

TUGAS AKHIR

**ANALISIS LENDUTAN BETON PRATEGANG PARSIAL
PADA GELAGAR JEMBATAN
DENGAN METODE APPROXIMATE TIME STEP**



Disusun oleh :

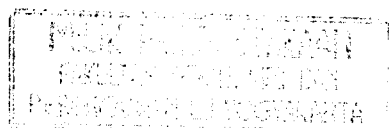
Nama : YUNI WIJIASTUTI

No. Mhs : 98 511 050

Nama : NENENG FATNIAWATI

No. Mhs : 98 511 314

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2003**



TUGAS AKHIR

**ANALISIS LENDUTAN BETON PRATEGANG PARSIAL
PADA GELAGAR JEMBATAN
DENGAN METODE APPROXIMATE TIME STEP**

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil Pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jogjakarta

Disusun oleh :

Nama : YUNI WIJIASTUTI

No. Mhs : 98 511 050

Nama : NENENG FATNIAWATI

No. Mhs : 98 511 314

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2003

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS LENDUTAN BETON PRATEGANG PARSIAL PADA
GELAGAR JEMBATAN DENGAN METODE
*APPROXIMATE TIME STEP***

Disusun Oleh :

Nama : Yuni Wijiastuti

No. Mhs : 98 511 050

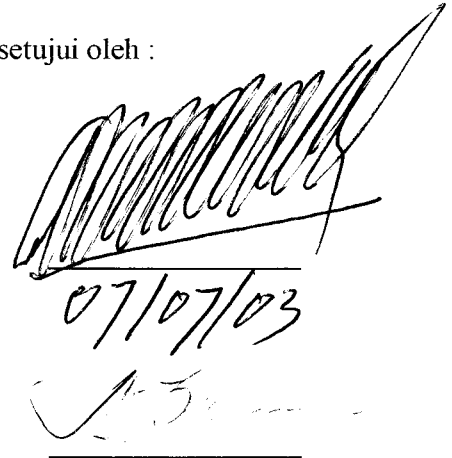
Nama : Neneng Fatniawati

No. Mhs : 98 511 314

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H.A. Kadir Aboe, MT
Dosen Pembimbing I

Ir. Helmy Akbar Bale, MT
Dosen Pembimbing II



Handwritten signature and date: 07/07/03

MOTTO

... "Kami beriman kepada Al Qur'an semua ayatnya berasal dari Tuhan kami"
Tiada yang memetik pengertian ini kecuali yang berakal cerdik
(Q.S. Ali Imran : 7)

Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang yang berakal.
(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri / duduk / dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata) : " Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka ".
(Q.S. Ali Imran 190-191)

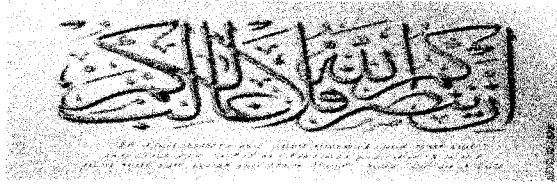
Saat kau lelah dan tak berdaya karena usaha yang gagal, Allah tahu betapa gigih engkau telah berusaha.
Saat tiba-tiba hidupmu lebih cerah dan kau temukan secercah harapan, Allah telah berbisik kepadamu.
(NoName)

Ketika kita mampu mengatasi sedikit cobaan, kita memperoleh sedikit kekuatan.
Ketika kita mampu mengatasi banyak cobaan, kita mendapatkan banyak kekuatan pula.
(Steve Chandler)

HALAMAN PERSEMBAHAN

- Bapak dan ibu yang terencana, terkasih dan tersayang. Terima kasih atas cinta, perhatian, kesabaran, dukungan serta materi yang telah dibagikan kepada Unik selama ini. *You're the best parents.*
- Yudi, Wied, dan Pami, para sepupuku yang sudah sebisa nemerin ibu 'n bapak di rumah selama Unik menuntut ilmu di Jogja. Terima kasih udah jagain ibu 'n bapak selama Unik tidak ada di rumah.
- Partner TA ku Neneng, kita memang pasangan yang serasi! Mudah-mudahan pertemanan kita tidak akan terputus hanya sampai disini.
- Para pembimbing bayangan kamu, mas Iwan. Terima kasih untuk bimbingan dan pinjaman literaturinya. Andri, Dhanang, Maming, Agus, Imam, dli, terima kasih untuk masukan-masukannya.
- Teman teman kost, kalian adalah bagian dari teman teman terbaikku. Jalin terus silaturahmi di antara kita! *I'll missing u.* Untuk Nana dan Lisa, thanks untuk pinjaman kostum sidang 'n pendadaran kemann. Untuk Manik, trimakasih udah nemerin waktu sidang.
- Teman-teman seperjuangan, sipil '98 semuanya (som... aku gak bisa nyebutin satu-satu), jangan pernah ngelupain aku ya...! Untuk Bimo dan En, thanks udah ikutan repot benerin komputerku.
- Sobat sobat terbaikku di mana pun kalian berada, Inoeng, Linda, Tiwuk, Wendy, Yogie, Ibnu, Tizzy, Lenny, Janto, Unep, Endah, Widhie, Nuniek, 'n semuanya yang merasa sobat aku yang gak mungkin kusebutin satu per satu, yang selama ini udah memberikan support ke aku, terima kasih ya...!

Yuni Wijastuti



HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk :

- Mamah & Bapak tercinta, makasih doa dan kasih sayangnya untuk ananda yang tak kan mungkin bisa kubalas.
- Mas-ku Yusep: tur nuwun perhatian ma bantuannya. Adekku Nina: jadi muslimah shalihah ya ! Tuk Irwan: rajin belajar, jagain Mamah & Bapak.
- Seseorang yang kelak 'kan jadi "Bintang" penuntunku menggapai ridho Illahi.
- Sahabatku Riza, makasih support dan doanya, maafin aku ya...ga' bisa berikan yang terbaik. Semoga Allah senantiasa limpahkan karunia-Nya buat persaudaraan kita.
- Temen-2 kost White Jasmine (BudHe Nila, Ma2h Oet, Tante Nadiyah, Enty, Indah, Lila, Dyah) : Jazakillah sudah ajari aku jadi lebih dewasa menghadapi hidup. Moga Allah mengekalkan persahabatan kita.
- MBa' Uun, Rina, Cimoth, Pei, Heni, Vira, plus kabeh alumni SMU 1 PWR'98, thanks bantuan doane. Tetep kompak ya !
- Rekan-2 seperjuangan di TPA As-Sadiqin (Ronny, Agung, Jabai, Kiss, Leo, Donan, Udin, Rudi, Nova, Sukma, Ti2s, dll): Smoga te2p istiqomah bimbing adek-adek. Temen-2 TPA Al-Fajri : Maaf ga' bisa bantu sampe maksimal.
- Dosen-2 pembimbing bayangan (Mas Iwan:Makasih buku-2 dan semangatnya, Danang, Bowo, Maming, Andri, Agus : maaf sering ngrepotin).
- Lenny, Nanik, Na-2, oM Jhun, asisten lab. MekTan,Yuli, Wulan, serta semua sobatku di Sipil UIH yang dah banyak banget bantuin sampe selesainya skripsi ini.
- Pyu, kamu emang lucu...tapi jgn pipis sembarangan ya ! Paidi dan Paidjo dididik biar jadi generasi Rabbani ya !
- Raihan, JV, Hijjaz, Snada,oM Ghomidi, Sherina ,Tasya, yang dah temenin lembur.
- Semua pihak yang telah membantuku, maap...banget kalo ga' sempet disebut satu-persatu, abis banyak banget sih....
- Spesial to temen 'TA-ku : Yuni, kamu emang baeekk banget ! Makasih kerjasamanya yang kompak banget. Maapin aku sering repotin kamu. Smoga kita bisa tetep jadi pasangan TA yang paling serasi, he..he... Aku pasti kangen ma "mBuk" siang dan rumpi-2 barengnya.

Neneng Fatniawati

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbil'alamin. Dengan segala kerendahan hati kami haturkan puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayahNya sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **ANALISIS LENDUTAN BETON PRATEGANG PARSIAL PADA GELAGAR JEMBATAN DENGAN METODE APROXIMATE TIME STEP.**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi dan melengkapi salah satu syarat dalam menempuh ujian kesarjanaaan pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Kami sadar sepenuhnya bahwa dalam penulisan tugas akhir ini banyak mendapat kesulitan, karena keterbatasan kemampuan yang dimiliki baik dalam pengalaman maupun teori ilmu. Namun terdorong oleh tekad yang besar untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya serta adanya dorongan dan bantuan dari berbagai pihak maka tugas akhir ini dapat selesai.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak terutama:

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, PhD selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. H. A. Kadir Aboe, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, atas bimbingan dan dorongan semangat selama proses penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, atas bimbingan dan kesabarannya selama ini.

Adapun penghargaan yang khusus kami sampaikan kepada bapak, ibu, kakak dan adikku tercinta serta teman-teman dan semua pihak yang telah ikut mendoakan dan memberikan banyak bantuan moril dan materiil kepada kami

selama kuliah hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga Allah SWT memberikan rahmatNya kepada kita semua. Amin Ya Robbal'amin.

Kami menyadari bahwa tugas akhir ini masih belum sempurna, oleh karena itu kami sangat mengharapkan kritik dan saran yang tentunya bersifat membangun. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Wassalamu 'alaikum Wr.Wb.

Jogjakarta, Juni 2003

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
MOTTO	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
ABSTRAKSI	xxvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Konsep Dasar Beton Prategang	10
3.1.1 Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan yang Elastis	10
3.1.2 Sistem Prategang Untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi Dengan Beton	12
3.1.3 Sistem Prategang Untuk Mencapai Keseimbangan Beban	13
3.2 Sistem Prategang	14
3.3 Prategang Parsial	15
3.3.1 Perilaku Beton Prategang Parsial	15

3.3.2	Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Prategang Parsial	20
3.4	Balok Menerus	20
3.5	Pembebanan	23
3.5.1	Beban Gravity	24
3.5.2	Beban Tetap (<i>Permanent Load</i>)	24
3.5.3	Beban Tidak Permanen (<i>Transient Load</i>)	24
3.6	Pembebanan Menurut PPPJJR 1987	26
3.6.1	Beban Mati	26
3.6.2	Beban Hidup	26
3.7	Perencanaan Penampang Gelagar Dengan Pendekatan Luas (Metode T.Y. Lin)	27
3.8	Kehilangan Gaya Prategang	30
3.8.1	Kehilangan Gaya Prategang Langsung	31
3.8.2	Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	33
3.9	Keadaan Batas	35
3.9.1	Kondisi Layan	36
3.9.2	Keadaan Kekuatan Batas	37
3.10	Tegangan Beton Bertulang	38
3.10.1	Tinggi Sumbu Netral Pada Balok dengan Tendon yang Direkatkan	38
3.10.2	Kuat Lentur Nominal	42
3.11	Analisis Lendutan	43
BAB IV PROSEDUR PENELITIAN		47
4.1	Model Struktur	47
4.2	Bahan dan Pembebanan	47
4.3	Tahapan Analisis	48
BAB V PERENCANAAN DAN ANALISIS		50
5.1	Data Analisis	50

5.2	Perencanaan dan Analisis Gelagar dengan Bentang 30 m ...	50
5.2.1	Perencanaan dan Analisis Gelagar Prategang Penuh ...	50
5.2.1.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang	50
5.2.1.2	Perencanaan Penampang Gelagar dengan Metode AASHTO LRFD 1994	62
5.2.1.3	Kontrol Tegangan Gelagar Berdasarkan Tegangan Ijin AASHTO LRFD 1994	92
5.2.1.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar	96
5.2.1.5	Analisis Lendutan	103
5.2.2	Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 90 %	106
5.2.2.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 90%.....	106
5.2.2.2	Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 90% dengan Metode AASHTO LRFD 1994	111
5.2.2.3	Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 90%	123
5.2.2.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 90%.....	127
5.2.2.5	Analisis Lendutan	135
5.2.3	Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 80 %	138
5.2.3.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80%.....	138
5.2.3.2	Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80% dengan Metode AASHTO LRFD 1994.....	143
5.2.3.3	Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 80%	155

5.2.3.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 80%.....	159
5.2.3.5	Analisis Lendutan	166
5.2.4	Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 75 %	169
5.2.4.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75%.....	169
5.2.4.2	Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75% dengan Metode AASHTO LRFD 1994.....	174
5.2.4.3	Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 75%	186
5.2.4.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 75%.....	190
5.2.4.5	Analisis Lendutan	197
5.3	Perencanaan dan Analisis Gelagar dengan Bentang 50 m ...	201
5.3.1	Perencanaan dan Analisis Gelagar Prategang Penuh...	201
5.3.1.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang	201
5.3.1.2	Perencanaan Penampang Gelagar dengan Metode AASHTO LRFD 1994	209
5.3.1.3	Kontrol Tegangan Gelagar Berdasarkan Tegangan Ijin AASHTO LRFD 1994	228
5.3.1.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar	228
5.3.1.5	Analisis Lendutan	229
5.3.2	Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 90 %	229
5.3.2.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 90%.....	229

5.3.2.2	Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 90% dengan Metode AASHTO LRFD 1994.....	234
5.3.2.3	Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 90%	236
5.3.2.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 90%.....	236
5.3.2.5	Analisis Lendutan	237
5.3.3	Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 80 %	237
5.3.3.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80%.....	237
5.3.3.2	Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80% dengan Metode AASHTO LRFD 1994.....	242
5.3.3.3	Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 80%	244
5.3.3.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 80%.....	244
5.3.3.5	Analisis Lendutan	245
5.3.4	Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 75 %	245
5.3.4.1	Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75%.....	245
5.3.4.2	Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75% dengan Metode AASHTO LRFD 1994.....	250
5.3.4.3	Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 75%	252
5.3.4.4	Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang	

Parsial 75%.....	252
5.3.4.5 Analisis Lendutan	253
BAB VI ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	254
6.1 Data dan Asumsi Desain	254
6.2 Lendutan	255
BAB VII SIMPULAN DAN SARAN	263
7.1 Simpulan	263
7.2 Saran	265
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR NOTASI

A_c	: luas penampang balok beton
A_{ps}	: luas tendon
A_s	: luas baja non-prategang
$A's$: luas penampang tarik beton
B	: jarak antar gelagar
b	: lebar sayap penampang gelagar
b_w	: lebar badan penampang gelagar
$c.g.c$: pusat berat penampang gelagar
$c.g.s$: pusat berat luas baja
C_t	: factor koreksi rangkai beton pada saat t
d_p	: jarak serat tekan terluar terhadap titik berat tendon
e	: jarak eksentrisitas tendon
E_c	: modulus elastisitas beton
E_s	: modulus elastisitas baja prategang
E_{ci}	: modulus elastisitas beton awal
f_c'	: kuat tekan beton
f_{ci}	: tegangan tekan ijin awal (saat transfer)
f_{cs}	: tegangan tekan ijin pada saat layan
f_{ti}	: tegangan tarik ijin saat transfer
f_{ts}	: tegangan tarik ijin saat layan
f_{pe}	: tegangan akibat gaya efektif tendon (setelah diperhitungkan kehilangan tegangan)
f_{pu}	: kuat tarik ultimit baja prategang
f_y	: kuat tarik ultimit non-prategang
F_e	: gaya prategang efektif
F_i	: gaya prategang awal
h	: tinggi penampang gelagar
I_c	: momen inersia penampang gelagar

k	: efek wooble
K_{SH}	: factor koreksi kehilangan tegangan untuk elemen pascatarik
L	: panjang total bentang gelagar
M_D	: momen akibat beban mati
M_G	: momen akibat berat sendiri gelagar
M_L	: momen akibat beban hidup
M_n	: momen nominal
M_u	: momen batas
n	: rasio modulus elastisitas
Q_L	: beban hidup
r	: jari-jari putar penampang gelagar
t	: waktu
W_D	: berat sendiri gelagar
W_{SD}	: beban mati
Y_b	: jarak dari serat bawah ke pusat berat penampang gelagar
Y_t	: jarak dari serat atas ke pusat berat penampang gelagar
β_s	: factor koreksi rangkai akibat pengaruh umur pembebanan
δ_D	: lendutan akibat berat sendiri gelagar
δ_L	: lendutan akibat beban hidup
δ_{pi}	: lendutan akibat gaya prategang
δ_{SD}	: lendutan akibat beban mati
δ_T	: lendutan total
γ	: berat volume beton

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	54
Tabel 5.2	Kontrol Penampang Beton Prategang Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	57
Tabel 5.3	Momen Akibat Beban Mati	72
Tabel 5.4	Momen Terfaktor Bentang 30 M	73
Tabel 5.5	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton	82
Tabel 5.6	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan	83
Tabel 5.7	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	85
Tabel 5.8	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	88
Tabel 5.9	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Parsial 90% Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	104
Tabel 5.10	Kontrol Penampang Beton Prategang Parsial 90% Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	107
Tabel 5.11	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton	113
Tabel 5.12	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan	114
Tabel 5.13	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	116
Tabel 5.14	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	119
Tabel 5.15	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Parsial 80% Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	135
Tabel 5.16	Kontrol Penampang Beton Prategang Parsial 80% Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	138
Tabel 5.17	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton	144
Tabel 5.18	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan	145
Tabel 5.19	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	147
Tabel 5.20	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	150
Tabel 5.21	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Parsial 75%	

	Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	166
Tabel 5.22	Kontrol Penampang Beton Prategang Parsial 75% Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	169
Tabel 5.23	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton	175
Tabel 5.24	Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan	176
Tabel 5.25	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	178
Tabel 5.26	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	181
Tabel 5.27	Besar Momen Yang Terjadi Pada Bentang 50 M	198
Tabel 5.28	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	201
Tabel 5.29	Kontrol Penampang Beton Prategang Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	204
Tabel 5.30	Momen Akibat Beban Mati	219
Tabel 5.31	Momen Terfaktor Bentang 50 M	220
Tabel 5.32	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	222
Tabel 5.33	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	223
Tabel 5.34	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 5	224
Tabel 5.35	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 10	224
Tabel 5.36	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 15	224
Tabel 5.37	Kapasitas Momen Gelagar	224
Tabel 5.38	Lendutan Jangka Pendek	225
Tabel 5.39	Lendutan Jangka Panjang	225
Tabel 5.40	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Parsial 90% Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	226
Tabel 5.41	Kontrol Penampang Beton Prategang Parsial 90% Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	229
Tabel 5.42	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	230
Tabel 5.43	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	231
Tabel 5.44	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 5	232
Tabel 5.45	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 10	232

Tabel 5.46	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 15	232
Tabel 5.47	Kapasitas Momen Gelagar	232
Tabel 5.48	Lendutan Jangka Pendek	233
Tabel 5.49	Lendutan Jangka Panjang	233
Tabel 5.50	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Parsial 80% Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	234
Tabel 5.51	Kontrol Penampang Beton Prategang Parsial 80% Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	237
Tabel 5.52	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	238
Tabel 5.53	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	239
Tabel 5.54	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 5	240
Tabel 5.55	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 10	240
Tabel 5.56	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 15	240
Tabel 5.57	Kapasitas Momen Gelagar	240
Tabel 5.58	Lendutan Jangka Pendek	241
Tabel 5.59	Lendutan Jangka Panjang	241
Tabel 5.60	Perencanaan Awal Penampang Beton Prategang Parsial 75% Dengan Pendekatan Luas Menurut Metode T.Y. LIN	242
Tabel 5.61	Kontrol Penampang Beton Prategang Parsial 75% Terhadap Tegangan Ijin (ACI)	245
Tabel 5.62	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek	246
Tabel 5.63	Total Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang	247
Tabel 5.64	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 5	248
Tabel 5.65	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 10	248
Tabel 5.66	Tegangan Yang Terjadi Pada Lokasi 15	248
Tabel 5.67	Kapasitas Momen Gelagar	248
Tabel 5.68	Lendutan Jangka Pendek	249
Tabel 5.69	Lendutan Jangka Panjang	249
Tabel 6.1	Dimensi Penampang Gelagar	250
Tabel 6.2	Besar Lendutan Pada Balok Menerus	252

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 3.1 Distribusi tegangan pada penampang beton prategang dengan eksentrisitas
- Gambar 3.2 Kopel dalam akibat gaya prategang dan beban kerja
- Gambar 3.3 Prategang Sistem Perimbangan Beban
- Gambar 3.4 Kurva beban dan lendutan pada tulangan kuat dan lemah
- Gambar 3.5 Kurva beban lendutan untuk berbagai tingkat prategang
- Gambar 3.6 Balok sederhana
- Gambar 3.7 Balok menerus
- Gambar 3.8 Beban rencana AASTHO untuk truck
- Gambar 3.9 Beban rencana AASTHO untuk tandem
- Gambar 3.10 Beban rencana AASTHO untuk beban jalur
- Gambar 3.11 Beban jalur D untuk gelagar
- Gambar 3.12 Desain pendahuluan rencana balok
- Gambar 3.13 Distribusi tegangan, tanpa tegangan
- Gambar 3.14 Perpendekan elastis pada beton
- Gambar 3.15 Distribusi tegangan beton pada saat layan
- Gambar 3.16 Regangan pada penampang gelagar
- Gambar 3.17 Gaya-gaya pada penampang gelagar
- Gambar 4.1 Bagan alir proses perhitungan dan analisis
- Gambar 5.1 Dimensi penampang rencana
- Gambar 5.2 Tata letak tendon untuk bentang total 30 meter
- Gambar 5.3 Properti potongan melintang gelagar
- Gambar 5.4 Diagram tegangan beton di lokasi 5
- Gambar 5.5 Gaya dalam gelagar di lokasi 5 dan 15
- Gambar 5.6 Diagram tegangan beton di lokasi 10
- Gambar 5.7 Gaya dalam gelagar di lokasi 10
- Gambar 5.8 Diagram tegangan beton prategang parsial 90% di lokasi 5 dan 15
- Gambar 5.9 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 90% di lokasi 5 dan 15
- Gambar 5.10 Diagram tegangan beton parsial 90% di lokasi 10

- Gambar 5.11 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 90% di lokasi 10
- Gambar 5.12 Diagram tegangan beton prategang parsial 80% di lokasi 5 dan 15
- Gambar 5.13 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 80% di lokasi 5 dan 15
- Gambar 5.14 Diagram tegangan beton prategang parsial 80% di lokasi 10
- Gambar 5.15 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 80% di lokasi 10
- Gambar 5.16 Diagram tegangan beton prategang parsial 75% di lokasi 5 dan 15
- Gambar 6.17 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 75% di lokasi 5 dan 15
- Gambar 5.18 Diagram tegangan beton prategang parsial 75% di lokasi 10
- Gambar 5.19 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 75% di lokasi 10
- Gambar 5.20 Dimensi penampang rencana
- Gambar 5.21 Tata letak tendon untuk bentang total 50 meter
- Gambar 5.22 Properti potongan melintang gelagar
- Gambar 6.1 Grafik besar lendutan pada gelagar dengan bentang 30 meter
- Gambar 6.2 Grafik besar lendutan pada gelagar dengan bentang 50 meter
- Gambar 6.3 Grafik lendutan pada umur 1 bulan
- Gambar 6.4 Grafik lendutan pada umur 1 tahun
- Gambar 6.5 Grafik lendutan pada umur 3 tahun
- Gambar 6.6 Grafik lendutan pada umur 5 tahun

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1

Lembar Konsultasi Tugas Akhir

Lampiran 2 :

- Perhitungan Momen Akibat Beban Hidup Dengan Metode Deformasi Konsisten Pada Bentang 30 M
- Perhitungan Momen Akibat Beban Hidup Dengan Metode Deformasi Konsisten Pada Bentang 50 M

Lampiran 3 :

- Garis Pengaruh Momen Untuk Bentang 30 M
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 1 (GP M-1)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 2 (GP M-2)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 3 (GP M-3)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 4 (GP M-4)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 5 (GP M-5)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 6 (GP M-6)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 7 (GP M-7)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 8 (GP M-8)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 9 (GP M-9)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 11 (GP M-11)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 12 (GP M-12)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 13 (GP M-13)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 14 (GP M-14)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 15 (GP M-15)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 16 (GP M-16)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 17 (GP M-17)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 18 (GP M-18)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 19 (GP M-19)

- **Garis Pengaruh Momen Untuk Bentang 50 M**
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 1 (GP M-1)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 2 (GP M-2)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 3 (GP M-3)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 4 (GP M-4)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 5 (GP M-5)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 6 (GP M-6)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 7 (GP M-7)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 8 (GP M-8)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 9 (GP M-9)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 11 (GP M-11)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 12 (GP M-12)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 13 (GP M-13)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 14 (GP M-14)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 15 (GP M-15)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 16 (GP M-16)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 17 (GP M-17)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 18 (GP M-18)
 - grafik garis pengaruh momen di lokasi 19 (GP M-19)

Lampiran 4 :

- **Momen Akibat Beban Jalur Rencana Pada Gelagar Dengan Bentang 30 M**
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 1
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 2
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 3

- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 4
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 5
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 6
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 7
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 8
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 9
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 10
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 11
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 12
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 13
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 14
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 15
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 16
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 17
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}$ pada garis pengaruh di lokasi 18

- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 19
- Momen Akibat Beban Jalur Rencana Pada Gelagar Dengan Bentang 50 M
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 1
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 2
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 3
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 4
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 5
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 6
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 7
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 8
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 9
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 10
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 11
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 12
 - momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 13

- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 14
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 15
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 16
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 17
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 18
- momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ kN/m}^2$ pada garis pengaruh di lokasi 19

Lampiran 5 :

- Multistrand System.
- Resistance Factors For Conventional Construction
- Properties of Prestressing Strand and Bar
- Strees Limits for Concrete at Prestress Transfer Stage
- Strees Limits for Concrete at Prestress Service Stage
- Strees Limits for Prestressing Tendons
- Load Combination and Loads Factors
- Unit Densities
- Load Factors for Permanent Loads
- Common Girder Bridge Cross Sections
- Vehicles per Girder for Concrete Deck on Steel or Concrete Beams; Concrete T-Beams; T-and Double T-Sections Transfersely Post-Tensioned Together.
- Tabel Nilai Ksh
- Tabel Koefisien Wobble K dan Koefisien Gesekan Lengkungan

ABSTRAKSI

Filosofi desain beton prategang adalah membuat suatu material baru dengan menjadikan beton dalam keadaan desak sehingga tegangan tarik pada beton tersebut dapat dihilangkan. Dalam perkembangannya, ternyata ada indikasi bahwa masih ada kekuatan tarik pada beton yang bisa dijadikan sebagai kekuatan tambahan. Desain yang didasarkan pada filosofi ini disebut sebagai beton prategang parsial. Pada beton prategang parsial digunakan tulangan prategang dan tulangan non-prategang, namun kekuatan terhadap lentur akan tetap sama atau mendekati dengan prategang penuh. Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh prosentase pemberian gaya prategang terhadap lendutan pada balok prategang menerus.

Analisis pertama adalah merencanakan gelagar prategang dengan panjang bentang total 30 dan 50 meter pada tiga dukungan dengan memberikan gaya prategang sebesar 100% (penuh), 90%, 80%, dan 75% dari gaya prategang yang dibutuhkan pada gelagar prategang. Analisis selanjutnya adalah menghitung lendutan dengan menggunakan metode "Approximate Time Step". Perhitungan lendutan meliputi lendutan jangka pendek dan lendutan jangka panjang.

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa prosentase gaya prategang yang diberikan mempengaruhi besar lendutan, yaitu semakin kecil prosentase gaya prategang maka akan semakin pula lendutan ke atas (*chamber*) yang terjadi. Selain itu pengaruh factor yang berhubungan dengan umur beton pada saat penambahan beban akan menambah besar lendutan, baik akibat gaya prategang, berat sendiri, beban mati, maupun beban hidup. Semakin panjang bentang semakin besar pula lendutan akibat berat sendiri dan beban luar.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini penggunaan beton prategang semakin sering digunakan pada proyek pembangunan, terutama pada struktur yang mengalami momen lentur besar, karena momen lentur bisa mengakibatkan penampang beton mengalami tegangan lentur (*bending stress*).

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang diberi tegangan tekan dengan distribusi dan besar tegangan tertentu sehingga bisa menetralkan sejumlah tegangan tarik yang diakibatkan oleh beban eksternal. Pada dasarnya filosofi beton prategang adalah membuat beton dalam keadaan tertekan sehingga tidak akan terjadi tegangan tarik pada saat seluruh beban bekerja, desain ini disebut dengan sistem prategang penuh.

Salah satu penggunaan beton prategang yaitu pada struktur gelagar jembatan. Struktur gelagar jembatan beton prategang umumnya dirancang dengan menggunakan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) dengan metode tegangan kerja ASD (*Allowable Stress Design*), metode ini menggunakan pendekatan bahwa struktur diasumsikan elastis linier dan tegangan akibat beban kerja dibatasi dengan tegangan ijin. Keamanan dipenuhi dengan memilih tegangan kerja sebagai bagian terkecil dari tegangan ijin kekuatan

rangkak lentur dan mempermudah kontrol dari ketidakseragaman lendutan tersebut.

Lendutan pada balok prategang dipengaruhi oleh kombinasi antara gaya prategang, beban luar, dan lama pembebanan. Gaya prategang menimbulkan anti lendutan atau lendutan ke atas, sedangkan beban luar akan menimbulkan lendutan ke bawah. Secara umum lendutan dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

1. Lendutan jangka pendek, terjadi setelah beban bekerja.
2. Lendutan jangka panjang, terjadi sesuai perkembangan waktu.

Pada balok prategang lendutan jangka panjang banyak dipengaruhi oleh parameter-parameter yang tergantung pada waktu, yaitu rangkakan (*creep*), susut (*shrinkage*) pada beton, serta relaksasi (*relaxation*) baja prategang.

Ada beberapa cara untuk menghitung besar lendutan yang terjadi pada suatu struktur, salah satunya adalah metode *Approximate Time Step*. Pada penelitian terdahulu (Anny Irhamy,2001) menggunakan dua metode perhitungan lendutan, yaitu metode *Approximate Time Step* dan metode *Incremental Time Step* yang diterapkan pada struktur bangunan gedung. Secara umum metode *Approximate Time Step* merupakan suatu metode perhitungan lendutan yang didasarkan pada penjumlahan besar lendutan yang terjadi akibat factor-faktor yang mempengaruhinya. Faktor-faktor tersebut antara lain gaya prategang yang diberikan, beban akibat berat sendiri, beban mati, dan beban hidup. Pada metode *Incremental Time Step* perhitungan lendutan berdasarkan kehilangan gaya prategang akibat rangkakan, susut, dan relaksasi. Perhitungan dengan metode *Incremental Time Step* dibagi menjadi beberapa interval waktu.

Analisis lendutan gelagar jembatan pada tugas akhir menggunakan metode *Approximate Time Step*. Salah satu alasan pemilihan metode ini adalah karena pada struktur jembatan bekerja beban mati dan beban hidup yang berupa beban berjalan sehingga metode *Approximate Time Step* memungkinkan untuk digunakan.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk :

1. Menganalisa lendutan beton prategang sebagian pada gelagar jembatan dengan metode *Approximate Time Step*.
2. Mengetahui pengaruh variasi gaya prategang yang diberikan terhadap besarnya lendutan yang terjadi.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan gambaran mengenai pendekatan dalam memperkirakan lendutan pada balok menerus beton prategang parsial dengan metode *Approximate Time Step*.
2. Menambah pengetahuan tentang perilaku balok menerus beton prategang parsial khususnya pada gelagar jembatan .

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah diperlukan agar penulisan dapat terarah dan terfokus pada tujuan yang akan dicapai. Hal-hal penting yang perlu dibatasi antara lain :

1. Struktur jembatan digunakan untuk jalan raya berupa gelagar beton prategang balok menerus (*continuous beam*) dengan panjang bentang yang sama, dengan variasi panjang total adalah 30 m dan 50 m.
2. Jenis gelagar adalah pasca tarik yang direkatkan (*bonded tendons*) dan direncanakan dengan metode AASTHO LRFD 1994.
3. Gelagar yang digunakan adalah berpenampang I.
4. Jembatan direncanakan adalah tipe I kelas A dari standar bangunan atas jembatan gelagar beton prategang DPU.
5. Kabel tendon direncanakan melengkung dan menerus di sepanjang bentangan.
6. Balok prategang dianggap tidak retak saat transfer maupun saat layan.
7. Variasi gaya prategang yang diberikan sebesar 90%, 80%, dan 75% dari gaya prategang yang dibutuhkan pada prategang penuh.
8. Kabel prategang yang digunakan adalah jenis *Strand Uncoated 7 Wire super strand ASTM A-416, Grade 270 Low Relaxation*.
9. Blok ujung tidak dibahas dalam tugas akhir ini.
10. Perhitungan lendutan dengan metode *Approximate Time Step Method* pada umur pembebanan 1 bulan, 1 tahun, 3 tahun dan 5 tahun.
11. Beban gempa tidak diperhitungkan.

12. Dalam tugas akhir ini, gelagar jembatan yang dianalisis hanya gelagar interior.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur beton prategang didefinisikan sebagai suatu sistem struktur beton khusus dengan cara memberikan tegangan awal tertentu pada komponen sebelum digunakan untuk mendukung beban luar sesuai dengan yang diinginkan. Tujuan memberikan tegangan awal atau prategang adalah untuk menimbulkan tegangan awal tekanan beton pada lokasi dimana nantinya akan timbul tegangan tarik pada waktu komponen mendukung beban sedemikian rupa sehingga diharapkan suatu beban seluruhnya bekerja tegangan tarik total berkurang atau bahkan lenyap sama sekali. (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Ada tiga konsep dasar untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang. Konsep pertama adalah sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Konsep kedua adalah sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Dan konsep yang ketiga adalah sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban. (T.Y Lin dan Ned H. Burns, 1993)

Lendutan adalah perubahan posisi suatu titik dari batang sebelum bekerjanya beban sampai beban itu bekerja. Pada beton bertulang, lendutan diakibatkan oleh beban dan merupakan lendutan ke bawah. Sedangkan pada beton prategang, lendutan tergantung dari kombinasi pengaruh dari gaya prategang dan

beban luar. Hal yang demikian ini akan lebih mudah dikontrol dengan merubah tampang dan besarnya gaya prategang. Pada balok bertulang dan beton prategang, lendutan di bawah pembebanan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu terutama pengaruh rangkai dan susut pada beton serta relaksasi pada baja. (Naaman, 1982).

Lendutan yang terkontrol akibat gaya prategang pada balok prategang penuh dapat digunakan dengan lebih menguntungkan untuk menghasilkan lendutan ke atas yang diinginkan dan menggeser lendutan akibat beban luar. Selain itu juga diketahui adanya keadaan di mana lendutan ke atas yang berlebihan akibat gaya prategang dapat mengakibatkan kesulitan yang serius. (T.Y Lin dan Ned H. Burns, 1993).

Salah satu keuntungan penting dari beton prategang parsial adalah meningkatkan kontrol lendutan, karena lendutan ke atas akibat gaya prategang pada saat balok belum mengalami pembebanan dapat dihindari dengan menggunakan gaya prategang yang kecil. Meskipun demikian ini berarti bahwa lendutan ke bawah pada saat seluruh beban layan bekerja akan lebih besar. Konsekuensinya sangatlah penting untuk membuat pendekatan dalam memperkirakan lendutan prategang parsial pada tiap-tiap pembebanan. (Arthur H Nelson, 1987).

Kehilangan gaya prategang yang terjadi pada saat transfer (perpendekan elastis beton, slip ankur, dan gesekan) dan kehilangan saat layan (relaksasi tendon, rangkai beton, dan susut) di masing-masing selubung dan lokasi tendon mempunyai nilai yang berbeda. Kehilangan gaya prategang akibat gesek paling

dominan pada saat transfer karena dipengaruhi oleh panjang kabel dan besarnya sudut. (Achmad Iwan K dan Yang Erinda M,2001).

Lendutan antara waktu setelah transfer gaya prategang sampai waktu penempatan pada umur 30 hari pertama, diperhitungkan sebagai lendutan jangka pendek akibat gaya prategang dan berat sendiri balok. Lendutan yang dihasilkan berupa lendutan ke atas yang besarnya semakin bertambah dengan bertambahnya umur beton. Serta semakin berkurang seiring dengan berkurangnya gaya prategang. Dengan semakin bertambahnya umur pembebanan, superposisi lendutan akan menghasilkan lendutan ke bawah yang semakin kecil dan akhirnya pada umur beton tertentu dapat terjadi lendutan ke atas. Metode *Approximate Time Step* didasarkan pada penjumlahan besar lendutan yang terjadi akibat pemberian gaya prategang, baban akibat berat sendiri gelagar, beban mati dan beban hidup.(Anny Irhamy,2001).

BAB III

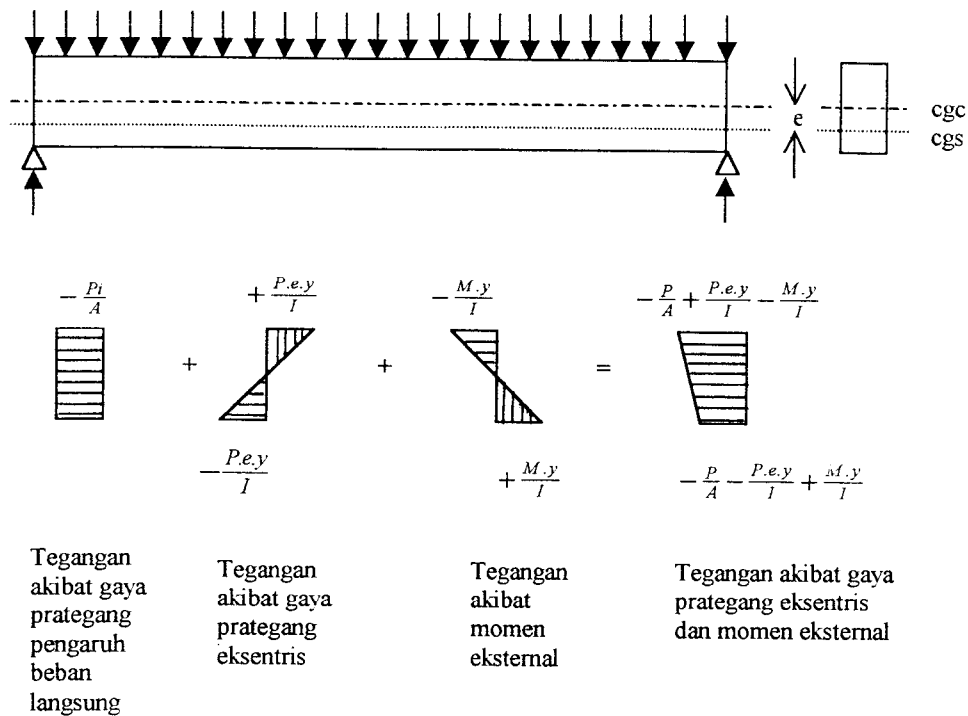
LANDASAN TEORI

3.1 Konsep Dasar Beton Prategang

Lyn dan Burns (1993) mengemukakan tiga konsep yang berbeda-beda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini penting bagi seorang perancang untuk mengerti ketiga konsep tersebut supaya dapat mendesain beton prategang seefisien mungkin. Ketiga konsep tersebut dikemukakan dalam uraian berikut ini.

3.1.1 Sistem Prategang Untuk Mengubah Beton Menjadi Bahan Yang Elastis

Lyn dan Burns (1993) mengemukakan buah pikiran Eugene Freyssinet yang menyatakan bahwa beton yang bersifat getas ditransformasikan menjadi bahan yang bersifat elastis, dengan cara memberi tekanan atau desakan terlebih dahulu. Hal ini diusahakan agar beton tidak mengalami retak di bagian tarik balok walaupun terjadi tarikan. Atas dasar pandangan ini, beton dianggap mengalami dua sistem penegangan, yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal. Tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang (tendon).



Gambar 3.1 Distribusi tegangan pada penampang beton prategang dengan eksentrisitas.

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa gaya tarik prategang P menghasilkan gaya tekan P yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon(c.g.s). Pada keadaan ini gaya berada pada titik berat penampang beton(c.g.c), akibatnya akan terjadi tegangan tekan merata sebesar $f = P/A$. Akibat gaya prategang yang eksentris, beton dibebani oleh momen dan beban langsung. Momen yang dihasilkan oleh sistem prategang adalah $P.e$, maka tegangan akibat momen adalah $f = (P.e.y)/I$. Jika M adalah momen eksternal pada penampang akibat beban dan berat sendiri balok, maka tegangan pada setiap titik sepanjang penampang adalah $f = M.y/I$. Tegangan total yang terjadi pada serat penampang beton yang berjarak y dari c.g.c adalah :

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I} \quad (3.1)$$

dengan f = tegangan total yang terjadi pada penampang beton

P = gaya prategang

A = luas penampang

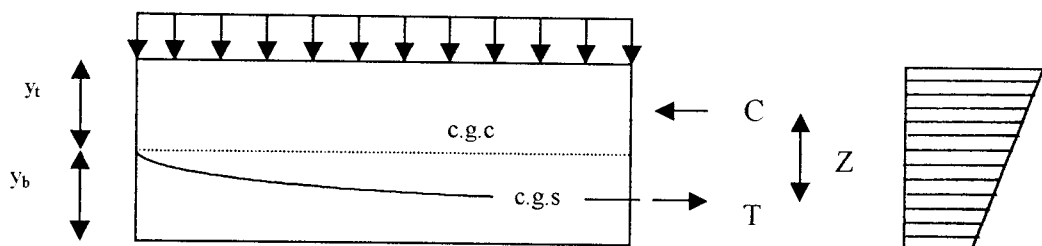
e = jarak pusat berat tendon terhadap c.g.c

y = jarak dari c.g.c terhadap serat terluar penampang

I = momen inersia penampang

3.1.2 Sistem Prategang Untuk Kombinasi Baja Mutu Tinggi Dengan Beton

Seperti pada beton bertulang, beton prategang merupakan kombinasi dari baja prategang (menahan tarik) dan beton (menahan desak), kedua bahan membentuk kopel penahan untuk menahan kopel eksternal.



Gambar 3.2 Kopel dalam akibat gaya prategang dan beban kerja.

Gambar 3.2 menunjukkan persyaratan keseimbangan yang mengharuskan gaya desak (C) = gaya tarik (T). Jika besar gaya prategang yang bekerja diketahui, maka lengan momen (Z) dapat diketahui dengan persamaan

$$Z = \frac{M}{T} \quad (3.2)$$

Karena lengan Z diketahui maka pusat gaya desak dapat ditentukan. Tegangan-tegangan yang terjadi pada sisi atas dan sisi bawah dapat dihitung dengan persamaan :

$$f = \frac{-P}{A} \pm \frac{M.y}{I} \quad (3.3)$$

3.1.3 Sistem Prategang Untuk Mencapai Keseimbangan Beban

Konsep ini menggunakan gaya prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya, sehingga komponen struktur yang mengalami lentur, tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan tertentu. Penerapan dari konsep ini menganggap beton sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang. Besar gaya perimbangan yang dihasilkan oleh tendon dengan gaya-gaya yang terdistribusi secara merata ke atas untuk balok dengan dukungan sederhana adalah sebagai berikut :

$$Wb = \frac{8P.e}{L^2} \quad (3.4)$$

dengan : P = gaya prategang

e = tinggi parabola

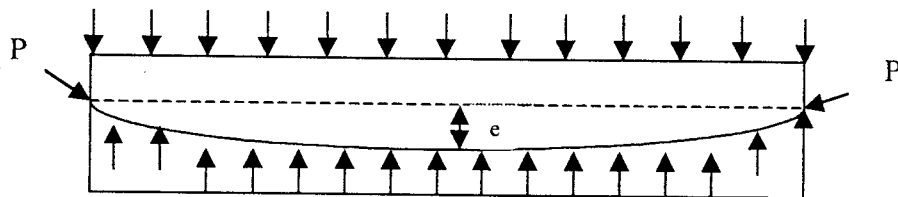
L = panjang bentang

Untuk balok dengan tiga dukungan atau lebih, persamaan tersebut juga dapat dipergunakan dengan cara mengasumsikannya sebagai balok sederhana. Persamaan 3.4 didapatkan dari substitusi antara momen akibat berat sendiri $M = 1/8 Wb \cdot L^2$ dengan momen akibat gaya prategang $M = P.e$. Dimana momen akibat berat sendiri harus sama dengan momen akibat gaya prategang.

Untuk beban W yang terdistribusi secara merata ke arah bawah yang diberikan, beban tegak lurus pada balok diimbangi, dan balok hanya dibebani oleh gaya aksial P , yang menghasilkan tegangan merata pada beton, $f = P/A$. Perubahan tegangan dari keadaan seimbang ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus mekanika $f = M.c/I$. Momen pada keadaan ini adalah momen yang tidak seimbang akibat W_{netto} , beban yang tidak seimbang.

$$W_{netto} = W_{total\ ke\ bawah} - Wb \quad (3.5)$$

$$M_{netto} = \frac{1}{8} W_{netto} . L^2 \quad (3.6)$$



Gambar 3.3 Prategang sistem perimbangan beban

Tegangan yang terjadi pada serat penampang adalah :

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{M_{netto} . c}{I} \quad (3.7)$$

3.2 Sistem Prategang

Cara yang biasa dilakukan untuk mendapatkan tegangan awal (pemberian tegangan) terhadap beton adalah dengan menggunakan tendon baja yang ditarik. Terdapat dua macam cara pelaksanaan pemberian prategang, yaitu pratarik (*pretensioning*) dan pascatarik (*post-tensioning*).

a. Sistem Pratarik

daripada menggunakan prategang penuh. Untuk memberikan keamanan tambahan pada beton prategang parsial, diberikan suatu tulangan non prategang (tulangan biasa) untuk meningkatkan kekuatan batas yang lebih tinggi pada balok. Suatu struktur prategang dapat dikatakan merupakan prategang parsial bila salah satu atau kedua pernyataan di bawah ini terpenuhi, meskipun kadang-kadang hanya digunakan pada pernyataan pertama saja.

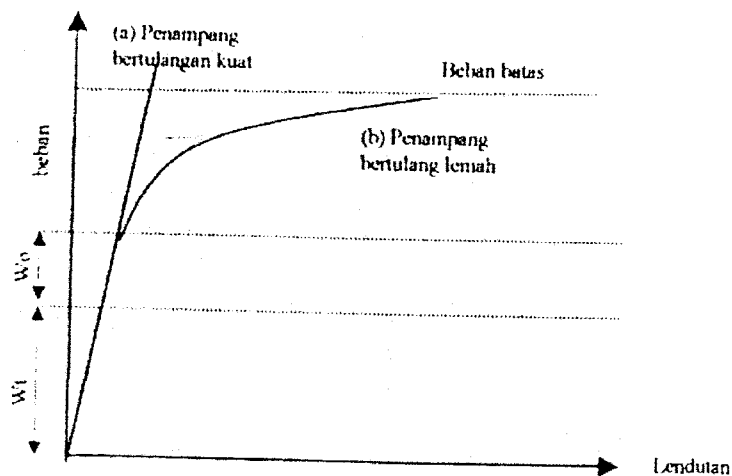
1. Di bawah kondisi beban kerja, tegangan tarik pada beton diijinkan.
2. Tulangan non prategang digunakan pada komponen struktur.

Suatu keuntungan yang penting dari prategang parsial adalah pengurangan lendutan ke atas. Hal ini penting terutama ketika beban gelagar atau beban mati relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan beban rencana total. Meminimumkan lendutan ke atas berarti menurunkan efek rangkai lentur yang disebabkan oleh pembebanan yang terus menerus pada struktur sehingga mempermudah pengendalian keseragaman lendutan ke atas tersebut.

Untuk lebih memahami perilaku dari balok prategang parsial, perlu untuk mempelajari dari balok tersebut yaitu dengan memberikan jumlah tulangan dan besar gaya prategang yang berbeda-beda. Perbedaan pada perilaku suatu balok yang bertulangan kuat (*overreinforced*) dan bertulangan lemah (*underreinforced*) terlihat dengan membandingkan kurva (a) dan kurva (b) dalam gambar 3.4. Sedangkan perilaku dari prategang kuat (*overprestressed*) dan prategang lemah (*underprestressed*) dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Suatu penampang yang diberi tulangan kuat akan mengalami suatu kegagalan akibat tekan pada beton sebelum tegangan tarik baja melewati batas

luluhnya. Deformasi batas dari gaya dan lendutan dari balok adalah kecil dan kegagalan yang terjadi adalah kegagalan getas. Apabila tulangan yang diberikan terlalu kuat, meskipun bajanya tidak diberi gaya prategang, lendutan pada titik sebelum runtuh akan tetap terbatas. Ketika penampang tersebut diberi tulangan lemah, lendutannya akan terus meningkat sangat nyata sebelum kegagalan terjadi, sehingga akan memberikan suatu tanda yang cukup sebelum terjadi keruntuhan. Keruntuhan akan bermula dengan perpanjangan baja yang berlebihan dan berakhir dengan keruntuhan beton secara bertahap pada daerah tekan.



Gambar 3.4 Kurva beban dan lendutan pada tulangan kuat dan lemah

Dalam usaha mencegah terjadinya kegagalan yang tiba-tiba atau keruntuhan yang getas dan juga untuk faktor ekonomis maka suatu beton prategang yang didesain berdasarkan peraturan ACI adalah penampang bertulangan lemah (*underreinforced*). Ketika suatu penampang *underreinforced* didesain untuk prategang penuh, yang mensyaratkan tidak terjadinya tegangan tarik pada saat beban kerja, hubungan antara beban dan defleksi diberikan oleh

kurva (b) pada Gambar 3.5. Sebelum retak, penampang akan menahan suatu beban tambahan W_0 diatas beban kerja W_t , yang besarnya adalah :

$$W_0 = k \cdot \frac{f_r \cdot I_g}{c_b} \quad (3.8)$$

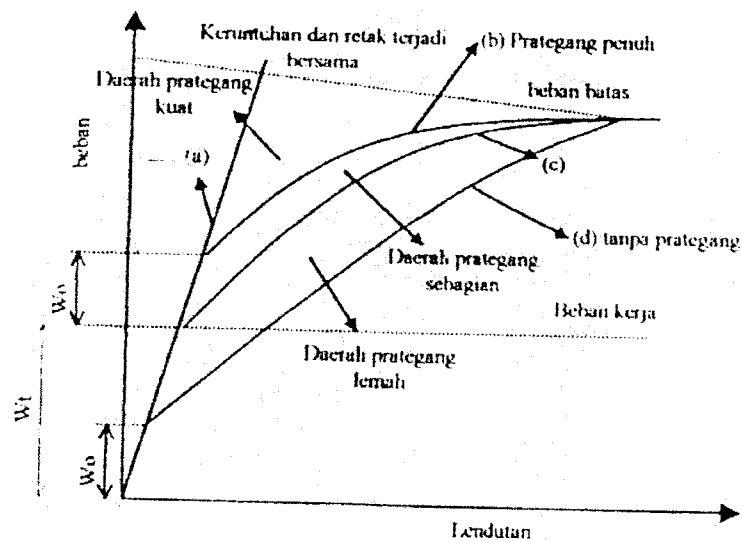
Dengan :

k = suatu konstanta yang tergantung pada panjang bentang dan kondisi ujung-ujung.

f_r = modulus keruntuhan dari beton (Mpa).

c_b = jarak dari cgc ke serat bawah (mm).

(sumber : T.Y. Lin dan Ned H. Burns)



Gambar 3.5 Kurva beban lendutan untuk berbagai tingkat prategang

Jika suatu penampang yang sama bertulangan lemah dengan sejumlah baja yang sama diberi suatu prategang yang lebih kecil, sehingga retak baru akan terjadi bila beban kerja tercapai, tegangan tarik akan sama dengan modulus

keruntuhan (f_r) dibawah beban layan, hubungan beban lendutan ditunjukkan oleh kurva (c), dengan lendutan pada penampang retak mulai terjadi pada beban layan. Jika balok tidak diberi gaya prategang sama sekali, tetapi masih diberi tulangan dengan jumlah baja yang sama, dan direkatkan pada beton, balok akan berperilaku seperti kurva (d). Balok tersebut akan mulai retak ketika beban W_0 tercapai, meskipun kekuatan batasnya tidak banyak berkurang.

Jika balok diberi gaya prategang lebih (*overprestressed*), balok akan mulai retak bila beban telah melampaui $W_t + W_0$, dan kurva beban lendutan akan berada di antara kurva (a) dan (b), gambar 3.5 untuk kasus yang ekstrim ketika suatu balok diberi tulangan sangat lemah tetapi diberi gaya prategang yang sangat tinggi, retak dan keruntuhan akan terjadi secara bersamaan sedemikian rupa sehingga keruntuhan getas terjadi. Pada prinsipnya balok prategang parsial akan mempunyai kurva beban lendutan yang terletak di antara kurva (b) dan (d), tergantung dari besarnya prategang. Tetapi dalam pelaksanaannya retak yang terjadi pada saat beban kerja tidak diijinkan, sehingga kurva lendutan biasanya terletak di antara kurva (b) dan (c), dan jarang berada di bawah kurva (c).

Jenis prategang yang digunakan tergantung pada tipe struktur. Untuk struktur yang tidak boleh mengalami retak pada kondisi beban kerja dan sering mengalami beban berlebih, sebaiknya digunakan prategang penuh yang diperlihatkan oleh kurva (b). Struktur yang jarang mengalami beban berlebih, prategang parsial diantara kurva (b) dan (c) dapat diijinkan. Jumlah baja prategang dapat dihemat bila digunakan desain dengan prategang parsial, tetapi jika diinginkan kekuatan batas yang sama, harus ditambahkan tulangan non-prategang.

3.3.2 Keuntungan dan Kerugian Penggunaan Prategang Parsial

a. Keuntungan beton prategang parsial

Beton prategang parsial mempunyai beberapa keuntungan diantaranya yaitu :

1. Pengendalian lendutan ke atas (*chamber*) yang lebih baik.
2. Penghematan jumlah baja prategang.
3. Penghematan dalam pekerjaan penarikan dan pengankuran ujung.
4. Kemungkinan kekenyalan yang lebih besar pada struktur.
5. Pemanfaatan yang ekonomis dari baja lunak.

b. Kerugian beton prategang parsial

Adapun kerugian dari beton prategang parsial adalah :

1. Retak yang lebih dini.
2. Lendutan yang lebih besar akibat beban berlebihan atau overload.
3. Tegangan tarik utama yang lebih tinggi dalam beban kerja.
4. Sedikit pengurangan dalam kekuatan lentur batas untuk jumlah baja yang sama.

3.4 Balok Menerus

Balok menerus adalah balok yang berada pada dua atau lebih bentangan yang mempunyai gaya reaksi, gaya geser, dan momen lentur yang tidak dapat ditentukan hanya dengan menggunakan persamaan keseimbangan statika dasar yaitu $\Sigma H=0$, $\Sigma V=0$, dan $\Sigma M=0$ (Ghali, A dan Neville, A.M, 1990).

Perbedaan antara balok menerus dengan balok sederhana dapat dilihat pada perbandingan yang sederhana antara kekuatan dari balok yang ditumpu sederhana dengan balok menerus yang dijelaskan dengan Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.

Pada Gambar 3.6 (a) beban w' total yang dapat dipikul oleh balok tersebut ditentukan oleh kapasitas momen batas dari penampang tengah bentang. Jika T' adalah tarikan batas yang ditimbulkan dalam tendon, yang bekerja dengan lengan momen a' , maka momen lawan batas pada tengah bentang adalah $T' \cdot a'$ dengan setengah bentang diambil sebagai benda bebas seperti Gambar 3.6 (b), dan dengan mengambil momen pada tumpuan kiri, kita peroleh :

$$\begin{aligned} \frac{w' L^2}{8} &= T' a' \\ w' &= \frac{8T' a'}{L^2} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Diagram momen yang dihasilkan oleh beban w' ditunjukkan dalam Gambar 3.6 (c).

Pada Gambar 3.7 (a), dengan penampang, panjang bentang, dan baja prategang yang sama dengan balok yang sama dalam Gambar 3.6. Pada Gambar 3.7 (b) dengan mengambil setengah bentang dan mengambil momen pada tumpuan kiri, kita kan peroleh:

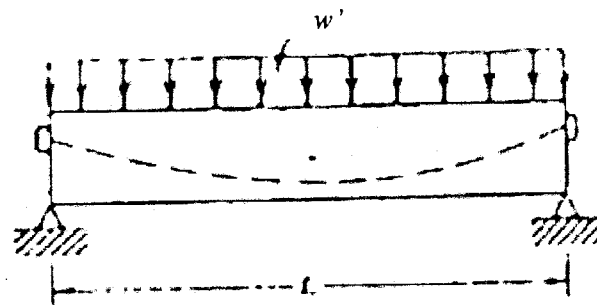
$$\begin{aligned} \frac{w' L^2}{8} &= 2T' a' \\ w' &= \frac{16T' a'}{L^2} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Pada balok menerus terlihat ada dua momen lawan, satu pada tengah-tengah bentang dan satu lagi di atas tumpuan. Dengan demikian kapasitas memikul beban

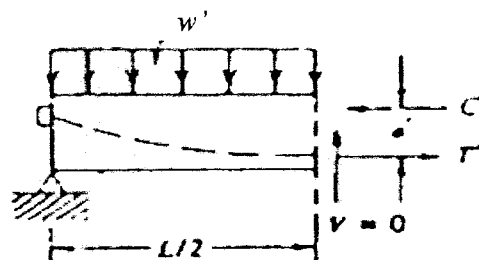
(load carrying capacity) pasti dipengaruhi oleh c.g.s di atas tumpuan tengah.

Bidang momen yang dihasilkan oleh beban w' diberikan dalam Gambar 3.7 (c).

Dengan membandingkan Gambar 3.6 dan 3.7 terlihat bahwa $w_c' = 2w'$. Ini berarti bahwa dua kali beban pada balok sederhana dapat dipikul oleh bentang balok menerus, dengan jumlah beton dan baja yang sama.

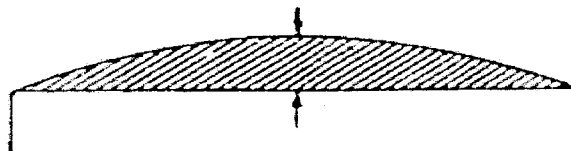


(a) Tampak Balok



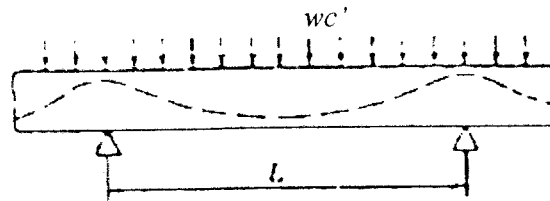
(b) Benda-bebas Setengah Bentang

$$\frac{w' L^2}{8} = T' a'$$

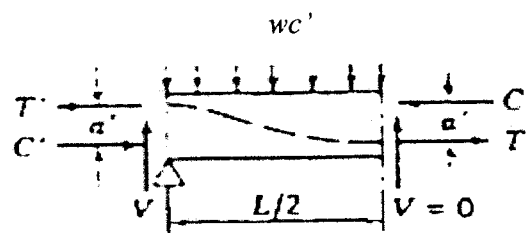


(c) Diagram Momen

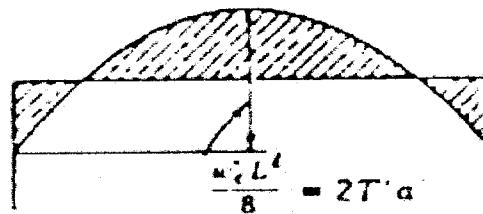
Gambar 3.6 Balok Sederhana



(a) Tampak Balok



(b) Benda-bebas Setengah Bentang



(c) Diagram Momen

Gambar 3.7 Balok Menerus

3.5 Pembebanan

Beban-besan yang bekerja pada struktur jembatan adalah beban gravity, beban tetap, dan beban tidak permanen.

3.5.1 Beban Gravity

Beban gravity adalah beban yang disebabkan oleh beban objek pada jembatan. Beban-beban seperti beban tetap dan beban berjalan bekerja ke arah bawah menuju pusat bumi (AASTHO LRFD, *Bridge Specification* 1994).

3.5.2 Beban Tetap (*Permanent Load*)

Beban-beban yang termasuk beban tetap menurut AASTHO yaitu :

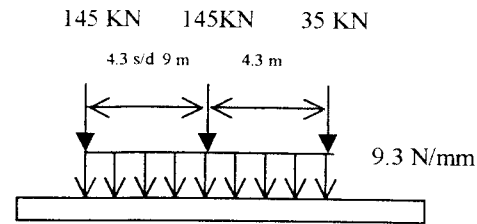
1. Beban mati dari komponen struktur dan perlengkapan non struktur (DC)
2. Beban mati dari permukaan aus dan kegunaannya (DW)
3. Beban mati dari timbunan tanah (EV)
4. Beban tekanan tanah (EH)
5. Beban tambahan tanah (ES)
6. Pengereman (DD)

3.5.3 Beban Tidak Permanen (*Transient Load*)

Beban Rencana Kendaraan

a. *Truck Rencana*

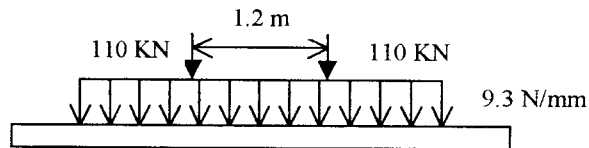
Merupakan konfigurasi pertama dari tiga jenis beban hidup, seperti diilustrasikan pada Gambar 3.8, beban truck rencana adalah model beban yang menyerupai jenis truck semi trailer. Sumbu bagian depan mempunyai berat 35 KN, yang terletak 4300 mm di belakang sumbu kemudi beratnya 145 KN, dan sumbu trailer bagian belakang juga beratnya 145 KN dan diletakkan dengan susunan jarak yang berubah-ubah antara 4300 mm sampai dengan 9000 mm.



Gambar 3.8 Beban rencana AASTHO untuk truck

b. Tandem Rencana

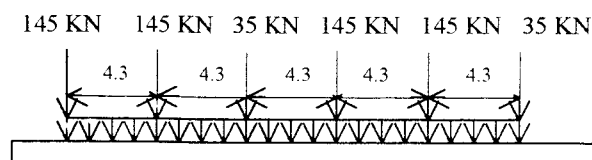
Konfigurasi kedua adalah beban tandem rencana dan diilustrasikan dalam Gambar 3.9 terdiri dari dua sumbu dengan berat 110 kN masing-masing jaraknya 1200 mm.



Gambar 3.9 Beban rencana AASTHO untuk tandem

c. Beban Jalur Rencana

Merupakan konfigurasi beban ketiga yang terdiri dari beban distribusi merata sebesar 9,3 N/mm dan diasumsikan menempati bagian 3000 mm secara melintang (Gambar3.10)



Gambar 3.10 Beban rencana AASTHO untuk beban jalur

3.6 Pembebanan Menurut PPPJJR 1997

3.6.1 Beban Mati

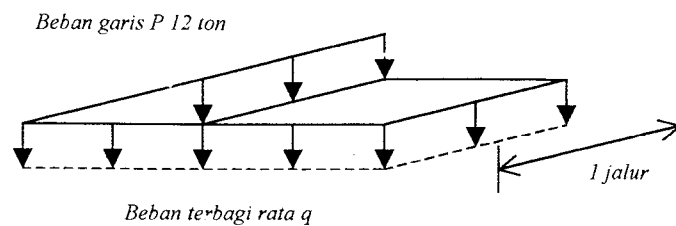
Beban mati adalah beban yang merupakan berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

3.6.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak lalu lintas dan atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

Beban jalur (D)

Beban jalur D merupakan beban jalur untuk gelagar, beban D ini adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar q (ton per meter panjang per jalur) dan beban garis P (ton per jalur lalu lintas tersebut) seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 Beban jalur D untuk gelagar.

Untuk menentukan beban hidup (beban terbagi rata dan beban garis) perlu diperhatikan ketentuan bahwa :

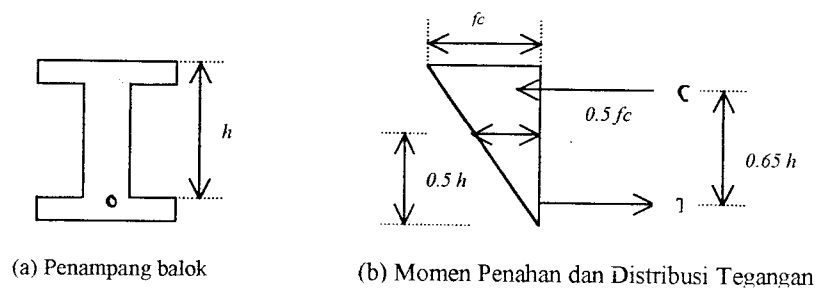
$$\text{Beban terbagi rata} = \frac{q \text{ ton/meter}}{2,75 \text{ meter}} \quad (3.11)$$

$$\text{Beban garis} = \frac{P \text{ ton}}{2,75 \text{ meter}} \times \text{koefisien kejut} \quad (3.12)$$

3.7 Perencanaan Penampang Gelagar Dengan Pendekatan Luas (Metode T.Y. Lin)

Ada dua metode untuk merencanakan penampang gelagar beton prategang, yaitu dengan pendekatan luas (metode T.Y. Lin) dan dengan pendekatan section modulus. Dalam tugas akhir ini menggunakan metode pendekatan luas (T.Y. Lin).

Desain pendahuluan penampang beton prategang untuk menahan lenturan dapat dibentuk dengan prosedur yang sangat sederhana, berdasarkan pengetahuan mengenai kopel gaya dalam C-T yang bekerja pada penampang. Gaya prategang efektif F yang diperlukan adalah dengan mengasumsikan lengan momen sebesar $0,65 h$.



