arah Melintang Jembatan



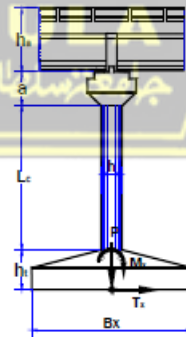
Gambar 4.70 Stabilitas guling arah melintang

Tabel 4.54 Rekapitan stabilitas guling arah melintang

No	Kombinasi Beban	k	P (kN)	My (kNm)	Mp (kNm)	SF	Ket
1	KOMBINASI-1	0%	53329,9	0	533299		
2	KOMBINASI-2	25%	53329,9	2150,36	666623	310,005	> 2,2 OK
3	KOMBINASI-3	40%	53410,5	4479,38	747747	166,931	> 2,2 OK
4	KOMBINASI-4	50%	49747,5	107702	746212	6,92852	> 2,2 OK

4.7.4 Kontrol Stabilitas Geser

1. Stabilitas Geser Arah Memanjang Jembatan



Gambar 4.73 Stabilitas geser arah memanjang

Parameter tanah dasar pile-cap :

Sudut gesek, u = 15°

Kohesi, C = 5kPa

Ukuran dasar pile-cap :

$$B_x = 8\text{m}$$

$$B_y = 20\text{m}$$

k = persen kelebihan beban yang diijinkan (%)

T_x = gaya penyebab geser

Gaya Penahan Geser :

$$H = (C \times B_x \times B_y + P \times \tan\phi \times (1+k)) \text{ harus } \geq 1,1$$

Tabel 4.55 Rekapan stabilitas geser arah memanjang

No	Kombinasi Beban	K	T_x (kN)	P (kN)	H (kN)	SF	Ket
1	KOMBINASI-1	0%	0	53329,86	15089,69		
2	KOMBINASI-2	25%	152,9842	53329,86	18862,12	123,2946	> 1,1 OK
3	KOMBINASI-3	40%	757,7952	53410,5	21155,82	27,9176	> 1,1 OK
4	KOMBINASI-4	50%	10392,31	49747,46	21194,69	2,039459	> 1,1 OK

2. Stabilitas Geser Arah Melintang Jembatan

Parameter tanah dasar pile cap :

Sudut gesek (u) = 15°

Kohesi (C) = 5 kPa

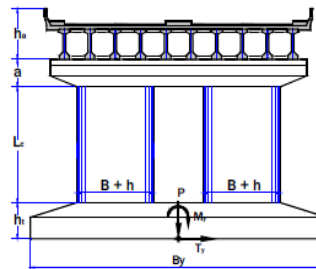
Ukuran dasar pile cap :

$$B_x = 8\text{ m}$$

$$B_y = 20\text{ m}$$

k = persen kelebihan beban yang diijinkan (%)

T_x = Gaya penyebab geser



Gambar 4.74 Stabilitas Geser Arah Melintang

Tabel 4.56 Rekapitan stabilitas geser arah melintang

No	Kombinasi Beban	K	Ty (kN)	P (kN)	H (kN)	SF	Ket
1	KOMBINASI-1	0%	0	53329,9	15089,7		
2	KOMBINASI-2	25%	493,43	53329,9	18862,1	38,2265	> 1,1 OK
3	KOMBINASI-3	40%	688,278	53410,5	21155,8	30,7373	> 1,1 OK
4	KOMBINASI-4	50%	10975	49747,5	21194,7	1,93117	> 1,1 OK

Angka aman (SF) untuk stabilitas geser diambil 50% dari angka aman untuk stabilitas guling, dengan anggapan bahwa 50% gaya lateral didukung oleh tiang bo

4.7.5 Analisis Beban Ultimit

1. Pile Cap

- Beban Ultimit Pile Cap

Tabel 4.57 Beban kerja pile cap

No	Aksi/Beban	Kode Beban	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	Berat Sendiri	MS	48349,46				
2	Beb. Mati tambahan	MA	1398,00				
3	Beban lajur "D"	TD	3422,40				
4	Beban pedestrian	TP	160,00				
5	Gaya Rem	TB		500,00		6650,00	
6	Aliran Air	EF		152,98	23,03	535,44	80,60
7	Hanyutan/Tumbukkan	EF			470,40		2069,76
8	Beban angin	EW	80,64	104,81	194,85	691,75	2329,01
9	Beban gempa	EQ		10359,28	10968,65	101701,53	107683,98
10	Tekanan air gempa	EQ		33,03	6,39	90,82	17,58

Tabel 4.58 Beban ultimit pile cap

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Berat Sendiri	1,3	62854,3				
2	Beb. Mati tambahan	2	2796				
3	Beban lajur "D"	1,8	6160,32				
4	Beban pedestrian	2	320				
5	Gaya Rem	1,8		900		11970	
6	Aliran Air	1		152,984	23,029	535,44	80,6045
7	Hanyutan/Tumbukkan	1			470,4		2069,76
8	Beban angin	1,2	96,768	125,773	233,818	830,103	2794,81
9	Beban gempa	1		10359,3	10968,65	101701	107683,975
10	Tekanan air gempa	1		33,025	6,392	90,819	17,578

Tabel 4.59 Kombinasi I beban ultimit

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Berat Sendiri	1,3	62854,3				
2	Beb. Mati tambahan	2	2796				
3	Beban lajur "D"	1,8	6160,32				
4	Beban pedestrian	2	320				
5	Gaya Rem	1,8		900		11970	
6	Aliran Air	1		152,984	23,03	535,445	80,605
7	Hanyutan/Tumbukkan	1			470,4		2069,76
8	Beban angin						
9	Beban gempa						
10	Tekanan air gempa						
			72130,6	1052,98	493,4299	12505,445	2150,36

Tabel 4.60 Kombinasi II beban ultimit

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Berat Sendiri	1,3	62854,3				
2	Beb. Mati tambahan	2	2796				
3	Beban lajur "D"	1,8	6160,32				
4	Beban pedestrian		320				
5	Gaya Rem	1,8	0	900		11970	
6	Aliran Air		0		0	0	0
7	Hanyutan/Tumbukkan		0		0		0
8	Beban angin	1,2	96,768	125,773	233,8182	830,103	2794,813
9	Beban gempa		0		0		
10	Tekanan air gempa		0		0		
			72227,4	1025,77	233,8182	12800,103	2794,813

Tabel 4.61 Kombinasi III beban ultimit

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Berat Sendiri	1,3	62854,3				
2	Beb. Mati tambahan	2	2796				
3	Beban lajur "D"	1,8	6160,32				
4	Beban pedestrian		320				
5	Gaya Rem	1,8					
6	Aliran Air	1	0	152,984	23,02988	535,445	80,6046
7	Hanyutan/Tumbukkan	1	0	0	470,4	0	2069,76
8	Beban angin	1,2	96,768	125,773	233,8182	830,103	2794,813
9	Beban gempa						
10	Tekanan air gempa						
			72227,4	278,757	727,2481	1365,547727	4945,17781

Tabel 4.62 Kombinasi IV beban ultimit

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Berat Sendiri	1,3	62854,3				
2	Beb. Mati tambahan	2	2796				
3	Beban lajur "D"	1,8	6160,32				
4	Beban pedestrian	2	320				
5	Gaya Rem	1,8	0	900		11970	
6	Aliran Air	1	0	152,984	23,03	535,445	80,604
7	Hanyutan/Tumbukkan	1	0	0	470,4	0	2069,76
8	Beban angin	1,2	96,768	125,773	233,818	830,103	2794,813
9	Beban gempa						
10	Tekanan air gempa						
			72227,4	1178,76	727,25	13335,548	4945,178

Tabel 4.63 Kombinasi V beban ultimit

No	Aksi/Beban	Faktor Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	Berat Sendiri	1,3	62854,3				
2	Beb. Mati tambahan	2	2796				
3	Beban lajur "D"						
4	Beban pedestrian						
5	Gaya Rem						
6	Aliran Air						
7	Hanyutan/Tumbukkan						
8	Beban angin						
9	Beban gempa	1		10359,3	10968,65	101701,532	107684
10	Tekanan air gempa	1		33,025	6,391942	90,819	17,578
			65650,3	10392,3	10975,05	101792,35	107701

Tabel 4.64 Rekapitulasi beban ultimit pile cap

No.	Kombinasi Beban	Pu (kN)	Tux (kN)	Tuy (kN)	Mux (kNm)	Muy (kNm)
1	KOMBINASI-1	72130,62	1052,98	493,43	12505,44	2150,36
2	KOMBINASI-2	72227,38	1025,77	233,82	12800,10	2794,81
3	KOMBINASI-3	72227,38	278,76	727,25	1365,55	4945,18
4	KOMBINASI-4	72227,38	1178,76	727,25	13335,55	4945,18
5	KOMBINASI-5	65650,30	10392,31	10975,05	101792,35	107701,55

