



30390/4/07
ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RSS
624.2

Ri

M-1

—
2007

TUGAS AKHIR - PS 1380

MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN LINTAS SELATAN DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I STATIS TAK TENTU

FAISAL RIZA
NRP 3104 109 620

Dosen Pembimbing :
Ir. AMAN SUBAKTI, MSc

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	7-8-2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	229447



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - PS 1380

MODIFICATION OF MODANGAN BRIDGE STRUCTURE AT SOUTH WAY ROADS DEVELOPMENT PROJECT BY PRESTRESS CONCRETE INDEFINITE STATIC I TYPE BEAM

**FAISAL RIZA
NRP 3104 109 620**

Final Project Lecture
Ir. AMAN SUBAKTI, MSc

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007**

MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN LINTAS SELATAN DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I STATIS TAK TENTU

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pad

Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

FAISAL RIZA

Nrp 3104 109 620

Disetujui Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Aman Subakti MSc



Surabaya

30 Juli 2007

MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN LINTAS SELATAN DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I

STATIS TAK TENTU

Nama mahasiswa : Faisal Riza
NRP : 3104 109 620
Jurusan : Teknik Sipil dan Perencanaan
Dosen pembimbing : Ir. Aman Subakti, MSc

Abstrak

Pembangunan Jembatan Modangan merupakan bagian pelaksanaan pembangunan jalan lintas selatan yang dilakukan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Daerah Propinsi Tingkat I Jawa Timur. Jembatan Modangan ini terletak di perbatasan Kecamatan Donomuljo Kabupaten Malang dan Kecamatan Wates Kabupaten Blitar. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan aksebilitas pemanfaatan potensi secara optimal dalam upaya pengembangan wilayah serta menunjang sektor-sektor lain seperti sumber daya alam dan pariwisata.

Dalam perencanaan jembatan beton pratekan terdapat dua klasifikasi yaitu balok menerus (continuous beam) dan balok sederhana (simple beam). Untuk memenuhi aspek-aspek penting dari suatu perencanaan dipilih alternatif struktur beton pratekan balok menerus (statis tak tentu), dimana elemen-elemen balok beton pratekan (simple beam) dapat dibuat menerus dengan cara menempatkan baja non-prategang diatas tumpuan yang juga dapat dikenal dengan kesinambungan sebagian (partial continuous beam).

Dalam penulisan tugas akhir ini akan dibuat perencanaan struktur atas jembatan dengan menggunakan balok beton pratekan standard AASHTO tipe VI dengan bentang 35 meter. Sistem statika pada perencanaan jembatan ini termasuk statis tak tentu, dengan membuat plat lantai kendaraan secara menerus untuk beban hidup lalu lintas, yang komposit dengan balok beton pratekan.

Perencanaan jembatan Modangan ini mempunyai prosedur perhitungan yang bertahap. Secara garis besar tahapan-tahapan dalam perencanaan yaitu : pencarian data-data, menentukan alternatif dimensi gelagar utama yang dilanjutkan dengan perhitungan kekuatan struktur beserta kontrolnya. Dalam perhitungan perencanaan elemen-elemen jembatan ini tidak lepas dari tuntutan struktural yang harus dipenuhi dengan mengacu pada peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu "Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan" (Bridge Management System 1992). Hasil-hasil yang diperoleh dari perencanaan dan perhitungan diaplikasikan dalam bentuk gambar teknis.

Kata kunci : beton pratekan, balok menerus sebagian.

MODIFICATION OF MODANGAN BRIDGE STRUCTURE AT SOUTH WAY ROADS DEVELOPMENT PROJECT BY PRESTRESS CONCRETE INDEFINITE STATIC I TYPE BEAM

Name	:	Faisal Riza
NRP	:	3104 109 620
Departement	:	Civil Engineering and Planning
Counsellor	:	Ir. Aman Subakti, MSc

Abstract

Development of Modangan bridge represent part of south way roads development project execution by On duty Public Work Construct Clan The first Area Mount East Java Province. The Modangan bridge located in frontier of Unlucky Subdistrict Donomuljo Malang regency and Subdistrict of Wates Blitar Regency. This Matter intended to give the accessibility of potency exploiting in an optimal fashion in the effort regional development and also support the other; dissimilar sector like experienced resource and tourism.

In the prestress concrete bridge plan there are two classification; the continuous beam and simple beam. To fulfilling important aspects in the planning selected structure alternative by prestress concrete continuous beam (indefinite static), where elements of prestress concrete beam (simple beam) can be made continuous by placing unprestress steel above middle restraints which recognizable also partial continuous beam.

In this final project writing, will be made the super structure bridge planning by using prestress concrete beam 6th type of AASHTO's standards for 35 metre of span. The bridge planning statics system inclusive in indefinite static, by making continuous slab for vehicles live load which is composite to prestress concrete beam.

This Modangan bridge planning have the calculation procedure which in phases. Marginally step in the plan that is : data seeking, determining main beam profile dimension alternative continued to calculation of structure strength therewith its control. In calculation of this bridge elements planning is unreleasing of the structural demand which must chockablock relate regulation going into effect in Indonesia that is "Regulation of Bridge Planning Technique" (Bridge Management System 1992). As the result of the planning and calculation applied in technical draws.

Keywords : prestress concrete, partial continuous beam.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur saya panjatkan kehadirat ALLAH SWT, karena dengan karunia-Nya, akhirnya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul :

“Modifikasi Struktur Jembatan Modangan Pada Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Dengan Beton Pratekan Balok Tipe I Statis Tak Tentu”

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi kurikulum yang telah ditetapkan, dimana setiap mahasiswa diwajibkan untuk melaksanakan tugas akhir dengan beban studi sebesar 4 sks sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – ITS Surabaya.

Atas terselesaiannya tugas akhir ini, tidak lupa saya sampaikan terima kasih saya kepada:

1. Kedua orang tua saya, atas doa restu serta dukungan baik moril maupun materiil yang telah diberikan sejauh ini.
2. Bapak Ir. Aman Subakti, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan kepada saya dalam penyusunan laporan ini.
3. Bapak Ir. Sadji, selaku dosen wali.
4. Bapak Supani ST. MT, selaku dosen mata kuliah struktur beton prategang.
5. Bapak Ir. Irwan B.S, MT.
6. Rekan-rekan jurusan teknik sipil ITS, teman-teman kontrakan; Ridwan, Yoga, Hamdan, Annas, Yudi. Semua rekan-rekan dan pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu disini, atas segala bantuan yang diberikan kepada saya selama penyusunan laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan tugas akhir ini belum sempurna. Akhir kata besar harapan saya semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Juli 2007

Penulis
Faisal Riza

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI ii

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR vi

1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 1

1.3 Maksud dan Tujuan 1

1.4 Ruang Lingkup Pembahasan 2

1.5 Konsep Desain 3

1.6 Metedologi 6

2 TINJAUAN PUSTAKA 9

2.1 Pemilihan Struktur Jembatan 9

2.2 Struktur Sekunder 10

 2.2.1. Sandaran 10

 2.2.2. Trotoar 11

 2.2.3. Kerb 11

 2.2.4. Pelat lantai kendaraan 11

 2.2.5. Balok diafragma 12

2.3 Struktur utama 12

 2.3.1 Material untuk beton prategang 12

 2.3.2 Konsep dasar prategang 12

 2.3.3 Tegangan pada beton prategang 13

 2.3.4 Perhitungan penampang 14

 2.3.5 Pembebanan 15

 2.3.6 Perhitungan momen 15

 2.3.7 Menentukan gaya prategang yang terjadi 16

 2.3.8 Perhitungan gaya prategang awal 16

 2.3.9 Penempatan tendon 17

 2.3.10 Kehilangan gaya pratekan 18

2.3.11	Kontrol Tegangan	22
2.3.12	Momen batas	24
2.3.13	Momen retak	26
2.3.14	Kontrol tegangan pada blok angker	26
2.3.15	Lendutan	27
2.3.16	Peritungan gaya geser	29
2.3.17	Perhitungan momen negatif pada tumpuan tengah	30
2.4	Landasan	30
2.4.1	Pembebanan	31
2.4.2	Gerakan tangensial	32
2.4.3	Perencanaan perl letakan elastomer	32
2.4.4	Kontrol perl letakan	32
2.5	Struktur bangunan bawah	35
2.5.1	Pembebanan	35
2.5.2	Distribusi pondasi	38
2.5.3	Stabilitas abutmen	38
2.5.4	Penulangan abutmen / pilar	39
3	KRITERIA DESAIN	45
3.1	Data-Data Teknis	45
3.2	Data Tanah	45
3.3	Peraturan Yang Dipakai	46
3.4	Bahan-Bahan Yang Digunakan	46
3.5	Tegangan Ijin Bahan	47
3.6	Peraturan-Peraturan Yang Digunakan	47
3.7	Persyaratan Desain Secara Umum	48
3.8	Pembebanan Pada Struktur Utama Jembatan	48
3.8.1	Aksi dan beban tetap	49
3.8.2	Beban lalu lintas	51
3.8.3	Aksi lingkungan	53
3.8.4	Aksi-aksi lainnya	56
4	PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER	57
4.1	Pengertian Struktur sekunder	57
4.2	Perencanaan Sandaran	57
4.2.1	Perencanaan pipa dan tiang sandaran	58
4.2.2	Perencanaan trotoar	61
4.2.3	Perencanaan kerb	62

4.3 Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan	63
4.3.1 Perhitungan pembebanan	64
4.3.2 Penulangan plat lantai kendaraan	66
4.3.3 Perancanaan plat precast lantai kendaraan	71
4.3.4 Perencanaan shear connector plat precast	72
4.4 Perencanaan Balok Diafragma	73

5 PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA 77

5.1 Preliminary Desain	77
5.1.1 Uraian kondisi setempat	77
5.1.2 Alternatif desain	77
5.2 Perencanaan Gelagar Utama	78
5.2.1 Menaksir dimensi gelagar utama dan karakteristiknya	78
5.2.2 Perhitungan penampang	78
5.2.3 Pembebanan	84
5.2.4 Perhitungan momen	86
5.2.5 Menentukan gaya prategang yang terjadi	89
5.2.6 Perhitungan gaya prategang awal	90
5.2.7 Perhitungan daerah limit kabel	92
5.2.8 Perencanaan letak koordinat kabel	93
5.2.9 Kehilangan gaya prategang	96
5.2.10 Kontrol tegangan	103
5.2.11 Perhitungan momen batas dan momen retak	106
5.2.12 Kontrol tegangan pada blok angker	108
5.2.13 Perhitungan lendutan	109
5.2.14 Perhitungan gaya geser	110
5.2.15 PEngangkeran blok ujung	112
5.2.16 Perhitungan tulangan untuk momen negatif pada tumpuan tengah	114

6 PERENCANAAN LANDASAN 115

6.1 Pembebanan	115
6.1.1 Pembebanan vertikal	115
6.1.2 Pembebanan horizontal	115
6.1.3 Gerakan tangensial	116
6.2 Perputaran Sudut	117
6.2.1 Akibat beban mati	117
6.2.2 Akibat beban hidup	118

6.3 Perhitungan Plat Landasan	118
6.4 Kontrol perletakan	119

7 PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH 121

7.1 Perencanaan Abutment Jebatan 121

7.1.1 Pendahuluan	121
7.1.2 Statika Pembebaran	122
7.1.3 Kombinasi pembebaran	126
7.1.4 Perhitungan distribusi pondasi	129
7.1.5 Perhitungan daya dukung pondasi sumuran	130
7.1.6 Stabilitas abutmen	131
7.1.7 Perhitungan penulangan abutmen	133
7.1.8 Penulangan konsol	135
7.1.9 Penulangan poer	137
7.1.10 Penulangan pondasi sumuran	138
7.1.11 Perencanaan pelat injak	139

7.2 Perencanaan Pilar Tengah 141

7.2.1 Pendahuluan	141
7.2.2 Beban vertikal	141
7.2.3 Beban horizontal	142
7.2.4 Kombinasi pembebaran	146
7.2.5 Perhitungan distribusi pondasi	148
7.2.6 Perhitungan daya dukung pondasi sumuran	150
7.2.7 Perhitungan penulangan pilar	151
7.2.8 Penulangan konsol	153
7.2.9 Penulangan poer	154
7.2.10 Penulangan pondasi sumuran	156

8 KESIMPULAN 157

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A PENULANGAN GESER LAMPIRAN B DATA PERENCANAAN

DAFTAR TABEL

1.1	Karakteristik selongsong PE/PP tipe bulat (round duct)	4
1.2	Karakteristik angkur tipe MA (multiple anchorage)	6
2.1	Koefisien-koefisien gesekan untuk tendon-tendon pasca tarik	19
2.2	Angka pengali lendutan ke atas dan lendutan jangka panjang	28
2.3	Kombinasi gaya	37
3.1	Kecepatan angin rencana	53
3.2	Koefisien seret	53
3.3	Temperatur rata-rata jembatan nominal	55
3.4	Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	55
5.1	Perhitungan daerah limit kabel	92
5.2	Tata letak kabel	94
7.1	Perhitungan berat landhoofd/ abutmen	122
7.2	Perhitungan berat tanah di belakang abutmen	123
7.3	Kombinasi gaya dengan tegangan yang diijinkan	126
7.4	Kombinasi beban	129
7.5	Daya dukung satu pondasi sumuran pada abutmen	131
7.6	Perhitungan berat pilar tengah	142
7.7	Kombinasi beban	149
7.8	Daya dukung satu pondasi sumuran pada pilar	150

DAFTAR GAMBAR

1.1	Detail selongsong PE/ PP tipe bulat (round duct)	4
1.2	Angkur MA (multiple anchorage)	5
1.3	Detail angkur tipe MA	6
1.4	Metodologi penulisan akhir	8
2.1	Pengaruh gaya prategang	14
2.2	Posisi garis kern pada penampang	15
2.3	Letak daerah batas untuk c.g.s	17
2.4	Penentuan sudut pusat tendon	20
2.5	Gaya yang bekerja pada penampang saat transfer	23

2.6	Gaya yang bekerja pada penampang saat setelah pelat lantai dicor	23
2.7	Gaya yang bekerja pada penampang saat servis	24
2.8	<i>Diagram momen batas pada penampang tumpuan</i>	25
2.9	Perletakan elastomer	31
2.10	Gerakan tangensial	32
2.11	Regangan pada perletakan elastomer	33
2.12	Abutmen pangkal jembatan	35
2.13	Tekanan tanah aktif di belakang abutmen	36
2.14	Beban horizontal akibat angin	37
3.1	Kedudukan beban lajur D	51
3.2	Beban akibat truk "T" arah memanjang	52
3.3	Beban akibat truk "T" arah melintang	52
3.4	Faktor beban dinamis untuk KEL untuk pembebanan lajur D	52
4.1	Tiang sandaran	57
4.2	Gaya dan momen yang terjadi pada pipa sandaran	58
4.3	Bidang M dan D pada tiang sandaran	60
4.4	Penulangan tiang sandaran	61
4.5	Trotoar	61
4.6	Gaya pada kerb	62
4.7	Penulangan kerb	63
4.8	Potongan melintang jembatan	63
4.9	<i>Bentang Lx dan Ly pada pelat lantai kendaraan</i>	64
4.10	Distribusi momen pada pelat	65
4.11	Gelagar komposit	66
4.12	Penyebaran beban pada pelat lantai kendaraan	69
4.13	Ukuran dan kedudukan beban roda ganda	70
4.14	Luas geser ponds A1	70
4.15	Luas geser ponds A2	70
4.16	Dimensi pelat precast lantai kendaraan	71
4.17	Penulangan pada pelat lantai kendaraan	72
4.18	Perencanaan shear connector	72
4.19	Dimensi balok diafragma	73
4.20	Penulangan diafragma	76
5.1	Dimensi balok AASHTO-PCI tipe VI	78
5.2	Penampang balok pada tumpuan	79
5.3	Penampang tengah bentang komposit	81
5.4	Letak c.g.c. komposit	83
5.5	Beban garis KEL, beban merata UDL pada jembatan	85

5.6	Beban akibat berat sendiri gelagar	86
5.7	Bidang momen akibat beban gelagar/ balok utama	86
5.8	Beban akibat balok diafragma	86
5.9	Bidang momen akibat beban balok diafragma	87
5.10	Beban akibat pelat lantai kendaraan	87
5.11	Bidang momen akibat pelat lantai kendaraan	87
5.12	Beban akibat aspal	87
5.13	Bidang momen akibat aspal	88
5.14	Beban hidup posisi A	88
5.15	Bidang momen akibat beban hidup posisi A	88
5.16	Beban hidup posisi B	88
5.17	Bidang momen akibat beban hidup posisi B	89
5.18	Beban hidup posisi C	89
5.19	Bidang momen akibat beban hidup posisi C	89
5.20	Grafik gaya prategang awal	91
5.21	Daerah limit kabel	93
5.22	Lintasan kabel tendon	95
5.23	Penentuan pendekatan sudut pusat tendon pada tendon 1	98
5.24	Diagram tegangan pada saat jacking pada tengah bentang	104
5.25	Diagram tegangan setelah pelat lantai kendaraan dicor pada bentang tengah	105
5.26	Diagram tegangan setelah komposit	106
5.27	Resultan gaya-gaya pada momen batas pada lapangan	106
5.28	Penampang angker pada balok	108
6.1	Gerakan tangensial	117
6.2	Perputaran sudut	117
6.3	Elastomer bearing pad	119
7.1	Abutmen jembatan dan statika pembebaan	122
7.2	Tekanan tanah di belakang abutmen	123
7.3	Gaya gesek pada tumpuan	124
7.4	Gaya rem S.L.S	124
7.5	Beban gempa pada abutmen	125
7.6	Beban horizontal akibat angin	126
7.7	Arah momen pada poer	127
7.8	Denah pondasi sumuran	129
7.9	Gaya yang bekerja pada abutmen penyebab dan penahan guling	131
7.10	Beban kolom abutmen	133

7.11	Gaya dan momen yang bekerja pada kolom abutmen	134
7.12	Kolom persegi bertulang dua sisi (tampak atas)	134
7.13	Gaya yang bekerja pada konsol	135
7.14	Gaya pada poer abutmen	137
7.15	Kolom bulat (tampak atas)	138
7.16	Posisi pelat injak dan denah pelat injak	139
7.17	Statika beban akibat berat sendiri pilar	141
7.18	Gaya gesek pada pilar tengah	142
7.19	Gaya rem S.L.S pada pilar	143
7.20	Beban gempa pada pilar tengah	144
7.21	Beban horizontal akibat angin	144
7.22	Beban sejajar aliran sungai pada pilar	146
7.23	Arah momen pada poer pilar jembatan	146
7.24	Denah pondasi sumuran pada pilar tengah	149
7.25	Beban kolom pilar	151
7.26	Gaya dan momen yang bekerja pada kolom pilar	152
7.27	Kolom persegi bertulang dua sisi (tampak atas)	152
7.28	Gaya yang bekerja pada konsol	153
7.29	Gaya pada poer pada pilar tengah	155
7.30	Kolom bulat (tampak atas)	156



1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam usaha mengembangkan dan memajukan semua kawasan di Indonesia, salah satu bidang yang ditingkatkan pemerintah adalah sarana dan prasarana transportasi, yang salah satu dari sarana transportasi itu adalah jembatan.

Pemerintah propinsi Jawa Timur melalui Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga membangun jembatan Modangan melintasi kali Kricakan. Jembatan ini terletak di perbatasan Kecamatan Donomulyo Kabupaten Malang–Kecamatan Wates Kabupaten Blitar. Jembatan ini direncanakan sebagai jembatan pada klas jalan 1 dua lajur dengan lebar masing-masing lajurnya 3,5 meter. Panjang total jembatan Modangan direncanakan sepanjang 65 meter terdiri dari 3 bentang, dengan perincian $2 \times 15\text{ m}$ dengan beton bertulang profil I, dan bentang tengah sepanjang 35 m dengan konstruksi busur, ditopang di atas 2 buah pilar dan 2 buah abutment.