Gambar 3.12 Desain pendahuluan rencana balok.

$$F = T = \frac{M_T}{0,65h} \quad (3.13)$$

Dengan M_t = Momen total, h = tinggi penampang gelagar, jika diasumsikan lengan momen adalah $0,65 h$, dan gaya prategang satuan efektif untuk baja adalah f_{se} , maka luas baja yang diperlukan adalah :

$$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0,65hf_{se}} \quad (3.14)$$

Pada desain pendahuluan tegangan rata-rata dapat diambil kira-kira 50% dari tegangan ijin maksimum f_c , untuk beban kerja, jadi

$$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0,5f_c} \quad (3.15)$$

Prosedur di atas dibuat berdasarkan desain untuk beban kerja dengan sedikit atau tanpa tegangan tarik pada beton. Untuk tinggi balok h di atas dengan proporsi yang umum dapat diperkirakan dengan rumus berikut :

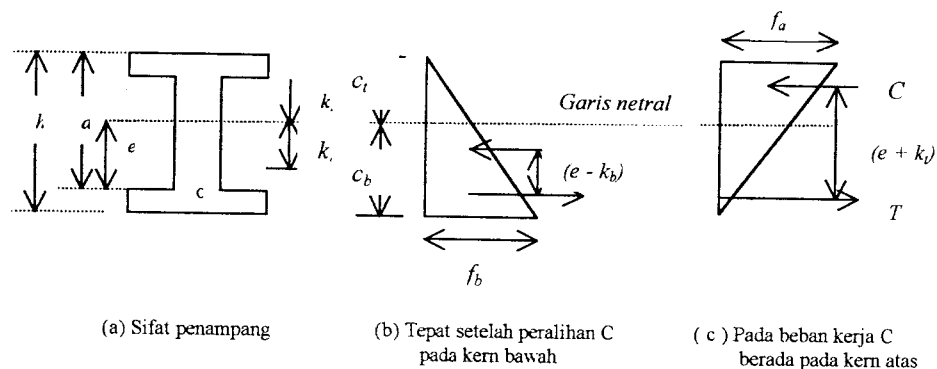
$$h = k\sqrt{M} \quad (3.16)$$

Dengan h = tinggi balok (cm), M = momen lentur maksimum (T_m), k = koefisien yang bervariasi antara 10 sampai 13. Desain pendahuluan yang lebih tepat dapat dilakukan bilamana momen gelagar M_G diketahui selain dari momen total M_T , bila ternyata M_G jauh lebih besar dari 20-30% M_T , maka kondisi awal akibat M_G umumnya tidak akan menentukan desain, dan desain pendahuluan dibuat hanya dengan memperhatikan M_T . Bila M_G relatif kecil terhadap M_T maka c.g.s. tidak dapat ditempatkan terlalu jauh dari kern (inti). dan desain ditentukan oleh $M_l = M_T - M_G$. Dalam hal ini, lengan momen penahan untuk M_T diperkirakan sebesar $k_t + k_b$

yang rata-rata sebesar $0.5h$. Dengan demikian total gaya prategang efektif F yang diperlukan adalah :

$$F = T = \frac{ML}{0,50h} \quad (3.17)$$

Menurut T.Y Lin (2000) bahwa pada perencanaan ini akan dibahas desain awal untuk penampang akibat lenturan berdasarkan teori elastik tanpa terjadi tegangan tarik pada penampang beton baik pada saat peralihan maupun pada beban kerja, berhubung tidak diperkenankan tegangan tarik pada beton c.g.s. akan ditempatkan dibawah kern, dengan ketentuan sebagai berikut :



Gambar 3.13 Distribusi tegangan, tanpa tegangan tarik pada beton

Jika $\frac{M_G}{M_T} \leq 20\%$

Untuk penampang yang didapat dari desain pendahuluan, nilai-nilai M_G, k_t, k_b, A_c dihitung. Maka untuk mencari eksentrisitas e letak tendon terhadap garis netral dapat dihitung sebagai berikut :

$$e - k_b = \frac{M_G}{F_0} \quad (3.18)$$

Dengan M_G adalah momen akibat beban gelagar, F_o gaya prategang yang bekerja pada waktu peralihan, dan $k_b = I_x/c_t$. Maka luas penampang gelagar dapat dihitung kembali dengan persamaan sbb:

$$A_c = \frac{F_o h}{f_b c_t} \quad (3.19)$$

Jika $\frac{M_G}{M_T} \geq 20\%$

Maka untuk mencari eksentrisitas e letak tendon terhadap garis netral dapat dihitung sebagai berikut :

$$E + k_t = \frac{M_T}{F} \quad (3.20)$$

Dengan F adalah gaya prategang efektif, $M_T = M_G + M_L$, dan $k_t = I_x/c_b$. Sehingga luas penampang gelagar A_c dapat dihitung kembali dengan persamaan sebagai berikut :

$$A_c = \frac{F_h}{f_t c_b} \quad (3.21)$$

3.8 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur beton prategang karena berpengaruh terhadap tegangan-tegangan yang terjadi pada penampang beton prategang, pada keadaan awal maupun keadaan service. Kenyataan menunjukkan bahwa gaya prategang awal mengalami penurunan setelah waktu tertentu, konsekuensinya gaya prategang pada masing-masing keadaan berbeda, mulai dari transfer hingga keadan service. Secara umum kehilangan gaya prategang dapat digolongkan menjadi 2 yaitu : kehilangan

langsung (*immediate*) dan kehilangan yang bergantung dengan waktu (*time depending loss*).

Secara umum, perhitungan kehilangan gaya prategang didasarkan pada Hukum Hooke (Edward G. Nawy) yang menyebutkan bahwa :

$$\Delta f = \epsilon \cdot E \quad (3.22)$$

dengan Δf = kehilangan gaya prategang, ϵ = regangan, dan E = modulus elastisitas.

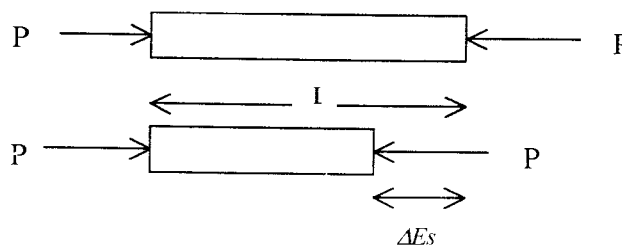
3.8.1 Kehilangan gaya prategang langsung

Kehilangan gaya prategang langsung diakibatkan oleh beberapa hal antara lain :

1. Akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*).
2. Kehilangan prategang akibat gesekan.
3. Kehilangan gaya prategang akibat "slip of anchorage".

1. Akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*)

Transfer gaya prategang ke beton mengakibatkan perpendekan elastis pada beton (*elastic shortening*) dan mereduksi gaya prategang. Mengacu pada hukum Hook, perpendekan elastis beton adalah :



Gambar 3.14 Perpendekan elastis pada beton

$$\Delta_{ES} = \frac{P_1 L}{A_c E_c} \quad (3.23)$$

Dengan, P_1 =gaya tekan, L =panjang batang, A_c =luas penampang beton dan E_c modulus elastis. Untuk kehilangan gaya prategang pada sistem pasca tarik bervariasi mulai dari nol jika tendon diangkurkan secara simultan sehingga setengah nilai yang hitung.

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\Delta_{pES})_j \quad (3.24)$$

Dengan, n = jumlah tendon dan j = jumlah pengangkurkan.

2. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan

Menurut ACI kehilangan gaya prategang terjadi pada perencanaan beton prategang pasca tarik yang disebabkan oleh gesekan antara tendon dan *duck tendon*. Besaran kehilangan gaya prategang ini merupakan fungsi dari formasi tendon atau alinyement disebut *curvature effect*, dan simpangan lokal pada alinyement disebut *wobble effect*,

$$P_s = P_x \times e^{-\mu\alpha + kL} \quad (3.25)$$

dengan :

P_s = harga pratekan pada ujung kabel (dongkrak)

P_x = gaya pratekan pada posisi x dari ujung kabel

L = panjang kabel yang diukur dari ujung kabel ke lokasi x

k = wobble effect (diambil = 0,0026/m')

μ = koefien gesek kabel dan material (diambil = 0,15)

α = sudut kabel (radian)

3. Kehilangan gaya prategang akibat *slip of anchorage*

Menurut T.Y. Lin dan Burns (2000), bahwa kehilangan gaya prategang akibat slip ankur terjadi pada perencanaan beton prategang pascatarik direncanakan oleh pemasangan pasak ankur ketika gaya dongkrak disalurkan ke ankur :

$$ACH = \Delta f_{ps} = \frac{\Delta_a E_s}{L} \quad (3.26)$$

Δ_a = deformasi pengankuran/slip

$E_s = E_p$ = modulus elastis kabel = 200000 MPa

L = panjang kabel

3.8.2. Kehilangan gaya prategang jangka panjang

Kehilangan gaya prategang yang bergantung pada waktu :

1. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi
2. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak
3. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton

1. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi

Menurut PCI Committee (1975), bahwa relaksasi pada tendon terjadi akibat tendon mengalami tegangan tarik dalam waktu cukup lama. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi merupakan fungsi waktu t dan rasio tegangan awal terhadap tegangan leleh tendon (f_p/f_{pi})

$$\Delta f_{pR} = f'_{pi} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f'_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (3.27)$$

dengan :

F'_{pi} = tegangan awal tendon, f_{py} = kuat leleh tendon prategang, t_1 = waktu awal interval, t_2 = waktu akhir interval dari penarikan (*jacking*) ke waktu ketika kehilangan gaya prategang dipertimbangkan.

2. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak

Rangkak adalah deformasi yang terjadi pada struktur akibat tegangan. Tegangan rangkak terjadi akibat pembebanan yang terus-menerus dalam jangka waktu yang lama. Banyak faktor yang mempengaruhi rangkak diantaranya lamanya pembebanan, sifat beton yang meliputi proporsi campurannya, kondisi perawatan, umur elemen pada saat dibebani pertama kali dan kondisi lingkungan.

Kehilangan gaya prategang akibat rangkak dapat dihitung dengan persamaan :

$$\Delta f_{pCR} = K_{CR} \frac{E_s}{E_c} (\bar{f}_{cir} - \bar{f}_{csd}) \quad (3.28)$$

dengan :

$K_{CR} = 2,0$ untuk system struktur pratarik, $K_{CR} = 1,6$ untuk komponen struktur pasca tarik, keduanya untuk beton normal, f_{cs} = tegangan beton pada garis berat tendon (c.g.s) segera setelah peralihan (transfer), f_{csd} = tegangan beton pada

garis berat beton (c.g.c) akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi gaya prategang.

3. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton

Susut pada beton dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti rangkak, perbandingan antara volume dan luas permukaan, kelembaban relatif, dan waktu akhir dari perawatan sampai dengan bekerjanya gaya prategang.

Menurut T.Y Lin (2000), bahwa pada beton prategang pascatarik, jika perbandingan volume dan luas permukaan (V/S) dipertimbangkan dan kelembaban relative diambil sebagai nilai dalam persen. Penjelasan umum PCI untuk kehilangan gaya prategang disebabkan susut adalah :

$$\Delta f_{pSH} = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_{PS} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH) \quad (3.29)$$

3.9 Keadaan Batas

Pada keadaan batas (*limite state*) jembatan beton bertulang harus direncanakan supaya *performance underload*-nya tidak melebihi keadaan batas yang telah ditentukan oleh AASHTO. Keadaan batas ini dapat digunakan pada seluruh tahapan umur jembatan dan termasuk layan (*service*),lelah (*fatigue*), kekuatan batas (*strength*), dan kejadian ekstrim (*extreme event limite state*). Kondisi yang harus sesuai untuk masing-masing keadaan batas ini adalah yang faktor ketahanannya lebih besar dari pengaruh factor kombinasi beban, atau secara sederhana, persediaan (*supply*) harus melebihi permintaan (*demand*).

Ketidaksamaan umum yang harus dipenuhi untuk masing-masing keadaan batas dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$\phi Rn \geq \eta \sum \gamma_i Q_i \quad (3.30)$$

dengan, ϕ = faktor tahanan berdasar statistik, Rn = ketahanan nominal, η = pengali beban yang berhubungan dengan *ductility*, *redundancy*, dan *operational impotence*, γ_i = factor beban berdasar statistic, Q_i = efek gaya.

3.9.1 Kondisi Layan

Kondisi batas layan (*service limite state*) berhubungan dengan bagaimana kemampuan suatu jembatan dalam menahan beban ketika gaya mulai bekerja pada saat layan. Kekuatan yang dipertimbangkan adalah retak, deformasi, tegangan beton, dan tegangan pada tendon prategang menurut kondisi layan biasa. Karena ketentuan selama keadaan batas layan tidak didasarkan secara statistik tetapi agak didasarkan atas percobaan dan keputusan teknik, faktor tahanan ϕ dan faktor beban γ_i , biasanya diambil sebagai satu kesatuan.

Keadaan batas layan masih digunakan dalam perencanaan bagian struktur beton bertulang yang mempunyai tendon prategang, yang bagian penampang pradesak agar tegangan beton f_c dapat ditentukan dari ketidakretakan elastisitas penampang properti dan persamaan yang umum :

$$f_c = -\frac{P}{A_g} \pm \frac{Pey}{I_g} \pm \frac{My}{I_g} \quad (3.31)$$

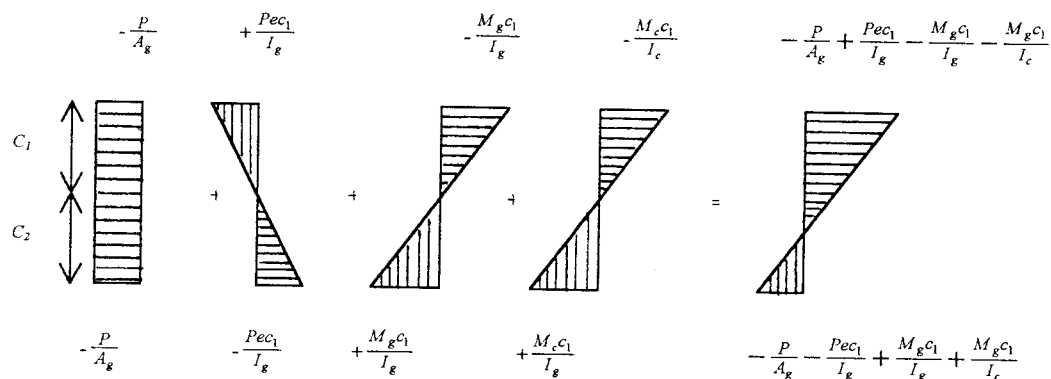
dengan :

P adalah gaya prategang, A_g adalah luas penampang melintang, e adalah eksentrisitas, M adalah momen yang disebabkan beban yang bekerja, y adalah

jarak dari garis netral ke serat terluar, I_g adalah momen inertiya penampang. Jika gelagar tersebut adalah suatu konstruksi komposit, perlu pemisahan momen M ke momen akibat beban pada girder M_g dan momen akibat beban pada penampang komposit M_c , sebab nilai y dan I berbeda, yaitu :

$$f_c = -\frac{P}{A_g} \pm \frac{Pey}{I_g} \pm \frac{M_g y}{I_g} \pm \frac{M_c y_c}{I_g} \quad (3.32)$$

dengan tanda (+) dan (-) untuk tegangan pada serat atas dan bawah harus konsisten dengan kesepakatan tanda yang dipilih. Di mana tarik bertanda (+) dan desak bertanda (-). Distribusi tegangan beton elastik linier ini diperlihatkan pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Distribusi tegangan beton pada saat layan

3.9.2 Keadaan Kekuatan Batas

Dalam keadaan kekuatan batas (*strength limite state*) perhitungan ketahanan (*resistance*) akibat pengaruh beban khusus seperti beban axial, lentur, geser atau torsi, ketidakpastian diwakili oleh kuat kurang (*understrength*) atau factor tahanan ϕ (*resistance factor* ϕ). Faktor ϕ dikalikan dengan perhitungan

tahanan nominal Rn dan terpenuhinya suatu perencanaan ditentukan oleh memenuhi atau tidaknya ketidaaksamaan yang dinyatakan dalam persamaan 3.32.

Pada balok dengan atau tanpa tegangan tarik yang merupakan gabungan dari *nonprestressing reinforcement*, factor ϕ tergantung pada rasio prategang parsial (*partial prestressing ratio PPR*).

$$\phi = 0,90 + 0,10 PPR \quad (3.33)$$

dengan

$$PPR = \frac{A_{ps} f_{py}}{A_{ps} f_{py} + A_s f_y} \quad (3.34)$$

Dimana A_{ps} adalah luas baja prategang, f_{py} adalah kuat leleh baja prategang, A_s adalah luas baja tulangan tarik non prategang, dan f_y adalah kuat leleh tulangan baja.

3.10 Tegangan Beton Bertulang

AASTHO (1994) *Bridge Specification* menyajikan penggabungan perlengkapan perencanaan yang digunakan untuk sebagian beton bertulang dengan kombinasi batang baja dan kabel prategang yang sering disebut prategang parsial. Penjelasan yang dikembangkan juga dapat digunakan untuk beton bertulang dan beton prategang konvensional ketika satu tulangan baja atau yang lain tidak disajikan.

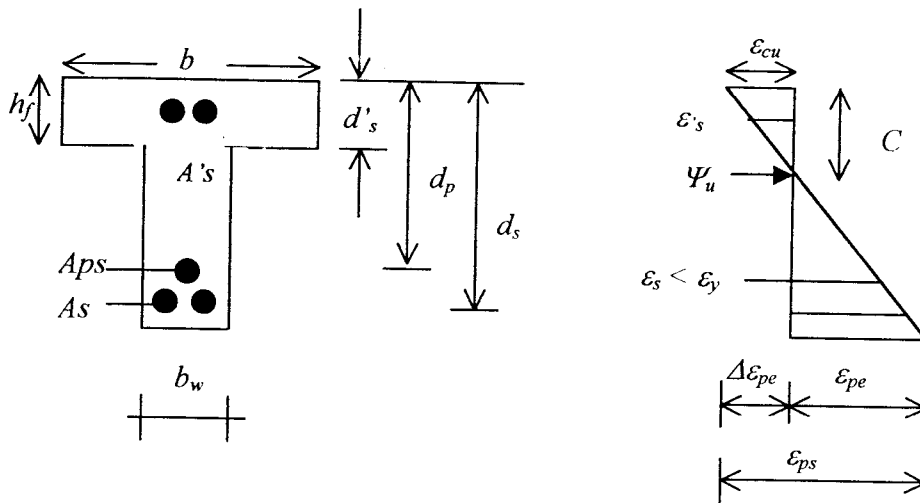
3.10.1 Tinggi sumbu netral pada balok dengan tendon yang direkatkan

Pertimbangan potongan melintang sayap pada balok beton bertulang dan diagram regangan linier diperlihatkan pada Gambar 3.16 pada tendon yang

direkatkan, kondisi kompatibilitas memberikan regangan pada beton di sekitarnya sebagai :

$$\varepsilon_{ep} = -\varepsilon_{cu} \frac{d_p - c}{c} = -\varepsilon_{cu} \left(\frac{d_p}{c} - 1 \right) \quad (3.35)$$

dengan ε_{cu} adalah regangan batas pada serat desak ekstrim, d_p adalah jarak dari serat desak ekstrim ke pusat tendon prategang, dan c adalah jarak dari serat desak ekstrim ke sumbu netral, kemudian regangan tarik dipertimbangkan positif dan regangan desak adalah negatif.



Gambar 3.16 Regangan pada penampang gelagar

Karena $\varepsilon_{ps} = \varepsilon_{cp} + \Delta\varepsilon_{pe}$, maka persamaannya menjadi :

$$\varepsilon_{ps} = -\varepsilon_{cu} \left(\frac{d_p}{c} - 1 \right) + \Delta\varepsilon_{pe} \quad (3.36)$$

$\Delta\varepsilon_{pe}$ adalah beda regangan, ε_{ps} adalah regangan pada tendon prategang, ε_{cp} adalah regangan pada daerah sekitar tendon, dimana $\Delta\varepsilon_{pe}$ kira-kira sama dengan f_{pe}/E_p . Pada batas kekuatan, AASTHO menjelaskan $\varepsilon_{cu} = -0,003$ jika beton tidak terikat. Untuk beton yang terikat ε_{cu} dapat diperkirakan dengan ukuran yang lebih besar

dari pada beton yang tidak terikat (Mander et al, 1988), dengan $\Delta\varepsilon_{pe}$ dan ε_{cu} merupakan konstanta yang tergantung pada pelaksanaan penarikan dan “*lateral confining plessure*” berturut-turut, regangan pada tendon prategang ε_{ps} dan tegangan yang sesuai f_{ps} adalah fungsi dari rasio c/d_p .

Persamaan gaya pada Gambar 3.17 dapat digunakan untuk menentukan tinggi sumbu netral c . Beberapa persamaan diterangkan oleh Loov (1988), diabsahkan oleh Naaman (1992) dan diambil oleh AASTHO adalah sebagai berikut :

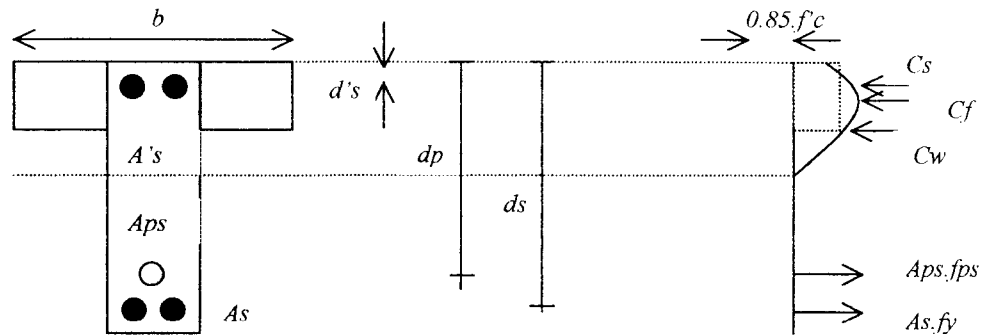
$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) \quad (3.37)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) \quad (3.38)$$

Untuk kabel dengan relaksasi rendah $f_{pu} = 1860$ Mpa, table 3.2 memberikan $f_{py}/f_{pu} = 0,90$ yang dihasilkan pada $k = 0,28$. Dengan menggunakan $E_p = 200000$ MPa, mengabaikan ε_{ce} , dan mengasumsikan $\varepsilon_{cu} = 0,003$ dan $f_{pe} = 0,56 f_{pu}$, persamaan 3.37 dan 3.38 menjadi :

$$\varepsilon_{ps} = 0,003 \frac{d_p}{c} + 0,0023 \quad (3.39)$$

$$f_{ps} = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{c}{d_p} \right) \quad (3.40)$$



Gambar 3.17 Gaya-gaya pada penampang gelagar

Ketika penilaian gaya-gaya desak pada beton baik sekali dengan menggunakan blok tegangan persegi ekuivalen, AASTHO menggunakan ketentuan umum berikut untuk faktor blok yang diambil :

Tegangan desak beton seragam $0,85 f'c$

Ketinggian blok tegangan persegi $\alpha = \beta_1 c$

dengan,

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'c \leq 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) \geq 0,65 \text{ untuk } f'c > 30 \text{ Mpa} \quad (3.41)$$

Persamaan gaya balok pada Gambar 3.16 menghendaki bahwa gaya desak nominal total sama dengan gaya tarik nominal total :

$$C_n = T_n \quad (3.42)$$

dengan :

$$C_n = C_w + C_f + C_s \quad (3.42a)$$

$$T_n = A_{ps} f_{ps} + A_s f_y \quad (3.42b)$$

Dimana C_w = gaya desak beton pada badan, C_f = gaya desak beton pada sayap, C_s = gaya desak pada baja non-prategang, A_{ps} = luas baja prategang, f_{ps} = tegangan rata-rata baja prategang pada tahanan lentur nominal balok diberikan pada persamaan 3.40, dan A_s = luas tulangan tarik.

$$C_w = 0,85 f'_c c b_w = 0,85 \beta_1 f'_c b_w \quad (3.43a)$$

$$C_f = 0,85 \beta_1 f'_c (b - b_w) h_f \quad (3.43b)$$

$$C_s = A'_s f_y \quad (3.43c)$$

$$\epsilon'_s = \epsilon_{cu} \frac{c - d'_s}{c} = \epsilon_{cu} \left(1 - \frac{d'_s}{c} \right) \quad (3.44)$$

$$T_n = A_{ps} f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) + A_s f_y \quad (3.45)$$

$$C_n = 0,85 \beta_1 f'_c c b_w + 0,85 \beta_1 f'_c (b - b_w) h_f + A'_s f_y \quad (3.46)$$

Dari persamaan tersebut didapat letak garis netral c terhadap serat atas, yaitu :

$$c = \frac{A_{ps} f_{pu} + A_s f_y - A'_s f'_y - 0,85 \beta_1 f'_c (b - b_w) h_f}{0,85 \beta_1 f'_c b_w + k A_{ps} (f_{pu} / d_p)} \geq h_f \quad (3.47)$$

3.10.2 Kuat Lentur Nominal

Tegangan lentur nominal (M_n) untuk bagian balok beton bertulang dapat dihitung dengan sederhana setelah diketahuinya c dan f_{ps} pada tendon terekat (*bounded tendond*) dan tendon tidak terekat (*unbounded tendond*). Dari Gambar 3.16 dan keseimbangan momen sekitar C_w didapatkan :

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\frac{a}{2} - d'_s \right) + C_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2} \right) \quad (3.48)$$

dengan $a = \beta_1 c$ dan c tidak kurang dari ketebalan sayap desak h_f . Substitusi dari persamaan 3.43b dan 3.43c untuk C_f dan C_s menghasilkan :

$$M_n = M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y \left(d_s - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_y \left(\frac{a}{2} - d'_s \right) + 0,85 \beta_1 f'_c (b - b_w) h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2} \right) \quad (3.49)$$

Jika tinggi sumbu netral dari serat desak ekstrim c adalah lebih kecil dari ketebalan sayap desak h_f , atau jika balok tidak mempunyai sayap, kuat lentur nominal M_n untuk penampang balok dihitung dari persamaan 3.49 dengan b_w disusun sama dengan b .

3.11 Analisis Lendutan

Lendutan adalah perubahan posisi suatu titik dari batang sebelum bekerjanya beban sehingga beban bekerja. Lendutan pada balok prategang berbeda dengan balok bertulang biasa. Pada balok bertulang biasa lendutan dipengaruhi oleh beban yang bekerja padanya selain faktor susut dan rangkakan pada lendutan jangka panjang. Pada balok prategang selain dipengaruhi beban yang bekerja juga dipengaruhi oleh gaya prategang yang bekerja. Lendutan akibat gaya prategang ini dapat digunakan dengan lebih menguntungkan untuk menghasilkan lendutan keatas. Lendutan pada balok beton prategang terdiri dari dua jenis yaitu lendutan jangka pendek dan lendutan jangka panjang. Faktor-faktor yang tergantung pada waktu dapat memperbesar lendutan, seiring dengan bertambahnya waktu, sehingga dalam mendesain suatu struktur harus dievaluasi lendutan jangka pendek (*short term*), maupun lendutan jangka panjang (*long term*) agar lendutan ini terjamin dan tidak akan melebihi suatu kriteria tertentu.

Faktor-faktor yang tergantung waktu ini disebabkan oleh rangkai (*creep*) dan susut (*shrinkage*) dari beton serta relaksasi dari baja.

a. Lendutan jangka pendek (*short term*)

Lendutan jangka pendek adalah lendutan yang terjadi segera setelah beban bekerja. Pada balok prategang lendutan jangka pendek dibedakan menjadi dua yaitu lendutan yang arahnya keatas (*chamber*) diakibatkan oleh gaya prategang awal dan lendutan yang arahnya kebawah diakibatkan oleh berat sendiri balok.

1. Lendutan ke atas ditengah bentang akibat gaya prategang dihitung dengan rumus :

$$\delta_{pi} = \frac{P.e.L^2}{8EI} \quad (3.50)$$

2. Lendutan di tengah bentang akibat berat sendiri gelagar dihitung dengan rumus :

$$\delta_D = \frac{5M_D.L^2}{384EI} \quad (3.51)$$

3. Lendutan di tengah bentang akibat beban mati dihitung dengan rumus :

$$\delta_{SD} = \frac{5M_g.L^2}{48EI} \quad (3.52)$$

4. Lendutan di tengah bentang akibat beban hidup dihitung dengan rumus :

$$\delta_L = \frac{5M_L.L^2}{384EI} \quad (3.53)$$

b. Lendutan jangka panjang (*long term*)

Salah satu metode perhitungan lendutan jangka panjang adalah metode *Approximate Time step*. Secara umum metode *Approximate Time Step* merupakan suatu metode perhitungan lendutan yang didasarkan pada penjumlahan besar lendutan yang terjadi akibat faktor-faktor yang mempengaruhinya. Faktor-faktor tersebut antara lain gaya prategang yang diberikan, beban akibat berat sendiri, beban mati, dan beban hidup

Pada balok prategang, lendutan jangka panjang juga dipengaruhi oleh lendutan sesaat (jangka pendek), rangkak beton, susut beton, relaksasi baja, dan kehilangan gaya prategang yang dipengaruhi oleh waktu.

❖ Rangkak beton

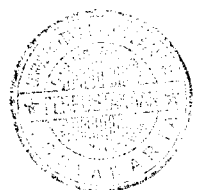
Rangkak beton (*creep*) adalah besarnya regangan tambahan pada suatu struktur beton yang mengalami regangan konstan, yang diukur dari regangan yang terjadi pada saat tertentu (Nawy,1990).

Untuk menghitung koefisien rangkak beton dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_t = \frac{t^{0,6}}{10 + t^{0,6}} C_u \quad (3.54)$$

Dimana, C_t = koefisien rangkak pada waktu t , C_u = koefisien rangkak batas =2,35 dan t adalah waktu dalam satuan hari.

❖ Susut beton



Susut pada beton (*shrinkage*) adalah kondisi akibat pengeringan dan perubahan kimiawi yang tergantung pada waktu dan keadaan kelembaban, tetapi tidak pada tegangan.

Untuk menghitung koefisien susut dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{1}{35+t} (\epsilon_{SH})_u \quad (3.55)$$

Dengan t adalah umur beton dan nilai C_{SH} adalah $800 \cdot 10^{-6}$ in/in

Total lendutan yang terjadi pada akhir umur rencana dengan metode *Approximate Time Step* adalah sebagai berikut :

$$\delta_T = -\delta_{pi} \left(1 - \frac{\Delta P}{P_0} + \lambda(k_r C_t) \right) + \delta_D (1 + k_r C_t) + \delta_{SD} (1 + K_a k_r C_t) + \delta_L \quad (3.56)$$

Dimana δ_{pi} adalah lendutan ke atas akibat gaya prategang, Δp adalah total kehilangan gaya prategang tanpa kehilangan elastis beton, P_0 adalah gaya prategang pada saat transfer setelah kehilangan elastis beton, δ_{SD} adalah lendutan akibat beban mati, δ_D adalah lendutan akibat berat sendiri balok, δ_L adalah lendutan akibat beban hidup, Ct adalah koefisien rangkai pada waktu $t = 2,35$, K_a adalah faktor yang berhubungan dengan umur beton, $K_a = 1,25 t^{-0,118}$ untuk beton yang dirawat basah dan $K_a = 1,13 t^{-0,095}$ untuk beton yang dirawat uap panas, nilai λ adalah $1 - \Delta p / 2P_0$, nilai k_r diambil 1.

BAB IV

PROSEDUR PENELITIAN

4.1 Model Struktur

Model struktur yang digunakan berupa gelagar jembatan diatas 3 perletakan dukungan dengan variasi panjang bentang total (L) 30 m dan 50 m. Jarak antar gelagar (B) pada masing-masing variasi tersebut diambil 1,8 m.

4.2 Bahan dan Pembebanan

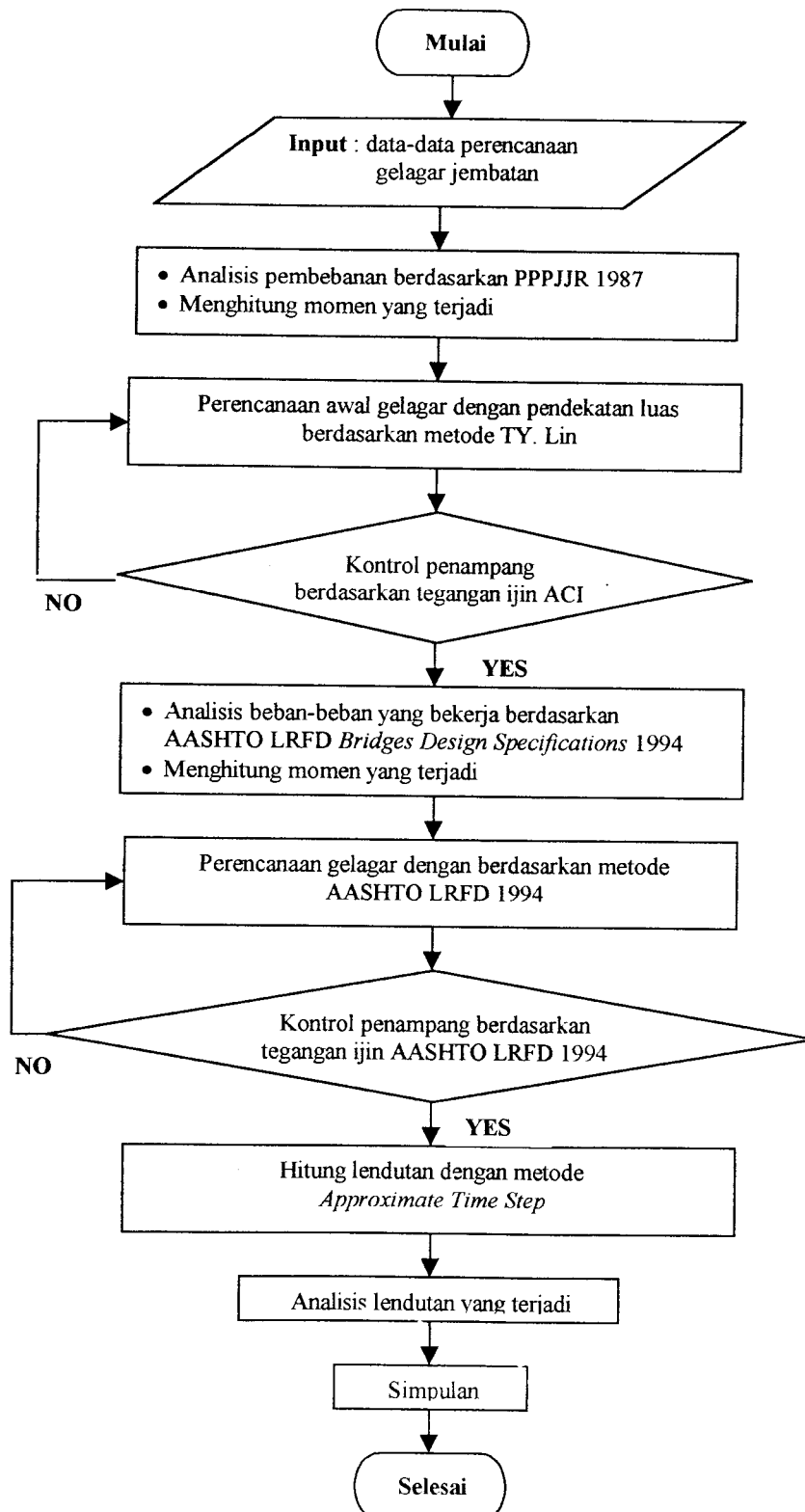
Bahan dan pembebanan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah :

1. Mutu beton yang digunakan adalah beton dengan $f_c' = 45$ Mpa
2. Kuat tarik ultimit baja pratgang (f_{pu}) = 1860 Mpa dan tulangan pasif (non prategang) $f_y = 360$ Mpa
3. Modulus elastis beton (E_c) = $4700 \sqrt{f_c'}$ = 31528, 5585 Mpa.
4. Modulus elastis baja prategang (E_s) = 2×10^5 Mpa
5. $n = E_s/E_c = 6,343$
6. γ beton = 24 KN/m^3
7. Kelas jembatan kelas I
8. Pembebanan struktur menggunakan PPPJJR 1987 untuk perencanaan awal gelagar, sedangkan perencanaan gelagar dengan metode AASTHO LRFD

1994 menggunakan pembebanan berdasarkan AASHTO LRFD *bridges Design Specifications* 1994.

4.3 Tahapan Analisis

1. Menganalisis sistim pembebanan yang bekerja pada struktur, terdiri dari beban mati dan beban hidup baik secara terpusat dan terbagi rata berdasarkan PPPJRR 1987.
2. Menghitung perencanaan awal gelagar dengan menggunakan pendekatan luas berdasarkan metode T.Y. Lin.
3. Menganalisis sistim pembebanan yang bekerja pada struktur berdasarkan ketentuan AASHTO LRFD *bridges Design Specifications* 1994.
4. Menghitung perencanaan gelagar dengan metode AASHTO LRFD 1994.
5. Menghitung lendutan yang terjadi dengan *Approximate Time Step Methode*.
6. Menganalisis hasil hitungan dengan membandingkan hasil hitungan lendutan dengan metode *Approximate Time Step Methode* pada berbagai variasi panjang bentang dan prosentase gaya prategang yang diberikan.
7. Menarik simpulan hasil analisis.



Gambar 4.1 Bagan alir proses perhitungan dan analisis

BAB V

PERENCANAAN DAN ANALISIS

5.1 Data Analisis

Rencana spesifikasi teknis model jembatan adalah sebagai berikut :

- Panjang bentang total 30 m dan 50 m di atas 3 perletakan dukungan.
- Jarak antar gelagar (B) = $1,8\text{ m}$
- Gelagar yang digunakan adalah balok dengan penampang I simetris
- Mutu beton (f'_c) = 45 MPa
- Saat transfer, kuat beton diperkirakan mencapai $90\%f'_c$.

$$f'_{ci} = 0,9 \times 45 = 40,5\text{ MPa.}$$

- Kuat tarik ultimit baja prategang (f_{pu}) = 1860 MPa
- Kuat tarik ultimit tulangan non prategang (f_y) = 360 Mpa
- Berat jenis beton (γ_{beton}) = 24 KN/m^3

5.2 Perencanaan dan Analisis Gelagar dengan Bentang 30 m

5.2.1 Perencanaan dan Analisis Gelagar Prategang Penuh

5.2.1.1 Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang

Perhitungan perencanaan awal penampang gelagar menggunakan teori pendekatan elastis yang dijelaskan oleh T.Y. Lin dengan pembebanan dari

PPPJJR 1987. Dimensi penampang yang didapatkan dari perencanaan awal ini kemudian digunakan untuk perencanaan penampang gelagar jembatan dengan metode AASHTO LRFD 1994.

A. Perhitungan Pembebanan untuk Bentang

1. Beban mati

Beban merata (q_{DL})

Lapisan aspal	= $0,09 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 2300 \text{ Kg/m}^3$	= 372,6 kg/m
Tebal slab	= $0,20 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 2500 \text{ Kg/m}^3$	= 900 Kg/m
Genangan air	= $0,05 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 1000 \text{ Kg/m}^3$	= 90 Kg/m
Total		= 1362,6 Kg/m
		= 13,367 kN/m

2. Berat sendiri gelagar

Berat sendiri gelagar diasumsikan = 15 KN/m

3. Beban hidup

a. Beban hidup per lajur lalu lintas adalah :

- beban terbagi rata per lajur (q) = 2,2 t/m/lajur untuk < 30 m (PPPJJR 1987)

- beban garis per lajur (p) = 12 ton (PPPJJR 1987)

- koefisien kejut (k) = $1 + \frac{20}{(60 + L)} = 1 + \frac{20}{60 + 15} = 1,3077$ (PPPJJR 1987)

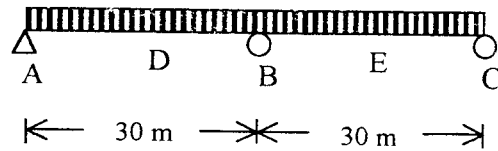
b. Besar beban hidup per meter lebar jembatan

$$\text{- beban merata } (q_{LL}) = \frac{q(\text{ton/meter})}{2,75(\text{meter})} = \left(\frac{1,8}{2,75} \times 2,2 \right) = 1,44 \text{ t/m}$$

$$= 14,1264 \text{ KN/m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- beban garis } P_{LL} &= \frac{p(\text{ton})}{2,75(\text{meter})} \times \text{koefkejut} = \left(\frac{1,8}{2,75} \times 12 \right) \times \text{koefkejut} \\
 &= 10,2714 \text{ ton} = 100,762 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

B. Perhitungan Momen



Perhitungan momen menggunakan metode *slope deflection*.

a. Momen akibat beban mati

Bentang A-B-C

$$FEM = 1/12 WL^2$$

$$FEM_{AB} = + 250,63125 \text{ KNm}$$

$$FEM_{BA} = - 250,63125 \text{ KNm}$$

$$FEM_{BC} = + 250,63125 \text{ KNm}$$

$$FEM_{CB} = - 250,63125 \text{ KNm}$$

$$M_{AB} = 2 EK (2\theta_A + \theta_B - 3\psi) + FEM_{AB}$$

$$= 0$$

$$M_{BA} = 2 EK (\theta_A + 2\theta_B - 3\psi) + FEM_{BA}$$

$$= 30\theta_B - 1044,297$$

$$M_{BC} = 2EK (2\theta_B + \theta_C - 3\psi) + FEM_{BC}$$

$$= 4\theta_B + 2\theta_C + 696,198$$

$$M_{CB} = 2EK (\theta_B + 2\theta_C - 3\psi) + FEM_{CB}$$

$$= 2\theta_B + 4\theta_C - 696,198$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow M_{BA} - M_{BC}$$

Diperoleh $\theta_B = 0$ dan $\theta_C = 62,6578$

Momen yang terjadi :

$$M_{AB} = 0$$

$$M_{BA} = -375,946875 \text{ KNm}$$

$$M_{BC} = +375,946875 \text{ KNm}$$

$$M_{CB} = 0$$

b. Momen akibat berat sendiri gelagar

$$M_D = 210,9375 \text{ KNm}$$

$$M_B = -421,875 \text{ KNm}$$

$$M_E = 210,9375 \text{ KNm}$$

c. Momen akibat beban hidup

Dihitung dengan metode deformasi konsisten yang dijelaskan dalam lampiran 1

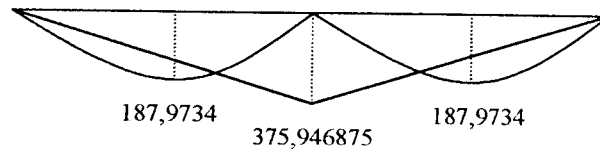
dan menghasilkan momen sebesar :

$$M_D = 434,6445 \text{ KNm}$$

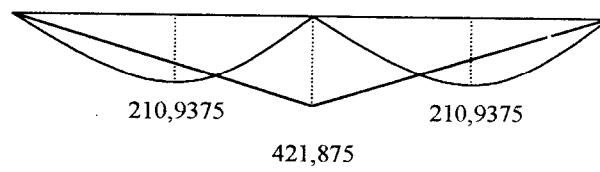
$$M_B = -421,875 \text{ KNm}$$

$$M_E = 434,6445 \text{ KNm}$$

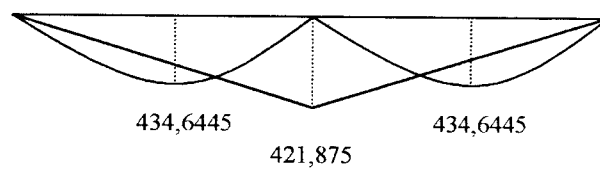
- Diagram momen akibat beban mati :



- Diagram momen akibat berat sendiri gelagar



- Diagram momen akibat hidup



C. Tegangan Ijin Beton

Tegangan yang terjadi pada gelagar beton prategang pada saat perencanaan awal harus memenuhi persyaratan ijin (menurut ACI) sebagai berikut :

1. Saat transfer

$$\text{Tegangan tekan ijin : } f_{ci} = 0,6 \times f'_{ci} = 0,6 \times 40,5 = -24,3 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik ijin : } f_{ti} = 0,25 \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \sqrt{40,5} = 1,59 \text{ Mpa}$$

2. Saat service (layan)

$$\text{Tegangan tekan ijin : } f_{cs} = 0,45 \times f'_{c} = 0,45 \times 45 = -20,25 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik ijin: } f_{ts} = 0,5 \sqrt{f'_{c}} = 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa}$$

D. Perhitungan Dimensi Penampang Pasca Tarik

Untuk menentukan tinggi balok digunakan persamaan $h = k \sqrt{M}$.

$$M = 421,875 \text{ KN.m} = 43,0046 \text{ t.m}$$

$$h = 10 \sqrt{43,0046} \text{ s/d } 15 \sqrt{43,0046}$$

$$h = 64,9519 \text{ cm s/d } 97,4279 \text{ cm}$$

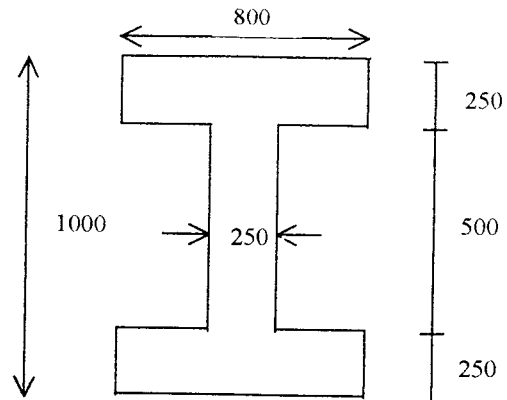
$$\text{Digunakan } h = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar sayap } (b_f) = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar badan } (b_w) = 250 \text{ mm}$$

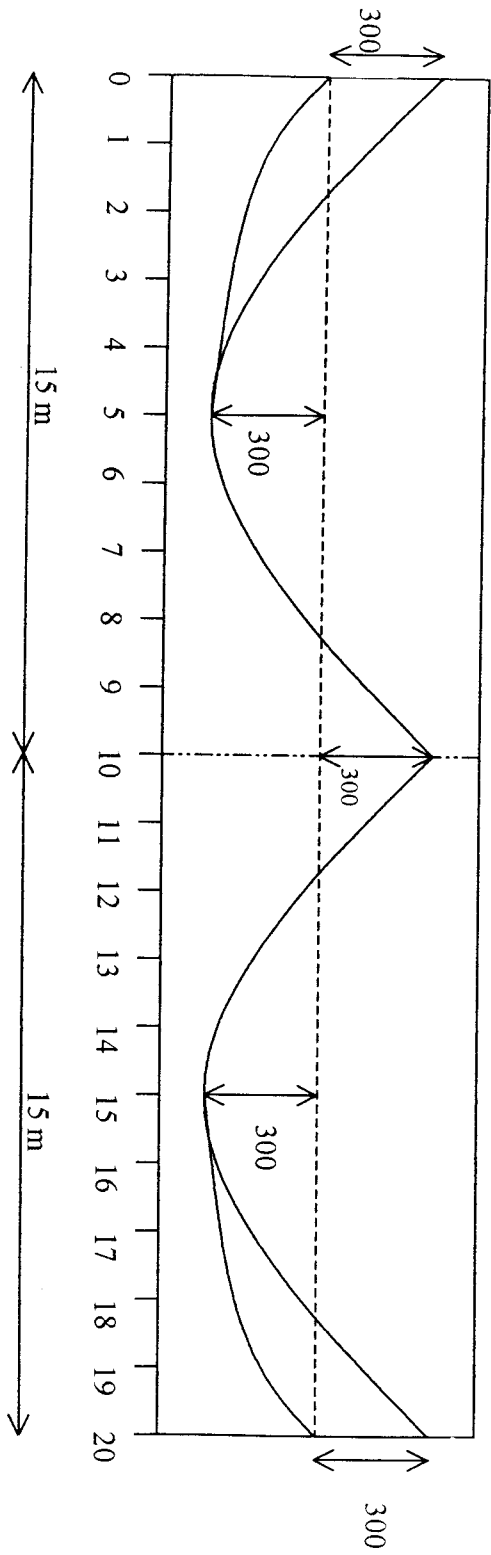
$$\text{Tinggi sayap } (h_f) = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi badan } (h_w) = h - 2.h_f = 500 \text{ mm}$$



Gambar 5.1 Dimensi penampang rencana

Untuk selanjutnya, perencanaan gelagar beton prategang penuh pasca-tarik dengan tendon yang direkatkan (*bounded tendons*) dapat dilihat dalam table 5.1



Gambar 5.2 Tata letak tendon untuk bentang total 30 m

**TABEL 5.1 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

No.	Keterangan	Simbol / Rumus	Nilai	Satuan
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	421.8750	KN.m
2.	Momen akibat beban mati	M_D	375.9469	KN.m
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	681.0360	KN.m
4.	Momen total	M_T	1478.8579	KN.m
5.	Tinggi balok yang digunakan	$h = k\sqrt{M}$	1000	Mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = \frac{M_T}{0.65h}$	2275.1660	KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	1106.7000	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	2055.8110	mm ²
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45f'_c)}$	224707.753	mm ²

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

10.	Luas penampang yang digunakan	A_c (terpakai)	525000	mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \cdot \gamma_c$	12.6000	KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	354.3750	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	1411.3579	$KN.m$
	Check M_G/M_T	M_G/M_T	0.2511	> 20 % → OK !
14.	Inersia penampang gelagar	I_c	60937500000	mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t	500	mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	500	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	s	200	mm
18.	Jari-jari inersia	r	340.6926	mm
19.	Kem atas	K_t	232.1429	mm
20.	Kem bawah	K_b	232.1429	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

21.	Eksentrisitas	$e = y_b - s$	300	mm
22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e + k_t)}$	2652.2162	kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	3120.2543	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_t \cdot y_b}$	261302.0875	mm ²
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_b} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	231524.4675	mm ²
Ambil nilai luas penampang yang diperlukan yang terbesar		$A_{c(perlu)}$	261302.0875	mm ⁴

**TABEL 5.2 KONTROL PENAMPANG BETON PRATEGANG
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Simbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \cdot e \cdot y_t}{I_c} - \frac{M_G \cdot y_t}{I_c}$	-1.1704	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_G \cdot y_b}{I_c}$	-10.716	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F \cdot e \cdot y_t}{I_c} - \frac{M_T \cdot y_t}{I_c}$	-10.0104	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_T \cdot y_b}{I_c}$	0	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			

5.2.1.2 Perencanaan Penampang Gelagar dengan Metode AASHTO LRFD 1994

A. Spesifikasi Perencanaan Gelagar Metode AASHTO LRFD 1994

1. Tebal minimum pada gelagar

$$\text{Tebal sayap} = 250 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \quad \text{ok.}$$

$$\text{Tebal badan} = 250 \text{ mm} \geq 125 \text{ mm} \quad \text{ok.}$$

2. Tinggi minimum gelagar (termasuk ketebalan pelat beton /deck)

$$h_{min} = 0.045L = 0.045 \times 15 \text{ m} = 0,675 \text{ m} = 675 \text{ mm}$$

$$h = 1000 + 200 = 1200 \text{ mm} > h_{min} \quad \text{ok.}$$

3. Lebar sayap efektif

$$\text{Panjang bentang efektif} = 15 \text{ m} = 15000 \text{ mm}$$

$$b_i = \frac{1}{2} \text{ bentang efektif} = \frac{1}{2} (15000) = 7500 \text{ mm}$$

$$b_i = 12 h_f + \frac{1}{2} b_f = 12(250) + \frac{1}{2} (800) = 3400 \text{ mm}$$

$$b_i = \frac{1}{2} \text{ jarak antar gelagar} = \frac{1}{2} (1800) = 900 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil nilai } b_i \text{ terkecil} = 900 \text{ mm}$$

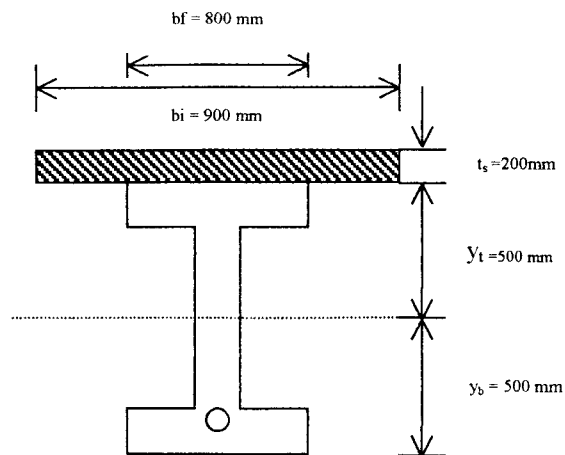
4. Faktor distribusi momen

Tipe potongan melintang jembatan adalah beton precast atau beton cast-in-place. Kuat desak gelagar beton = 45 Mpa dan kuat desak deck beton =

$$40,5 \text{ Mpa. sehingga rasio modulus } n \text{ menjadi : } n = \sqrt{\frac{f'_c(\text{beam})}{f'_c(\text{deck})}} =$$

$$\sqrt{\frac{45}{40,5}} = 1,054$$

Faktor kekakuan K_c (lihat gambar 5.3 properti penampang melintang tambahan)



Gambar 5.3 Properti potongan melintang gelagar

$$e_g = y_t + \frac{t_s}{2} = 50 + \frac{20}{2} = 60 \text{ cm}$$

$$K_g = n(I_g + A.e_g^2) = 1,054(6093750 + 5290.60^2)$$

$$= 26495188,5 \text{ cm}^4 = 2,6495 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\frac{K_g}{L \times t_s^3} = \frac{2,6495 \cdot 10^{11}}{15000 \times 200^3} = 2,0279$$

a. Faktor distribusi momen gelagar interior untuk satu pembebanan jalur rencana

$$m g_M^{SI} = 0,06 + \left(\frac{S}{4300} \right)^{0,4} \times \left(\frac{S}{L} \right)^{0,3} \times \left(\frac{K_g}{L \times t_s^3} \right)^{0,1}$$

$$m g_M^{SI} = 0,06 + \left(\frac{1800}{4300} \right)^{0,4} \times \left(\frac{1800}{15000} \right)^{0,3} \times (2,0279)^{0,1} = 0,4645$$

b. Faktor distribusi momen gelagar interior untuk dua pembebanan jalur rencana

$$mg_M^{MI} = 0,075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0,6} \times \left(\frac{S}{L}\right)^{0,2} \times \left(\frac{K_g}{L \times t_s^3}\right)^{0,1}$$

$$mg_M^{MI} = 0,075 + \left(\frac{1800}{2900}\right)^{0,6} \times \left(\frac{1800}{15000}\right)^{0,2} \times (2,2079)^{0,1} = 0,6070$$

B. Pembebanan Pada Gelagar Menerus

a. Beban hidup

Perhitungan momen gelagar akibat beban hidup menggunakan metode garis pengaruh. Untuk beban terpusat momen didapatkan dari besarnya beban dikalikan dengan ordinat garis pengaruh ditambah dengan besarnya momen akibat berat sendiri gelagar. Sedangkan momen untuk beban merata (beban jalur) didapatkan dari besarnya beban jalur dikalikan dengan luasan bidang yang dibentuk oleh garis pengaruh dengan garis normal ditambah dengan besarnya momen akibat berat sendiri gelagar.

1. Lokasi 0 (lihat garis pengaruh momen di lampiran 2)

Beban truck rencana

$$M_0^{Tr} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_0^{Ta} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_0^{Ln} = 0 \text{ KN.m (lihat tabel di lampiran3)}$$

2. Lokasi 1 (lihat garis pengaruh momen di lampiran 2)

Beban truck rencana

$$M_1^{Tr} = 145(1,35) + 145(0,92) + 35(0,49) + 99,225 = 445,525 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_1^{Tr} = 145(0) + 145(1,35) + 35(0,92) + 99,225 = 327,175 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_1^{Ta} = 110(1,35) + 110(1,23) + 99,225 = 383,025 \text{ KN.m}$$

$$M_1^{Ta} = 110(0,27) + 110(1,35) + 99,225 = 277,425 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_1^{Ln} = 94,1625 + 99,225 = 193,3875 \text{ KN.m}$$

3. Lokasi 2

Beban truck rencana

$$M_2^{Tr} = 145(2,4) + 145(1,54) + 35(0,68) + 170,1 = 765,2 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_2^{Tr} = 145(0) + 145(2,4) + 35(1,54) + 170,1 = 572 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_2^{Ta} = 110(1,44) + 110(2,4) + 170,1 = 592,5 \text{ KN.m}$$

$$M_2^{Ta} = 110(2,4) + 110(2,16) + 170,1 = 671,7 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_2^{Ln} = 167,4 + 170,1 = 337,5 \text{ KN.m}$$

4. Lokasi 3

Beban truck rencana

$$M_3^{Tr} = 145(3,15) + 145(1,86) + 35(0,57) + 212,625 = 959,025 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_3^{Tr} = 145(0,14) + 145(3,15) + 35(1,86) + 212,625 = 754,775 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_3^{Ta} = 110(2,31) + 110(3,15) + 212,625 = 813,225 \text{ KN.m}$$

$$M_3^{Ta} = 110(3,15) + 110(2,79) + 212,625 = 866,025 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_3^{Ln} = 219,36375 + 212,625 = 431,98875 \text{ KN.m}$$

5. Lokasi 4

Beban truck rencana

$$M_4^{Tr} = 145(3,6) + 145(1,88) + 35(0,16) + 226,8 = 1027 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_4^{Tr} = 145(1,02) + 145(3,6) + 35(1,88) + 226,8 = 962,5 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_4^{Ta} = 110(3,6) + 110(3,12) + 226,8 = 966 \text{ KN.m}$$

$$M_4^{Ta} = 110(2,88) + 110(3,6) + 226,8 = 939,6 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_4^{Ln} = 251,1 + 226,8 = 477,9 \text{ KN.m}$$

6. Lokasi 5

Beban truck rencana

$$M_5^{Tr} = 145(3,75) + 145(1,6) + 35(0) + 212,625 = 988,375 \text{ KN.m}$$

$$M_5^{Tr} = 145(1,5) + 145(3,75) + 35(1,6) + 212,625 = 1029,875 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_5^{Ta} = 110(3,15) + 110(3,75) + 212,625 = 971,625 \text{ KN.m}$$

$$M_5^{Ta} = 110(3,75) + 110(3,15) + 212,625 = 971,625 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_5^{Ln} = 261,5625 + 212,625 = 474,1875 \text{ KN.m}$$

7. Lokasi 6

Beban truck rencana

$$M_6^{Tr} = 145(3,6) + 145(1,02) + 35(0) + 170,1 = 840 \text{ KN.m}$$

$$M_6^{Tr} = 145(1,88) + 145(3,6) + 35(1,02) + 170,1 = 1000,4 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_6^{Ta} = 110(3,12) + 110(3,6) + 170,1 = 909,3 \text{ KN.m}$$

$$M_6^{Ta} = 110(3,6) + 110(2,88) + 170,1 = 882,9 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_6^{Ln} = 251,1 + 170,1 = 421,2 \text{ KN.m}$$

8. Lokasi 7

Beban truck rencana

$$M_7^{Tr} = 145(1,86) + 145(3,15) + 35(0,14) + 99,225 = 830,575 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_7^{Tr} = 145(0,57) + 145(1,86) + 35(3,15) + 99,225 = 830,575 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_7^{Ta} = 110(2,79) + 110(3,15) + 99,225 = 752,625 \text{ KN.m}$$

$$M_7^{Ta} = 110(3,15) + 110(2,31) + 99,225 = 699,825 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_7^{Ln} = 219,7125 + 99,225 = 318,9375 \text{ KN.m}$$

9. Lokasi 8

Beban truck rencana

$$M_8^{Tr} = 145(0,68) + 145(1,54) + 35(2,4) + 0 = 405,9 \text{ KN.m}$$

$$M_8^{Tr} = 145(1,54) + 145(2,4) + 35(0) + 0 = 571,3 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_8^{Ta} = 110(2,16) + 110(2,4) + 0 = 501,6 \text{ KN.m}$$

$$M_8^{Ta} = 110(2,4) + 110(1,44) + 0 = 422,4 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_8^{Ln} = 167,4 + 0 = 167,4 \text{ KN.m}$$

10. Lokasi 9

Beban truck rencana

$$M_9^{Tr} = 145(0,49) + 145(0,92) + 35(1,35) - 127,525 = 124,125 \text{ KN.m}$$

$$M_9^{Tr} = 145(0,92) + 145(1,35) + 35(0) + (-127,525) = 201,575 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_9^{Ta} = 110(1,23) + 110(1,35) + (-127,575) = 156,225 \text{ KN.m}$$

$$M_9^{Ta} = 110(1,35) + 110(0,27) + (-127,575) = 50,625 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_9^{Ln} = 94,1625 + (-127,575) = -33,4125 \text{ KN.m}$$

11. Lokasi 10

Beban truck rencana

$$M_{10}^{Tr} = 0 + (-283,5) = -283,5 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_{10}^{Ta} = 0 + (-283,5) = -283,5 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{10}^{Ln} = 0 + (-283,5) = -283,5 \text{ KN.m}$$

12. Lokasi 11

Beban truck rencana

$$M_{11}^{Tr} = 145(0,79) + 145(1,22) + 35(3) + (-127,575) = 268,875 \text{ KN.m}$$

$$M_{11}^{Tr} = 145(1,22) + 145(3) + 35(0) + (-127,575) = 484,325 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{11}^{Ta} = 110(1,5) + 110(3) + (-127,575) = 367,425 \text{ KN.}$$

$$M_{11}^{Ta} = 110(3) + 110(0,6) + (-127,575) = 268,425 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{11}^{Ln} = 104,625 + (-127,575) = -22,950 \text{ KN.m}$$

13. Lokasi 12

Beban truck rencana

$$M_{12}^{Tr} = 145(-1,28) + 145(-2,14) + 35(-3) + (0) = -600,9 \text{ KN.m}$$

$$M_{12}^{Tr} = 145(-2,14) + 145(-3) + 35(0) + (0) = -745,3 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{12}^{Ta} = 110(-2,76) + 110(-3) + (0) = -633,6 \text{ KN.m}$$

$$M_{12}^{Ta} = 110(-3) + 110(-1,8) + (0) = -528 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{12}^{Ln} = -209,25 + (0) = -209,25 \text{ KN.m}$$

14. Lokasi 13

Beban truck rencana

$$M_{13}^{Tr} = 145(-1,12) + 145(-1,8725) + 35(-2,625) + 99,225 = -426,5625$$

KN.m

$$M_{13}^{Tr} = 145(-1,8725) + 145(-2,625) + 35(1,1375) + 99,225 = -513,1$$

KN.m

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{13}^{Ta} = 110(-2,415) + 110(-2,625) + 99,225 = -455,175 \text{ KN.m}$$

$$M_{13}^{Ta} = 110(-2,625) + 110(-1,575) + 99,225 = -362,775 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{13}^{Ln} = -183,09375 + 99,225 = -83,86875 \text{ KN.m}$$

15. Lokasi 14

Beban truck rencana

$$M_{14}^{Tr} = 145(2,25) + 145(1,175) + 35(0,1) + 170,1 = 670,225 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_{14}^{Tr} = 145(-0,9) + 145(2,25) + 35(1,175) + 170,1 = 667,975 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_{14}^{Ta} = 110(1,125) + 110(2,25) + 170,1 = 541,35 \text{ KN.m}$$

$$M_{14}^{Ta} = 110(2,25) + 110(1,95) + 170,1 = 632,1 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{14}^{Ln} = 94,057875 + 170,1 = 264,157875 \text{ KN.m}$$

16. Lokasi 15

Beban truck rencana

$$M_{15}^{Tr} = 145(2,8125) + 145(1,2) + 35(0) + 212,625 = 794,4375 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_{15}^{Tr} = 145(0,125) + 145(2,8125) + 35(1,2) + 212,625 = 680,5625$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_{15}^{Ta} = 110(2,0625) + 110(2,8125) + 212,625 = 748,875 \text{ KN.m}$$

$$M_{15}^{Ta} = 110(2,8125) + 110(2,3625) + 212,625 = 781,875 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{15}^{Ln} = 130,78125 + 212,625 = 343,40625 \text{ KN.m}$$

17. Lokasi 16

Beban truck rencana

$$M_{16}^{Tr} = 145(3) + 145(0,85) + 35(0) + 226,8 = 785,05 \text{ KN.m}$$

$$M_{16}^{Tr} = 145(0,85) + 145(3) + 35(0,85) + 226,8 = 814,8 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{16}^{Ta} = 110(2,4) + 110(3) + 226,8 = 820,8 \text{ KN.m}$$

$$M_{16}^{Ta} = 110(3) + 110(2,4) + 226,8 = 820,8 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{16}^{Ln} = 146,475 + 226,8 = 373,275 \text{ KN.m}$$

18. Lokasi 17

Beban truck rencana

$$M_{17}^{Tr} = 145(2,8125) + 145(0,125) + 35(0) + 212,625 = 638,5625$$

KN.m

$$M_{17}^{Tr} = 145(1,2) + 145(2,8125) + 35(0,125) + 212,625 = 798,8125$$

KN.m

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{17}^{Ta} = 110(2,3625) + 110(2,8125) + 212,625 = 781,875 \text{ KN.m}$$

$$M_{17}^{Ta} = 110(2,8125) + 110(2,0625) + 212,625 = 748,875 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{17}^{Ln} = 141,24375 + 212,625 = 353,86875 \text{ KN.m}$$

19. Lokasi 18

Beban truck rencana

$$M_{18}^{Tr} = 145(0,1) + 145(1,175) + 35(2,25) + 170,1 = 433,725 \text{ KN.m}$$

$$M_{18}^{Tr} = 145(1,175) + 145(2,25) + 35(0) + 170,1 = 666,725 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{18}^{Ta} = 110(1,95) + 110(2,25) + 170,1 = 632,1 \text{ KN.m}$$

$$M_{18}^{Ta} = 110(2,25) + 110(1,35) + 170,1 = 566,1 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{18}^{Ln} = 115,0875 + 170,1 = 285,1875 \text{ KN.m}$$

20. Lokasi 19

Beban truck rencana

$$M_{19}^{Tr} = 145(0,2375) + 145(0,775) + 35(1,3125) + 99,225 = 291,975$$

KN.m

$$M_{19}^{Tr} = 145(0,775) + 145(1,3125) + 35(0) + 99,225 = 401,9125$$

KN.m

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{19}^{Ta} = 110(1,3125) + 110(0,2625) + 99,225 = 272,475 \text{ KN.m}$$

$$M_{19}^{Ta} = 110(1,1625) + 110(1,3125) + 99,225 = 371,475 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{19}^{Ln} = 68,00625 + 99,225 = 167,23125 \text{ KN.m}$$

21. Lokasi 20

Beban truck rencana

$$M_{20}^{Tr} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_{20}^{Ta} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{20}^{Ln} = 0 \text{ KN.m}$$

b. Beban mati

1. Beban mati akibat komponen struktur dan non struktur (*DC*)

$$\text{Berat beton} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ N/mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{i. Slab (tebal 20 cm)} &= (2,4 \cdot 10^{-5})(200)(1800) \\ &= 8,64 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii. Gelagar} &= (2,4 \cdot 10^{-5})(525000) \\ &= 12,6 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$DC = 21,24 \text{ N/mm}^2$$

2. Beban mati akibat lapisan perkerasan jalan (*DW*)

Tebal perkerasan aspal 90 mm

$$\begin{aligned} DW &= (2300 \text{ Kg/m}^3)(10^9)(90 \text{ mm})(1800 \text{ mm})(9,81 \text{ m/det}^2) \\ &= 3,655 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati di masing-masing lokasi dapat dilihat pada tabel

TABEL 5.3 MOMEN AKIBAT BEBAN MATI

Bentang	Lokasi	Momen (kNm)			M _{DL} Total
		Wg	DC	DW	
1	0	0	0	0	0
	1	275.6250	464.6250	79.9531	820.2031
	2	472.5000	796.5000	137.0625	1406.0625
	3	590.6250	995.6250	171.3281	1757.5781
	4	630.0000	1062.0000	182.7500	1874.7500
	5	590.6250	995.6250	171.3281	1757.5781
	6	472.5000	796.5000	137.0625	1406.0625
	7	275.6250	464.6250	79.9531	820.2031
	8	0	0	0	0
	9	-354.3750	-597.3750	-102.7969	-1054.5469
	10	275.6250	-1327.5000	-228.4375	-1280.3125
2	10	275.6250	-1327.5000	-228.4375	-1280.3125
	11	-354.3750	-597.3750	-102.7969	-1054.5469
	12	0	0	0	0
	13	275.6250	464.6250	79.9531	820.2031
	14	472.5000	796.5000	137.0625	1406.0625
	15	590.6250	995.6250	171.3281	1757.5781
	16	630.0000	1062.0000	182.7500	1874.7500
	17	590.6250	995.6250	171.3281	1757.5781
	18	472.5000	796.5000	137.0625	1406.0625
	19	275.6250	464.6250	79.9531	820.2031
	20	0	0	0	0

TABEL 5.4 MOMEN TERFAKTOR BENTANG 30 M

Bentang	Lokasi	Momen (kNm)				mgm	LL + IM	Mu
		DC	DW	Truck/Tandem	Lane			
1	0	0	0	0	0	0.607	0	0
	1	279.4531	464.6250	445.5250	193.3875	0.607	477.0630	1787.0584
	2	479.0625	796.5000	765.2000	337.5000	0.607	822.6161	3071.4985
	3	598.8281	995.6250	959.0250	431.9887	0.607	1036.4476	3852.9682
	4	638.7500	1062.0000	1027.0000	477.9000	0.607	1119.1927	4132.5234
	5	598.8281	995.6250	1029.8750	474.1875	0.607	1119.2602	3990.6441
	6	479.0625	796.5000	1000.4000	421.2000	0.607	1063.3013	3471.6377
	7	279.4531	464.6250	830.5750	318.9375	0.607	864.1266	2430.5516
	8	0	0	571.3000	164.2000	0.607	560.8856	932.4723
	9	-359.2969	-597.3750	201.5750	-33.4125	0.607	142.4521	-1041.0978
	10	279.4531	-1327.5000	-283.5000	-283.5000	0.607	-400.9569	-2226.4277
	10	279.4531	-1327.5000	-283.5000	-283.5000	0.607	-400.9569	-2226.4277
	11	-359.2969	-597.3750	484.3250	-22.9500	0.607	377.0698	-651.0459
	12	0	0	-745.3000	-209.2500	0.607	-728.7029	-1211.4686
	13	279.4531	464.6250	-513.1000	-83.8687	0.607	-465.1391	220.6475
	14	479.0625	796.5000	670.2250	264.1579	0.607	701.4232	2870.0153
	15	598.8281	995.6250	794.4375	343.4062	0.607	849.8049	3542.6747
	16	638.7500	1062.0000	814.8000	373.2750	0.607	884.3741	3742.1376
	17	598.8281	995.6250	798.8125	353.8687	0.607	859.6876	3559.1047
	18	479.0625	796.5000	666.7250	285.1875	0.607	711.3626	2886.5395
19	279.4531	464.6250	401.9125	167.2312	0.607	425.9773	1702.1285	
20	0	0	0	0	0.607	0	0	

Catatan : $Mu = \eta(1.25DC + 1.50DW + 1.75(LL + IM))$

C. Keadaan Batas Layan

1. Batas tegangan tendon prategang

$$f_{pu} = 1860 \text{ Mpa (low relaxation 15.7 mm, seven wire strands)}$$

$$A = 140 \text{ mm}^2 \text{ (tabel)}$$

$$E_p = 200000 \text{ Mpa}$$

Untuk tipe penarikan *post-tensioning*

$$\text{Saat penarikan (jacking)} \quad f_{pj} = 0,80 f_{pu} = 0,80(1860) = 1488 \text{ MPa}$$

$$\text{Setelah transfer} \quad f_{pt} = 0,74 f_{pu} = 0,74(1860) = 1376,40 \text{ MPa}$$

$$f_{pv} = 0,90 f_{pu} = 0,90(1860) = 1674 \text{ Mpa}$$

$$\text{Setelah kehilangan gaya} \quad f_{pe} = 0,80 f_{pv} = 0,80(1674) = 1339,20 \text{ Mpa}$$

2. Batas tegangan beton

$$f'_c = 45 \text{ Mpa (kuat desak beton pada umur 28 hari)}$$

$$f'_{ci} = 0,90 f'_c = 0,90(45) = 40,5 \text{ Mpa (kuat desak beton saat penarikan awal)}$$

Batas tegangan ijin beton prategang menurut AASHTO LRFD 1994

i. Saat transfer

$$\text{Tegangan tekan ijin : } f_{ci} = 0,55 \times f'_{ci} = 0,55 \cdot 40,5 = 22,275 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan tarik ijin : } f_{ti} = 0,58 \sqrt{f'_{ci}} = 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa}$$

ii. Saat layan (service)

$$\text{Tegangan desak ijin : } f_{cs} = 0,60 \cdot f'_c = 0,60 \times 45 = 27 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik ijin : } f_{ts} = 0,50 \sqrt{f'_c} = 0,50 \sqrt{45} = 3,354 \text{ Mpa}$$

3. Modulus Elastis

$$E_{ci} = 4800\sqrt{f'_{ci}} = 4800\sqrt{40,5} = 30547,01295 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4800\sqrt{f'_c} = 4800\sqrt{45} = 32199,37888 \text{ Mpa}$$

D. Perhitungan Luas Tendon Prategang

Section properties gelagar jembatan adalah sebagai berikut :

$$A_c = 525000 \text{ mm}^2$$

$$I = 6,09375 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$S_t = \frac{I}{y_t} = \frac{6,09375 \times 10^{10}}{500} = 121,875 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_b = \frac{I}{y_b} = \frac{6,09375 \times 10^{10}}{500} = 121,875 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Analisis pendahuluan gelagar pada posisi 4 (terjadi momen maksimum)

$$f_{ts} = -\frac{F_f}{A_c} - \frac{F_f \cdot e}{S_b} + \frac{M_G + M_{DS}}{S_b} \leq 3,354 \text{ Mpa}$$

M_G = Momen yang disebabkan oleh berat sendiri gelagar

$$= 630,00 \text{ KN.m}$$

M_{DS} = Momen yang disebabkan oleh beban mati beton basah

$$= 1062 - 630 = 432 \text{ KN.m}$$

e = Jarak pusat berat tendon ke pusat berat gelagar

$$= 500 - 200 = 300 \text{ mm}$$

$$f_{ts} = -\frac{F_f}{525000} - \frac{F_f \cdot 300}{121,875 \times 10^6} + \frac{(630 + 432) \cdot 10^6}{121,875 \times 10^6} \leq 3,354$$

$$F_f = 1228464,765 \text{ N} = 1228,465 \text{ KN}$$

Diasumsikan kehilangan gaya prategang pada tendon sebesar $0,6 f_{pu}$

$$A_{ps} \geq \frac{F_f}{0,60 \cdot f_{pu}} = \frac{1228,465 \times 10^3}{0,60 \cdot 1860} = 1100,77509 \text{ mm}^2$$

Pendekatan syarat kekuatan yang baik adalah sebagai berikut :

$$\phi M_n = \phi (A_{ps} \times 0,90 \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y) \times 0,9h \geq M_u$$

Dengan

$$\phi = 1,0 \text{ (untuk beton prategang)}$$

h = tinggi total penampang gelagar

M_u = momen terfaktor

$$A_{ps} \geq \frac{M_u}{\phi \times 0,90 \times f_{pu} \times (0,9h)} = \frac{4132,5234 \times 10^6}{1,0 \times 0,90 \times 1860 \times (0,9 \times 1000)}$$

$$A_{ps} = 2742,946635 \text{ mm}^2 > 1100,77509 \text{ mm}^2$$

Gunakan tendon $20 - 15,7 \text{ mm}$ ($A_{ps} = 20 \times 140 = 2800 \text{ mm}^2$)

E. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang beton prategang pasca-tarik dapat terjadi akibat perpendekan elastis beton (*elastic shortening*), gesekan (*friction*), slip ankur (*anchorage-seat*), relaksasi (*relaxation*), rangkak (*creep*) dan penyusutan (*shrinkage*).

1. Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek

a. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*) Δf_{pES}

$$\Delta f_{pES} = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e_n \times y_{(n-1)}}{I}$$

dengan

e_n = jarak dari pusat berat tendon (n) ke pusat berat gelagar

A_c = luas penampang gelagar

I = Inersia gelagar

$y_{(n-1)}$ = jarak pusat berat tendon ($n-1$) terhadap pusat berat gelagar

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} \sum f_{pES}$$

dengan

$$E_p = 200000 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = 4800\sqrt{40,5} = 30547,01295 \text{ Mpa}$$

- i. Saat kabel di selubung 1 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan tidak terjadi kehilangan gaya prategang
- ii. Saat kabel di selubung 2 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan akan terjadi kehilangan gaya prategang pada tendon 1 sebesar :

$$F_{i-1} = 0,70.fpu.A_{ps} = 0,70(1860)(10)(140) = 1822,800 \text{ KN}$$

- Pada tumpuan di lokasi 0 dan 20

$$\begin{aligned}
 f_{pES} &= -\frac{1822,8 \times 10^3}{525000} - \frac{(1822,8 \times 10^3) \times 0 \times 300}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -3,472 \text{ Mpa} \quad (\text{tanda negatif menunjukkan} \\
 &\quad \text{perpendekan.}
 \end{aligned}$$

- Pada lokasi 5 dan 15

$$\begin{aligned}
 f_{pES} &= -\frac{1822,8 \times 10^3}{525000} - \frac{(1822,8 \times 10^3) 300^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -6,164 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Pada lokasi 10

$$\begin{aligned}
 f_{pES} &= -\frac{1822,8 \times 10^3}{525000} - \frac{(1822,8 \times 10^3) \cdot 300^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -6,1641 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.5

b. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan (*friction*)

Gesekan (*friction*) menurut standar ACI adalah :

$$P_s = P_x \times e^{-(\mu\alpha + kL)}$$

dengan

P_s = gaya pratekan pada ujung kabel (dongkrak)

P_x = gaya pratekan pada posisi x dari ujung kabel

L = panjang kabel yang diukur dari ujung kabel ke lokasi x

k = wobble effect (diambil $k = 0,001$)

μ = koefisien gesek kabel dan material (diambil 0,15)

α = sudut kabel (radian)

Kabel ditarik dari satu arah yaitu dari lokasi 0

Mencari sudut rotasi

- Sudut rotasi pada lokasi 0 s/d 5

$$\alpha_{(0-5)1} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(0-5)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 5 s/d 10

$$\alpha_{(5-10)1} = \alpha_{(5-10)2} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi di lokasi 5 adalah $\alpha_{(5)} = \alpha_{(0-5)} + \alpha_{(5-10)}$

$$\alpha_{(5)1} = 0,320 + 0,320 = 0,640 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(5)2} = 0,16 + 0,320 = 0,480 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 15 s/d 20

$$\alpha_{(15-20)1} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(15-20)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 10 s/d 15

$$\alpha_{(10-15)1} = \alpha_{(10-15)2} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut pada lokasi 15 adalah $\alpha_{(15)} = \alpha_{(10-15)} + \alpha_{(15-20)}$

$$\alpha_{(15)1} = 0,320 + 0,320 = 0,640 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(15)2} = 0,16 + 0,320 = 0,480 \text{ (kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi pada dukungan di lokasi 10

$$\alpha_{(10)} = \alpha_{(5-10)} + \alpha_{(10-15)}$$

$$\alpha_{(10)1} = \alpha_{(10)2} = 0,320 + 0,320 = 0,640 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.6

c. Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur

Menurut T.Y Lin dan Ned H. Burns rumus untuk menghitung kehilangan gaya prategang adalah sebagai berikut :

$$ACH = \Delta f_s = \frac{\Delta_a E_s}{L}$$

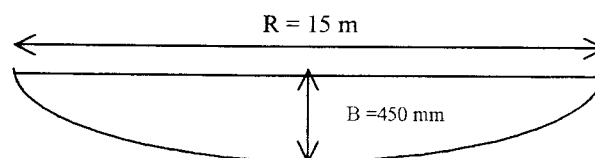
dengan

Δ_a = deformasi pengankuran/slip

$E_s = E_p$ = modulus elastis kabel = 20×10^5 Mpa

L = panjang kabel

Menghitung panjang parabolik :



$$L = \{R(1 + 2,67n^2)\}^2$$

$$\text{dengan } n = \frac{B}{R} = \frac{450}{15000} = 0,03$$

$$L = \{5000(1 + 2,67 \cdot 0,03^2)\} \times 2 = 30072,09 \text{ mm}$$

Perpanjangan total tendon

$$\Delta a = \frac{(0,70 \cdot 1860) \times 30072,09}{2 \times 10^5} = 195,769 \text{ mm}$$

Asumsi slip yang terjadi adalah 2,5 mm, maka loss akibat slip sebesar :

$$\Delta f_s = \frac{2,5}{195,769} \times 100\% = 1,277\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek adalah :

$$\Delta f_{PT} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pACH}$$

dengan

Δf_{pES} = kehilangan prategang akibat perpendekan elastis

Δf_{pF} = kehilangan prategang akibat gesekan

Δf_{pACH} = kehilangan prategang akibat slip ankur

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek dapat dilihat pada tabel

5.7

**TABEL 5.5 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT
PERPENDEKAN ELASTIS BETON**

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 1 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	0	0
Tegangan beton pada lokasi 5	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	0	0
Tegangan beton pada lokasi 15	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	0	0

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 2 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	3.472	0
Tegangan beton pada lokasi 5	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	6.1641	0
Tegangan beton pada lokasi 15	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	3.472	0

Total loss akibat perpendekan elastis yang terjadi saat tendon di masing-masing selubung ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	3.472	0
Tegangan beton pada lokasi 5	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	6.1641	0
Tegangan beton pada lokasi 15	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	3.472	0
Loss rata-rata	5.08722	0
% Loss	0.39072	0

TABEL 5.6 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN

Tendon/kabel pada selubung 1									
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu.\alpha$	$k.L + \mu.\alpha$	$e^{-(k.L+\mu.\alpha)}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)	
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.98758.Pi	1.24200	
5	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.89718.Pi	10.28200	
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.88603.Pi	11.39700	
10	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.80493.Pi	19.50700	
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.79493.Pi	20.50700	
15	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.72216.Pi	27.78400	
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.71319.Pi	28.68100	

KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN (LANJUTAN)

Tendon/kabel pada selubung 2									
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu.a$	$k.L + \mu.a$	$e^{-(k.L+\mu.a)}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)	
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.98758.Pi	1.24200	
5	0	0	0.48	0.072	0.072	0.93053	0.91897.Pi	8.10300	
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.90756.Pi	9.24400	
10	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.82448.Pi	17.55200	
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.81424.Pi	18.57600	
15	0	0	0.48	0.072	0.072	0.93053	0.75768.Pi	24.23200	
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.74827.Pi	25.17300	

**TABEL 5.7 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat Gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip angkur	Loss total (%)
0	0	0.39072	1.2770	1.66772
0 - 5	1.24200	0.39072	1.2770	2.90972
5	10.28200	0.39072	1.2770	11.94972
5 - 10	11.39700	0.39072	1.2770	13.06472
10	19.50700	0.39072	1.2770	21.17472
10 - 15	20.50700	0.39072	1.2770	22.17472
15	27.78400	0.39072	1.2770	29.45172
15 - 20	28.68100	0.39072	1.2770	30.34872
20	28.68100	0.39072	1.2770	30.34872

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat Gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip angkur	Loss total (%)
0	0	0	1.2770	1.2770
0 - 5	1.24200	0	1.2770	2.5190
5	8.10300	0	1.2770	9.3800
5 - 10	9.24400	0	1.2770	10.5210
10	17.55200	0	1.2770	18.8290
10 - 15	18.57600	0	1.2770	19.8530
15	24.23200	0	1.2770	25.5090
15 - 20	25.17300	0	1.2770	26.4500
20	25.17300	0	1.2770	26.4500

2. Kehilangan gaya prategang jangka panjang

a. Kehilangan gaya prategang akibat penyusutan (*shrinkage*)

T.Y Lin menyatakan rumus umum penyusutan adalah sebagai berikut :

$$SH = \varepsilon_{SH} \cdot K_{SH} \cdot E_s$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,8 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{v}{s} \right) (100 - RH)$$

dengan

v = volume gelagar

s = luas selimut gelagar yang berhubungan dengan udara luar

RH = *relative humidity* (kelembaban relatif) = 70%

K_{SH} = 0,58 (tabel)

E_s = $2 \cdot 10^5$ MPa

$$\frac{v}{s} = \frac{5250}{((4 \times 25) + (4 \times 27,5) + (2 \times 50) + 80)} = 13,4615 \text{ cm} = 5,3 \text{ in}$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,2 \cdot 10^{-6} (1 - 0,06 \cdot 5,3) (100 - 70) = 1,678 \cdot 10^{-4}$$

$$SH = 1,678 \cdot 10^{-4} \times 0,58 \times 200000 = 19,4648 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang

$$\Delta f_{sSH} = \frac{SH}{0,7 \cdot f_{pu}} \times 100\%$$

$$\Delta f_{sSH} = \frac{19,4648}{0,7 \cdot 1860} \times 100\% = 1,495\%$$

b. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja

Menurut PCI committe, rumus umum relaksasi adalah :

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log t - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

dengan

f_{st} = tegangan tarik awal yang dikerjakan pada kabel

$$\left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \geq 0,05$$

Saat transfer $t_1 = 1$ hari sampai dengan saat beban hidup bekerja $t = 1$ tahun.

$$t_1 = 1 \text{ hari} = 24 \text{ jam}$$

$$t = 1 \text{ tahun} = 365 \text{ hari} = 8760 \text{ jam}$$

$$f_{py} = 0,85 \text{ fpu} = 0,85 \cdot 1860 = 1581 \text{ Mpa}$$

$$f_{st} = 0,75 \text{ fpu} = 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ Mpa}$$

$$RET = 1395 \left(\frac{\log 8760 - \log 24}{10} \right) \left(\frac{1395}{1581} - 0,55 \right) = 118,796 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (tendon) adalah :

$$\Delta f_{pR} = \frac{118,796}{1395} \times 100\% = 8,5158\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka panjang adalah :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pT} &= \Delta f_{pSH} + \Delta f_{pR} \\ &= 1,495 + 8,5158 = 10,0108\% \end{aligned}$$

Total kehilangan jangka panjang dapat dilihat pada tabel 5.8

**TABEL 5.8 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.495	8.5158	10.0108
0 - 5	1.495	8.5158	10.0108
5	1.495	8.5158	10.0108
5 - 10	1.495	8.5158	10.0108
10	1.495	8.5158	10.0108
10 - 15	1.495	8.5158	10.0108
15	1.495	8.5158	10.0108
15 - 20	1.495	8.5158	10.0108
20	1.495	8.5158	10.0108

5.2.1.3 Kontrol Tegangan Gelagar Berdasarkan Tegangan Ijin AASHTO LRFD 1994

A. Kontrol tegangan pada lokasi 5

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 5

$$F_{i-1} = (1 - 11,9497\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,8805 \times 1822,8 = 1604,9805 \text{ KN}$$

$$F_{i-2} = (1 - 9,38\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,9062 \times 1822,8 = 1651,8214 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 1604,9805 + 1651,8214 = 3256,8019 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned} f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\ &= -\frac{3256,8019 \times 10^3}{525000} + \frac{3256,8019 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= 1,7989 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned} f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\ &= -\frac{3256,8019 \times 10^3}{525000} - \frac{3256,8019 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -14,2058 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok} \end{aligned}$$

Saat layan (*service*)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 3256,8019 = 2930,7700 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_{ata} &= -\frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\
 &= -\frac{2930,7700 \times 10^3}{525000} + \frac{2930,7700 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{3990,6441 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= 1,5990 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{2930,7700 \times 10^3}{525000} - \frac{2930,7700 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{3990,6441 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -12,7639 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

B. Kontrol tegangan pada lokasi 10

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 10 adalah :

$$F_{i-1} = (1 - 21,1747\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,78823 \times 1822,8 = 1436,8367 \text{ KN}$$

$$F_{i-2} = (1 - 18,829\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,81171 \times 1822,8 = 1823,61171 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 1436,8367 + 1823,61171 = 3260,4484 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$f_{atas} = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c}$$

$$\begin{aligned}
&= -\frac{3260,4484 \times 10^3}{525000} - \frac{3260,4484 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1280,3125 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
&= -14,2256 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
\end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned}
f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\
&= -\frac{3260,4484 \times 10^3}{525000} + \frac{3260,4484 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1280,3125 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
&= +1,8048 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
\end{aligned}$$

Saat layan (*service*)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108 \%) \cdot F_i = (1 - 10,0108 \%) \cdot 3260,4484 = 2934,0514 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
f_{atas} &= -\frac{F_e}{A_c} - \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} + \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\
&= -\frac{2934,0514 \times 10^3}{525000} - \frac{2934,0514 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
&= -12,7927 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} - \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
&= -\frac{2934,0514 \times 10^3}{525000} + \frac{2934,0514 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
&= +1,6153 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
\end{aligned}$$

$$= -\frac{2379,1128 \times 10^3}{525000} + \frac{2379,1128 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}}$$

$$= 1,2956 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}$$

$$f_{bwh} = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_T \times y_b}{I_c}$$

$$= -\frac{2379,1128 \times 10^3}{525000} - \frac{2379,1128 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}}$$

$$= -10,4170 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}$$

5.2.1.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar

A. Kapasitas momen pada lokasi 5 dan 15

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

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

$$= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{3990,6441 \cdot 10^6}{485000 \times 950} = 8,66$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118)(8,66)}{360}} \right) = 0,02765449074$$

$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 485000 \times 0,02765449074 = 13412,42801 \text{ mm}^2$$

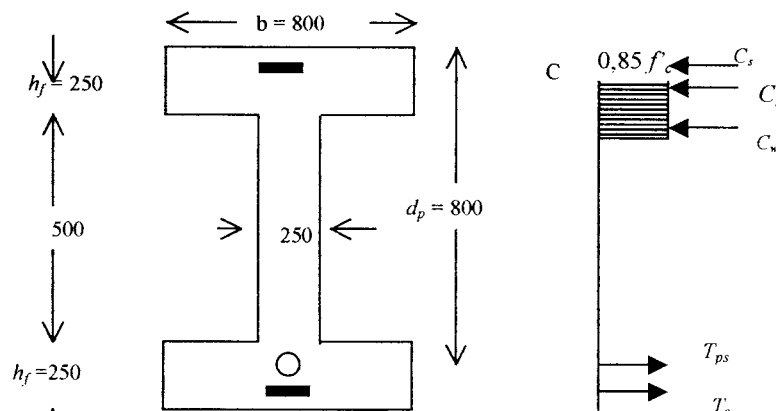
Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 10,67 \approx 11 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 6 buah.

$$A_{aktual} = n \times A_{D-40} = 6 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 7539,82 \text{ mm}^2$$

1. Mencari jarak c



Gambar 5.3 Diagram tegangan beton di lokasi 5

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 200 = 800 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} (f_{pu} / d_p)}$$

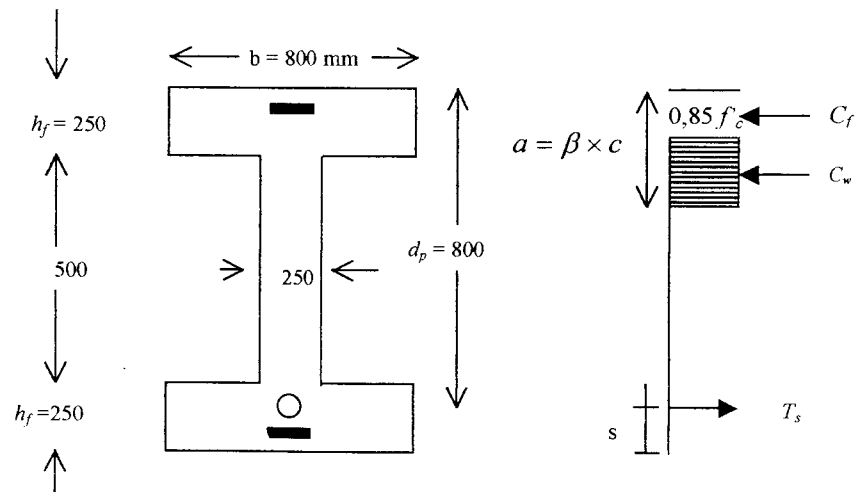
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 7539,82 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot (800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800 (1860 / 800)}$$

$$c = 465,3398 \approx 466 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 466 = 339,5276 \text{ mm}$$

2. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.4 Gaya dalam gelagar di lokasi 5 dan 15

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{466}{800} \right) = 1556,634$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1556,634 \cdot 200 + 7539,82 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1556,634 + 7539,82 \cdot 360} = 142,4353 \text{ mm} \approx 143$$

mm

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 143 - h_f/2) + C_w(1000 - 143 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \left\{ h_f(b - b_w)(1000 - 143 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 143 - a/2) \right\}$$

$$M_n = 0,85 \cdot 45 \left\{ 250(800 - 250)(1000 - 143 - 250/2) \right.$$

$$\left. + 339,5276 \cdot 180(1000 - 143 - 339,5276/2) \right\}$$

$$M_n = 6081134726 \text{ Nmm} = 6081,134726 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi M_n$$

$$= 1 \times 6081,134726 \text{ KNm} > 3990,6441 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

A. Kapasitas momen pada lokasi 10

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

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

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{2226,4277 \cdot 10^6}{445000 \times 950} = 5,2665$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118)(5,2665)}{360}} \right) = 0,01580463723$$

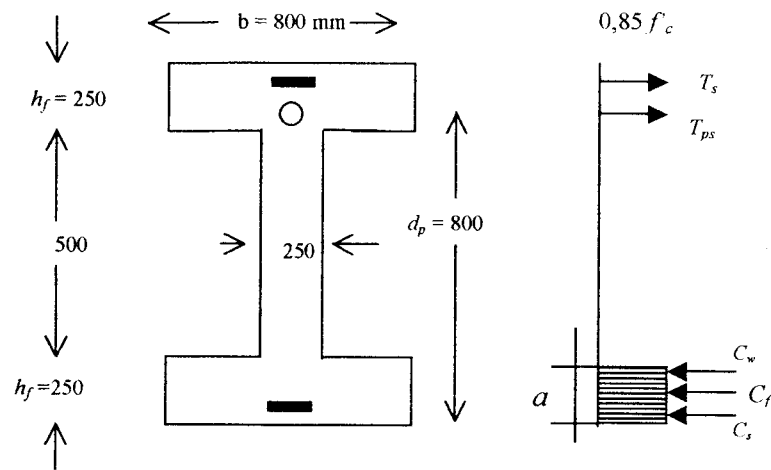
$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 445000 \times 0,01580463723 = 7033,0636 \text{ mm}^2$$

Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 5,59 \approx 6 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 3 buah.

$$A_{aktual} = n \times A_{D-40} = 3 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 3769,911 \text{ mm}^2$$

2. Mencari jarak c 

Gambar 5.5 Diagram tegangan beton di lokasi 10

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 200 = 800 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} (f_{pu} / d_p)}$$

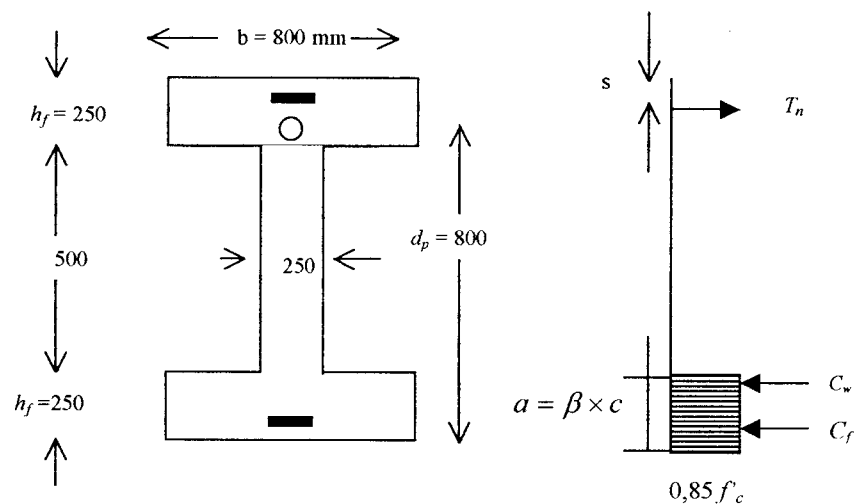
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 3769,911 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot (800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800 (1860 / 800)}$$

$$c = 310,94 \approx 311 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 311 = 226,5946 \text{ mm}$$

3. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.6 Gaya dalam gelagar di lokasi 10

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{311}{800} \right) = 1657,539$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1657,539 \cdot 200 + 3769,911 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1657,539 + 3769,911 \cdot 360} = 166,061 \approx 167 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 167 - h_f/2) + C_w(1000 - 167 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \left\{ h_f(b - b_w)(1000 - 167 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 167 - a/2) \right\}$$

$$Mn = 0,85 \cdot 45 \left\{ 250(800 - 250)(1000 - 167 - 250/2) \right.$$

$$\left. + 226,5946 \cdot 250(1000 - 167 - 226,5946/2) \right\}$$

$$Mn = 5283097128 \text{ Nmm} = 5283,097128 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi \cdot Mn$$

$$= 1 \times 5283,097128 \text{ KNm} > 2226,4277 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

5.2.1.5 Analisis Lendutan

A. Lendutan jangka pendek

1. Lendutan akibat pemberian gaya prategang

$$\begin{aligned} \delta_{pi} &= \frac{P \cdot e_c \cdot L^2}{8E_{ci} \cdot I_c} + \frac{P(e_e - e_c)L^2}{24 \cdot E_{ci} \cdot I_c} \\ &= \frac{3256,8019 \cdot 300 \cdot 15000^2}{8 \cdot 30,547.6,09375 \cdot 10^{10}} + \frac{3256,8019 \cdot (300 - 300) \cdot 15000^2}{24 \cdot 30,547.6,09375 \cdot 10^{10}} \\ &= -14,7622 \text{ mm (}\uparrow\text{)} \end{aligned}$$

2. Lendutan akibat berat sendiri gelagar

$$\begin{aligned} \delta_D &= \frac{5 \cdot W_D \cdot L^4}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_c} \\ &= \frac{5,0126 \cdot 15000^4}{384 \cdot 30,547.6,09375 \cdot 10^{10}} = 4,46 \text{ mm (}\downarrow\text{)} \end{aligned}$$

3. Lendutan akibat beban mati

$$\begin{aligned}\delta_{SD} &= \frac{5.W_{SD}.L^4}{384.E_c.I_c} \\ &= \frac{5.0,012295.15000^4}{384.30,547.6,09375.10^{10}} = 4,3539 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

4. Lendutan akibat beban hidup

$$\begin{aligned}\delta_L &= \frac{23.Q_L.L^3}{648.E_c.I_c} \\ &= \frac{23.145.15000^3}{384.30,547.6,09375.10^{10}} = 9,3313 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

B. Lendutan jangka panjang

Rumus umum lendutan dengan metode *Approximate time step* untuk balok non komposit adalah :

$$\delta_T = -\delta_{pl} \left[1 - \frac{\Delta P}{P_0} + (\lambda \cdot k_r \cdot c_t) \right] + \delta_D [1 + (k_r \cdot c_t)] + \delta_{SD} [1 + (k_a \cdot k_r \cdot c_t)] + \delta_L$$

dengan

$$\Delta P = P_0 - P_e = 3256,8019 - 2930,7700 = 326,0319 \text{ KN}$$

$$\lambda = 1 - \frac{\Delta P}{2.P_0} = 1 - \frac{326,0319}{2.3256,8019} = 0,95$$

$$k_r = 1$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = 0,1$$

$$\begin{aligned}
\delta_{71095} &= -14,7622[1-0,1+(0,95.1.2,0433)]+4,46 \\
&\quad [1+(1.2,0433)]+4,3539[1+(0,547.1.2,0433)] \\
&\quad +9,3313 \\
&= -41,9409 + 13,573 + 9,2202 + 9,3313 \\
&= -9,8164 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 5 tahun (1825 hari)

$$k_a = 1,25(1825)^{-0,118} = 0,515$$

$$c_t = \left[\frac{1825^{0,6}}{10 + 1825^{0,6}} \right] \times 2,35 = 2,1162$$

$$\begin{aligned}
\delta_{71825} &= -14,7622[1-0,1+(0,95.1.2,1162)]+4,46 \\
&\quad [1+(1.2,1162)]+4,3539[1+(0,515.1.2,1162)] \\
&\quad +9,3313 \\
&= -42,9638 + 13,898 + 9,09878 + 9,3313 \\
&= -10,6357 \text{ mm}
\end{aligned}$$

5.2.2 Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 90%

5.2.2.1 Perencanaan Awal Gelagar Beton Prategang Parsial 90%

Perencanaan awal gelagar beton prategang parsial 90 % dapat dilihat pada tabel 5.9

**TABEL 5.9 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 %
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

No.	Keterangan	Simbol / Rumus	Nilai	Satuan
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	421.8750	KN.m
2.	Momen akibat beban mati	M_D	375.9469	KN.m
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	681.0360	KN.m
4.	Momen total	M_T	1478.8579	KN.m
5.	Tinggi balok yang digunakan	h	1000	Mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = \frac{M_T}{0.65h} \times 90\%$		KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	2047.6494	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	1106.7000	mm ²
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45f'_c)}$	1850.2299	mm ²
			202236.9778	

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

10.	Luas penampang yang digunakan	A_c (terpakai)	525000	mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \cdot \gamma_c$	12.6000	KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	354.3750	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	1411.3579	$KN.m$
	Check M_G/M_T	M_G/M_T	0.2511	$> 20\% \rightarrow OK!$
14.	Inersia penampang gelagar	I_c	60937500000	mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t		mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	500	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	s	500	mm
18.	Jari-jari inersia	r	200	mm
19.	Kern atas	K_t	340.6926	mm
20.	Kern bawah	K_b	232.1429	mm
21.	Eksentrisitas	$e = y_b - s$	232.1429	mm
			300	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e+k_t)} \times 90\%$		kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	2386.9946	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_t \cdot y_b}$	2808.2289	mm ²
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_b} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	235171.8787	mm ²
Ambil nilai luaspenampang yang diperlukan yang terbesar		$A_{c(perlu)}$	202089.9695	
Check : A_c yang digunakan > A_c yang diperlukan			235171.8787	mm ⁴
			525000 mm² > 261302.0875 mm² → OK !	

**TABEL 5.10 KONTROL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 %
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Simbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \cdot e \cdot y_t}{I_c} - \frac{M_G \cdot y_t}{I_c}$	-1.3441	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_G \cdot y_b}{I_c}$	-9.3539	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F \cdot e \cdot y_t}{I_c} - \frac{M_T \cdot y_t}{I_c}$	-10.251	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_T \cdot y_b}{I_c}$	1.1580	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			

5.2.2.2 Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 90% dengan Metode AASHTO LRFD 1994

A. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang beton prategang pasca-tarik dapat terjadi akibat perpendekan elastis beton (*elastic shortening*), gesekan (*friction*), slip angkur (*anchorage-seat*), relaksasi (*relaxation*), rangkak (*creep*) dan penyusutan (*shrinkage*).

1. Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek

a. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*) Δf_{pES}

$$\Delta f_{pES} = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e_n \times y_{(n-1)}}{I}$$

dengan

e_n = jarak dari pusat berat tendon (n) ke pusat berat gelagar

A_c = luas penampang gelagar

I = Inersia gelagar

$y_{(n-1)}$ = jarak pusat berat tendon ($n-1$) terhadap pusat berat gelagar

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} \sum f_{pES}$$

dengan

$$E_p = 200000 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = 4800\sqrt{40,5} = 30547,01295 \text{ Mpa}$$

- Saat kabel di selubung 1 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan tidak terjadi kehilangan gaya prategang
- Saat kabel di selubung 2 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan akan terjadi kehilangan gaya prategang pada tendon 1 sebesar :

$$F_{i-1} = 0,70 \cdot f_{pu} \cdot A_{ps} = 0,70(1860)(10)(140) \cdot 90\% = 1640,52 \text{ KN}$$

- Pada tumpuan di lokasi 0 dan 20

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1640,52 \times 10^3}{525000} - \frac{(1640,52 \times 10^3) \times 0 \times 300}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -3,1248 \text{ Mpa (tanda negatif menunjukkan} \\ &\text{perpendekan.} \end{aligned}$$

- Pada lokasi 5 dan 15

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1640,52 \times 10^3}{525000} - \frac{(1640,52 \times 10^3) 300^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -5,5477 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Pada lokasi 10

$$\begin{aligned} f_{pFS} &= -\frac{1640,52 \times 10^3}{525000} - \frac{(1640,52 \times 10^3) \cdot 300^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -5,5477 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.11

b. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan (*friction*)

Gesekan (*friction*) menurut standar ACI adalah :

$$P_s = P_x \times e^{-(\mu\alpha + kL)}$$

dengan

P_s = gaya pratekan pada ujung kabel (dongkrak)

P_x = gaya pratekan pada posisi x dari ujung kabel

L = panjang kabel yang diukur dari ujung kabel ke lokasi x

k = wobble effect (diambil $k = 0,001$)

μ = koefisien gesek kabel dan material (diambil 0,15)

α = sudut kabel (radian)

Kabel ditarik dari satu arah yaitu dari lokasi 0

Mencari sudut rotasi

- Sudut rotasi pada lokasi 0 s/d 5

$$\alpha_{(0-5)1} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(0-5)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 5 s/d 10

$$\alpha_{(5-10)1} = \alpha_{(5-10)2} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi di lokasi 5 adalah $\alpha_{(5)} = \alpha_{(0-5)} + \alpha_{(5-10)}$

$$\alpha_{(5)1} = 0,320 + 0,320 = 0,640 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(5)2} = 0,16 + 0,320 = 0,480 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 15 s/d 20

$$\alpha_{(15-20)1} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(15-20)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 10 s/d 15

$$\alpha_{(10-15)1} = \alpha_{(10-15)2} = \frac{4 \times 600}{7500} = 0,320 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut pada lokasi 15 adalah $\alpha_{(15)} = \alpha_{(10-15)} + \alpha_{(15-20)}$

$$\alpha_{(15)1} = 0,320 + 0,320 = 0,640 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(15)2} = 0,16 + 0,320 = 0,480 \text{ (kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi pada dukungan di lokasi 10

$$\alpha_{(10)} = \alpha_{(5-10)} + \alpha_{(10-15)}$$

$$\alpha_{(10)1} = \alpha_{(10)2} = 0,320 + 0,320 = 0,640 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.12

c. Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur

Menurut T.Y Lin dan Ned H. Burns rumus untuk menghitung kehilangan gaya prategang adalah sebagai berikut :

$$ACH = \Delta f_s = \frac{\Delta_a E_s}{L}$$

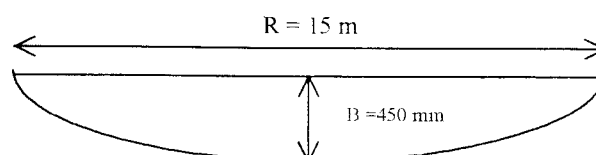
dengan

Δ_a = deformasi pengankuran/slip

$E_s = E_p$ = modulus elastis kabel = 20×10^5 Mpa

L = panjang kabel

Menghitung panjang parabolik :



$$L = \{R(1 + 2,67n^2)\}2$$

$$\text{dengan } n = \frac{B}{R} = \frac{450}{15000} = 0,03$$

$$L = \{15000(1 + 2,67 \cdot 0,03^2)\} \times 2 = 30072,09 \text{ mm}$$

Perpanjangan total tendon

$$\Delta a = \frac{(0,70 \cdot 1860) \times 30072,09}{2 \times 10^5} = 195,769 \text{ mm}$$

Asumsi slip yang terjadi adalah 2,5 mm, maka loss akibat slip sebesar :

$$\Delta f_s = \frac{2,5}{195,769} \times 100\% = 1,277\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek adalah :

$$\Delta f_{PT} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pACH}$$

dengan

$$\Delta f_{pES} = \text{kehilangan prategang akibat perpendekan elastis}$$

$$\Delta f_{pF} = \text{kehilangan prategang akibat gesekan}$$

$$\Delta f_{pACH} = \text{kehilangan prategang akibat slip angkur}$$

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek dapat dilihat pada tabel

5.13

**TABEL 5.11 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT
PERPENDEKAN ELASTIS BETON**

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 1 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	0	0
Tegangan beton pada lokasi 5	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	0	0
Tegangan beton pada lokasi 15	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	0	0

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 2 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	3.1248	0
Tegangan beton pada lokasi 5	5.5477	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	5.5477	0
Tegangan beton pada lokasi 15	5.5477	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	3.1248	0

Total loss akibat perpendekan elastis yang terjadi saat tendon di masing-masing selubung ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	3.1248	0
Tegangan beton pada lokasi 5	5.5477	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	5.5477	0
Tegangan beton pada lokasi 15	5.5477	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	3.1248	0
Loss rata-rata	4.57854	0
% Loss	0.35165	0

TABEL 5.12 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN

Tendon/kabel pada selubung 1									
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu.\alpha$	$k.L + \mu.\alpha$	$e^{-k.L + \mu.\alpha}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)	
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.88882.Pi	11.11800	
5	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.80746.Pi	19.25400	
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.79743.Pi	20.25700	
10	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.72443.Pi	27.55700	
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.71543.Pi	28.45700	
15	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.64994.Pi	35.00600	
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.64187.Pi	35.81300	

KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN (LANJUTAN)

Tendon/kabel pada selubung 2								
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu.\alpha$	$k.L + \mu.\alpha$	$e^{-(k.L+\mu.\alpha)}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.88882.Pi	11.11800
5	0	0	0.48	0.072	0.072	0.93053	0.82707.Pi	17.29300
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.81680.Pi	18.32000
10	0	0	0.64	0.096	0.096	0.90846	0.74203.Pi	25.79700
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.73281.Pi	26.71900
15	0	0	0.48	0.072	0.072	0.93053	0.68190.Pi	31.81000
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.67343.Pi	32.65700

**TABEL 5.13 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat Gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip angkur	Loss total (%)
0	0	0.35165	1.2770	1.62865
0 - 5	11.11800	0.35165	1.2770	12.74665
5	19.25400	0.35165	1.2770	20.88265
5 - 10	20.25700	0.35165	1.2770	21.88565
10	27.55700	0.35165	1.2770	29.18565
10 - 15	28.45700	0.35165	1.2770	30.08565
15	35.00600	0.35165	1.2770	36.63465
15 - 20	35.81300	0.35165	1.2770	37.44165
20	35.81300	0.35165	1.2770	37.44165

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip angkur	Loss total (%)
0	0	0	1.2770	1.2770
0 - 5	11.11800	0	1.2770	12.3950
5	17.29300	0	1.2770	18.5700
5 - 10	18.32000	0	1.2770	19.5970
10	25.79700	0	1.2770	27.0740
10 - 15	26.71900	0	1.2770	27.9960
15	31.81000	0	1.2770	33.0870
15 - 20	32.65700	0	1.2770	33.9340
20	32.65700	0	1.2770	33.9340

2. Kehilangan gaya prategang jangka panjang

a. Kehilangan gaya prategang akibat penyusutan (*shrinkage*)

T.Y Lin menyatakan rumus umum penyusutan adalah sebagai berikut :

$$SH = \varepsilon_{SH} \cdot K_{SH} \cdot E_s$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,8 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{v}{s} \right) (100 - RH)$$

dengan

v = volume gelagar

s = luas selimut gelagar yang berhubungan dengan udara luar

RH = *relative humidity* (kelembaban relatif) = 70%

K_{SH} = 0,58 (tabel)

E_s = $2 \cdot 10^5$ MPa

$$\frac{v}{s} = \frac{5250}{((4 \times 25) + (4 \times 27,5) + (2 \times 50) + 80)} = 13,4615 \text{ cm} = 5,3 \text{ in}$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,2 \cdot 10^{-6} (1 - 0,06 \cdot 5,3) (100 - 70) = 1,678 \cdot 10^{-4}$$

$$SH = 1,678 \cdot 10^{-4} \times 0,58 \times 200000 = 19,4648 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang

$$\Delta f_{sSH} = \frac{SH}{0,7 \cdot f_{pu}} \times 100\%$$

$$\Delta f_{sSH} = \frac{19,4648}{0,7 \cdot 1860} \times 100\% = 1,495\%$$

b. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja

Menurut PCI committee, rumus umum relaksasi adalah :

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log t - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

dengan

f_{st} = tegangan tarik awal yang dikerjakan pada kabel

$$\left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \geq 0,05$$

Saat transfer $t_1 = 1$ hari sampai dengan saat beban hidup bekerja $t = 1$ tahun.

$$t_1 = 1 \text{ hari} = 24 \text{ jam}$$

$$t = 1 \text{ tahun} = 365 \text{ hari} = 8760 \text{ jam}$$

$$f_{py} = 0,85 \text{ fpu} = 0,85 \cdot 1860 = 1581 \text{ Mpa}$$

$$f_{st} = 0,75 \text{ fpu} = 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ Mpa}$$

$$RET = 1395 \left(\frac{\log 8760 - \log 24}{10} \right) \left(\frac{1395}{1581} - 0,55 \right) = 118,796 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (tendon) adalah :

$$\Delta f_{pR} = \frac{118,796}{1395} \times 100\% = 8,5158\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka panjang adalah :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pT} &= \Delta f_{pSH} + \Delta f_{pR} \\ &= 1,495 + 8,5158 = 10,0108\% \end{aligned}$$

Total kehilangan jangka panjang dapat dilihat pada tabel 5.14

**TABEL 5.14 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.495	8.5158	10.0108
0 - 5	1.495	8.5158	10.0108
5	1.495	8.5158	10.0108
5 - 10	1.495	8.5158	10.0108
10	1.495	8.5158	10.0108
10 - 15	1.495	8.5158	10.0108
15	1.495	8.5158	10.0108
15 - 20	1.495	8.5158	10.0108
20	1.495	8.5158	10.0108

5.2.2.3 Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 90 %

A. Kontrol tegangan pada lokasi 5

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 5

$$F_{i-1} = (1 - 20,8827\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,7912 \times 1822,8 = 1442,1510 \text{ KN}$$

$$F_{i-2} = (1 - 18,57\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,8143 \times 1822,8 = 1484,3060 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 1442,1510 + 1484,3060 = 2926,4570 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned} f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\ &= -\frac{2926,4570 \times 10^3}{525000} + \frac{2926,4570 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= 1,6150 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned} f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\ &= -\frac{2926,4570 \times 10^3}{525000} - \frac{2926,4570 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -12,7634 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok} \end{aligned}$$

Saat layan (*service*)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 2926,4570 = 2633,4952 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$f_{atas} = -\frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_T \times y_t}{I_c}$$

$$\begin{aligned}
&= -\frac{2620,0991 \times 10^3}{525000} + \frac{2620,0991 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1280,3125 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
&= +1,4483 \text{ Mpa} \leq 0,58\sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
\end{aligned}$$

Saat layan (*service*)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 2620,0991 = 2357,8062 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
f_{atas} &= -\frac{F_e}{A_c} - \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} + \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\
&= -\frac{2357,8062 \times 10^3}{525000} - \frac{2357,8062 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
&= -10,2766 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} - \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
&= -\frac{2357,8062 \times 10^3}{525000} + \frac{2357,8062 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
&= +1,2945 \text{ Mpa} \leq 0,5\sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
\end{aligned}$$

C. Kontrol tegangan pada lokasi 15

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 5

$$F_{i-1} = (1 - 36,6347\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,6337 \times 1822,8 = 1155,0236 \text{ KN}$$

$$F_{i-1} = (1 - 33,087\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,66913 \times 1822,8 = 1219,6902 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 1155,0236 + 1219,6902 = 2374,7138 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\
 &= -\frac{2374,7138 \times 10^3}{525000} + \frac{2374,7138 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= 1,3078 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{2374,7138 \times 10^3}{525000} - \frac{2374,7138 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -10,3543 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

Saat layan (*service*)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 2374,7138 = 2136,9859 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_{atas} &= -\frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\
 &= -\frac{2136,9859 \times 10^3}{525000} + \frac{2136,9859 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= 1,1609 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{2136,9859 \times 10^3}{525000} - \frac{2136,9859 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -9,30165 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

5.2.2.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 90%

A. Kapasitas momen pada lokasi 5 dan 15

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \times \beta \times \frac{600}{f_y + 600} \\ &= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{3990,6441 \cdot 10^6}{485000 \times 950} = 8,66$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118) \cdot (8,66)}{360}} \right) = 0,02765449074$$

$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 485000 \times 0,02765449074 = 13412,42801 \text{ mm}^2$$

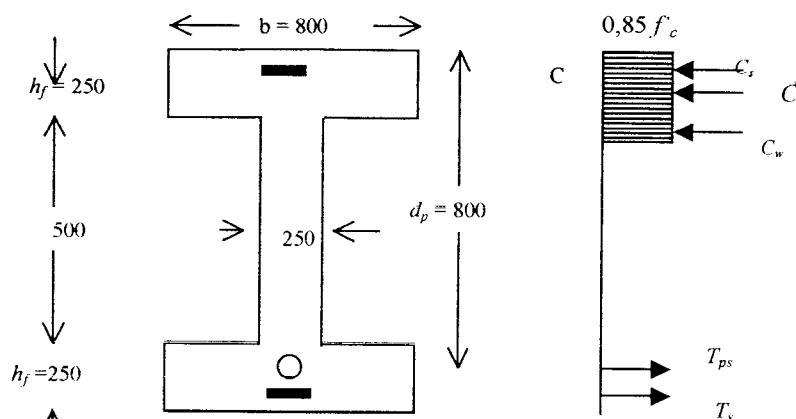
Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 10,67 \approx 11 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 6 buah.

$$A_{\text{aktual}} = n \times A_{D-40} = 6 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 7539,82 \text{ mm}^2$$

2. Mencari jarak c



Gambar 5.7 Diagram tegangan beton prategang parsial 90%

di lokasi 5 dan 15

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 200 = 800 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} (f_{pu} / d_p)}$$

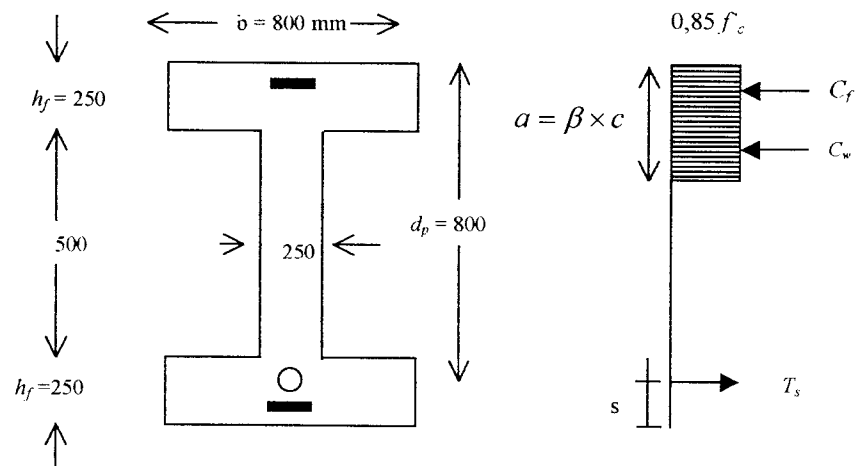
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 7539,82 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45(800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800(1860 / 800)}$$

$$c = 465,3398 \approx 466 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 466 = 339,5276 \text{ mm}$$

3. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.8 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 90%
di lokasi 5 dan 15

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{466}{800} \right) = 1556,634$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1556,634 \cdot 200 + 7539,82 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1556,634 + 7539,82 \cdot 360} = 142,4353 \approx 143 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 143 - h_f/2) + C_w(1000 - 143 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \left\{ h_f(b - b_w)(1000 - 143 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 143 - a/2) \right\}$$

$$M_n = 0,85 \cdot 45 \left\{ 250(800 - 250)(1000 - 143 - 250/2) \right. \\ \left. + 339,5276 \cdot 180(1000 - 143 - 339,5276/2) \right\}$$

$$M_n = 6081134726 \text{ Nmm} = 6081,134726 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi \cdot Mn$$

$$= 1 \times 6081,134726 \text{ KNm} > 3990,6441 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

B. Kapasitas momen pada lokasi 10

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

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

$$= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1556,634 \cdot 200 + 7539,82 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1556,634 + 7539,82 \cdot 360} = 142,4353 \approx 143 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 143 - h_f/2) + C_w(1000 - 143 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \left\{ h_f(b - b_w)(1000 - 143 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 143 - a/2) \right\}$$

$$Mn = 0,85 \cdot 45 \left\{ 250(800 - 250)(1000 - 143 - 250/2) \right. \\ \left. + 339,5276 \cdot 180(1000 - 143 - 339,5276/2) \right\}$$

$$Mn = 6081134726 \text{ Nmm} = 6081,134726 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi \cdot Mn$$

$$= 1 \times 6081,134726 \text{ KNm} > 3990,6441 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

B. Kapasitas momen pada lokasi 10

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

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

$$= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{2226,4277 \cdot 10^6}{445000 \times 950} = 5,2665$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118) \cdot (5,2665)}{360}} \right) = 0,01580463723$$

$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 445000 \times 0,01580463723 = 7033,0636 \text{ mm}^2$$

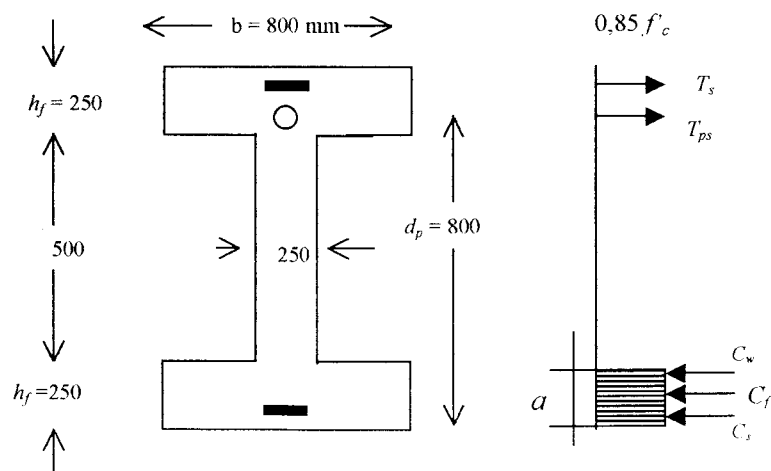
Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 5,59 \approx 6 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 3 buah.

$$A_{aktual} = n \times A_{D-40} = 3 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 3769,911 \text{ mm}^2$$

2. Mencari jarak c



Gambar 5.9 Diagram tegangan beton prategang parsial 90% di lokasi 10

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 200 = 800 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} (f_{pu} / d_p)}$$

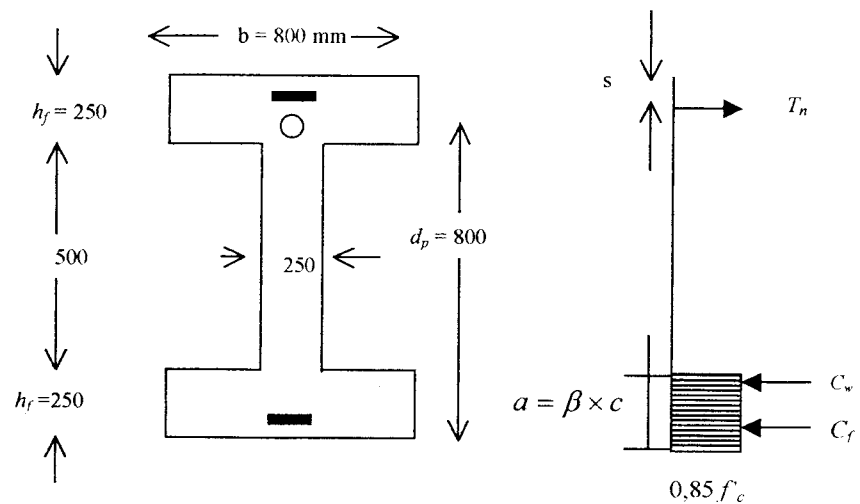
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 3769,911 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot (800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800 \cdot (1860 / 800)}$$

$$c = 310,94 \approx 311 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 311 = 226,5946 \text{ mm}$$

3. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.10 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 90% di lokasi 10

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{311}{800} \right) = 1657,539$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1657,539 \cdot 200 + 3769,911 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1657,539 + 3769,911 \cdot 360} = 166,061 \approx 167 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 167 - h_f/2) + C_w(1000 - 167 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \{ h_f(b - b_w)(1000 - 167 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 167 - a/2) \}$$

$$M_n = 0,85 \cdot 45 \{ 250(800 - 250)(1000 - 167 - 250/2) + 226,5946 \cdot 250(1000 - 167 - 226,5946/2) \}$$

$$Mn = 5283097128 \text{ Nmm} = 5283,097128 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi Mn$$

$$= 1 \times 5283,097128 \text{ KNm} > 2226,4277 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

5.2.2.5 Analisis Lendutan

A. Lendutan jangka pendek

1. Lendutan akibat pemberian gaya prategang

$$\begin{aligned} \delta_{pi} &= \frac{P \cdot e_c \cdot L^2}{8E_{ci} \cdot I_c} + \frac{P(e_e - e_c)L^2}{24 \cdot E_{ci} \cdot I_c} \\ &= \frac{2926,4570 \cdot 300 \cdot 15000^2}{8 \cdot 30,547 \cdot 6,09375 \cdot 10^{10}} + \frac{2926,4570 \cdot (300 - 300) \cdot 15000^2}{24 \cdot 30,547 \cdot 6,09375 \cdot 10^{10}} \\ &= -13,2649 \text{ mm} (\uparrow) \end{aligned}$$

2. Lendutan akibat berat sendiri gelagar

$$\begin{aligned} \delta_D &= \frac{5 \cdot W_D \cdot L^4}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_c} \\ &= \frac{5 \cdot 0,0126 \cdot 15000^4}{384 \cdot 30,547 \cdot 6,09375 \cdot 10^{10}} = 4,46 \text{ mm} (\downarrow) \end{aligned}$$

3. Lendutan akibat beban mati

$$\begin{aligned} \delta_{SD} &= \frac{5 \cdot W_{SD} \cdot L^4}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_c} \\ &= \frac{5 \cdot 0,012295 \cdot 15000^4}{384 \cdot 30,547 \cdot 6,09375 \cdot 10^{10}} = 4,3539 \text{ mm} (\downarrow) \end{aligned}$$

4. Lendutan akibat beban hidup

$$\delta_L = \frac{23 \cdot Q_L \cdot L^3}{648 \cdot E_{ci} \cdot I_c}$$

$$= \frac{23.145.15000^3}{648.30.547.6.09375.10^{10}} = 9,3313 \text{ mm } (\downarrow)$$

B. Lendutan jangka panjang

Rumus umum lendutan dengan metode *Approximate time step* untuk balok non komposit adalah :

$$\delta_T = -\delta_{pi} \left[1 - \frac{\Delta P}{P_0} + (\lambda \cdot k_r \cdot c_t) \right] + \delta_D [1 + (k_r \cdot c_t)] + \delta_{SD} [1 + (k_a \cdot k_r \cdot c_t)] + \delta_L$$

dengan

$$\Delta P = P_0 - P_e = 2926,4570 - 2633,4952 = 292,9618 \text{ KN}$$

$$\lambda = 1 - \frac{\Delta P}{2 \cdot P_0} = 1 - \frac{292,9618}{2 \cdot 2926,4570} = 0,95$$

$$k_r = 1$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = 0,1$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 1 bulan (30 hari)

$$k_a = 1,25(30)^{-0,118} = 0,84$$

$$c_t = \left[\frac{30^{0,6}}{10 + 30^{0,6}} \right] \times 2,35 = 1,022$$

$$\delta_{T30} = -13,2649 [1 - 0,1 + (0,95 \cdot 1 \cdot 1,022)] + 4,46 [1 + (1 \cdot 1,022)]$$

$$+ 4,3539 [1 + (0,84 \cdot 1 \cdot 1,022)] + 9,3313$$

$$= -24,8173 + 9,0181 + 8,0916 + 9,3313$$

$$= + 1,6237 \text{ mm}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 1 tahun (365 hari)

$$k_a = 1,25(365)^{-0,118} = 0,623$$

$$c_t = \left[\frac{365^{0,6}}{10 + 365^{0,6}} \right] \times 2,35 = 1,8215$$

$$\begin{aligned} \delta_{T365} &= -13,2649[1-0,1+(0,95 \cdot 1 \cdot 1,8215)] + 4,46[1+(1 \cdot 1,8215)] \\ &\quad + 4,3539[1+(0,623 \cdot 1 \cdot 1,8215)] + 9,3313 \\ &= -34,8923 + 12,5839 + 9,2947 + 9,3313 \\ &= -3,6820 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 3 tahun (1095 hari)

$$k_a = 1,25(1095)^{-0,118} = 0,547$$

$$c_t = \left[\frac{1095^{0,6}}{10 + 1095^{0,6}} \right] \times 2,35 = 2,0433$$

$$\begin{aligned} \delta_{T1095} &= -13,2649[1-0,1+(0,95 \cdot 1 \cdot 2,0433)] + 4,46[1+(1 \cdot 2,0433)] \\ &\quad + 4,3539[1+(0,547 \cdot 1 \cdot 2,0433)] + 9,3313 \\ &= -37,6874 + 13,5731 + 9,2202 + 9,3313 \\ &= -5,5624 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 5 tahun (1825 hari)

$$k_a = 1,25(1825)^{-0,118} = 0,515$$

$$c_t = \left[\frac{1825^{0,6}}{10 + 1825^{0,6}} \right] \times 2,35 = 2,1162$$

$$\begin{aligned} \delta_{T1825} &= -13,2649[1-0,1+(0,95 \cdot 1 \cdot 2,1162)] + 4,46[1+(1 \cdot 2,1162)] \\ &\quad + 4,3539[1+(0,515 \cdot 1 \cdot 2,1162)] + 9,3313 \\ &= -38,6060 + 13,8983 + 9,0990 + 9,3313 \end{aligned}$$

$$= -6,2774 \text{ mm}$$

5.2.3 Perencanaan dan Analisis Beton Prategang Parsial 80%

5.2.3.1 Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80%

Perencanaan awal penampang beton prategang parsial 80% dapat dilihat pada tabel 5.15

**TABEL 5.15 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 %
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

No.	Keterangan	Simbol / Rumus	Nilai	Satuan
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	421.8750	KN.m
2.	Momen akibat beban mati	M_D	375.9469	KN.m
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	681.0360	KN.m
4.	Momen total	M_T	1478.8579	KN.m
5.	Tinggi balok yang digunakan	$h = k\sqrt{M}$	1000	Mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = \frac{M_T}{0.65h} \times 80\%$	1820.1328	KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	1106.7000	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	1644.6488	mm ²
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45f'_c)}$	179766.2025	mm ²

PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LİN

10.	Luas penampang yang digunakan	A_{ct} (terpekat)		mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \gamma_c$	525000	KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	12.6000	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	354.3750	$KN.m$
	Check M_G/M_T	M_G/M_T	1411.3579	
			0.2511	> 20 % → OK !
14.	Inersia penampang gelagar	I_c		mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t	60937500000	mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	500	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	s	500	mm
18.	Jari-jari inersia	r	150	mm
19.	Kern atas	K_t	340.6926	mm
			232.1429	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

20.	Kem bawah	K_b		mm
21.	Eksentrisitas	$e = y_b - s$	232.1429	mm
22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e + k_t)} \times 80\%$	350	kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	1939.5348	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_t \cdot y_b}$	2281.8056	mm^2
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_b} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	191087.1707	mm^2
	Ambil nilai luas penampang yang diperlukan yang terbesar	$A_{c(perlu)}$	172655.4715	
	Check : A_c yang digunakan > A_c yang diperlukan		191087.1707	mm^4
			$525000 \text{ mm}^2 > 191087.1707 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK} !$	

**TABEL 5.16 KONTROL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 %
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Symbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \cdot e \cdot y_t}{I_c} - \frac{M_G \cdot y_t}{I_c}$	-0.7011	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_G \cdot y_b}{I_c}$	-7.9915	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F \cdot e \cdot y_t}{I_c} + \frac{M_T \cdot y_t}{I_c}$	-9.7048	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_T \cdot y_b}{I_c}$	2.3161	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			

5.2.3.2 Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80% dengan Metode AASHTO LRFD 1994

A. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Parsial 80 %

Kehilangan gaya prategang beton prategang pasca-tarik dapat terjadi akibat perpendekan elastis beton (*elastic shortening*), gesekan (*friction*), slip angkur (*anchorage-seat*), relaksasi (*relaxation*), rangkak (*creep*) dan penyusutan (*shrinkage*).

1. Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek

a. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*) Δf_{pES}

$$\Delta f_{pES} = \frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e_n \times y_{(n-1)}}{I}$$

dengan

e_n = jarak dari pusat berat tendon (n) ke pusat berat gelagar

A_c = luas penampang gelagar

I = Inersia gelagar

$y_{(n-1)}$ = jarak pusat berat tendon ($n-1$) terhadap pusat berat gelagar

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} \sum f_{pES}$$

dengan

$$E_p = 200000 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = 4800 \sqrt{40,5} = 30547,01295 \text{ Mpa}$$

- Saat kabel di selubung 1 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan tidak terjadi kehilangan gaya prategang
- Saat kabel di selubung 2 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan akan terjadi kehilangan gaya prategang pada tendon 1 sebesar :

$$F_{i-1} = 0,70.f_{pu}.A_{ps} = 0,70(1860)(10)(140).80\% = 1458,24$$

KN

- Pada tumpuan di lokasi 0 dan 20

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1458,24 \times 10^3}{525000} - \frac{(1458,24 \times 10^3) \times 0 \times 300}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -2,7776 \text{ Mpa (tanda negatif menunjukkan} \\ &\text{perpendekan.} \end{aligned}$$

- Pada lokasi 5 dan 15

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1458,24 \times 10^3}{525000} - \frac{(1458,24 \times 10^3)350^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -5,709 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Pada lokasi 10

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1458,24 \times 10^3}{525000} - \frac{(1458,24 \times 10^3).300^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -4,9313 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.17

b. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan (*friction*)

Gesekan (*friction*) menurut standar ACI adalah :

$$P_s = P_x \times e^{-(\mu\alpha + kl)}$$

dengan

P_s = gaya pratekan pada ujung kabel (dongkrak)

P_x = gaya pratekan pada posisi x dari ujung kabel

L = panjang kabel yang diukur dari ujung kabel ke lokasi x

k = wobble effect (diambil $k = 0,001$)

μ = koefisien gesek kabel dan material (diambil 0,15)

α = sudut kabel (radian)

Kabel ditarik dari satu arah yaitu dari lokasi 0

Mencari sudut rotasi

- Sudut rotasi pada lokasi 0 s/d 5

$$\alpha_{(0-5)1} = \frac{4 \times 650}{7500} = 0,3467 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(0-5)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 5 s/d 10

$$\alpha_{(5-10)1} = \alpha_{(5-10)2} = \frac{4 \times 650}{7500} = 0,3467 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi di lokasi 5 adalah $\alpha_{(5)} = \alpha_{(0-5)} + \alpha_{(5-10)}$

$$\alpha_{(5)1} = 0,3467 + 0,3467 = 0,6934 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(5)2} = 0,16 + 0,3467 = 0,5067 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 15 s/d 20

$$\alpha_{(15-20)1} = \frac{4 \times 650}{7500} = 0,3467 \text{ (kabel 1)}$$



$$\alpha_{(15-20)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 10 s/d 15

$$\alpha_{(10-15)1} = \alpha_{(10-15)2} = \frac{4 \times 650}{7500} = 0,3467 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut pada lokasi 15 adalah $\alpha_{(15)} = \alpha_{(10-15)} + \alpha_{(15-20)}$

$$\alpha_{(15)1} = 0,3467 + 0,3467 = 0,6934 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(15)2} = 0,16 + 0,3467 = 0,5067 \text{ (kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi pada dukungan di lokasi 10

$$\alpha_{(10)} = \alpha_{(5-10)} + \alpha_{(10-15)}$$

$$\alpha_{(10)1} = \alpha_{(10)2} = 0,3467 + 0,3467 = 0,6934 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.18

c. Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur

Menurut T.Y Lin dan Ned H. Burns rumus untuk menghitung kehilangan gaya prategang adalah sebagai berikut :

$$ACH = \Delta f_s = \frac{\Delta_a E_s}{L}$$

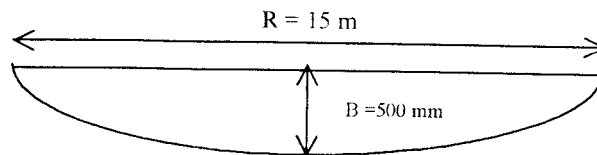
dengan

Δ_a = deformasi pengankuran/slip

$E_s = E_p$ = modulus elastisitas kabel = 20×10^5 Mpa

L = panjang kabel

Menghitung panjang parabolik :



$$L = \{R(1 + 2,67n^2)\}^2$$

$$\text{dengan } n = \frac{B}{R} = \frac{500}{15000} = 0,033$$

$$L = \{15000(1 + 2,67 \cdot 0,033^2)\} \times 2 = 30087,2289 \text{ mm}$$

Perpanjangan total tendon

$$\Delta a = \frac{(0,70 \cdot 1860) \times 30087,2289}{2 \times 10^5} = 195,868 \text{ mm}$$

Asumsi slip yang terjadi adalah 2,5 mm, maka loss akibat slip sebesar :

$$\Delta f_s = \frac{2,5}{195,868} \times 100\% = 1,276\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek adalah :

$$\Delta f_{PT} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pACH}$$

dengan

Δf_{pES} = kehilangan prategang akibat perpendekan elastis

Δf_{pF} = kehilangan prategang akibat gesekan

Δf_{pACH} = kehilangan prategang akibat slip angkur

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek dapat dilihat pada tabel

**TABEL 5.17 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT
PERPENDEKAN ELASTIS BETON**

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 1 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	0	0
Tegangan beton pada lokasi 5	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	0	0
Tegangan beton pada lokasi 15	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	0	0

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 2 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	3.472	0
Tegangan beton pada lokasi 5	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	6.1641	0
Tegangan beton pada lokasi 15	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	3.472	0

Total loss akibat perpendekan elastis yang terjadi saat tendon di masing-masing selubung ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	3.472	0
Tegangan beton pada lokasi 5	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	6.1641	0
Tegangan beton pada lokasi 15	6.164	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	3.472	0
Loss rata-rata	5.08722	0
% Loss	0.39072	0

TABEL 5.18 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN

Tendon/kabel pada selubung 1								
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu.\alpha$	$k.L + \mu.\alpha$	$e^{-(k.L+\mu.\alpha)}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.79006.Pi	20.99400
5	0	0	0.6934	0.10401	0.10401	0.90122	0.71202.Pi	28.79800
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.70318.Pi	29.68200
10	0	0	0.6934	0.10401	0.10401	0.90122	0.63372.Pi	36.62800
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.62585.Pi	37.41500
15	0	0	0.6934	0.10401	0.10401	0.90122	0.56403.Pi	43.59700
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.55702.Pi	44.29800

KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN (LANJUTAN)

Tendon/kabel pada selubung 2									
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu.\alpha$	$k.L + \mu.\alpha$	$e^{-(k.L+\mu.\alpha)}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)	
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.79006.Pi	20.99400	
5	0	0	0.5067	0.076005	0.076005	0.92681	0.73224.Pi	26.77600	
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.72314.Pi	27.68600	
10	0	0	0.6934	0.10401	0.10401	0.90122	0.65171.Pi	34.82900	
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.64361.Pi	35.63900	
15	0	0	0.5067	0.076005	0.076005	0.92681	0.59650.Pi	40.35000	
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.58909.Pi	41.09100	

**TABEL 5.19 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip ankur	Loss total (%)
0	0	0.33647	1.2760	1.61247
0 - 5	20.99400	0.33647	1.2760	22.60647
5	28.79800	0.33647	1.2760	30.41047
5 - 10	29.68200	0.33647	1.2760	31.29447
10	36.62800	0.33647	1.2760	38.24047
10 - 15	37.41500	0.33647	1.2760	39.02747
15	43.59700	0.33647	1.2760	45.20947
15 - 20	44.29800	0.33647	1.2760	45.91047
20	44.29800	0.33647	1.2760	45.91047

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip ankur	Loss total (%)
0	0	0	1.2760	1.2760
0 - 5	20.99400	0	1.2760	22.2700
5	26.77600	0	1.2760	28.0520
5 - 10	27.68600	0	1.2760	28.9620
10	34.82900	0	1.2760	36.1050
10 - 15	35.63900	0	1.2760	36.9150
15	40.35000	0	1.2760	41.6260
15 - 20	41.09100	0	1.2760	42.3670
20	41.09100	0	1.2760	42.3670

2. Kehilangan gaya prategang jangka panjang

a. Kehilangan gaya prategang akibat penyusutan (*shrinkage*)

T.Y Lin menyatakan rumus umum penyusutan adalah sebagai berikut :

$$SH = \varepsilon_{SH} \cdot K_{SH} \cdot E_s$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,8 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{v}{s} \right) (100 - RH)$$

dengan

v = volume gelagar

s = luas selimut gelagar yang berhubungan dengan udara luar

RH = relative humidity (kelembaban relatif) = 70%

K_{SH} = 0,58 (tabel)

E_s = $2 \cdot 10^5$ MPa

$$\frac{v}{s} = \frac{5250}{((4 \times 25) + (4 \times 27,5) + (2 \times 50) + 80)} = 13,4615 \text{ cm} = 5,3 \text{ in}$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,2 \cdot 10^{-6} (1 - 0,06 \cdot 5,3) (100 - 70) = 1,678 \cdot 10^{-4}$$

$$SH = 1,678 \cdot 10^{-4} \times 0,58 \times 200000 = 19,4648 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang

$$\Delta f_{sSH} = \frac{SH}{0,7 \cdot f_{pu}} \times 100\%$$

$$\Delta f_{sSH} = \frac{19,4648}{0,7 \cdot 1860} \times 100\% = 1,495\%$$

b. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja

Menurut PCI committee, rumus umum relaksasi adalah :

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log t - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

dengan

f_{st} = tegangan tarik awal yang dikerjakan pada kabel

$$\left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \geq 0,05$$

Saat transfer $t_1 = 1$ hari sampai dengan saat beban hidup bekerja $t = 1$ tahun.

$$t_1 = 1 \text{ hari} = 24 \text{ jam}$$

$$t = 1 \text{ tahun} = 365 \text{ hari} = 8760 \text{ jam}$$

$$f_{py} = 0,85 \text{ fpu} = 0,85 \cdot 1860 = 1581 \text{ Mpa}$$

$$f_{st} = 0,75 \text{ fpu} = 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ Mpa}$$

$$RET = 1395 \left(\frac{\log 8760 - \log 24}{10} \right) \left(\frac{1395}{1581} - 0,55 \right) = 118,796 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (tendon) adalah :

$$\Delta f_{pR} = \frac{118,796}{1395} \times 100\% = 8,5158\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka panjang adalah :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pT} &= \Delta f_{pSH} + \Delta f_{pR} \\ &= 1,495 + 8,5158 = 10,0108\% \end{aligned}$$

Total kehilangan jangka panjang dapat dilihat pada tabel 5.20

**TABEL 5.20 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.495	8.5158	10.0108
0 - 5	1.495	8.5158	10.0108
5	1.495	8.5158	10.0108
5 - 10	1.495	8.5158	10.0108
10	1.495	8.5158	10.0108
10 - 15	1.495	8.5158	10.0108
15	1.495	8.5158	10.0108
15 - 20	1.495	8.5158	10.0108
20	1.495	8.5158	10.0108

5.2.3.3 Kontrol Tegangan Gelagar Berdasarkan Tegangan Ijin AASHTO LRFD 1994

A. Kontrol tegangan pada lokasi 5

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 5

$$F_{i-1} = (1 - 30,4105\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,6959 \times 1822,8 = 1268,4779 \text{ KN}$$

$$F_{i-2} = (1 - 28,052\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,71948 \times 1822,8 = 1311,4681 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 1268,4779 + 1311,4681 = 2579,946 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned} f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\ &= -\frac{2579,946 \times 10^3}{525000} + \frac{2579,946 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= 2,4805 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned} f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\ &= -\frac{2579,946 \times 10^3}{525000} - \frac{2579,946 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -12,3088 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Saat layan (*service*)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 2579,946 = 2321,6728 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_{atas} &= -\frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\
 &= -\frac{2321,6728 \times 10^3}{525000} + \frac{2321,6728 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{3990,6441 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= 1,5990 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{2321,6728 \times 10^3}{525000} - \frac{2321,6728 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{3990,6441 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -11,0569 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

B. Kontrol tegangan pada lokasi 10

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 10

$$F_{i-1} = (1 - 38,205\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,6176 \times 1822,8 = 1125,7527 \text{ KN}$$

$$F_{i-2} = (1 - 36,105\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,63895 \times 1822,8 = 1164,6781 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 1125,7527 + 1164,6781 = 2290,4308 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\
 &= -\frac{2290,4308 \times 10^3}{525000} - \frac{2290,4308 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1280,3125 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -9,9902 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{2290,4308 \times 10^3}{525000} + \frac{2290,4308 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1280,3125 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= + 1,2648 \text{ Mpa} \leq 0,58\sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

Saat layan (service)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1-10,0108 \%) \cdot F_i = (1-10,0108 \%) \cdot 2290,4308 = 2061,1404 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_{atas} &= -\frac{F_e}{A_c} - \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} + \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\
 &= -\frac{2061,1404 \times 10^3}{525000} - \frac{2061,1404 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -8,9813 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} - \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{2061,1404 \times 10^3}{525000} + \frac{2061,1404 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= + 1,1293 \text{ Mpa} \leq 0,5\sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

C. Kontrol tegangan pada lokasi 15

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 5

$$F_{i-1} = (1 - 45,20947\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,5479053 \times 1822,8 = 998,7218 \text{ KN}$$

$$F_{i-1} = (1 - 41,626\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,58374 \times 1822,8 = 1064,0413 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 998,7218 + 1064,0413 = 2062,7631 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned} f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\ &= -\frac{2062,7631 \times 10^3}{525000} + \frac{2062,7631 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= 1,9803 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned} f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\ &= -\frac{2062,7631 \times 10^3}{525000} - \frac{2062,7631 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -9,8385 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 40,5 = -24,3 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Saat layan (service)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 2062,7631 = 1856,264 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned} f_{atas} &= -\frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\ &= -\frac{1856,264 \times 10^3}{525000} + \frac{1856,264 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= 1,7660 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{1856,264 \times 10^3}{525000} - \frac{1856,264 \times 10^3 \times 350 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -8,83748 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

5.2.3.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar

A. Kapasitas momen pada lokasi 5 dan 15

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \times \beta \times \frac{600}{f_y + 600} \\
 &= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{3990,6441 \cdot 10^6}{485000 \times 950} = 8,66$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118)(8,66)}{360}} \right) = 0,02765449074$$

$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 485000 \times 0,02765449074 = 13412,42801 \text{ mm}^2$$

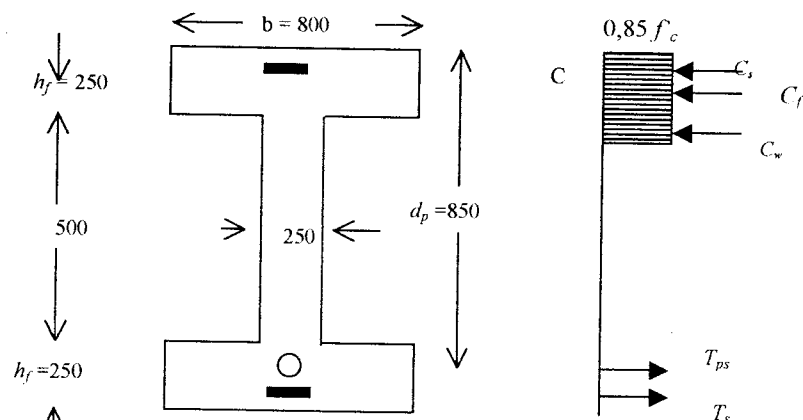
Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 10,67 \approx 11 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 6 buah.

$$A_{aktual} = n \times A_{D-40} = 6 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 7539,82 \text{ mm}^2$$

2. Mencari jarak c



Gambar 5.11 Diagram tegangan beton prategang parsial 80%

di lokasi 5 dan 15

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 150 = 850 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{ps}}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} (f_{pu} / d_p)}$$

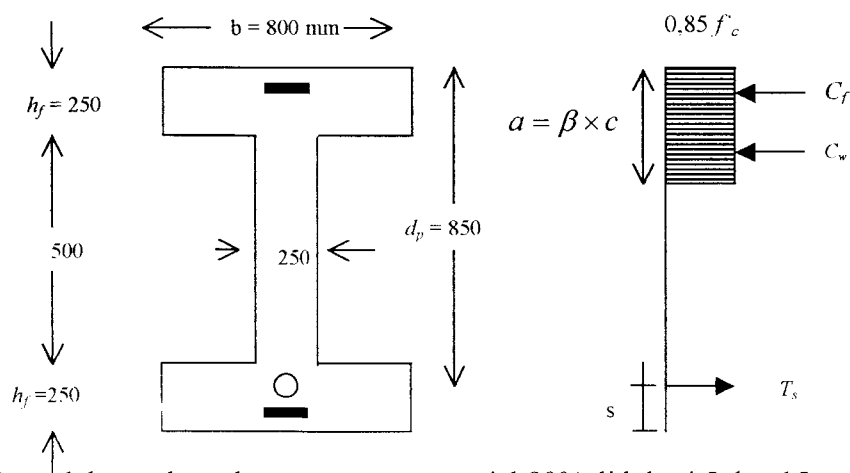
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 7539,82 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45(800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800(1860 / 850)}$$

$$c = 471,0863 \approx 472 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 472 = 343,8992 \text{ mm}$$

3. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.12 Gaya dalam gelagar beton prategang parsial 80% di lokasi 5 dan 15

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{472}{850} \right) = 1570,8028$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1570,8028 \cdot 200 + 7539,82 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1570,8028 + 7539,82 \cdot 360} = 142,7563 \approx 143 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 143 - h_f/2) + C_w(1000 - 143 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \left\{ h_f(b - b_w)(1000 - 143 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 143 - a/2) \right\}$$

$$M_n = 0,85 \cdot 45 \left\{ 250(800 - 250)(1000 - 143 - 250/2) \right.$$

$$\left. + 343,8992 \cdot 250(1000 - 143 - 343,8992/2) \right\}$$

$$M_n = 6102675471 \text{ Nmm} = 6102,675471 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi M_n$$

$$= 1 \times 6102,675471 \text{ KNm} > 3990,6441 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

B. Kapasitas momen pada lokasi 10

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

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

$$= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{2226,4277 \cdot 10^6}{445000 \times 950} = 5,2665$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118)(5,2665)}{360}} \right) = 0,01580463723$$

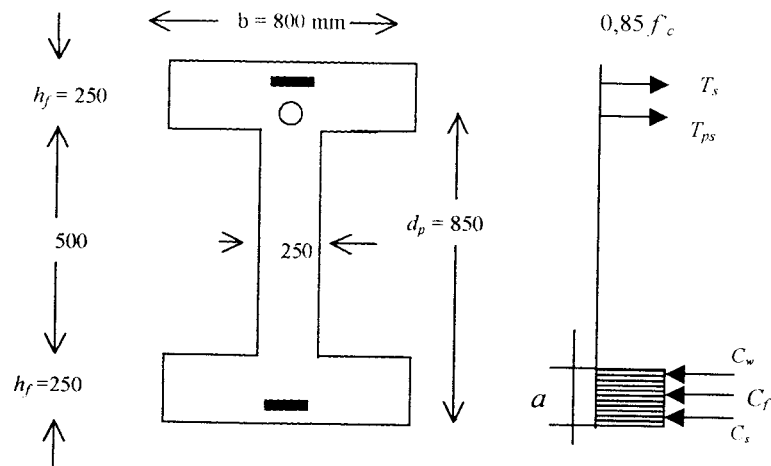
$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 445000 \times 0,01580463723 = 7033,0636 \text{ mm}^2$$

Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 5,59 \approx 6 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 3 buah.

$$A_{aktual} = n \times A_{D-40} = 3 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 3769,911 \text{ mm}^2$$

2. Mencari jarak c 

Gambar 5.13 Diagram tegangan beton prategang parsial 80% di lokasi 10

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 150 = 850 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_w}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} \cdot (f_{pu} / d_p)}$$

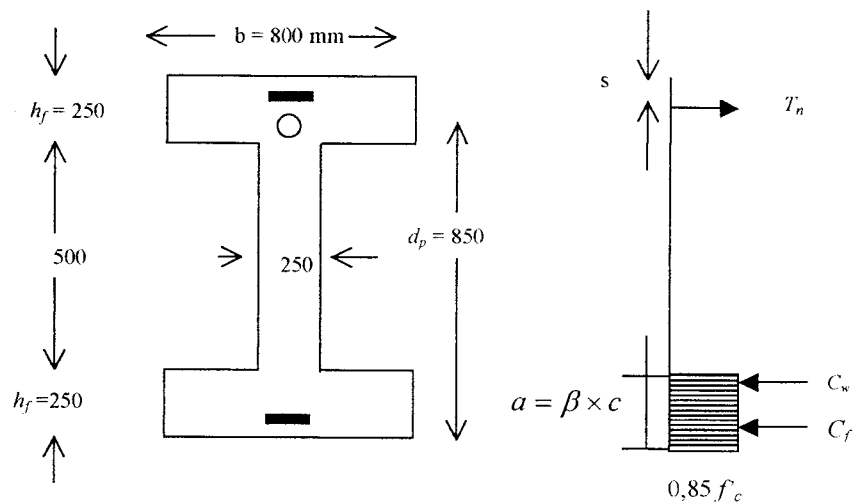
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 3769,911 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45(800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800(1860 / 850)}$$

$$c = 314,78 \approx 315 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 315 = 229,509 \text{ mm}$$

3. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.14 Gaya dalam gelagar beton prategang 80% di lokasi 10

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{315}{850} \right) = 1666,9976$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800.1666,9976.200 + 3769,911.360.50}{2800.1666,9976 + 3769,911.360} = 166,210 \approx 167 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 167 - h_f/2) + C_w(1000 - 167 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \left\{ h_f(b - b_w)(1000 - 167 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 167 - a/2) \right\}$$

$$M_n = 0,85 \cdot 45 \left\{ 250(800 - 250)(1000 - 167 - 250/2) \right. \\ \left. + 229,509 \cdot 250(1000 - 167 - 229,509/2) \right\}$$

$$M_n = 5299956399 \text{ Nmm} = 5299,956399 \text{ KNm}$$

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$= 1 \times 5299,956399 \text{ KNm} > 2226,4277 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

5.2.3.5 Analisis Lendutan

A. Lendutan jangka pendek

1. Lendutan akibat pemberian gaya prategang

$$\delta_{p1} = \frac{P \cdot e_c \cdot L^2}{8E_{ci} \cdot I_c} + \frac{P(e_e - e_c)L^2}{24 \cdot E_{ci} \cdot I_c}$$

$$= \frac{2579,946 \cdot 350 \cdot 15000^2}{8 \cdot 30,547 \cdot 6,09375 \cdot 10^{10}} + \frac{2579,946 \cdot (300 - 350) \cdot 15000^2}{24 \cdot 30,547 \cdot 6,09375 \cdot 10^{10}}$$

$$= -12,9936 \text{ mm} (\uparrow)$$

2. Lendutan akibat berat sendiri gelagar

$$\delta_D = \frac{5 \cdot W_D \cdot L^4}{384 \cdot E_{ci} \cdot I_c}$$

$$= \frac{5.0,0126.15000^2}{384.30,547.6,09375.10^{10}} = 4,46 \text{ mm } (\downarrow)$$

3. Lendutan akibat beban mati

$$\begin{aligned} \delta_{SD} &= \frac{5.W_{SD}.L^4}{384.E_{ci}.I_c} \\ &= \frac{5.0,012295.15000^4}{384.30,547.6,09375.10^{10}} = 4,3539 \text{ mm } (\downarrow) \end{aligned}$$

4. Lendutan akibat beban hidup

$$\begin{aligned} \delta_L &= \frac{23.Q_L.L^3}{648.E_{ci}.I_c} \\ &= \frac{23.145.15000^3}{648.30,547.6,09375.10^{10}} = 9,3313 \text{ mm } (\downarrow) \end{aligned}$$

B. Lendutan jangka panjang

Rumus umum lendutan dengan metode *Approximate time step* untuk balok non komposit adalah :

$$\delta_T = -\delta_{pi} \left[1 - \frac{\Delta P}{P_0} + (\lambda \cdot k_r \cdot c_t) \right] + \delta_D [1 + (k_r \cdot c_t)] + \delta_{SD} [1 + (k_a \cdot k_r \cdot c_t)] + \delta_L$$

dengan

$$\Delta P = P_0 - P_e = 2579,946 - 2321,6728 = 258,2732 \text{ KN}$$

$$\lambda = 1 - \frac{\Delta P}{2.P_0} = 1 - \frac{258,2732}{2.2579,946} = 0,95$$

$$k_r = 1$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = 0,1$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 1 bulan (30 hari)

$$k_a = 1,25(30)^{-0,118} = 0,84$$

$$c_t = \left[\frac{30^{0,6}}{10 + 30^{0,6}} \right] \times 2,35 = 1,022$$

$$\begin{aligned} \delta_{T30} &= -12,9936[1-0,1+(0,95.1.1,022)]+4,46[1+(1.1,022)] \\ &\quad +4,3539[1+(0,84.1.1,022)]+ 9,3313 \\ &= -24,3097 + 9,01812 + 8,0916 + 9,3313 \\ &= + 2,1313 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 1 tahun (365 hari)

$$k_a = 1,25(365)^{-0,118} = 0,623$$

$$c_t = \left[\frac{365^{0,6}}{10 + 365^{0,6}} \right] \times 2,35 = 1,8215$$

$$\begin{aligned} \delta_{T365} &= -12,9936[1-0,1+(0,95.1.1,8215)]+4,46[1+(1.1,8215)] \\ &\quad +4,3539[1+(0,623.1.1,8215)]+ 9,3313 \\ &= -34,1787 + 12,5839 + 9,2947 + 9,3313 \\ &= - 2,9688 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 3 tahun (1095 hari)

$$k_a = 1,25(1095)^{-0,118} = 0,547$$

$$c_t = \left[\frac{1095^{0,6}}{10 + 1095^{0,6}} \right] \times 2,35 = 2,0433$$

$$\begin{aligned} \delta_{T1095} &= -12,9936[1-0,1+(0,95.1.2,0433)]+4,46[1+(1.2,0433)] \\ &\quad +4,3539[1+(0,547.1.2,0433)]+ 9,3313 \\ &= -36,9161 + 13,5731 + 9,2202 + 9,3313 \end{aligned}$$

$$= -4,7915 \text{ mm}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 5 tahun (1825 hari)

$$k_a = 1,25(1825)^{-0,118} = 0,515$$

$$c_t = \left[\frac{1825^{0,6}}{10 + 1825^{0,6}} \right] \times 2,35 = 2,1162$$

$$\begin{aligned} \delta_{T1825} &= -12,9936[1-0,1+(0,95 \cdot 1,2,1162)] + 4,46[1+(1,2,1162)] \\ &\quad + 4,3539[1+(0,515 \cdot 1,2,1162)] + 9,3313 \\ &= -37,8160 + 13,8980 + 9,0988 + 9,3313 \\ &= -5,4879 \text{ mm} \end{aligned}$$

5.2.4 Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 75%

5.2.4.1 Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75%

Perencanaan awal penampang gelagar beton prategang parsial dapat dilihat pada tabel 5.21

**TABEL 5.21 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 %
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

No.	Keterangan	Simbol / Rumus	Nilai	Satuan
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	421.8750	KN.m
2.	Momen akibat beban mati	M_D	375.9469	KN.m
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	681.0360	KN.m
4.	Momen total	M_T	1478.8579	KN.m
5.	Tinggi balok yang digunakan	$h = k\sqrt{M}$	1000	mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = 75\% \times \frac{M_T}{0.65h}$	1706.3745	KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	1106.7000	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	1541.8582	mm ²
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45f'_c)}$	168530.8148	mm ²

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

10.	Luas penampang yang digunakan	A_c (terpakai)	525000	mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \cdot \gamma_c$	12.6000	KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	354.3750	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	1411.3579	$KN.m$
	Check M_G/M_T	M_G/M_T	0.2511	> 20 % → OK !
14.	Inersia penampang gelagar	I_c	60937500000	mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t	500	mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	500	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	S	100	mm
18.	Jari-jari inersia	R	340.6926	mm
19.	Kern atas	K_t	232.1429	mm
20.	Kern bawah	K_b	232.1429	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

21.	Eksentrisitas	$e = y_b - s$	400	mm
22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e + k_t)}$	1674.4924	kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	1969.9911	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_r \cdot y_b}$	164974.6230	mm ²
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_h} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	157938.2224	mm ²
Ambil nilai luas penampang yang diperlukan yang terbesar		$A_{c(perlu)}$	164974.6230	mm ⁴
Check : A_c yang digunakan > A_c yang diperlukan			525000 mm² > 164974.6230 mm² → OK !	

**TABEL 5.22 KONTROL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 %
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Simbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F_i.e.y_t}{I_c} - \frac{M_G.y_t}{I_c}$	-0.1944	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F_i.e.y_b}{I_c} + \frac{M_G.y_b}{I_c}$	-7.3103	Mpa
Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F_i.e.y_t}{I_c} - \frac{M_T.y_t}{I_c}$	-9.2741	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F_i.e.y_b}{I_c} + \frac{M_T.y_b}{I_c}$	2.8951	Mpa
Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK			

5.2.4.2 Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75% dengan Metode AASHTO LRFD 1994

A. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Parsial 75%

Kehilangan gaya prategang beton prategang pasca-tarik dapat terjadi akibat perpendekan elastis beton (*elastic shortening*), gesekan (*friction*), slip angkur (*anchorage-seat*), relaksasi (*relaxation*), rangkak (*creep*) dan penyusutan (*shrinkage*).

1. Kehilangan Gaya Prategang Jangka Pendek

a. Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis (*elastic shortening*) Δf_{pES}

$$\Delta f_{pES} = -\frac{F_t}{A_c} - \frac{F_t \times e_n \times y_{(n-1)}}{I}$$

dengan

e_n = jarak dari pusat berat tendon (n) ke pusat berat gelagar

A_c = luas penampang gelagar

I = Inersia gelagar

$y_{(n-1)}$ = jarak pusat berat tendon ($n-1$) terhadap pusat berat gelagar

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} \sum f_{pES}$$

dengan

$$E_p = 200000 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = 4800 \sqrt{40,5} = 30547,01295 \text{ Mpa}$$

- Saat kabel di selubung 1 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan tidak terjadi kehilangan gaya prategang
- Saat kabel di selubung 2 (terdiri dari 10 kabel) ditarik lalu diangkurkan akan terjadi kehilangan gaya prategang pada tendon 1 sebesar :

$$F_{i-1} = 0,70.f_{pu}.A_{ps} = 0,70(1860)(10)(140).75\% = 1367,1$$

KN

- Pada tumpuan di lokasi 0 dan 20

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1367,1 \times 10^3}{525000} - \frac{(1367,1 \times 10^3) \times 0 \times 300}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -2,604 \text{ Mpa (tanda negatif menunjukkan} \\ &\text{perpendekan.} \end{aligned}$$

- Pada lokasi 5 dan 15

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1367,1 \times 10^3}{525000} - \frac{(1367,1 \times 10^3) 400^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -6,1935 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Pada lokasi 10

$$\begin{aligned} f_{pES} &= -\frac{1367,1 \times 10^3}{525000} - \frac{(1367,1 \times 10^3) \cdot 300^2}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -4,7967 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.23

b. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan (*friction*)

Gesekan (*friction*) menurut standar ACI adalah :

$$P_s = P_x \times e^{-(\mu\alpha + kL)}$$

dengan

P_s = gaya pratekan pada ujung kabel (dongkrak)

P_x = gaya pratekan pada posisi x dari ujung kabel

L = panjang kabel yang diukur dari ujung kabel ke lokasi x

k = wobble effect (diambil $k = 0,001$)

μ = koefisien gesek kabel dan material (diambil 0,15)

α = sudut kabel (radian)

Kabel ditarik dari satu arah yaitu dari lokasi 0

Mencari sudut rotasi

- Sudut rotasi pada lokasi 0 s/d 5

$$\alpha_{(0-5)1} = \frac{4 \times 700}{7500} = 0,3733 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(0-5)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 5 s/d 10

$$\alpha_{(5-10)1} = \alpha_{(5-10)2} = \frac{4 \times 700}{7500} = 0,3733 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi di lokasi 5 adalah $\alpha_{(5)} = \alpha_{(0-5)} + \alpha_{(5-10)}$

$$\alpha_{(5)1} = 0,3733 + 0,3733 = 0,7466 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(5)2} = 0,16 + 0,3733 = 0,5333 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 15 s/d 20

$$\alpha_{(15-20)1} = \frac{4 \times 700}{7500} = 0,3733 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(15-20)2} = \frac{4 \times 300}{7500} = 0,16 \text{ (kabel 2)}$$

- Sudut rotasi pada lokasi 10 s/d 15

$$\alpha_{(10-15)1} = \alpha_{(10-15)2} = \frac{4 \times 700}{7500} = 0,3733 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

- Perubahan sudut pada lokasi 15 adalah $\alpha_{(15)} = \alpha_{(10-15)} + \alpha_{(15-20)}$

$$\alpha_{(15)1} = 0,3733 + 0,3733 = 0,7466 \text{ (kabel 1)}$$

$$\alpha_{(15)2} = 0,16 + 0,3733 = 0,5333 \text{ (kabel 2)}$$

- Perubahan sudut rotasi pada dukungan di lokasi 10

$$\alpha_{(10)} = \alpha_{(5-10)} + \alpha_{(10-15)}$$

$$\alpha_{(10)1} = \alpha_{(10)2} = 0,3733 + 0,3733 = 0,7466 \text{ (kabel 1 dan kabel 2)}$$

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada masing-masing selubung dapat dilihat pada tabel 5.24

c. Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur

Menurut T.Y Lin dan Ned H. Burns rumus untuk menghitung kehilangan gaya prategang adalah sebagai berikut :

$$ACH = \Delta f_s = \frac{\Delta_a E_s}{L}$$

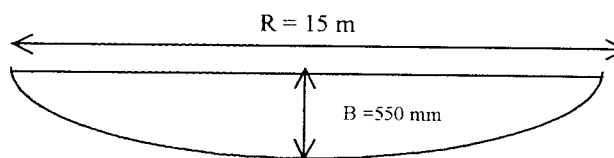
dengan

Δ_a = deformasi pengankuran/slip

$E_s = E_p$ = modulus elastisitas kabel = 20×10^5 Mpa

L = panjang kabel

Menghitung panjang parabolik :



$$L = \{R(1 + 2,67n^2)\}2$$

$$\text{dengan } n = B/R = 550/15000 = 0,036$$

$$L = \{15000(1 + 2,67 \cdot 0,036^2)\} \times 2 = 30103,8096 \text{ mm}$$

Perpanjangan total tendon

$$\Delta a = \frac{(0,70 \cdot 1860) \times 30087,2289}{2 \times 10^5} = 195,976 \text{ mm}$$

Asumsi slip yang terjadi adalah 2,5 mm, maka loss akibat slip sebesar :

$$\Delta f_s = \frac{2,5}{195,976} \times 100\% = 1,2757\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek adalah :

$$\Delta f_{PT} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pACH}$$

dengan

Δf_{pES} = kehilangan prategang akibat perpendekan elastis

Δf_{pF} = kehilangan prategang akibat gesekan

Δf_{pACH} = kehilangan prategang akibat slip ankur

Total kehilangan gaya prategang jangka pendek dapat dilihat pada tabel

5.25

**TABEL 5.23 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT
PERPENDEKAN ELASTIS BETON**

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 1 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	0	0
Tegangan beton pada lokasi 5	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	0	0
Tegangan beton pada lokasi 15	0	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	0	0

Loss yang terjadi saat tendon di selubung 2 ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	2.604	0
Tegangan beton pada lokasi 5	6.1935	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	4.7967	0
Tegangan beton pada lokasi 15	6.1935	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	2.604	0

Total loss akibat perpendekan elastis yang terjadi saat tendon di masing-masing selubung ditarik lalu diangkurkan (Mpa)		
Keterangan	Tendon di selubung 1	Tendon di selubung 2
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 0	2.604	0
Tegangan beton pada lokasi 5	6.1935	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 10	4.7967	0
Tegangan beton pada lokasi 15	6.1935	0
Tegangan beton pada dukungan di lokasi 20	2.604	0
Loss rata-rata	4.47834	0
% Loss	0.34396	0

TABEL 5.24 KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN

Tendon/kabel pada selubung 1									
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu \cdot \alpha$	$k.L + \mu \cdot \alpha$	$e^{-(k.L + \mu \cdot \alpha)}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)	
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.74069.Pi	25.93100	
5	0	0	0.7466	0.11199	0.11199	0.89405	0.66221.Pi	33.77900	
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.65399.Pi	34.60100	
10	0	0	0.7466	0.11199	0.11199	0.89405	0.58470.Pi	41.53000	
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.57744.Pi	42.25600	
15	0	0	0.7466	0.11199	0.11199	0.89405	0.51626.Pi	48.37400	
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.50985.Pi	49.01500	

KEHILANGAN GAYA PRATEGANG AKIBAT GESEKAN (LANJUTAN)

Tendon/kabel pada selubung 2									
Segmen titik	L (m)	k.L	α (radian)	$\mu.\alpha$	$k.L + \mu.\alpha$	$e^{-(k.L+\mu.\alpha)}$	Gaya pratekan pada ujung segmen	Loss di ujung segmen (%)	
0 - 5	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.74069.Pi	25.93100	
5	0	0	0.5333	0.079995	0.079995	0.92312	0.68375.Pi	31.62500	
5 - 10	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.67526.Pi	32.47400	
10	0	0	0.7466	0.11199	0.11199	0.89405	0.60372.Pi	39.62800	
10 - 15	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.59622.Pi	40.37800	
15	0	0	0.5333	0.079995	0.079995	0.92312	0.55038.Pi	44.96200	
15 - 20	12.5	0.0125	0	0	0.0125	0.98758	0.54354.Pi	45.64600	

**TABEL 5.25 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip angkur	Loss total (%)
0	0	0.34396	1.2757	1.61966
0 - 5	25.93100	0.34396	1.2757	27.55066
5	33.77900	0.34396	1.2757	35.39866
5 - 10	34.60100	0.34396	1.2757	36.22066
10	41.53000	0.34396	1.2757	43.14966
10 - 15	42.25600	0.34396	1.2757	43.87566
15	48.37400	0.34396	1.2757	49.99366
15 - 20	49.01500	0.34396	1.2757	50.63466
20	49.01500	0.34396	1.2757	50.63466

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip angkur	Loss total (%)
0	0	0	1.2757	1.2757
0 - 5	25.93100	0	1.2757	27.2067
5	31.62500	0	1.2757	32.9007
5 - 10	32.47400	0	1.2757	33.7497
10	39.62800	0	1.2757	40.9037
10 - 15	40.37800	0	1.2757	41.6537
15	44.96200	0	1.2757	46.2377
15 - 20	45.64600	0	1.2757	46.9217
20	45.64600	0	1.2757	46.9217

2. Kehilangan gaya prategang jangka panjang

a. Kehilangan gaya prategang akibat penyusutan (shrinkage)

T.Y Lin menyatakan rumus umum penyusutan adalah sebagai berikut :

$$SH = \varepsilon_{SH} \cdot K_{SH} \cdot E_s$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,8 \cdot 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{v}{s} \right) (100 - RH)$$

dengan

v = volume gelagar

s = luas selimut gelagar yang berhubungan dengan udara luar

RH = relative humidity (kelembaban relatif) = 70%

K_{SH} = 0,58 (tabel)

E_s = $2 \cdot 10^5$ MPa

$$\frac{v}{s} = \frac{5250}{((4 \times 25) + (4 \times 27,5) + (2 \times 50) + 80)} = 13,4615 \text{ cm} = 5,3 \text{ in}$$

$$\varepsilon_{SH} = 8,2 \cdot 10^{-6} (1 - 0,06 \cdot 5,3) (100 - 70) = 1,678 \cdot 10^{-4}$$

$$SH = 1,678 \cdot 10^{-4} \times 0,58 \times 200000 = 19,4648 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang

$$\Delta f_{sSH} = \frac{SH}{0,7 \cdot f_{pu}} \times 100\%$$

$$\Delta f_{sSH} = \frac{19,4648}{0,7 \cdot 1860} \times 100\% = 1,495\%$$

b. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja

Menurut PCI committee, rumus umum relaksasi adalah :

$$RET = f_{st} \left(\frac{\log t - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

dengan

f_{st} = tegangan tarik awal yang dikerjakan pada kabel

$$\left(\frac{f_{st}}{f_{py}} - 0,55 \right) \geq 0,05$$

Saat transfer $t_1 = 1$ hari sampai dengan saat beban hidup bekerja $t = 1$ tahun.

$$t_1 = 1 \text{ hari} = 24 \text{ jam}$$

$$t = 1 \text{ tahun} = 365 \text{ hari} = 8760 \text{ jam}$$

$$f_{py} = 0,85 \text{ fpu} = 0,85 \cdot 1860 = 1581 \text{ Mpa}$$

$$f_{st} = 0,75 \text{ fpu} = 0,75 \cdot 1860 = 1395 \text{ Mpa}$$

$$RET = 1395 \left(\frac{\log 8760 - \log 24}{10} \right) \left(\frac{1395}{1581} - 0,55 \right) = 118,796 \text{ Mpa}$$

Prosentase kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (tendon) adalah :

$$\Delta f_{pR} = \frac{118,796}{1395} \times 100\% = 8,5158\%$$

Total kehilangan gaya prategang jangka panjang adalah :

$$\begin{aligned} \Delta f_{pT} &= \Delta f_{pSH} + \Delta f_{pR} \\ &= 1,495 + 8,5158 = 10,0108\% \end{aligned}$$

Total kehilangan jangka panjang dapat dilihat pada tabel 5.26

**TABEL 5.26 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.495	8.5158	10.0108
0 - 5	1.495	8.5158	10.0108
5	1.495	8.5158	10.0108
5 - 10	1.495	8.5158	10.0108
10	1.495	8.5158	10.0108
10 - 15	1.495	8.5158	10.0108
15	1.495	8.5158	10.0108
15 - 20	1.495	8.5158	10.0108
20	1.495	8.5158	10.0108

5.2.4.3 Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 75 %

A. Kontrol tegangan pada lokasi 5

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 5

$$F_{i-1} = (1 - 35,3987\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,6460 \times 1822,8 = 1177,5532 \text{ KN}$$

$$F_{i-2} = (1 - 32,9007\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,671 \times 1822,8 = 1223,0860 \text{ KN}$$

$$F_{i \text{ total}} = 1177,5532 + 1223,0860 = 2400,6392 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned} f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\ &= -\frac{2400,6392 \times 10^3}{525000} + \frac{2400,6392 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= 3,2919 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned} f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\ &= -\frac{2400,6392 \times 10^3}{525000} - \frac{2400,6392 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -12,4372 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Saat layan (service)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 2400,6392 = 2160,3160 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$f_{ata} = -\frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_T \times y_t}{I_c}$$

$$= -\frac{2160,316 \times 10^3}{525000} + \frac{2160,316 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{3990,6441 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}}$$

$$= 2,9426 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}$$

$$f_{bwh} = -\frac{F_t}{A_c} - \frac{F_t \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_T \times y_b}{I_c}$$

$$= -\frac{2160,3160 \times 10^3}{525000} - \frac{2160,3160 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{3990,6441 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}}$$

$$= -11,1724 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}$$

B. Kontrol tegangan pada lokasi 10

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi

10

$$F_{i-1} = (1 - 43,14966\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}) = 0,5685034 \times 1822,8 = 1036,2680$$

KN

$$F_{i-2} = (1 - 40,9037\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}) = 0,590963 \times 1822,8 = 1077,2074$$

KN

$$F_{i \text{ total}} = 1036,2680 + 1077,2074 = 2113,4754 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$f_{atas} = -\frac{F_t}{A_c} - \frac{F_t \times e \times y_t}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c}$$

$$= -\frac{2113,4754 \times 10^3}{525000} - \frac{2620,0991 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1280,3125 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}}$$

$$= -9,2176 \text{ Mpa} \leq 0,55 \cdot 40,5 = -22,275 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned}
 f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{2113,4754 \times 10^3}{525000} + \frac{2113,4754 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1280,3125 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= +1,1662 \text{ Mpa} \leq 0,58\sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

Saat layan (service)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1-10,0108 \%) \cdot F_i = (1-10,0108 \%) \cdot 2113,4754 = 1901,8996 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned}
 f_{atas} &= -\frac{F_e}{A_c} - \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} + \frac{M_T \times y_t}{I_c} \\
 &= -\frac{1901,8996 \times 10^3}{525000} - \frac{1901,8996 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= -8,2860 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = -27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{bawah} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} - \frac{M_T \times y_b}{I_c} \\
 &= -\frac{1901,8996 \times 10^3}{525000} + \frac{1901,8996 \times 10^3 \times 300 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{2226,4277 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\
 &= +1,0407 \text{ Mpa} \leq 0,5\sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}
 \end{aligned}$$

C. Kontrol tegangan pada lokasi 15

Saat transfer

Gaya prategang initial (saat transfer) pada masing-masing selubung di lokasi 5

$$F_{i-1} = (1 - 45,20947\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,5000634 \times 1822,8 = 911,5156$$

KN

$$F_{i-1} = (1 - 46,2377\%)(0,7 \cdot f_{pu} \cdot Aps) = 0,537623 \times 1822,8 = 979,9792$$

KN

$$F_{i \text{ total}} = 911,5156 + 979,9792 = 1891,4948 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$\begin{aligned} f_{atas} &= -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_{DL} \times y_t}{I_c} \\ &= -\frac{1891,4948 \times 10^3}{525000} + \frac{1891,4948 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= 2,5907 \text{ Mpa} \leq 0,58 \sqrt{40,5} = 3,691 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada serat bawah :

$$\begin{aligned} f_{bwh} &= -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_{DL} \times y_b}{I_c} \\ &= -\frac{1891,4948 \times 10^3}{525000} - \frac{1891,4948 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{1757,5781 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} \\ &= -9,7964 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 40,5 = -24,3 \text{ Mpa} \quad \text{ok.} \end{aligned}$$

Saat layan (service)

Gaya prategang efektif (saat layan) adalah :

$$F_e = (1 - 10,0108\%) \cdot F_i = (1 - 10,0108\%) \cdot 1891,4948 = 1702,1410 \text{ KN}$$

Tegangan yang terjadi pada serat atas :

$$f_{atas} = -\frac{F_e}{A_c} + \frac{F_e \times e \times y_t}{I_c} - \frac{M_T \times y_t}{I_c}$$

$$= -\frac{1702,141 \times 10^3}{525000} + \frac{1702,141 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} - \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}}$$

$$= 1,7660 \text{ Mpa} \leq 0,5 \sqrt{45} = 3,35 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}$$

$$f_{bwh} = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \times e \times y_b}{I_c} + \frac{M_T \times y_b}{I_c}$$

$$= -\frac{1702,141 \times 10^3}{525000} - \frac{1702,141 \times 10^3 \times 400 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}} + \frac{3542,6747 \times 10^3 \times 500}{6,09375 \times 10^{10}}$$

$$= -8,7996 \text{ Mpa} \leq 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ Mpa} \quad \text{ok.}$$

5.2.4.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 75%

A. Kapasitas momen pada lokasi 5 dan 15

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

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

$$= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{3990,6441 \cdot 10^6}{485000 \times 950} = 8,66$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118)(8,66)}{360}} \right) = 0,02765449074$$

$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 485000 \times 0,02765449074 = 13412,42801 \text{ mm}^2$$

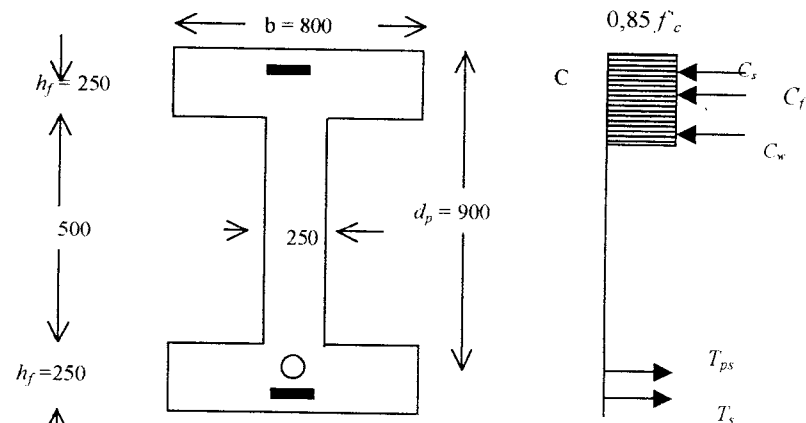
Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 10,67 \approx 11 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 6 buah.

$$A_{aktual} = n \times A_{D-40} = 6 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 7539,82 \text{ mm}^2$$

2. Mencari jarak c



Gambar 5.15 Diagram tegangan beton prategang parsial 75%

di lokasi 5 dan 15

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 100 = 900 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} (f_{pu} / d_p)}$$

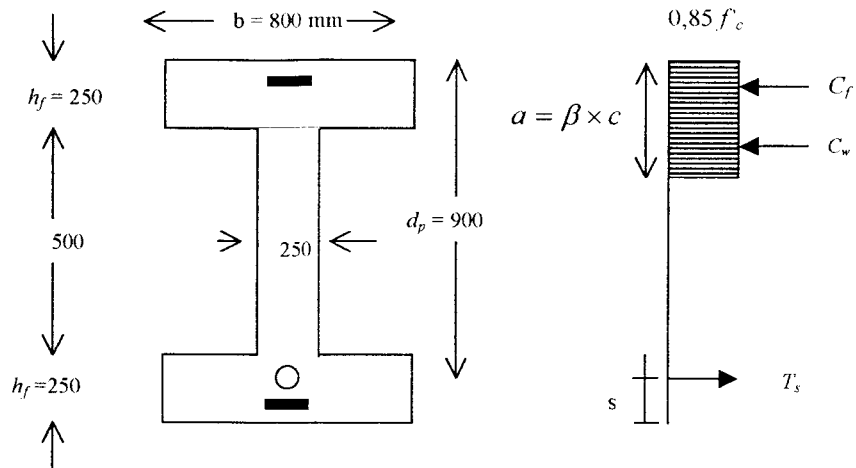
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 7539,82 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 (800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800 (1860 / 900)}$$

$$c = 476,3147 \approx 477 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 477 = 347,5422 \text{ mm}$$

3. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.16 Gaya dalam gelagar prategang parsial di lokasi 5 dan 15

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{477}{900} \right) = 1583,976$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1583,976 \cdot 200 + 7539,82 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1583,976 + 7539,82 \cdot 360} = 143,052 \approx 143 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 143 - h_f/2) + C_w(1000 - 143 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \{ h_f (b - b_w)(1000 - 143 - h_f/2) + a b_w (1000 - 143 - a/2) \}$$

$$M_n = 0,85 \cdot 45 \{ 250(800 - 250)(1000 - 143 - 250/2) \}$$

$$+ 347,5422 \cdot 180(1000 - 143 - 347,5422 / 2\}$$

$$Mn = 6120486492 \text{ Nmm} = 6120,486492 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi \cdot Mn$$

$$= 1 \times 6120,486492 \text{ KNm} > 3990,6441 \text{ KNm}$$

ok.

B. Kapasitas momen pada lokasi 10

1. Luas baja tulangan yang diperlukan

$$\beta = 0,85 - 0,05 \frac{(f_c - 28)}{7} = 0,85 - 0,05 \frac{(45 - 28)}{7} = 0,7286$$

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

$$= \frac{0,85 \times 45}{360} \times 0,7286 \times \frac{600}{360 + 600} = 0,0484$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \times 0,0484 = 0,0363$$

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

dengan

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{360}{0,85 \times 45} = 9,4118$$

$$R_n = \frac{M_n}{A'_c \times d} = \frac{2226,4277 \cdot 10^6}{445000 \times 950} = 5,2665$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{9,4118} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(9,4118) \cdot (5,2665)}{360}} \right) = 0,01580463723$$

$$A_s = A'_c \times \rho_{perlu} = 445000 \times 0,01580463723 = 7033,0636 \text{ mm}^2$$

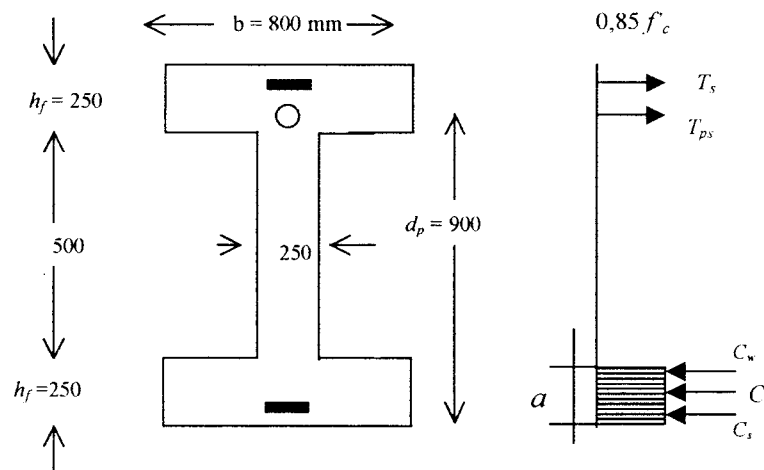
Gunakan tulangan baja D-40, maka $A_{D-40} = 1256,637 \text{ mm}^2$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_s}{A_{D-40}} = 5,59 \approx 6 \text{ buah}$$

Karena gaya tarik yang bekerja juga didukung oleh tendon, maka dicoba jumlah tulangan sebanyak 3 buah.

$$A_{\text{aktual}} = n \times A_{D-40} = 3 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 40^2) = 3769,911 \text{ mm}^2$$

2. Mencari jarak c



Gambar 5.17 Diagram tegangan beton prategang parsial 75% di lokasi 10

$$b = 800 \text{ mm} ; b_w = 250 \text{ mm} ; h_f = 250 \text{ mm}$$

$$d_p = 1000 - 100 = 900 \text{ mm}$$

$$f'_c = 45 \text{ MPa} ; f_{py} = 0,9 f_{pu} \text{ Mpa}$$

$$A_{ps} = 2800 \text{ mm}^2 ; f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$$

Keseimbangan antara gaya desak C_n dan gaya tarik T_n adalah :

$$T_n = C_n$$

$$T_{ps} + T_s = C_s + C_f + C_w$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y = A'_s \cdot f'_y + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_f) + 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w \cdot c$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right)$$

$$k = 2 \left(1,04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right) = 2 \left(1,04 - \frac{0,9 \cdot f_{pu}}{f_{pu}} \right) = 0,28$$

$$c = \frac{A_{ps} \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y - 0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot (b - b_w) h_f}{0,85 \cdot \beta \cdot f'_c \cdot b_w + k \cdot A_{ps} (f_{pu} / d_p)}$$

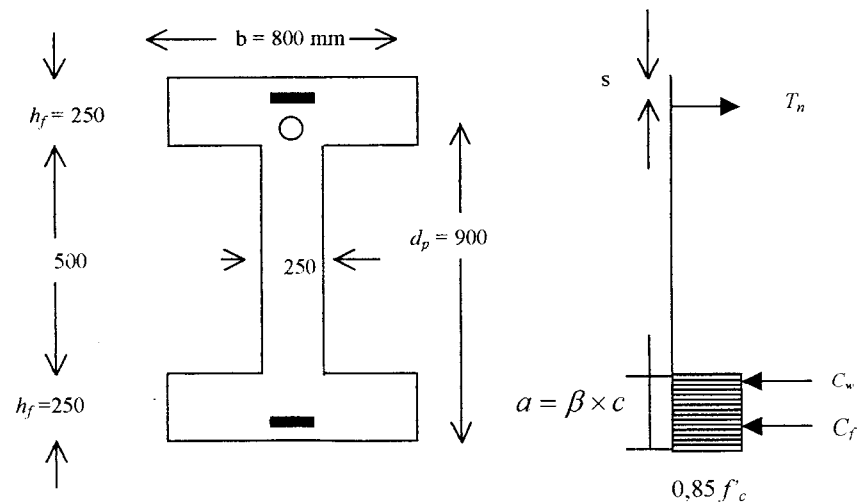
Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah :

$$c = \frac{2800 \cdot 1860 + 3769,911 \cdot 360 - 0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45(800 - 250) \cdot 250}{0,85 \cdot 0,7286 \cdot 45 \cdot 250 + 0,28 \cdot 2800(1860/900)}$$

$$c = 318,275 \approx 319 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c = 0,7286 \times 319 = 232,4234 \text{ mm}$$

3. Kapasitas momen gelagar



Gambar 5.18 Gaya dalam gelagar prategang parsial 75% di lokasi 10

Mencari letak resultan gaya s terhadap serat bawah gelagar :

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - k \frac{c}{d_p} \right) = 1860 \left(1 - 0,28 \frac{319}{900} \right) = 1675,4053$$

$$s = \frac{T_{ps} \cdot 200 + T_s \cdot 50}{T_{ps} + T_s} = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot 200 + A_s \cdot f_y \cdot 50}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$s = \frac{2800 \cdot 1675,4053 \cdot 200 + 3769,911 \cdot 360 \cdot 50}{2800 \cdot 1675,4053 + 3769,911 \cdot 360} = 166,342 \approx 167 \text{ mm}$$

Diasumsikan bahwa beton bertulangan sebelah, artinya $A'_s = 0$ sehingga

$$C_s = 0$$

$$M_n = C_f(1000 - 167 - h_f/2) + C_w(1000 - 167 - a/2)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot c \left\{ h_f(b - b_w)(1000 - 167 - h_f/2) + a \cdot b_w(1000 - 167 - a/2) \right\}$$

$$M_n = 0,85 \cdot 45 \left\{ 250(800 - 250)(1000 - 167 - 250/2) \right.$$

$$\left. + 229,509 \cdot 250(1000 - 167 - 229,509/2) \right\}$$

$$M_n = 5316734449 \text{ Nmm} = 5316,734449 \text{ KNm}$$

$$Mu = \phi \cdot Mn$$

$$= 1 \times 5316,734449 \text{ KNm} > 2226,4277 \text{ KNm} \quad \text{ok.}$$

5.2.4.5 Analisis Lendutan

A. Lendutan jangka pendek

1. Lendutan akibat pemberian gaya prategang

$$\begin{aligned} \delta_{pi} &= \frac{P \cdot e_c \cdot L^2}{8E_{ci} \cdot I_c} + \frac{P(e_e - e_c)L^2}{24 \cdot E_{ci} \cdot I_c} \\ &= \frac{2400,6392 \cdot 400 \cdot 15000^2}{8 \cdot 30,547,6,09375 \cdot 10^{10}} + \frac{2400,6392 \cdot (300 - 400) \cdot 15000^2}{24 \cdot 30,547,6,09375 \cdot 10^{10}} \\ &= -12,3015 \text{ mm } (\uparrow) \end{aligned}$$

2. Lendutan akibat berat sendiri gelagar

$$\begin{aligned}\delta_D &= \frac{5.W_D.L^4}{384.E_{ci}.I_c} \\ &= \frac{5,0126.15000^2}{384.30,547.6,09375.10^{10}} = 4,46 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

3. Lendutan akibat beban mati

$$\begin{aligned}\delta_{SD} &= \frac{5.W_{SD}.L^4}{384.E_{ci}.I_c} \\ &= \frac{5,012295.15000^4}{384.30,547.6,09375.10^{10}} = 4,3539 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

4. Lendutan akibat beban hidup

$$\begin{aligned}\delta_L &= \frac{23.Q_L.L^3}{648.E_{ci}.I_c} \\ &= \frac{23.145.15000^3}{648.30,547.6,09375.10^{10}} = 9,3313 \text{ mm } (\downarrow)\end{aligned}$$

B. Lendutan jangka panjang

Rumus umum lendutan dengan metode *Approximate time step* untuk balok non komposit adalah :

$$\delta_T = -\delta_{P_i} \left[1 - \frac{\Delta P}{P_0} + (\lambda \cdot k_r \cdot c_t) \right] + \delta_D [1 + (k_r \cdot c_t)] + \delta_{SD} [1 + (k_a \cdot k_r \cdot c_t)] + \delta_L$$

dengan

$$\Delta P = P_0 - P_e = 2400,6392 - 2160,3160 = 240,3232 \text{ KN}$$

$$\lambda = 1 - \frac{\Delta P}{2.P_0} = 1 - \frac{240,3232}{2.2400,6392} = 0,95$$

$$k_r = 1$$

$$\frac{\Delta P}{P_0} = 0,1$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 1 bulan (30 hari)

$$k_a = 1,25(30)^{-0,118} = 0,84$$

$$c_t = \left[\frac{30^{0,6}}{10 + 30^{0,6}} \right] \times 2,35 = 1,022$$

$$\begin{aligned} \delta_{T30} &= -12,3015[1-0,1+(0,95 \cdot 1 \cdot 1,022)] + 4,46 [1+(1 \cdot 1,022)] \\ &\quad + 4,3539[1+(0,84 \cdot 1 \cdot 1,022)] + 9,3313 \\ &= -23,0149 + 9,0181 + 8,0916 + 9,3313 \\ &= + 3,4261 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 1 tahun (365 hari)

$$k_a = 1,25(365)^{-0,118} = 0,623$$

$$c_t = \left[\frac{365^{0,6}}{10 + 365^{0,6}} \right] \times 2,35 = 1,8215$$

$$\begin{aligned} \delta_{T365} &= -12,3015[1-0,1+(0,95 \cdot 1 \cdot 1,8215)] + 4,46[1+(1 \cdot 1,8215)] \\ &\quad + 4,3539[1+(0,623 \cdot 1 \cdot 1,8215)] + 9,3313 \\ &= -32,3582 + 12,5839 + 9,2947 + 9,3313 \\ &= - 1,1483 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 3 tahun (1095 hari)

$$k_a = 1,25(1095)^{-0,118} = 0,547$$

$$c_t = \left[\frac{1095^{0,6}}{10 + 1095^{0,6}} \right] \times 2,35 = 2,0433$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{T1095} &= -12,3015[1-0,1+(0,95 \cdot 1.2,0433)] + 4,46[1+(1.2,0433)] \\
 &\quad + 4,3539[1+(0,547 \cdot 1.2,0433)] + 9,3313 \\
 &= -34,9502 + 13,5731 + 9,2202 + 9,3313 \\
 &= -2,8256 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan yang terjadi pada umur 5 tahun (1825 hari)

$$k_a = 1,25(1825)^{-0,118} = 0,515$$

$$c_t = \left[\frac{1825^{0,6}}{10 + 1825^{0,6}} \right] \times 2,35 = 2,1162$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{T1825} &= -12,3015[1-0,1+(0,95 \cdot 1.2,1162)] + 4,46[1+(1.2,1162)] \\
 &\quad + 4,3539[1+(0,515 \cdot 1.2,1162)] + 9,3313 \\
 &= -35,8022 + 13,8983 + 9,0990 + 9,3313 \\
 &= -3,4736 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5.3 Perencanaan dan Analisis Gelagar dengan Bentang 50 m

5.3.1 Perencanaan dan Analisis Gelagar Prategang Penuh

5.3.1.1 Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang

Perhitungan perencanaan awal penampang gelagar menggunakan teori pendekatan elastis yang dijelaskan oleh T.Y. Lin dengan pembebanan dari PPPJJR 1987. Dimensi penampang yang didapatkan dari perencanaan awal ini kemudian digunakan untuk perencanaan penampang gelagar jembatan dengan metode AASHTO LRFD 1994.

A. Perhitungan Pembebanan untuk Bentang

1. Beban mati

Beban merata (q_{DL})

Lapisan aspal	= 0,09 m x 1,8 m x 2300 Kg/m ³	= 372,6 kg/m
Tebal slab	= 0,20 m x 1,8 m x 2500 Kg/m ³	= 900 Kg/m
Genangan air	= 0,05 m x 1,8 m x 1000 Kg/m ³	= 90 Kg/m
Total		= 1362,6 Kg/m
		= 13,367

KN/m

2. Berat sendiri gelagar

Berat sendiri gelagar diasumsikan = 15 KN/m

3. Beban hidup

a. Beban hidup per lajur lalu lintas adalah :

- beban terbagi rata per lajur (q) = 2,2 t/m/lajur untuk < 30 m (PPPJJR 1987)

- beban garis per lajur (p) = 12 ton (PPPJJR 1987)

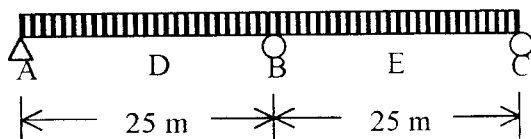
- koefisien kejut (k) = $1 + \frac{20}{(60 + L)} = 1 + \frac{20}{60 + 50} = 1,2667$ (PPPJJR 1987)

b. Besar beban hidup per meter lebar jembatan

- beban merata (q_{LL}) = $\left(\frac{1,8}{2,75} \times 22 \right) = 1,44 \text{ t/m} = 14,1264 \text{ KN/m}$

- beban garis $P_{LL} = \left(\frac{1,8}{2,75} \times 12 \right) \times \text{koef/kejut} = 9,95 \text{ ton} = 97,609 \text{ KN}$

B. Perhitungan Momen



Tabel 5.27 Besar Momen yang Terjadi pada Gelagar Bentang 50 m

Momen akibat	Besar Momen di titik (KNm)		
	D	B	E
Beban Mati	522,1485	-1044,297	522,1485
Berat Sendiri Gelagar	585,9375	-1171,8750	585,9375
Beban Hidup	933,0513	-1561,2600	933,0513

C. Perhitungan Dimensi Penampang Pasca-Tarik

Untuk menentukan tinggi balok digunakan persamaan $h = k\sqrt{M}$.

$$M = 1175,875 \text{ KN.m} = 119,875 \text{ t.m}$$

$$h = 10\sqrt{119,875} \text{ s/d } 15\sqrt{119,875}$$

$$h = 109,4874 \text{ cm s/d } 164,2312 \text{ cm}$$

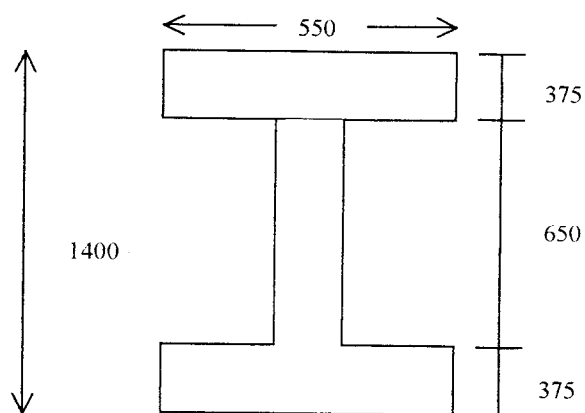
Digunakan $h = 140 \text{ cm} = 1400 \text{ mm}$

Lebar sayap (b_f) = 550 mm

Lebar badan (b_w) = 180 mm

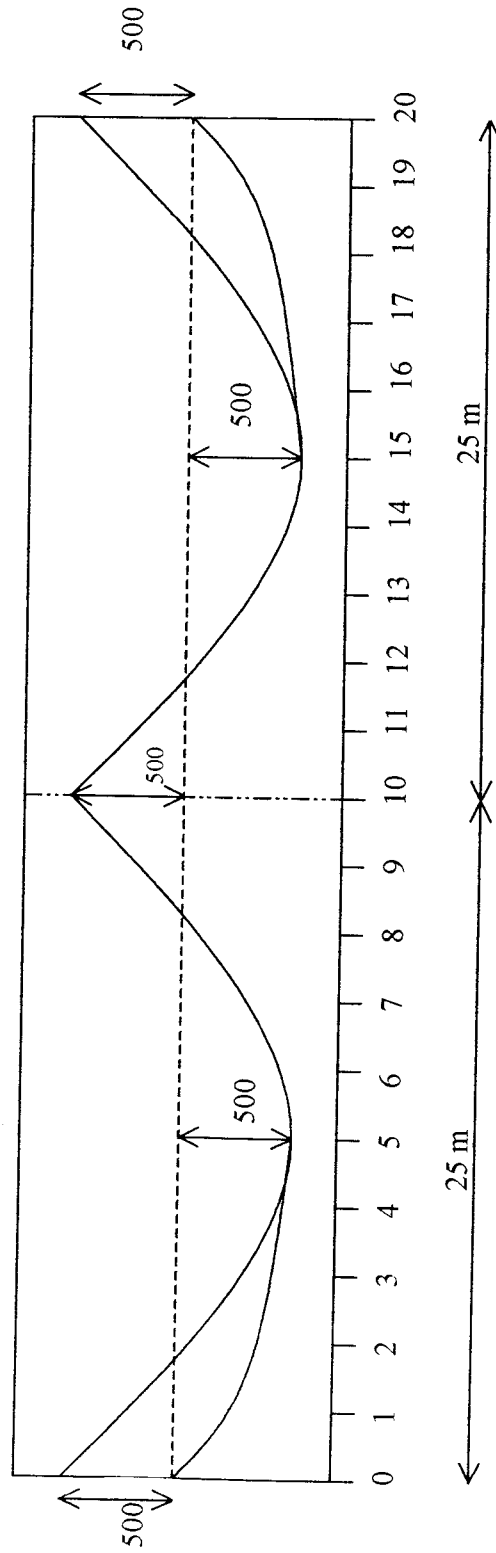
Tinggi sayap (h_f) = 375 mm

Tinggi badan (h_w) = $h - 2 \cdot h_f = 650 \text{ mm}$



Gambar 5.19 Dimensi Penampang Rencana

Untuk selanjutnya, perencanaan gelagar beton prategang penuh pasca-tarik dengan tendon yang direkatkan (*bounded tendons*) dapat dilihat dalam tabel 5.28



Gambar 5.21 Tata letak tendon untuk bentang total 50 m

**TABEL 5.28 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG DENGAN PENDEKATAN LUAS
MENURUT METODE T. Y. LIN**

No.	Keterangan	Symbol / Rumus	Nilai	Satuan
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	1171.875	$KN.m$
2.	Momen akibat beban mati	M_D	1044.297	$KN.m$
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	1561.26	$KN.m$
4.	Momen total	M_T	3777.432	$KN.m$
5.	Tinggi balok yang digunakan	$h = k\sqrt{M}$	1400	Mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = \frac{M_T}{0.65h}$	4151.0241	KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	1106.7	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	3750.8124	mm^2
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45f'_c)}$	409977.69	mm^2

PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN

10.	Luas penampang yang digunakan	A_c (terpakai)	529500	mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \gamma_c$	12.775	KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	992.8125	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	3598.3695	$KN.m$
	Check M_r/M_T	M_r/M_T	0.275906213	> 20 % → OK !
14.	Inersia penampang gelagar	I_c	117299000000	mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t	700	mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	700	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	s	200	mm
18.	Jari-jari inersia	r	470.66745	mm
19.	Kem atas	K_t	316.46836	mm
20.	Kem bawah	K_b	316.46836	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

21.	Eksentrisitas	$e = y_b - s$	500	mm
22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e + k_t)}$		kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	4407.2368	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_t \cdot y_b}$	5184.9845	mm ²
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_b} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	434210.53	mm ²
Ambil nilai luas penampang yang diperlukan yang terbesar		$A_{c(perlu)}$	421389.72	mm ²
Check : A_c yang digunakan > A_c yang diperlukan			529500 mm² > 434210.53 mm² → OK!	