4.8 Perencanaan Pondasi

4.8.1 Gaya yang Bekerja

Pembebanan kombinasi diperoleh:

$$PV = 1306.914 \text{ ton}$$

$$PH = 654.6128 \text{ ton}$$

$$MH = 1997.4108 \text{ tm}$$

4.8.2 Perhitungan Gaya Dukung Tanah

a. Kekuatan Bahan Tiang

$$\varnothing \text{ tiang} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{Mutu beton } f'_c = 41.5 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kekuatan beton karakteristik } (\sigma'_{bk}) = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ijin bahan tiang } (\sigma'_b) &= 0.33 \times 600 \\ &= 198 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas penampang beton } (A_{\text{tiang}}) = 1962.5 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} P_{\text{tiang}} &= \sigma'_b \times A_{\text{tiang}} \\ &= 198 \times 1962.5 \\ &= 388.575 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Daya Dukung Tanah

Luas total tiang pancang :

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{3.14}{4} \times 50^2 \\ &= 1962.5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Keliling tiang pancang :

$$\begin{aligned} K &= \pi \times D \\ &= 3.14 \times 50 \\ &= 157 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TF : JHL} &= \text{Total friction kedalaman} - 18\text{m} \\ &= 1230 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\text{Conus Resistance (qc)} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = \frac{qc \times A}{3} + \frac{K \times TF}{5}$$

$$= 202.164 \text{ ton}$$

c. Daya Dukung Kelompok Tiang Pancang

$$\text{Jarak tiang pancang} = 2.5 \times d \leq S \leq 6 \times d$$

$$= 125 \leq S \leq 300$$

$$\text{Diambil jarak tiang pancang arah x} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak tiang pancang arah y} = 120 \text{ cm}$$

$$\text{Beban vertikal normal (PV)} = 1306.914 \text{ ton}$$

$$\text{Momen arah y (My)} = 1997.4108 \text{ tm}$$

$$\text{Jarak tiang ke pusat (Xmax)} = 1.2 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah pondasi tiang pancang (n)} = 80 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tiang pancang 1 baris (ny)} = 10 \text{ buah}$$

$$\sum x^2 = 10 \times 2 \times 1.2^2$$

$$= 28.8 \text{ m}^2$$

$$P_{\max} = \frac{P_v}{n} + \frac{M_y \times X_{\max}}{n_y \times \sum x^2}$$

$$= 69.1939 \text{ ton}$$

Efisiensi tiang berdasarkan rumus *Uniform Building Code (AASHO)*

$$\text{Syarat } S \leq \frac{1.57 \times d \times m \times n}{m+n-2}$$

$$S \leq 1.499 \text{ m}$$

$$\emptyset = \tan^{-1} \times \frac{D}{S}$$

$$= 0.322^\circ$$

$$\text{Diameter tiang pancang} = 0.5 \text{ m}$$

$$E = 1 - \frac{\emptyset}{90} \times \left[\frac{(n-1)m - (m-1)n}{m \times n} \right]$$

$$= 0.9938$$

Daya dukung tiap tiang pada kelompok tiang :

$$\begin{aligned}P_{ult} &= E \times P \\ &= 200.91\end{aligned}$$

Kontrol P_{max} terhadap P_{ult} yang terjadi :

$$\begin{aligned}P_{ult} &> P_{max} \\ 200.91 &> 69.1939 \text{ ton} \quad \text{AMAN}\end{aligned}$$

4.8.3 Perhitungan Pergeseran Tanah Akibat Gaya Lateral

Dari hasil penyelidikan tanah didapatkan data tanah pada kedalaman -5.00 m dari muka tanah sebagai berikut :

$$\gamma = 1.632 \text{ t/m}^3$$

$$\phi = 20^\circ$$

$$c = 2.4 \text{ t/m}^2$$

Ketahanan lateral ultimate (Q_L) rencana untuk tanah kohesif :

$$\begin{aligned}Q_L &= 36 \times C_u \times D^2 + 54 \times \gamma_s \times D^2 \\ &= 32.616 \text{ ton}\end{aligned}$$

Ketahanan lateral total :

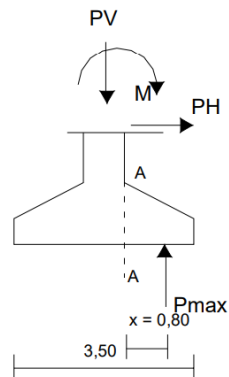
$$\begin{aligned}Q_{L \text{ Tot}} &= n \times Q_L \\ &= 2609 \text{ ton}\end{aligned}$$

Ketahanan lateral ultimate ijin :

$$\begin{aligned}Q^0_L &= 140\% \times Q_{L \text{ Tot}} \\ &= 3652.992 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q^0_L &> H \\ 3652.992 &> 654.6128\end{aligned}$$

4.8.4 Penulangan Pile Cap



Gambar 4.75 Pembebanan poer abutment

Momen yang terjadi pada potongan A – A :

$$\begin{aligned}
 M_{A-A} &= P_{\max} \times (x) \\
 &= 69.1939 \times 0.8 \\
 &= 55.355 \text{ tm} \\
 &= 55.355 \times 10^7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Beban maksimum yang diterima 1 tiang pancang ($P_{\max}$)

Jarak antara badan terluar abutment dengan titik barat pondasi tiang pancang (n)

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{55.355 \times 10^7}{0.8} \\
 &= 691938799.84 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

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

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= 1200 - 40 - 0.5 \times 22 \\
 &= 1149 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RI &= 0.83 \times 41.5 \\
 &= 35.275 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$K = \frac{M}{b \times d^2 \times RI}$$

$$= \frac{691938799.84}{1000 \times 1149^2 \times 35.275}$$

$$= 0.015$$

$$F = 1 - \sqrt{1 - 2K}$$

$$= 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.015}$$

$$= 0.015$$

$$F < F_{\max}$$

$$F_{\max} = \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 450}{600 + 390}$$

$$= 0.39064$$

$$\rho = F \times \frac{RI}{f_y}$$

$$= 0.015 \times \frac{35.275}{390}$$

$$= 0.00135 < \rho_{\min} = 0.0035$$

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

$$= 0.0035 \times 1000 \times 1149$$

$$= 4021.5 \text{ mm}^2$$

Di pakai tulangan D22 – 90 ($A_s = 4223.7 \text{ mm}^2$)

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

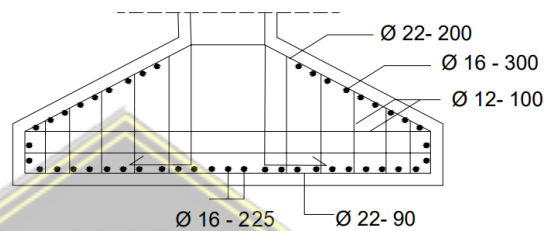
$$= \frac{4223.7}{1000 \times 1149}$$

$$= 4620.7035$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan bagi} &= 0.2 \times A_s \\
 &= 0.2 \times 4223.7 \\
 &= 844.74
 \end{aligned}$$

Jadi yang digunakan untuk tulangan yaitu

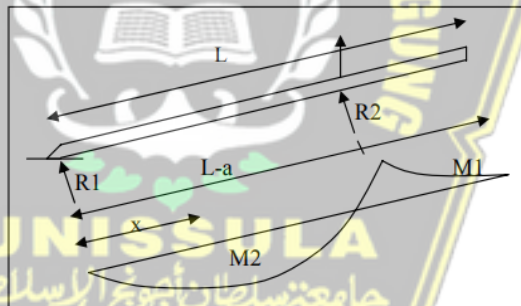
D16 – 225 ($A_s = 1005.3 \text{ mm}^2$)