Sebagai alternatif lain untuk perencanaan jembatan Modangan ini, direncanakan struktur atas jembatan dengan beton prategang dua bentang masing-masing sepanjang 35 meter, ditopang dengan dua buah abutmen pada kiri dan kanan pangkal jembatan dan sebuah pilar pada tengah bentang. Jembatan ini direncanakan dengan struktur beton sistem komposit (*composite section*), yang mana gelagar/balok utama dikerjakan di lokasi sekitar proyek dengan bentang 35 meter dan lantai kendaraan di cor kemudian (*cast in place*).

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang tersebut di atas, maka untuk perancangan Jembatan Modangan permasalahan yang ditinjau antara lain:

1. Bagaimana menentukan pembebanan?
2. Bagaimana merencanakan struktur bangunan atas jembatan?
3. Bagaimana merencanakan struktur bangunan bawah jembatan?
4. Bagaimana menggambar hasil disain?

1.3 Maksud dan Tujuan

Untuk memenuhi kurikulum yang telah ditetapkan, setiap mahasiswa diwajibkan untuk melaksanakan tugas akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan – ITS. Dengan pertimbangan tersebut, maka dalam tugas akhir ini akan diangkat suatu topik mengenai Modifikasi Perencanaan Struktur jembatan Modangan dengan konstruksi Beton Pratekan Balok Tipe I.

Adapun maksud dan tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk memahami dan menerapkan kegiatan perencanaan dan perhitungan jembatan beton pratekan yang selama ini baru dikenal melalui teori dalam kuliah.
2. Untuk mendapatkan hasil akhir perencanaan jembatan dengan desain yang memenuhi batasan keamanan dan kenyamanan yang disyaratkan.
3. Untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu teknik sipil (misalnya mekanika teknik, konstruksi beton, mekanika tanah, dll) dalam suatu desain jembatan.

1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Mengingat keterbatasan waktu dalam penyusunan tugas akhir ini, maka ada batasan masalah. Pada penulisan tugas akhir tentang Perencanaan Ulang Jembatan Modangan dengan Konstruksi Beton Pratekan Balok Tipe I ini, dibahas tentang :

1. Perencanaan bangunan atas (super struktur) jembatan dengan beton pratekan balok tipe I dengan bentang 2×35 m, baik bangunan utama maupun bangunan sekunder.
2. Perencanaan bangunan bawah, meliputi perhitungan abutment/pangkal jembatan, pilar jembatan, dan perencanaan pondasi sumuran.

Sedangkan mengenai teknologi pembuatan beton pratekan dan balok I, serta analisa biaya yang digunakan untuk perhitungan aspek ekonomis perencanaan struktur tidak dibahas.

1.5 Konsep Desain

Struktur bangunan atas jembatan Modangan direncanakan menggunakan beton pratekan dengan kesinambungan sebagian. Yang dimaksud dengan kesinambungan sebagian disini adalah balok beton prategang merupakan balok sederhana di atas dua tumpuan, sementara pelat lantai kendaraan yang dicor di atasnya merupakan suatu konstruksi menerus. Balok beton prategang menerima beban mati sebagai balok sederhana dan menerima beban hidup dan mati tambahan sebagai beban yang menerus dengan menggunakan baja non prategang pada pelat lantai kendaraan di tumpuan tengah untuk momen negatif (.. "cara ini khususnya benar untuk konstruksi komposit dimana pelat atasnya merupakan beton cor di tempat" T.Y Lin & Ned H burns dalam bukunya desain struktur beton prategang jilid 2 edisi 3).

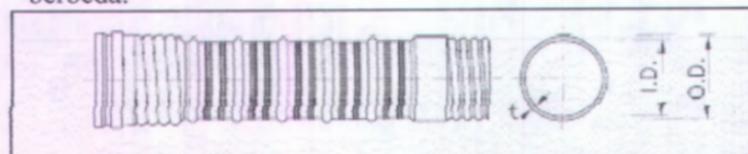
Struktur bangunan bawah terdiri dari dua buah abutment dan sebuah pilar dengan pondasi sumuran. Pemilihan pondasi sumuran pada struktur jembatan ini karena dari data tanah yang diperoleh, tanah keras berada pada kedalaman antara 3 sampai 5 meter dari permukaan tanah yang nantinya akan dibangun pilar dan abutment di atasnya. Sistem konstruksi perencanaan struktur jembatan Modangan ini adalah sebagai berikut:

1. Pondasi direncanakan menggunakan pondasi sumuran.
 2. Abutment pangkal jembatan dan pilar direncanakan dengan beton bertulang.
 3. Perletakan balok memanjang menggunakan elastomeric bearing sesuai BMS.
 4. Balok memanjang dan melintang direncanakan dengan beton pratekan pracetak post tension.
 5. Profil balok memanjang direncanakan dengan menggunakan profil I standar AASHTO-PCI.
 6. Lantai kendaraan dicor di atas balok utama yang sudah terpasang pada perl letakan dan sudah diprategangkan.
- Adapun metode pelaksanaan jembatan Modangan adalah sebagai berikut:
1. Pekerjaan pondasi sumuran adalah pekerjaan pertama yang dilakukan pada pelaksanaan pembangunan jembatan.

2. Setelah pekerjaan pondasi sumuran selesai, dilanjutkan dengan pekerjaan pilar dan abutment. Pekerjaan pilar dan abutment meliputi pekerjaan pembesian, pekerjaan bekisting dan pengecoran. Untuk beton pilar dan abutment dipakai beton konvensional sistem cor di tempat.
3. Bersamaan dengan pekerjaan pilar dan abutment juga dilakukan pekerjaan balok beton pratekan. Pembuatan balok beton pratekan dilakukan di lapangan. Hal ini dilakukan karena pada lokasi proyek tersedia lahan yang cukup luas dan tentunya penghematan dalam mobilisasi didapat.

Adapun langkah-langkah pembuatan balok beton pratekan adalah sebagai berikut :

- Sediakan dahulu landasan untuk dudukan dari balok pratekan, pastikan bahwa landasan untuk balok tersebut benar-benar rata. Hal ini dilakukan agar balok pratekan yang dibuat nanti benar-benar lurus.
- Setelah itu baru dilakukan fabrikasi besi dan pemasangan ducting / selongsong dari tendon pratekan. Pemasangan besi dan selongsong tendon pratekan harus dilakukan dengan teliti serta mengacu pada gambar pelaksanaan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kesalahan pada penempatan selongsong dari tendon pratekan, karena posisi selongsong untuk balok pratekan segmental yang berada di tepi bentang dan tengah bentang berbeda.



Gbr1.1. Detail selongsong PE/PP tipe bulat (round duct)

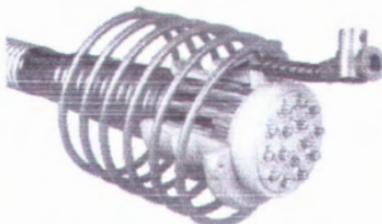
Sumber: Modul kuliah beton pratekan Supani

Tabel 1.1 Karakteristik selongsong PE/PP tipe bulat (round duct)

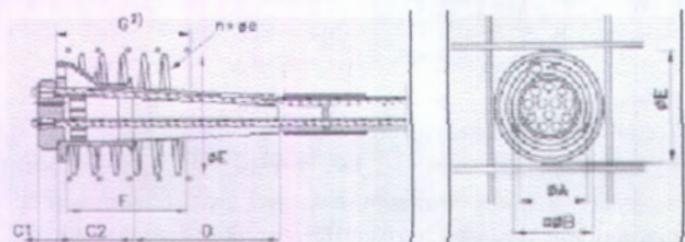
Type	tendon type 0.5"	tendon type 0.6"	diameter		wall thickness mm
			I.D. mm	O.D. mm	
round duct	5905 - 5909	6805 - 6807	59	73	2,00
	5912 - 5915	6809 - 6812	76	91	2,5
	5919 - 5927	6815 - 6819	100	116	3
	5932 - 5937	6822 - 6827	130	147	3,5

Sumber: Modul kuliah beton pratekan Supani ST

- Apabila pembesian dan pemasangan selongsong tendon sudah sesuai selanjutnya adalah pemasangan bekisting samping dari balok pratekan. Posisi pemasangan bekisting harus lurus dan kokoh agar tidak terjadi lendutan pada balok yang akan dicor.
- Langkah selanjutnya setelah pembesian dan bekisting sudah dipasang adalah pengecoran dari balok tersebut. Pada proses pengecoran yang harus diperhatikan juga adalah proses pemadatan beton, proses pemadatan beton dilakukan dengan menggunakan vibrator internal dan eksternal, hal ini dilakukan agar beton yang dihasilkan benar-benar mencapai mutu yang diinginkan dan tidak keropos.
- Setelah proses pengecoran selesai, maka langkah selanjutnya adalah perawatan / curing dari beton tersebut. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi retak pada beton.
- Kemudian setelah proses curing dianggap cukup baru dilakukan pembongkaran bekisting samping dari balok pratekan tersebut.
- Apabila beton tersebut sudah mencapai umur yang telah ditentukan, maka pada balok beton pratekan tersebut dilakukan stressing. Pelaksanaan stressing dilakukan di lokasi pengecoran (lapangan) sebelum balok beton pratekan ditempatkan pada tumpuan. Stressing dilakukan pada 3 tendon secara berurutan. Stressing awal dilakukan pada tendon 1 lalu diikuti tendon 2 dan stressing akhir dilakukan terhadap tendon 3. Setelah stressing pada tiap-tiap tendon dilakukan maka girder dilaunching ke perletakan. Girder diletakkan di atas rel launching yang telah disediakan, lalu ditarik sampai ke tumpuan dan dilepaskan sebagai balok di atas dua tumpuan.



Gbr1.2. Angkur tipe MA (multiplane anchorage)
Sumber: Modul kuliah beton pratekan Supani



Gbr 1.3. Detail angkur tipe MA (multiplane anchorage)

Sumber: Modul kuliah beton pratekan Supani

Tabel 1.2 Karakteristik angkur tipe MA (multiplane anchorage)

$\varnothing 12.9/15.7$ mm, ultimate load 186/265 kN							
type 0.5" GUTS 1860 N/mm ²	type 0.6" GUTS 1770 N/mm ²	distances of the anchorage		additional reinforcement			
		center distances		edge distances		helix	
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
5907	6805	220	130	190	220	5	12
5909	6807	260	150	200	290	5	14
5912	6809	310	175	240	330	6	14
5915	6812	350	195	280	300	6	14
5919	6815	390	215	320	340	6	16
5927	6819	440	240	360	390	7	16
5932	6822	470	255	380	420	7	16
5937	6827	530	285	430	480	7	16
-	6837	620	340	540	550	7	20
-	68611)	800	420	680	705	8	25

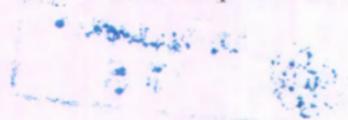
Sumber: Modul kuliah beton pratekan Supani

- Dengan selesainya pemasangan balok memanjang pratekan , langkah selanjutnya adalah pemasangan balok melintang atau balok diafragma.
- Apabila semua balok memanjang dan melintang sudah terpasang semua, langkah selanjutnya adalah pemasangan lantai precast jembatan, setelah pemasangan plat lantai precast selesai dipasang kemudian dilakukan over topping pada plat lantai jembatan tersebut.
- Adapun Pekerjaan selanjutnya setelah over topping selesai adalah pekerjaan pengaspalan lantai jembatan dan diteruskan dengan pekerjaan fasilitas pendukung lainnya.

1.6 Metodologi

Metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

- Studi dan pencarian data-data yang diperlukan untuk perencanaan

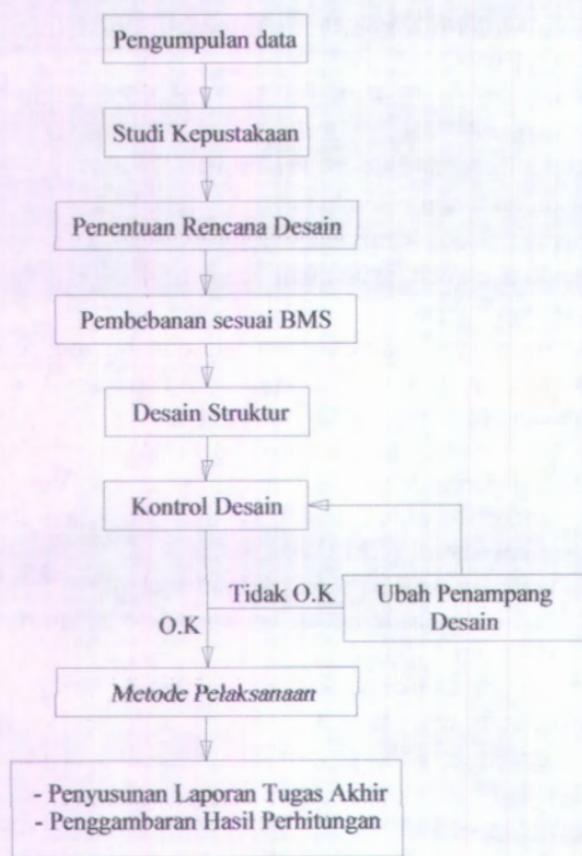


- Denah dan gambar jembatan
 - Data-data tanah
2. Studi kepustakaan
- Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System), Dirjen Bina Marga, 1992.
 - Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, Dirjen Bina Marga, 1986.
 - Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan dan Gedung, SKSNI-03-2847-2002, Departemen Pekerjaan Umum, 2002.
 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan dan Gedung, SKSNI-03-1726-2002, Departemen Pekerjaan Umum, 2002.
 - *Desain Struktur Beton Prategang edisi 3 jilid 1 dan 2*, T.Y. Lin Ned-H. Burns.
 - Beton Prategang Edisi Ketiga jilid 1 dan 2, Edward G. Nawy.
 - Data-data lain.
3. Penentuan Rencana Desain (Preliminari Desain).
- Penentuan tinggi penampang balok type I
 - Penentuan lebar melintang balok type I
 - Penentuan efisien penampang balok type I
 - Penentuan panjang segmen balok type I
 - Penentuan layout kabel tendon dan jumlah kabel prestressing
 - Penentuan unsur sekunder balok type I (pagar + trotoar)
4. Pembebanan pada struktur utama jembatan.
- Pembebanan yang diterapkan mengacu kepada muatan atau aksi lain (*beban perpindahan dan pengaruh lainnya*) yang timbul pada suatu jembatan berdasarkan peraturan yang ada dalam Bridge Management Sistem (BMS, 1992).
5. Perhitungan dan Analisa Struktur Jembatan.
- a. Analisa Tegangan terhadap berat sendiri, beban mati tambahan dan beban hidup.
 - b. Perhitungan struktur sekunder jembatan berupa perhitungan trotoar, kerb serta sandaran.
 - c. Perhitungan besarnya gaya jacking awal dan tegangan awal.
 - d. Perencanaan balok type I
 - e. Pemodelan penampang melintang balok type I untuk menghitung beban mati dan beban lalulintas arah melintang

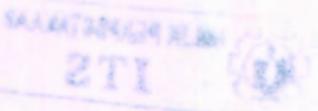
jembatan, sehingga dapat dihitung kebutuhan tulangan lentur pada pelat.

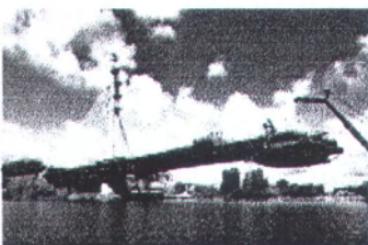
- f. Perhitungan kehilangan gaya pratekan yang meliputi perhitungan kehilangan gaya pratekan langsung dan akibat fungsi waktu, perhitungan total kehilangan gaya pratekan dan analisa tegangan akibat kehilangan pratekan.
- g. Kontrol analisa tegangan akhir dengan kontrol momen retak, kontrol momen batas, kontrol geser dan kontrol lendutan.
- h. Perencanaan perlakuan.
- i. Perencanaan abutment dan pondasi beserta tulangannya.

Sistematika metodologi penulisan tugas akhir ini dapat dilihat seperti diagram berikut :



Gbr1.4 Metodologi penulisan tugas akhir





2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemilihan Struktur Jembatan

Dalam pemilihan struktur jembatan perlu diperhatikan beberapa aspek yang nantinya akan sangat diperlukan dalam merencanakan suatu jembatan, antara lain:

- aspek kekuatan struktur
- aspek ekonomis
- aspek estetika
- aspek kondisi setempat

Antonie E. Naaman dalam bukunya **Prestressed Concrete Analysis and Design**, menyebutkan beberapa keuntungan daripada jembatan sistem beton pratekan, antara lain:

- Pemeliharaan yang minimal (*minimum maintenance*)
- Mempunyai ketahanan yang tinggi (*increased durability*)
- Mempunyai nilai estetika yang baik (*good esthetics*)

Kontinuitas pada konstruksi beton prategang (statis tak tentu) menurut Krishna Raju (tahun 1989) dalam buku **Beton Prategang** menguntungkan dalam banyak hal, yaitu:

- Reduksi ukuran batang menghasilkan struktur yang lebih ringan.
- Kontinuitas batang pada struktur rangka mengarah ke stabilitas yang meningkat.
- Lendutannya kecil bisa dibandingkan dengan bentang tumpuan sederhana.
- Momen lentur lebih terbagi sama antara tengah-tengah bentang dan tumpuan bentang

- Pada gelagar pasca tarik menerus, kabel-kabel yang melengkung dapat ditempatkan secara baik untuk menahan momen-momen bentangan dan tumpuan

Pemilihan gelagar type I – tidak simetris menurut T.Y Lin (tahun 1993) dalam bukunya Desain Struktur Beton Prategang, adalah sebagai berikut :

Perbandingan momen akibat berat sendiri (M_g) dengan total (M_t) yang akan terjadi setelah pembebanan penuh (service load) dari gelagar type I untuk bentang pendek dan menengah akan kecil, sehingga perlu menempatkan c.g.s di bawah kern sesuai dengan ketentuan yang ada. Sedangkan untuk bentang panjang perbandingan momen akibat berat sendiri (M_g) dengan momen total (M_t) yang akan terjadi setelah pembebanan penuh (service load) akan besar, sehingga dapat menempatkan c.g.s di luar *batas praktis* dan perlu untuk menempatkan c.g.s tersebut serendah mungkin.

- Profil I – tidak simetris (unsymmetrical I – section) cocok/ekonomis untuk beton pratekan sistem komposit (it can be economically used for certain composite sections).
- Jika perbandingan M_g/M_t cukup besar akan mengakibatkan profil I – tidak simetris dapat dianggap sebagai penampang berbentuk T.

2.2 SRUKTUR SEKUNDER

Struktur sekunder pada jembatan Modangan ini terdiri dari tiang dan pipa sandaran, kerb, trotoar, pelat lantai kendaraan serta balok diafragma. Material struktur sekunder adalah beton bertulang untuk tiang sandaran, kerb, trotoar, lantai kendaraan dan balok diafragma. Sedangkan pipa sandaran menggunakan material pipa baja. Seluruh perhitungan perencanaan struktur sekunder dengan bahan beton bertulang berdasarkan pada SNI-03-2847-2002. Sedangkan bahan yang menggunakan profil berbentuk T berdasarkan BMS bagian 7 tentang perencanaan baja struktural.