**TABEL 5.29 KONTROL PENAMPANG BETON PRATELANG
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Simbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F_1.e.y_t}{I_c} - \frac{M_G.y_t}{I_c}$	-0.2459	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F_1.e.y_b}{I_c} + \frac{M_G.y_b}{I_c}$	-19.339	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F.e.y_t}{I_c} - \frac{M_T.y_t}{I_c}$	-16.647	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F.e.y_b}{I_c} + \frac{M_T.y_b}{I_c}$	0	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			

5.3.1.2 Perencanaan Penampang Gelagar dengan Metode AASHTO LRFD 1994

A. Spesifikasi Perencanaan Gelagar Metode AASHTO LRFD 1994

1. Tebal minimum pada gelagar

$$\text{Tebal sayap} = 375 \text{ mm} \geq 50 \text{ mm} \quad \text{ok.}$$

$$\text{Tebal badan} = 180 \text{ mm} \geq 125 \text{ mm} \quad \text{ok.}$$

2. Tinggi minimum gelagar (termasuk ketebalan pelat beton /deck)

$$h_{\min} = 0.045L = 0.045 \times 25 \text{ m} = 1.125 \text{ m} = 1125 \text{ mm}$$

$$h = 1400 + 200 = 1600 \text{ mm} > h_{\min} \quad \text{ok.}$$

3. Lebar sayap efektif

$$\text{Panjang bentang efektif} = 25 \text{ m} = 25000 \text{ mm}$$

$$b_i = \frac{1}{2} \text{ bentang efektif} = \frac{1}{2} (25000) = 12500 \text{ mm}$$

$$b_i = 12 h_f + \frac{1}{2} b_f = 12(375) + \frac{1}{2} (550) = 4775 \text{ mm}$$

$$b_i = \frac{1}{2} \text{ jarak antar gelagar} = \frac{1}{2} (1800) = 900 \text{ mm}$$

$$\text{Diambil nilai } b_i \text{ terkecil} = 900 \text{ mm}$$

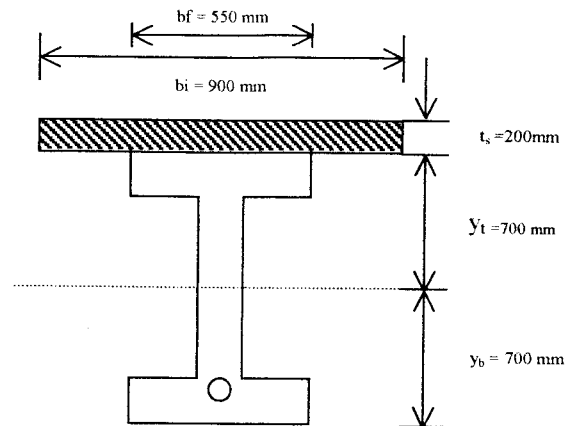
4. Faktor distribusi momen

Tipe potongan melintang jembatan adalah beton precast atau beton cast-in-place. Kuat desak gelagar beton = 45 Mpa dan kuat desak deck beton =

$$40,5 \text{ Mpa. sehingga rasio modulus } n \text{ menjadi : } n = \sqrt{\frac{f'_c(\text{beam})}{f'_c(\text{deck})}} =$$

$$\sqrt{\frac{45}{40,5}} = 1,054$$

Faktor kekakuan K_c (lihat gambar 5.20 properti penampang melintang tambahan)



Gambar 5.20 Properti potongan melintang gelagar

$$e_g = y_t + \frac{t_s}{2} = 70 + \frac{20}{2} = 80 \text{ cm}$$

$$K_g = n(I_g + A.e_g^2) = 1,054(11729900 + 5295.80^2) \\ = 48081266,6 \text{ cm}^4 = 4,808 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\frac{K_g}{L \times t_s^3} = \frac{4,808 \cdot 10^{11}}{25000 \times 200^3} = 2,404$$

- a. Faktor distribusi momen gelagar interior untuk satu pembebanan jalur rencana

$$mg_M^{SI} = 0,06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0,4} \times \left(\frac{S}{L}\right)^{0,3} \times \left(\frac{K_g}{L \times t_s^3}\right)^{0,1}$$

$$mg_M^{SI} = 0,06 + \left(\frac{1800}{4300}\right)^{0,4} \times \left(\frac{1800}{25000}\right)^{0,3} \times (2,404)^{0,1} = 0,4100$$

- b. Faktor distribusi momen gelagar interior untuk dua pembebanan jalur rencana

$$mg_M^{MI} = 0,075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0,6} \times \left(\frac{S}{L}\right)^{0,2} \times \left(\frac{K_g}{L \times t_s^3}\right)^{0,1}$$

$$mg_M^{MI} = 0,075 + \left(\frac{1800}{2900}\right)^{0,6} \times \left(\frac{1800}{25000}\right)^{0,2} \times (0,404)^{0,1} = 0,5595$$

B. Pembebanan Pada Gelagar Menerus

- a. Beban hidup

Perhitungan momen gelagar akibat beban hidup menggunakan metode garis pengaruh. Untuk beban terpusat momen didapatkan dari besarnya beban dikalikan dengan ordinat garis pengaruh ditambah dengan besarnya momen akibat berat sendiri gelagar. Sedangkan momen untuk beban merata (beban jalur) didapatkan dari besarnya beban jalur dikalikan dengan luasan bidang yang dibentuk oleh garis pengaruh dengan garis normal ditambah dengan besarnya momen akibat berat sendiri gelagar.

1. Lokasi 0 (lihat garis pengaruh momen di lampiran 2)

Beban truck rencana

$$M_0^{Tr} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_0^{Ta} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$V_0^{Ln} = 0 \text{ KN.m (lihat tabel di lampiran 3)}$$

2. Lokasi 1 (lihat garis pengaruh momen di lampiran 2)

Beban truck rencana

$$M_1^{Tr} = 145(2,25) + 145(1,82) + 35(1,39) + 279,4531 = 918,2531$$

KN.m

(menentukan)

$$M_1^{Tr} = 145(0) + 145(2,25) + 35(1,82) + 279,4531 = 669,4031 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_{Ta}^1 = 110(1,17) + 110(2,25) + 279,4531 = 655,6531 \text{ KN.m}$$

$$M_{Ta}^1 = 110(2,25) + 110(2,13) + 279,4531 = 761,2531 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{Ln}^1 = 261,5625 + 279,4531 = 541,0156 \text{ KN.m}$$

3. Lokasi 2

Beban truck rencana

$$M_2^{Tr} = 145(4) + 145(3,14) + 35(2,29) + 479,0625 = 1594,1625$$

KN.m

(menentukan)

$$M_2^{Tr} = 145(0,56) + 145(4) + 35(3,14) + 479,0625 = 1250,1625$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_2^{Ta} = 110(3,04) + 110(4) + 479,0625 = 1253,4625 \text{ KN.m}$$

$$M_2^{Ta} = 110(4) + 110(3,76) + 479,0625 = 1332,6625 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_2^{Ln} = 465 + 479,0625 = 944,0625 \text{ KN.m}$$

4. Lokasi 3

Beban truck rencana

$$M_3^{Tr} = 145(5,25) + 145(3,96) + 35(2,67) + 598,8281 = 2027,7281 \text{ K}$$

N.m

(menentukan)

$$M_3^{Tr} = 145(2,24) + 145(5,25) + 35(3,96) + 598,8281 = 1823,4781$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_3^{Ta} = 110(4,41) + 110(5,25) + 598,8281 = 1661,4281 \text{ KN.m}$$

$$M_3^{Ta} = 110(5,25) + 110(4,80) + 598,8281 = 1704,3281 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_3^{Ln} = 610,3125 + 598,8281 = 1209,1406 \text{ KN.m}$$

5. Lokasi 4

Beban truck rencana

$$M_4^{Tr} = 145(6) + 145(4,28) + 35(2,56) + 638,750 = 2218,95 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

$$M_4^{Tr} = 145(3,42) + 145(6) + 35(4,28) + 638,750 = 2170,50 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_4^{Ta} = 110(5,28) + 110(6) + 638,750 = 1879,55 \text{ KN.m}$$

$$M_4^{Ta} = 110(6) + 110(5,52) + 638,750 = 1905,95 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_4^{Ln} = 697,5 + 638,750 = 1336,250 \text{ KN.m}$$

6. Lokasi 5

Beban truck rencana

$$M_5^{Tr} = 145(6,25) + 145(4,1) + 35(1,95) + 598,8281 = 2167,8281$$

KN.m

$$M_5^{Tr} = 145(4,1) + 145(6,25) + 35(4,1) + 598,8281 = 2243,0781$$

KN.m

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_5^{Ta} = 110(5,65) + 110(6,25) + 598,8281 = 1907,8281 \text{ KN.m}$$

$$M_5^{Ta} = 110(6,25) + 110(5,65) + 598,8281 = 1907,8281 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_5^{Ln} = 726,5625 + 598,8281 = 1325,3906 \text{ KN.m}$$

7. Lokasi 6

Beban truck rencana

$$M_6^{Tr} = 145(6) + 145(3,42) + 35(0,84) + 479,0625 = 1874,3625$$

KN.m

$$M_6^{Tr} = 145(4,28) + 145(6) + 35(3,42) + 479,0625 = 2089,3625$$

KN.m

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_6^{Ta} = 110(5,52) + 110(6) + 479,0625 = 1746,2625 \text{ KN.m}$$

$$M_6^{Ta} = 110(6) + 110(5,28) + 479,0625 = 1719,8625 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_6^{Ln} = 697,5 + 479,0625 = 1176,5625 \text{ KN.m}$$

8. Lokasi 7

Beban truck rencana

$$M_7^{Tr} = 145(3,96) + 145(5,25) + 35(2,24) + 279,4531 = 1693,3031 \text{ KN}$$

.m

(menentukan)

$$M_7^{Tr} = 145(2,67) + 145(3,96) + 35(5,25) + 279,4531 = 1412,5531$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_7^{Ta} = 110(4,89) + 110(5,25) + 279,4531 = 1394,8531 \text{ KN.m}$$

$$M_7^{Ta} = 110(5,25) + 110(4,41) + 279,4531 = 1342,0531 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_7^{Ln} = 610,3125 + 279,4531 = 889,7656 \text{ KN.m}$$

9. Lokasi 8

Beban truck rencana

$$M_8^{Tr} = 145(2,28) + 145(3,14) + 35(4) + 0 = 925,9 \text{ KN.m}$$

$$M_8^{Tr} = 145(3,14) + 145(4) + 35(0,56) + 0 = 1054,9 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_8^{Ta} = 110(4) + 110(3,04) + 0 = 853,60 \text{ KN.m}$$

$$M_8^{Ta} = 110(4) + 110(3,04) + 0 = 774,40 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_8^{Ln} = 465 + 0 = 465 \text{ KN.m}$$

10. Lokasi 9

Beban truck rencana

$$M_9^{Tr} = 145(1,39) + 145(1,82) + 35(2,25) + (-359,2969) = 184,9031 \text{ K}$$

N.m

$$M_9^{Tr} = 145(1,82) + 145(2,25) + 35(0) + (-359,2969) = 230,8531$$

KN.m

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_9^{Ta} = 110(2,13) + 110(2,25) + (-359,2969) = 122,5031 \text{ KN.m}$$

$$M_9^{Ta} = 110(2,25) + 110(1,17) + (-359,2969) = 16,9031 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_9^{Ln} = 261,5625 + (-359,2969) = -97,7344 \text{ KN.m}$$

11. Lokasi 10

Beban truck rencana

$$M_{10}^{Tr} = 0 + (-798,4375) = -798,4375 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_{10}^{Ta} = 0 + (-798,4375) = -798,4375 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{10}^{Ln} = 0 + (-798,4375) = -798,4375 \text{ KN.m}$$

12. Lokasi 11

Beban truck rencana

$$M_{11}^{Tr} = 145(1,9) + 145(2,34) + 35(5) + (-359,2969) = 430,5031$$

KN.m

$$M_{11}^{Tr} = 145(2,34) + 145(5) + 35(0) + (-359,2969) = 705,0031 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{11}^{Ta} = 110(3,8) + 110(5) + (-359,2969) = 608,7031 \text{ KN.}$$

$$M_{11}^{Ta} = 110(5) + 110(2,6) + (-359,2969) = 476,7031 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{11}^{Ln} = 145,3125 + (-359,2969) = -213,9844 \text{ KN.m}$$

13. Lokasi 12

Beban truck rencana

$$M_{12}^{Tr} = 145(-3,28) + 145(-4,14) + 35(-5) + (0) = -1250,90 \text{ KN.m}$$

$$M_{12}^{Tr} = 145(-4,14) + 145(-5) + 35(-0,7) + (0) = -1349,80 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{12}^{Ta} = 110(-4,76) + 110(-5) + (0) = -1073,60 \text{ KN.m}$$

$$M_{12}^{Ta} = 110(-5) + 110(-3,8) + (0) = -968 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{12}^{Ln} = -116,25 + (0) = -116,25 \text{ KN.m}$$

14. Lokasi 13

Beban truck rencana

$$M_{13}^{Tr} = 145(2,187) + 145(1,65) + 35(1,11) + 279,4531 = 874,6681$$

KN.m

(menentukan)

$$M_{13}^{Tr} = 145(-1,575) + 145(2,187) + 35(1,65) + 279,4531 = 425,9431$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_{13}^{Ta} = 110(1,137) + 110(2,187) + 279,4531 = 627,0931 \text{ KN.m}$$

$$M_{13}^{Ta} = 110(2,187) + 110(2,04) + 279,4531 = 744,4231 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{13}^{Ln} = 101,6723 + 279,4531 = 381,125 \text{ KN.m}$$

15. Lokasi 14

Beban truck rencana

$$M_{14}^{Tr} = 145(3,75) + 145(2,72) + 35(1,6) + 479,0625 = 1473,2125$$

KN.m

(menentukan)

$$M_{14}^{Tr} = 145(0,46) + 145(3,75) + 35(2,72) + 479,0625 = 1184,7125$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_{14}^{Ta} = 110(2,65) + 110(3,75) + 479,0625 = 1183,0625 \text{ KN.m}$$

$$M_{14}^{Ta} = 110(3,75) + 110(3,5) + 479,0625 = 1276,5625 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{14}^{Ln} = 261,5625 + 479,0625 = 740,625 \text{ KN.m}$$

16. Lokasi 15

Beban truck rencana

$$M_{15}^{Tr} = 145(4,6875) + 145(3,18) + 35(1,52) + 598,8281 = 1792,8156$$

KN.m

(menentukan)

$$M_{15}^{Tr} = 145(2,02) + 145(4,6875) + 35(3,18) + 598,8281 = 1682,7156$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_{15}^{Ta} = 110(3,9) + 110(4,6875) + 598,8281 = 1543,4531 \text{ KN.m}$$

$$M_{15}^{Ta} = 110(4,6875) + 110(4,38) + 598,8281 = 1596,2531 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{15}^{Ln} = 363,2813 + 598,8281 = 962,1094 \text{ KN.m}$$

17. Lokasi 16

Beban truck rencana

$$M_{16}^{Tr} = 145(5) + 145(2,9) + 35(0,78) + 638,75 = 1811,55 \text{ KN.m}$$

$$M_{16}^{Tr} = 145(2,76) + 145(5) + 35(2,9) + 638,75 = 1865,45 \text{ KN.m}$$

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{16}^{Ta} = 110(-2,5) + 110(-2,1) + 638,75 = 132,75 \text{ KN.m}$$

$$M_{16}^{Ta} = 110(4,3) + 110(5) + 638,75 = 1661,75 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{16}^{Ln} = 406,875 + 638,75 = 1045,625 \text{ KN.m}$$

18. Lokasi 17

Beban truck rencana

$$M_{17}^{Tr} = 145(4,6875) + 145(2,1) + 35(0) + 598,8281 = 1583,0156$$

KN.m

$$M_{17}^{Tr} = 145(2,96) + 145(4,6875) + 35(2,1) + 598,8281 = 1781,2156$$

KN.m

(menentukan)

Beban tandem rencana

$$M_{17}^{Ta} = 110(4,1) + 110(4,6875) + 598,8281 = 1565,4531 \text{ KN.m}$$

$$M_{17}^{Ta} = 110(4,6875) + 110(3,98) + 598,8281 = 1552,2531 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{17}^{Ln} = 392,34375 + 598,8281 = 991,1719 \text{ KN.m}$$

19. Lokasi 18

Beban truck rencana

$$M_{18}^{Tr} = 145(1,56) + 145(2,56) + 35(3,75) + 470,0629 = 11198,7125$$

KN.m

$$M_{18}^{Tr} = 145(2,56) + 145(3,75) + 35(0,56) + 470,0629 = 1404,6129$$

KN.m

Beban tandem rencana

$$M_{18}^{Ta} = 110(3,26) + 110(3,75) + 470,0629 = 729,0781 \text{ KN.m}$$

$$M_{18}^{Ta} = 110(2,1875) + 110(1,1) + 470,0629 = 641,0781 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{18}^{Ln} = 319,6875 + 470,0629 = 789,7504 \text{ KN.m}$$

20. Lokasi 19

Beban truck rencana

$$M_{19}^{Tr} = 145(1) + 145(1,5) + 35(2,1875) + 279,4531 = 814,1406 \text{ KN.m}$$

$$M_{19}^{Tr} = 145(1,5) + 145(2,1875) + 35(0) + 279,4531 = 814,1406 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_{19}^{Ta} = 110(1,9) + 110(2,1875) + 279,4531 = 729,0781 \text{ KN.m}$$

$$M_{19}^{Ta} = 110(2,1875) + 110(1,1) + 279,4531 = 641,0781 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{19}^{Ln} = 188,90625 + 279,4531 = 468,3594 \text{ KN.m}$$

21. Lokasi 20

Beban truck rencana

$$M_{20}^{Tr} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban tandem rencana

$$M_{20}^{Ta} = 0 \text{ KN.m}$$

Beban jalur rencana

$$M_{20}^{Ln} = 0 \text{ KN.m}$$

b. Beban mati

1. Beban mati akibat komponen struktur dan non struktur (*DC*)

$$\text{Berat beton} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ N/mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{i. Slab (tebal 20 cm)} &= (2,4 \cdot 10^{-5})(200)(1800) \\ &= 8,64 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ii. Gelagar} &= (2,4 \cdot 10^{-5})(529500) \\ &= 12,775 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$DC = 21,415 \text{ N/mm}^2$$

2. Beban mati akibat lapisan perkerasan jalan (*DW*)

Tebal perkerasan aspal 90 mm

$$\begin{aligned} DW &= (2300 \text{ Kg/m}^3)(10^9)(90 \text{ mm})(1800 \text{ mm})(9,81 \text{ m/det}^2) \\ &= 3,655 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati di masing-masing lokasi dapat dilihat pada tabel

TABEL 5.30 MOMEN AKIBAT BEBAN MATI

Bentang	Lokasi	Momen (kNm)			M _{DL} Total
		Wg	DC	DW	
1	0	0	0	0	0
	1	279.4531	468.4531	79.9531	827.8594
	2	479.0625	803.0625	137.0625	1419.1875
	3	598.8281	1003.8281	171.3281	1773.9844
	4	638.7500	1070.7500	182.7500	1892.2500
	5	598.8281	1003.8281	171.3281	1773.9844
	6	479.0625	803.0625	137.0625	1419.1875
	7	279.4531	468.4531	79.9531	827.8594
	8	0	0	0	0
	9	-359.2969	-602.2969	-102.7969	-1064.3906
	10	279.4531	-1338.4375	-228.4375	-1287.4219
2	10	279.4531	-1338.4375	-228.4375	-1287.4219
	11	-359.2969	-602.2969	-102.7969	-1064.3906
	12	0	0	0	0
	13	279.4531	468.4531	79.9531	827.8594
	14	479.0625	803.0625	137.0625	1419.1875
	15	598.8281	1003.8281	171.3281	1773.9844
	16	638.7500	1070.7500	182.7500	1892.2500
	17	598.8281	1003.8281	171.3281	1773.9844
	18	479.0625	803.0625	137.0625	1419.1875
	19	279.4531	468.4531	79.9531	827.8594
	20	0	0	0	0

TABEL 5.31 MOMEN TERFAKTOR BENTANG 50 M

Bentang	Lokasi	Momen (kNm)				mgm	LL + IM	Mu
		DC	DW	Truck/Tandem	Lane			
1	0	0	0	0	0	0.5595	0	0
	1	279.4531	468.4531	918.2531	541.0156	0.5595	986.0025	2638.6255
	2	479.0625	803.0625	1594.1625	944.0625	0.5595	1714.4751	4563.5656
	3	598.8281	1003.8281	2027.7281	1209.1406	0.5595	2185.4176	5774.8203
	4	638.7500	1070.7500	2218.9500	1336.2500	0.5595	2398.8302	6272.3896
	5	598.8281	1003.8281	2243.0781	1325.3906	0.5595	2410.7090	6149.3672
	6	479.0625	803.0625	2089.3625	1176.5625	0.5595	2213.0545	5392.4539
	7	279.4531	468.4531	1693.3031	889.7656	0.5595	1757.8700	3921.8551
	8	0	0	1054.9000	465.0000	0.5595	1045.1555	1737.5710
	9	-359.2969	-602.2969	122.5031	-97.7344	0.5595	36.4765	-1224.2959
2	10	279.4531	-1338.4375	-798.4375	-798.4375	0.5595	-1040.8711	-3305.8710
	10	279.4531	-1338.4375	-798.4375	-798.4375	0.5595	-1040.8711	-3305.8710
	11	-359.2969	-602.2969	705.0031	-213.9844	0.5595	404.8932	-611.8031
	12	0	0	-1349.8000	-116.2500	0.5595	-1069.4753	-1778.0027
	13	279.4531	468.4531	874.6680	381.1250	0.5595	864.1105	2435.9800
	14	479.0625	803.0625	1473.2125	740.6250	0.5595	1510.6487	4224.7042
	15	598.8281	1003.8281	1792.8156	962.1094	0.5595	1872.3970	5254.4236
	16	638.7500	1070.7500	1865.4500	1045.6250	0.5595	1973.1738	5564.7359
	17	598.8281	1003.8281	1781.2156	991.1719	0.5595	1880.0255	5267.1060
	18	479.0625	803.0625	1404.6129	789.7504	0.5595	1487.0870	4185.5329
19	279.4531	468.4531	814.1406	468.3594	0.5595	867.8776	2442.2428	
20	0	0	0	0	0.5595	0	0	

Catatan : $Mu = \eta(0.25DC + 1.50DW + 1.75(LL + IM))$

C. Perhitungan Luas Tendon Prategang

Section properties gelagar jembatan adalah sebagai berikut :

$$A_c = 529500 \text{ mm}^2$$

$$I = 1,17299 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$S_t = \frac{I}{y_t} = \frac{1,17299 \times 10^{11}}{700} = 167,57 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_b = \frac{I}{y_b} = \frac{1,17299 \times 10^{11}}{700} = 167,57 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Analisis pendahuluan gelagar pada posisi 4 (terjadi momen maksimum)

$$f_{ts} = -\frac{F_f}{A_c} - \frac{F_f \cdot e}{S_b} + \frac{M_G + M_{DS}}{S_b} \leq 3,354 \text{ Mpa}$$

M_G = Momen yang disebabkan oleh berat sendiri gelagar

$$= 638,7500 \text{ KN.m}$$

M_{DS} = Momen yang disebabkan oleh beban mati beton basah

$$= 1070,7500 - 638,7500 = 432 \text{ KN.m}$$

e = Jarak pusat berat tendon ke pusat berat gelagar

$$= 700 - 200 = 500 \text{ mm}$$

$$f_{ts} = -\frac{F_f}{529500} - \frac{F_f \cdot 500}{167,57 \times 10^6} + \frac{(638,75 + 432) \cdot 10^6}{167,57 \times 10^6} \leq 3,354$$

$$F_f = 623074,0125 \text{ N} = 623,0740 \text{ KN}$$

Diasumsikan kehilangan gaya prategang pada tendon sebesar $0,6 f_{pu}$

$$A_{ps} \geq \frac{F_f}{0,60 \cdot f_{pu}} = \frac{623,0740 \times 10^3}{0,60 \cdot 1860} = 558,3100 \text{ mm}^2$$

Pendekatan syarat kekuatan yang baik adalah sebagai berikut :

$$\phi Mn = \phi (A_{ps} \times 0,90 \cdot f_{pu} + A_s \cdot f_y) \times 0,9h \geq M_u$$

Dengan

$$\phi = 1,0 \text{ (untuk beton prategang)}$$

h = tinggi total penampang gelagar

M_u = momen terfaktor

$$A_{ps} \geq \frac{M_u}{\phi \times 0,90 \times f_{pu} \times (0,9h)} = \frac{6272,3896}{1,0 \times 0,90 \times 1860 \times (0,9 \times 1400)}$$

$$A_{ps} = 2676,3909 \text{ mm}^2 > 558,3100 \text{ mm}^2$$

Gunakan tendon $20 - 15,7 \text{ mm}$ ($A_{ps} = 20 \times 140 = 2800 \text{ mm}^2$)

D. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

**TABEL 5.32 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG JANGKA
PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip ankur	Loss total (%)
0	0	0.44343	0.7662	1.20963
0 – 5	1.24200	0.44343	0.7662	2.45163
5	10.28200	0.44343	0.7662	11.49163
5 – 10	11.39700	0.44343	0.7662	12.60663
10	19.50700	0.44343	0.7662	20.71663
10 – 15	20.50700	0.44343	0.7662	21.71663
15	22.77840	0.44343	0.7662	23.98803
15 – 20	28.68100	0.44343	0.7662	29.89063
20	28.68100	0.44343	0.7662	29.89063

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip ankur	Loss total (%)
0	0	0	0.7662	0.7662
0 - 5	1.24200	0	0.7662	2.0082
5	8.10300	0	0.7662	8.8692
5 - 10	9.24400	0	0.7662	10.0102
10	17.55200	0	0.7662	18.3182
10 - 15	18.57600	0	0.7662	19.3422
15	24.23200	0	0.7662	24.9982
15 - 20	25.17300	0	0.7662	25.9392
20	25.17300	0	0.7662	25.9392

**TABEL 5.33 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.52	8.5158	10.0358
0 - 5	1.52	8.5158	10.0358
5	1.52	8.5158	10.0358
5 - 10	1.52	8.5158	10.0358
10	1.52	8.5158	10.0358
10 - 15	1.52	8.5158	10.0358
15	1.52	8.5158	10.0358
15 - 20	1.52	8.5158	10.0358
20	1.52	8.5158	10.0358

5.3.1.3 Kontrol Tegangan Gelagar Berdasarkan Tegangan Ijin AASHTO LRFD 1994

TABEL 5.34 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 5

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	3,5770	3,1153
Tegangan serat bawah (Mpa)	-15,9492	-14,3214
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.35 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 10

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	-14,2936	-12,8463
Tegangan serat bawah (Mpa)	3,2071	2,8724
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.36 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 15

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	3,005	2,6820
Tegangan serat bawah (Mpa)	-13,7202	-12,0395
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

5.3.1.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar

TABEL 5.37 KAPASITAS MOMEN GELAGAR

Lokasi	Luas Baja Tulangan (mm ²)	Kapasitas Momen M_u (KNm)
5 dan 15	7539,82	9005,7197
10	5026,548	8281,1025

5.3.1.5 Analisis Lendutan

TABEL 5.38 LENDUTAN JANGKA PENDEK

Lendutan akibat pemberian gaya prategang (mm)	-35,7092
Lendutan akibat berat sendiri gelagar (mm)	18,1341
Lendutan akibat beban mati (mm)	17,4528
Lendutan akibat beban hidup (mm)	22,4428

TABEL 5.39 LENDUTAN JANGKA PANJANG

Lendutan pada umur 1 bulan (mm)	22,7373
Lendutan pada umur 1 tahun (mm)	16,9360
Lendutan pada umur 3 tahun (mm)	13,1364
Lendutan pada umur 5 tahun (mm)	11,4975

5.3.2 Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 90%

5.3.2.1 Perencanaan Awal Gelagar Beton Prategang Parsial 90%

Perencanaan awal gelagar beton prategang parsial 90% dapat dilihat pada tabel 5.40

**TABEL 5.40 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 %
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

<i>No.</i>	<i>Keterangan</i>	<i>Symbol / Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	1171.875	KN.m
2.	Momen akibat beban mati	M_D	1044.297	KN.m
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	1561.26	KN.m
4.	Momen total	M_T	3777.432	KN.m
5.	Tinggi balok yang digunakan	$h = k\sqrt{M}$	1400	Mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = \frac{M_T}{0.65h} \times 90\%$	3735.921758	KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	1106.7	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	3375.731235	mm ²
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45 f'_c)}$	368979.9267	mm ²

PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 % (LANJUTAN)

DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN

10.	Luas penampang yang digunakan	A_c (terpakai)	529500	mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \cdot \gamma_c$	12.775	KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	992.8125	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	3598.3695	$KN.m$
	Check M_G/M_T	M_G/M_T	0.275906213	> 20 % → OK !
14.	Inersia penampang gelagar	I_c	117299000000	mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t	700	mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	700	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	s	200	mm
18.	Jari-jari inersia	r	470.66745	mm
19.	Kem atas	K_t	316.46836	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

20.	Kern bawah	K_b	316.46836	mm
21.	Eksentrisitas	$e = y_t - s$	500	mm
22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e + k_t)} \times 90\%$	3966.513197	kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	4666.486114	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_t \cdot y_b}$	390789.4775	mm ²
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_b} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	366340.621	mm ²
Ambil nilai luas penampang yang diperlukan yang terbesar		$A_{c(perlu)}$	390789.4775	mm ²
Check : A_c yang digunakan > A_c yang diperlukan			529500 mm² > 390789.4775 mm² → OK !	

**TABEL 5.41 KONTROL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 90 %
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Simbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i.e.y_t}{I_c} - \frac{M_G.y_t}{I_c}$	-0.8138	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i.e.y_b}{I_c} + \frac{M_G.y_b}{I_c}$	-16.8122	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F.e.y_t}{I_c} - \frac{M_T.y_t}{I_c}$	-17.1295	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F.e.y_b}{I_c} + \frac{M_T.y_b}{I_c}$	2.1474	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			

**5.3.2.2 Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 90%
dengan Metode AASHTO LRFD 1994**

A. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Parsial 90%

**TABEL 5.42 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat Gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip ankur	Loss total (%)
0	0	0.39909	0.7667	1.16579
0 - 5	11.11800	0.39909	0.7667	12.28379
5	19.25400	0.39909	0.7667	20.41979
5 - 10	20.25700	0.39909	0.7667	21.42279
10	27.55700	0.39909	0.7667	28.72279
10 - 15	28.45700	0.39909	0.7667	29.62279
15	35.00600	0.39909	0.7667	36.17179
15 - 20	35.81300	0.39909	0.7667	36.97879
20	35.81300	0.39909	0.7667	36.97879

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat Gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip angkur	Loss total (%)
0	0	0	0.7667	0.7667
0 - 5	11.11800	0	0.7667	11.8847
5	17.29300	0	0.7667	18.0597
5 - 10	18.32000	0	0.7667	19.0867
10	25.79700	0	0.7667	26.5637
10 - 15	26.71900	0	0.7667	27.4857
15	31.81000	0	0.7667	32.5767
15 - 20	32.65700	0	0.7667	33.4237
20	32.65700	0	0.7667	33.4237

**TABEL 5.43 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.52	8.5158	10.0358
0 - 5	1.52	8.5158	10.0358
5	1.52	8.5158	10.0358
5 - 10	1.52	8.5158	10.0358
10	1.52	8.5158	10.0358
10 - 15	1.52	8.5158	10.0358
15	1.52	8.5158	10.0358
15 - 20	1.52	8.5158	10.0358
20	1.52	8.5158	10.0358

5.3.2.3 Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 90%

TABEL 5.44 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 5

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	3,2140	2,8643
Tegangan serat bawah (Mpa)	-14,2517	-12,8689
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.45 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 10

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	-12,8449	-11,5430
Tegangan serat bawah (Mpa)	2,8814	2,5794
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.46 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 15

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	2,6098	2,3260
Tegangan serat bawah (Mpa)	-11,6464	-10,4558
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

5.3.2.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 90%

TABEL 5.47 KAPASITAS MOMEN GELAGAR

Lokasi	Luas Baja Tulangan (mm ²)	Kapasitas Momen M_u (KNm)
5 dan 15	7539,82	9005,7197
10	5026,548	8281,1025

5.3.2.5 Analisis Lendutan

TABEL 5.48 LENDUTAN JANGKA PENDEK

Lendutan akibat pemberian gaya prategang (mm)	-32,0970
Lendutan akibat berat sendiri gelagar (mm)	18,1341
Lendutan akibat beban mati (mm)	17,4528
Lendutan akibat beban hidup (mm)	22,4428

TABEL 5.49 LENDUTAN JANGKA PANJANG

Lendutan pada umur 1 bulan (mm)	+31,4954
Lendutan pada umur 1 tahun (mm)	+26,4375
Lendutan pada umur 3 tahun (mm)	+23,3979
Lendutan pada umur 5 tahun (mm)	+22,0111

5.3.3 Perencanaan dan Analisis Beton Gelagar Prategang Parsial 80%

5.3.3.1 Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80%

Perencanaan awal penampang beton prategang parsial 80% dapat dilihat pada tabel 5.50.

**TABEL 5.50 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 %
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

No.	Keterangan	Simbol / Rumus	Nilai	Satuan
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	1171.875	KN.m
2.	Momen akibat beban mati	M_D	1044.297	KN.m
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	1561.26	KN.m
4.	Momen total	M_T	3777.432	KN.m
5.	Tinggi balok yang digunakan	$h = k\sqrt{M}$	1400	Mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = \frac{M_T}{0.65h} \times 90\%$	3320.819341	KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	1106.7	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	3000.649987	mm ²
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45 f'_c)}$	327982.1571	mm ²

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

10.	Luas penampang yang digunakan	A_c (terpakai)	529500	mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \cdot \gamma_c$	12.775	KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	992.8125	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	3598.3695	$KN.m$
	Check M_G/M_T	M_G/M_T	0.275906213	> 20 % → OK !
14.	Inersia penampang gelagar	I_c	117299000000	mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t	700	mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	700	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	s	150	mm
18.	Jari-jari inersia	r	470.66745	mm
19.	Kern atas	K_t	316.46836	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

20.	Kern bawah	K_b	316.46836	mm
21.	Eksentrisitas	$e = y_b - s$	550	mm
22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e + k_t)} \times 90\%$	3322.332022	kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	3908.625909	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_t \cdot y_b}$	327323.352	mm ²
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_b} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	311291.5173	mm ²
Ambil nilai luas penampang yang diperlukan yang terbesar		$A_{c(peritu)}$	327323.352	mm ²
Check : A_c yang digunakan > A_c yang diperlukan			529500 mm² > 327323.352 ok !	

**TABEL 5.51 KONTROL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 80 %
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Simbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i.e.y_t}{I_c} - \frac{M_G.y_t}{I_c}$	-0.4776	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i.e.y_b}{I_c} + \frac{M_G.y_b}{I_c}$	-14.2859	Mpa
Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F.e.y_t}{I_c} - \frac{M_T.y_t}{I_c}$	-16.8437	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F.e.y_b}{I_c} + \frac{M_T.y_b}{I_c}$	3.2248	Mpa
Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK			

**5.3.3.2 Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 80%
dengan Metode AASHTO LRFD 1994**

A. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Parsial 80%

**TABEL 5.52 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip ankur	Loss total (%)
0	0	0.37479	0.7659	1.14069
0 - 5	20.99400	0.37479	0.7659	22.13469
5	28.57000	0.37479	0.7659	29.71069
5 - 10	29.45700	0.37479	0.7659	30.59769
10	36.22100	0.37479	0.7659	37.36169
10 - 15	37.01300	0.37479	0.7659	38.15369
15	43.05300	0.37479	0.7659	44.19369
15 - 20	43.76000	0.37479	0.7659	44.90069
20	43.76000	0.37479	0.7659	44.90069

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip angkur	Loss total (%)
0	0	0	0.7659	0.7659
0 - 5	20.99400	0	0.7659	21.7599
5	26.83400	0	0.7659	27.5999
5 - 10	27.74300	0	0.7659	28.5089
10	34.67200	0	0.7659	35.4379
10 - 15	35.48300	0	0.7659	36.2489
15	40.25200	0	0.7659	41.0179
15 - 20	40.99400	0	0.7659	41.7599
20	40.99400	0	0.7659	41.7599

**TABEL 5.53 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.52	8.5158	10.0358
0 - 5	1.52	8.5158	10.0358
5	1.52	8.5158	10.0358
5 - 10	1.52	8.5158	10.0358
10	1.52	8.5158	10.0358
10 - 15	1.52	8.5158	10.0358
15	1.52	8.5158	10.0358
15 - 20	1.52	8.5158	10.0358
20	1.52	8.5158	10.0358

5.3.3.3 Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 80%

TABEL 5.54 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 5

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	3,6142	3,2243
Tegangan serat bawah (Mpa)	-13,4383	-12,0625
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.55 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 10

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	-11,2895	-10,1437
Tegangan serat bawah (Mpa)	2,5318	2,2649
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.56 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 15

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	2,9054	2,5920
Tegangan serat bawah (Mpa)	-10,8086	-9,7020
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

5.3.3.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 80%

TABEL 5.57 KAPASITAS MOMEN GELAGAR

Lokasi	Luas Baja Tulangan (mm ²)	Kapasitas Momen M_u (KNm)
5 dan 15	7539,82	9017,5017
10	5026,548	8316,0333

5.3.3.5 Analisis Lendutan

TABEL 5.58 LENDUTAN JANGKA PENDEK

Lendutan akibat pemberian gaya prategang (mm)	-30,2452
Lendutan akibat berat sendiri gelagar (mm)	18,1341
Lendutan akibat beban mati (mm)	17,4528
Lendutan akibat beban hidup (mm)	22,4428

TABEL 5.59 LENDUTAN JANGKA PANJANG

Lendutan pada umur 1 bulan (mm)	+34,9600
Lendutan pada umur 1 tahun (mm)	+31,3084
Lendutan pada umur 3 tahun (mm)	+28,6603
Lendutan pada umur 5 tahun (mm)	+22,3999

5.3.4 Perencanaan dan Analisis Gelagar Beton Prategang Parsial 75%

5.3.4.1 Perencanaan Awal Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75%

Perencanaan awal penampang beton prategang parsial 75% dapat dilihat pada tabel 5.60.



**TABEL 5.60 PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 %
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

No.	Keterangan	Simbol / Rumus	Nilai	Satuan
1.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G	1171.875	KN.m
2.	Momen akibat beban mati	M_D	1044.297	KN.m
3.	Momen akibat beban hidup	M_L	1561.26	KN.m
4.	Momen total	M_T	3777.432	KN.m
5.	Tinggi balok yang digunakan	$h = k\sqrt{M}$	1400	Mm
6.	Gaya prategang efektif	$F = T = \frac{M_T}{0.65h} \times 75\%$		KN
7.	Tegangan prategang efektif	$f_{se} = 0.85 \times 0.7 \times f_{pu}$	3113.268132	Mpa
8.	Luas penampang tendon	$A_{ps} = \frac{F}{f_{se}} = \frac{M_T}{0.65h \cdot f_{se}}$	1106.7	mm ²
9.	Luas penampang beton prategang	$A_c = \frac{A_{ps} \cdot f_{se}}{0.5(0.45 f'_c)}$	2813.109363	mm ²
			307483.2723	

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

10.	Luas penampang yang digunakan	A_c (terpakai)	529500	mm^2
11.	Berat sendiri gelagar	$W_G = A_c \cdot \gamma_c$		KN/m
12.	Momen akibat berat sendiri gelagar	M_G (baru)	12.775	$KN.m$
13.	Momen total	M_T (baru)	992.8125	$KN.m$
	Check M_G/M_T	M_G/M_T	3598.3695	$KN.m$
			0.275906213	> 20 % → OK !
14.	Inersia penampang gelagar	I_c		mm^4
15.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat atas	y_t	11729900000	mm
16.	Jarak titik berat gelagar terhadap serat bawah	y_b	700	mm
17.	Jarak tendon terhadap serat bawah	s	700	mm
18.	Jari-jari inersia	r	100	mm
19.	Kem atas	K_t	470.66745	mm
			316.46836	mm

**PERENCANAAN AWAL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 % (LANJUTAN)
DENGAN PENDEKATAN LUAS MENURUT METODE T. Y. LIN**

20.	Kern bawah	K_b	316.46836	mm
21.	Eksentrisitas	$e = y_b - s$		mm
22.	Gaya prategang efektif	$F = \frac{M_T}{(e + k_t)} \times 90\%$	600	kN
23.	Gaya prategang awal	$F_i = \frac{F}{0.85}$	2944.757532	kN
24.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F \cdot h}{f_t \cdot y_b}$	3464.420626	mm ²
25.	Luas penampang yang diperlukan	$A_c = \frac{F}{f_b} \left(1 + \frac{1 - M_G / F_i}{k_t} \right)$	290123.8948	mm ²
Ambil nilai luas penampang yang diperlukan yang terbesar		$A_{c(pertu)}$	283766.9654	mm ²
Check : A_c yang digunakan > A_c yang diperlukan			529500 mm² > 283766.9654 mm² ok!	

**TABEL 5.61 KONTROL PENAMPANG BETON PRATEGANG PARSIAL 75 %
TERHADAP TEGANGAN IJIN (ACI)**

<i>Tegangan initial (saat transfer)</i>			
<i>Keterangan</i>	<i>Simbol/Rumus</i>	<i>Nilai</i>	<i>Satuan</i>
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i \cdot e \cdot y_t}{I_c} - \frac{M_G \cdot y_t}{I_c}$	-0.0629	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F_i}{A_c} - \frac{F_i \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_G \cdot y_b}{I_c}$	-13.0227	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			
<i>Tegangan layan (saat service)</i>			
Tegangan total serat atas	$f_t = -\frac{F}{A_c} + \frac{F \cdot e \cdot y_t}{I_c} - \frac{M_T \cdot y_t}{I_c}$	-16.4912	Mpa
Tegangan total serat bawah	$f_b = -\frac{F}{A_c} - \frac{F \cdot e \cdot y_b}{I_c} + \frac{M_T \cdot y_b}{I_c}$	3.4876	Mpa
<i>Chek tegangan yang terjadi < tegangan ijin →OK</i>			

**5.3.4.2 Perencanaan Penampang Gelagar Beton Prategang Parsial 75%
dengan Metode AASHTO LRFD 1994**

A. Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang Parsial 75%

**TABEL 5.62 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PENDEK**

Loss pada tendon / kabel di selubung 1				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat slip ankur	Loss total (%)
0	0	0.34717	0.7657	1.11287
0 - 5	25.93100	0.34717	0.7657	27.04387
5	33.35400	0.34717	0.7657	34.46687
5 - 10	34.18200	0.34717	0.7657	35.29487
10	40.77800	0.34717	0.7657	41.89087
10 - 15	41.51400	0.34717	0.7657	42.62687
15	47.37600	0.34717	0.7657	48.48887
15 - 20	48.03000	0.34717	0.7657	49.14287
20	48.03000	0.34717	0.7657	49.14287

Loss pada tendon / kabel di selubung 2				
Segmen titik	Loss akibat gesekan	Loss akibat perpendekan elastis	Loss akibat Slip ankur	Loss total (%)
0	0	0	0.7657	0.7657
0 - 5	25.93100	0	0.7657	26.6967
5	31.73500	0	0.7657	32.5007
5 - 10	32.58300	0	0.7657	33.3487
10	39.34000	0	0.7657	40.1057
10 - 15	40.09300	0	0.7657	40.8587
15	44.78700	0	0.7657	45.5527
15 - 20	45.47300	0	0.7657	46.2387
20	45.47300	0	0.7657	46.2387

**TABEL 5.63 TOTAL KEHILANGAN GAYA PRATEGANG
JANGKA PANJANG**

Loss pada masing-masing selubung			
Segmen titik	Loss akibat susut	Loss akibat relaksasi	Loss total (%)
0	1.52	8.5158	10.0358
0 - 5	1.52	8.5158	10.0358
5	1.52	8.5158	10.0358
5 - 10	1.52	8.5158	10.0358
10	1.52	8.5158	10.0358
10 - 15	1.52	8.5158	10.0358
15	1.52	8.5158	10.0358
15 - 20	1.52	8.5158	10.0358
20	1.52	8.5158	10.0358

5.3.4.3 Kontrol Tegangan Gelagar Prategang Parsial 75%

TABEL 5.64 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 5

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	3,6510	3,3445
Tegangan serat bawah (Mpa)	-13,2517	-11,8946
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.65 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 10

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	-10,4727	-9,4089
Tegangan serat bawah (Mpa)	2,3482	2,0997
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

TABEL 5.66 TEGANGAN YANG TERJADI PADA LOKASI 15

	Saat Transfer	Saat Layan
Tegangan serat atas (Mpa)	3,2574	2,9087
Tegangan serat bawah (Mpa)	-10,5526	-9,4717
<i>Tegangan yang terjadi < Tegangan ijin AASHTO LRFD 1994</i>		

5.3.4.4 Kontrol Kapasitas Momen Gelagar Prategang Parsial 75%

TABEL 5.67 KAPASITAS MOMEN GELAGAR

Lokasi	Luas Baja Tulangan (mm ²)	Kapasitas Momen M_u (KNm)
5 dan 15	7539,82	9036,9708
10	5026,548	8316,0333

5.3.4.5 Analisis Lendutan

TABEL 5.68 LENDUTAN JANGKA PENDEK

Lendutan akibat pemberian gaya prategang (mm)	-29,9607
Lendutan akibat berat sendiri gelagar (mm)	18,1341
Lendutan akibat beban mati (mm)	17,4524
Lendutan akibat beban hidup (mm)	22,4428

TABEL 5.69 LENDUTAN JANGKA PANJANG

Lendutan pada umur 1 bulan (mm)	+35,4922
Lendutan pada umur 1 tahun (mm)	+31,0569
Lendutan pada umur 3 tahun (mm)	+29,4674
Lendutan pada umur 5 tahun (mm)	+28,2286

BAB VI

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 Data dan Asumsi Desain

Model struktur beton prategang penelitian ini menggunakan balok menerus dengan panjang bentang 30 m dan 50 m yang terletak di atas 3 perletakan. Sedangkan untuk jarak antar gelagar memanjang dipakai panjang 1,8 m. Gaya prategang parsial yang dipakai adalah 90%, 80%, dan 75% dari gaya prategang yang dibutuhkan pada prategang penuh.

Mutu bahan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beton dengan kuat desak karakteristik $f_c' = 45$ Mpa, tegangan ultimit tulangan aktif (tendon) $f_{pu} = 1860$ Mpa dan tulangan pasif (non prategang) $f_y = 360$ Mpa.

Dari hasil perhitungan, dengan menggunakan balok penampang bentuk I, diperoleh ukuran penampang sebagaimana terlihat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1 Dimensi Penampang Gelagar

Panjang Bentang	h (mm)	b (mm)	h_f (mm)	b_w (mm)
30 meter	1000	800	250	250
50 meter	1400	550	375	180

6.2 Lendutan

Lendutan yang terjadi pada penampang balok beton prategang terdiri dari lendutan jangka pendek dan lendutan jangka panjang. Perhitungan lendutan menggunakan metode *Approximate Time Step* pada umur pembebanan 1 bulan, 1 tahun, 3 tahun, dan 5 tahun.

Saat transfer lendutan yang terjadi pada gaya prategang penuh adalah lendutan ke atas (*chamber*), semakin berkurang gaya prategang maka lendutan ke atas akibat pemberian gaya prategang juga semakin berkurang. Pada saat gaya prategang pertama kali dikerjakan, umumnya sebuah gelagar akan melendut ke atas. Dengan bertambahnya waktu, rangkai, dan penyusutan yang terjadi pada beton akan menyebabkan besar gaya prategang berkurang secara berangsur-angsur. Walaupun demikian, besar defleksi ke atas akan tetap bertambah.

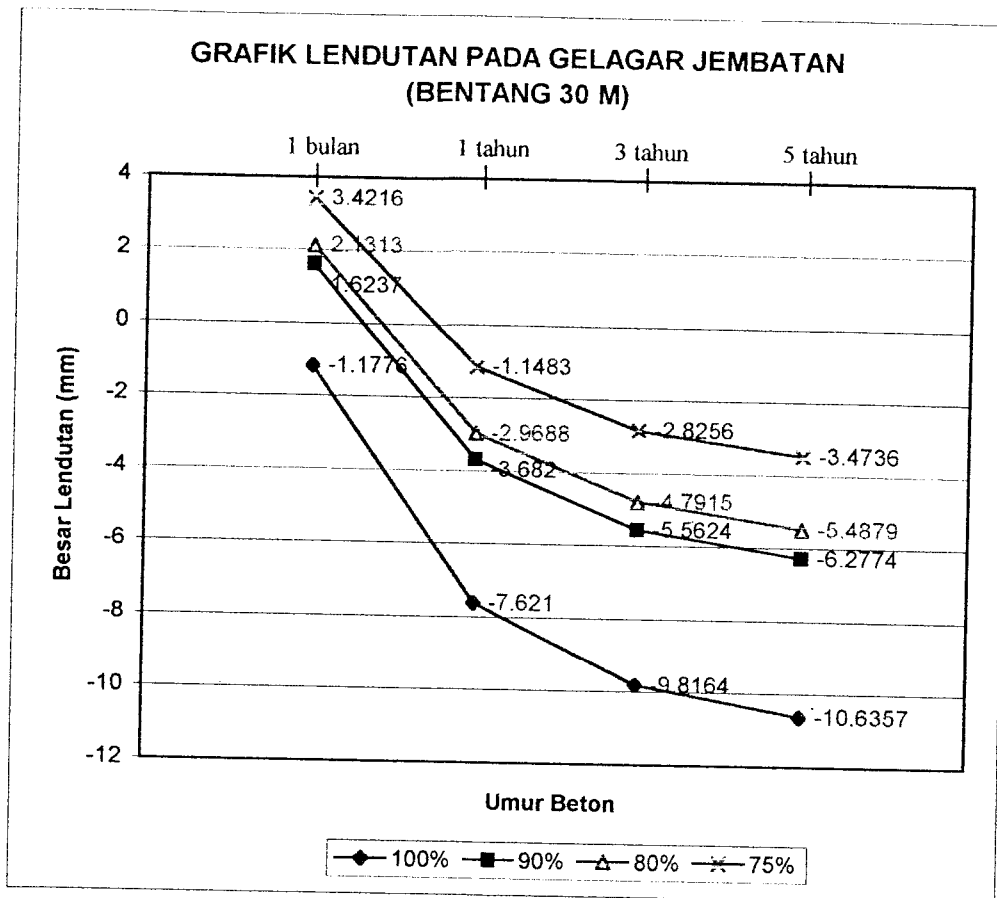
Adapun pengaruh panjang bentang terhadap besarnya lendutan adalah semakin panjang bentang maka lendutan yang terjadi akan semakin besar pula.

Lendutan yang dihasilkan dari perhitungan untuk panjang bentang total 30 m memenuhi persyaratan lendutan yang ditetapkan oleh AASHTO. Sedangkan untuk panjang bentang 50 m dengan pemberian gaya prategang sebesar 90%, 80% dan 75% lendutan yang terjadi pada umur 1 bulan lebih besar dari besar lendutan yang diijinkan oleh AASHTO sehingga tidak memenuhi syarat.

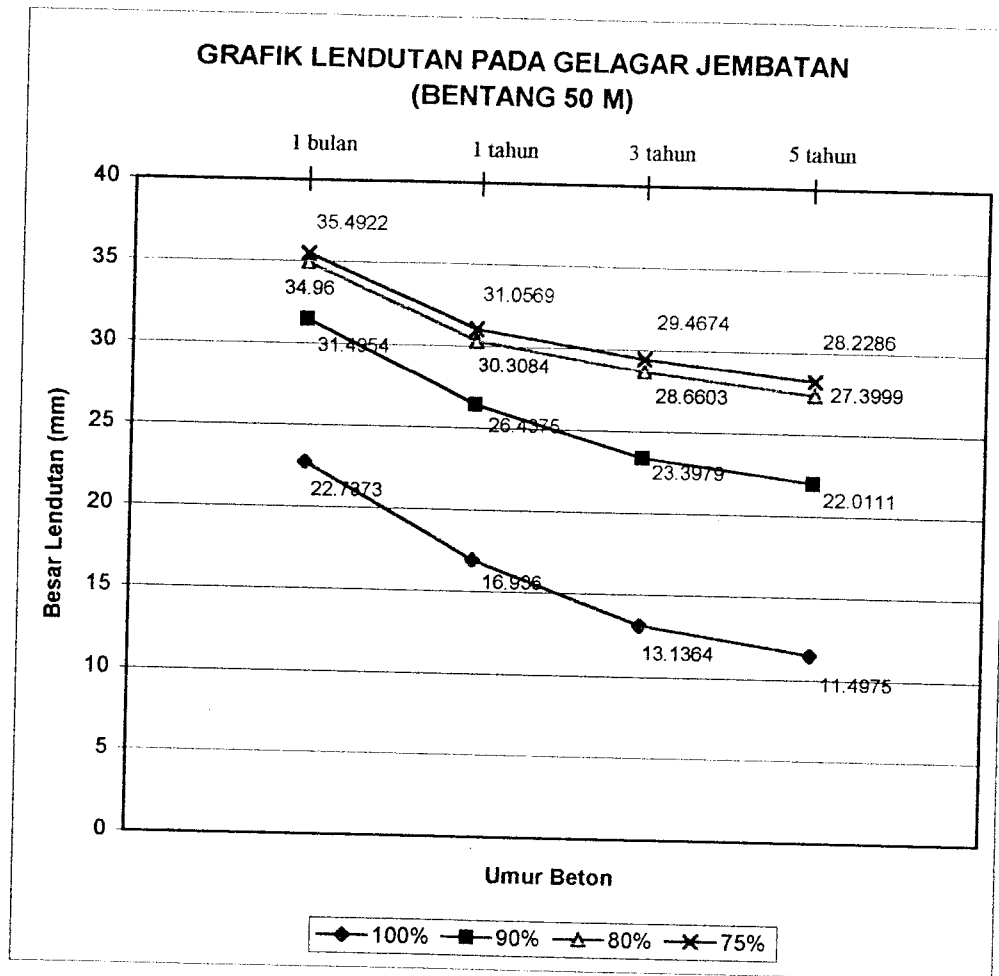
Besar lendutan yang diperoleh dari hasil hitungan dapat dilihat pada tabel 6.2.

Tabel 6.2 Besar Lendutan pada Balok Menerus

%	Bentang 30 m			
	Besar Lendutan (mm)			
	1 bln	1 thn	3 thn	5 thn
100	-1,1776	-7,6210	-9,8164	-10,6357
90	1,6237	-3,6820	-5,5624	-6,2774
80	2,1313	-2,9688	-4,7915	-5,4879
75	3,4261	-1,1483	-2,8256	-3,4736
%	Bentang 50 m			
	Besar Lendutan (mm)			
	1 bln	1 thn	3 thn	5 thn
100	22,7373	16,9360	13,1364	11,4975
90	31,4954	26,4375	23,3979	22,0111
80	34,9600	30,3084	28,6603	27,3999
75	35,4922	31,0569	29,4674	28,2286

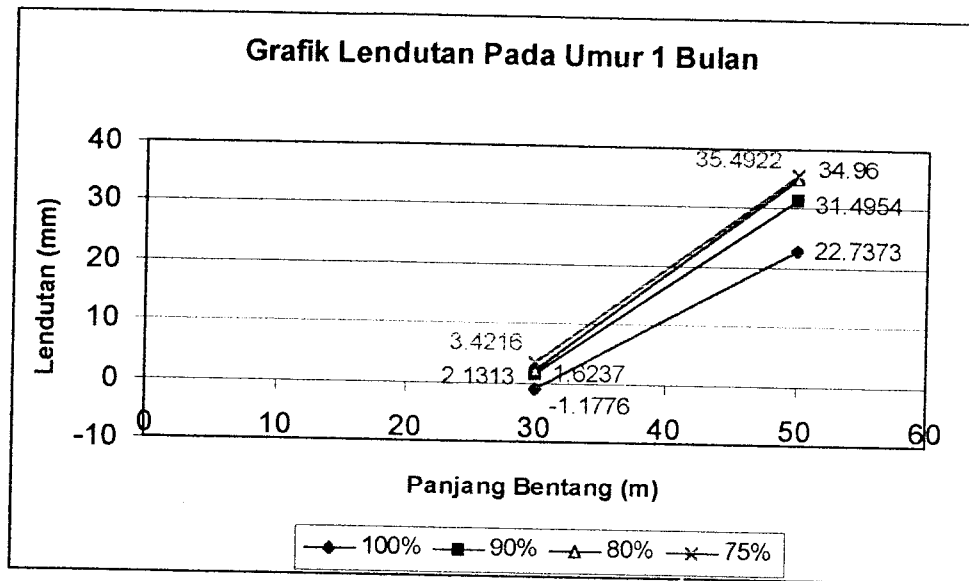


Gambar 6.1 Grafik Besar Lendutan pada Gelagar dengan Bentang 30 m



Gambar 6.2 Grafik Besar Lendutan pada Gelagar dengan Bentang 50 m

Adapun perbandingan besar lendutan antara panjang bentang total 30 m dan 50 m yang terjadi pada umur 1 bulan, 1 tahun, 3 tahun dan 5 tahun dapat dilihat pada gambar 6.3, 6.4, 6.5, dan 6.6.



Gambar 6.3 Grafik Lendutan Pada Umur 1 Bulan

Dari gambar 6.3 didapatkan persamaan polinomial untuk besar lendutan pada masing-masing prosentase gaya prategang, yaitu :

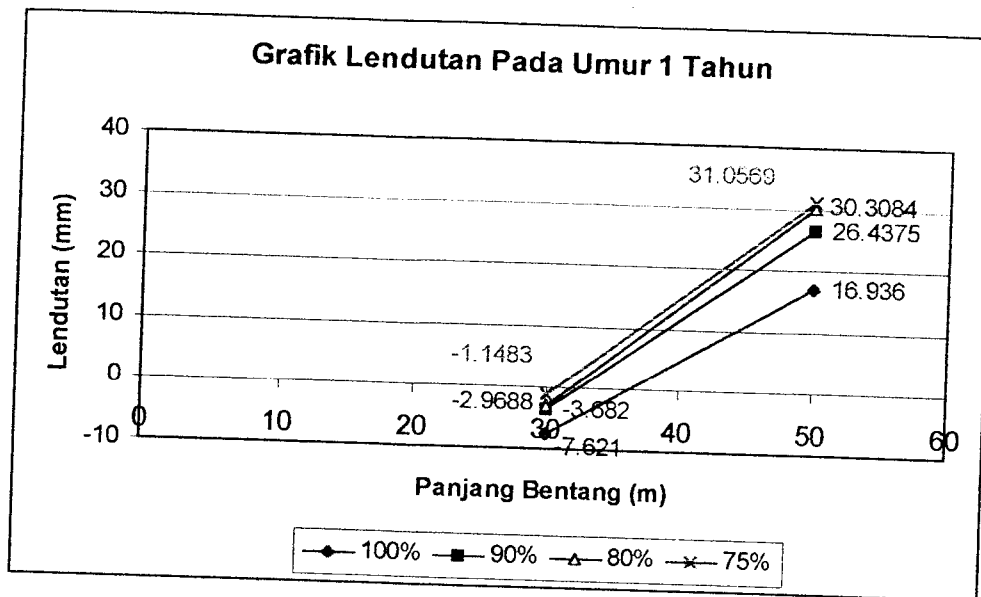
Prategang penuh (100%) : $y = 1,1957x - 37,05$

Prategang parsial (90%) : $y = 1,4936x - 43,184$

Prategang parsial (80%) : $y = 1,6414x - 47,112$

Prategang parsial (75%) : $y = 1,6035x - 44,684$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m)



Gambar 6.4 Grafik Lendutan Pada Umur 1 Tahun

Dari gambar 6.4 didapatkan persamaan polinomial untuk besar lendutan pada masing-masing prosentase gaya prategang, yaitu :

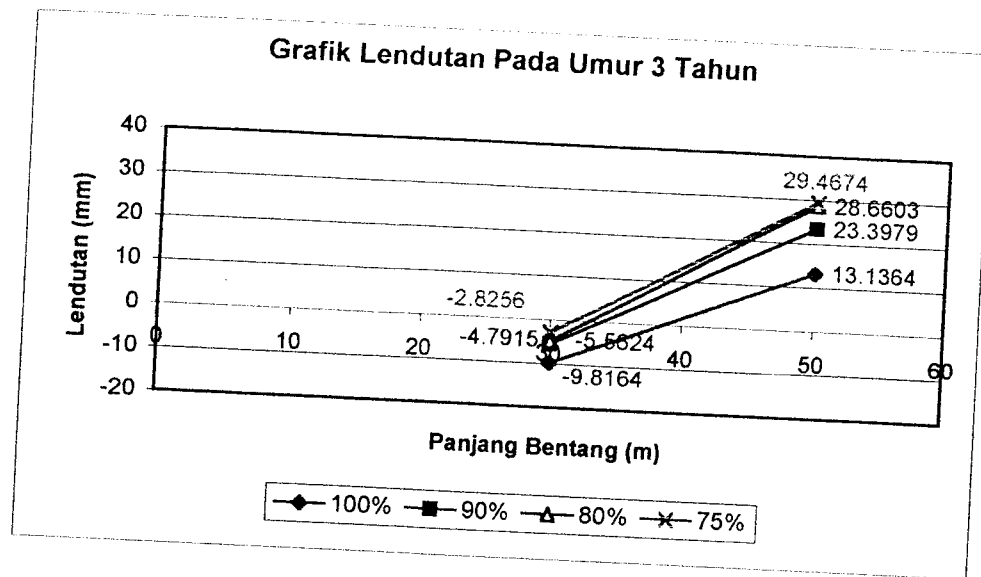
Prategang penuh (100%) : $y = 1,2279x - 44,457$

Prategang parsial (90%) : $y = 1,506x - 48,861$

Prategang parsial (80%) : $y = 1,6639x - 52,885$

Prategang parsial (75%) : $y = 1,6103x - 49,456$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m)



Gambar 6.5 Grafik Lendutan Pada Umur 3 Tahun

Dari gambar 6.5 didapatkan persamaan polinomial untuk besar lendutan pada masing-masing prosentase gaya prategang, yaitu :

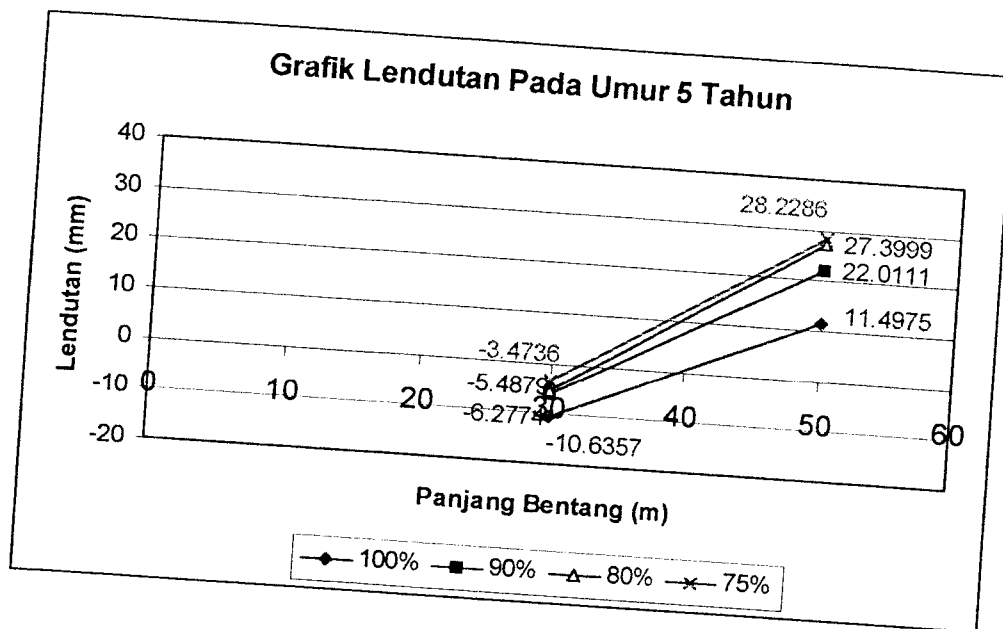
Prategang penuh (100%) : $y = 1,1476x - 44,246$

Prategang parsial (90%) : $y = 1,448x - 49,003$

Prategang parsial (80%) : $y = 1,6726x - 54,969$

Prategang parsial (75%) : $y = 1,6147x - 51,265$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m)



Gambar 6.6 Grafik Lendutan Pada Umur 5 Tahun

Dari gambar 6.6 didapatkan persamaan polinomial untuk besar lendutan pada masing-masing prosentase gaya prategang, yaitu :

Prategang penuh (100%)	:	$y = 1,1067x - 43,836$
Prategang parsial (90%)	:	$y = 1,4144x - 48,710$
Prategang parsial (80%)	:	$y = 1,6444x - 54,82$
Prategang parsial (75%)	:	$y = 1,5851x - 51,027$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m)

BAB VII

SIMPULAN DAN SARAN

7.1 Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kehilangan gaya prategang yang terjadi pada saat transfer (perpendekan elastis beton, slip ankur, dan gesekan) dan kehilangan pada saat layan (relaksasi tendon, dan susut) di masing-masing selubung (K1 dan K2) dan lokasi tendon mempunyai nilai yang berbeda. Kehilangan gaya prategang terkecil terletak di lokasi 0 (tumpuan A) dan terbesar terletak di lokasi 20 (tumpuan C), hal ini dikarenakan tendon ditarik dari lokasi 0 (tumpuan A) sehingga gesekan antara tendon dan selubung yang terbesar terjadi di lokasi 20 (tumpuan C).
2. Lendutan antara waktu setelah transfer gaya prategang sampai pada umur 30 hari pertama diperhitungkan sebagai lendutan jangka pendek. Penggunaan metode *Approximate Time Step* menghasilkan lendutan berupa lendutan ke atas yang besarnya semakin bertambah seiring dengan

bertambahnya umur beton serta semakin berkurang seiring dengan berkurangnya gaya prategang.