Gambar 4.76 Penulangan poer abutment

4.8.5 Penulangan Tiang Pancang

a. Momen Akibat Pengangkatan Satu Titik



Gambar 4.77 Pengangkatan satu titik

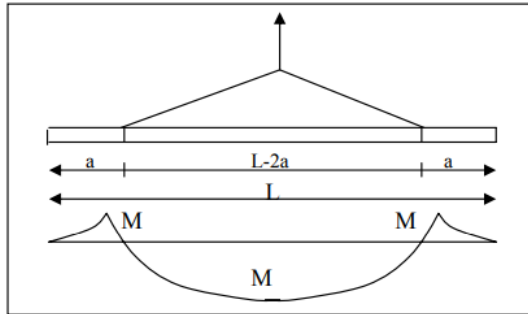
$$a = 3.5417 \text{ m (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \gamma_{\text{beton}} \\
 &= 0.343 \text{ t/m}
 \end{aligned}$$

$$M_1 = M_2 = M_3$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \times q \times a^2 \\
 &= 2.1539 \text{ tm}
 \end{aligned}$$

b. Momen Akibat Pengangkatan Dua Titik



Gambar 4.78 Pengangkatan dua titik

$$a = 0.209 \times L$$

$$= 0.209 \times 10$$

$$= 2.09$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \times q \times a^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 0.343 \times 2.09^2$$

$$= 0.7501 \text{ tm}$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \times q \times (L - 2a) - \frac{1}{2} \times q \times a^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 0.343 \times (12 - 2 \times 2.09) - \frac{1}{2} \times 0.343 \times 2.09^2$$

$$= 0.7040 \text{ tm}$$

Direncanakan dengan diketahui :

$$f'_c = 41.5 \text{ Mpa}$$

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

Diameter tiang pancang (D)= 500 mm

Tebal selimut (p) = 40 mm

Diameter efektif :

$$d = 400 - 40 - 0.5 \times 12 - 8$$

$$= 396 \text{ mm}$$

Untuk $f'_c = 400 \text{ Mpa}$ dan BJTP 32 ($f_y = 320 \text{ Mpa}$)

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} \\ &= \frac{1.4}{390} \\ &= 0.0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0.75 \times \beta_1 \times \left[\frac{0.85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= 0.75 \times 0.85 \times \left[\frac{0.85 \times 41.5}{390} \times \frac{600}{600 + 390} \right] \\ &= 0.035\end{aligned}$$

Tiang pancang yang memiliki bentuk bulat, jadi perhitungan dapat dalam bentuk bujur sangkar dengan memiliki nilai :

$$\begin{aligned}b &= 0.88 \times D \\ &= 0.88 \times 50 \\ &= 425 \text{ mm} \\ RI &= 0.85 \times 41.5 \\ &= 35.275 \text{ MPa} \\ M_n &= \frac{M}{0.8} \\ &= 26924724.88 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K &= \frac{M}{b \times d^2 \times RI} \\ &= 0.004\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F &= 1 - \sqrt{1 - 2K} \\ &= 0.004\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{\max} &= \frac{\beta_1 \times 450}{600 + f_y} \\ &= 0.39064\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= F \times \frac{RI}{f_y} \\ &= 0.0034 < \rho_{\min} = 0.0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0.0035 \times 425 \times 447 \\
 &= 664.9125 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Di pakai tulangan 6 Ø 13 ($A_s = 796 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= 0.0042
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \rho_{\min} & < & \rho & < & \rho_{\max} \\
 0.0036 & < & 0.0042 & < & 0.035
 \end{array}$$

AMAN

4.8.6 Kontrol Terhadap Geser Lentur

$$\begin{aligned}
 V_{\max} &= \frac{1}{2} \times q \times (L - a) - \left(\frac{\left(\frac{1}{2} \times q \times a^q \right)}{(L - a)} \right) \\
 &= 0.7755 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{V_{\max}}{0.9} \\
 &= 0.86166 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{V_n}{0.25 \times \pi \times d^2} \\
 &= 0.0439 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Untuk $f'_c = 41.5 \text{ MPa}$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0.6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 0.6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{41.5} \\
 &= 0.6442 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$V_u < \phi V_c = 0.0439 < 0.6442 \quad \text{(AMAN)}$$

4.8.7 Kontrol Terhadap Tumbukan Hammer

Hammer yang digunakan jenis K – 35 mempunyai berat Hammer yaitu 3.5 ton

Daya dukung satu tiang pancang adalah 69.1939×10^4

Direncanakan :

$$\begin{aligned}\text{Berat Hammer } (W_r) &= 3.5 \text{ ton} \\ &= 35 \text{ kN}\end{aligned}$$

Tinggi jatuh Hammer (H)= 1.5 m

Final *settlement* rata-rata (S)= 2.5 cm

Koefisien untuk double Hammer (C) = 0.1

Kemampuan dukung tiang akibat tumbukan :

$$\begin{aligned}R &= \frac{W_r \times H}{\phi \times (s+c)} \\ &= 2100 < P_{\text{tiang}} \\ &< 691938799.88 \text{ N}\end{aligned}$$

(AMAN)

4.8.8 Penulangan Akibat Tumbukan

Efisiensi Hammer (eh) = 0.8

Tinggi jatuh Hammer (H) = 1.5 m

Final *settlement* rata-rata (S) = 2.5 cm

Penulangan yang diakibatkan oleh tumbukkan dapat menggunakan rumus dari New Engineer Formula :

$$\begin{aligned}P_u &= \frac{eh \times W_r \times H}{s+c} \\ &= \frac{0.8 \times 35 \times 1.5}{0.025+0.1} \\ &= 336 \text{ kN}\end{aligned}$$

Menurut SKSNI – T – 03 – 1991 Pasal 3.3.3.5

Kuat tekan struktur :

$$P_{max} = 0.8 \times (0.85 \times f_c (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st})$$

$$336000 = 0.8 \times (0.85 \times 41.5 (0.5 \times 3.14 \times 500^2 - A_{st}) + 390 \times A_{st})$$

$$A_{st} = -14379.4$$

Karena pada nilai A_{st} adalah negatif maka, menggunakan persamaan :

$$A_{st} = 1\% \times 0.25 \times \pi \times d^2$$

$$= 1\% \times 0.25 \times 3.14 \times 500^2$$

$$= 1962.5 \text{ mm}^2$$

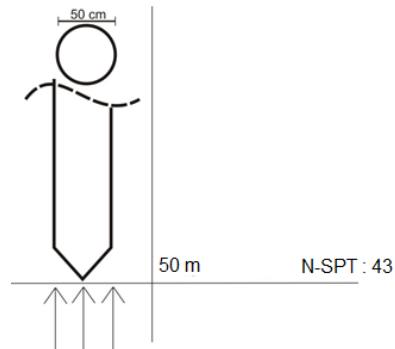
Maka, tulangan yang digunakan adalah **18 Ø 12 ($A_s = 2036$)**



Gambar 4.79 Penulangan tiang pancang

4.8.9 Perhitungan Pondasi

Menggunakan Metode Mayerhof (dengan menggunakan nilai N-SPT)



Gambar 4.80 Detail pondasi tiang pancang

Dimana :

Kedalaman Pondasi = 33 m

Diameter Tiang Pancang (d) = 50 cm

Nilai N – SPT = 31 (Dari Data Borlog pada lampiran)

4.8.9.1 Menentukan Nilai Q_p (Tahanan Ujung Tiang)

Kohesi Undrained :

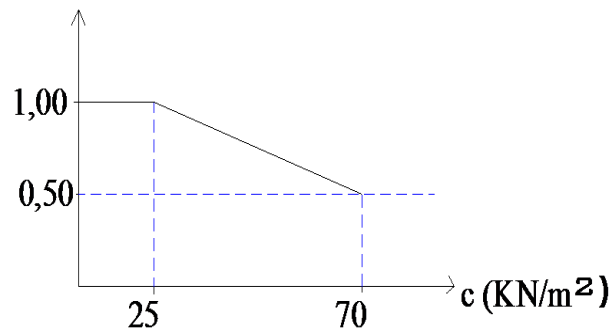
$$\begin{aligned}C_u &= \frac{2}{3} \times N\text{-SPT} \times 10 \\&= \frac{2}{3} \times 31 \times 10 \\&= 206,67 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Tahanan ujung tiang pancang pada pondasi (Q_p)

$$\begin{aligned}Q_p &= 9 \times C_u \times A_p \\&= 9 \times 206,67 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2\right) \\&= 9 \times 206,67 \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,5^2\right) \\&= 36,50 \text{ ton}\end{aligned}$$

4.8.9.2 Menentukan Q_s (Tahanan Gesek Selimut Tiang)

Dalam mencari nilai Q_s memiliki nilai faktor adhesi dengan melihat grafik API metode 2, 1986 :