2.2.1 Sandaran

Sandaran terdiri dari pipa sandaran dan tiang sandaran. Pipa sandaran menggunakan pipa baja. Pipa sandaran direncanakan hanya sebagai pembatas bangunan saja dengan menerima beban sebesar 0,2 kN/m yang bekerja secara bersamaan dalam arah menyilang dan vertikal pada masing-masing sandaran (BMS. Bagian 2 ps.2.9.5). Perhitungan kekuatan tiang sandaran berdasar BMS bagian 7 ps. 7.5.2.3.

$$Ms^* = 0,55 \cdot f_y \cdot Z_e$$

$$Mr \leq \left[1 + \frac{25\%}{100} \right] Ms^*$$

Diamana:

- Ms^* = Kemampuan bahan terhadap momen
- F_y = tegangan leleh baja
- Z_e = modulus penampang
- Mr = momen resultan akibat beban pada tiang sandaran

Tiang sandaran direncanakan dengan beton bertulang sebagai konstruksi yang terjepit bebas dengan menerima beban eksternal sebesar 1,5 kN (reaksi dari pipa sandaran).

2.2.2 Trotoar

Trotoar terdiri dari balok beton bertulang pada sisi luar (di bawah sandaran), yang diantaranya diisi dengan pasir padat dan paving block, sehingga sifatnya hanya sebagai beban pada gelagar sebagai *konstruksi utama*. Trotoar direncanakan agar dapat menahan beban rencana ultimate sebesar 15 kN/m yang bekerja sepanjang bagian atas trotoar (*BMS bagian 2 ps.2.9.1*).

2.2.3 Kerb

Kerb berfungsi sebagai pembatas antara lajur kendaraan dan pejalan kaki di atas trotoar. Kerb direncanakan untuk menahan beban horizontal sebesar 150 kN (*BMS bagian 2 ps 2.9.3.1*) Konstruksi kerb terbuat dari beton bertulang.

2.2.4 Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan merupakan konstruksi sekunder yang paling penting karena beban lalu lintas sebagai beban hidup utama jembatan langsung menumpu pada konstruksi ini. Konstruksi pelat lantai kendaraan terdiri dari dua bagian; pelat precast setebal 95mm dan pelat dengan cor ditempat. Penggunaan pelat precast untuk meniadakan perancah pada jembatan saat pengecoran di tempat pelat lantai kendaraan. Dalam perhitungannya pelat lantai kendaraan merupakan satu bagian utuh, sehingga penulangan pelat precast merupakan bagian dari penulangan pelat lantai kendaraan secara utuh. Perumusan perhitungan beton bertulang sesuai *SNI-03-2847-2002* adalah sebagai berikut.

$$Mu = (1,2 \cdot M_D) + (1,6 \cdot M_L)$$

$$R_n = \frac{Mu}{b \cdot d^2 \cdot \phi}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{\min} = 1,4 / f_{sy}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_{\text{balance}}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \left[\frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_{sy}} \cdot \frac{600}{600 + f_{sy}} \right]$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$S = \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) \cdot \frac{1000}{As \text{ perlu}}$$

2.2.5 Balok Diafragma

Balok diafragma pada struktur jembatan ini hanya sebagai penga lateral (lateral support) saja dan menjadi beban pada balok prategang sehingga tidak menerima beban lentur yang diterima struktur atas utama.

2.3 STRUKTUR UTAMA

Struktur utama (super struktur) pada jembatan Modangan adalah balok beton prategang. Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu (*Komisi ACI ... T.Y Lin & Ned H.Burns dalam bukunya Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1 edisi 3 hal-13*).

2.3.1 MATERIAL UNTUK BETON PRATEGANG

Beton berkekuatan tinggi menurut **Krishna Raju** (tahun 1986) dalam buku beton prategang menyebutkan bahwa :

- Beton prategang memerlukan beton yang mempunyai kekuatan tekan kubus yang lebih tinggi pada usia yang cukup muda, dengan kekuatan tanpa mengambil bantuan material/proses luar biasa serta tanpa mengalami suatu kesulitan teknis yang berarti.
- Menghasilkan beton berkekuatan tinggi, yang mempunyai kekuatan tekan kubus yang diinginkan setelah 28 hari antara 70-100 N/mm² tanpa mengambil bantuan material/proses luar biasa serta tanpa mengalami suatu kesulitan teknis yang berarti.
- Agregat batu pecah, dengan permukaan yang tajam, pada umumnya menghasilkan beton lebih kuat dibandingkan dengan memakai agregat pada umur beton yang sama.

2.3.2 KONSEP DASAR PRATEGANG

Beton Prategang (Prestressed Concrete) Merupakan struk komposit antara dua bahan , ialah beton dan baja dengan mutu tinggi Baja yang dipakai disebut tendon yang dikelompokkan di

membentuk kabel . seperti sudah diketahui, beton tidak dapat menahan tarik, tetapi dapat menerima tekanan yang besar. sedangkan tegangan tarik yang besar. Selalu terjadi pada struktur yang mempunyai bentang besar, atau beban yang berat. Dengan pertimbangan itulah, maka didaerah yang diperkirakan akan timbul tegangan tarik., dipasang tendon yang diberi tegangan awal. Tegangan yang dimaksudkan disini adalah tegangan tarik *Ir. Winarni Hadipratomo, Buku Struktur Beton Prategang (Teori dan Prinsip Desain hal 6)* .

Kabel baja mutu tinggi (tendon) ditempatkan dalam selubung (duct) yang kemudian dijangkar kedua ujungnya, setalah ditegangkan. Penegangan tersebut untuk mendapatkan gaya prategang yang cukup untuk menahan beban rencana, maka besarnya tendon *harus sesuai untuk menahan beban batas didaerah tarik.* Dalam beton prategang juga dapat ditempatkan tulangan biasa sebagai tulangan memanjang dan melintang.

Dalam cara Penegangan terdapat dua prinsip yang berbeda :

1. Pre tensioned Prestressed Concrete,

Kontruksi dimana tendon ditegangkan dengan pertolongan alat pembantu sebelum beton dicor atau sebelum beton mengeras dan gaya prategang dipertahankan sampai beton cukup keras.

2. Post tensioned Prestressed Concrete.

Kontruksi dimana setelah betonnya cukup keras, barulah bajanya yang tidak melekat pada beton diberi tegangan..

Dalam perencanaan Tugas Akhir ini digunakan cara penegangan kedua yaitu Post Tensioned.

2.3.3 TEGANGAN PADA BETON PRATEGANG

Berdasarkan konsep Sistem Prategang untuk mengubah beton menjadi bahan elastis, tidak ada tegangan tarik pada beton sehingga beton tidak mengalami retak dan beton bukan bahan yang getas lagi. Tapi berubah menjadi bahan elastis. Beton divisualisasi sebagai benda yang mengalami dua Pembebebahan, gaya internal prategang dan beban external, dengan tegangan tarik akibat gaya external dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Perhitungan tegangan pada beton prategang mengacu pada Desain Struktur Beton Prategang jilid 1 edisi 3 T.Y Lin & Ned H. Burns.

Akibat gaya Prategang F , menimbulkan tegangan tekan merata pada penampang luas A sebesar :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Adanya momen ekternal M pada penampang akibat beban berat sendiri balok, maka tegangan pada setiap titik sepanjang penampang :

$$f = \frac{My}{I}, \quad y \text{ adalah jarak dari sumbu yang melalui titik penampang}$$

berat dan I adalah momen inersia.

Akibat gaya prategang Eksentris, beton dibebani oleh momen dan beban langsung, maka tegangan akibat momen adalah.

$$f = \frac{Fey}{I}$$

maka distribusi tegangan yang dihasilkan adalah,

$$f = \frac{F}{A} + \frac{Fey}{I} + \frac{My}{I}$$

..... (T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-1)

dimana: F = Gaya prategang

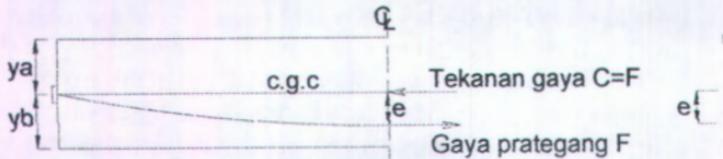
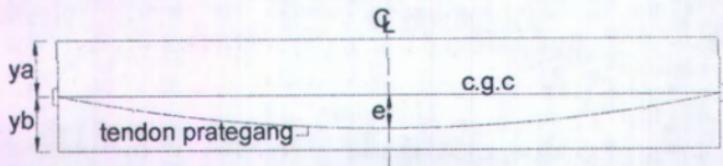
e = jarak tendon ke garis pusat penampang (c.g.c)

y = jarak dari c.g.c ke serat terluar yang ditinjau.

I = Momen inersia penampang

A = Luas penampang

M = Momen akibat beban



Gambar 2.1: Pengaruh gaya prategang
Sumber: T.Y Lin & Ned.H. Burns edisi 3 jilid 1 Hal 1-16

2.3.4 Perhitungan Penampang

Penampang dalam hal ini adalah penampang girder penampang komposit.

$$I = 1/12 bh^3 + A.d^2$$

(untuk bentuk 4 persegi)

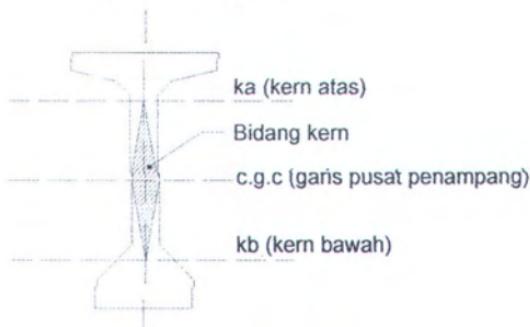
$$I = \frac{1}{36} bh^3 + A.d^2 \quad (\text{untuk bentuk segi tiga})$$

$$w_a = I/ya$$

$$w_b = I/yb$$

$$k_a = w_b/Ac$$

$$k_b = w_a/Ac$$



Gambar 2.2: Posisi garis kern pada penampang

2.3.5 Pembebanan

Pembebanan memakai Load Factor sesuai dengan BMS bagian 2 untuk menghasilkan gaya-gaya dalam, dalam keadaan ultimate setelah penganalisaan struktur, yang dalam hal ini menggunakan program bantu SAP 2000.

2.3.6 Perhitungan momen

Perhitungan momen pada balok terdiri dari dua statika.

- Balok dengan berat sendiri di atas dua tumpuan
- Balok menerus yang memikul berat lantai kendaraan, beban hidup, dan diafragma, dihitung dengan cara statis taktentu dimana balok terdiri atas 3 tumpuan yang diasumsikan sebagai sendi – rol – rol.

Momen maksimum yang akan dihitung adalah momen yang terjadi pada gelagar/ balok di tengah bentang dan di pilar. Berdasarkan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan 1992**, gelagar/balok yang dipinggir harus direncanakan minimum sama kekuatannya dengan gelagar/balok yang di tengah.

Pada perhitungan momen ini beban-beban yang diperhitungkan meliputi:

1. Beban sendiri gelagar/balok utama
2. Balok melintang
3. Lantai kendaraan + Aspal + Muatan Sekunder + Air hujan
4. Beban hidup

2.3.7 Menentukan Gaya Prategang Yang Terjadi

1. Tegangan Baja - Baja Prategang Grade 270 ($f_{pu} = 180 \text{ Mpa}$)

(Peraturan ACI, TY Lin jilid 1 hlmn 24)

- Pada saat jakcng adalah sebesar $0.80s f_{pu}$
- Setelah diangker adalah sebesar $0.70 f_{pu}$

2. Tegangan Beton - Beton Pratekan ($f'_c = 45 \text{ Mpa}$)

(SNI 03-2847-2002 ps-20.4)

- Pada saat transfer
 f_{ci} direncanakan pada umur beton 21 hari
 sebesar $95\% \times 45 = 42.75 \text{ Mpa}$

$$\text{Tekan } f_{ci} = 0.6 f_{ci}$$

Untuk bentang sederhana;

$$\text{Tarik } f_{ti} = 0.50 \times \sqrt{f'_c}$$

- Pada saat service load (pembebatan penuh)
 $\text{Tekan } f_{cs} = 0.45 f'_c$

$$\text{Tarik } f_{ts} = 0.5 \times \sqrt{f'_c}$$

(Tegangan tarik pada saat pembebatan penuh adalah 0 Kg/cm^2)

2.3.8 Perhitungan gaya prategang awal

Batasan F_o pada titik D dapat ditentukan dengan persamaan pada kondisi saat transfer untuk serat atas dan bawah serta kondisi saat servis untuk serat atas dan bawah sebagai berikut :

Saat transfer:

$$\text{I. } F_o \leq \left(\frac{Mg + f_{ti} \cdot W_a}{e_o - K_b} \right)$$

$$\text{II. } F_o \leq \left(\frac{Mg + f_{ci} \cdot W_b}{e_o + K_a} \right)$$

Saat servis:

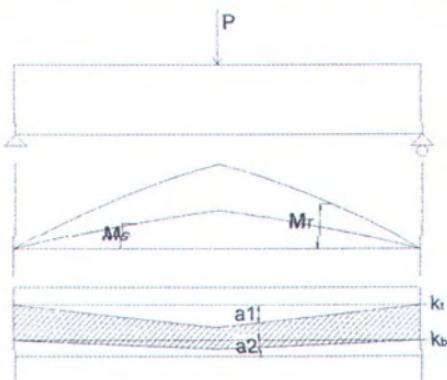
$$\text{III. } F_o \geq \left(\frac{M_t - f_{cs} \cdot W_a}{e_o - K_b} \right)$$

$$\text{IV. } F_o \geq \left(\frac{M_t - f_{ts} \cdot W_b}{e_o + K_a} \right)$$

.....(referensi: tegangan pada beton prategang Nawy, Edward G jilid 1 edisi 3)

2.3.9 PENEMPATAN TENDON

Tata letak tendon di atas dua tumpuan dalam hal ini menggunakan metode yang ada pada T.Y Lin & Ned H. Burns. Dengan melihat gambar 2.2, setelah menentukan tata letak penampang beton, dilanjutkan menghitung titik-titik kernnya, jadi menghasilkan dua buah garis kern, satu di atas dan satu di bawah.



Gambar 2.3. Letak daerah batas untuk c.g.s

(Sumber T.Y Lin & Ned H Burns desain struktur beton prategang edisi 3 jilid 1 Hal341)

Untuk sebuah balok yang dibebani seperti pada gambar, diagram momen maksimum dan momen minimum untuk beban gelagar dan untuk beban kerja total masing-masing disebut M_G dan M_T . Agar pusat tekanan, daerah $-C$ (yang diarsir) tidak jatuh di atas garis kern atas akibat beban kerja, jelaslah bahwa c.g.s harus diletakkan di bawah kern atas sekurang-kurangnya berjarak

$$a_1 = \frac{M_T}{F}$$

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-341)

Jika c.g.s jatuh di atas batas atas pada suatu titik, maka daerah C yang berkaitan dengan momen M_T dan gaya prategang F akan jatuh di atas kern atas, menimbulkan tegangan tarik pada serat bawah.

Dengan cara yang sama, agar daerah C tidak jatuh di bawah garis kern bawah, garis c.g.c tidak boleh ditempatkan di bawah kern bawah dengan jarak yang lebih besar dari

$$a_2 = \frac{M_G}{F_0}$$

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-341)

dimana: M_G = Momen akibat berat sendiri gelagar

M_T = Momen akibat beban keseluruhan

F = Gaya prategang efektif

F_0 = Gaya prategang awal

a_1 = diukur dari kern atas (ka) ke bawah

a_2 = diukur dari krn bawah (kb) ke bawah

2.3.10 KEHILANGAN GAYA PRATEKAN

Gaya prategang yang diterima oleh balok prategang, besar tidak akan konstan terhadap waktu. Tegangan-tegangan selanjutnya berbagai tahap pembebahan juga berubah-ubah karena kekuatan beton dan modulus elastisitas bertambah terhadap waktu. Analisis keseluruhan dan rancangan dari komponen struktur beton prategang menyertakan pertimbangan gaya-gaya efektif dari tendon prategang pada setiap pembebahan yang berarti bersama-sama dengan sistem bahan yang berlaku pada fungsi struktur tersebut (T.Y. Lin dalam bukunya "Desain Struktur Beton Prategang", jilid I).

- a. Kehilangan pratekan akibat perpendekan elastisitas (*elastomeric shortening*).

Perpendekan beton bertambah setiap kali tendon diikat padaanya.

$$\Delta fs = \frac{n.Fo}{Ac}$$

.....(TY. Lin, jilid 1 edisi 3, hal 101)

dimana:

n = perbandingan modulus pada saat peralihan

$$n = \frac{E_s}{E_{ci}}$$

E_s = modulus elastisitas strand grade 270 ASTM-A416

$E_{ci} = (w_c)^{1.5} 0,043 \sqrt{f_c}$, w_c = berat jenis beton

F_0 = gaya prategang awal

Ac = Luas penampang beton

b. Kehilangan pratekan akibat gesekan kabel (*friction and wobble effect*)

Adanya gesekan pada sistem pendongkrakan dan pengangkuran sehingga tegangan yang ada pada tendon kurang daripada yang ditunjukkan oleh pengukur tekanan. Kehilangan gaya prategang akibat gesekan ini dapat dipertimbangkan pada dua bagian; pengaruh panjang dan pengaruh kelengkungan. Pengaruh panjang adalah jumlah gesekan yang akan dijumpai jika tendon lurus, tidak dirancang bengkok atau melengkung.

Kehilangan gaya prategang akibat pengaruh kelengkungan dihasilkan dari kelengkungan tendon yang diinginkan ditambah dengan goyahnya selubung yang tidak diinginkan.

Tabel 2.1 Koefisien-koefisien gesekan untuk tendon-tendon pasca tarik

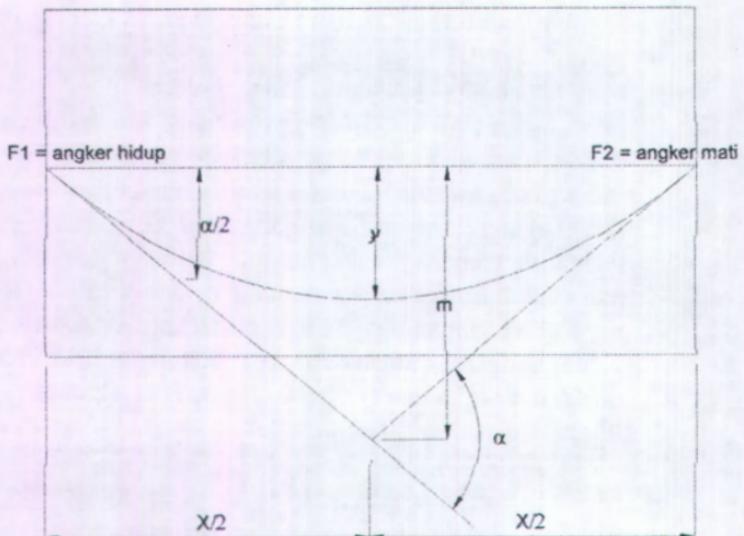
Tipe tendon	Koefisien wobble K tiap meter	Koefisien kelengkungan μ
Tendon pada selubung logam fleksibel	0,0033-0,0049	0,15-0,25
Tendon kawat	0,0016-0,0066	0,15-0,25
Strand dengan untaian 7 kawat	0,0003-0,0020	0,08-0,30
Batang baja mutu tinggi		
Tendon pada selubung logam kaku		
Strand dengan untaian 7 kawat	0,0007	0,15-0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat	0,0001-0,0066	0,05-0,15
Terlondon yang diberi lapisan mastik		
Tendon kawat dan strand dengan untaian 7 kawat	0,0033-0,0066	0,05-0,15

Sumber: Desain Struktur Beton Prategang jilid 1 edisi 3 T.Y Lin & Ned H. Burns tabel 4-7 Hal 117

Perhitungan kehilangan pratekan akibat gesekan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta f_r = 1 - e^{-\mu_a \cdot KL}$$

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3, hal 122)



Gambar 2.4. penentuan sudut pusat tendon

(Sumber T.Y Lin & Ned H Burns desain struktur beton prategang edisi 3 jilid I Hal123)

dimana: α = sudut suar petemuan gaya prategang pada tendon seperti gambar 2.4 di atas

μ = koefisien kelengkungan tendon (dapat dilihat pada tabel 2.1)

K = koefisien wobble (dapat dilihat pada tabel 2.1)

L = panjang bentang

c. Kehilangan pratekan akibat slip angker (*slip anchorage*)

Untuk kebanyakan sistem pasca tarik, pada saat tendon ditarik sampai nilai penuh dongkrak dilepas dan gaya prategang dialihkan ke angkur. Peralatan angkur yang mengalami tegangan pada saat peralihan cenderung untuk berdeformasi, jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Baji gesekan yang dipakai untuk menahan kabel akan sedikit tergelincir sebelum kabel dijepit dengan kokoh. Rumus umum untuk menghitung kehilangan gaya prategang akibat deformasi pengangkuran Δ_a adalah:

$$\Delta f_s = \frac{\Delta \alpha \cdot E_s}{L}$$

..... (T.Y Lin & Ned H. Burns jilid I edisi 3, hal 1)

dimana: Δf_s = kehilangan prategang pada baja akibat slip angker

Δa = deformasi total pada angker

E_s = modulus elastisitas strand grade 270 ASTM-A416

L = panjang bentang

- d. Kehilangan pratekan akibat rangkak beton (*creep*)

Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya prategang. Bagian dari regangan tekan awal disebabkan pada beton segera setelah peralihan gaya prategang dikurangi regangan tarik yang dihasilkan dari beban mati permanen.

Kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut (untuk beton dengan berat normal):

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

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3, hal 107)

Dimana:

KCR = 1.60 → untuk post tension

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3, hlm 107)

f_{cir} = Tegangan beton di daerah cgs oleh gaya F_o

$$= \frac{F_o}{A_c} + \frac{F_o \cdot e^2}{I_x} - \frac{M_g \cdot e}{I_x}$$

f_{cds} = Tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi F_o

$$= \frac{M_d \cdot e}{I_x}$$

- e. Kehilangan pratekan akibat susut beton (*shrinkage*)

Kehilangan gaya prategang akibat susut adalah perkalian susut efektif, ϵ_{sh} dan modulus elastisitas dari baja prategang. Kehilangan gaya prategang akibat susut beton dihitung dari persamaan berikut.

$$SH = \epsilon SH \cdot KSH \cdot E_s$$

dimana :

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

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3, hal 108)

V = Luas penampang balok

S = Keliling balok yang berhubungan dengan udara terbuka

RH = kelembaban udara

KSH = 0,73 → pasca tarik 10 hari setelah selesainya masa perawatan basah (Tabel 4.4, Desain Struktur Beton Prategang, Lyn, T.Y., Burns, Ned H, jilid I, hlm 109)

Es = modulus elastisitas strand grade 270 ASTM-A416

- f. Kehilangan pratekan akibat relaksasi (*relaxation*)
 Sebenarnya balok prategang mengalami perubahan regangan bahan yang konstan di dalam tendon bila terjadi rangkak yang tergantung pada waktu. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi dihitung dari persamaan berikut.

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

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns, jilid 1 edisi 3, hal 116)

dimana:

sesuai dengan buku Desain Struktur Beton Prategang, Lyn, T.Y, Burns, Ned H., jilid I, tabel 4.5 dan 4.6, hlm 111 :

$$K_{RE} = 138 \text{ Mpa}$$

$$J = 0,15$$

$$\frac{f_{pi}}{f_{pu}} = 0,70 \rightarrow C = 1$$

2.3.11 Kontrol Tegangan

Kontrol tegangan berdasarkan pada perumusan distribusi tegangan.

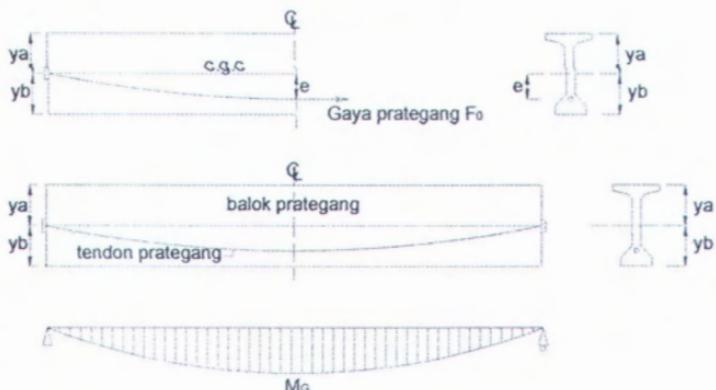
$$f = \frac{F}{A} + \frac{Fey}{I} + \frac{My}{I}$$

..... (T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-147)

Dalam perhitungan kontrol tegangan diasumsikan:

- Tegangan tekan (-)
- Tegangan tarik (+)

1. Tegangan saat transfer (jacking)



Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada penampang saat transfer

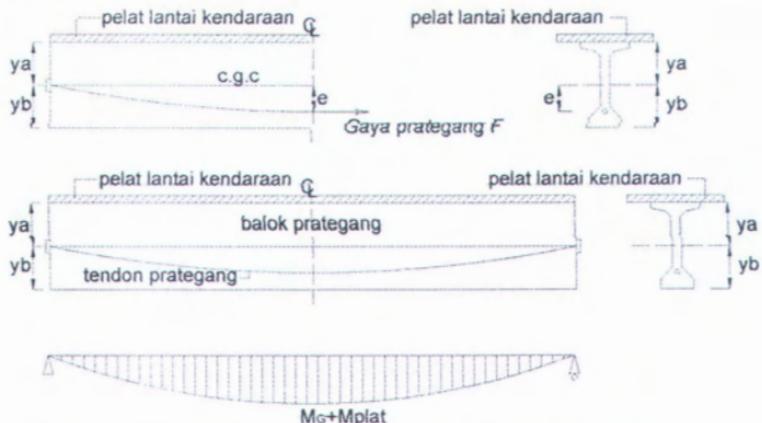
Tegangan pada serat atas

$$f_t = -\frac{F_o}{A_c} + \frac{F_o \cdot e \cdot ya}{I} - \frac{Mg \cdot ya}{I}$$

Tegangan pada serat bawah

$$f_b = -\frac{F_o}{A_c} - \frac{F_o \cdot e \cdot y_b}{I} + \frac{Mg \cdot y_b}{I}$$

2. Tegangan saat beban mati bekerja (setelah plat lantai kendaraan dicor)



Gambar 2.6 Gaya yang bekerja pada penampang saat setelah

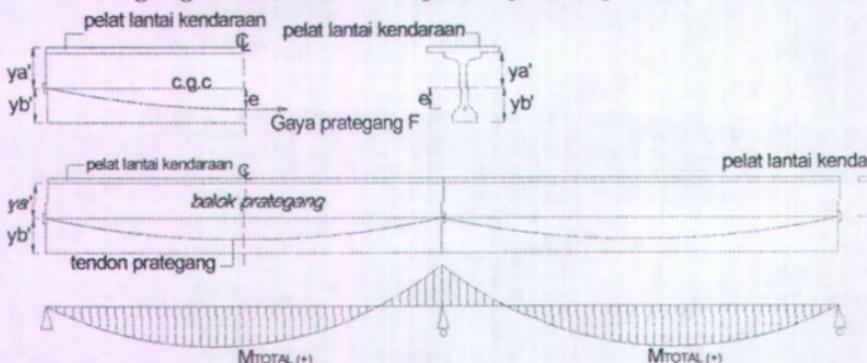
pelat lantai dicor

Tegangan pada serat atas

$$f_t = \frac{F}{A_c} + \frac{F \cdot e \cdot ya}{I} - \frac{M_p \cdot ya}{I}$$

Tegangan pada serat bawah

$$f_b = \frac{F}{A_c} - \frac{F \cdot e \cdot yb}{I} + \frac{M_p \cdot yb}{I}$$

3. Tegangan saat beban hidup bekerja (komposit)

Gambar 2.7 Gaya yang bekerja pada penampang saat service (penampang komposit)

Tegangan pada serat atas

$$f_t = f_t \text{ saat beban mati bekerja} + \left(-\frac{ML \cdot ya'}{I'} \right)$$

Tegangan pada serat bawah

$$f_b = f_b \text{ saat beban mati bekerja} + \left(+\frac{ML \cdot yb'}{I'} \right)$$

2.3.12 MOMEN BATAS

Struktur disyaratkan memiliki kapasitas minimum memungkinkan beban yang lebih besar, sehingga perlu ditentukan kekuatan batasan (ultimate strength). Kekuatan batas dari sebuah struktur didefinisikan sebagai beban maksimum yang masih dapat dipikul oleh struktur sebelum mengalami keruntuhan total.

Kekuatan yang disyaratkan dari beban ber faktor tidak boleh lebih dari kekuatan rencananya. Kekuatan rencana desain komponen struktur adalah faktor reduksi ϕ dikalikan estimasi terbaik dari komponen kekuatan struktur (kekuatan nominal).

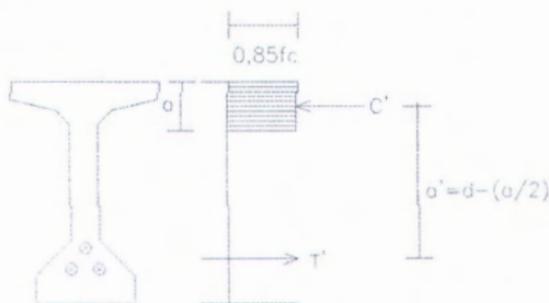
$$M_u \leq \phi M_n$$

dimana :

- M_n = Momen penahan batas (momen nominal)
- ϕ = faktor reduksi = 0,8
- M_u = Momen akibat beban berfaktor
- = $1,2 M_D + 1,6 M_L$

dimana :

- M_D = momen akibat beban mati
- M_L = momen akibat beban hidup
- 1,2 = Faktor beban Untuk Beton cor ditempat
- 1,6 = Faktor beban untuk Beban hidup



Gambar 2.8 Diagram Momen batas pada tumpuan

Perhitungan momen penahan batas dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut :

- $C' = T'$
- $T' = A_{ps} \cdot f_{ps}$
- $C' = 0,85 \cdot f_{c'} \cdot b \cdot a$
- $a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f_{c'} \cdot b}$
- $M_n = T' \cdot a'$
- = $A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d - a/2)$

dimana,

- T' = gaya tarik batas pada baja
- C' = *gaya tekan batas pada beton*
- a' = lengan momen antara T' dan C'

Nilai untuk tegangan baja (fps) pada kapasitas momen batas bal adalah :

$$\text{fps} = \text{fpu} (1 - 0,5 \cdot \rho_p \cdot \frac{\text{fpu}}{\text{fc}})$$

..... (T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-16)

dimana :

$$\rho_p = \text{ratio tulangan prategang} = \frac{A_{ps}}{b \cdot d}$$

fpu = kekuatan batas baja prategang

A_{ps} = luas baja prategang

2.3.13 MOMEN RETAK

Momen retak adalah momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok beton prategang dan mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya. Perumusan untuk perhitungan momen yang menghasilkan retak mengacu pada Desain Struktur Beton Prategang jilid 1 edisi 3 T.Y Lin & Ned H. Burns.

Momen perlawan yang diberikan oleh gaya prategang F adalah :

$$M_1 = F (e + kt)$$

Penambahan momen yang ditahan oleh beton sampai modulus keruntuhan adalah :

$$M_2 = fr \cdot W_b$$

Sehingga momen total saat retak diberikan oleh :

$$M_{cr} = M_1 + M_2$$

$$= F (e + kt) + fr \cdot W_b$$

..... (T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-15)

dimana :

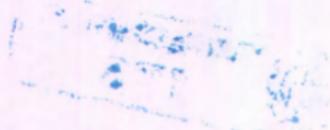
M_{cr} = momen retak

fr = modulus keruntuhan

$$= 0,7 \sqrt{fc'}$$

2.3.14 Kontrol Tegangan Pada Blok Angker

Untuk tendon dengan pengangkuran ujung, dimana gaya prategang dialihkan ke beton dengan bantalan langsung, ada bermacam cara desain yang mungkin dipakai untuk memindahkan gaya prategang tersebut, antara lain: pelat baja, blok baja atau blok beton bertulang yang dalam hal ini dipakai pelat bantalan. Perumusan kontrol terhadap blok angker ini sebagai berikut:



a. Saat stressing (peralihan)

$$f_{cp} = 0.8 \times f'_{ci} \sqrt{\frac{Ab'}{Ab}} - 0.20$$

f_{cp} tidak lebih besar dari $1,25 f'_{ci}$

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-303)

Kontrol:

$$\frac{F_i}{Ab} < F_{cp} \text{ atau } 1,25 f'_{ci}$$

b. Saat service (bebannya kerja)

$$F_{cp} = 0.6 \times f'_{ci} \sqrt{\frac{Ab'}{Ab}} - 0.20$$

f_{cp} tidak lebih besar dari f'_{ci}

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-303)

$$\frac{F_i}{Ab} < F_{cp} \text{ atau } f'_{ci}$$

f'_{ci} = kekuatan tekan beton saat pemberian gaya prategang awal

f'_{ci} = Kekuatan tekan beton

2.3.15 LENDUTAN

Kenyataannya pad balok beton prategang terjadi pula lawan lendutan atau lendutan keatas (Camber) yang dapat mengurangi lendutan sebenarnya pada saat beban bekerja. Namun Pada saat beban mulai bekerja akan terjadi pengaruh rangkak yang bersifat cenderung menambah besar lendutan. Selama 45 hari Pengaruh Rangkak terjadi sekitar 40 % dan hal ini sama halnya mereduksi harga modulus elastis sebesar 1,8 ($E_c' = E_c/1,8$) dan dalam pembebanan yang lama dan tetap Pengaruh rangkak dapat terjadi sampai 100 %. Dalam buku peraturan PPTJ BMS lendutan ini disebut lendutan jangka panjang,. **L.D. martin** memberikan angka pengali (C_c) dalam memperhitungkan lendutan akibat rangkak yang dapat dilihat pada pada tabel berikut:



Tabel 2.2 Angka pengali lendutan ke atas dan lendutan jangka panjang

		Tanpa Lapisan Atas Komposit	Dengan Lapis Atas Kompo
Saat pengangkatan			
1	Komponen fendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan elastik akibat berat komponen struktur saat pelepasan gaya prategang	1,85	1,85
2	Komponen lendutan (ke atas) digunakan untuk lendutan elastik ke atas akibat gaya prategang saat pelepasan gaya prategang	1,80	1,80
Saat akhir (service)			
3	Komponen lendutan (ke bawah) digunakan untuk lendutan yang dihitung pada (1) di atas.	2,7	2,4
4	Komponen lendutan (ke atas) digunakan pada lendutan ke atas (camber) yang dihitung pada (2) di atas.	2,45	2,2
5	Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik hanya akibat beban mati di atasnya	3,0	3,0
6	Lendutan (ke bawah) digunakan pada lendutan elastik yang disebabkan oleh lapisan atas komposit		2,30

Sumber: Desain Struktur Beton Prategang T.Y Lin & Ned H.Burns jilid 1 edisi hal-332.

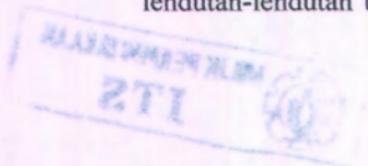
Perumusan lendutan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Lendutan akibat gaya prategang} = \frac{PeL^4}{8EI}$$

$$\text{Lendutan akibat berat sendiri girder, dan pelat} = \frac{5WG.L^4}{384EI}$$

.....(T.Y Lin & Ned H. Burns jilid 1 edisi 3 hal-332)

Lendutan total didapat dengan menjumlahkan secara aljabar lendutan-lendutan tersebut yang disesuaikan dengan kondisi (s)



transfer, pengangkatan dan servis), dengan memakai koefisien pengali sesuai tabel 2.2 di atas.

2.3.16 Perhitungan Gaya Geser

Tulangan geser diperlukan untuk menahan gaya geser yang terjadi pada balok. Dalam hal ini beton juga dapat menerima gaya geser itu sesuai dengan kemampuannya menerima gaya geser, sebatas tegangan geser yang diijinkan boleh terjadi pada formasi tegangan utama yang menyebabkan retak.

Menurut T.Y. Lyn ada dua jenis kehancuran akibat geseran yang penting, yaitu:

1. Retak dari badan akibat tarikan yang tinggi (V_{cw}) yang terjadi di daerah perletakan
 2. Retak akibat lentur yang mula-mula vertikal dan sedikit demi sedikit berkembang menjadi retak miring akibat geseran (V_{ci}). Retak yang diakibatkan oleh kombinasi antara geser dan lentur yang biasa disebut tegangan tarik utama.

Perumusan perhitungan untuk tulangan geser sebagai berikut:

- a. Gaya Geser Retak Badan

$$V_{cw} = 0.3 (\sqrt{f_c} + f_{pc}) b w * d + V_p$$

.....(SNI 03-2847-2002, ps.13.4.2.(2))

dimana :

fpc = Tegangan akibat gaya pratekan

$$= \frac{F}{A_c}$$

Vp = Gaya geser yang disebabkan gaya pratekan

$$= 99.5 \text{ L} - x$$

$$\omega_p = \frac{0.8 \times F \times e}{I^2}$$

E = Gaya pratekan

$P =$ Gaya pratekan
 $e =$ Puncak parabola

$\epsilon =$ Funcak parabola
 $L =$ Paniang segment

- #### b. Gaya Geser Retak Lentur Geser Miring

$$Vci = \frac{\sqrt{f'c}}{20} . bw.d + Vd + \frac{Vi \times Mcr}{Mmax}$$

dimana :

$$M_{cr} = (e \pm Kt) f \pm (fr - fd) S_b$$

$$f_r = 0.5 \sqrt{f_s}$$

$$sb = I/Cb$$

$$fd = Mg / Sb$$

$$Vs = Vu/\phi - Vc \text{ dengan } \phi = 0,75$$

.....(SNI 03-2847-2002, ps.II.3.3)

$Vc = Vcw$ atau Vci (diambil yang terkecil)

Jika $Vs > Vu/\phi - Vc$... perlu tulangan geser

$$Vs = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{S}$$

Jika $Vs < Vu/\phi - Vc$... pakai tulangan geser minimum

Tulangan geser maksimum:

$$Av = \frac{75\sqrt{f'c} \cdot bw \cdot s}{(1200)fy}$$

Dan tidak kurang dari $Av \geq \frac{1 \cdot bw \cdot s}{3fy}$, dimana: bw dan s dalam mm

.....(SNI 03-2847-2002, ps.II.3.3)

Spasi untuk tulangan geser:

1. $S \text{ max } \leq \frac{1}{4} h$
2. $S \text{ max } \leq 600 \text{ mm}$

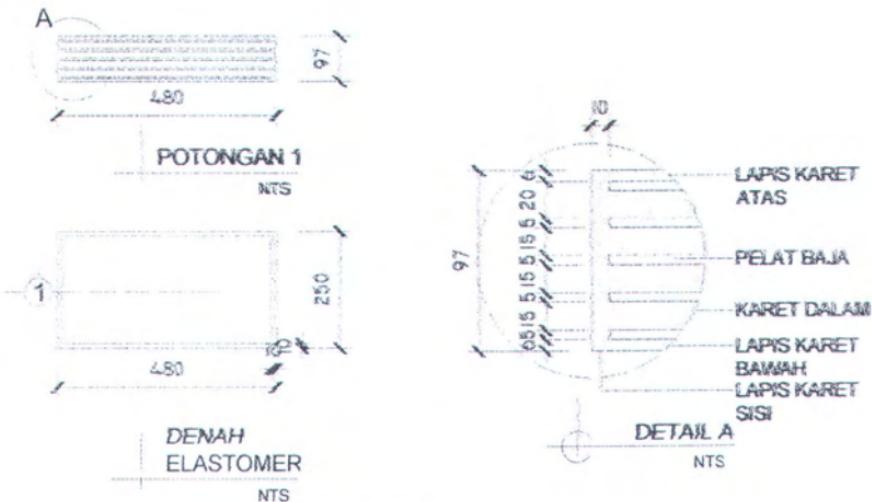
.....(SNI 03-2847-2002, ps.II.3.5.4)

2.3.17 Perhitungan tulangan untuk momen negatif pada tumpuan tengah

Pada tumpuan tengah, kontinuitas akibat beban pelindung hidup dan mati tambahan yang menghasilkan momen negatif ditahan dengan merencanakan tulangan non prategang yang dipasang pada pelat. Perhitungan untuk tulangan adalah perhitungan untuk mencari tulangan akibat momen negatif seperti perhitungan beton bertulang pada pembahasan sebelumnya.