3. Dari hasil analisis lendutan diperoleh beberapa persamaan yang menunjukkan besar lendutan untuk gelagar berpenampang I dengan panjang bentang total 30 m dan 50 m untuk masing-masing umur pembebanan. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

a. Lendutan pada umur 1 bulan :

$$\text{Prategang penuh (100\%)} \quad : \quad y = 1,1957x - 37,05$$

$$\text{Prategang parsial (90\%)} \quad : \quad y = 1,4936x - 43,184$$

$$\text{Prategang parsial (80\%)} \quad : \quad y = 1,6414x - 47,112$$

$$\text{Prategang parsial (75\%)} \quad : \quad y = 1,6035x - 44,684$$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m).

b. Lendutan pada umur 1 tahun :

$$\text{Prategang penuh (100\%)} \quad : \quad y = 1,2279x - 44,457$$

$$\text{Prategang parsial (90\%)} \quad : \quad y = 1,506x - 48,861$$

$$\text{Prategang parsial (80\%)} \quad : \quad y = 1,6639x - 52,885$$

$$\text{Prategang parsial (75\%)} \quad : \quad y = 1,6103x - 49,456$$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m).

c. Lendutan pada umur 3 tahun :

$$\text{Prategang penuh (100\%)} \quad : \quad y = 1,1476x - 44,246$$

$$\text{Prategang parsial (90\%)} \quad : \quad y = 1,448x - 49,003$$

$$\text{Prategang parsial (80\%)} \quad : \quad y = 1,6726x - 54,969$$

$$\text{Prategang parsial (75\%)} \quad : \quad y = 1,6147x - 51,265$$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m).

d. Lendutan pada umur 5 tahun :

$$\text{Prategang penuh (100\%)} \quad : \quad y = 1,1067x - 43,836$$

$$\text{Prategang parsial (90\%)} \quad : \quad y = 1,4144x - 48,710$$

$$\text{Prategang parsial (80\%)} \quad : \quad y = 1,6444x - 54,82$$

$$\text{Prategang parsial (75\%)} \quad : \quad y = 1,5851x - 51,027$$

dengan, y adalah besar lendutan yang terjadi (mm) dan x adalah panjang bentang (m).

7.2 Saran

1. Pada saat perhitungan dan analisis balok menerus prategang parsial, perlu ditinjau masalah geser dan torsi sebagaimana disyaratkan dalam SK-SNI 1991.
2. Perlu dilakukan perhitungan dan analisis lendutan dengan menggunakan metode lain, untuk membandingkan hasil yang akan didapatkan.
3. Pada tugas akhir ini, bagian yang ditinjau adalah gelagar interior saja. Oleh karena itu perlu diadakan penelitian untuk bagian gelagar eksterior.

4. Perlu dilakukan analisis lendutan dengan metode *Approximate Time Step* dengan variasi panjang bentang yang lebih beragam agar didapatkan persamaan hubungan antara lendutan dan panjang bentang yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

_____, AASTHO LRFD *Bridge Design Specifications and System International Units*.

_____, 1997, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan dan Jalan Raya*, Yayasan Badan Penerbit PU.

Barker, M.R ; Puckett, A.J, 1997, *Design Of Highway Bridges : Based on AASHTO LRFD, Bridge Design Specifications*, John Wiley and Sons, Inc. New York, USA.

Collins Mitchel, 1953, *Prestressed Concrete Structures*, Prentice Hall, New Jersey.

Dipohusodo Istimawan, 1994, *Struktur Beton Bertulang : Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Ghali, A dan Neville, AM, 1990, *Analisa Struktur*, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.

Irhamy, Anny, 2001, *Analisis Lendutan Pada Balok Menerus Prategang Parsial*, Tugas Akhir S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Kurniawan, A.I, 2001, *Perencanaan Gelagar Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Metode AASHTO LRFD 1994*, Tugas Akhir S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Lin, TY dan Burns, NH,2000, *Desain Struktur Beton Prategang*, jilid 1 dan 2, Edisi ketiga, Interaksara, Jakarta.

Muntohar, S.A ; Supriyadi, B, 2000, *Jembatan*, Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.

Nawy, EG, 1996, *Prestessed Concrete A Fundamental Approach*, PrenticeHill, New York.

Nilson and Arthur, H., 1978, *Design Of Prestressed Concrete*, John Wiley and Sons Inc, New York, USA

N. Krisna Raju, 1998, *Prestressed Concrete*, McGraw-Hill, Inc

Vis. W.C dan Kusuma H. Gideon 1993, *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang : Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*, Erlangga, Jakarta.

Wang, Chu-Kia dan Salmon, CG, 1989, *Desain Beton Bertulang*, Jilid 2, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN 1

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	NAMA	NO. MHS	BID. STUDI
1.	Jani Wiliandri	98.11.050	Keperawatan
2.			

JUDUL TUGAS AKHIR

.....

PERIODE : SEPTEMBER - FEBRUARI
TAHUN

No.	Kategori	Bulan/Ke					
		Sept	Okta	Nov	Des	Jan	Feb
1.	Pendidikan						
2.	Kaitannya Dengan Pendidikan						
3.	Pendidikan						
4.	Seminar						
5.	Konsultasi						
6.	Sidang						
7.	Pendaftaran						

.....

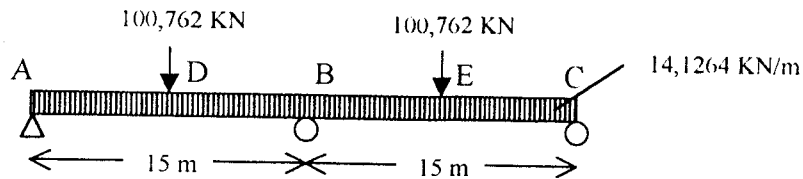


catatan:
 Seminar : 16 Nov 2003
 Sidang : 11 Juni 2003
 Pendaftaran : 30 Juni 2003

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN MOMEN AKIBAT BEBAN HIDUP

DENGAN METODE DEFORMASI KONSISTEN PADA BENTANG 30 M



$$V_A \cdot 30 - 14,1264 \cdot 30(30/2) - 100,762 \cdot 22,5 - 100,762 \cdot 7,5 \rightarrow V_A = 312,6805 \text{ KN}$$

$$V_C \cdot 30 - 14,1264 \cdot 30(30/2) - 100,762 \cdot 22,5 - 100,762 \cdot 7,5 \rightarrow V_C = 312,6805 \text{ KN}$$

Beban 1 satuan di B

$$R_A \cdot 30 - 1 \cdot 15 \rightarrow R_A = 0,5 \text{ KN}$$

$$R_C \cdot 30 - 1 \cdot 15 \rightarrow R_C = 0,5 \text{ KN}$$

Daerah A - D

$$M = V_A \cdot x - (14,1264/2 \cdot x^2) \rightarrow 312,6805x - 7,0632 x^2$$

$$m = R_A \cdot x = 0,5 x \rightarrow 156,34025 x^2 - 3,5316 x^3$$

Daerah D - B

$$M = V_A \cdot x - (14,1264/2 \cdot x^2) - 100,762(x - 7,5)$$

$$= 312,6805x - 7,0632 x^2 - 100,762x + 755,715$$

$$m = R_A \cdot x = 0,5 x \rightarrow -3,5316 x^3 + 105,95925 x^2$$

$$+ 377,8575 x$$

Daerah E - C = daerah A - D

$$156,34025x^2 - 3,5316x^3$$

Daerah E - B = daerah D - B

$$-3,5316x^3 + 105,95925x^2 + 377,8575x$$

$$\begin{aligned} Ei_{BB} &= \int_0^{7,5} (156,34025x^2 - 3,5316x^3) dx + \int_{7,5}^{15} (-3,5316x^3 + 105,95925x^2 + 377,8575x) dx \\ &= (19191,79688 + 94282,10155) \cdot 2 \\ &= 226947,7969 \end{aligned}$$

$$Ei_{bb} = \int_0^{15} 0,5x^2 dx = 562,5$$

Persamaan : $226947,7969 + V_B \cdot 562,5 = 0 \rightarrow V_B = 403,4628$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$R_A \cdot 30 - 14,1264 \cdot 30 \cdot 15 - 100,762 \cdot 22,5 - 100,762 \cdot 7,5 + 403,4628 \cdot 15 = 0$$

$$R_A = 110,9266 \text{ KN}$$

$$R_C = 110,9266 \text{ KN}$$

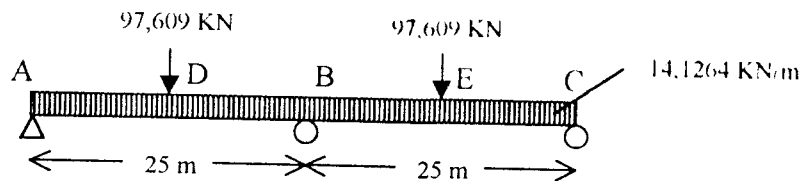
Besar momen yang terjadi :

$$M_D = + 434,6445 \text{ KN.m}$$

$$M_B = - 681,036 \text{ KN.m}$$

$$M_E = + 434,6445 \text{ KN.m}$$

**PERHITUNGAN MOMEN AKIBAT BEBAN HIDUP
DENGAN METODE DEFORMASI KONSISTEN PADA BENTANG 50 M**



$$V_A \cdot 50 - 14,1264 \cdot 50(50/2) - 97,609 \cdot 37,5 - 97,609 \cdot 12,5 \rightarrow V_A = 450,769 \text{ KN}$$

$$V_C \cdot 50 - 14,1264 \cdot 50(50/2) - 97,609 \cdot 37,5 - 97,609 \cdot 12,5 \rightarrow V_C = 450,769 \text{ KN}$$

Beban 1 satuan di B

$$R_A \cdot 50 - 1.25 \rightarrow R_A = 0,5 \text{ KN}$$

$$R_C \cdot 50 - 1.25 \rightarrow R_C = 0,5 \text{ KN}$$

Daerah A - D

$$M = V_A \cdot x - (14,1264/2 \cdot x^2) \rightarrow 450,769x - 7,0632 x^2$$

$$m = R_A \cdot x = 0,5 x \rightarrow 225,3845 x^2 - 3,5315 x^3$$

Daerah D - B

$$M = V_A \cdot x - (14,1264/2 \cdot x^2) - 97,609(x - 12,5)$$

$$= 450,769x + 7,0632 x^2 - 97,609x + 1220,1125$$

$$m = R_A \cdot x = 0,5 x \rightarrow 3,5315 x^3 + 176,58 x^2 + 610,0563 x$$

Daerah E - C = daerah A - D

$$225,3845x^2 - 3,5315x^3$$

Daerah E – B = daerah D – B

$$-3,5316 x^3 + 176,58 x^2 + 610,0563 x$$

$$Ei_{\partial\partial} = \int_0^{12,5} (225,3845x^2 - 3,5315x^3) dx + \int_{12,5}^{25} (-3,5315x^3 + 176,58x^2 + 610,0563x) dx$$

$$= (125180,1351 + 624390,0264) \cdot 2$$

$$= 1499140,323$$

$$Ei_{\partial\partial} = \int_0^{25} 0,5x^2 dx = 2604,167$$

$$\text{Persamaan : } 1499140,323 + V_B \cdot 2604,167 = 0 \rightarrow V_B = 575,6698$$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$R_A \cdot 50 - 14,1264 \cdot 50 \cdot 25 - 97,609 \cdot 37,5 - 97,609 \cdot 12,5 + 575,6698 \cdot 25 = 0$$

$$R_A = 162,9341 \text{ KN}$$

$$R_C = 162,9341 \text{ KN}$$

Besar momen yang terjadi :

$$M_D = + 933,0513 \text{ KN.m}$$

$$M_B = - 1561,2600 \text{ KN.m}$$

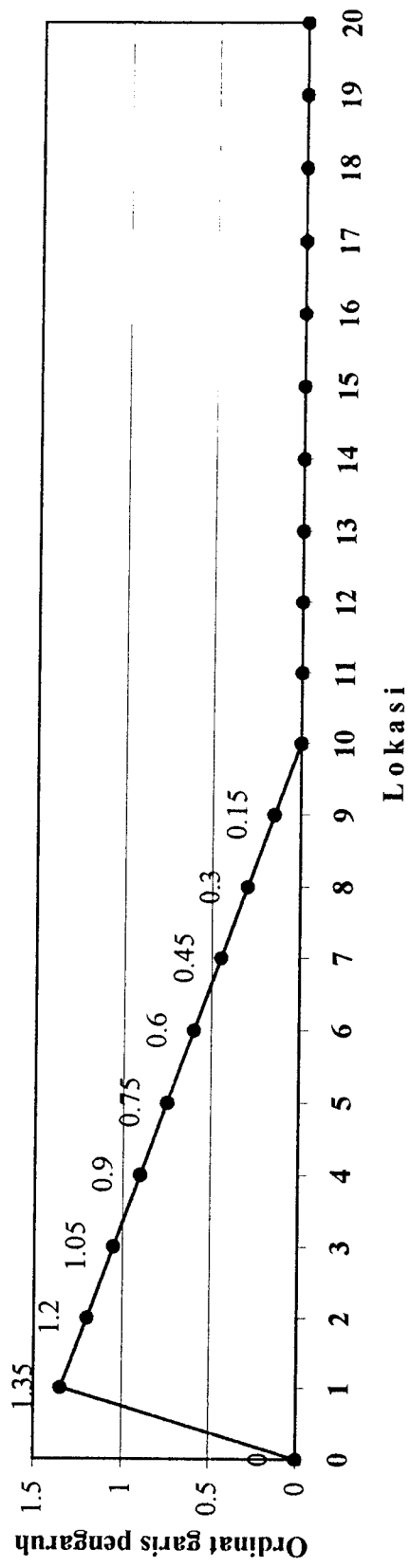
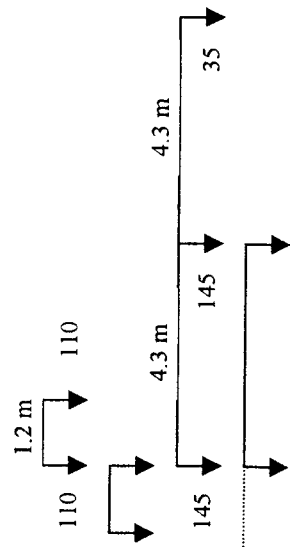
$$M_E = + 933,0513 \text{ KN.m}$$

LAMPIRAN 3

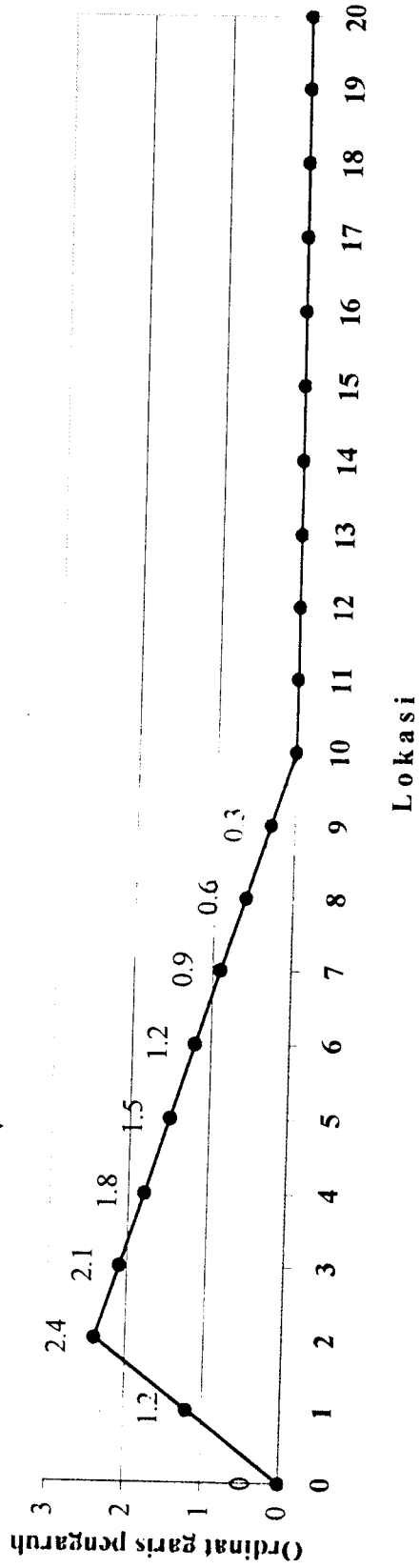
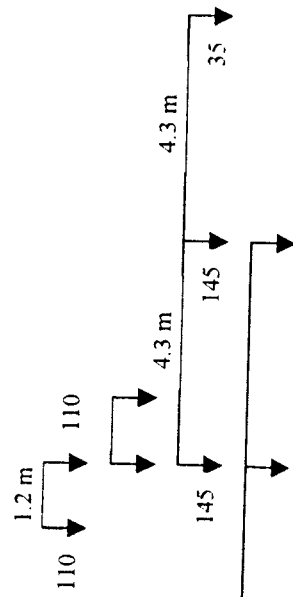
GARIS PENGARUH MOMEN

UNTUK BENTANG 30 M

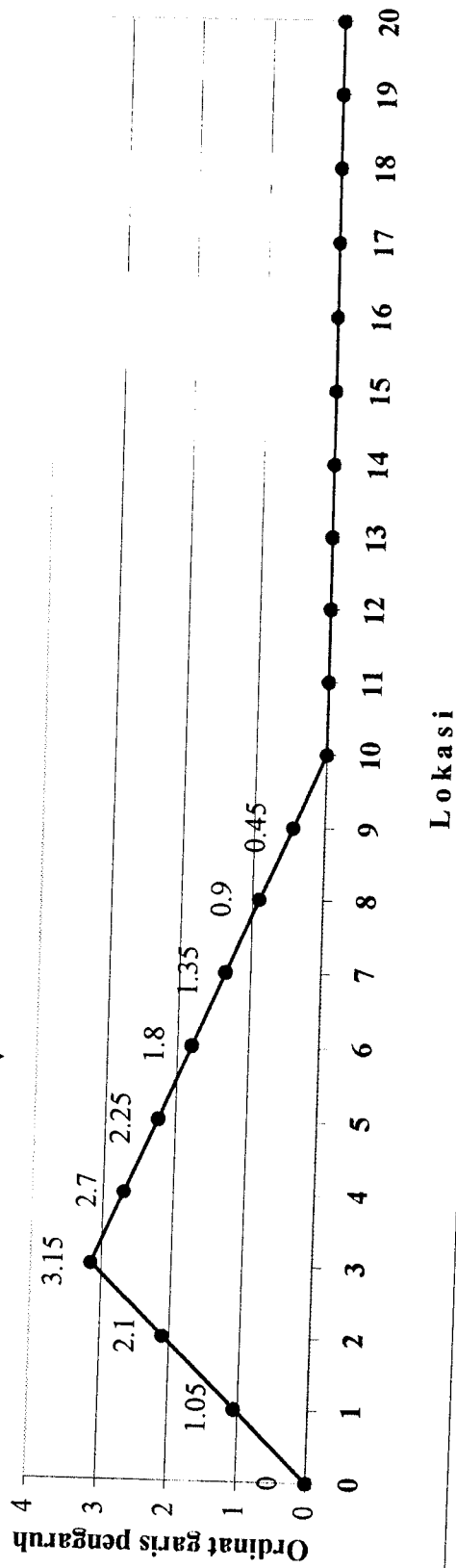
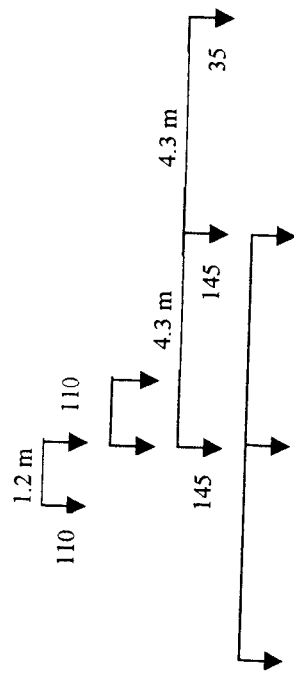
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 1 (GP M-1)



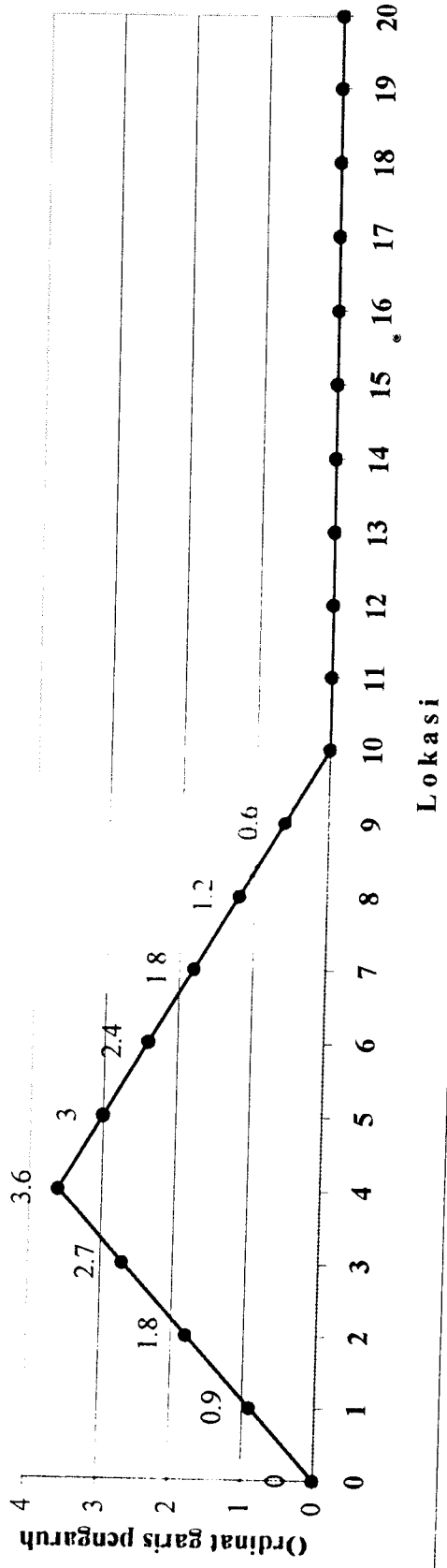
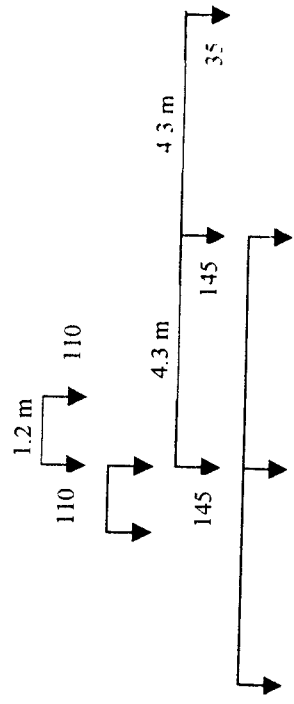
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 2 (GP M-2)



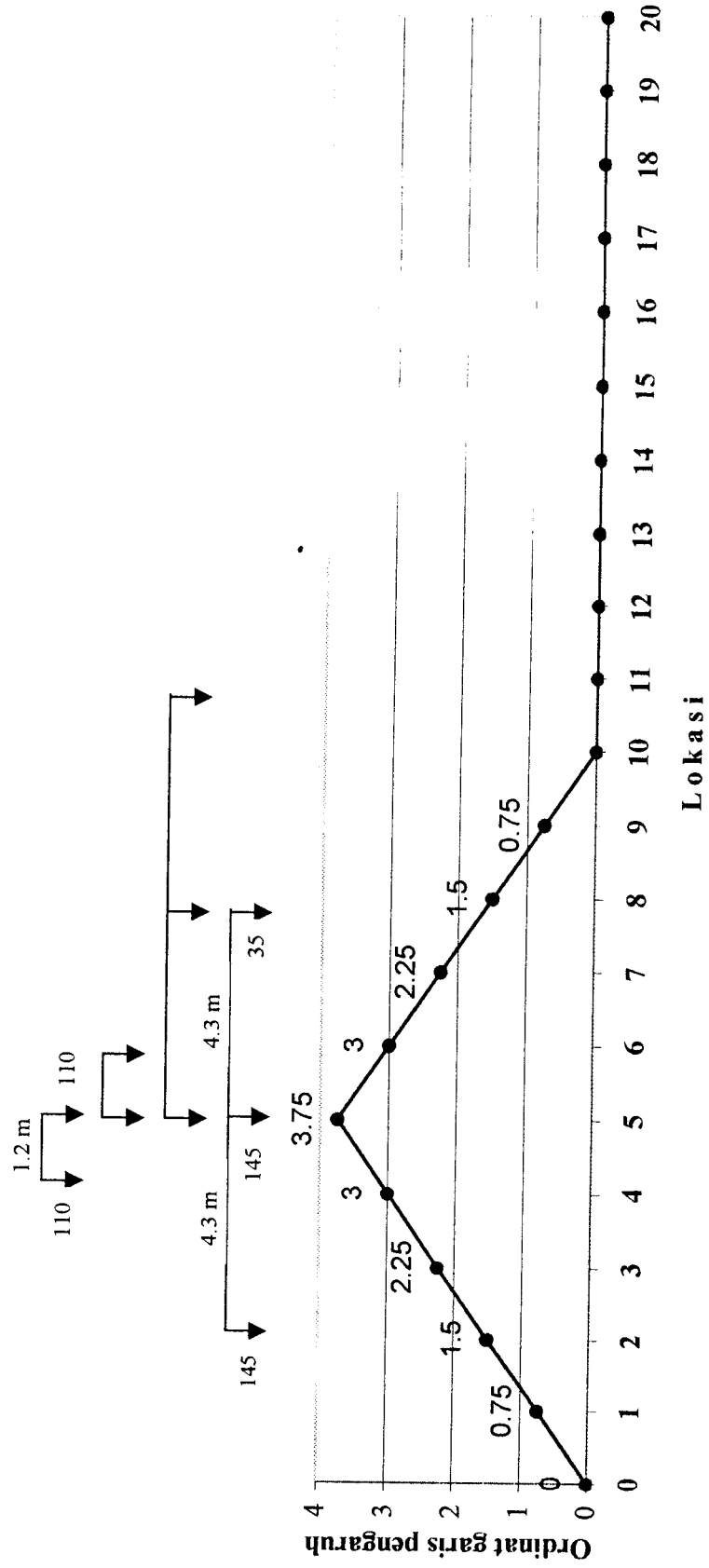
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 3 (GP M-3)



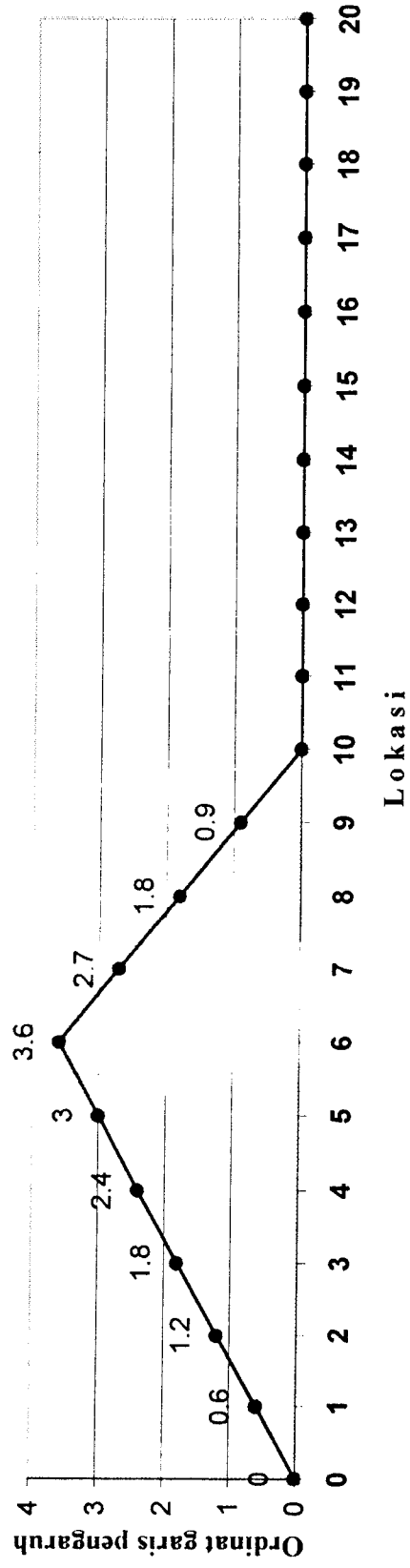
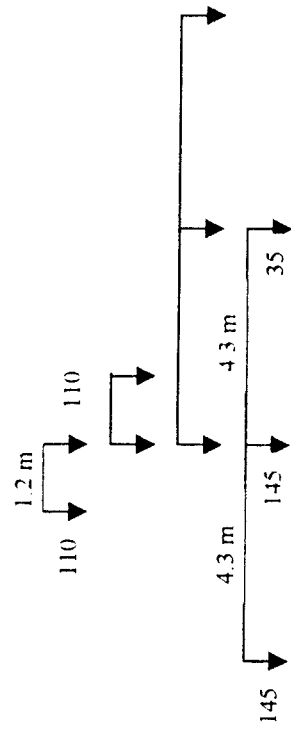
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 4 (GP M-4)



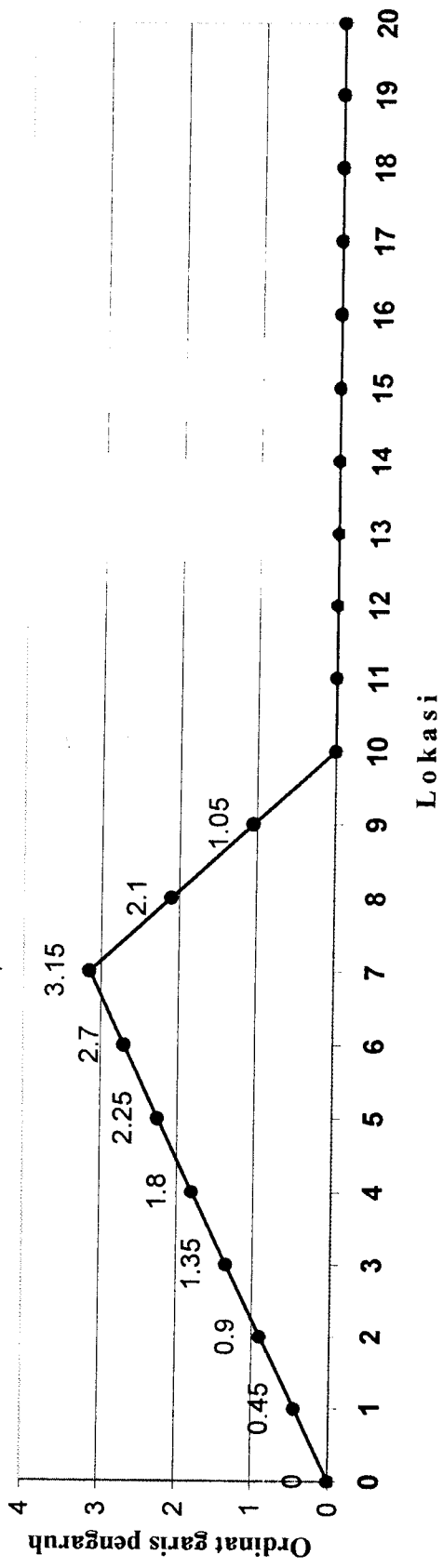
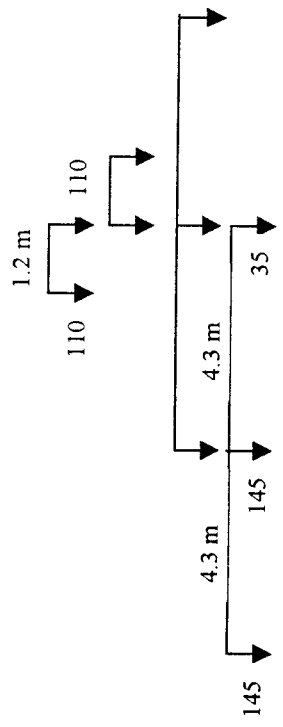
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 5 (GP M-5)



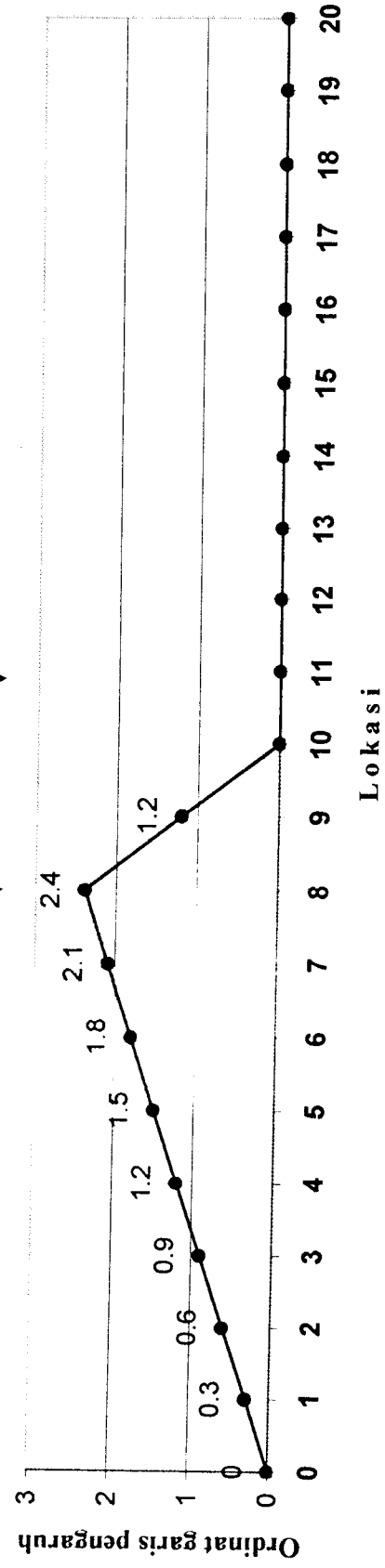
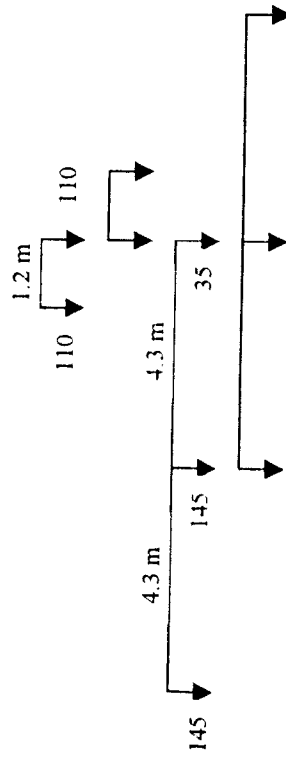
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 6 (GP M-6)



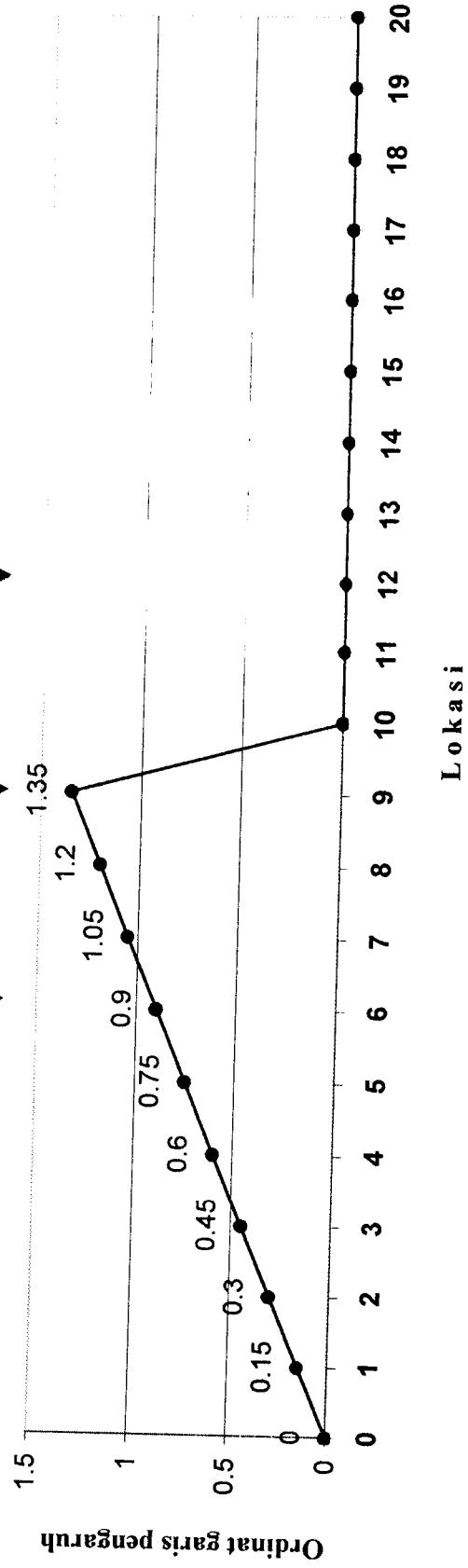
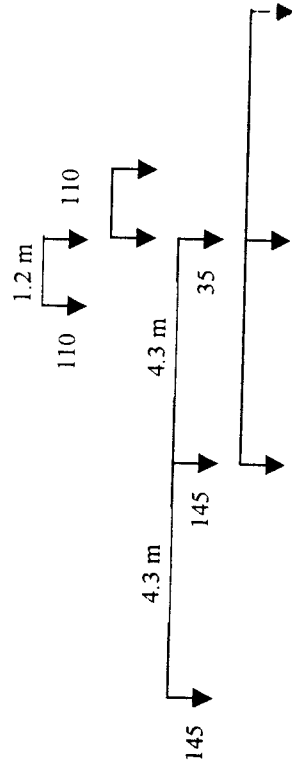
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 7 (GP M-7)



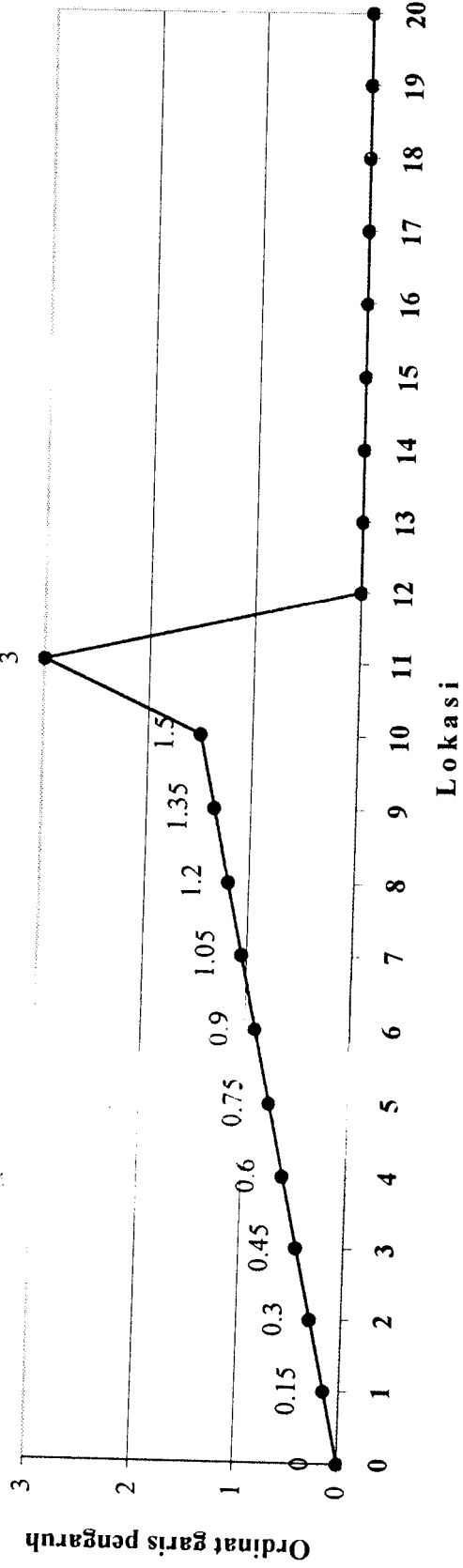
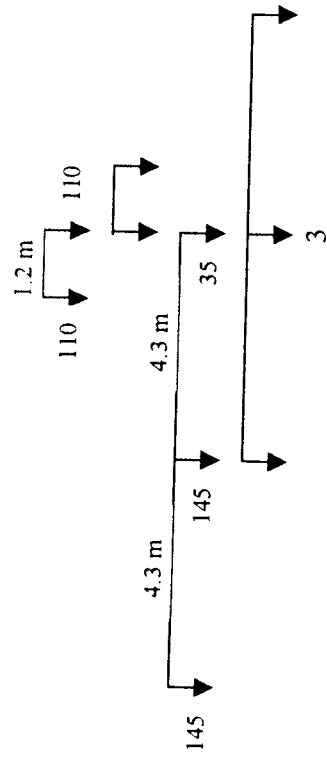
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 8 (GP M-8)



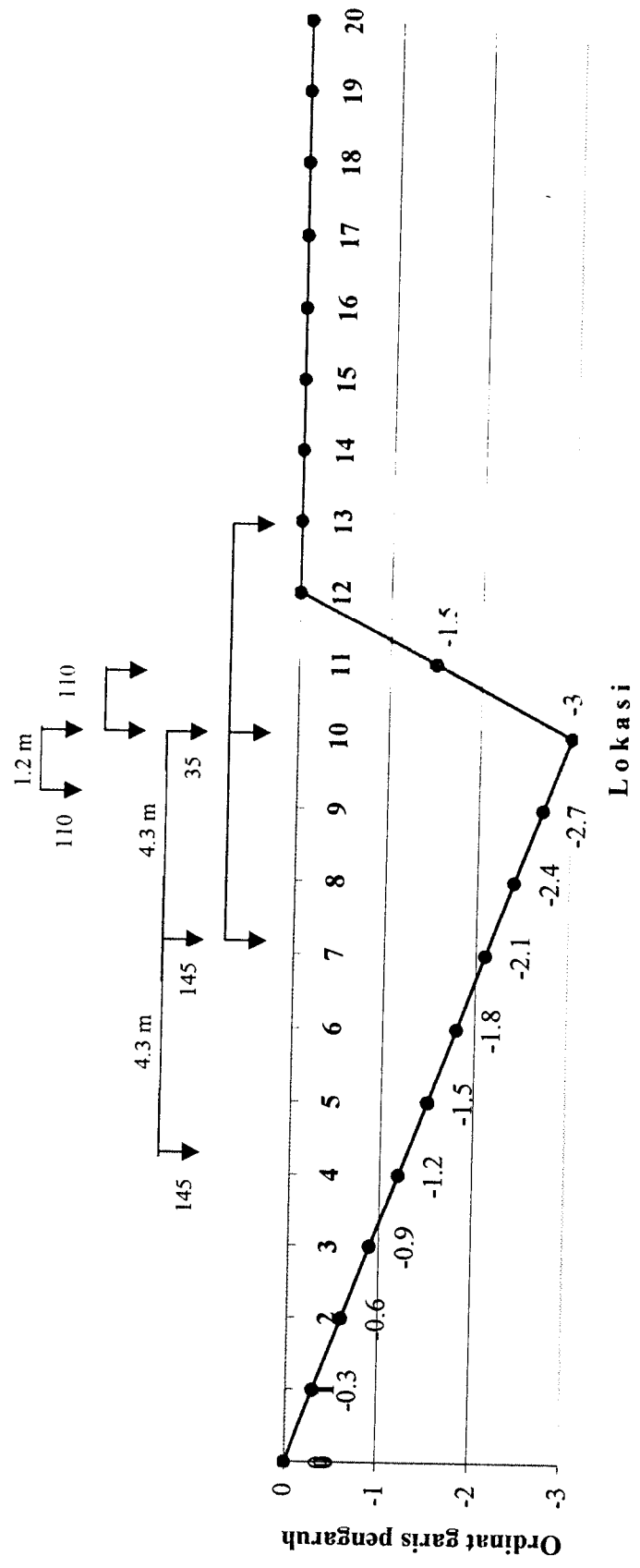
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 9 (GP M -9)



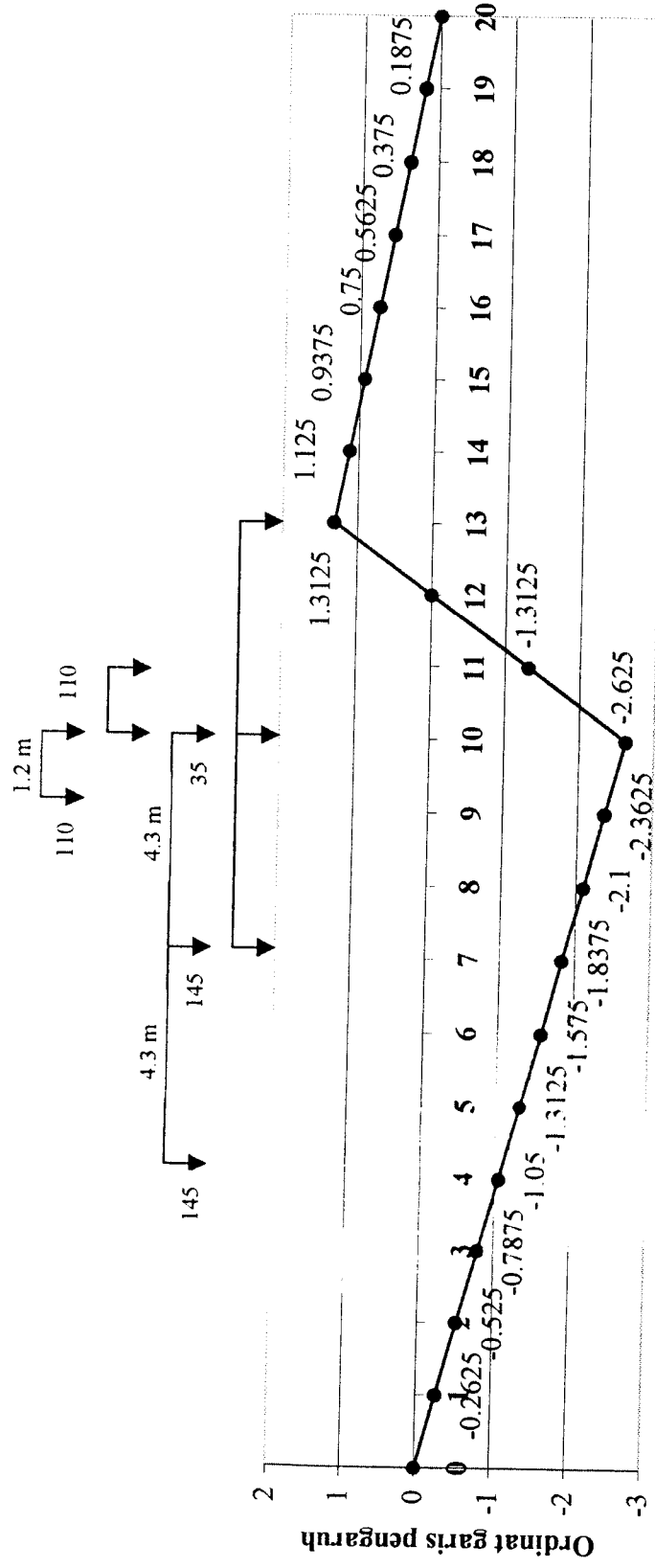
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 11 (GP M-11)



GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 12 (GP M-12)

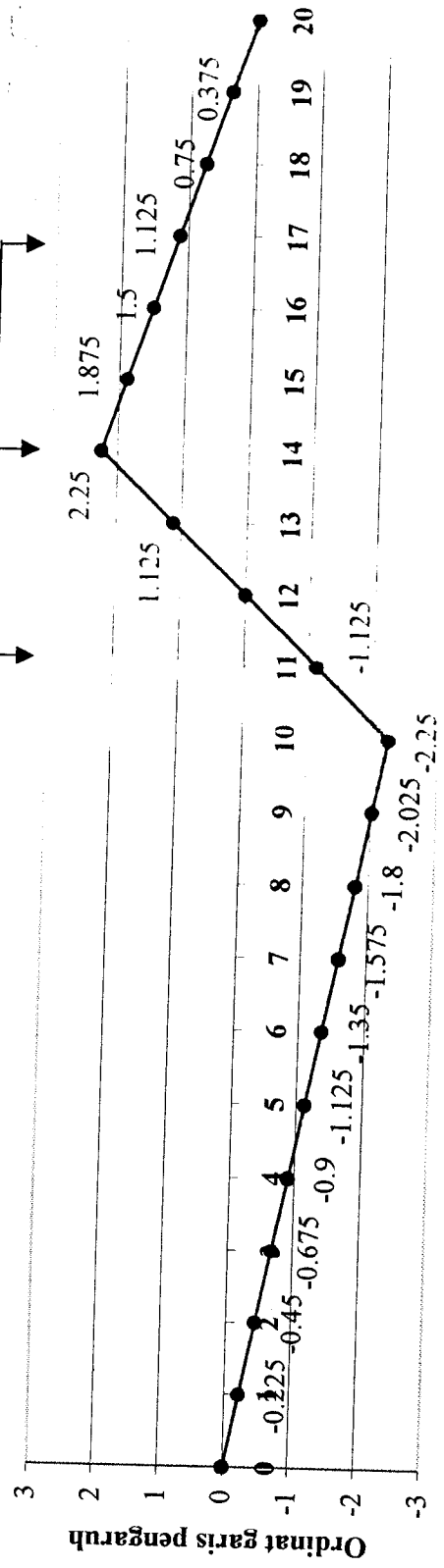
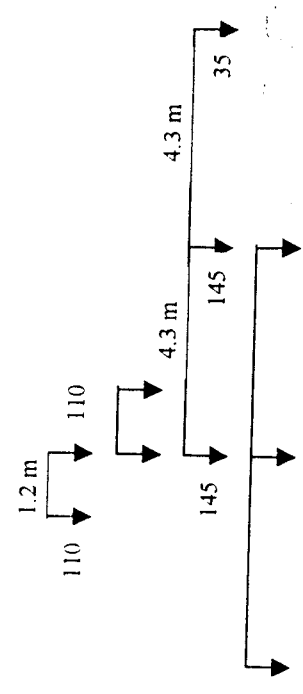


GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 13 (GP M-13)



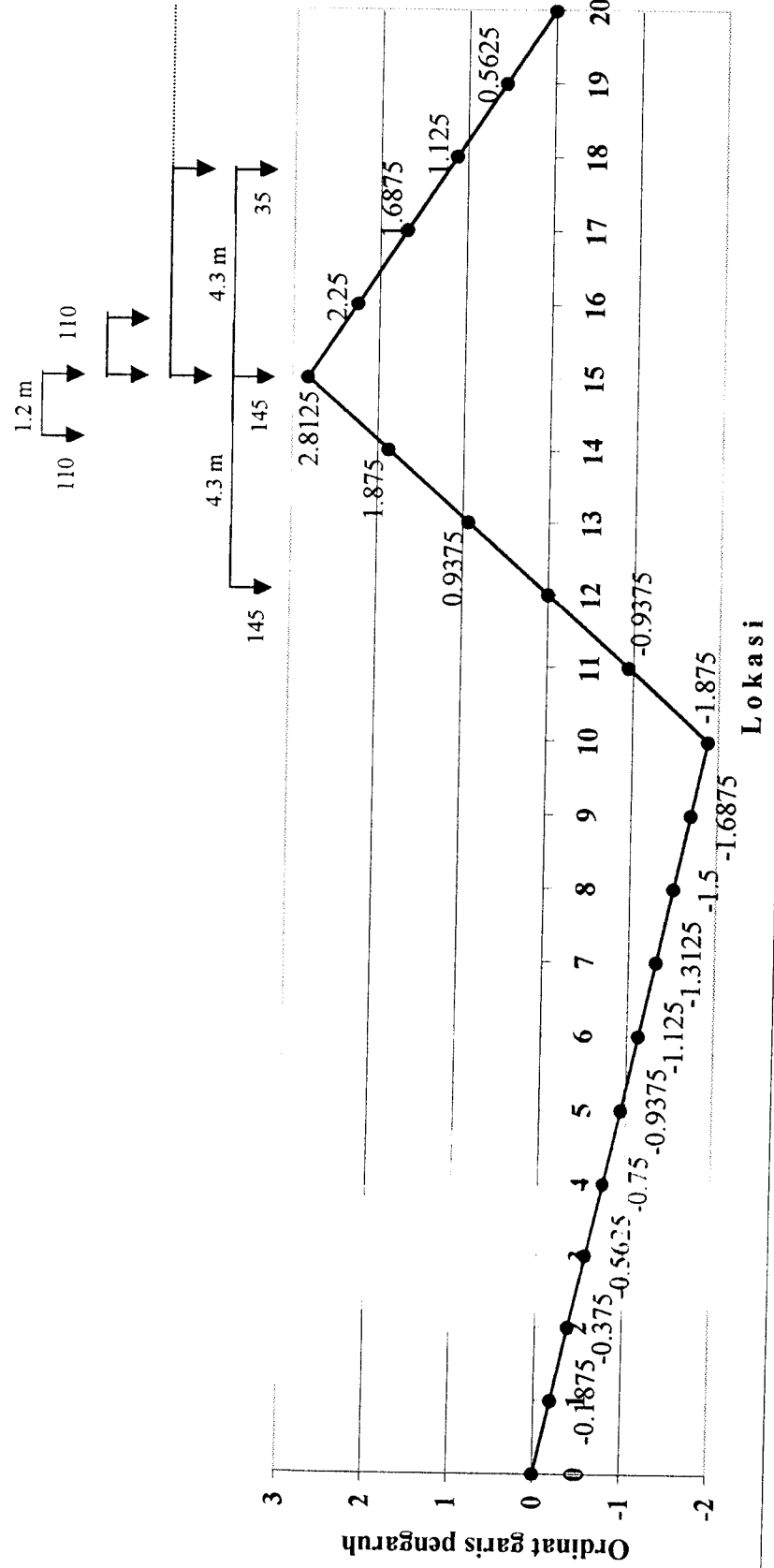
Lokasi

GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 14 (GP M-14)

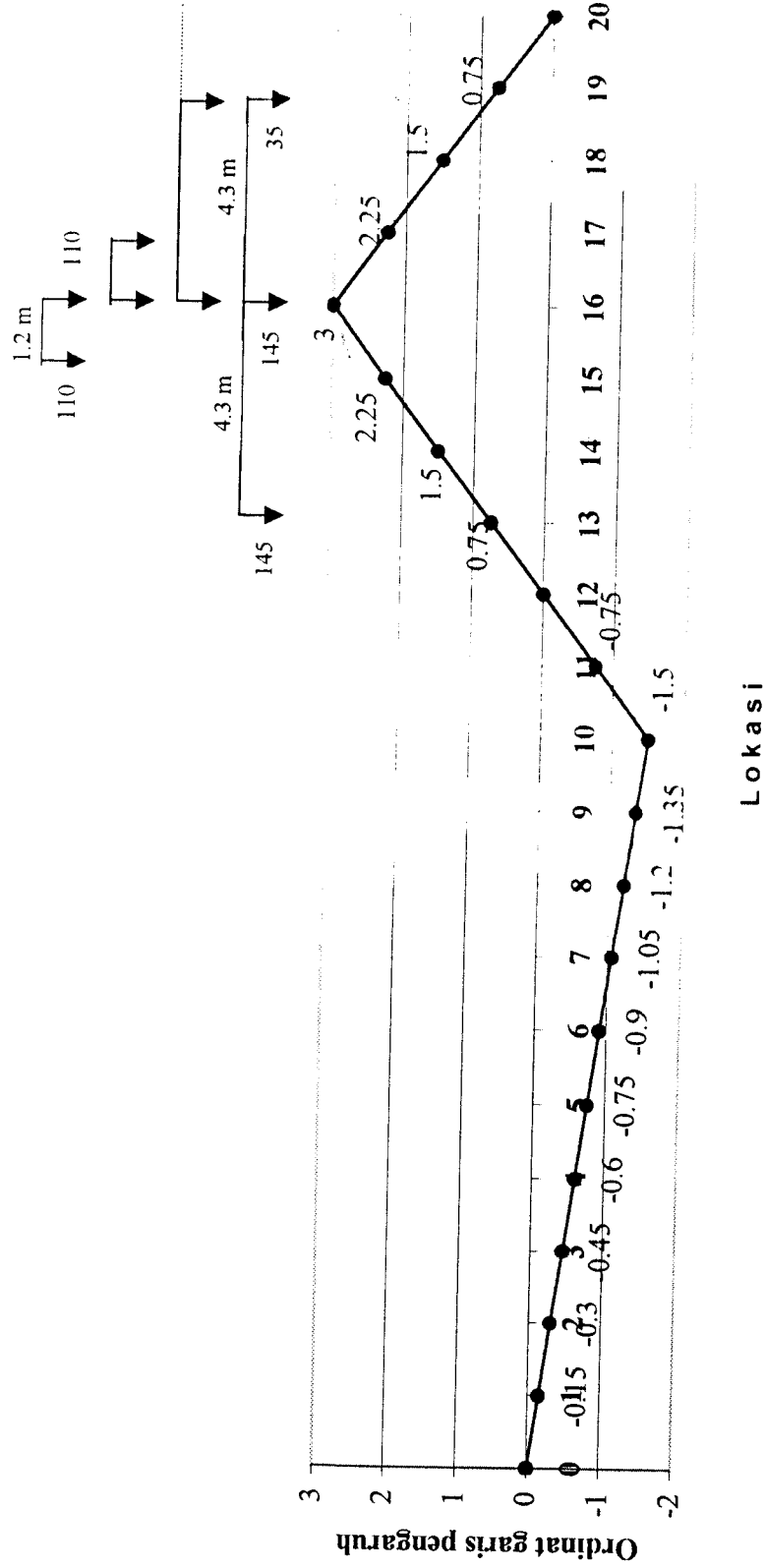


Lokasi

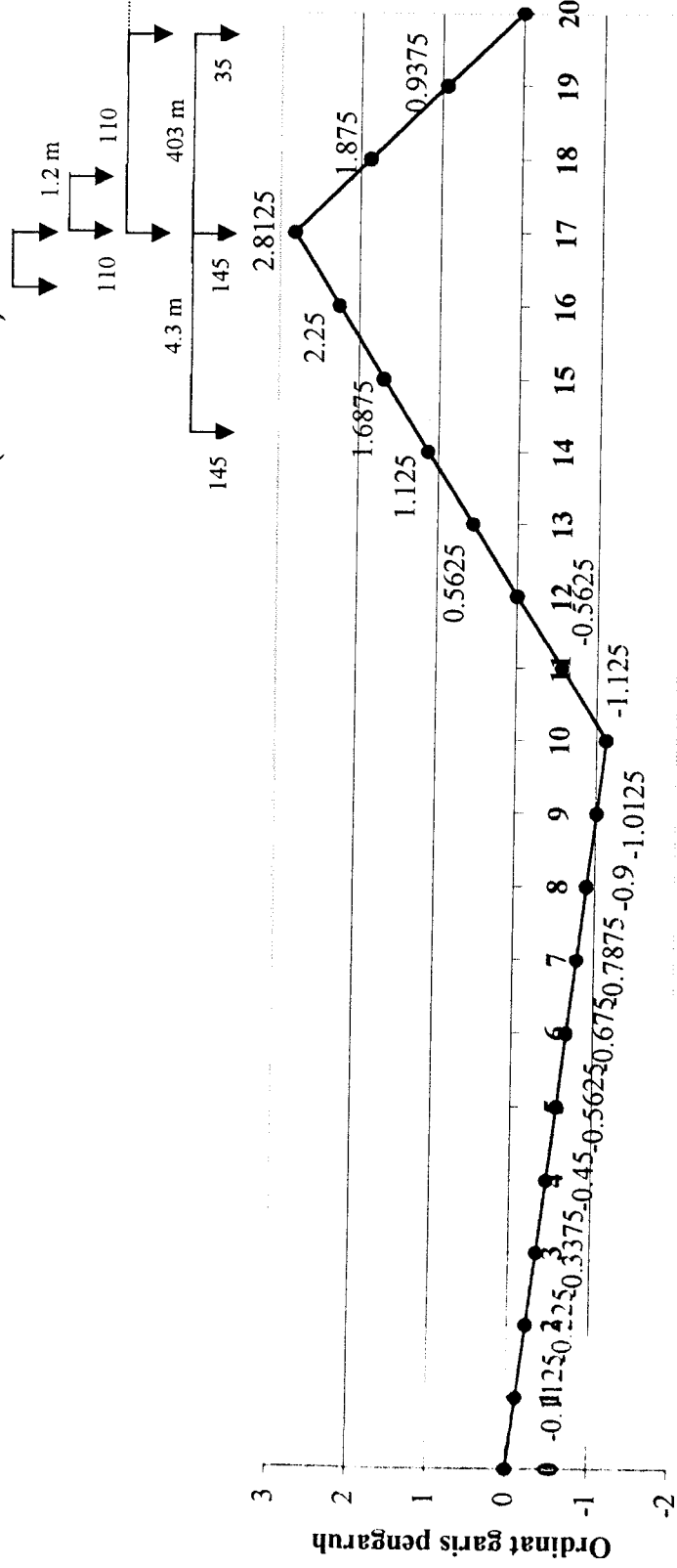
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 15 (GP M-15)



GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 16 (GP M-16)

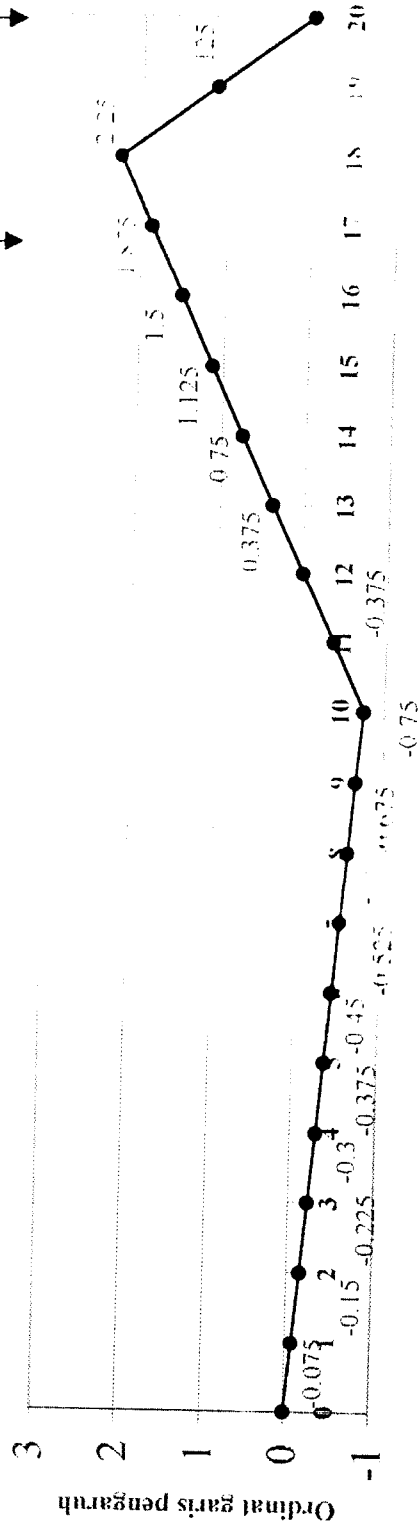
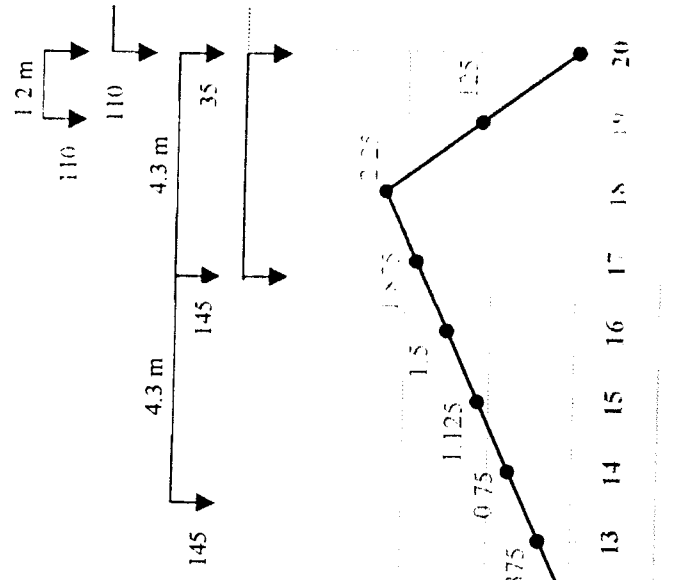


GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 17 (GP M-17)



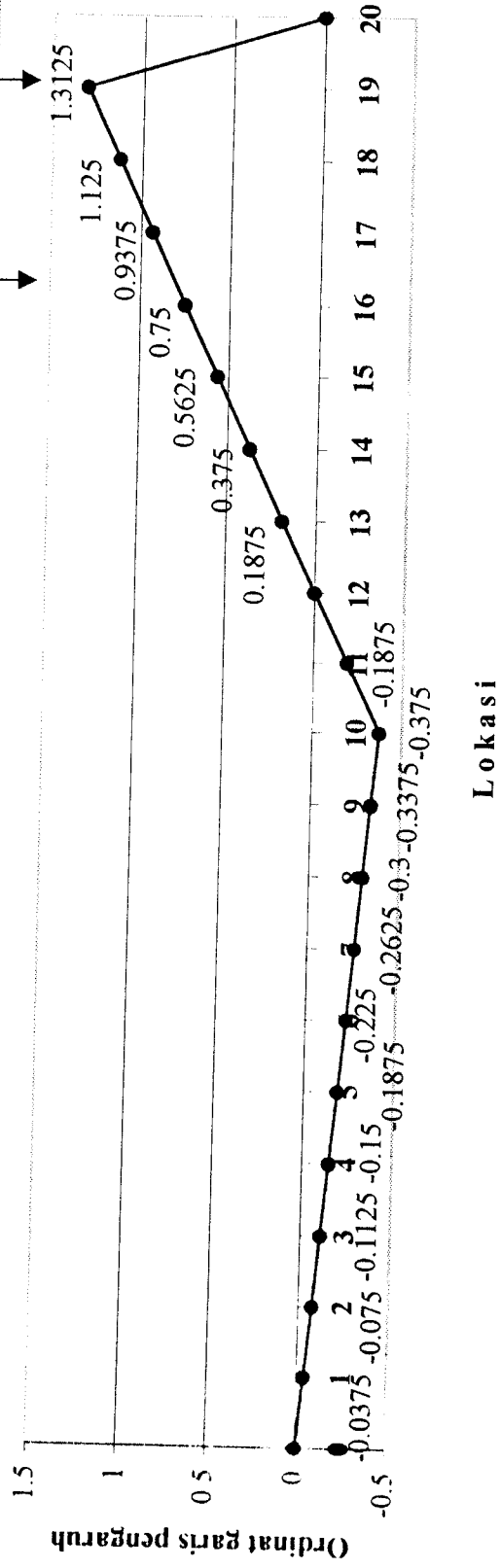
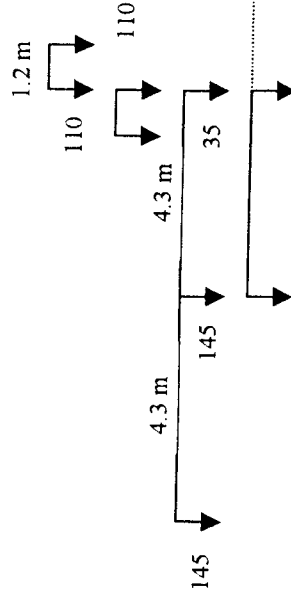
Lokasi

GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 18 (GP M-18)



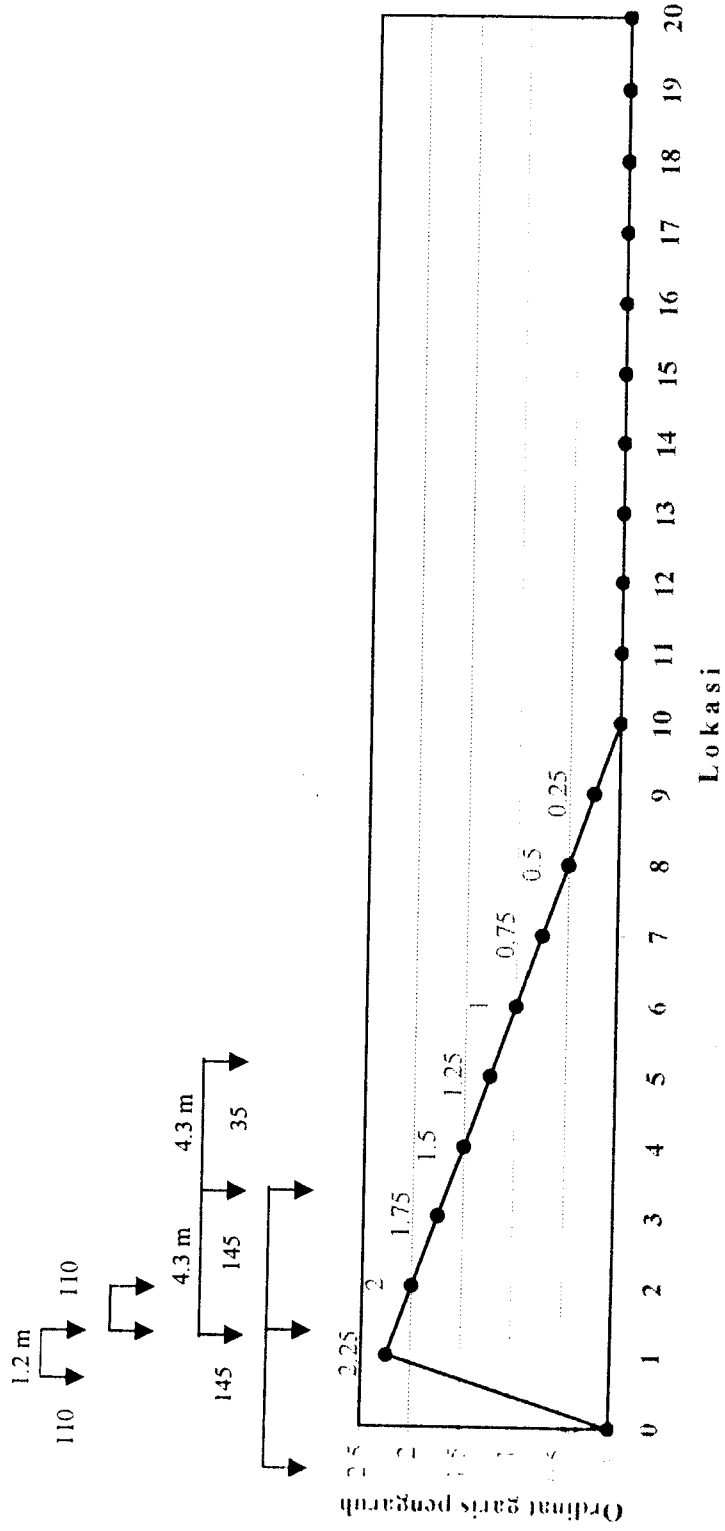
Lokasi

GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 19 (GP M-19)

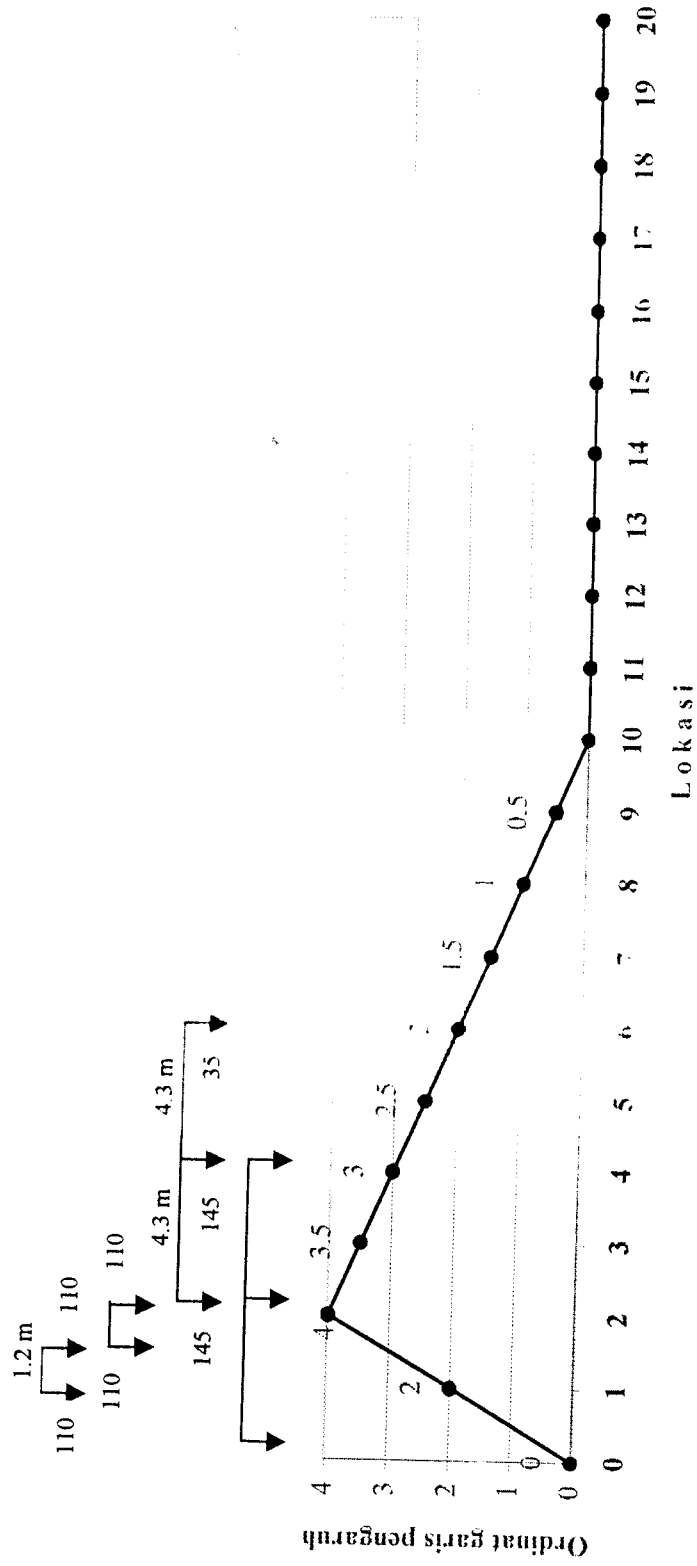


GARIS PENGARUH MOMEN
UNTUK BENTANG 50 M

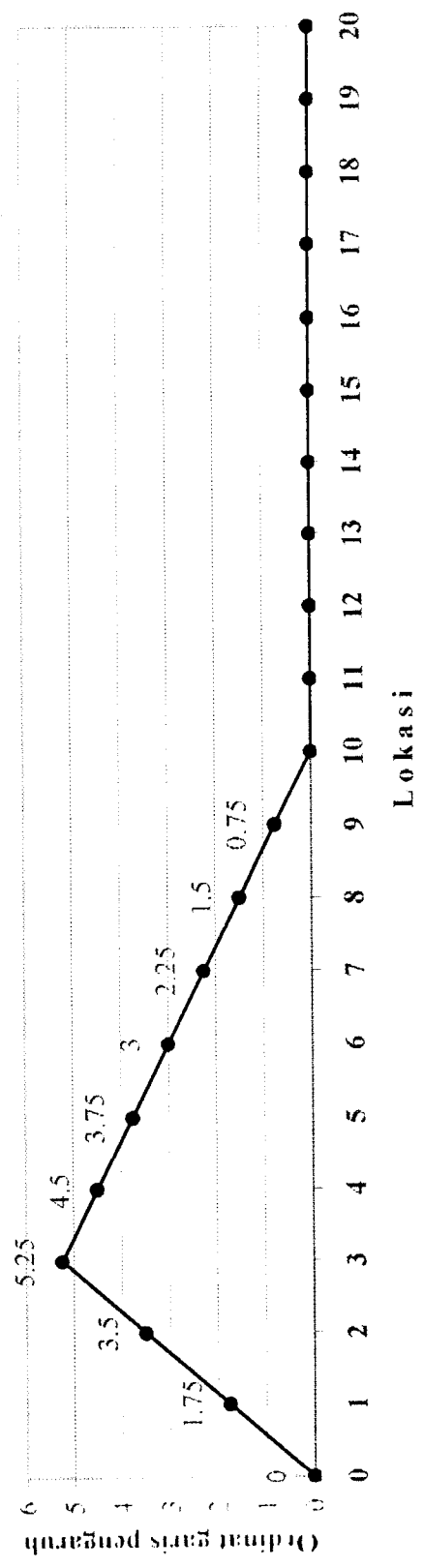
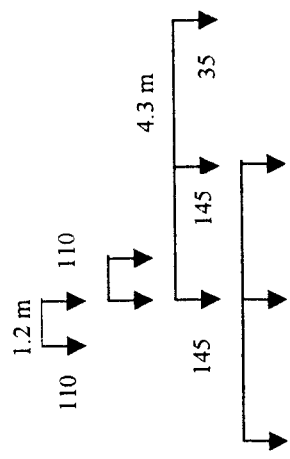
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI I (GP M-1)



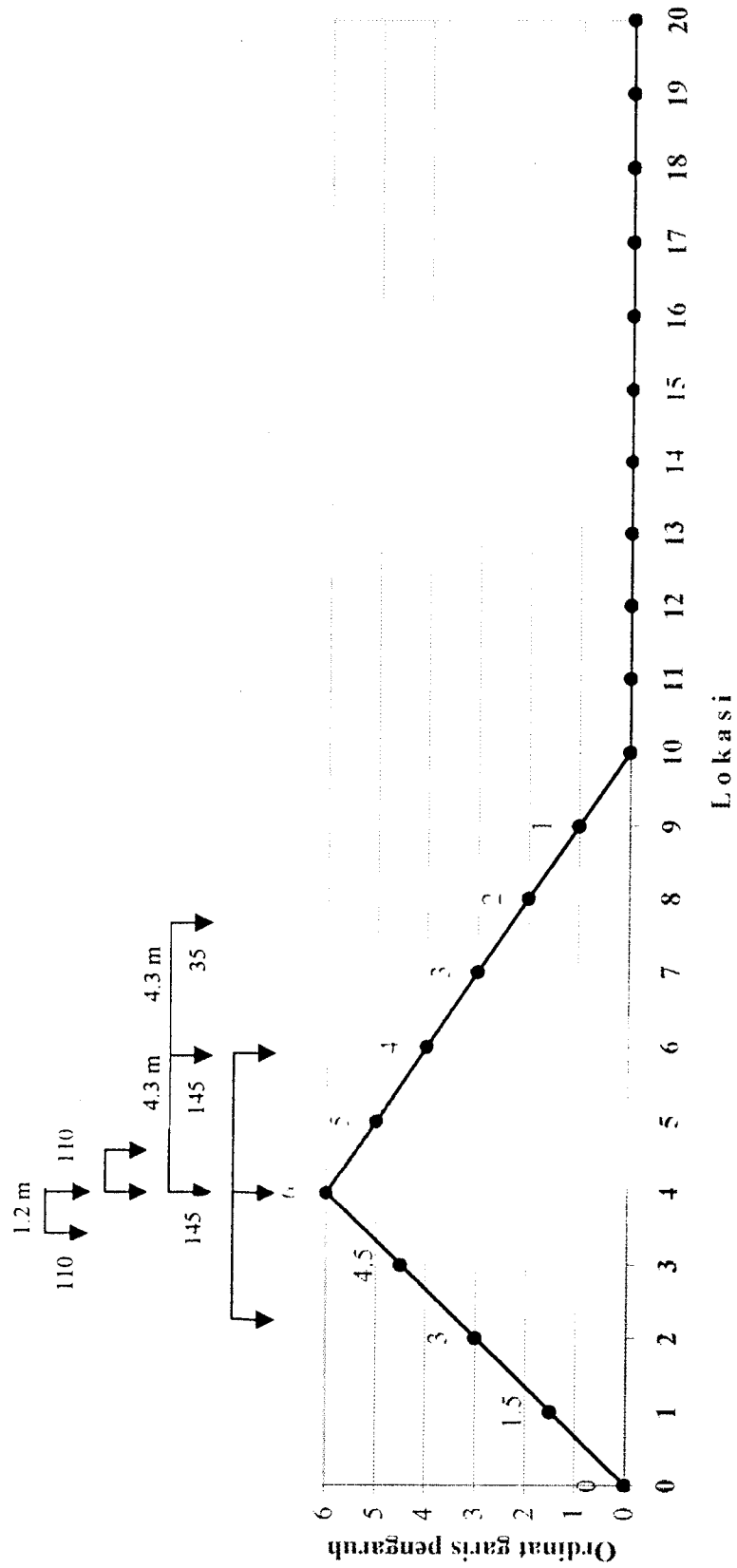
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 2 (GP M-2)



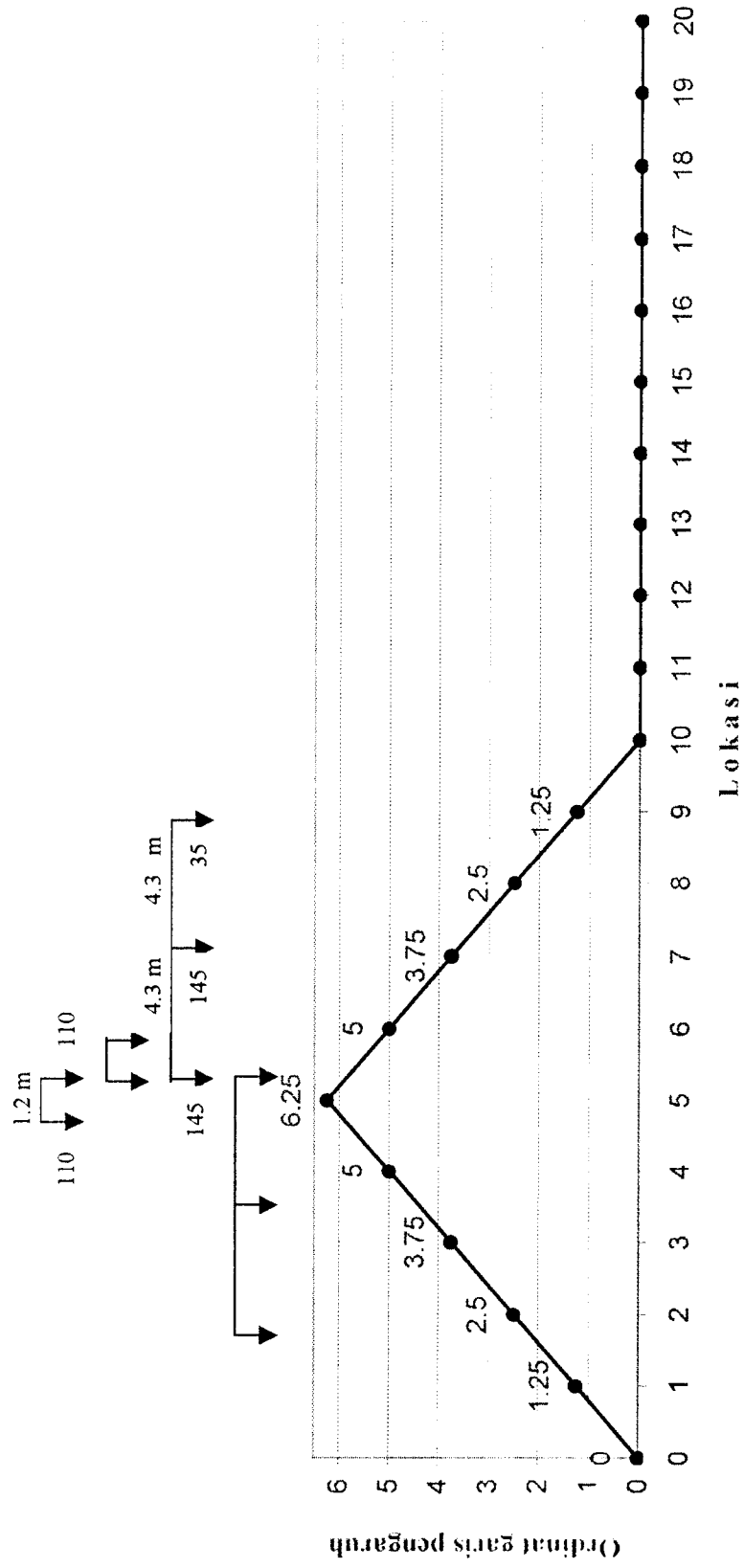
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 3 (GP M-3)



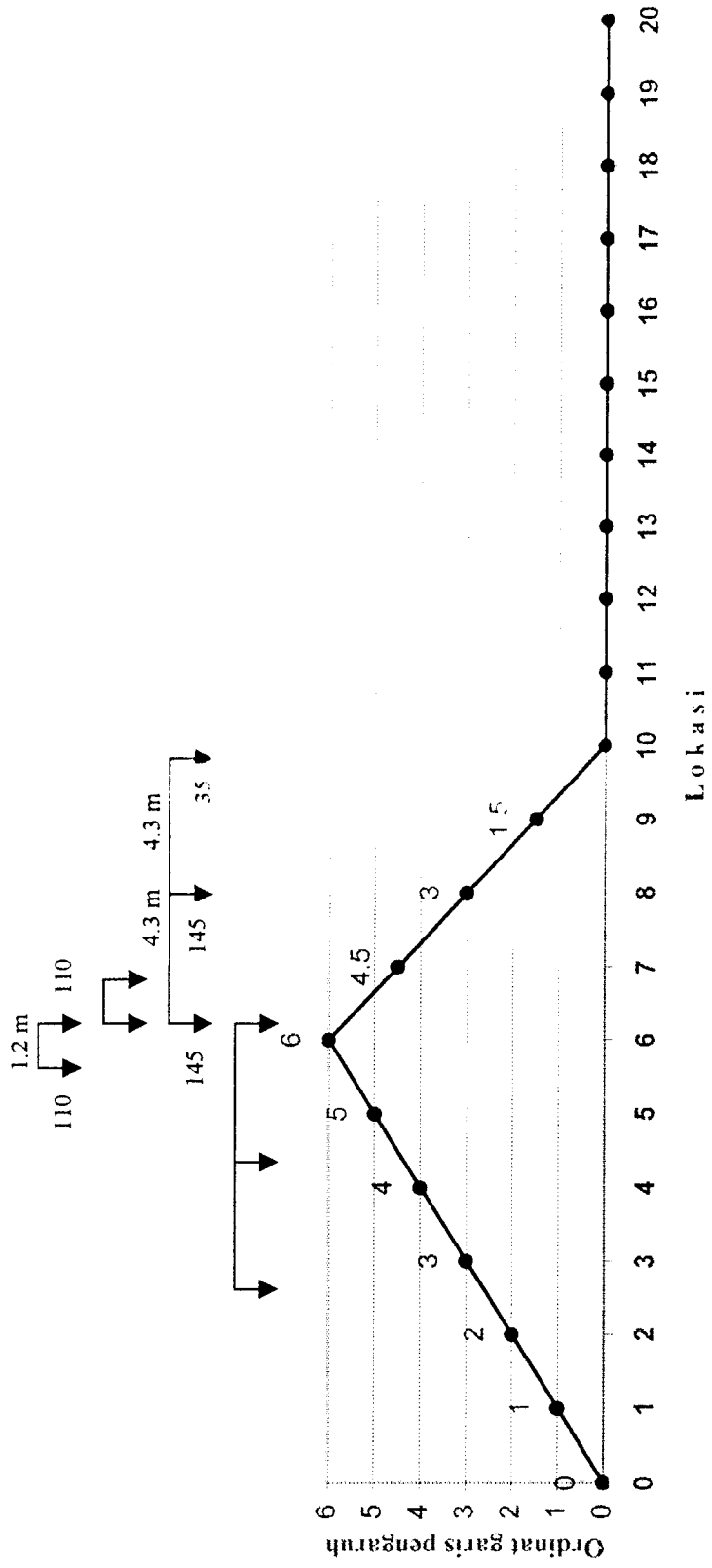
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 4 (GP M-4)



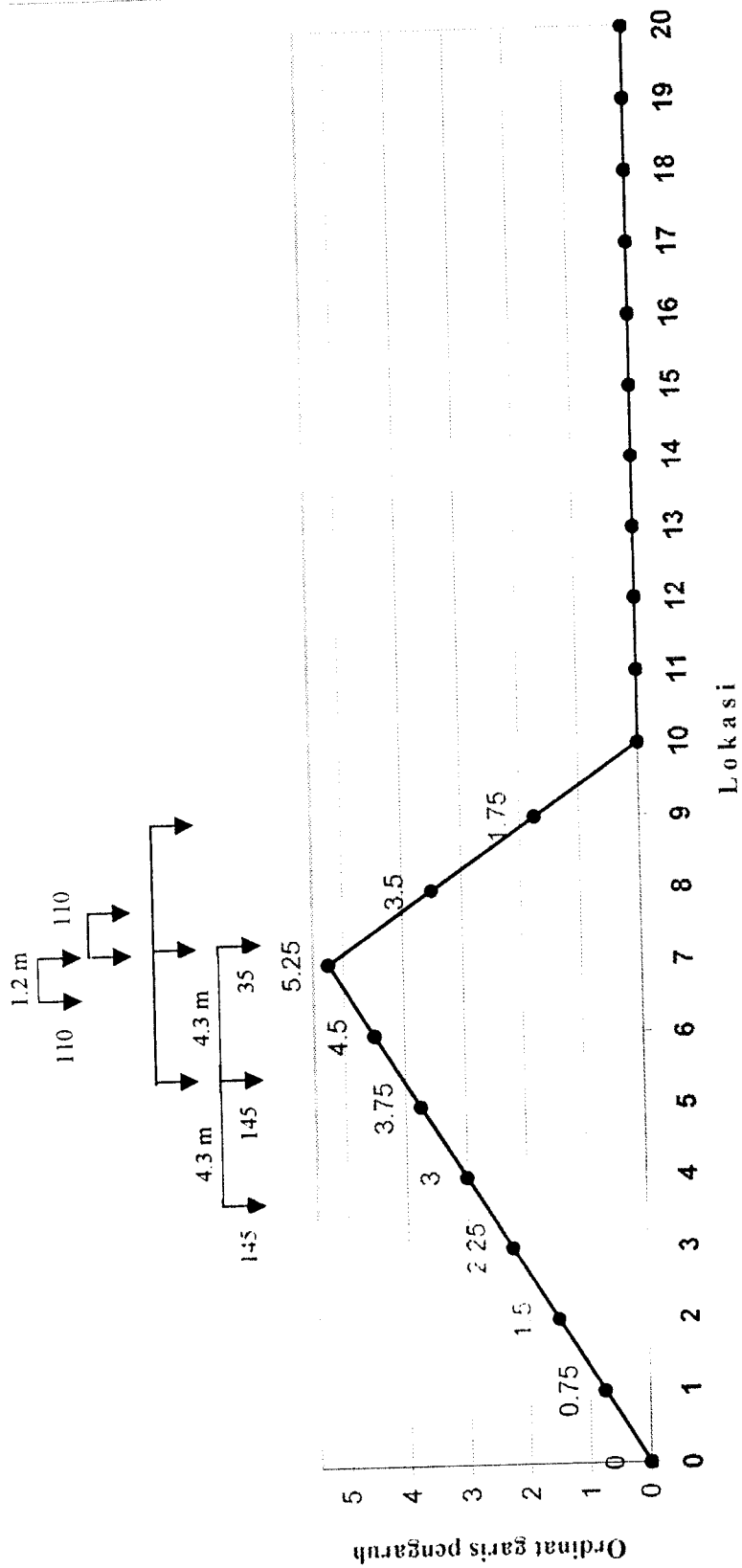
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 5 (GP M-5)



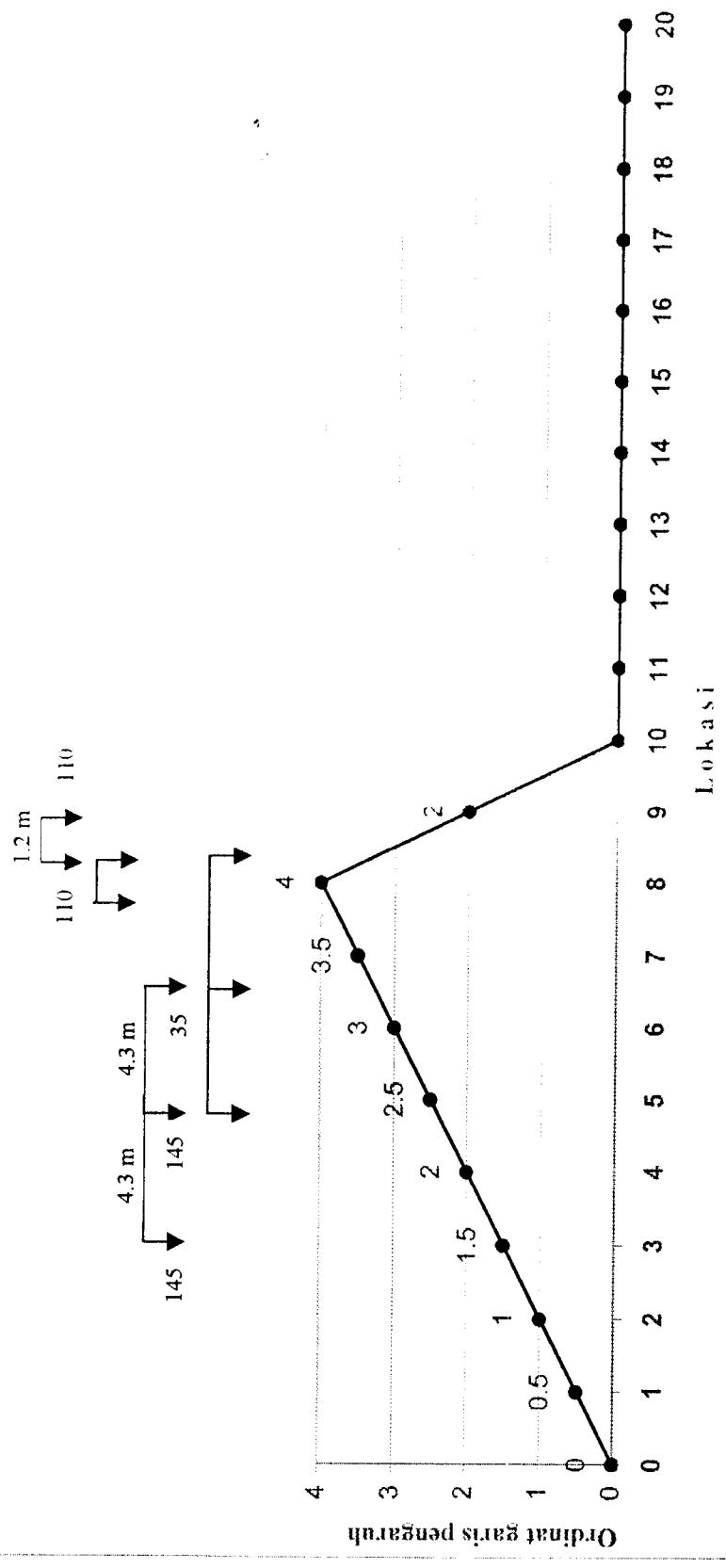
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 6 (GP M-6)



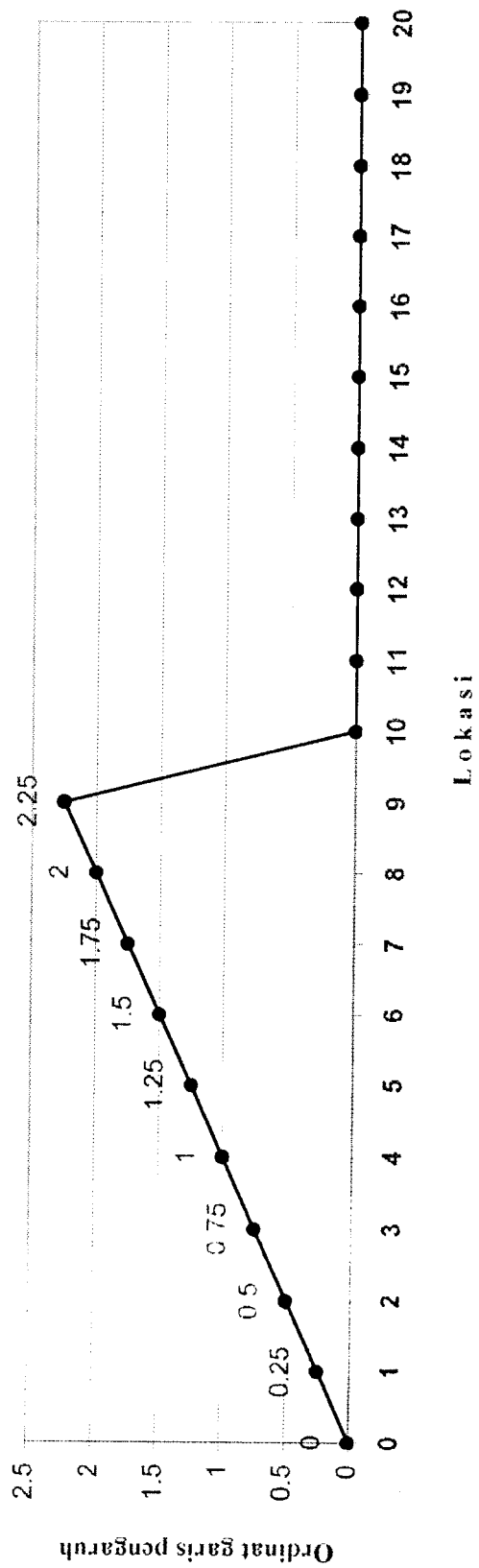
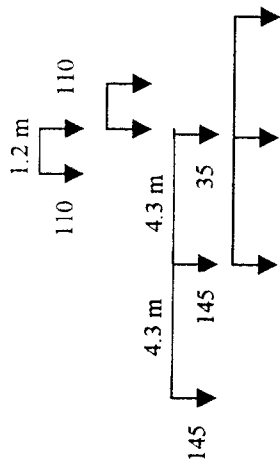
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 7 (GP M-7)



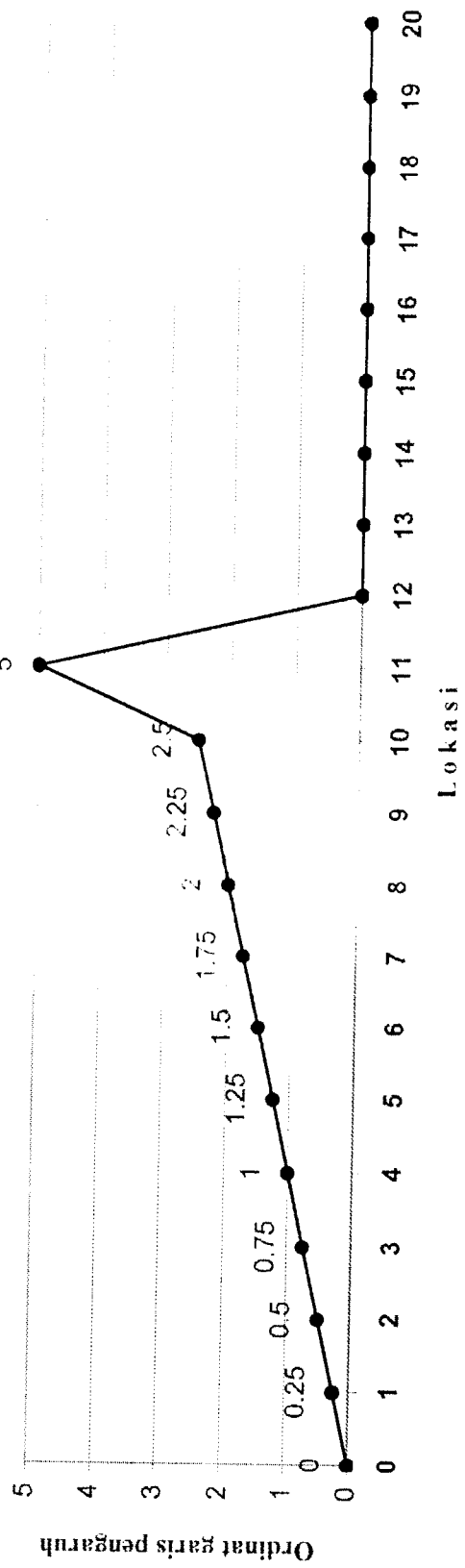
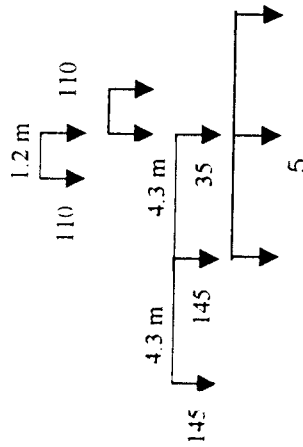
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 8 (GP M-8)



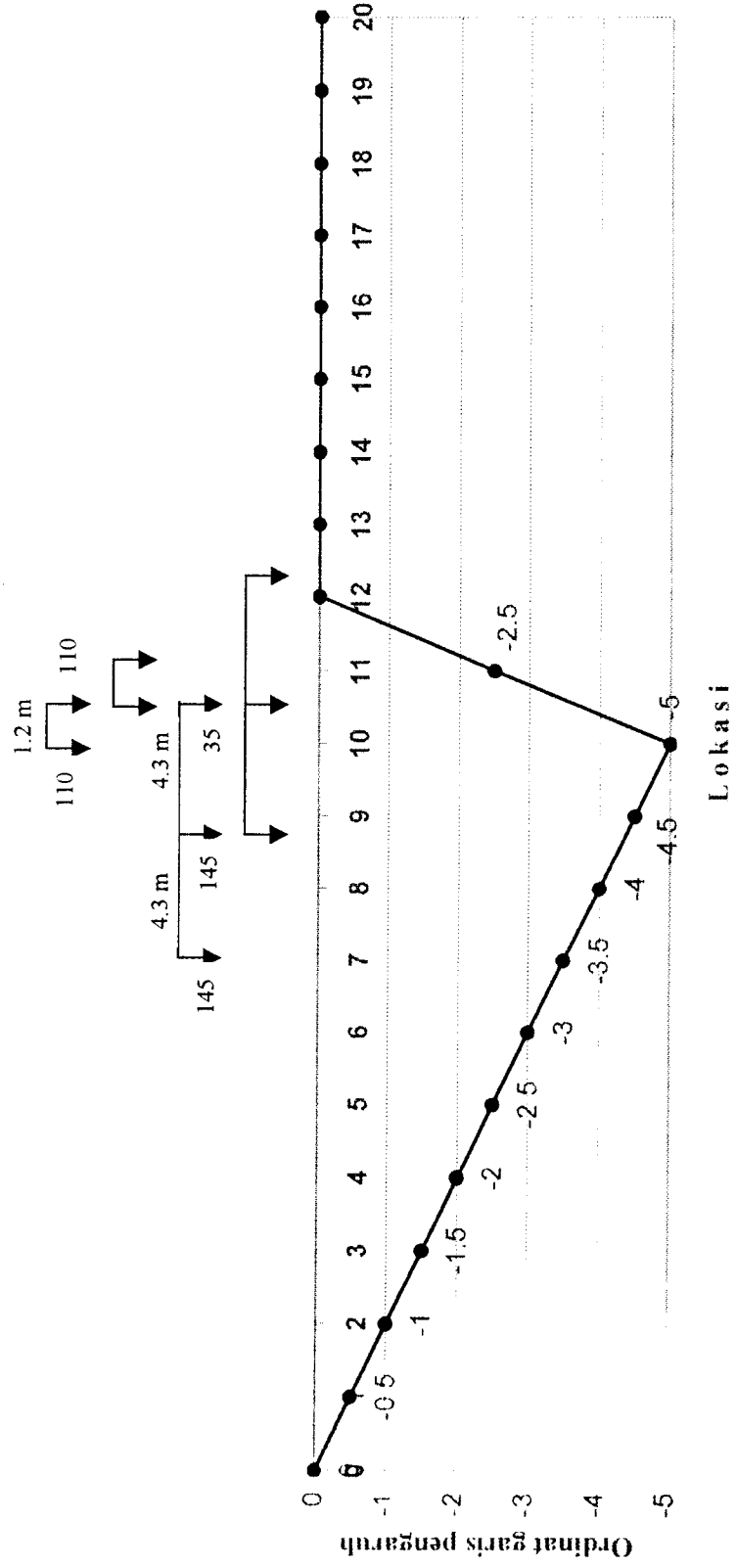
GRAFIK GARIS PENGARUH DI LOKASI9 (GP M-9)



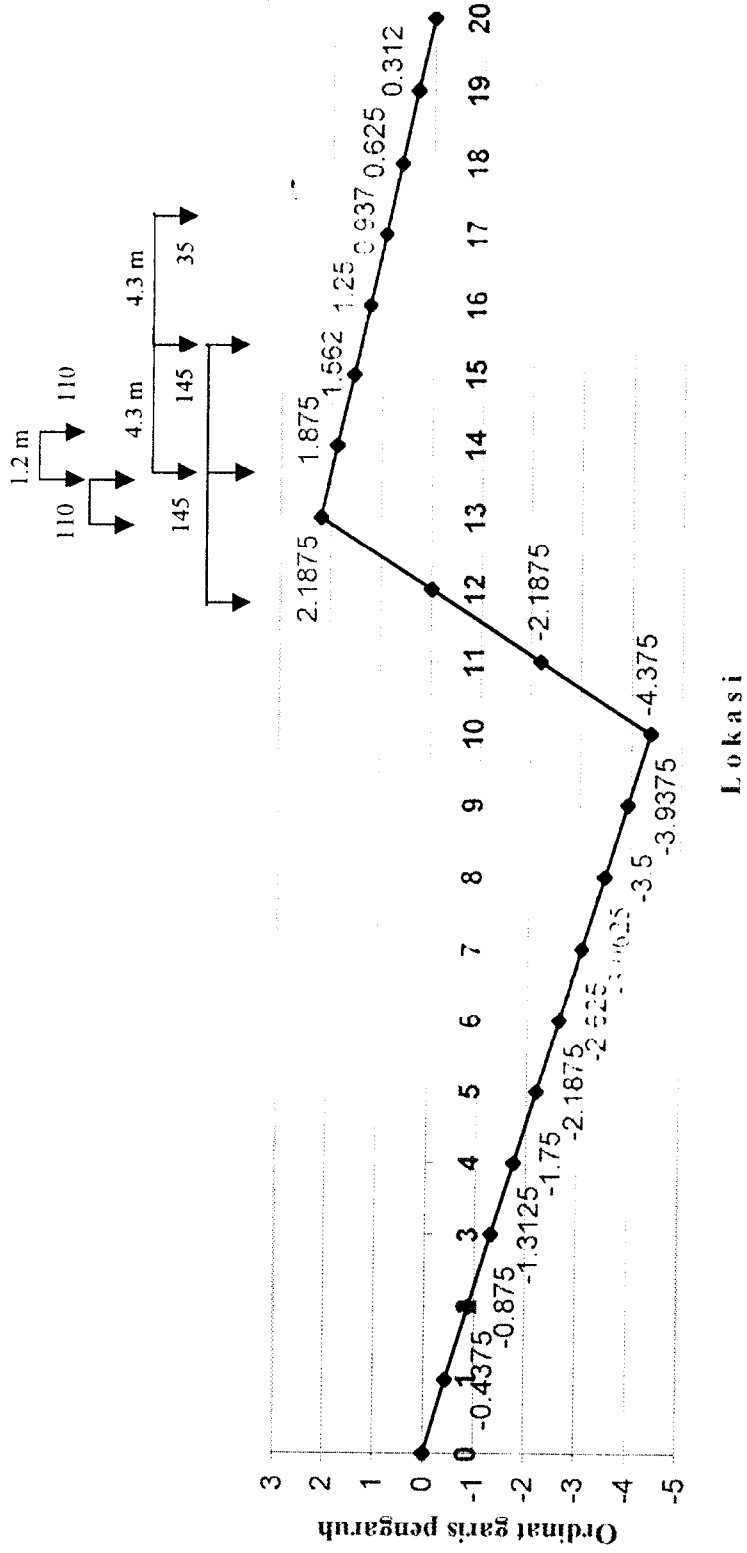
GRAFIK GARIS PENGARUH DI LOKASI 11 (GP M-11)



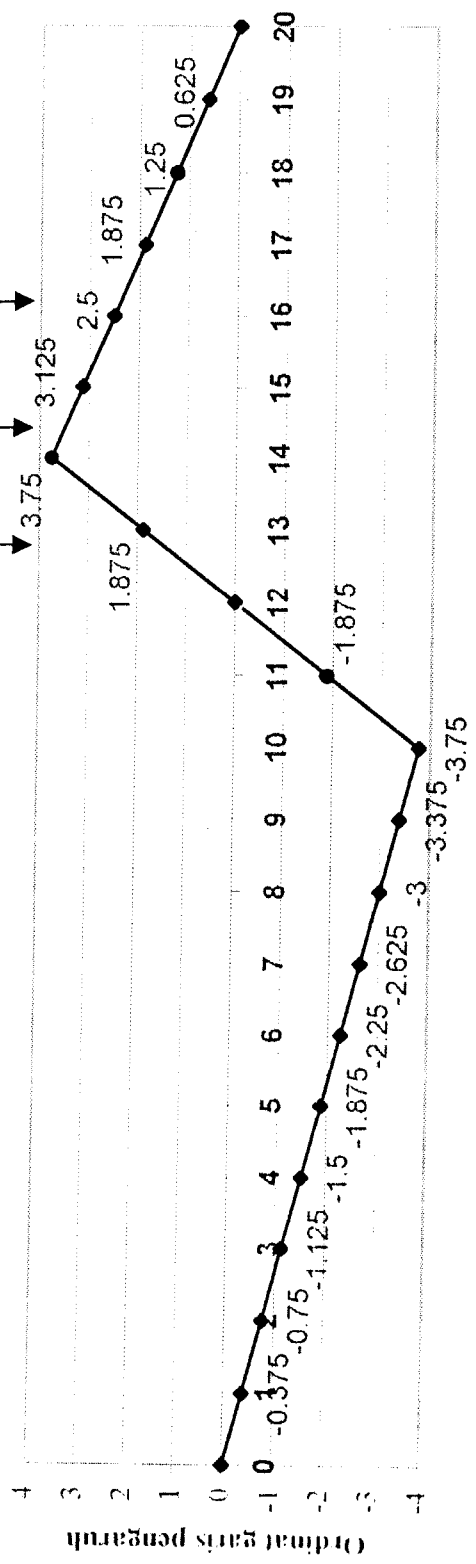
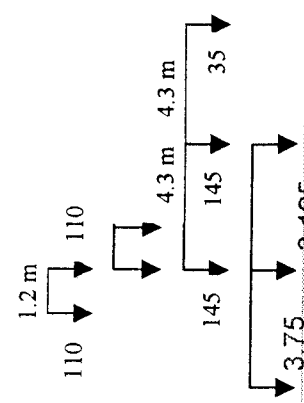
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 12 (GP M-12)



GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 13 (GP M-13)

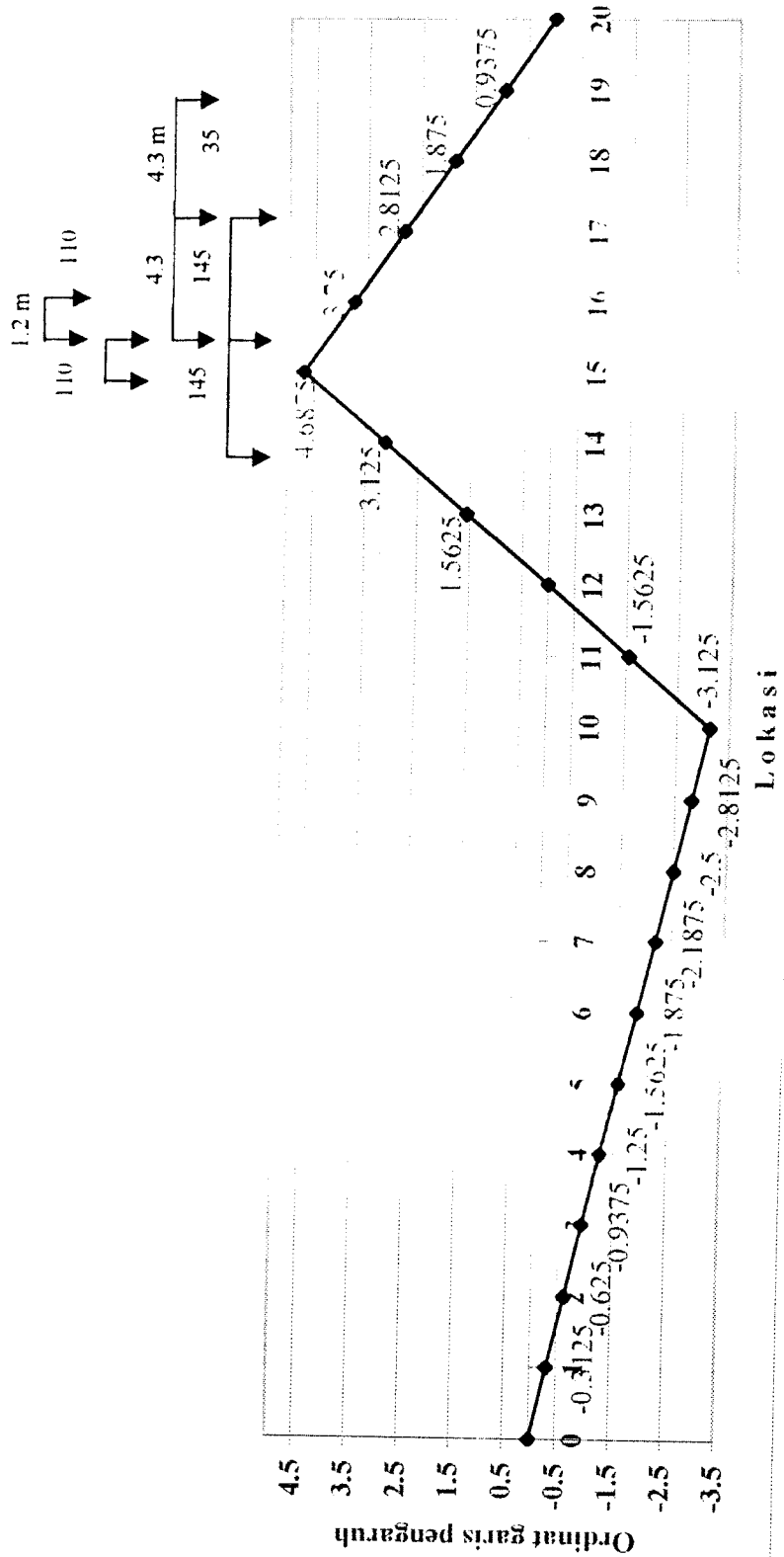


GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI I4 (GP M-14)

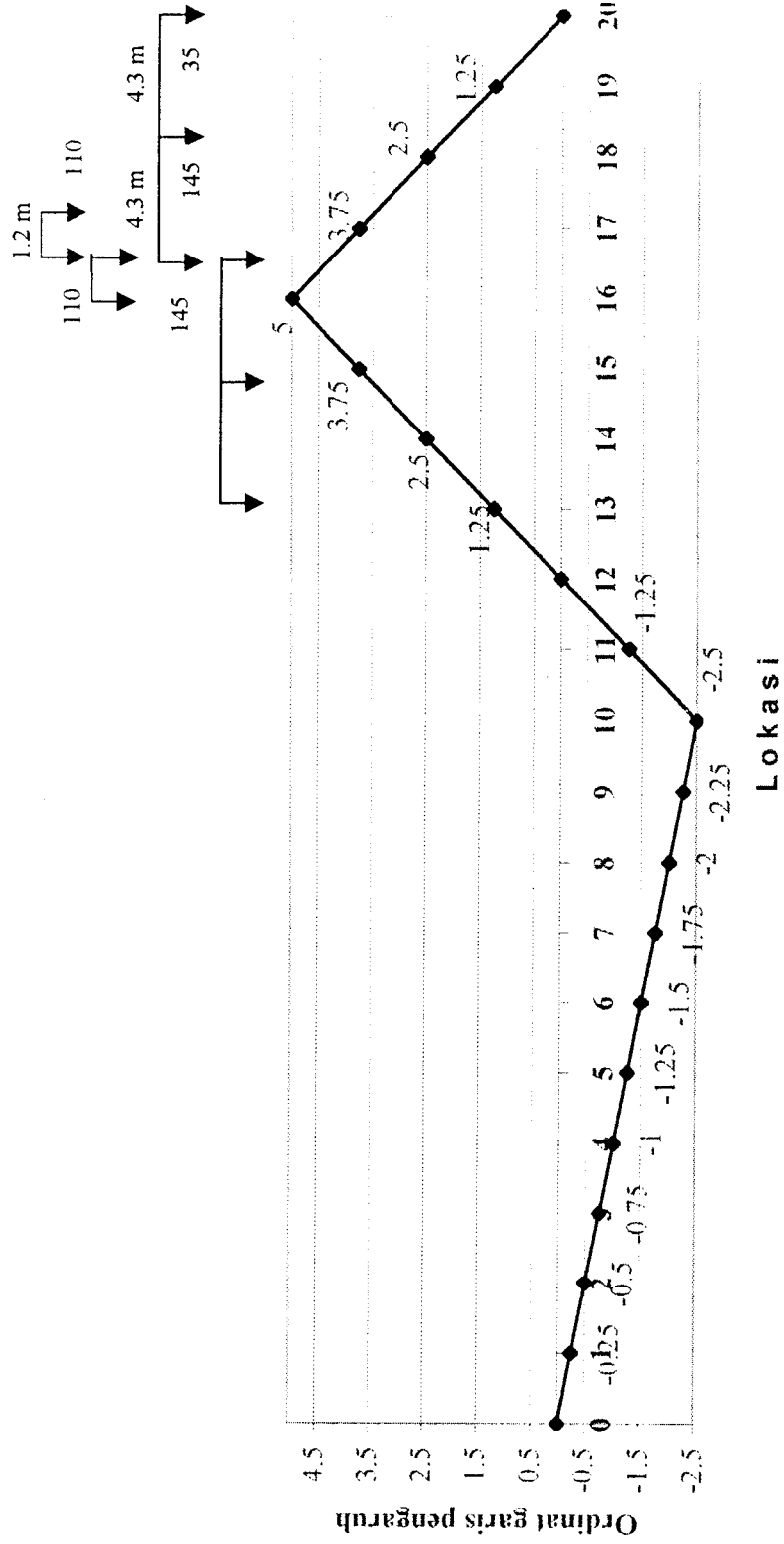


Lokasi

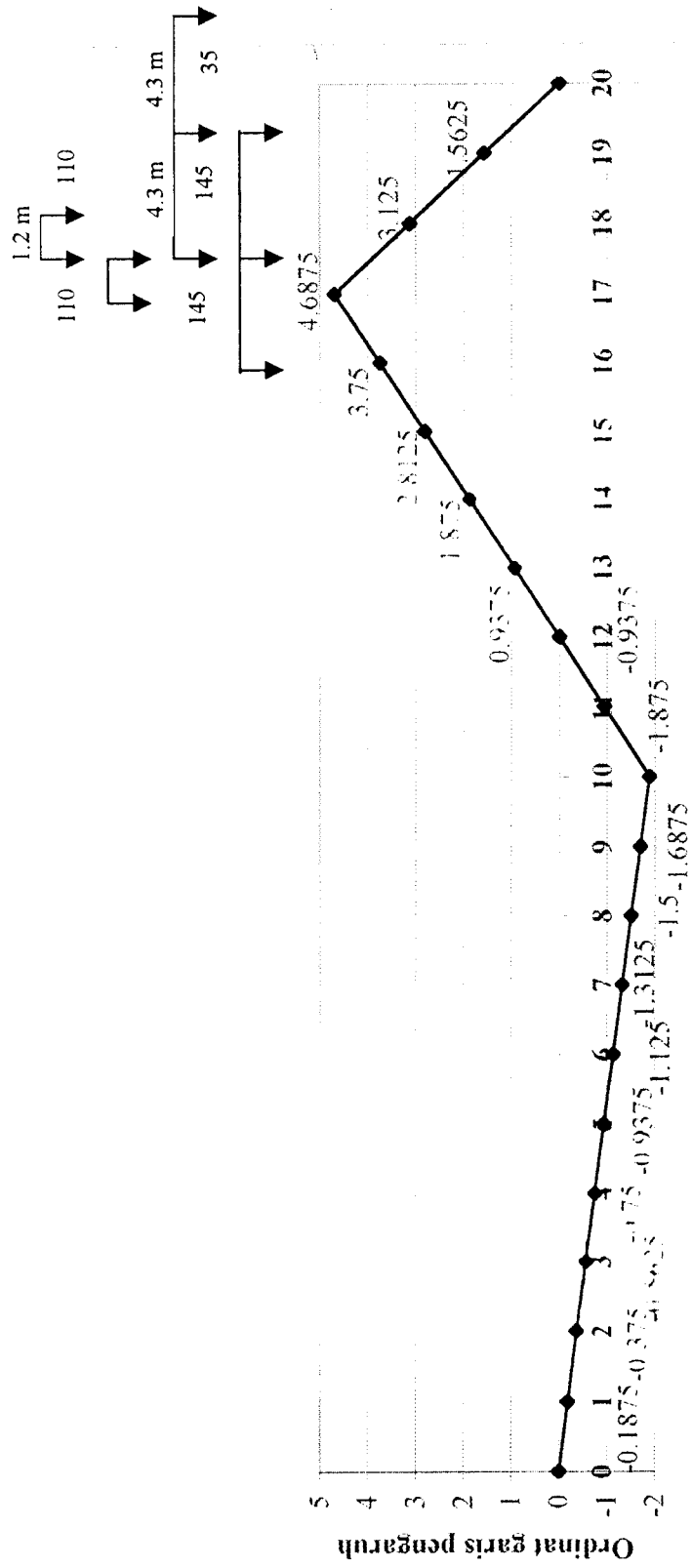
GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 15 (GP M-15)



GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI I6 (GP M-16)

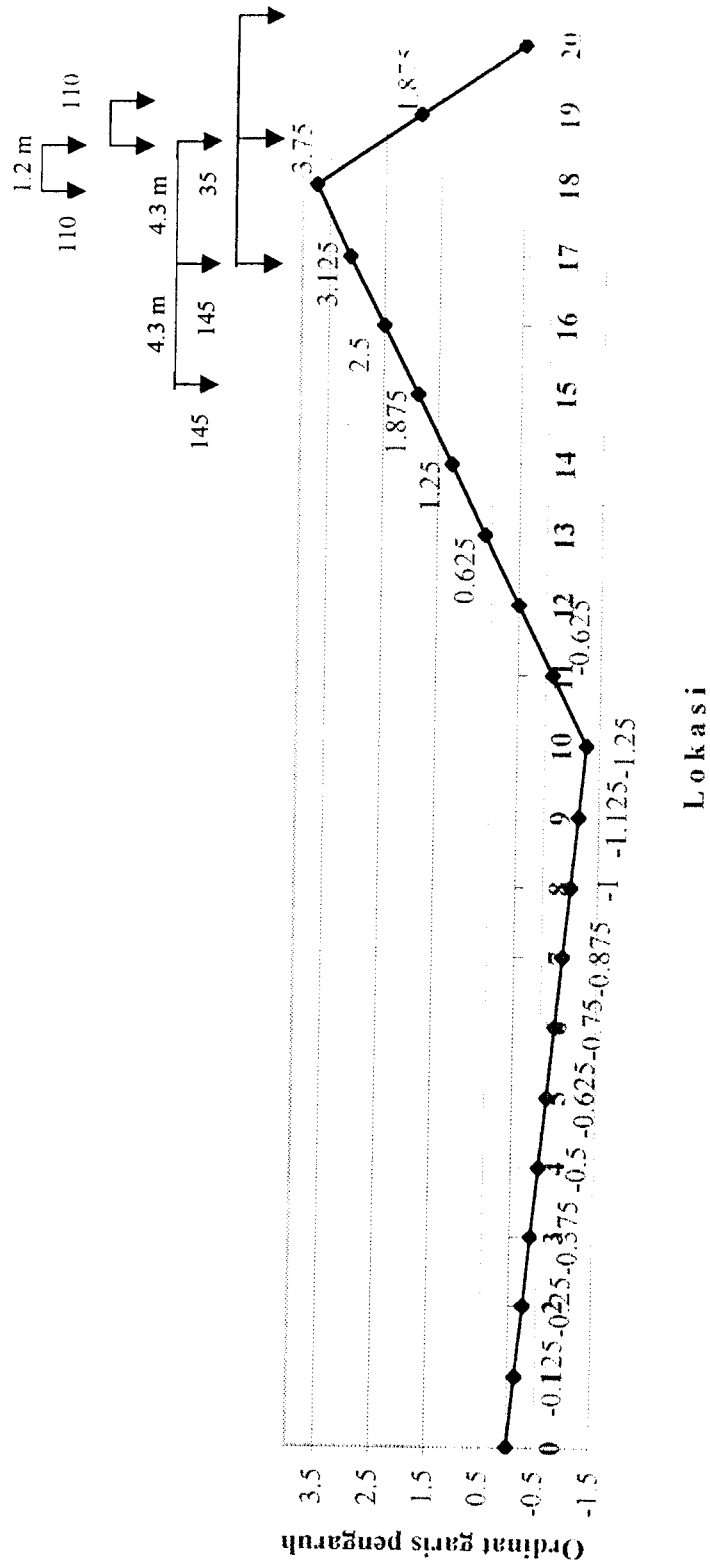


GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 17 (GP M-17)

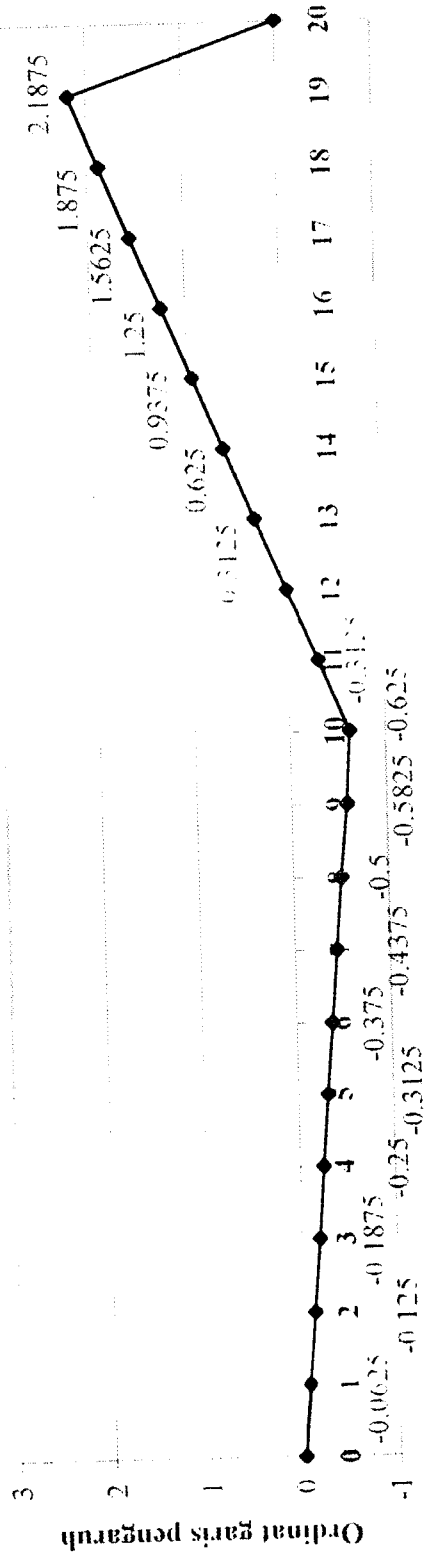
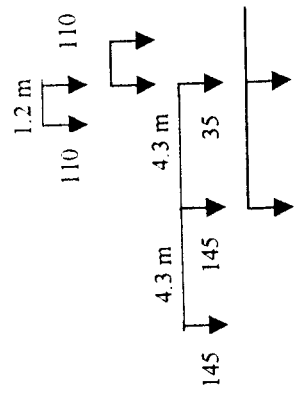


Lokasi

GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 18 (GP M-18)



GRAFIK GARIS PENGARUH MOMEN DI LOKASI 19 (GP M-19)



Lokasi

LAMPIRAN 4

MOMEN AKIBAT BEBAN JALUR RENCANA
PADA GELAGAR DENGAN BENTANG 30 M

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 1

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	1.35	0	1.0125	9.41625
1 - 2	1.5	1.35	1.2	1.9125	17.78625
2 - 3	1.5	1.2	1.05	1.6875	15.69375
3 - 4	1.5	1.05	0.9	1.4625	13.60125
4 - 5	1.5	0.9	0.75	1.2375	11.50875
5 - 6	1.5	0.75	0.6	1.0125	9.41625
6 - 7	1.5	0.6	0.45	0.7875	7.32375
7 - 8	1.5	0.45	0.3	0.5625	5.23125
8 - 9	1.5	0.3	0.15	0.3375	3.13875
9 - 10	1.5	0.15	0	0.1125	1.04625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				10.125	94.1625
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 2