Gambar 4. 81 Grafik API Methode – 2

a. Kedalaman 0 m – 5 m

$$\begin{aligned} \text{N-SPT} &= \frac{19+21}{2} \\ &= 20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_u &= 0.6 \times \text{N-SPT} \\ &= 0.6 \times 20 \\ &= 12 \text{ kN/m}^2 \\ &= 120 \text{ ton} \rightarrow \text{untuk nilai } \alpha = 0.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\Delta V} &= \alpha \times C_u \\ &= 0.5 \times 120 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= P \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\ &= (\pi \times d) \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\ &= (3.14 \times 0.5) \times 5 \times 60 \\ &= 471 \text{ kN/m}^2 \\ &= 47.1 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Kedalaman 5 m – 17 m

$$\text{N-SPT} = \frac{1+1+1+3+2+2}{5} = 1.6$$

$$\begin{aligned} C_u &= 0.6 \times \text{N-SPT} \\ &= 0.6 \times 1.6 \\ &= 0.96 \text{ kN/m}^2 \\ &= 96 \text{ ton} \rightarrow \text{untuk nilai } \alpha = 0.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{\Delta V} &= \alpha \times C_u \\ &= 0.5 \times 96 \\ &= 48 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_s &= P \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (\pi \times d) \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (3.14 \times 0.5) \times 12 \times 48 \\
 &= 904.32 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 90.432 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

c. Kedalaman 17 m – 30 m

$$\begin{aligned}
 \text{N-SPT} &= \frac{3+4+3+4+5+8+16}{7} \\
 &= 6.14 \\
 C_u &= 0.6 \times \text{N-SPT} \\
 &= 0.6 \times 6.14 \\
 &= 3.684 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 36.84 \text{ ton} \rightarrow \text{untuk nilai } \alpha = 0.85 \\
 f_{\Delta V} &= \alpha \times C_u \\
 &= 0.85 \times 36.84 \\
 &= 31.314 \text{ kN} \\
 Q_s &= P \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (\pi \times d) \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (3.14 \times 0.5) \times 13 \times 31.314 \\
 &= 639.12 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

d. Kedalaman 30 m – 31 m

$$\begin{aligned}
 \text{N-SPT} &= 16 \\
 C_u &= 0.6 \times \text{N-SPT} \\
 &= 0.6 \times 16 \\
 &= 9.6 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 96 \text{ ton} \rightarrow \text{untuk nilai } \alpha = 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\Delta V} &= \alpha \times C_u \\
 &= 1 \times 96 \\
 &= 96 \text{ kN} \\
 Q_s &= P \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (\pi \times d) \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (3.14 \times 0.5) \times 1 \times 96 \\
 &= 150.72 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 15.072 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

e. Kedalaman 31 m – 33 m

$$\begin{aligned}
 N\text{-SPT} &= 31 \\
 C_u &= 0.6 \times N\text{-SPT} \\
 &= 0.6 \times 31 \\
 &= 18.6 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 186 \text{ ton} \rightarrow \text{untuk nilai } \alpha = 0.5 \\
 f_{\Delta V} &= \alpha \times C_u \\
 &= 0.5 \times 186 \\
 &= 93 \text{ kN} \\
 Q_s &= P \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (\pi \times d) \times \Delta L \times f_{\Delta V} \\
 &= (3.14 \times 0.5) \times 2 \times 93 \\
 &= 292.02 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 29.202 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{s \text{ Total}} &= 47.1 + 90.432 + 63.912 + 15.072 + 29.202 \\
 &= 254,718 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

4.8.9.3 Daya Dukung Vertikal

$$\begin{aligned}
 Q_p &= 36,55 \text{ ton} \\
 Q_s &= 254,718
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ultimate} &= Q_p + Q_s \\
 &= 36,55 + 254,718 \\
 &= 291,268 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan dengan data sondir/cpt dan N-SPT, Q_{ult} ($F_s = 2,5$ Tomlinson)

Classification of Structure	Acceptable Probability of Failure	Design Factor of Safety			
		Good Control	Normal Control	Poor Control	Very Poor Control
Monumental	10^{-5}	2,3	3,0	3,5	4,0
Permanent	10^{-4}	2,0	2,5	2,8	3,5
Temporary	10^{-3}	1,4	2,0	2,3	2,8

$$\begin{aligned}
 Q_{allowable} &= \frac{Q_{ultimate}}{FS} \\
 &= \frac{291,268}{2,5} \\
 &= 116,507 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

4.8.9.4 Daya Dukung Pondasi Kelompok Tiang Pancang

Diketahui dari perhitungan diatas pada daya dukun tiang pancang :

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0.333 \\
 E &= 0.994
 \end{aligned}$$

$$m = 6$$

$$n = 10$$

$$L = 1.2 \text{ m (panjang pondasi tian pancang)}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ultimate \text{ grup}} &= (m \times n) \times Q_{ultimate} \times E \\
 &= (6 \times 10) \times 291,268 \times 0.994 \\
 &= 17371 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{allowable}} = \frac{Q_{\text{allowable grup}}}{FS}$$

$$= 6948 \text{ ton}$$

4.8.9.5 Beban yang ditanggung pada Pondasi dalam Keadaan 10 % Horizontal dan 40% Vertikal

a. Mencari momen (M)

$$M = 0.1 \times Q_{\text{allowable}} \times n \times L$$

$$= 8338 \text{ ton}$$

$$\alpha = \frac{M}{2 \times n \times L^2}$$

$$= 104,225$$

Dimana Li adalah jarak antar pusat dengan masing-masing tiang pancang.

b. Mencari Beban (P)

$$P = 0.4 \times Q_{\text{allowable}} \times \text{jumlah tiang}$$

$$= 0.4 \times 6948 \times 10$$

$$= 27936 \text{ ton}$$

$$P_{\text{max}} = V_{\text{pt}} + V_{\text{m}}$$

$$= \frac{P}{m+n} + \alpha \times 0.5 \times d$$

$$= 462,556$$

Untuk mengetahui daya dukung tana pada perencanaan pondasi yang suda direncanakan diatas dengan keadaan aman atau tidak dengan persamaan :

$$P_{\text{max}} < Q_{\text{allowable}}$$

$$462,556 \text{ ton} < 6984 \text{ ton}$$

Sehingga pada perencanaan pondasi dan perhitungan daya dukung diatas keadaan pondasi **AMAN**.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Hasil dari perhitungan perencanaan struktur atas jembatan penghubung Bandar Udara Ahmad Yani Semarang yaitu sebagai berikut :

1. Total kehilangan gaya prategang pada balok girder beton prategang yang terjadi memiliki nilai 27,22% lebih kecil dari perencanaan awal yaitu 30% dengan memiliki nilai M_n yaitu 14834 kNm.
2. Hasil lendutan balok pada tendon yaitu 0,12 m lebih kecil dari lendutan maksimum yang diijinkan sebesar 0,13, maka girder pada perencanaan ini adalah “AMAN”
3. Perhitungan struktur bawah yang meliputi pilar, abutment dan pondasi ini memiliki kedalaman pondasi 33 m dengan menggunakan diameter tiang pancang 50 cm serta memiliki nilai $Q_{allowable}$ sebesar 6984 ton.

5.2 SARAN

1. Sebaiknya perencanaan ini dapat menggunakan aplikasi untuk permodelan dengan mengetahui nilai momen dan lintang secara horizontal secara mudah
2. Perencanaan ini sangat panjang untuk menghitung secara manual dan dapat menghabiskan waktu, sebaiknya menggunakan software atau aplikasi untuk penyelesaian perencanaan struktur, seperti SAP 2000 untuk mengetahui *trial and error*nya suatu beban dan tulangan
3. Pada perhitungan manual harus sangat berhati-hati dan teliti dapat menghitung dan menentukan koefisien aman dan tidak untuk penyelesaiannya.