2.4 Landasan

Landasan untuk balok pratekan (girder) digunakan landasan elastomer. Perletakan elastomer umumnya terbuat dari karet alam dan pelat baja yang diikat bersatu selama vulkanisasi, dan mempunyai selimut sisi elastomer minimum sebesar 6mm, sisi atas dan bawah sebesar 4mm untuk melindungi pelat baja. Karet umumnya disyaratkan mempunyai kekerasan IHRD 53 ± 5 (BD volume 1, BMS hal 7-3). Berikut gambar perletakan elastomer yang digunakan pada perhitungan.



Gambar 2.9. Perletakan elastomer

(Sumber BDM volume 1, BMS. Hal7-9)

2.4.1 Pembebanan

Beban yang bekerja pada landasan berupa beban vertikal dan beban horizontal. Beban vertikal yaitu beban mati dan beban hidup pada struktur atas yang bertumpu pada perletakan. Sedangkan beban horizontal terdiri dari:

- beban horizontal akibat beban mati diambil 15% dari reaksi vertikal pada perletakan.
- Akibat gaya rem SLS = 25000 kg (BMS bagian 2, hal 2-31)
- Akibat gaya gempa bumi $H = Kh \times V$, $Kh = C \times S \times I$ (BMS bagian 2, hal 2-45)

dimana:

V = reaksi vertikal pada perletakan

Kh = koefisien beban gempa horizontal

C = koefisien geser dasar untuk daerah (BMS, bagian 2 hal 2-52)

S = Faktor tipe bangunan (BMS, bagian 2 hal 2-51)

I = faktor kepentingan (BMS, bagian 2 hal 2-50)

Akibat gaya gesek (BMS, bagian 2 hal 2-8)

- Akibat pengaruh suhu (BDM volume 1, BMS, pasal 7.3, hlm 7-6)
- Akibat beban angin (BMS bagian 2 hal 2-43)

2.4.2 Gerakan tangensial

$$a_a = \frac{H * x * t}{1000 * A_t * G}$$

.....(BDM volume 1, BMS, hlm 7-6)

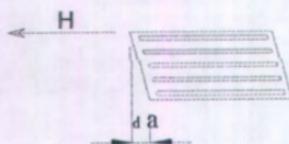
dimana :

H = gaya horizontal

t = tebal karet landasan

G = modulus geser = 0.69 MPa

A_t = luas denah karet



Gambar 2.10. Gerakan tangensial

(Sumber BDM volume 1, BMS. Hal7-5)

2.4.3 Perencanaan perletakan elastomer

Besaran dimensi perletakan elastomer berdasar tabel dimesi perletakan elastomer pada BDM volume 1, BMS hal 7-9.

2.4.4 Kontrol perletakan

a. Faktor bentuk

$$S = \frac{A}{P t_0}$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-17)

dimana:

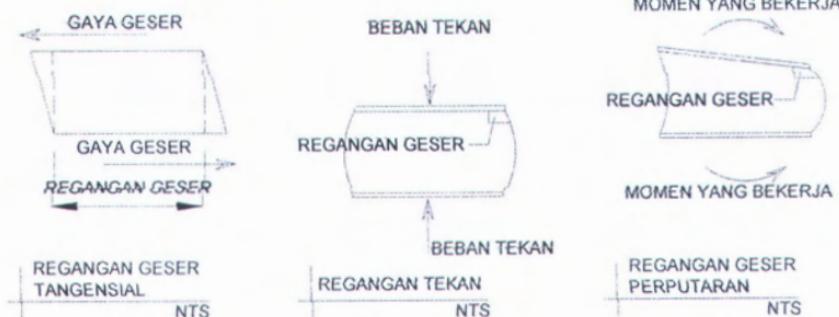
A = Luas permukaan terikat

P = Keliling permukaan terikat

t₀ = tebal efektif lapis elastomer

dengan syarat: 4 < S < 12

b. Regangan tekan, perputaran dan geser



Gambar 2.11. Regangan pada perletakan elastomer

(Sumber BDM volume 1, BMS. Hal 7-5)

$$E_{sc} + E_{st} + E_{sh} = E_t \leq \frac{2.6}{\sqrt{G}}$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-18)

$$E_{sc} = \frac{6 \times S \times V^* \times 10^3}{3 \times A_{eff} \times G \times (1 + 2S^2)}$$

$$A_{eff} = A \left(1 - \frac{\alpha_a}{a} - \frac{\alpha_b}{b}\right)$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-18)

$$E_{st} = \frac{(\alpha_{aq} \times a^2) + (\alpha_{ap} \times b^2)}{2 \times j \times f_t}$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-18)

$$E_{sh} = \frac{\alpha_s}{t}$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-19)

dimana:

E_{sc} = regangan geser tekan

E_{st} = regangan geser rotasi

E_{sh} = regangan geser akibat gerakan dan gaya tangensial

S = faktor bentuk

V^* = gaya vertikal

G = modulus geser (BMS, bagian 8 hal 8-13)

α_a dan α_b = sudut rotasi dalam arah a dan b (radian)

a = dimensi denah dari permukaan terikat dari perletakan persegi dalam arah bentang jembatan (mm)

b = dimensi denah dari permukaan terikat dari perletakan persegi dalam arah melintang jembatan (mm)

t = tebal total elastomer

c. Luas tumpuan efektif minimum

$$A_{\text{eff}} \geq 0.9 A$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-20)

$$A_{\text{eff}} = A \left(1 - \frac{\alpha_a}{a} - \frac{\alpha_b}{b}\right)$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-18)

dimana:

A_{eff} = A efektif

A = Luas denah

α_a dan α_b = sudut rotasi dalam arah a dan b (radian)

a = dimensi denah dari permukaan terikat dari perletakan persegi dalam arah bentang jembatan (mm)

b = dimensi denah dari permukaan terikat dari perletakan persegi dalam arah melintang jembatan (mm)

d. pencegahan leleh khusus pada jembatan

$$\frac{1.4V^*}{E_{sc} \times V_{LL}} \sqrt{\frac{0.69}{G}} \geq 1$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-19)

dimana:

E_{sc} = regangan geser tekan

V_{LL} = reaksi oleh beban hidup saja (KEL dan UDL)

G = modulus geser (BMS, bagian 8 hal 8-13)

e. Stabilitas perletakan dalam tekan

$$\frac{V^*}{A_{\text{eff}}} \leq \frac{2 \times be \times G \times S}{3 \times t} ; \text{ be} = \text{nilai terkecil dari a atau}$$

$$A_{\text{eff}} = A \left(1 - \frac{\alpha_a}{a} - \frac{\alpha_b}{b}\right)$$

..... (BMS bagian 8, hal 8-21)

dimana:

S = faktor bentuk

V^* = gaya vertikal

G = modulus geser (BMS, bagian 8 hal 8-13)

α_a dan α_b = sudut rotasi dalam arah a dan b (radian)

a = dimensi denah dari permukaan terikat dari perletakan persegi dalam arah bentang jembatan (mm)

b = dimensi denah dari permukaan terikat dari perletakan persegi dalam arah melintang jembatan (mm)

t = tebal total elastomer

e. Tebal minimum ti

$$3 \text{ mm} \leq t_i \geq \frac{3V * t_i * 1000}{A * f_y} ;$$

f_y = tegangan leleh baja = 320 MPa

..... (BMS bagian 8, hal 8-21)

V^* = gaya vertikal

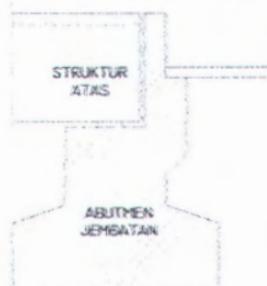
G = modulus geser (BMS, bagian 8 hal 8-13)

f_y = tegangan leleh baja

t_i = tebal pelat baja

2.5 Struktur Bangunan Bawah

Struktur bangunan bawah terdiri dari abutment pada pangkal jembatan dan pilar pada tengah jembatan. Struktur banguan bawah direncanakan memakai bahan beton bertulang.



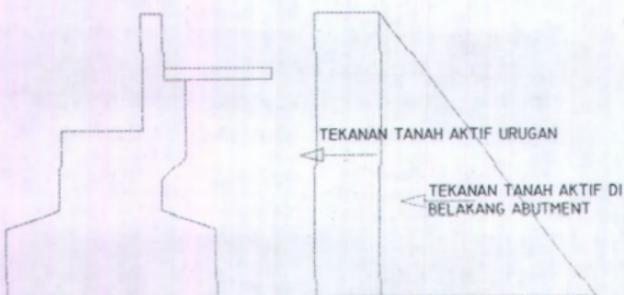
Gambar 2.12. Abutmen pangkal jembatan

2.5.1 Pembebanan

Beban yang bekerja pada abutmen adalah beban-beban vertikal akibat beban mati dan hidup pada struktur atas, berat abutmen sendiri dan berat tanah di belakang abutmen.

Sedangkan beban horizontal yang bekerja pada abutmen sebagai berikut:

1. Tekanan tanah di belakang abutmen



Gambar 2.13. Tekanan tanah aktif di belakang abutmen

Koefisien tekanan tanah (Ka)

$$Ka = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\theta}{2}\right) = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{13,32}{2}\right) = 0,62$$

Tekanan tanah yang terjadi

$$T_{a1} = \gamma t \times h \times Ka \times h_1 \times L$$

$$T_{a2} = \gamma t \times h_2 \times Ka \times 0.5 \times h_2 \times L$$

dimana:

Ka = koefisien tanah aktif

θ = sudut geser dalam

γt = berat jenis tanah

h = kedalaman tanah yang ditinjau

L = lebar abutmen

2. Gaya gesekan

Gaya gesek yang terjadi akibat gesekan pada tumpuan bergerak :

$$F = K \times P$$

dimana:

F = gaya gesek

K = koefisien gesek = 0,16

P = reaksi akibat beban mati pada tumpuan

3. Gaya rem

Gaya rem dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan. Gaya ini tidak tergantung pada lebar jembatan. Karena besarnya gaya diberikan dalam tabel 2.13 BMS, BDM hal 2-21 : Untuk rencana SLS = 250 kN = 25 000 kg

4. Gaya gempa bumi

$$T_{EQ} = Kh \cdot I \cdot W_T$$

Dimana :

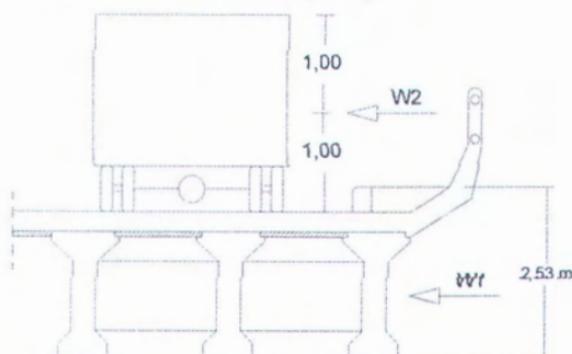
$$\begin{aligned} Kh &= \text{Koefisien beban gempa horisontal} = C \cdot S \\ C &= \text{Koefisien geser dasar} = 0.1 \text{ (zone 4, tanah keras) (BMS, 1992, tabel 2.12, hlm. 2-50)} \\ I &= \text{Faktor kepentingan} = 1.0 \text{ (BMS, 1992, tabel 2.13, hlm. 2-50)} \\ S &= \text{Faktor tipe bangunan} = 1.3 F \\ F &= 1.25 - (0.025 * 6) = 1.10 \leq 1.00 \rightarrow F = 1.0 \\ S &= 1.3 F = 1.3 * 1 = 1.3 \\ Kh &= 0.1 * 1.3 = 0.13 \end{aligned}$$

5. Gaya akibat tekanan angin

Sesuai dengan BMS 1992, hal 2-43, beban angin bekerja tegak lurus jembatan dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_{EW1} = 0.0006 \times C_w \times V_w^2 \times A_b$$

$$T_{EW2} = 0.0012 \times C_w \times V_w^2$$



Gambar 2.14 Beban horisontal akibat angina

6. Kombinasi pembebanan

Tabel 2.3 Kombinasi pembebanan

Kombinasi Beban	
I.	M + (H + K) + Ta
II.	M + Ta + F + W
III.	Kombinasi I + R + F + W
IV.	M + Tag + Gb

(sumber: BMS, bagian 2 hal 2-64)

dimana :

M	= Muatan mati
H	= Muatan hidup
Ta	= Tekanan tanah
Tag	= Tekanan tanah akibat gempa
W	= Muatan angin
R	= Gaya rem
F	= Gaya geser dari tumpuan bergerak
Gb	= Gempa bumi

2.5.2 Distribusi pondasi

Beban vertikal:

$$P_0 = \frac{V}{n} \pm \frac{Mx.Y}{\Sigma y^2} \pm \frac{My.X}{\Sigma x^2}$$

Untuk menghitung daya dukung pondasi sumuran, digunakan formula Therzaghi (1943) (General Shear) sebagai berikut :

Pondasi bentuk lingkaran

$$q_u = 1,3.c.N_c + q.N_q + 0,3.\gamma.B.N_\gamma$$

.... (*Buku Teknik Sipil, Sunggono K.H hal 143*)

dimana :

q_{ijin} = Daya dukung ijin γ = berat volume tanah

q_u = Daya dukung ultimate B = Diameter atau Lebar pondasi

c = kohesi tanah L = Panjang pondasi

$q = \gamma.DF$ N_c, N_q, N_γ = Faktor daya dukung

DF = kedalaman dasar pondasi

SF = Angka Keamanan

(SF = 2 utk beban sementara ; SF = 3 utk beban tetap)

Daya dukung 1 (satu) buah pondasi sumuran dihitung berdasarkan daya dukung ujung (end bearing) karena bertumpu pada batuan.

2.5.3 Stabilitas abutmen

Stabilitas abutmen ditinjau terhadap:

- Guling

$$SF = \frac{\text{momen penahan guling}}{\text{momen guling}} \geq 1,5$$

- Geser

$$SF = \frac{\text{gaya penahan geser}}{\text{gaya geser}} \geq 1,5$$

2.5.4 Penulangan abutmen

Perhitungan tulangan kolom untuk abutmen pada jembatan ini menggunakan referensi BDM volume 1, BMS bab 5.

$L/r \leq 22$ (kolom pendek)

$22 \leq L/r \leq 22$ (kolom langsing)

..... (BDM.BMS volume 1 hal 5-112)

Dimana:

L = tinggi kolom

$r = 0,25 d$

d = lebar kolom

Koefisien ρ didapat dari diagram interaksi pada BDM volume 1, BMS bab 5 melalui persamaan berikut:

$$\frac{K_R^C M_u}{Ag.d}$$

$$\frac{K_R^C N_u}{Ag.}$$

Dimana:

M_u = Momen ultimate yang bekerja pada dasar kolom

N_u = Gaya vertikal yang bekerja pada kolom (tekan)

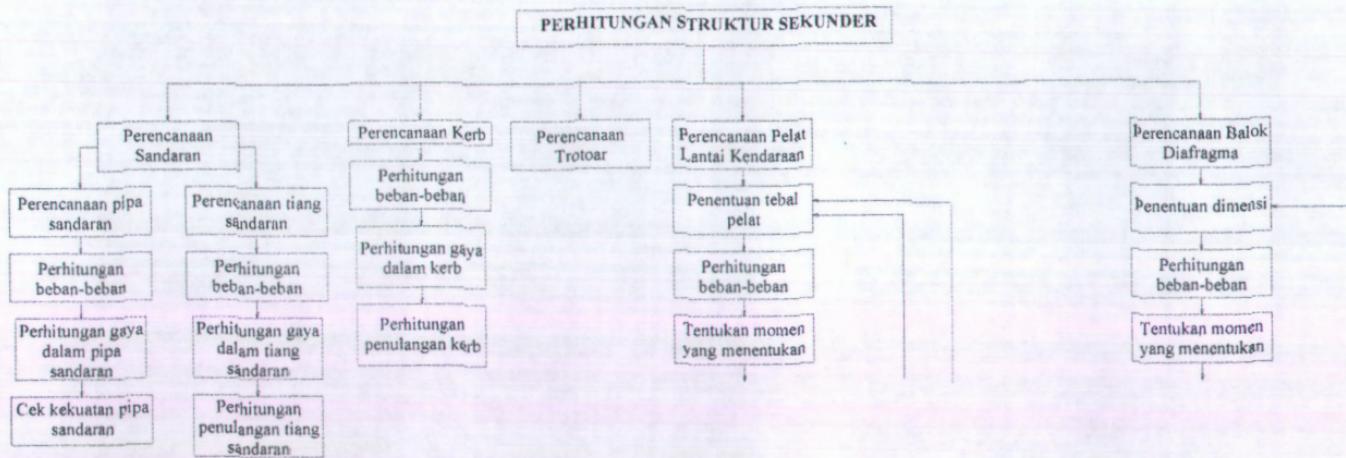
$K_c^R = 0,75$

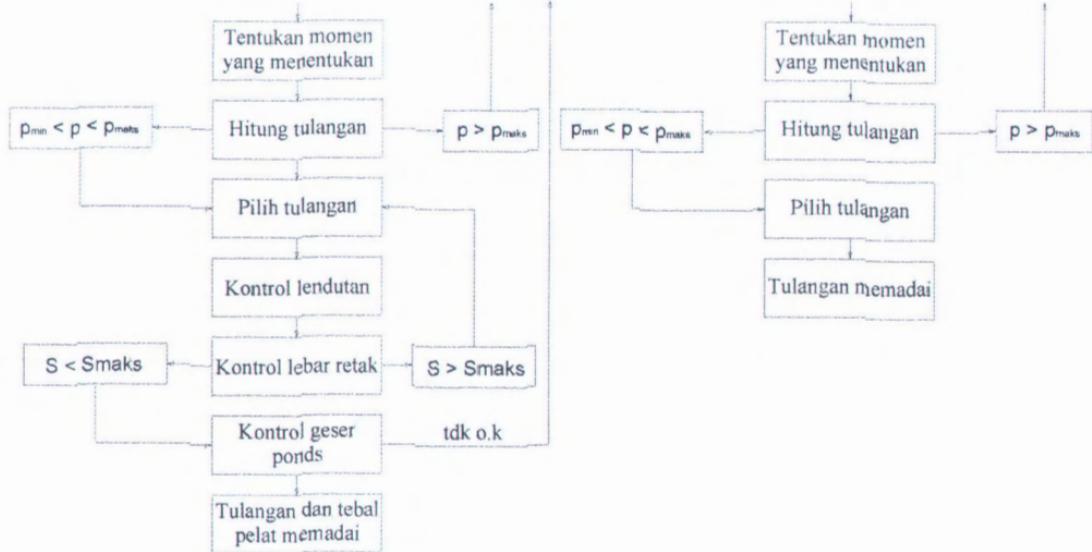
Ag = Luas penampang kolom yang ditinjau.