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	1.2	0	0.9	8.37
1 - 2	1.5	2.4	1.2	2.7	25.11
2 - 3	1.5	2.4	2.1	3.375	31.3875
3 - 4	1.5	2.1	1.8	2.925	27.2025
4 - 5	1.5	1.8	1.5	2.475	23.0175
5 - 6	1.5	1.5	1.2	2.025	18.8325
6 - 7	1.5	1.2	0.9	1.575	14.6475
7 - 8	1.5	0.9	0.6	1.125	10.4625
8 - 9	1.5	0.6	0.3	0.675	6.2775
9 - 10	1.5	0.3	0	0.225	2.0925
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				18	167.4
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}$
pada garis pengaruh di lokasi 3

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	1.05	0	0.7675	7.32375
1 - 2	1.5	2.1	1.05	2.3625	21.97125
2 - 3	1.5	3.15	2.1	3.9375	36.61875
3 - 4	1.5	3.15	2.7	4.3875	40.80375
4 - 5	1.5	2.7	2.225	3.69375	34.351875
5 - 6	1.5	2.225	1.8	3.01875	28.074375
6 - 7	1.5	1.8	1.35	2.3625	21.97125
7 - 8	1.5	1.35	0.9	1.6875	15.69375
8 - 9	1.5	0.9	0.45	1.0125	9.41625
9 - 10	1.5	0.45	0	0.3375	3.13875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				23.5875	219.36375
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}$
pada garis pengaruh di lokasi 4

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	0.9	0	0.675	6.2775
1 - 2	1.5	1.8	0.9	2.025	18.8325
2 - 3	1.5	2.7	1.8	3.375	31.3875
3 - 4	1.5	3.6	2.7	4.725	43.9425
4 - 5	1.5	3.6	3	4.95	46.035
5 - 6	1.5	3	2.4	4.05	37.665
6 - 7	1.5	2.4	1.8	3.15	29.295
7 - 8	1.5	1.8	1.2	2.25	20.925
8 - 9	1.5	1.2	0.6	1.35	12.555
9 - 10	1.5	0.6	0	0.45	4.185
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				27	251.1
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 5

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	0.75	0	0.5625	5.23125
1 - 2	1.5	1.5	0.75	1.6875	15.69375
2 - 3	1.5	2.25	1.5	2.8125	26.15625
3 - 4	1.5	3	2.25	3.9375	36.61875
4 - 5	1.5	3.75	3	5.0625	47.08125
5 - 6	1.5	3.75	3	5.0625	47.08125
6 - 7	1.5	3	2.25	3.9375	36.61875
7 - 8	1.5	2.25	1.5	2.8125	26.15625
8 - 9	1.5	1.5	0.75	1.6875	15.69375
9 - 10	1.5	0.75	0	0.5625	5.23125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1				28.125	261.5625
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 6

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	0.6	0	0.45	4.185
1 - 2	1.5	1.2	0.6	1.35	12.555
2 - 3	1.5	1.8	1.2	2.25	20.925
3 - 4	1.5	2.4	1.8	3.15	29.295
4 - 5	1.5	3	2.4	4.05	37.665
5 - 6	1.5	3.6	3	4.95	46.035
6 - 7	1.5	3.6	2.7	4.725	43.9425
7 - 8	1.5	2.7	1.8	3.375	31.3875
8 - 9	1.5	1.8	0.9	2.025	18.8325
9 - 10	1.5	0.9	0	0.675	6.2775
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				27	251.1
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 7

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	0.45	0	0.3375	3.13875
1 - 2	1.5	0.9	0.45	1.0125	9.41625
2 - 3	1.5	1.35	0.9	1.6875	15.69375
3 - 4	1.5	1.8	1.35	2.3625	21.97125
4 - 5	1.5	2.25	1.8	3.0375	28.24875
5 - 6	1.5	2.7	2.25	3.7125	34.52625
6 - 7	1.5	3.15	2.7	4.3875	40.80375
7 - 8	1.5	3.15	2.1	3.9375	36.61875
8 - 9	1.5	2.1	1.05	2.3625	21.97125
9 - 10	1.5	1.05	0	0.7675	7.32375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				23.625	219.7125
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2					0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 8

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	0.3	0	0.225	2.0925
1 - 2	1.5	0.6	0.3	0.675	6.2775
2 - 3	1.5	0.9	0.6	1.125	10.4625
3 - 4	1.5	1.2	0.9	1.575	14.6475
4 - 5	1.5	1.5	1.2	2.025	18.8325
5 - 6	1.5	1.8	1.5	2.475	23.0175
6 - 7	1.5	2.1	1.8	2.925	27.2025
7 - 8	1.5	2.4	2.1	3.375	31.3875
8 - 9	1.5	2.4	1.2	2.7	25.11
9 - 10	1.5	1.2	0	0.9	8.37
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				18	167.4
10 - 11	1.5	0	0	0	0
11 - 12	1.5	0	0	0	0
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 11

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	0.15	0	0.1125	1.04625
1 - 2	1.5	0.3	0.15	0.3375	3.13875
2 - 3	1.5	0.45	0.3	0.5625	5.23125
3 - 4	1.5	0.6	0.45	0.7875	7.32375
4 - 5	1.5	0.75	0.6	1.0125	9.41625
5 - 6	1.5	0.9	0.75	1.2375	11.50875
6 - 7	1.5	1.05	0.9	1.4625	13.60125
7 - 8	1.5	1.2	1.05	1.6875	15.69375
8 - 9	1.5	1.35	1.2	1.9125	17.78625
9 - 10	1.5	1.5	1.35	2.1375	19.87875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				11.25	104.625
10 - 11	1.5	3	1.5	3.375	31.3875
11 - 12	1.5	3	0	2.25	20.925
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				5.625	52.3125

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 12

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	-0.3	0	-0.225	-2.0925
1 - 2	1.5	-0.6	0.3	0.675	-6.2775
2 - 3	1.5	-0.9	0.6	1.125	-10.4625
3 - 4	1.5	-1.2	0.9	1.575	-14.6475
4 - 5	1.5	-1.5	1.2	2.025	-18.8325
5 - 6	1.5	-1.8	1.5	2.475	-23.0175
6 - 7	1.5	-2.1	1.8	2.925	-27.2025
7 - 8	1.5	-2.4	2.1	3.375	-31.3875
8 - 9	1.5	-2.7	2.4	-3.825	-35.5725
9 - 10	1.5	-3	-2.7	-4.275	-39.7575
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-22.5	-209.25
10 - 11	1.5	-3	-1.5	-3.375	-31.3875
11 - 12	1.5	-1.5	0	-1.125	-10.4625
12 - 13	1.5	0	0	0	0
13 - 14	1.5	0	0	0	0
14 - 15	1.5	0	0	0	0
15 - 16	1.5	0	0	0	0
16 - 17	1.5	0	0	0	0
17 - 18	1.5	0	0	0	0
18 - 19	1.5	0	0	0	0
19 - 20	1.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				4.5	-41.85

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}$
pada garis pengaruh di lokasi 13

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1,5	-0,2625	0	-0,196875	-1,8309375
1 - 2	1,5	-0,525	-0,2625	-0,590625	-5,4928125
2 - 3	1,5	-0,7875	-0,525	-0,984375	-9,1546875
3 - 4	1,5	-1,05	-0,7875	-1,378125	-12,8165625
4 - 5	1,5	-1,3125	-1,05	-1,771875	-16,4784375
5 - 6	1,5	-1,575	-1,3125	-2,165625	-20,1403125
6 - 7	1,5	-1,8375	-1,575	-2,559375	-23,8021875
7 - 8	1,5	-2,1	-1,8375	-2,953125	-27,4640625
8 - 9	1,5	-2,3625	-2,1	-3,346875	-31,1259375
9 - 10	1,5	-2,625	-2,3625	-3,740625	-34,7878125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				19,6875	-183,09375
10 - 11	1,5	-2,625	-1,3125	-2,953125	-27,4640625
11 - 12	1,5	-1,3125	0	0,984375	-9,1546875
12 - 13	1,5	1,3125	0	0,984375	9,1546875
13 - 14	1,5	1,3125	1,125	1,628125	17,0015625
14 - 15	1,5	1,125	0,9375	1,546875	14,3859375
15 - 16	1,5	0,9375	0,75	1,265625	11,7703125
16 - 17	1,5	0,75	0,5625	0,984375	9,1546875
17 - 18	1,5	0,5625	0,375	0,703125	6,5390625
18 - 19	1,5	0,375	0,1875	0,421875	3,9234375
19 - 20	1,5	0,1875	0	0,140625	1,3078125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				3,9375	36,61875

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}$
pada garis pengaruh di lokasi 14

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1,5	-0,225	0	-0,16875	-1,569375
1 - 2	1,5	-0,45	-0,225	-0,50625	-4,708125
2 - 3	1,5	-0,675	-0,45	-0,84375	-7,846875
3 - 4	1,5	-0,9	-0,675	-1,18125	-10,985625
4 - 5	1,5	-1,125	-0,9	-1,51875	-14,124375
5 - 6	1,5	-1,35	-1,125	-1,85625	-17,263125
6 - 7	1,5	-1,575	-1,35	-2,19375	-20,401875
7 - 8	1,5	-1,8	-1,575	-2,53125	-23,540625
8 - 9	1,5	-2,025	-1,8	-2,86875	-26,679375
9 - 10	1,5	-2,25	-2,025	-3,20625	-29,818125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-16,875	-156,9375
10 - 11	1,5	-2,25	-1,125	-2,53125	-23,540625
11 - 12	1,5	-1,125	0	-0,84375	-7,846875
12 - 13	1,5	1,125	0	0,84375	7,846875
13 - 14	1,5	2,25	1,125	2,53125	23,540625
14 - 15	1,5	2,25	1,875	3,09375	28,771875
15 - 16	1,5	1,875	1,5	2,53125	23,540625
16 - 17	1,5	1,5	1,1175	1,963125	18,2570625
17 - 18	1,5	1,1175	0,75	1,400625	13,0258125
18 - 19	1,5	0,75	0,375	0,84375	7,846875
19 - 20	1,5	0,375	0	0,28125	2,615625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				10,11375	94,057875

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 15

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	-0.1875	0	-0.140625	-1.3078125
1 - 2	1.5	-0.375	-0.1875	-0.421875	-3.9234375
2 - 3	1.5	-0.5625	-0.375	-0.703125	-6.5390625
3 - 4	1.5	-0.75	-0.5625	-0.984375	-9.1546875
4 - 5	1.5	-0.9375	-0.75	-1.265625	-11.7703125
5 - 6	1.5	-1.125	-0.9375	-1.546875	-14.3859375
6 - 7	1.5	-1.3125	-1.125	-1.828125	-17.0015625
7 - 8	1.5	-1.5	-1.3125	-2.109375	-19.6171875
8 - 9	1.5	-1.6875	-1.5	-2.390625	-22.2328125
9 - 10	1.5	-1.875	-1.6875	-2.671875	-24.8484375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-14.0625	-130.78125
10 - 11	1.5	-1.875	-0.9375	-2.109375	-19.6171875
11 - 12	1.5	-0.9375	0	-0.703125	-6.5390625
12 - 13	1.5	0.9375	0	0.703125	6.5390625
13 - 14	1.5	1.875	0.9375	2.109375	19.6171875
14 - 15	1.5	2.8125	1.875	3.515625	32.6953125
15 - 16	1.5	2.8125	2.25	3.796875	35.3109375
16 - 17	1.5	2.25	1.6875	2.953125	27.4640625
17 - 18	1.5	1.6875	1.125	2.109375	19.6171875
18 - 19	1.5	1.125	0.5625	1.265625	11.7703125
19 - 20	1.5	0.5625	0	0.421875	3.9234375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				14.0625	130.78125

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 16

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	-0.15	0	-0.1125	-1.04625
1 - 2	1.5	-0.3	-0.15	0.3375	-3.13875
2 - 3	1.5	-0.45	-0.3	-0.5625	-5.23125
3 - 4	1.5	0.6	-0.45	0.7875	-7.32375
4 - 5	1.5	-0.75	-0.6	1.0125	9.41625
5 - 6	1.5	0.9	-0.75	1.2375	11.50875
6 - 7	1.5	1.05	0.9	1.4625	13.60125
7 - 8	1.5	1.2	1.05	1.6875	15.69375
8 - 9	1.5	1.35	1.2	1.9125	17.78625
9 - 10	1.5	1.5	1.35	2.1375	19.87875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				11.25	-104.625
10 - 11	1.5	-1.5	-0.75	-1.6875	-15.69375
11 - 12	1.5	-0.75	0	-0.5625	-5.23125
12 - 13	1.5	0.75	0	0.5625	5.23125
13 - 14	1.5	1.5	0.75	1.6875	15.69375
14 - 15	1.5	2.25	1.5	2.8125	26.15625
15 - 16	1.5	3	2.25	3.9375	36.61875
16 - 17	1.5	3	2.25	3.9375	36.61875
17 - 18	1.5	2.25	1.5	2.8125	26.15625
18 - 19	1.5	1.5	0.75	1.6875	15.69375
19 - 20	1.5	0.75	0	0.5625	5.23125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				15.75	146.475

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 17

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	-0.1125	0	0.064375	0.7846875
1 - 2	1.5	-0.225	0.1125	0.253125	-2.3540625
2 - 3	1.5	-0.3375	-0.225	0.421875	-3.9234375
3 - 4	1.5	-0.45	-0.3375	-0.590625	-5.4928125
4 - 5	1.5	-0.5625	-0.45	-0.759375	-7.0621875
5 - 6	1.5	-0.675	-0.5625	-0.928125	-8.6315625
6 - 7	1.5	-0.7875	-0.675	-1.096875	-10.2009375
7 - 8	1.5	-0.9	-0.7875	-1.265625	-11.7703125
8 - 9	1.5	-1.0125	-0.9	-1.434375	-13.3396875
9 - 10	1.5	-1.125	-1.0125	-1.603125	-14.9090625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-8.4375	-78.46875
10 - 11	1.5	-1.125	-0.5625	-1.265625	-11.7703125
11 - 12	1.5	-0.5625	0	-0.421875	-3.9234375
12 - 13	1.5	0.5625	0	0.421875	3.9234375
13 - 14	1.5	1.125	0.5625	1.265625	11.7703125
14 - 15	1.5	1.6875	1.125	2.109375	19.6171875
15 - 16	1.5	2.25	1.6875	2.953125	27.4640625
16 - 17	1.5	2.8125	2.25	3.796875	35.3109375
17 - 18	1.5	2.8125	1.675	3.515625	32.6953125
18 - 19	1.5	1.675	0.9375	2.109375	19.6171875
19 - 20	1.5	0.9375	0	0.403125	3.9390625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				12.375	141.24375

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9.3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 18

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	-0.075	0	-0.05625	-0.523125
1 - 2	1.5	-0.15	-0.075	-0.16875	-1.569375
2 - 3	1.5	-0.225	-0.15	-0.28125	-2.615625
3 - 4	1.5	-0.3	-0.225	-0.39375	-3.661875
4 - 5	1.5	-0.375	-0.3	-0.50625	-4.708125
5 - 6	1.5	-0.45	-0.375	-0.61875	-5.754375
6 - 7	1.5	-0.525	-0.45	-0.73125	-6.800625
7 - 8	1.5	-0.6	-0.525	-0.84375	-7.846875
8 - 9	1.5	-0.675	-0.6	-0.95625	-8.893125
9 - 10	1.5	-0.75	-0.675	-1.06875	-9.939375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-5.625	-52.3125
10 - 11	1.5	-0.75	-0.375	-0.84375	-7.846875
11 - 12	1.5	-0.375	0	-0.28125	-2.615625
12 - 13	1.5	0.375	0	0.28125	2.615625
13 - 14	1.5	0.75	0.375	0.84375	7.846875
14 - 15	1.5	1.125	0.75	1.40625	13.078125
15 - 16	1.5	1.5	1.125	1.96875	18.309375
16 - 17	1.5	1.875	1.5	2.53125	23.540625
17 - 18	1.5	2.25	1.675	3.09375	28.771875
18 - 19	1.5	2.25	1.125	2.53125	23.540625
19 - 20	1.5	1.125	0	0.84375	7.846875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				12.375	115.0875

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
 pada garis pengaruh di lokasi 19

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	1.5	-0.0375	0	-0.028125	-0.2615625
1 - 2	1.5	-0.075	-0.0375	-0.064375	-0.7846875
2 - 3	1.5	-0.1125	-0.075	-0.140625	-1.3078125
3 - 4	1.5	-0.15	-0.1125	-0.196875	-1.8309375
4 - 5	1.5	-0.1875	-0.15	-0.253125	-2.3540625
5 - 6	1.5	-0.225	-0.1875	-0.309375	-2.8771875
6 - 7	1.5	-0.2625	-0.225	-0.365625	-3.4003125
7 - 8	1.5	-0.3	-0.2625	-0.421875	-3.9234375
8 - 9	1.5	-0.3375	-0.3	-0.478125	-4.4465625
9 - 10	1.5	-0.375	-0.3375	-0.534375	-4.9696875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-2.8125	-26.15625
10 - 11	1.5	-0.375	-0.1875	-0.421875	-3.9234375
11 - 12	1.5	-0.1875	0	-0.140625	-1.3078125
12 - 13	1.5	0.1875	0	0.140625	1.3078125
13 - 14	1.5	0.375	0.1875	0.421875	3.9234375
14 - 15	1.5	0.5625	0.375	0.703125	6.5390625
15 - 16	1.5	0.75	0.5625	0.984375	9.1546875
16 - 17	1.5	0.9375	0.75	1.265625	11.7703125
17 - 18	1.5	1.125	0.9375	1.546875	14.3859375
18 - 19	1.5	1.3125	1.125	1.828125	17.0015625
19 - 20	1.5	1.3125	0	0.984375	9.1546875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				7.3125	68.00625

MOMEN AKIBAT BEBAN JALUR RENCANA
PADA GELAGAR DENGAN BENTANG 50 M

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 1

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	2.25	0	2.8125	26.15625
1 - 2	2.5	2.25	2	5.3125	49.40625
2 - 3	2.5	2	1.75	4.6875	43.59375
3 - 4	2.5	1.75	1.5	4.0625	37.78125
4 - 5	2.5	1.5	1.25	3.4375	31.96875
5 - 6	2.5	1.25	1	2.8125	26.15625
6 - 7	2.5	1	0.75	2.1875	20.34375
7 - 8	2.5	0.75	0.5	1.5625	14.53125
8 - 9	2.5	0.5	0.25	0.9375	8.71875
9 - 10	2.5	0.25	0	0.3125	2.90625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				28.125	261.5625
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 2

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	2	0	2.5	23.25
1 - 2	2.5	4	2	7.5	69.75
2 - 3	2.5	4	3.5	9.375	87.1875
3 - 4	2.5	3.5	3	8.125	75.5625
4 - 5	2.5	3	2.5	6.875	63.9375
5 - 6	2.5	2.5	2	5.625	52.3125
6 - 7	2.5	2	1.5	4.375	40.6875
7 - 8	2.5	1.5	1	3.125	29.0625
8 - 9	2.5	1	0.5	1.875	17.4375
9 - 10	2.5	0.5	0	0.625	5.8125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				50	465
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}$
pada garis pengaruh di lokasi 3

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	1.75	0	2.1875	20.34375
1 - 2	2.5	3.5	1.75	6.5625	61.03125
2 - 3	2.5	5.25	3.5	10.9375	101.71875
3 - 4	2.5	5.25	4.5	12.1875	113.34375
4 - 5	2.5	4.5	3.75	10.3125	95.90625
5 - 6	2.5	3.75	3	8.4375	78.46875
6 - 7	2.5	3	2.25	6.5625	61.03125
7 - 8	2.5	2.25	1.5	4.6875	43.59375
8 - 9	2.5	1.5	0.75	2.8125	26.15625
9 - 10	2.5	0.75	0	0.9375	8.71875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				65.625	610.3125
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}$
pada garis pengaruh di lokasi 4

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	1.5	0	1.875	17.4375
1 - 2	2.5	3	1.5	5.625	52.3125
2 - 3	2.5	4.5	3	9.375	87.1875
3 - 4	2.5	6	4.5	13.125	122.0625
4 - 5	2.5	6	5	13.75	127.875
5 - 6	2.5	5	4	11.25	104.625
6 - 7	2.5	4	3	8.75	81.375
7 - 8	2.5	3	2	6.25	58.125
8 - 9	2.5	2	1	3.75	34.875
9 - 10	2.5	1	0	1.25	11.625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				75	697.5
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 5

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	1.25	0	1.5625	14.53125
1 - 2	2.5	2.5	1.25	4.6875	43.59375
2 - 3	2.5	3.75	2.5	7.8125	72.65625
3 - 4	2.5	5	3.75	10.9375	101.71875
4 - 5	2.5	6.25	5	14.0625	130.78125
5 - 6	2.5	6.25	5	14.0625	130.78125
6 - 7	2.5	5	3.75	10.9375	101.71875
7 - 8	2.5	3.75	2.5	7.8125	72.65625
8 - 9	2.5	2.5	1.25	4.6875	43.59375
9 - 10	2.5	1.25	0	1.5625	14.53125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				78.125	726.5625
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 6

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	1	0	1.25	11.625
1 - 2	2.5	2	1	3.75	34.875
2 - 3	2.5	3	2	6.25	58.125
3 - 4	2.5	4	3	8.75	81.375
4 - 5	2.5	5	4	11.25	104.625
5 - 6	2.5	6	5	13.75	127.875
6 - 7	2.5	6	4.5	13.125	122.0625
7 - 8	2.5	4.5	3	9.375	87.1875
8 - 9	2.5	3	1.5	5.625	52.3125
9 - 10	2.5	1.5	0	1.875	17.4375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				75	697.5
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 7

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	0.75	0	0.9375	8.71875
1 - 2	2.5	1.5	0.75	2.8125	26.15625
2 - 3	2.5	2.25	1.5	4.6875	43.59375
3 - 4	2.5	3	2.25	6.5625	61.03125
4 - 5	2.5	3.75	3	8.4375	78.46875
5 - 6	2.5	4.5	3.75	10.3125	95.90625
6 - 7	2.5	5.25	4.5	12.1875	113.34375
7 - 8	2.5	5.25	3.5	10.9375	101.71875
8 - 9	2.5	3.5	1.75	6.5625	61.03125
9 - 10	2.5	1.75	0	2.1875	20.34375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				65.625	610.3125
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 8

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	0.5	0	0.625	5.8125
1 - 2	2.5	1	0.5	1.875	17.4375
2 - 3	2.5	1.5	1	3.125	29.0625
3 - 4	2.5	2	1.5	4.375	40.6875
4 - 5	2.5	2.5	2	5.625	52.3125
5 - 6	2.5	3	2.5	6.875	63.9375
6 - 7	2.5	3.5	3	8.125	75.5625
7 - 8	2.5	4	3.5	9.375	87.1875
8 - 9	2.5	4	2	7.5	69.75
9 - 10	2.5	2	0	2.5	23.25
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				50	465
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 9

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	0.25	0	0.3125	2.90625
1 - 2	2.5	0.5	0.25	0.9375	8.71875
2 - 3	2.5	0.75	0.5	1.5625	14.53125
3 - 4	2.5	1	0.75	2.1875	20.34375
4 - 5	2.5	1.25	1	2.8125	26.15625
5 - 6	2.5	1.5	1.25	3.4375	31.96875
6 - 7	2.5	1.75	1.5	4.0625	37.78125
7 - 8	2.5	2	1.75	4.6875	43.59375
8 - 9	2.5	2.25	2	5.3125	49.40625
9 - 10	2.5	2.25	0	2.8125	26.15625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				28.125	261.5625
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 10

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	0	0	0	0
1 - 2	2.5	0	0	0	0
2 - 3	2.5	0	0	0	0
3 - 4	2.5	0	0	0	0
4 - 5	2.5	0	0	0	0
5 - 6	2.5	0	0	0	0
6 - 7	2.5	0	0	0	0
7 - 8	2.5	0	0	0	0
8 - 9	2.5	0	0	0	0
9 - 10	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				0	0
10 - 11	2.5	0	0	0	0
11 - 12	2.5	0	0	0	0
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				0	0

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 11

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	0.25	0	0.3125	2.90625
1 - 2	2.5	0.5	0.25	0.9375	8.71875
2 - 3	2.5	0.75	0.5	1.5625	14.53125
3 - 4	2.5	1	0.75	2.1875	20.34375
4 - 5	2.5	1.25	1	2.8125	26.15625
5 - 6	2.5	1.5	1.25	3.4375	31.96875
6 - 7	2.5	1.75	1.5	4.0625	37.78125
7 - 8	2.5	2	1.75	4.6875	43.59375
8 - 9	2.5	2.25	2	5.3125	49.40625
9 - 10	2.5	2.5	2.25	5.9375	55.21875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				31.25	290.625
10 - 11	2.5	5	2.5	9.375	87.1875
11 - 12	2.5	5	0	6.25	58.125
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				15.625	145.3125

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 12

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.5	0	-0.625	-5.8125
1 - 2	2.5	-1	-0.5	-1.875	-17.4375
2 - 3	2.5	-1.5	1	3.125	29.0625
3 - 4	2.5	-2	-1.5	-4.375	-40.6875
4 - 5	2.5	-2.5	-2	-5.625	-52.3125
5 - 6	2.5	-3	-2.5	-6.875	-63.9375
6 - 7	2.5	-3.5	-3	-8.125	-75.5625
7 - 8	2.5	-4	-3.5	-9.375	-87.1875
8 - 9	2.5	-4.5	-4	-10.625	-98.8125
9 - 10	2.5	-5	-4.5	-11.875	-110.4375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-62.5	-581.25
10 - 11	2.5	-5	-2.5	-9.375	-87.1875
11 - 12	2.5	-2.5	0	-3.125	-29.0625
12 - 13	2.5	0	0	0	0
13 - 14	2.5	0	0	0	0
14 - 15	2.5	0	0	0	0
15 - 16	2.5	0	0	0	0
16 - 17	2.5	0	0	0	0
17 - 18	2.5	0	0	0	0
18 - 19	2.5	0	0	0	0
19 - 20	2.5	0	0	0	0
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				-12.5	-116.25

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 13

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.4375	0	-0.546875	-5.0859375
1 - 2	2.5	-0.875	-0.4375	-1.640625	-15.2578125
2 - 3	2.5	-1.3225	-0.875	-2.746875	-25.5459375
3 - 4	2.5	-1.75	-1.3225	-3.840625	-35.7178125
4 - 5	2.5	-2.1875	-1.75	-4.921875	-45.7734375
5 - 6	2.5	-2.625	-2.1875	-6.015625	-55.9453125
6 - 7	2.5	-3.0625	-2.625	-7.109375	-66.1171875
7 - 8	2.5	-3.5	-3.0625	-8.203125	-76.2890625
8 - 9	2.5	-3.9375	-3.5	-9.296875	-86.4609375
9 - 10	2.5	-4.375	-3.9375	-10.390625	-96.6328125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-54.7125	-508.82625
10 - 11	2.5	-4.375	-2.1875	-8.203125	-76.2890625
11 - 12	2.5	-2.1875	0	-2.734375	-25.4296875
12 - 13	2.5	2.187	0	2.73375	25.423875
13 - 14	2.5	2.187	1.875	5.0775	47.22075
14 - 15	2.5	1.875	1.562	4.29625	39.955125
15 - 16	2.5	1.562	1.25	3.515	32.6895
16 - 17	2.5	1.25	0.937	2.73375	25.423875
17 - 18	2.5	0.937	0.625	1.9525	18.15825
18 - 19	2.5	0.625	0.312	1.17125	10.892625
19 - 20	2.5	0.312	0	0.39	3.627
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				10.9325	101.67225

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 14

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.375	0	-0.46875	-4.359375
1 - 2	2.5	-0.75	-0.375	-1.40625	-13.078125
2 - 3	2.5	-1.125	-0.75	-2.34375	-21.796875
3 - 4	2.5	-1.5	-1.125	-3.28125	-30.515625
4 - 5	2.5	-1.875	-1.5	-4.21875	-39.234375
5 - 6	2.5	-2.25	-1.875	-5.15625	-47.953125
6 - 7	2.5	-2.625	-2.25	-6.09375	-56.671875
7 - 8	2.5	-3	-2.625	-7.03125	-65.390625
8 - 9	2.5	-3.375	-3	-7.96875	-74.109375
9 - 10	2.5	-3.75	-3.375	-8.90625	-82.828125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-46.875	-435.9375
10 - 11	2.5	-3.75	-1.875	-7.03125	-65.390625
11 - 12	2.5	-1.875	0	-2.34375	-21.796875
12 - 13	2.5	1.875	0	2.34375	21.796875
13 - 14	2.5	3.75	1.875	7.03125	65.390625
14 - 15	2.5	3.75	3.125	8.59375	79.921875
15 - 16	2.5	3.125	2.5	7.03125	65.390625
16 - 17	2.5	2.5	1.875	5.46875	50.859375
17 - 18	2.5	1.875	1.25	3.90625	36.328125
18 - 19	2.5	1.25	0.625	2.34375	21.796875
19 - 20	2.5	0.625	0	0.78125	7.265625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				28.125	261.5625

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$

pada garis pengaruh di lokasi 15

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.3125	0	-0.390625	-3.6328125
1 - 2	2.5	-0.625	-0.3125	-1.171875	-10.8984375
2 - 3	2.5	-0.9375	-0.625	-1.953125	-18.1640625
3 - 4	2.5	-1.25	-0.9375	-2.734375	-25.4296875
4 - 5	2.5	-1.5625	-1.25	-3.515625	-32.6953125
5 - 6	2.5	-1.875	-1.5625	-4.296875	-39.9609375
6 - 7	2.5	-2.1875	-1.875	-5.078125	-47.2265625
7 - 8	2.5	-2.5	-2.1875	-5.859375	-54.4921875
8 - 9	2.5	-2.8125	-2.5	-6.640625	-61.7578125
9 - 10	2.5	-3.125	-2.8125	-7.421875	-69.0234375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-39.0625	-363.28125
10 - 11	2.5	-3.125	-1.5625	-5.859375	54.4921875
11 - 12	2.5	-1.5625	0	-1.953125	-18.1640625
12 - 13	2.5	1.5625	0	1.953125	18.1640625
13 - 14	2.5	3.125	1.5625	5.859375	54.4921875
14 - 15	2.5	4.6875	3.125	9.765625	90.8203125
15 - 16	2.5	4.6875	3.75	10.546875	98.0859375
16 - 17	2.5	3.75	2.8125	8.203125	76.2890625
17 - 18	2.5	2.8125	1.875	5.859375	54.4921875
18 - 19	2.5	1.875	0.9375	3.515625	32.6953125
19 - 20	2.5	0.9375	0	1.171875	10.8984375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				39.0625	363.28125

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$

pada garis pengaruh di lokasi 16

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.25	0	-0.3125	-2.90625
1 - 2	2.5	-0.5	-0.25	-0.9375	-8.71875
2 - 3	2.5	-0.75	-0.5	-1.5625	-14.53125
3 - 4	2.5	-1	-0.75	-2.1875	-20.34375
4 - 5	2.5	-1.25	-1	-2.8125	-26.15625
5 - 6	2.5	-1.5	-1.25	-3.4375	-31.96875
6 - 7	2.5	-1.75	-1.5	-4.0625	-37.78125
7 - 8	2.5	-2	-1.75	-4.6875	-43.59375
8 - 9	2.5	-2.25	-2	-5.3125	-49.40625
9 - 10	2.5	-2.5	-2.25	-5.9375	-55.21875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-31.25	-290.625
10 - 11	2.5	-2.5	-1.25	-4.6875	-43.59375
11 - 12	2.5	-1.25	0	-1.5625	-14.53125
12 - 13	2.5	1.25	0	1.5625	14.53125
13 - 14	2.5	2.5	1.25	4.6875	43.59375
14 - 15	2.5	3.75	2.5	7.8125	72.65625
15 - 16	2.5	5	3.75	10.9375	101.71875
16 - 17	2.5	5	3.75	10.9375	101.71875
17 - 18	2.5	3.75	2.5	7.8125	72.65625
18 - 19	2.5	2.5	1.25	4.6875	43.59375
19 - 20	2.5	1.25	0	1.5625	14.53125
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				43.75	406.875

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 17

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.1875	0	-0.234375	-2.1796875
1 - 2	2.5	-0.375	-0.1875	-0.703125	-6.5390625
2 - 3	2.5	-0.5625	-0.375	-1.171875	-10.8984375
3 - 4	2.5	-0.75	-0.5625	-1.640625	-15.2578125
4 - 5	2.5	-0.9375	-0.75	-2.109375	-19.6171875
5 - 6	2.5	-1.125	-0.9375	-2.578125	-23.9765625
6 - 7	2.5	-1.3125	-1.125	-3.046875	-28.3359375
7 - 8	2.5	-1.5	-1.3125	-3.515625	-32.6953125
8 - 9	2.5	-1.6875	-1.5	-3.984375	-37.0546875
9 - 10	2.5	-1.875	-1.6875	-4.453125	-41.4140625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-23.4375	-217.96875
10 - 11	2.5	-1.875	-0.9375	-3.515625	-32.6953125
11 - 12	2.5	-0.9375	0	-1.171875	-10.8984375
12 - 13	2.5	0.9375	0	1.171875	10.8984375
13 - 14	2.5	1.875	0.9375	3.515625	32.6953125
14 - 15	2.5	2.8125	1.875	5.859375	54.4921875
15 - 16	2.5	3.75	2.8125	8.203125	76.2890625
16 - 17	2.5	4.6875	3.75	10.546875	98.0859375
17 - 18	2.5	4.6875	3.125	9.765625	90.8203125
18 - 19	2.5	3.125	1.5625	5.859375	54.4921875
19 - 20	2.5	1.5625	0	1.953125	18.1640625
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				42.1875	392.34375

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}'$
pada garis pengaruh di lokasi 18

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.125	0	-0.15625	-1.453125
1 - 2	2.5	-0.25	-0.125	-0.46875	-4.359375
2 - 3	2.5	-0.375	-0.25	-0.78125	-7.265625
3 - 4	2.5	-0.5	-0.375	-1.09375	-10.171875
4 - 5	2.5	-0.625	-0.5	-1.40625	-13.078125
5 - 6	2.5	-0.75	-0.625	-1.71875	-15.984375
6 - 7	2.5	-0.875	-0.75	-2.03125	-18.890625
7 - 8	2.5	-1	-0.875	-2.34375	-21.796875
8 - 9	2.5	-1.125	-1	-2.65625	-24.703125
9 - 10	2.5	-1.25	-1.125	-2.96875	-27.609375
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-15.625	-145.3125
10 - 11	2.5	-1.25	-0.625	-2.34375	-21.796875
11 - 12	2.5	-0.625	0	-0.78125	-7.265625
12 - 13	2.5	0.625	0	0.78125	7.265625
13 - 14	2.5	1.25	0.625	2.34375	21.796875
14 - 15	2.5	1.875	1.25	3.90625	36.328125
15 - 16	2.5	2.5	1.875	5.46875	50.859375
16 - 17	2.5	3.125	2.5	7.03125	65.390625
17 - 18	2.5	3.75	3.125	8.59375	79.921875
18 - 19	2.5	3.75	1.875	7.03125	65.390625
19 - 20	2.5	1.875	0	2.34375	21.796875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				34.375	319.6875

Momen gelagar jembatan akibat beban jalur rencana $q = 9,3 \text{ KN/m}^2$
pada garis pengaruh di lokasi 19

Interval	Lebar luasan (m)	Nilai batas atas	Nilai batas bawah	Luasan grafik	Momen KNm
0 - 1	2.5	-0.0625	0	-0.078125	-0.7265625
1 - 2	2.5	-0.125	-0.0625	-0.234375	-2.1796875
2 - 3	2.5	-0.1875	-0.125	-0.390625	-3.6328125
3 - 4	2.5	-0.25	-0.1875	-0.546875	-5.0859375
4 - 5	2.5	-0.3125	-0.25	-0.703125	-6.5390625
5 - 6	2.5	-0.375	-0.3125	-0.859375	-7.9921875
6 - 7	2.5	-0.4375	-0.375	-1.015625	-9.4453125
7 - 8	2.5	-0.5	-0.4375	-1.171875	-10.8984375
8 - 9	2.5	-0.5625	-0.5	-1.328125	-12.3515625
9 - 10	2.5	-0.625	-0.5625	-1.484375	-13.8046875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 1:				-7.8125	-72.65625
10 - 11	2.5	-0.625	-0.3125	-1.171875	10.8984375
11 - 12	2.5	-0.3125	0	0.390625	3.6328125
12 - 13	2.5	0.3125	0	0.390625	3.6328125
13 - 14	2.5	0.625	0.3125	1.171875	10.8984375
14 - 15	2.5	0.9375	0.625	1.953125	18.1640625
15 - 16	2.5	1.25	0.9375	2.734375	25.4296875
16 - 17	2.5	1.5625	1.25	3.515625	32.6953125
17 - 18	2.5	1.875	1.5625	4.296875	39.9609375
18 - 19	2.5	2.1875	1.875	5.078125	47.2265625
19 - 20	2.5	2.1875	0	2.734375	25.4296875
Momen di lokasi 1 pada saat q terletak di bentang 2:				20.3125	188.90625

LAMPIRAN 5

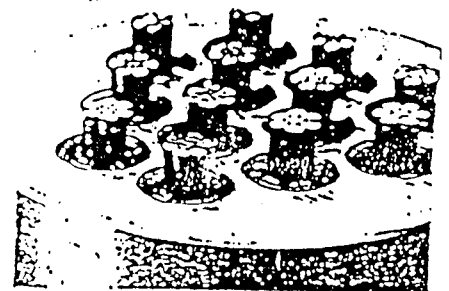
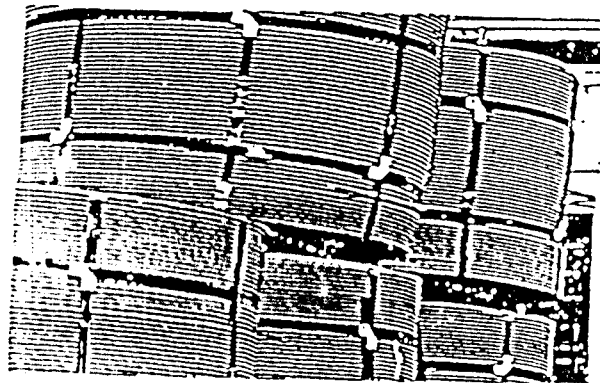
MULTISTRAND SYSTEM



Strand Properties

Strand type	13 mm (0.5")		15 mm (0.6")	
	Euronorm 138-79 or BS 5896: 1980 Super	ASTM A 416-85 Grade 270	Euronorm 138-79 or BS 5896: 1980 Super	ASTM A 416-85 Grade 270
Nominal diameter (mm)	12.9	12.7	15.7	15.2
Nominal area (mm ²)	100	98.7	150	140
Nominal mass (kg/m)	0.785	0.775	1.18	1.10
Yield strength (MPa)	1580 ¹⁾	1670 ²⁾	1500 ¹⁾	1670 ²⁾
Tensile strength (MPa)	1860	1860	1770	1860
Min. breaking load P _b (kN)	186.0	183.7	255.0	260.7
Young's modulus (GPa)	circa 195			
Relaxation ³⁾ after 1000 h at 20°C and 0.7 × P _b (%)	max 2.5			

- 1) Measured at 0.1% residual strain (0.1% offset method)
 2) Measured at 1.0% extension (1% extension under load method)
 3) Valid for relaxation class 2 acc. to Euronorm 138-79/ES 8886: 1980, or low relaxation grade acc. to ASTM A 416-85



Tendon Properties

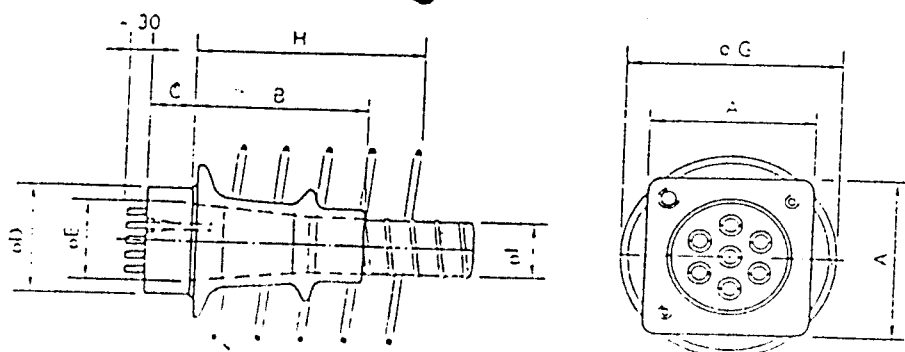
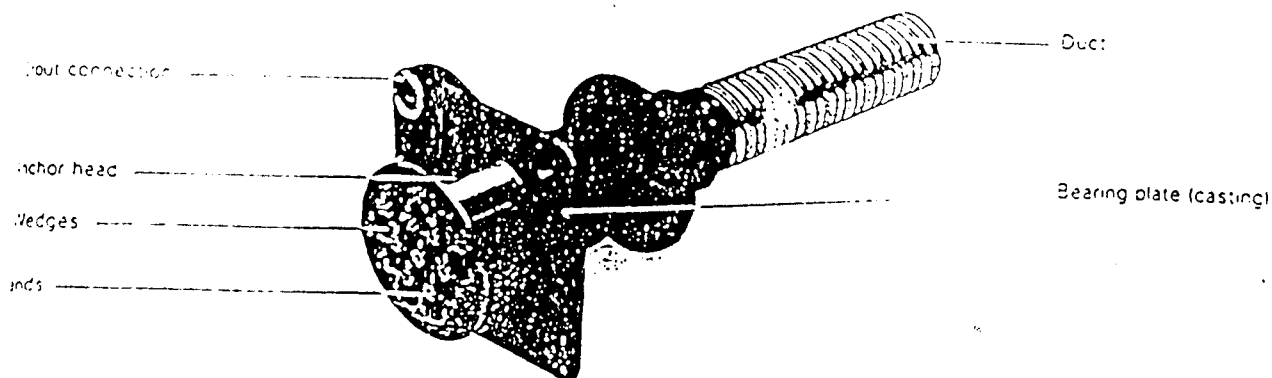
13 mm (0.5") strand				
Tendon unit	Number of strands	Duct diameter ¹⁾ internal/external (mm)	Min. breaking load	
			Strand type Euronorm 138-79 or BS 5896: 1980, Super (kN)	Strand type ASTM A416-85 Grade 270 (kN)
5-1	1	25/30	186	184
5-2	2	40/45	372	367
5-3	3	40/45	558	551
5-4	4	45/50	744	735
5-6 ²⁾	6	50/55	1116	1102
5-7	7	55/60	1302	1286
5-12	12	65/72	2232	2204
5-18 ²⁾	18	75/87	3348	3307
5-19	19	75/87	3534	3490
5-22	22	85/92	4092	4041
5-31	31	100/107	5766	5695
5-37	37	110/127	6882	6797
5-43	43	110/127	7998	7899
5-55	55	140/150	10230	10104

15 mm (0.6") strand				
Tendon unit	Number of strands	Duct diameter ¹⁾ internal/external (mm)	Min. breaking load	
			Strand type Euronorm 138-79 or BS 5896: 1980, Super (kN)	Strand type ASTM A416-85 Grade 270 (kN)
6-1	1	30/35	255	251
6-2	2	45/50	510	521
6-3	3	45/50	765	782
6-4	4	50/55	1060	1043
6-6 ²⁾	6	60/67	1550	1564
6-7	7	60/67	1855	1825
6-12	12	80/87	3190	3123
6-18 ²⁾	18	95/102	4770	4693
6-19	19	95/102	5035	4953
6-22	22	110/117	5830	5735
6-31	31	130/137	8215	8082
6-37	37	140/150	9805	9646
6-43	43	150/160	11395	11210
6-55	55	170/180	14575	14339

- 1) Standard size for corrugated steel ducts
 For polyethylene ducts P1-P2, US1 see page 3
 2) For intermediate strength strand type 2



Pressing Anchorage VSL Type EC



Spiral reinforcement:
eD x n turns (pitch = 25)

X = Anchorage spacing
X₁ = Clearance to edge
X₂ = 1/2 X = required cover of spiral reinforcement

	Number of strands	A	B	C	eD	eE	eF: internal/external	cG	H	eJ	n	X ²
Strand type 13 mm (0.5")	5-1	120	120	50	90	50	40/45	130	150	10	3	155
	5-4	125	125	50	95	55	45/50	160	150	10	3	160
	5-7	155	155	55	110	74	55/60	205	200	12	4	235
	5-12	215	215	60	150	104	65/72	295	250	14	5	305
	5-15	270	235	75	180	135	80/87	365	300	16	6	335
	5-22	290	305	85	190	150	85/92	395	360	18	6	415
	5-31	370	360	105	240	188	100/107	470	400	18	8	490
	5-55	430	460	130	290	230	120/127	510	420	20	7	535
							140/150	620	540	22	9	655
Strand type 15 mm (0.6")	5-1	125	125	50	90	55	45/50	160	150	10	3	185
	5-4	150	155	55	110	65	50/55	190	200	12	4	210
	5-7	190	170	60	135	84	60/67	260	250	14	5	230
	5-12	240	245	75	170	118	80/87	345	300	16	6	365
	5-15	310	305	95	200	150	95/102	440	350	18	7	460
	5-22	340	365	100	220	172	110/117	470	400	18	8	495
	5-31	390	380	120	260	192	130/137	560	480	20	8	590
	5-51	420	480	135	290	215	140/150	610	540	22	9	640
	5-85	520	530	160	340	255	170/180	740	630	25	9	780

Dimensions in mm

Standard diameter for corrugated steel duct: for polyethylene ducts PT-PLUS: see page 6

Anchorage spacings are in accordance with test requirements of CEB/FIP (Recommendations for acceptance and application of post-tensioning systems No. 2, 1981). Modifications to these values may be possible.

Dimensions are in mm

Nominal concrete strength: 28 days: 35 MPa (cube), 28 MPa (cylinder)

Subject to modification

Maximum prestressing force may be applied when concrete reaches 90 % of its nominal strength

Max. prestressing force is 75 % of min. tendon breaking load (temporary overstressing to 90 %).

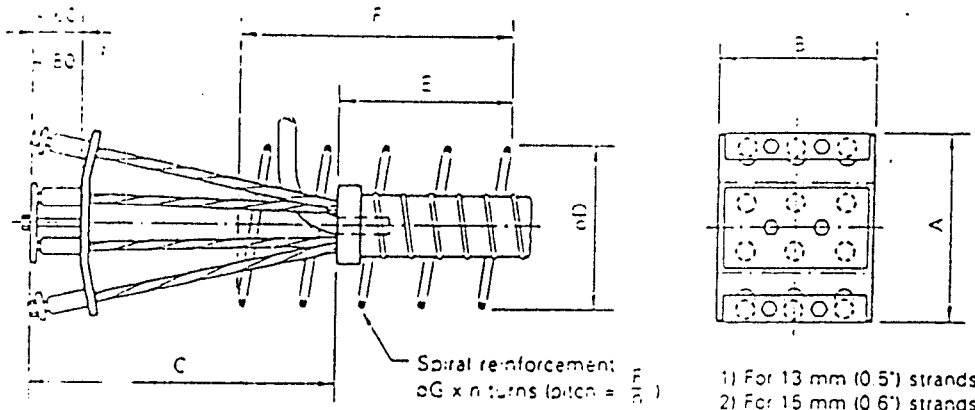
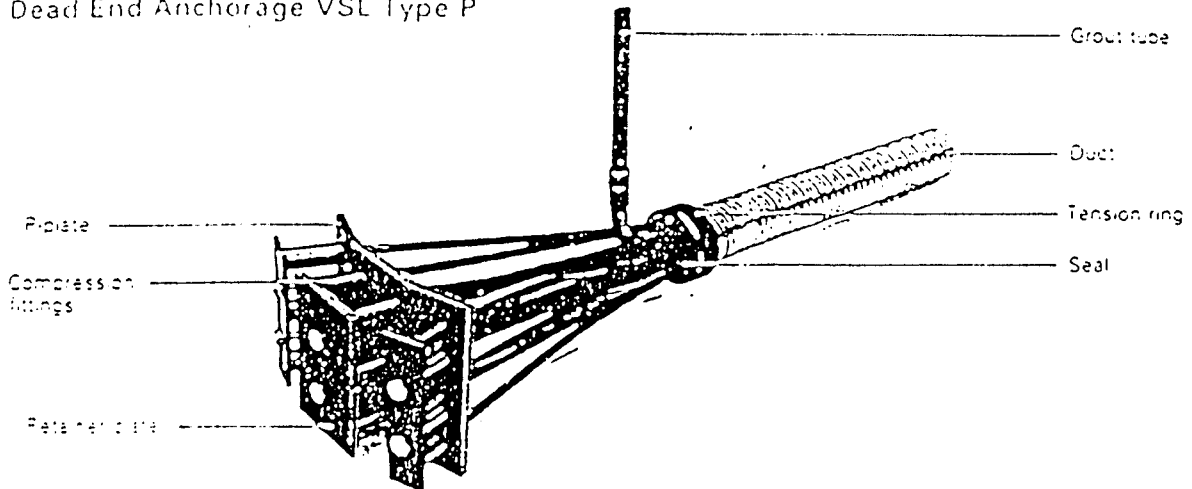
Dimensions for other concrete strengths on request

Yield strength of spiral reinforcement: ≥ 420 MPa

Spirals may be replaced by suitable orthogonal reinforcement



Dead End Anchorage VSL Type P



Where the force must be transferred into the concrete exclusively via the bearing plate, polyethylene tubes may be used for sheathing the strands between the end of the duct and the bearing plate.

Strand type 13 mm (0.5")									
Tendon unit	Alternative	A	B	C	ϕD	E	F	ϕG	n
5-3		150	50	360	130	90	190	8	4
5-4	1	120	120	360	130	90	190	8	4
	2	230	65	360	130	90	190	8	4
5-7		230	110	360	180	100	250	12	4
5-12		230	190	410	200	140	320	14	5
5-19		300	230	510	230	140	320	14	5
5-22		350	230	610	300	140	320	16	5
5-31		500	230	810	300	140	320	16	5
5-37	1	600	230	960	350	170	380	18	6
	2	470	300	810	350	170	380	18	6
5-43	1	650	230	1010	400	170	380	18	6
	2	530	300	860	400	170	380	18	6
5-55	1	860	230	1310	400	170	380	20	6
	2	600	360	910	400	170	380	20	6

Strand type 15 mm (0.6")									
Tendon unit	Alternative	A	B	C	ϕD	E	F	ϕG	n
6-2		180	60	280	130	90	190	8	4
6-3		230	70	330	180	100	250	12	4
6-4	1	260	80	430	180	100	250	12	4
	2	145	145	360	180	100	250	12	4
6-7		270	140	430	200	140	320	14	5
6-12		270	230	430	230	140	320	14	5
6-19		370	270	630	300	140	320	16	5
6-22		420	270	730	300	140	320	16	5
6-31	1	600	270	980	400	170	380	18	6
	2	480	340	780	400	170	380	18	6
6-37	1	720	270	1180	400	170	380	20	6
	2	560	340	980	400	170	380	20	6
6-43	1	800	270	1280	400	200	440	20	7
	2	650	340	1080	400	200	440	20	7
6-55	1	1000	270	1780	460	220	500	22	8
	2	800	340	1280	460	220	500	22	8

Dimensions in mm
 Dimensions are valid for:
 Nominal concrete strength at 28 days: 35 MPa (cube), 28 MPa (cylinder)
 Maximum prestressing force may be applied when concrete reaches 80 % of its nominal strength

Subject to modification
 Max. prestressing force is 75 % of min. tendon breaking load (temporary over-stressing to 80 %).
 Dimensions for other concrete strengths on request.
 Yield strength of spiral reinforcement: 2 420 MPa
 Spirals may be replaced by a suitable orthogonal reinforcement

Resistance Factors for Conventional Construction

Strength Limit State	Φ Factor
For Flexure and tension	
Reinforced concrete	0.90
Prestressed concrete	1.00
For shear and Torsion	
Normal weight concrete	0.90
Lightweight concrete	0.70
For Axial compression with spirals or ties, except for seismic Zones 3 and 4	0.75
For bearing on concrete	0.70
For compression in strut-and-tie models	0.70
for compression in anchorage zones	
Normal weight concrete	0.80
Lightweight concrete	0.65
For tension in steel in anchorage zones	1.00

“In AASHTO [A5.5.4.2]. [From AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Copyright 1994 by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by permission].

Properties of Prestressing Strand and Bar^a

Material	Grade or Type	Diameter (mm)	Tensile Strength, f_{pu} (MPa)	Yield Strength, f_{py} (MPa)
Strand	1725 MPa (Grade 250)	6.35–15.24	1725	85% of f_{pu} except 90% of f_{pu} for low- relaxation strand
	1860 MPa (Grade 270)	9.53–15.24	1860	
Bar	Type 1, Plain	19–35	1035	85% of f_{pu} 80% of f_{pu}
	Type 2, Deformed	15–36	1035	

^aIn AASHTO Table 5.4.4.1-1. [From AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Copyright © 1994 by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by permission.]

Stress Limits For Concrete at Prestress Transfer Stage

Compressive Stresses	
Pretensioned components	$0.60 f'_{ci}$
Post-tensioned components	$0.55 f'_{ci}$
Tensile Stresses	
Precompressed tensile zone without bonded reinforcement	N/A ^b
Other tensile zones without bonded reinforcement	$0.25 \sqrt{f'_{ci}} \leq 1.38$
Tensile zones with bonded reinforcement sufficient to resist 120 % of the tension force in the cracked concrete computed on the basis of an uncracked section	$0.58 \sqrt{f'_{ci}}$
Handling stresses in prestressed piles	$0.415 \sqrt{f'_{ci}}$

^a In AASHTO [A5.9.4.1]. [From AASHTO LRFD Bridge Design specification, Copyright 1994 by the American Association of Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by Permission].

N/A = Not applicable

Stress Limits For Concrete at Service Load Stage

Compressive stress-load combination Service I	
Due to permanent loads	$0.45 f'_c$
Due to permanent and transient loads and during shipping and handling	$0.60 f'_c$
Tensile Stresses-load combination Service III for components with bonded prestressing tendons.	
Precompressed tensile zone assuming uncracked sections.	
Components with bonded prestressing tendons other than piles	$0.50 \sqrt{f'_c}$
Components Subjected to severe corrosive conditions	$0.25 \sqrt{f'_c}$
Components with unbonded prestressing tendons	No tension
other tensile zone stresses are limited by those given for the prestress transfer stage in Table 7.6	

"In AASHTO [A5.9.4.2]. [From AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Copyright 1994 by the American of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by permission].

Stress Limits For Prestressing Tendons

	Tendon Type		
	Stress Relieved Strand and Plain High-Strength Bars	Low Relaxation Strand	Deformed High Strength Bars
At jacking: (f_{pi})			
Pretensioning	$0.72 f_{pu}$	$0.78 f_{pu}$	
post-tensioning	$0.76 f_{pu}$	$0.80 f_{pu}$	$0.75 f_{pu}$
After transfer (f_{pt})			
pretensioning	$0.70 f_{pu}$	$0.74 f_{pu}$	
Post-tensioning At anchorages and couplers immediately	$0.70 f_{pu}$	$0.70 f_{pu}$	$0.66 f_{pu}$
after anchor set	$0.70 f_{pu}$	$0.74 f_{pu}$	$0.66 f_{pu}$
Post-tensioning- general At service limit state: (f_{pe}) After Losses	$0.80 f_{pv}$	$0.80 f_{pv}$	$0.80 f_{pv}$

“ In AASHTO Table 5.9.3-1. [from AASHTO LRFD Bridge Design Specification, Copyright 1994 by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington dc. Used by permission].

Load Combination and Load Factors*

Load Combination	DC DD DW EH EV ES	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Use One of These at a Time			
										EQ	IC	CT	CV
Limit State													
STRENGTH-I	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
STRENGTH-II	γ_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
STRENGTH-III	γ_p	-	1.00	1.40	-	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
STRENGTH-IV EH, EV, ES, DW DC ONLY	γ_p 1.5	-	1.00	-	-	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-
STRENGTH-V	γ_p	1.35	1.00	0.40	0.40	1.00	0.50/1.20	-	-	-	-	-	-
EXTREME EVLNT-I	γ_p	γ_{TD}	1.00	-	-	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-
EXTREME EVLNT-II	γ_p	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	1.00	1.00	1.00
SERVICE-I	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
SERVICE-II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	-	-	-	-	-	-
SERVICE-III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SL}	-	-	-	-
FATIGUE-LL, IM, AND CE ONLY	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*AASHTO Table 3.4.1-1. [From AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Copyright © 1994 by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by Permission].

Unit Densities^a

Material	Unit Weight (kg/m ³)
Aluminum	2800
Bituminous wearing surfaces	2250
Cast iron	7200
Cinder filling	960
Compact sand, silt, or clay	1925
Concrete, lightweight (includes reinforcement)	1775
Concrete, sand-lightweight (includes reinforcement)	1925
Concrete, normal (includes reinforcement)	2400
Loose sand, silt, or gravel	1600
Soft clay	1600
Rolled gravel, macadam, or ballast	2450
Steel	7850
Stone masonry	2725
Hardwood	960
Softwood	800
Transit rails, ties and fastening per track	0.3 ^b

^aIn AASHTO Table 3.5.1-1. [From AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Copyright © 1994 by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by Permission].

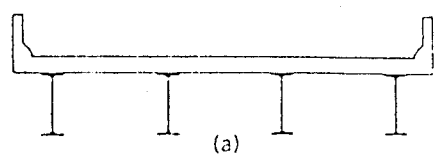
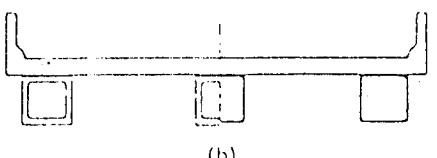
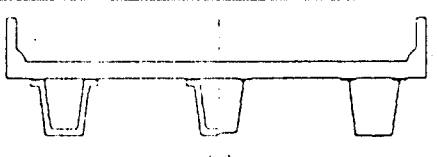
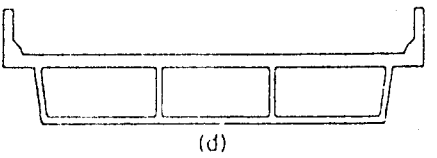
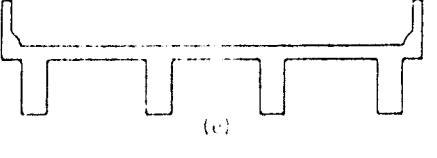
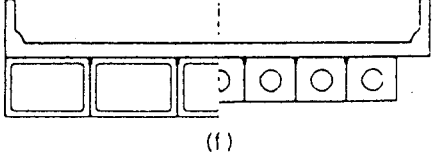
^bIn kilograms per cubic millimeter (kg/mm)

Load Factors for Permanent Loads, γ_p^a

Type of Load	Load Factor	
	Maximum	Minimum
<i>DC</i> : Component and Attachments	1.25	0.90
<i>DD</i> : Downdrag	1.80	0.45
<i>DW</i> : Wearing Surfaces and Utilities	1.50	0.65
<i>EH</i> : Horizontal Earth Pressure		
• Active	1.50	0.90
• At-Rest	1.35	0.90
<i>EV</i> : Vertical Earth Pressure		
• Overall Stability	1.35	N/A
• Retaining Structure	1.35	1.00
• Rigid Buried Structure	1.30	0.90
• Rigid Frames	1.35	0.90
• Flexible Buried Structures other than Metal Box Culverts	1.95	0.90
• Flexible Metal Box Culverts	1.50	0.90
<i>ES</i> : Earth Surcharge	1.50	0.75

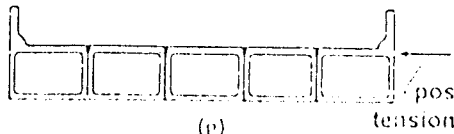
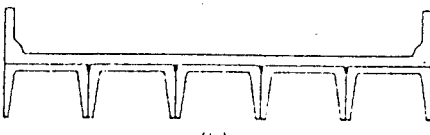

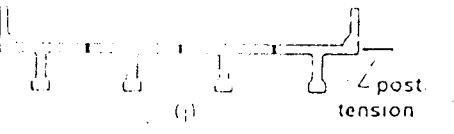
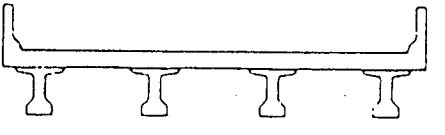
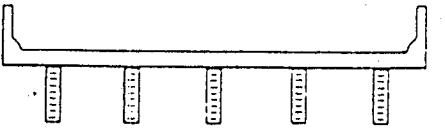
^aAASHTO Table 3.4.1-2. [From *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, Copyright © 1994 by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by Permission].

Common Girder Bridge Cross Sections.^a

SUPPORTING COMPONENTS	TYPE OF DECK	TYPICAL CROSS SECTION
Steel Beam	Cast-in-place concrete slab precast concrete slab, steel grid, glued/spiked panels, stressed wood	 <p style="text-align: center;">(a)</p>
Closed Steel or Precast Concrete Boxes	Cast-in-place concrete slab	 <p style="text-align: center;">(b)</p>
Open Steel or Precast Concrete Boxes	Cast-in-place concrete slab, precast concrete deck slab	 <p style="text-align: center;">(c)</p>
Cast-in-Place Concrete Multi-cell Box	Monolithic concrete	 <p style="text-align: center;">(d)</p>
Cast-in-Place Concrete Tee Beam	Monolithic concrete	 <p style="text-align: center;">(e)</p>
Precast Solid, Voided or Cellular Concrete Boxes with Shear Keys	Cast-in-place concrete overlay	 <p style="text-align: center;">(f)</p>

^a(AASHTO Table 4.6.2.2.1-1). [From *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, Copyright © 1994 by the American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. Used by permission].

(Continued)

SUPPORTING COMPONENTS	TYPE OF DECK	TYPICAL CROSS SECTION
Precast Solid, Voided or Cellular Concrete Box with Shear Keys and with or without Transverse Post-Tensioning	Integral concrete	 <p>(g) post tension</p>
Precast Concrete Channel Sections with Shear Keys	Cast-in-place concrete overlay	 <p>(h)</p>
Precast Concrete Double Tee Section with Shear Keys and with or without Transverse Post-Tensioning	Integral concrete	 <p>(i) post tension</p>
Precast Concrete Tee Section with Shear Keys and with or without Transverse Post-Tensioning	Integral concrete	 <p>(j) post tension</p>
Precast Concrete I or Bulb-Tee Sections	Cast-in-place concrete, precast concrete	 <p>(k)</p>
Wood Beams	Cast-in-place concrete or plank, glued/spiked panels or stressed wood	 <p>(l)</p>

Vehicles per Girder for Concrete Deck on Steel or Concrete Beams; Concrete T-Beams; T- and Double T-Sections
 Transversely Post-Tensioned Together*

* AASHTO

Action/Location	Table	Distribution Factors (m) ^c	Skew Correction Factor ^b	Range of Applicability
A. Moment interior girder	4.6.2.2.2b-1	One design lane loaded: $mg_{\text{moment}}^{SI} = 0.06 + \left(\frac{S}{4300 \text{ mm}}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_e}{Lr_s^3}\right)^{0.1}$ Two or more (multiple) design lanes loaded: $mg_{\text{moment}}^{MI} = 0.075 + \left(\frac{S}{2900 \text{ mm}}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_e}{Lr_s^3}\right)^{0.1}$	$1 - C_1(\tan \theta)^{1.5}$ $C_1 = 0.25 \left(\frac{K_e}{Lr_s^3}\right)^{0.25} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.5}$ If $\theta < 30^\circ$, then $C_1 = 0.0$ If $\theta > 60^\circ$, then $\theta = 60^\circ$	$1100 \leq S \leq 4900 \text{ mm}$ $110 \leq r_s \leq 300 \text{ mm}$ $6000 \leq L \leq 73\,000 \text{ mm}$ No. of beams ≥ 4 $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$
B. Moment exterior girder	4.6.2.2.2d-1	One design lane loaded: Use lever rule Two or more (multiple) design lanes loaded: $mg_{\text{moment}}^{ME} = e * mg_{\text{moment}}^{MI}$ $e = 0.77 + \frac{d_c}{2800 \text{ mm}} \geq 1.0$ d_c is positive if girder is inside of barrier, otherwise negative	N/A	$-300 \leq d_c \leq 1700 \text{ mm}$

C. Shear interior girder	4.6.2.2.3a-1 One design lane loaded	$1.0 + 0.20 \left(\frac{Lr_s^{0.7}}{K_x} \right) \tan \phi$	$1100 \leq S \leq 4900 \text{ mm}$ $110 \leq t_s \leq 300 \text{ mm}$ $6000 \leq L \leq 73\,000 \text{ mm}$ $4 \times 10^9 \leq K_x \leq 3 \times 10^{12} \text{ mm}^4$ No. of beams ≥ 4 $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$
	Two or more (multiple) design lanes loaded	$mg_{\text{shear}}^S = 0.36 + \frac{S}{7600 \text{ mm}}$	
	$mg_{\text{shear}}^{MI} = 0.2 + \frac{S}{3600 \text{ mm}}$ $- \left(\frac{S}{10\,700 \text{ mm}} \right)^2$		
D. Shear exterior girder	4.6.2.2.3b-1 One design lane loaded	N/A	$-300 \leq d_c \leq 1700 \text{ mm}$
	Use lever rule		
	Two or more (multiple) design lanes loaded	$mg_{\text{shear}}^{ME} = e * mg_{\text{shear}}^{MI}$ $e = 0.6 + \frac{d_c}{3000 \text{ mm}}$	
	d_c is positive if girder is inside of barrier, otherwise negative		

see Table 2.2 for applicable cross sections.

Not applicable = N/A.

Equations include multiple presence factor; for lever rule engineer must perform factoring by m .

Tabel Nilai Ksh

	Jangka waktu setelah perawatan (curing) Sampai penarikan tendon / transfer (hari)							
	1	3	5	7	10	20	30	60
Ksh	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

Tabel Koefisien Wobble K dan Koefisien Gesekan Lengkungan

Tipe Tendon	Koefisien Wobble K (per-foor)	Koefisien Kelengkungan μ
Selubung logam fleksibel		
Kawat	0,0010 – 0,0015	0,15 – 0,25
Strand 7 kawat	0,0005 – 0,0020	0,15 – 0,25
Batang baja	0,0001 – 0,0006	0,08 – 0,30
Selubung logam kaku		
Strand 7 kawat	0,0002	0,15 – 0,25
Tendon dengan lapisan mastik		
Kawat dan strand 7 kawat	0,0010 – 0,0020	0,05 – 0,15
Tendon dengan pelumas		
Kawat dan strand 7 kawat	0,0003 – 0,0020	0,05 – 0,15