LAMPIRAN



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG	0.85 1.45 0.45 0.60 2.45 0.70 0.50 1.35 0.90 1.35 DETAIL ABUTMENT	REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AMAD YANI SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG	DIKERJAKAN : 1. ALVINA ROSYIKHA HANUM (30201700017) 2. CITRA DIAN PERTIWI (30201700052)	GAMBAR DETAIL ABUTMENT	DIPERIKSA	Prof. Dr. Ir. Antonius, MT	Skala Halaman	1 : 100	Keterangan :
---	--	---	--	---	--	---	---	--	---



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN
AGUNG SEMARANG

REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN
BANDARA AMAD YANI SEMARANG
DENGAN BETON PRATEGANG

DIKERJAKAN :
1. ALVINA ROSYIKHA HANUM
(30201700017)
2. CITRA DIAN PERTIWI
(30201700052)

GAMBAR POTONGAN
MELINTANG JEMBATAN

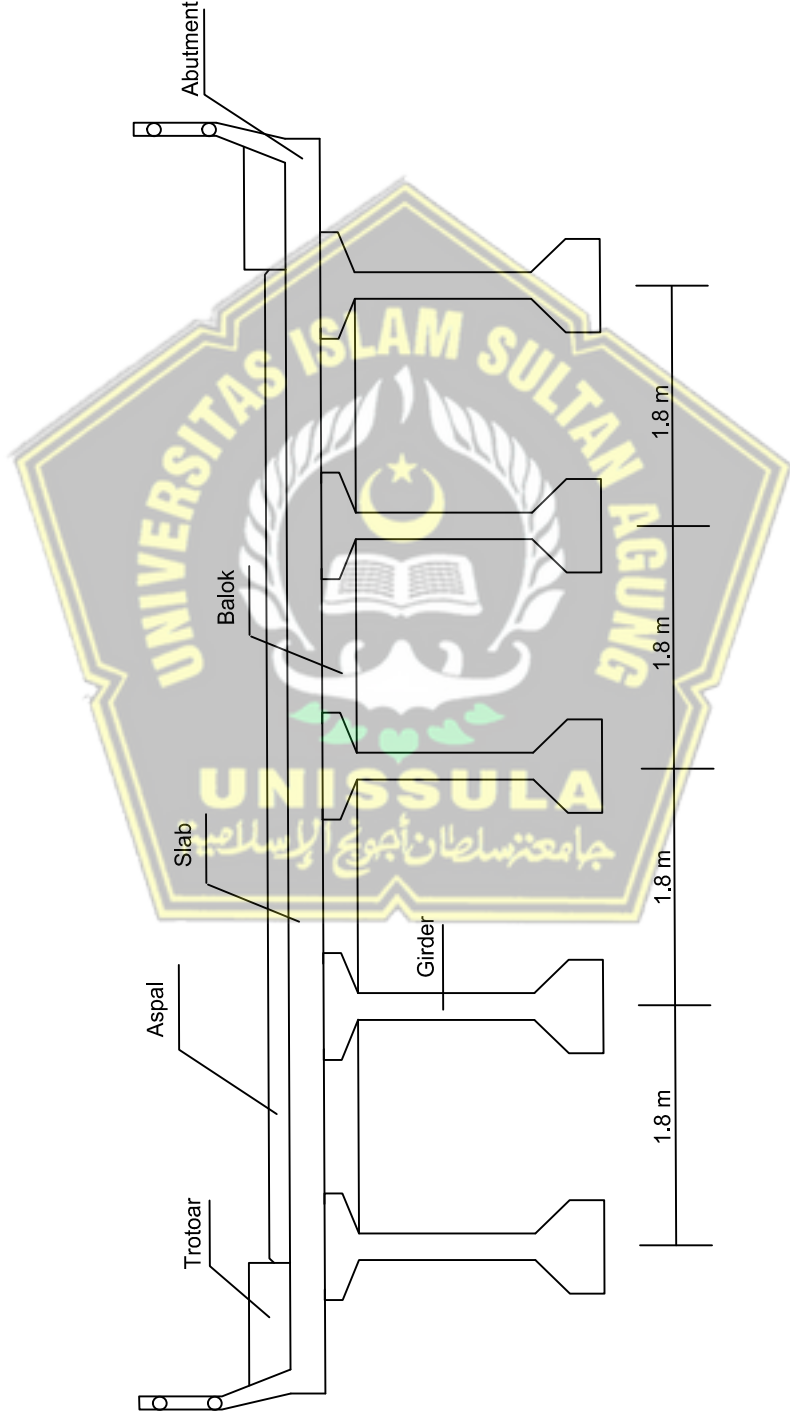
DIPERIKSA

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Skala Halaman

1 : 100

Keterangan :



TAMPAK JEMBATAN



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN
AGUNG SEMARANG

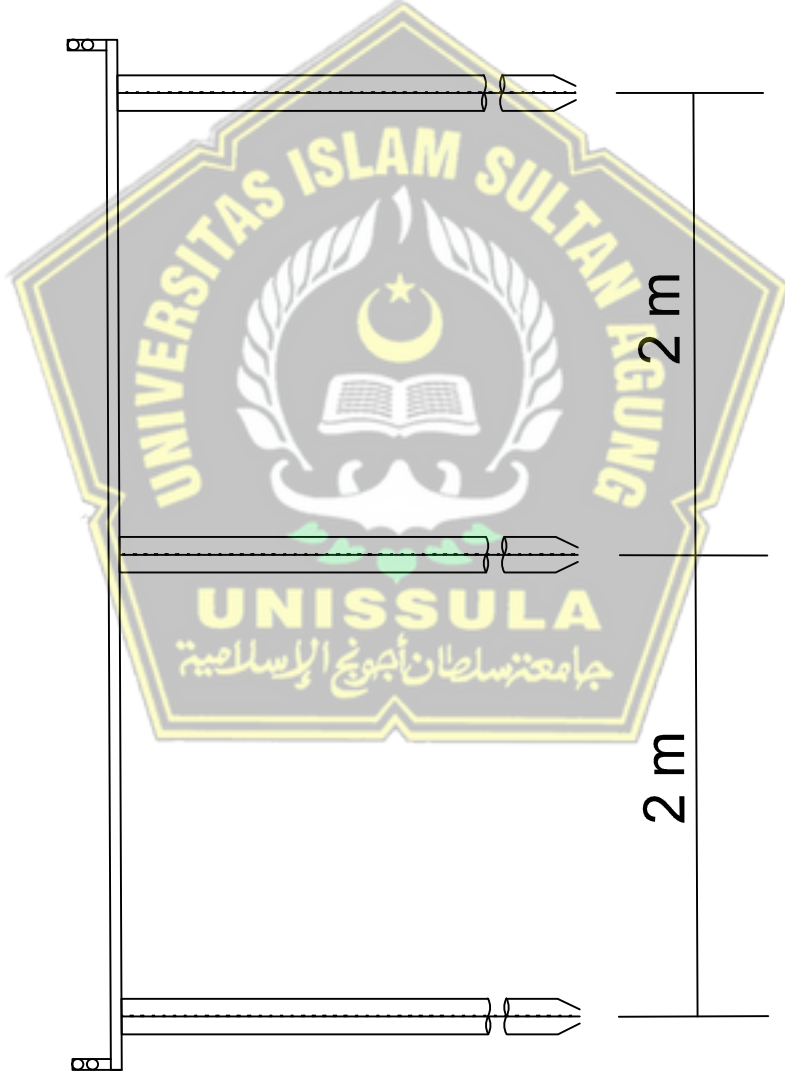
REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN
BANDARA AMAD YANI SEMARANG
DENGAN BETON PRATEGANG

DIKERJAKAN :
1. ALVINA ROSYIKHA HANUM
(30201700017)
2. CITRA DIAN PERTIWI
(30201700052)

GAMBAR DETAIL
PONDASI

DIPERIKSA

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT
Skala Halaman
1 : 100
Keterangan :



PONDASI TIANG PANCANG



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN
AGUNG SEMARANG

REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN
BANDARA AMAD YANI SEMARANG
DENGAN BETON PRATEGANG

DIKERJAKAN :