Syarat tulangan kolom (BDM, BMS hal 5-117)

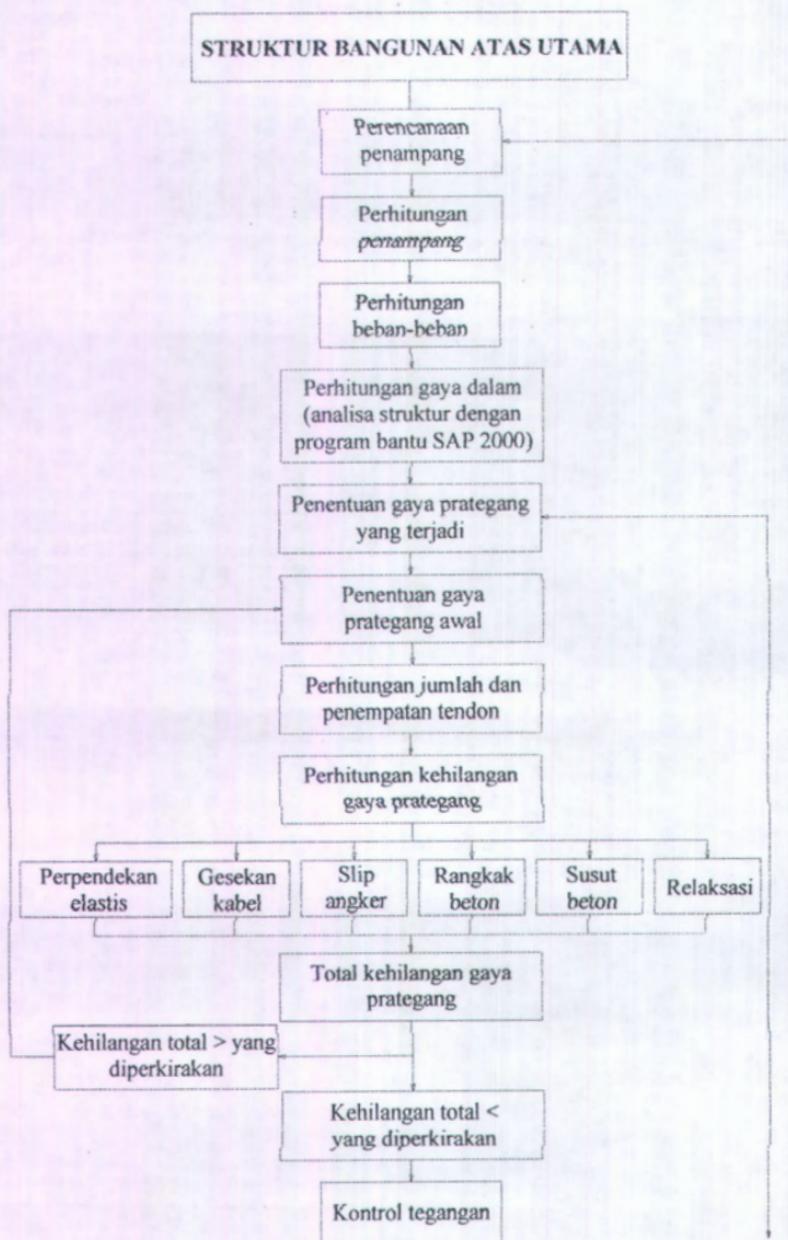
Luas Tulangan total kolom (Asc) harus sebesar:

$$0.01 Ag < Asc < 0.04 Ag$$



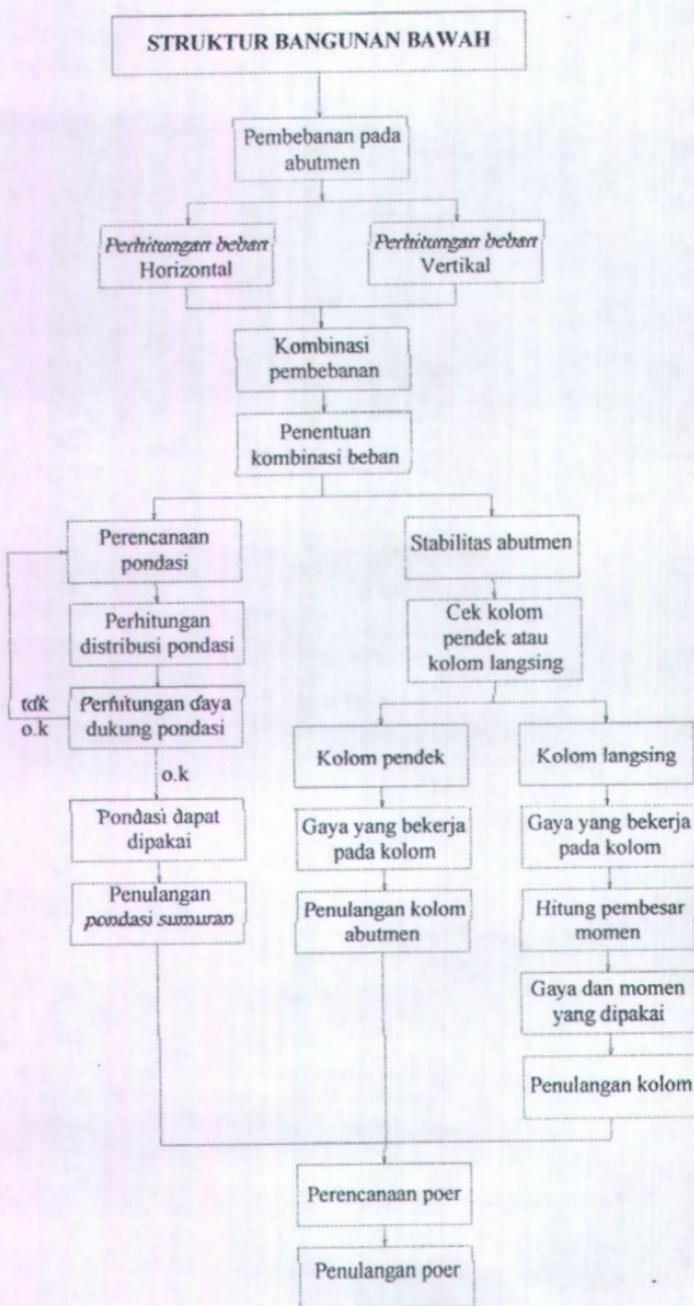


Gambar 2.15 Flow Chart perhitungan struktur sekunder

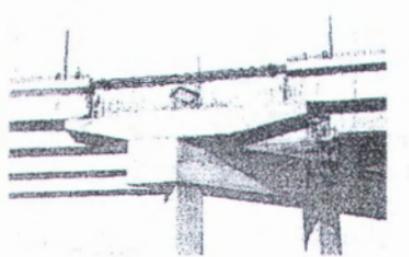




Gambar 2.16 Flowchart perhitungan struktur bangunan atas utama (super struktur)



Gambar 2.17 Flowchart perhitungan struktur bangunan bawah (sub struktu



3

KRITERIA DESAIN

3.1. Data-Data Teknis

Konstruksi jembatan yang direncanakan adalah konstruksi jembatan beton pratekan :

Panjang total	: 70 m, terdiri dari 2 bentang. 2 x 35 m dengan menggunakan beton pratekan balok tipe I.
Lebar total	: 9.5 m
Lebar lantai kendaraan	: 7 m
Lebar trotoar	: 2 x 1.25 m
Jumlah lajur	: dua
<i>Lebar lajur</i>	: 3,50 m
Kelas jembatan	: I
Balok sederhana	: statis tertentu (menerus sebagian pada beban hidup dan plat lantai kendaraan)

3.2. Data Tanah

Data tanah berupa hasil SPT (Standard Penetration Test) pada lokasi pembangunan jembatan juga diperoleh dari Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga Propinsi Jawa Timur. Pekerjaan pengujian tanah di lapangan dilakukan 2 titi di dekat lokasi kepala jembatan.

Hasil pemboran yang dilakukan pada rencana jembatan Modangan yang menyeberangi sungai Kricakan menunjukkan bahwa mulai keadalam 0 sampai 15 meter terdiri dari pelapukan basalt berupa clay-gravel, dengan nilai SPT masing-masing $N > 50$ kali pukulan setiap 30 cm. Sedangkan di bawah kedalaman 15 meter terdiri dari basalt segar yang keras, kompak dan massif.

Elevasi dari masing-masing titik bor adalah :

- Pada sisi arah Blitar = + 86.718 m.
- Pada sisi arah Malang = +74.523 m..

3.3. Peraturan Yang Dipakai

Peraturan-peraturan yang dipakai untuk menyelesaikan tugas akhir ini adalah:

1. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System)*, Dirjen Bina Marga, 1992.
2. Peraturan Pembebaran Jembatan Jalan Raya, Dirjen Bina Marga, 1986.
3. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan dan Gedung, SKSI-03-2847-2002.

3.4. Bahan-Bahan Yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam perencanaan Jembatan Modangan ini ditetapkan dengan mutu sebagai berikut :

1. Beton
 - Kuat tekan beton untuk beton pratekan (f_c') = 45 MPa
 - Kuat tekan beton untuk konstruksi sekunder dan bangunan bawah (f_c') = 25 Mpa
2. Baja
 - Mutu baja pratekan digunakan kabel jenis strand seven wires stress relieved (7 kawat untaian) dengan diameter 15,24mm, Grade 270 (ASTM A-416).
 - Untuk penulangan bangunan sekunder dan bangunan bawah dipakai baja tulangan dengan mutu fy 300 Mpa.
 - Modulus elastisitas Es = 200.000 MPa.

3.5. Tegangan Ijin Bahan

a. Beton

Beton Pratekan (f_c') = 45 MPa

- Pada saat transfer

f_{ci} direncanakan pada umur beton 21 hari sebesar $95\% \times 45 = 42.75$ Mpa

Tekan = $0.6 f_{ci} = 0.6 \times 42.75 = 25.65$ Mpa $\rightarrow f_{ci} = 256.50$ Kg/cm²

Tarik = $0.25 \times \sqrt{f_c'} = 0.25 \times \sqrt{45} = 1.677$ Mpa $\rightarrow f_{ti} = 16.77$ Kg/cm²

Untuk bentang sederhana;

Tarik = $0.50 \times \sqrt{f_c'} = 0.50 \times \sqrt{45} = 3.35$ Mpa $\rightarrow f_{ti} = 33.54$ Kg/cm²

- Pada saat service load (pembebanan penuh)

Tekan = $0.45 f_c' = 0.45 \times 45 = 20.25$ Mpa $\rightarrow f_{cs} = 202.5$ Kg/cm²

Tarik = $0.5 \times \sqrt{f_c'} = 0.5 \times \sqrt{45} = 3.354$ Mpa $\rightarrow f_{ts} = 33.54$ Kg/cm²

(Tegangan tarik pada saat pembebanan penuh adalah 0 Kg/cm²)

* Modulus Elastisitas (E): $E = 4700 \sqrt{f_c'}$

$$E = 4700 \times \sqrt{45} \text{ MPa}$$

$$E = 31528.56 \text{ MPa}$$

* Tegangan Retak (fr): $fr = 0.7 \times \sqrt{f_c'}$

$$fr = 0.7 \times \sqrt{45} \text{ MPa}$$

$$fr = 4.69 \text{ Mpa}$$

b. Baja Pratekan

Tegangan tarik pada tendon pratekan adalah sebagai berikut :

* Modulus Elastisitas $Es = 1.95 \times 10^6$ kg/cm²

* Tegangan putus kabel $f_{pu} = 1860$ Mpa

* Tegangan leleh kabel $f_{py} = 0.9 \times f_{pu}$

$$f_{py} = 1674 \text{ Mpa}$$

* Tegangan tarik ijin kabel (jacking) $= 0.94 \times f_{py}$
 $= 1573.56$ Mpa

* Tegangan tarik ijin kabel (setelah pengangkuran) $= 0.7 \times f_{pu}$
 $= 1302$ Mpa

3.6 Peraturan-Peraturan Yang Digunakan

Peraturan – peraturan yang dipakai untuk perencanaan jembatan Modangan ini adalah :

- Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System), Dirjen Bina Marga, 1992.

- Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, Dirjen Bina Marga, 1986.
- Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan dan Gedung, SNI-03-2847-2002,

3.7 Persyaratan Desain Secara Umum

Secara umum perencanaan jembatan ini menggunakan Bridge Management System (BMS 1992). Sedangkan filosofi perencanaan memakai keadaan batas ultimate dan keadaan batas daya layan/tegangan kerja. Penggunaannya dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Keadaan batas ultimate

Aksi-aksi yang menyebabkan jembatan menjadi tidak aman disebut aksi-aksi ultimate dan reaksi yang diberikan oleh jembatan disebut *keadaan batas ultimate*. Aksi-aksi tersebut antara lain :

- Kehilangan keseimbangan statis karena sebagian atau seluruh jembatan longsor, terguling atau terangkat ke atas.
- Kerusakan sebagian jembatan akibat kelelahan, korosi atau sampai suatu keadaan dimana terjadi kehancuran.
- Kehancuran bahan pondasi menyebabkan pergerakan yang berlebih atau kehancuran bagi pembangunan jembatan.

b. Keadaan batas daya layan

Filosofi kriteria desain perencanaan tegangan kerja adalah serupa dengan keadaan batas kelayanan. Keadaan batas daya layan akan tercapai apabila reaksi jembatan cukup :

- Membuat jembatan tidak layak pakai.
- Menyebabkan kekhawatiran umum terhadap keamanan jembatan.
- Secara menyolok mengurangi kekuatan dan umur pelayanan jembatan.

3.8 Pembebanan pada struktur utama jembatan

Pembebanan yang diterapkan mengacu kepada muatan atau aksi lain (bebani perpindahan dan pengaruh lainnya) yang timbul pada suatu jembatan berdasarkan peraturan yang ada dalam Bridge Management System (BMS, 1992).

Aksi-aksi yang timbul dikelompokkan menurut sumbernya kedalam beberapa kelompok yaitu :

- Aksi tetap
- Aksi lalu lintas
- Aksi lingkungan



- Aksi lainnya

Berdasarkan lamanya aksi itu bekerja, maka aksi diklasifikasikan menjadi 2, yaitu :

- Aksi tetap : aksi yang bekerja sepanjang waktu/dalam jangka waktu lama.
- Aksi transient : aksi yang bekerja dalam jangka waktu pendek

Pengklasifikasian aksi seperti di atas mengandung arti bahwa beban-beban yang bekerja dapat diperkirakan umur terjadinya, dan apabila terjadi aksi yang tidak umum dalam peraturan maka harus dievaluasi dengan memperhitungkan besarnya faktor beban dan lamanya aksi itu bekerja. Perhitungan aksi nominal diubah menjadi aksi rencana dikalikan dengan faktor beban yang digunakan dalam peraturan.

Klasifikasi ini digunakan juga apabila aksi-aksi rencana digabung satu sama lainnya untuk mendapatkan kombinasi pembebanan yang akan digunakan dalam perencanaan jembatan. Kombinasi beban rencana dikelompokkan ke dalam kelompok sebagai berikut:

- Kombinasi dalam batas daya layan.
- Kombinasi dalam batas daya ultimate.
- Kombinasi dalam perencanaan berdasarkan tegangan kerja.

Berdasarkan aksi-aksi yang timbul dalam perencanaan jembatan sesuai peraturan yang ada, berikut ini disajikan aksi rencana dan faktor beban yang bekerja.

3.8.1 Aksi dan beban tetap

Beban mati jembatan terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen non struktural. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang tidak dipisahkan dan tidak boleh menjadi bagian-bagian pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang terkurangi.

1. Berat sendiri dan beban mati tambahan

Untuk jembatan beton pratekan beban mati yang bekerja adalah berat sendiri dan beban mati tambahan. Berat sendiri adalah berat dari bagian bangunan tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Sedangkan beban mati tambahan adalah beban yang dapat bervariasi selama umur jembatan, seperti : sandaran, trotoar, kerb, pagar pengaman, dll.

Kerapatan massa yang digunakan dalam perencanaan sesuai dengan peraturan Bridge Management System adalah :

- Balok tipe T (beton prategang) = 2500 kg/m^3
- Beton bertulang = 2400 kg/m^3
- Aspal = 2200 kg/m^3

2. Pengaruh penyusutan dan rangkak

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

3. Pengaruh prategang

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan maupun batas ultimate. Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Pengaruh utama dari prategang harus dipertimbangkan sebagai berikut :

- Pada keadaan batas daya layan, gaya prategang dapat dianggap bekerja sebagai suatu sistem beban pada unsur. Nilai rencana dari prategang tersebut dapat dihitung dengan menggunakan faktor beban daya layan sebesar 1,0.
- Pada keadaan batas ultimate, pengaruh utama dari prategang tidak dapat dianggap sebagai beban yang bekerja, melainkan harus tercakup dalam perhitungan kekuatan unsur.

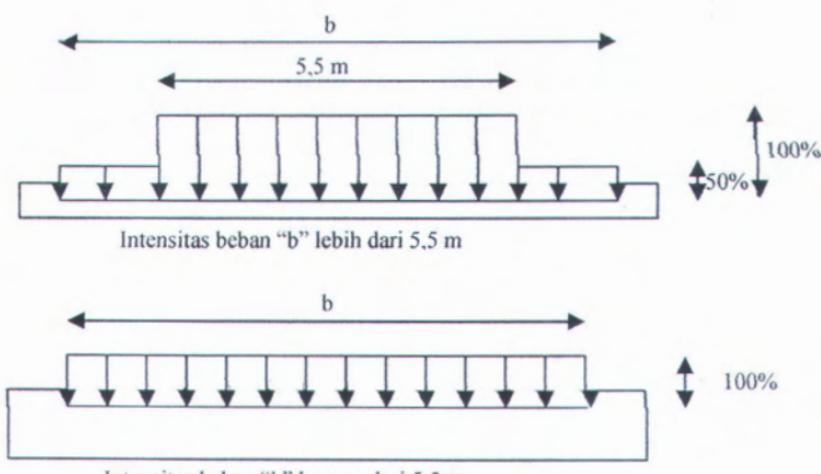
4. Pengaruh tetap pelaksanaan

Hal ini disebabkan oleh metode pelaksanaan jembatan biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti prapenegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini pengaruh tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai. Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan reaksi aksi lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas layan dan batas ultimate dengan menggunakan faktor beban yang tercantum dalam pasal ini.

3.8.2 Beban lalu lintas.

1. Beban lajur "D"

- Beban terbagi rata (UDL) dengan intensitas q kPa, dengan q tergantung pada panjang yang dibebani total (L) sebagai berikut:
 $L \leq 30\text{m}, q = 8 \text{ kPa} \quad \dots \text{(BMS bagian 2 ps. 2.3.3.1)}$
 $L > 30\text{m}, q = 8 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{kPa} \quad \dots \text{(BMS bagian 2 ps. 2.3.3.1)}$
 - Beban garis (KEL) sebesar p kN/m, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas. $P = 44 \text{ KN/m}$ (BMS bagian 2 ps. 2.3.3.1)
- Adapun pembebanan ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.1. Kedudukan beban lajur "D"

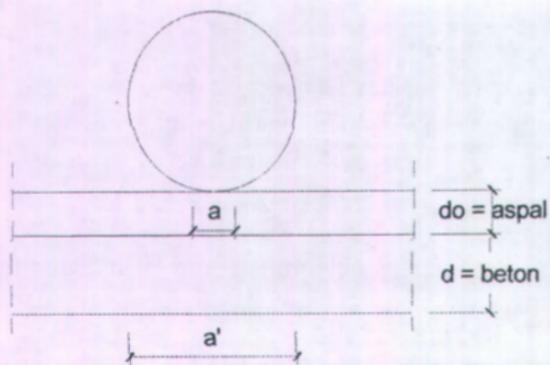
Sumber: BMS bagian 2gbr.2.3 hal 2-23

2. Beban Truk "T"

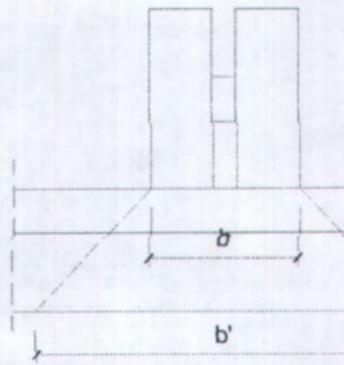
Beban truk "T" adalah kendaraan berat tunggal dengan tiga gandar yang ditempatkan dalam kedudukan sembarang pada lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua pembebanan bidang kontak yang dimaksud agar mewakili pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" boleh ditempatkan per lajur lalu lintas rencana. Beban "T" merupakan muatan untuk lantai kendaraan.