1. ALVINA ROSYIKHA HANUM
(30201700017)
2. CITRA DIAN PERTIWI
(30201700052)

GAMBAR DETAIL
TENDON BALOK

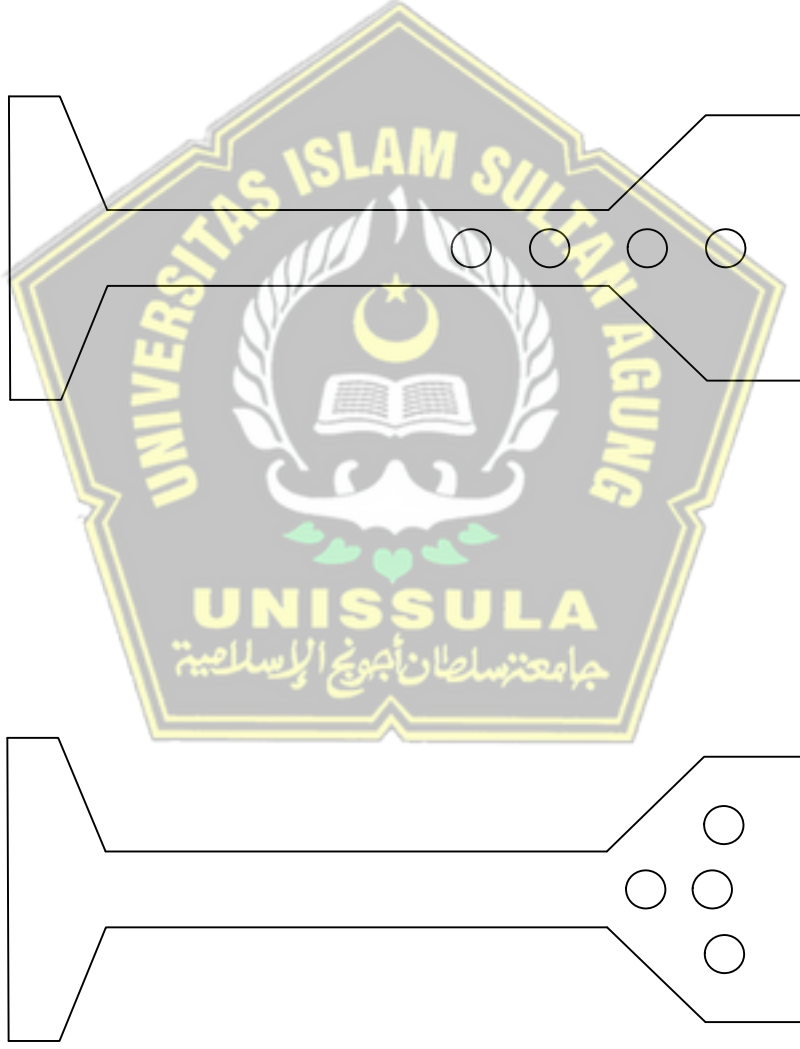
DIPERIKSA

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Skala Halaman

1 : 100

Keterangan :



POSISI TENDON TENGAH BENTANG

POSISI TENDON TUMPUAN

LEMBAR ASISTENSI



Nama : Alvina Rosyikha Hanum

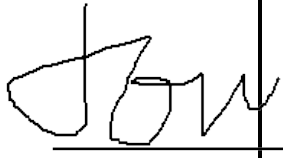
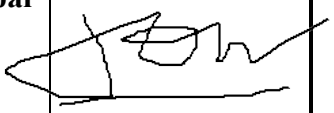
Citra Dian Pertiwi

NIM : 30201700017

30201700052

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	2 Maret 2021	Tugas perencanaan jalan akses bandara A. Yani sepanjang 600 m menggunakan girder prategang. TA meliputi - geometri jalan maupun penampang - analisa pembebanan (termasuk lalu lintas) - desain struktur atas / girder - desain pilar dan abutmen - desain fondasi	
2	28 maret 2021	- buat pemodelan struktur atas - jarak / bentang girder sesuaikan dg yg ada di pasaran - gunakan PCI girder dengan jarak antar girder sesuai standar (1.85 m)	
3	16 april 2021	- analisis struktur girder utk mencari momen maksimum dan gaya geser - rencanakan pula jumlah tendon - lanjutkan ke desain pilar dan abutmen	
4	10 Juni 2021	- ambil beban maksimum untuk keperluan desain struktur bawah - desain abutmen dan pilar sesuai standar terhadap guling, geser dll - persiapan mulai digambar, denah, tampak samping dan potongan melintang.	

5	10 Juli 2021	- Lanjutkan ke desain fondasi - gunakan data tanah utk daerah desain dan di kedalaman dg N SPT di atas 35, krn daerah bandara dominan pasir.	
6	18 Juli 2021	Gambar yg lengkap struktur atas sampai bawah: - denah - potongan melintang - tampak samping - detail-detail	
7	20 Juli 2021	TA Acc, seminar TA	
8	01 Agustus 2021	- Perbaiki tulisan kelengkapan - Benarkan sesuai revisi - Tambahkan lampiran	
9	04 Agustus 2021	Laporan TA Acc, Bisa dijilid	





LEMBAR ASISTENSI



Nama : Alvina Rosyikha Hanum

Citra Dian Pertiwi

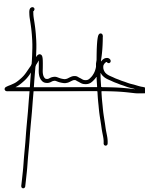
NIM : 30201700017

30201700052

Dosen Pembimbing : M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	12 April 2021	- Hitung pembebanan lalu lintas pada jembatan - Merujuk ke SNI terbaru - Selesaikan BAB 1 - Kerjakan permodelan jembatan di SAP 2000	
2.	20 April 2021	- Perbaiki tujuan - Perbaiki permodelan SAP 2000 - Judul menggunakan bahasa inggris dan bahasa indonesia	
3.	3 Mei 2021	- Judul : Redesign "Ahmad Yani Airport" Bridge Prestress Concrete Structure - Tujuan penelitian ACC - Bentang jembatan 40m - Total lebar jalan 15m - Cari referensi desain prestress concrete	

		- Cari referensi pembebanan jembatan	
4.	14 Juni 2021	- BAB 2 tambahkan beban kombinasi - Perbaiki rumus perhitungan pembebanan - Lanjut BAB 3	
5.	21 Juni 2021	- Cari referensi perhitungan struktur bawah jembatan - Tambahkan data tanah	
6.	25 Juni 2021	- Tambahkan rumus perhitungan abutment - Tambahkan rumus perhitungan pilar - Tambahkan rumus perhitungan pondasi	
7.	28 Juni 2021	- Lanjut BAB 4 Hitung perencanaan struktur atas - Tambahkan perhitungan kehilangan tegangan dan lendutan	
8.	12 juli 2021	- Hitung struktur bawah abutment, pilar, dan pondasi - Desain abutment, pilar, dan pondasi - Pembebanan pada abutment mencari momen maksimum	

		- Perencanaan pondasi dihitung dari beban abutment, mencari nilai as dari diagram interaksi kolom	
9.	27 Juli 2021	- Daftar pustaka terakhir - Penulisan desimal dibuat 2 angka di belakang koma - Diagram momen gambar 4.24 maksudnya apa? pdf halaman 148 - Koreksi minor tentang penulisan laporan: indentasi, font, page management - Pemodelan jembatan seperti apa? walaupun manual tetap harus ada bentuk modelnya apakah 1D, 2D atau 3D?- Kesimpulan menjawab tujuan penelitian- Perhatikan kesalahan penulisan (typo) - Pembebanan cukup dihitung satu kali saja untuk desain struktur- Desain pondasi, $P_n : P_u$??	
10.	01 Agustus 2021	- Perbaiki aliran diagram bab 3 - Perbaiki penulisan daftar pustaka - Perbaiki perhitungan Qall - Lengkapi kelengkapan lembar pengesahan	
11.	03 Agustus 2021	- Lengkapi lampiran - Perbaiki berita acara	
12.	05 Agustus 2021	Laporan TA ACC bisa digandakan	



REDESAIN STRUKTUR JEMBATAN BANDARA AHMAD YANI SEMARANG DENGAN BETON PRATEGANG

ORIGINALITY REPORT

21 %
SIMILARITY INDEX

18 %
INTERNET SOURCES

3 %
PUBLICATIONS

5 %
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.uma.ac.id Internet Source	1 %
2	eprints.umm.ac.id Internet Source	1 %
3	Repository.umy.ac.id Internet Source	1 %
4	Submitted to iGroup Student Paper	1 %
5	Submitted to Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada Student Paper	1 %
6	Submitted to Universitas Semarang Student Paper	1 %
7	repository.its.ac.id Internet Source	1 %
8	id.123dok.com Internet Source	1 %

repository.unikom.ac.id

9

Internet Source

1 %

10

ejurnal.untag-smd.ac.id

Internet Source

1 %

11

Mulyadi Mulyadi, M. Ichwanul Yusup, Bambang Hariyanto. "PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN RANGKAS PANJANG KECAMATAN KRAGILAN KABUPATEN SERANG", Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE), 2020

Publication

1 %

12

www.ejournal-s1.undip.ac.id

Internet Source

<1 %

13

123dok.com

Internet Source

<1 %

14

journal.umy.ac.id

Internet Source

<1 %

15

stt-pln.e-journal.id

Internet Source

<1 %

16

ejournal-s1.undip.ac.id

Internet Source

<1 %

17

fakultasteknik.narotama.ac.id

Internet Source

<1 %

18

Tri Yuli Purnomo, Lucia Desti Krisnawati, Yosef Cahyo Setianto Purnomo. "Kajian Jembatan

<1 %

Kecamatan Sendang (Ruas Jalan Tugu-Pabyongan) Kabupaten Tulungagung dengan Metode Komposit", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2018

Publication

19

es.scribd.com

Internet Source

<1 %

20

Sihabudin Sihabudin, Bambang Hariyanto, M Ichwanul Yusup. "PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN BAWAH JEMBATAN RANGKAS PANJANG KECAMATAN KRAGILAN KABUPATEN SERANG", Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE), 2021

Publication

<1 %

21

sinta.unud.ac.id

Internet Source

<1 %

22

docslide.us

Internet Source

<1 %

23

Submitted to Politeknik Negeri Bandung

Student Paper

<1 %

24

www.scribd.com

Internet Source

<1 %

25

Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Student Paper

<1 %

26

de.slideshare.net

Internet Source

<1 %

27

text-id.123dok.com

Internet Source

<1 %

28

ejournal.uika-bogor.ac.id

Internet Source

<1 %

29

edoc.pub

Internet Source

<1 %

30

herbycalvinpascal.files.wordpress.com

Internet Source

<1 %

31

repository.unmuhjember.ac.id

Internet Source

<1 %

32

sttgarut.ac.id

Internet Source

<1 %

33

Submitted to Udayana University

Student Paper

<1 %

34

adoc.pub

Internet Source

<1 %

35

jurnal.unmuhjember.ac.id

Internet Source

<1 %

36

repositori.usu.ac.id

Internet Source

<1 %

37

dokumen.tips

Internet Source

<1 %

38

repository.umy.ac.id

Internet Source

<1 %

39

repository.usu.ac.id

Internet Source

<1 %

40

quran-terjemah.org

Internet Source

<1 %

41

digilib.its.ac.id

Internet Source

<1 %

42

media.neliti.com

Internet Source

<1 %

43

Submitted to Syiah Kuala University

Student Paper

<1 %

44

ml.scribd.com

Internet Source

<1 %

45

eprints.uty.ac.id

Internet Source

<1 %

46

khairoel02.mywapblog.com

Internet Source

<1 %

47

eprints.ums.ac.id

Internet Source

<1 %

48

solosragenkaranganyar.blogspot.com

Internet Source

<1 %

49

www.blog-teknikgambarbangunan.com

Internet Source

<1 %

50	Ahmad Nasirudin, Sigit Winarto, Sudjati Sudjati. "KAJIAN PERENCANAAN CHECKDAM KALI NGASINAN KANAN DESA NOTOREJO KECAMATAN GONDANG KABUPATEN TULUNGAGUNG", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2018 Publication	<1 %
51	documents.mx Internet Source	<1 %
52	repository.polimdo.ac.id Internet Source	<1 %
53	Cut Rahmawati, Z Zainuddin, Syafridal Is, Robbi Rahim. "Comparison Between PCI and Box Girder in Bridges Prestressed Concrete Design", Journal of Physics: Conference Series, 2018 Publication	<1 %
54	Submitted to Universitas Pancasila Student Paper	<1 %
55	arsitekdansipil.blogspot.com Internet Source	<1 %
56	journal.eng.unila.ac.id Internet Source	<1 %
57	matriks.sipil.ft.uns.ac.id Internet Source	<1 %

58

Internet Source

<1 %

59

download.garuda.ristekdikti.go.id

Internet Source

<1 %

60

vdocuments.mx

Internet Source

<1 %

61

www.musbikhin.com

Internet Source

<1 %

62

www.yourspreadsheets.co.uk

Internet Source

<1 %

63

eprints.undip.ac.id

Internet Source

<1 %

64

Adi Susanto, Yosef Cahyo, Sigit Winarto.
"STUDI PERENCANAAN JEMBATAN
CUMPLENG DENGAN METODE PRATEKAN DI
KEC. SLAHUNG KABUPATEN PONOROGO",
Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil,
2018

Publication

<1 %

65

cimpok.blogspot.com

Internet Source

<1 %

66

leeboy13-halamanku.blogspot.com

Internet Source

<1 %

67

core.ac.uk

Internet Source

<1 %

68	eprints.unram.ac.id Internet Source	<1 %
69	sinta3.ristekdikti.go.id Internet Source	<1 %
70	"Az Orvosi Hetilap 1926 januári lapszámai", Orvosi Hetilap, 1926 Publication	<1 %
71	fr.scribd.com Internet Source	<1 %
72	journal.uii.ac.id Internet Source	<1 %
73	journal.itsb.ac.id Internet Source	<1 %
74	qdoc.tips Internet Source	<1 %
75	doku.pub Internet Source	<1 %
76	erepository.uwks.ac.id Internet Source	<1 %
77	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
78	Submitted to Universitas Muhammadiyah Surakarta Student Paper	<1 %

79	abdihsb.blogspot.com Internet Source	<1 %
80	download1891.mediafire.com Internet Source	<1 %
81	nspkjembatan.pu.go.id Internet Source	<1 %
82	adoc.tips Internet Source	<1 %
83	jurnal.untan.ac.id Internet Source	<1 %
84	lambda.gsfc.nasa.gov Internet Source	<1 %
85	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
86	Submitted to Universitas Muria Kudus Student Paper	<1 %
87	publikasiilmiah.ums.ac.id:8080 Internet Source	<1 %
88	sintadev.ristekdikti.go.id Internet Source	<1 %
89	teknik.unej.ac.id Internet Source	<1 %
90	www.dream.co.id Internet Source	<1 %

91

www.scilit.net

Internet Source

<1 %

92

[Submitted to Universitas Diponegoro](#)

Student Paper

<1 %

93

dokumen.tech

Internet Source

<1 %

94

Ibham Yamin, Siswanti Zuraída, Ilham Ilham.
"Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang
Akibat Variasi Letak Tendon PC I Girder
Jembatan Beton Prategang", JOURNAL OF
APPLIED SCIENCE (JAPPS), 2020

Publication

<1 %

95

Ronnen Levinson, Mischa Egolf, Sharon Chen,
Paul Berdahl. "Experimental comparison of
pyranometer, reflectometer, and
spectrophotometer methods for the
measurement of roofing product albedo",
Solar Energy, 2020

Publication

<1 %

96

repository.unand.ac.id

Internet Source

<1 %

97

repository.unissula.ac.id

Internet Source

<1 %

98

rocka722.multiply.com

Internet Source

<1 %

www.jurnal.polsri.ac.id

100

G.J. Padondan, S. Ramadhani. "Kajian Penerapan Fondasi Sumuran Pada Jembatan Pombeve di Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2020

Publication

<1 %

101

digilib.uin-suka.ac.id

Internet Source

<1 %

102

haslianiecivil.blogspot.com

Internet Source

<1 %

103

lib.unnes.ac.id

Internet Source

<1 %

104

zh.scribd.com

Internet Source

<1 %

105

M Miranda, R Suryanita, E Yuniarto. "Response structure analysis of prestressed box girder concrete bridge due to earthquake loads", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020

Publication

<1 %

106

fcep.uii.ac.id

Internet Source

<1 %

107

ilmu-desain-arsitektur.blogspot.com

Internet Source

<1 %

108	syarifaharb.student.umm.ac.id Internet Source	<1 %
109	www.teknika-ftiba.info Internet Source	<1 %
110	Baozhen Shi, Xuansheng Cheng, Lijun Gong, Gongning Liu. "Selection Design and Parameter Optimization of Composite Foundations in Collapsible Loess Areas", Geotechnical and Geological Engineering, 2020 Publication	<1 %
111	e-journal.uajy.ac.id Internet Source	<1 %
112	edoc.site Internet Source	<1 %
113	ejournal.unis.ac.id Internet Source	<1 %
114	jurnal.ustjogja.ac.id Internet Source	<1 %
115	jurnal.usu.ac.id Internet Source	<1 %
116	purbakala86.blogspot.com Internet Source	<1 %
117	repository.mercubuana.ac.id Internet Source	<1 %

118	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
119	www.repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1 %
120	www.situstekniksipil.com Internet Source	<1 %
121	Ferry Bastian Malik, Ade Supriatna. "MEDIA PEMBELAJARAN KITAB TIJAN DIGITAL BERBASIS MULTIMEDIA", Jurnal Teknologi dan Komunikasi STMIK Subang, 2019 Publication	<1 %
122	andrewardianto.com Internet Source	<1 %
123	digilib.polban.ac.id Internet Source	<1 %
124	dosk08.blogspot.co.id Internet Source	<1 %
125	e-jurnal.pnl.ac.id Internet Source	<1 %
126	ejurnal.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
127	eprints.itn.ac.id Internet Source	<1 %
128	moam.info Internet Source	<1 %

129	novianurfatika.blogspot.com Internet Source	<1 %
130	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
131	www.neliti.com Internet Source	<1 %
132	"Konstruktionssprachen", Walter de Gruyter GmbH, 2020 Publication	<1 %
133	kamiharibasuki.blogspot.com Internet Source	<1 %
134	Fang Li. "Testing for the Equality of Two Nonparametric Regression Curves with Long Memory Errors", Communications in Statistics Simulation and Computation, 9/1/2006 Publication	<1 %
135	ilmudasardanteknik.blogspot.com Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off
Exclude bibliography Off

Exclude matches < 5 words



Nomor : 16 / A.2 / SA - T / VII / 2021

Pada hari ini, Selasa Tanggal 27 Juli 2021 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama	Alvina Rosyikha Hanum	30201700017
2 Nama	Citra Dian Pertiwi	30201700052

Judul TA Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang Dengan Beton Prategang
0
0

Dengan Hasil : **Baik, namun perbaiki sesuai hasil koreksi seminar**
:
:
:

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan digunakan seperlunya.