Muatan "T" = 100% $\Rightarrow P = 10 \text{ ton}$

....(BMS bagian 2 ps. 2.3.4.1)



Gambar 3.2 Beban akibat truk "T" arah memanjang



Gambar 3.3 Beban akibat truk "T" melintang

Muatan kelas I : $a = 20 \text{ cm}$, $b = 50 \text{ cm}$

$$a' = a + 2do + d$$

$$b' = b + 2do + d$$

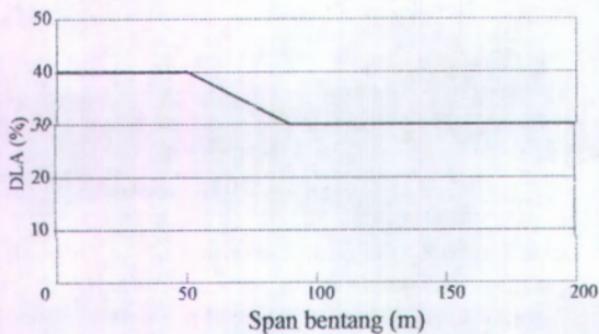
3. Faktor beban Dinamik (DLA)

Faktor beban dinamik berlaku pada "KEL" lajur "D" dan truk "T" untuk simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan.

Untuk muatan "T" $\Rightarrow \text{DLA} = 0,30$

.... (BMS bagian 2 ps. 2.3.6)

Untuk KEL lajur "D"



Gbr. 3.4 Faktor beban dinamis untuk KEL untuk pembebanan lajur D
Sumber: BMS bagian 2 gambar 2.8 hal-2.29

3.8.3 Aksi lingkungan

Besarnya aksi yang diberikan berdasarkan analisa statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

1. Beban Angin

Kecepatan angin rencana dan type jembatan merupakan faktor utama yang berpengaruh pada intensitas beban angin. Kecepatan angin rencana ditentukan oleh letak geografis dari pantai. Perhitungan beban angin menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T_{AW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 Ab \text{ (kN)} \quad \dots \dots \text{ (BMS bagian 2 ps. 2.4.6)}$$

dimana:

C_w = Koefisien seret (tabel 2.3)

V_w = Kecepatan angin rencana (m/dt) untuk keadaan batas yang ditinjau (tabel 2.2)

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

Selain itu apabila ada kendaraan sedang lewat diatas jembatan, beban garis merata tambahan horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai dengan rumus :

$$T_{AW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 (kN/m') \quad \dots \dots \text{ (BMS bagian 2 ps. 2.4.6)}$$

dimana : $C_w = 1,2$

Tabel 3.1 Kecepatan angin rencana

Keadaan batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	>5 km dari pantai
Daya layan	30 m/dt	25 m/dt
Ultimate	35 m/dt	30 m/dt

Sumber: BMS bagian 2 tabel 2.10 hal-2.44

Tabel 3.2 Koefisian seret (C_w)

Type jembatan	C_w
Bangunan atas masif	
b/d = 1	2,1
b/d = 2	1,5
b/d = 6	1,25
Bangunan atas rangka	1,2

Sumber: BMS bagian 2 tabel 2.9 hal-2.44

2. Beban Gempa

Pengaruh beban gempa hanya ditinjau pada keadaan batas ultimate. Pada metode beban statis ekivalen untuk beton rencana gempa dipakai rumus :

$$T_{EQ} = Kh I W_T$$

.....(BMS bagian 2 ps. 2.4.7.1)

dimana :

$$Kh = C \cdot S$$

T_{EQ} =gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau(KN)

Kh = koefisien gempa horisontal

WT = berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (KN)

I = faktor kepentingan

C = koefisien gempa dasar untuk daerah waktu kondisi setempat yang sesuai

S = faktor type bangunan (1-3)

3. Pengaruh temperatur

Pengaruh temperatur dibagi menjadi 2 yaitu :

- Variasi temperatur jembatan rata-rata

- Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan (perbedaan temperatur)

Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung beban akibat terjadinya penekangan dari pergerakan tersebut.

Variasi temperatur rata-rata berbagai tipe bangunan jembatan diberikan dalam tabel 3.3 Besarnya harga koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas yang digunakan untuk menghitung besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi diberikan pada tabel 3.4.

Tabel 3.3 Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton diatas gelagar atau box beton	15 °C	40 °C
Lantai beton diatas gelagar, box atau rangka baja	15 °C	40 °C
Lantai pelat baja diatas gelagar, box atau rangka baja	15 °C	45 °C

Catatan : Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.

Sumber: BMS bagian 2 tabel 2.5 hal-2.36

Tabel 3.4 Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu	Modulus Elastisitas MPa
Baja	12×10^6 per °C	200.000
Beton :		
Kuat tekan < 30 MPa	10×10^6 per °C	25.000
Kuat tekan > 30 MPa	11×10^6 per °C	34.000
Aluminium	24×10^6 per °C	70.000

Sumber: BMS bagian 2 tabel 2.6 hal-2.36

4. Beban Rem

Pengaruh gaya rem dan percepatan lalu lintas harus dipertimbangkan sebagai gaya memanjang. Gaya ini tidak tergantung pada lebar jembatan.

Untuk panjang struktur tertahan, gaya rem diberikan:

$$L \leq 80 \quad : \text{gaya rem S.L.S} = 250 \text{ KN}$$

$$80 \leq L \leq 180 \quad : \text{gaya rem S.L.S} = (2,5 L + 50) \text{ KN}$$

$$L \geq 180 \quad : \text{gaya rem S.L.S} = 500 \text{ KN}$$

Nilai untuk gaya rem di atas berdasar BMS bagian 2 gambar 2.9
hal- 2.31

3.8.4. Aksi-aksi lainnya

1. Gaya Gesekan

Jembatan harus ditinjau terhadap gaya yang timbul akibat gesekan pada tumpuan yang bergerak, karena adanya pemuaian dan penyusutan dari jembatan akibat dari perbedaan suhu atau akibat yang lainnya.

Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau akibat beban mati saja, sedangkan besarnya gaya gesek tersebut ditentukan berdasarkan koefisien gesek pada tumpuan yang bersangkutan.

2. Kombinasi beban

Aksi rencana digolongkan ke dalam aksi tetap dan aksi transient. Kombinasi beban umumnya didasarkan kepada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja bersamaan. Aksi rencana ditentukan dari aksi nominal yaitu mengalikan aksi nominal dengan faktor beban yang memadai. Faktor beban untuk keadaan batas ultimate didasarkan kepada umur rencana jembatan 50 tahun.

- Kombinasi pada keadaan batas daya layan terdiri dari jumlah pengaruh aksi tetap dengan satu aksi transient.
- Kombinasi pada keadaan batas ultimate terdiri dari jumlah pengaruh aksi tetap dengan satu pengaruh transient.

4

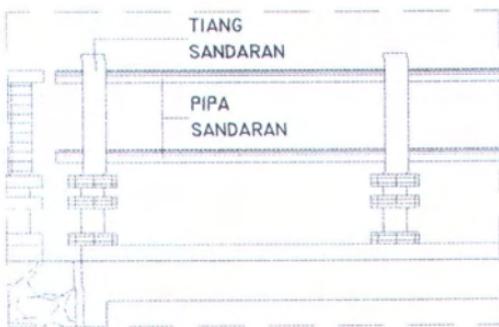
PERENCANAAN STRUKTUR SEKUNDER

4.1 PENGERTIAN STRUKTUR SEKUNDER

Struktur sekunder adalah bagian dari jembatan yang menumpu pada struktur utama (dalam hal ini balok beton pratekan). Struktur sekunder meliputi; *tiang dan pipa sandaran, trotoar, kerb, pelat lantai kendaraan* dan balok diafragma.

4.2 PERENCANAAN SANDARAN

Perencanaan sandaran ini diperhitungkan berdasarkan literatur BMS bagian 2, pasal 2.9.5 hal 2-69, bahwa sandaran untuk pejalan kaki direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu : $W^* = 0,75 \text{ kN/m}$, dimana beban bekerja secara bersamaan dengan arah menyilang dan secara vertikal pada masing-masing sandaran.



Gambar 4.1: Tiang sandaran

4.2.1 Perencanaan Pipa dan Tiang Sandaran

Perhitungan Pipa Sandaran

- Diameter luar (D) = 60,5 mm

- Tebal pipa = 3,00 mm

- Diameter dalam (d) = $60,5 - (2 \times 3,00) = 54,5$ mm

Perhitungan Reaksi dan Momen yang terjadi pada Pipa Sandaran (gambar 4.1)

- Momen akibat beban sendiri

$$\begin{aligned} M \text{ beban sendiri} &= 1/8 q l^2 \\ &= 1/8 (3,30)(2)^2 \\ &= 1,65 \text{ kgm} = 0,0165 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Momen akibat gaya vertikal

$$\begin{aligned} M \text{ beban sendiri} &= 1/8 w l^2 \\ &= 1/8 (0,75)(2)^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Momen akibat gaya horisontal

$$\begin{aligned} M \text{ beban sendiri} &= 1/8 w l^2 \\ &= 1/8 (0,75)(2)^2 \\ &= 0,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

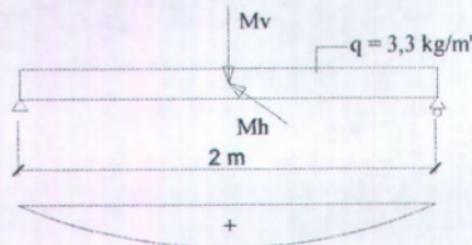
- Momen yang terjadi

$$\begin{aligned} a. \quad Mv &= M \text{ berat sendiri} + M \text{ gaya vertikal} \\ &= 0,0165 + 0,375 \\ &= 0,3915 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b. \quad Mh &= M \text{ gaya horisontal} \\ &= 0,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Momen resultan (gambar 3.2)

$$\begin{aligned} &= \sqrt{Mv^2 + Mh^2} \\ &= \sqrt{0,3915^2 + 0,375^2} \\ &= 0,5421 \text{ kNm} = 542 \text{ 100 Nmm} \end{aligned}$$



Gambar 4.2: Gaya momen yang terjadi pada pipa sandaran

Cek Kekuatan Profil Pipa Sandaran

- a. Batas kelangsungan profil

$$\lambda_s = \frac{d_o}{t} \sqrt{\frac{f_y}{250}}$$

$$\lambda_s = \frac{60,5}{2,3} \sqrt{\frac{300}{250}} = 26,3 \leq 50$$

..... jadi merupakan Penampang Kompak

Untuk Penampang Kompak Berlaku perumusan

$$Z_e = 1,5 \cdot Z = 1,5 \times (5,9 \cdot 10^3) = 8850 \text{ mm}^3$$

Momen lentur yang terjadi

$$\begin{aligned} M_s^* &= 0,55 \cdot f_y \cdot z_e \\ &= 0,55 \cdot 240 \cdot 8850 \\ &= 1\,168\,200 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- b. Kontrol momen yang terjadi

$$M_r \leq \left[1 + \frac{25\%}{100} \right] M_s^*$$

(PPTJ, BMS bagian 7 pasal 7.5.3.2 hal 7-45)

$$542\,100 \text{ Nmm} \leq \left[1 + \frac{25\%}{100} \right] 1\,168\,200$$

$$542\,100 \text{ Nmm} \leq 1\,171\,120,5 \text{ Nmm} \quad \dots \text{Ok}$$

Perhitungan Tiang Sandaran

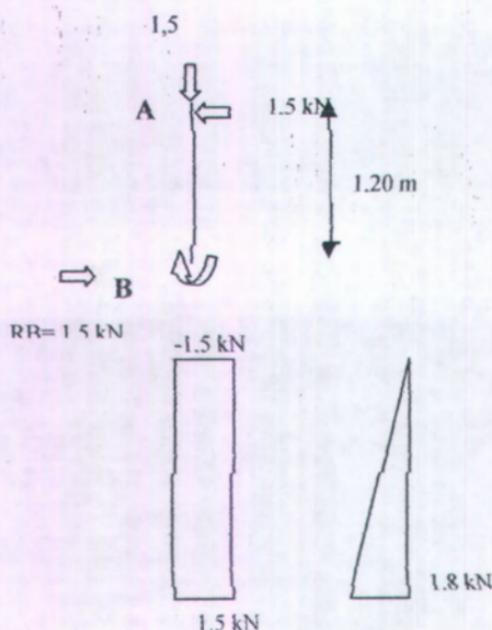
Perhitungan Momen, Gaya Geser Tiang Sandaran

(lihat gambar 4.3)

- Beban Hidup Vertikal = 1,5 kN
- Beban Hidup Horisontal = 1,5 kN

$$MB = (1,5 \cdot 1,20) = 1.80 \text{ kNm}$$

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



Gambar 4.3 : Bidang M dan D

Perhitungan Tulangan Tiang Sandaran

Diketahui data untuk perhitungan tulangan sandaran

Dimensi sandaran 15 x 20 cm

Beton decking = 20 mm

$$Mu = 1,6 \times M_L$$

$$= 1,6 \times 1\ 800\ 000 = 2\ 880\ 000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\varphi b d^2} = \frac{2,88 \times 10^6}{0,8 \times 150 \times (200 - 20)^2} = 0,347 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{300}{0,85 \times 25} = 15,059$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 0,0047$$

$$\begin{aligned} \rho_{balance} &= \frac{0,85 \times f_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{300} \times \frac{600}{600 + 300} = 0,037 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.037 = 0.028$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.059 \times 0.347}{300}} \right) = 0.0011$$

karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka dipakai ρ_{min}

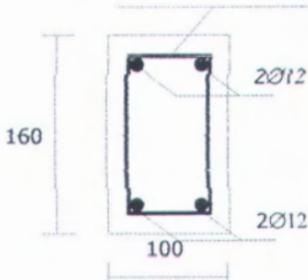
$$As = \rho_{min} \times b \times d = 0.0044 \times 150 \times 180 = 108 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2 Ø 12 (As = 226,19 mm²)

As' = 2 Ø 12 (As = 226,19 mm²)

Sengkang praktis Ø 8 – 200

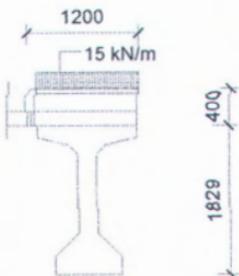
sengkang praktis Ø 8–200mm



Gambar 4.4 : Penulangan Tiang Sandaran

4.2.2 PERENCANAAN TROTOAR

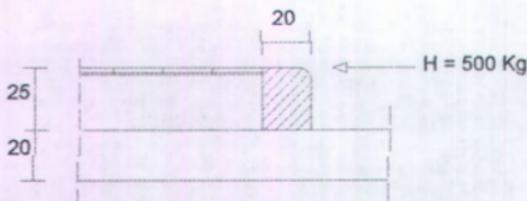
Trotoar direncanakan dengan lebar 1.20 cm dan tebal 25 cm dan ditempatkan di atas lantai kendaraan pada gelagar tepi yang dibatasi dengan balok beton bertulang pada kedua tepinya dan diisi pasir padat di tengahnya serta dilapisi paving block di atasnya. Sehingga sifatnya hanya membebani gelagar/balok utama. Trotoar harus direncanakan untuk menahan beban rencana ultimate sebesar 15 kN/m yang bekerja sepanjang bagian atas trotoar (BMS bagian 2 ps.2.9.1)



Gambar 4.5 : Trotoar

4.2.3 PERENCANAAN KERB

Perhitungan Momen Dan Penulangan Kerb



Gambar 4.6 : Gaya pada kerb

$$Mu = 500 \times 25 = 12500 \text{ kg.cm} = 1.25 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Beton decking = 20 mm

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1.25 \cdot 10^6}{0.8 \times 1000 \times (200 - 20)^2} = 0.048 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f_c} = \frac{300}{0.85 \times 25} = 15.059$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.0047$$

$$\begin{aligned} \rho_{balance} &= \frac{0.85 \times f_c' \times \beta_t}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0.85 \times 25 \times 0.85}{300} \times \frac{600}{600 + 300} = 0.037 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.037 = 0.028$$

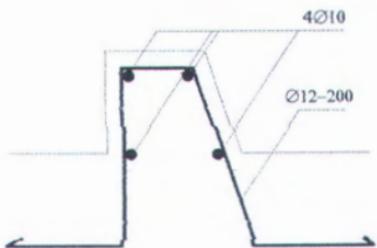
$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.059 \times 0.048}{320}} \right) = 0.028$$

karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$, maka dipakai ρ_{min} ,

$$As = \rho \times b \times d = 0.0047 \times 1000 \times 180 = 792 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 2 Ø12-200 ($As = 1357 \text{ cm}^2$)

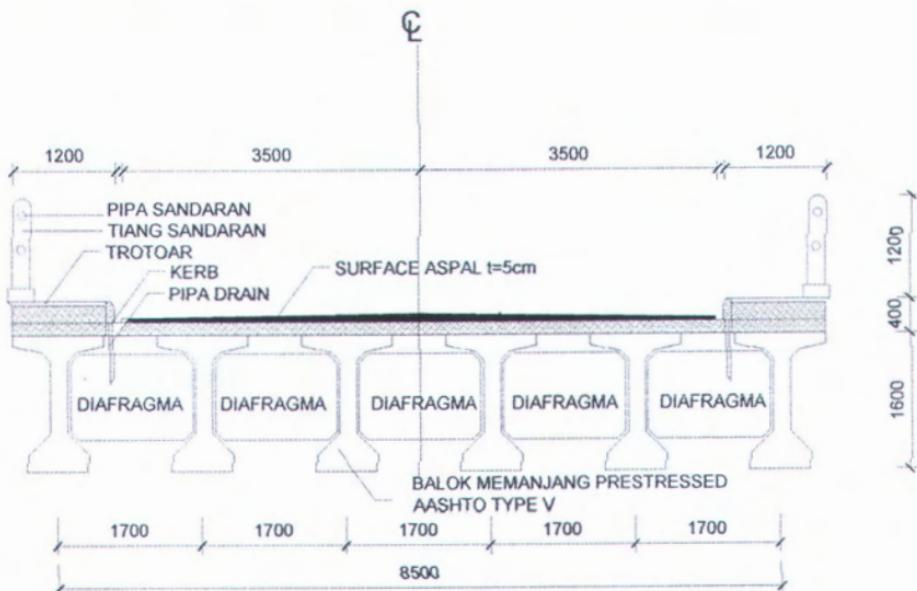
Tulangan memanjang dipakai 4 Ø10



Gambar 4.7 : Perulangan Kerb

4.3 PERENCANAAN PELAT LANTAI KENDARAAN

Plat lantai kendaraan direncanakan dengan menggunakan 2 macam plat, yaitu plat precast dan plat cast in situ, yang bekerja secara komposit.