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

Muhammad Rusli Ahyar, ST, M.Eng

Lisa Fitriyana, ST, M.Eng

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar, ST, M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

DOSEN PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR

Hari
Tanggal
Jam

Selasa
27 Juli 2021
09.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang Dengan Beton Prategang

1	Alvina Rosyikha Hanum	30201700017	1	
2	Citra Dian Pertiwi	30201700052	2	

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Prof. Dr. Ir. Antonius, MT	1
2	Muhammad Rusli Ahyar, ST, M.Eng	2
3	Lisa Fitriyana, ST, M.Eng	3

Semarang, 27 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil

M Rusli Ahyar, ST, M.Eng
NIK. 210216089



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Alvina Rosyikha Hanum/30201700017
Hari / Tanggal : Selasa, 27 Juli 2021
Judul TA : Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang
dengan Beton Prategang

NO	
1	Perbaiki isi TA sesuai koreksi
2	
3	
4	
5	
DOSEN PENGUJI 	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

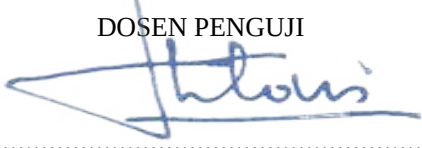
Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Citra Dian Pertiwi/30201700052
Hari / Tanggal : Selasa, 27 Juli 2021
Judul TA : Redesain Struktur Jembatan Bandara Ahmad Yani Semarang
dengan Beton Prategang

NO	
1	Perbaiki isi TA sesuai koreksi
2	
3	
4	
5	

DOSEN PENGUJI



LAPORAN HASIL PENYELIDIKAN TANAH

PADA PROYEK PEMBANGUNAN GIS 150 KV
TAMBAK LOROK III SEMARANG

DI PLTU TAMBAK LOROK III, SEMARANG, JAWA TENGAH



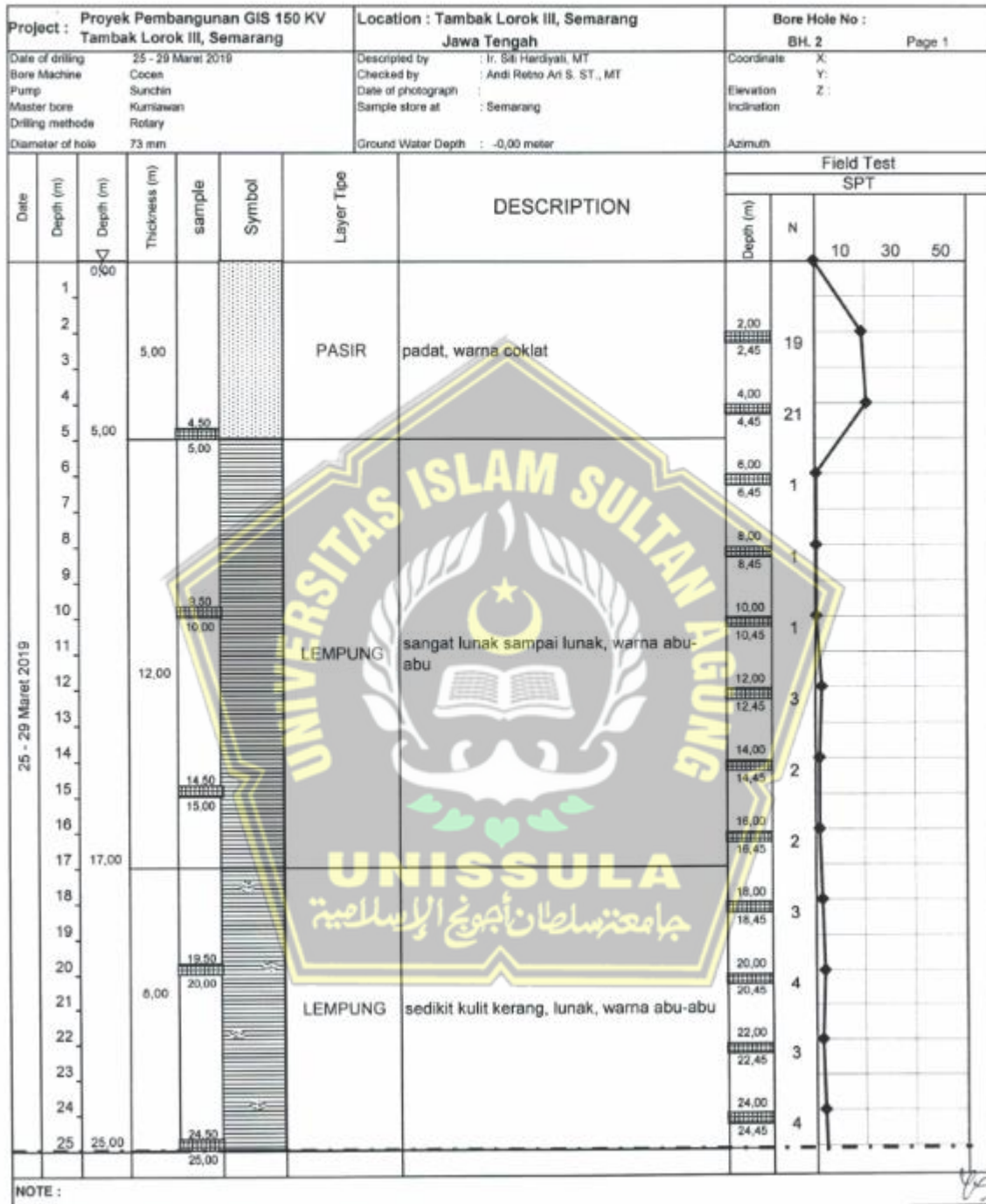
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Jl. Prof. H. Soedarto, SH - Kompleks Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Kampus Undip Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275
Telp. : +6224 76480594 | Fax : +6224 76480594 | Email : mektan_undip@yahoo.com, mektanundip@gmail.com



Laboratorium Mekanika Tanah
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Semarang

BORE LOG





BORE LOG

Project : Proyek Pembangunan GIS 150 KV Tambak Lorok III, Semarang		Location : Tambak Lorok III, Semarang Jawa Tengah		Bore Hole No : BH. 2 Page 2	
Date of drilling : 25 - 29 Maret 2019		Described by : V. Sri Hardiyati, MT		Coordinate X:	
Bore Machine : Cocan		Checked by : Andi Reino Ari S. ST., MT		Y:	
Pump : Sunchin		Date of photograph :		Elevation Z:	
Master bore : Kurniawan		Sample store at : Semarang		Inclination	
Drilling methode : Rotary		Ground Water Depth : -0,00 meter		Azimuth	
Diameter of hole : 73 mm					

Date	Depth (m)	Thickness (m)	sample	Symbol	Layer Tipe	DESCRIPTION	Field Test		
							Depth (m)	N	SPT
25 - 29 Maret 2019	26	25,00					25,00		
	27						26,45	5	
	28	5,00			LEMPUNG	sedikit kulit kerang, lunak, warna abu-abu	26,00	8	
	29						26,45		
	30	30,00	29,50				30,00	16	
	31	31,00	30,00		LEMPUNG	teguh, warna abu-abu tua	30,45		
	32		1,00				32,00	31	
	33		2,00		PASIR	setengah padat, warna coklat abu-abu	32,45		
	34						34,00	40	
	35		34,50				34,45		
	36	5,00	35,00		LEMPUNG	keras, warna abu-abu	36,00	38	
	37						36,45		
	38	38,00					38,00	43	
	39						38,45		
	40		39,50				40,00	37	
	41		40,00				40,45		
	42						42,00	42	
	43						42,45		
	44		12,00				44,00	45	
	45		44,50				44,45		
	46		45,00				46,00	42	
	47						46,45		
	48						48,00	46	
	49						48,45		
	50	50,00	49,50				50,00	43	
			50,00				50,45		
End Off Boring									

NOTE :