Gambar 4.8 : Potongan Melintang Jembatan

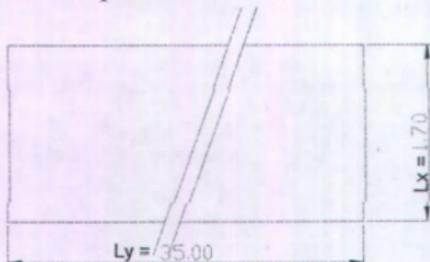
Perencanaan tebal minimum pelat lantai kendaraan menurut ketentuan BMS 1992 (pasal 6.7.2.1.) adalah :

$$ts \geq 200 \text{ mm} \quad \text{dimana : } ts = \text{tebal pelat lantai (mm)}$$

$$ts \geq 100 + 0.04L$$

$$L = \text{Bentang dari pelat lantai kendaraan (mm)}$$

Data-data perencanaan Pelat lantai kendaraan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9 : Bentang L_x dan L_y pada pelat

- ⇒ Panjang bentang (L_y) = 35 m
- ⇒ Lebar (L_x) = 1.70 m
- ⇒ Tebal Aspal = 0.05 m
- ⇒ B_j Beton (γ_c) = $2,4 \text{ t/m}^3$
- ⇒ B_j Aspal (γ_{as}) = $2,2 \text{ t/m}^3$
- ⇒ Mutu Beton f_c' = 25 Mpa
- ⇒ Mutu Baja
- ⇒ f_y = 300 Mpa
- Es = $2,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa}$
- ⇒ Diameter Tulangan = 16 mm (direncanakan)
- ⇒ Decking Beton, d' = 30 mm ... (SNI 03-2847-2002)

4.3.1 Perhitungan Pembebaan

Pembebaan Lantai Kendaraan

Pelat Lantai Kendaraan direncanakan dalam kondisi batas ultimate, maka beban-beban yang terjadi diberi faktor beban sebagai berikut:

- Berat sendiri beton yang dicor ditempat
 $K_{MS}^U = 1,3$
- Beban mati tambahan pada kondisi umum
 $K_{MA}^U = 1,4$
- Beban Hidup Truk "T"
 $K_{TT}^S = 2,0$

Beban-beban yang bekerja pada lantai kendaraan adalah :

a). Beban mati

Beban mati yang bekerja pada pelat lantai kendaraan terdiri atas:

- Berat sendiri beton = $1,3 \cdot 0,20 \cdot 24 = 6,24 \text{ kN/m}$
- Berat Lapisan Aspal = $0,05 \cdot 22 = 1,1 \text{ kN/m}$
- Total beban mati (qMuD) = $7,34 \text{ kN/m}$

Menurut SNI 03 – 2847 – 2002 hal 52, besarnya koefisien momen pada tumpuan dan lapangan sebagai berikut



Gambar 4.10 : Distribusi momen pada pelat

Dari gambar di atas didapat:

$$\text{Koefisien momen tumpuan maksimum} = 1/10$$

$$\text{Koefisien momen lapangan maksimum} = 1/14$$

- Perhitungan Momen Tumpuan

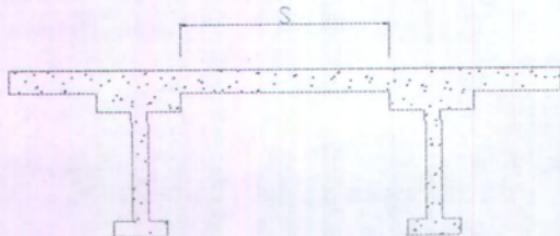
$$\begin{aligned} \text{MUD} &= 1/10 \times qMu \times Lx^2 = 1/10 \times 7,34 \times 1,70^2 \\ &= 2,12 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Perhitungan Momen Lapangan

$$\begin{aligned} \text{MUD} &= 1/14 \times qMu \times Lx^2 = 1/14 \times 7,34 \times 1,70^2 \\ &= 1,52 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b). Beban Hidup

Menurut BMS 1992 pasal 2.3.1. beban hidup yang digunakan dalam perencanaan pelat lantai adalah beban "T". Menurut BMS 1992 pasal 2.3.4. berat terbesar dari as truk adalah 200 kN atau berat terbesar dari 1 roda adalah 100 kN. Menurut BMS 1992 pasal 2.3.6. faktor kejut (DLA) adalah 0,3, sehingga PL = Tu = $2.(1+0,3).100 = 260 \text{ kN}$.



S = jarak bersih (untuk komposit)

Gambar 4.11 : Gelagar komposit

Momen pelat akibat beban hidup dihitung menurut BMS 1992 pasal 2.5.5.(a). sebagai berikut :

- Perhitungan momen ultimate tumpuan

$$\begin{aligned} MUL &= 0,8 \times (S + 0,6) Tu / 10 \\ &= 0,8 \times (0,63 + 0,6) 260 / 10 \\ &= 25,58 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen ultimate lapangan

$$\begin{aligned} MUL &= 0,8 \times (S + 0,6) Tu / 16 \\ &= 0,8 \times (0,63 + 0,6) 260 / 14 \\ &= 18,27 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen ultimate total pada tumpuan:

$$\begin{aligned} Mu &= MUD + MUL \\ &= 2,12 + 25,58 \\ &= 27,7 \text{ kNm} = 27,7 \times 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen ultimate total pada lapangan:

$$\begin{aligned} Mu &= MUD + MUL \\ &= 1,52 + 18,27 \\ &= 19,79 \text{ kNm} = 19,79 \times 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

4.3.2 Penulangan Pelat Lantai Kendaraan

Penulangan pelat lantai menggunakan tulangan rangkap Sesuai SNI 03-2847-2002 sebagai berikut :

- Perhitungan Tulangan arah memanjang (tegak lurus arah lalu lintas)

- Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$fc' = 25 \text{ Mpa}$$

$$fy = 300 \text{ Mpa}$$

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

$$\phi = 16 \text{ mm } (As = 201,06 \text{ mm}^2)$$

$$d' = 30$$

$$d = 200 - 30 - 0,5 (16) = 162 \text{ mm}$$

$$Mu_{\text{tot}} = 27,7 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\delta = \frac{As'}{As} = 0,5$$

$$R_n = \frac{(1-0,5)Mu}{b \cdot d^2 \cdot \phi} = \frac{(1-0,5)27,7 \times 10^6 \text{ Nmm}}{0,8 \cdot 1000 \cdot 162^2 \text{ mm}^3} = 0,65 \text{ N/mm}^2;$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = \frac{300}{0,85 \cdot 25} = 14,12$$

$$\begin{aligned}\rho \delta &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 0,65}{300}} \right) = 0,002\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho' &= \frac{0,5 Mu}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} = \frac{0,5 \times 27,7 \times 10^6}{0,8 \times 300 \times (162 - 30) \times 1000 \times 162} \\ &= 0,003\end{aligned}$$

$$\rho = 0,002 + 0,003 = 0,005$$

$$\text{maka } As = \rho \cdot b \cdot d = 0,005 \cdot 1000 \cdot 162 = 810 \text{ mm}^2$$

pakai 5 D 16, $As = 1005,31 \text{ mm}^2$. Dipasang D16 – 200

Untuk tekan (As')

$$As' = \rho' \cdot b \cdot d = 0,003 \times 1000 \times 162 = 486 \text{ mm}^2$$

Pakai 5 D 13, $As' = 663 \text{ mm}^2$. Dipasang D13 – 200

- Perhitungan Tulangan Lapangan

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 300 \text{ Mpa}$$

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

$$\phi = 16 \text{ mm } (As = 201,06 \text{ mm}^2)$$

$$d' = 30$$

$$d = 200 - 30 - 0,5 (16) = 162 \text{ mm}$$

$$Mu_{\text{tot}} = 19,79 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\delta = \frac{As'}{As} = 0,5$$

$$R_n = \frac{(1-0,5)Mu}{b \cdot d^2 \cdot \phi} = \frac{(1-0,5)19,79 \times 10^6 \text{ Nmm}}{0,8 \cdot 1000 \cdot 162^2 \text{ mm}^3} = 0,47 \text{ N/mm}^2;$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{300}{0,85 \cdot 25} = 14,12$$

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

$$= \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 14,12 \cdot 0,47}{300}} \right) = 0,002$$

$$\rho' = \frac{0,5 \cdot M u}{\phi \cdot f_y \cdot (d - d') \cdot b \cdot d} = \frac{0,5 \times 19,79 \times 10^6}{0,8 \times 300 \times (162 - 30) \times 1000 \times 162} = 0,003$$

$$\rho = 0,002 + 0,003 = 0,005$$

maka As = $\rho \cdot b \cdot d = 0,005 \cdot 1000 \cdot 162 = 810 \text{ mm}^2$

pakai 5 D 16, As = 1005,31 mm². Dipasang D16 – 200

Untuk tekan (As')

$$As' = \rho' \cdot b \cdot d = 0,003 \times 1000 \times 162 = 486 \text{ mm}^2$$

Pakai 5 D 13, As' = 663 mm². Dipasang D13 – 200

- b). Perhitungan Tulangan arah melintang (sejajar arah lalu lintas)

Untuk pelat arah memanjang (sejajar arah lalu lintas) dipasang tulangan bagi sesuai dengan ketentuan BMS bagian 6 ps.6.7.1.4 yaitu 30% - 50 % tulangan utama, sehingga :

$$As \text{ perlu} = 30 \% \times 1005,31 \text{ mm}^2 = 301,593 \text{ mm}^2$$

Dipasang Ø 10 – 200, As = 392,70 mm²

Kontrol lendutan

Berdasarkan pada SNI-03-2847-2002, untuk pelat lantai dengan dua tumpuan yang mempunyai tebal minimum $t = \frac{l}{16} < 200 \text{ mm}$,

maka lendutannya tidak perlu dihitung.

$$L = 1700 \text{ mm}$$

$$L \text{ min} = \frac{1700}{16} = 106,25 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \dots\dots \text{Ok}$$

(pelat aman terhadap lendutan)

Kontrol lebar retak plat

Pengendalian Retak pada plat lantai Untuk plat jembatan dijelaskan dalam pasal 6.7.4 PPTJ BMS hal 6-8,3 bahwa retakan pada plat Bertulang yang terlentur bisa dianggap terkendali bila jarak titik berat ke titik berat tulangan pada masing-masing arah tidak melampaui 300 mm

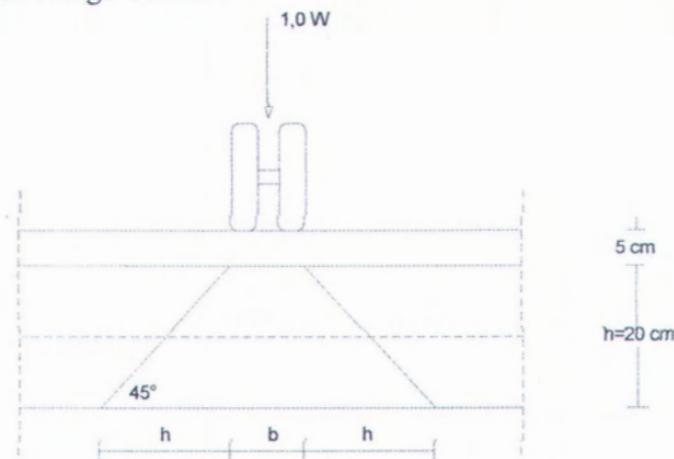
$$(S_{\text{max}} \leq 300 \text{ mm})$$

$$S_{\text{momen tumpuan}} = 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

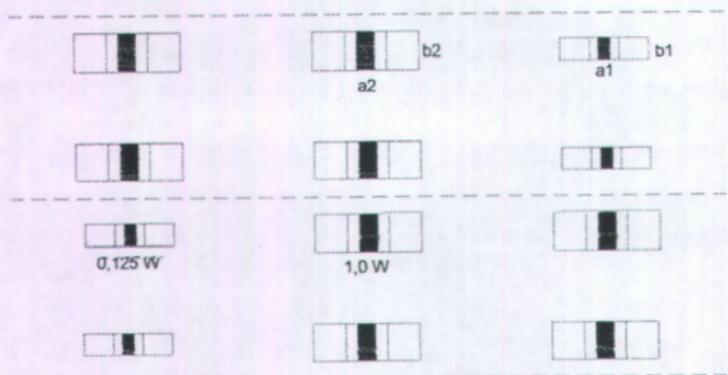
$$S_{\text{momen lapangan}} = 200 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Kontrol terhadap Geser Ponds

Sesuai dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya 1986, untuk menghitung besarnya geser ponds yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar 4.12 Penyebaran beban pada plat lantai kendaraan

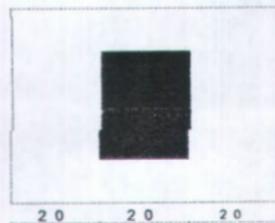
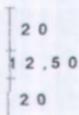


Gambar 4.13 Ukuran dan kedudukan beban roda ganda

$$a1 = a2 = 20 \text{ cm}$$

$$b1 = 12,50 \text{ cm}$$

$$b2 = 50 \text{ cm}$$

Gambar 4.14 Luas Geser Ponds A1
Ponds A2

Gambar 4.15 Luas Geser

$$A1 = (2 \times (60+20)/2 + 2 \times (52,50+12,50)/2) \times 20 = 2900 \text{ cm}^2 \\ = 290000 \text{ mm}^2$$

$$V1 = 0,125 \text{ W} = 0,125 \times 10 \text{ t} = 1,25 \text{ t} = 1250 \text{ Kg} = 12500 \text{ N}$$

$$v1 = \frac{V1}{A1} = \frac{12500}{290000} = 0,431 \text{ Mpa}$$

$$vc = \frac{1}{3} \sqrt{fc'} = \frac{1}{3} \sqrt{25} = 1,667 \text{ Mpa}$$

$v1 < vc \rightarrow 0,431 \text{ Mpa} < 1,667 \text{ Mpa} \dots \dots \text{OK}$

$$A2 = (2 \times (60+20)/2 + 2 \times (90+50)/2) \times 20 = 4400 \text{ cm}^2 \\ = 440000 \text{ mm}^2$$

$$V2 = 1,0 \text{ W} = 1,0 \times 10 \text{ t} = 10 \text{ t} = 10000 \text{ Kg} = 100000 \text{ N}$$

$$\nu_2 = \frac{V_2}{A_2} = \frac{100000}{440000} = 0,227 \text{ Mpa}$$

$$v_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} = \frac{1}{3} \sqrt{25} = 1,667 \text{ Mpa}$$

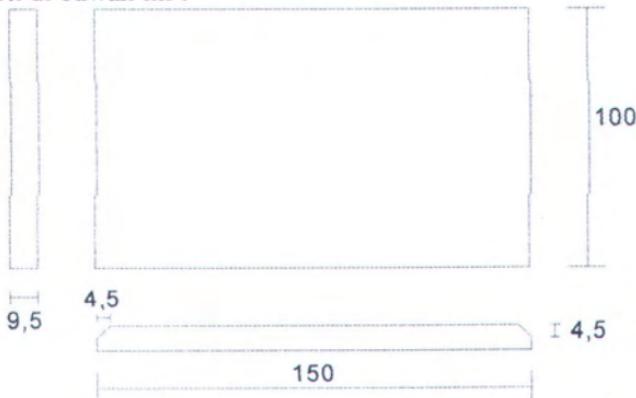
$v_2 < v_c \rightarrow 0,227 \text{ Mpa} < 1,667 \text{ Mpa} \dots \dots \text{OK}$

4.3.3

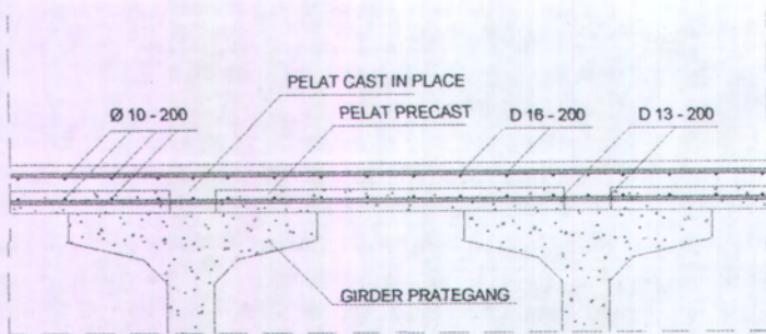
Perencanaan Plat Precast Lantai Kendaraan

Pelat precast lantai kendaraan sebenarnya bagian dari pelat lantai kendaraan secara keseluruhan dengan ketebalan 200mm. Pembuatan bagian pelat lantai ini secara precast dengan tujuan meniadakan bekisting saat pengecoran pelat lantai kendaraan seluruhnya. Oleh karenanya perhitungan pelat precast sama dengan pelat lantai kendaraan. Penulangan yang ada pada pelat precast merupakan bagian dari penulangan pelat lantai sesuai perhitungan pelat lantai di atas. Setelah over topping dilakukan diharapkan dapat terbentuk susunan komposit antara plat precast dan plat cast in situ, sehingga plat precast dan pelat cast in place dapat bekerja bersamaan dalam menahan beban yang bekerja pada plat lantai kendaraan.

Plat precast lantai kendaraan tersebut direncanakan dengan dimensi seperti di bawah ini :



Gambar 4.16 Dimensi untuk plat precast lantai kendaraan

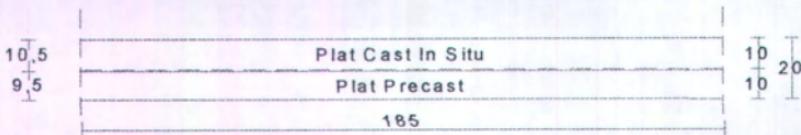


Gambar 4.17 Penulangan pada plat lantai kendaraan

4.2.4 Perencanaan Shear Connector Pelat Precast

Shear Connection diperlukan untuk menjamin bahwa antara plat precast dengan plat cast in situ sebagai over topping dapat bekerja secara komposit. Perencanaan shear connection pada plat precast ini diasumsikan sama dengan pada balok girder, yaitu didasarkan pada rumus berikut ini :

$$V_h = \frac{Q_c}{b_v I_{gc}} \Delta v$$



Gambar 4.18 Perencanaan Shear Connection

Berdasarkan gambar di atas maka dapat ditentukan,
 $b_v = 1000 \text{ mm}$

$$I_{gc} = \frac{1}{12} \times 1000 \times (200)^3 = 6,667 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$Q_c = 1000 \times 105 \times (10 - 90)^2 = 1.470 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\Delta v = 1000 \text{ N}$$

Maka,

$$V_h = \frac{1,47 \times 10^8}{1000 \times 6,667 \times 10^8} \times 1000 = 0,220 \text{ N/mm}$$

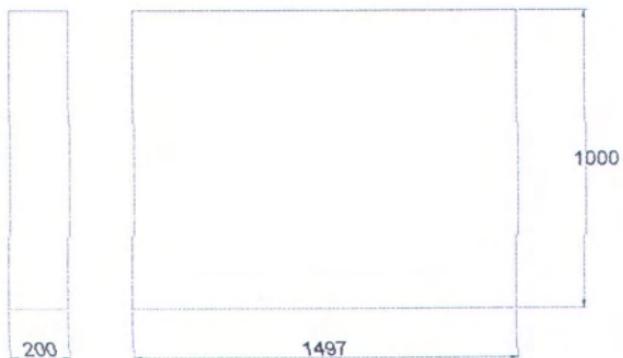
Direncanakan shear connector $\phi 12$ ($A_s = 113 \text{ mm}^2$), maka jarak shear connector:

$$s = \frac{\varphi A_{sh} f_y N}{b_v V_h} = \frac{0,85 \times (2 \times 113) \times 240 \times 1}{1000 \times 0,220} = 209,564 \text{ mm}$$

Dipakai shear connector $\phi 12 - 200$ arah melintang maupun memanjang

4.4 PERENCANAAN BALOK DIAFRAGMA

Balok melintang / diafragma yang diletakkan diantara balok gelagar utama tujuannya adalah untuk memberikan kekakuan arah melintang (tranversal) jembatan dan sifatnya tidak memikul beban. Dalam peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (BMS 1992), disebutkan bahwa jarak minimal antar balok melintang adalah 8 m.



Gambar 4.19 Dimensi balok diaphragma

f_c'	= 25 Mpa
f_y	= 300 Mpa
q	= $0,2 \times 1,0 \times 24 \text{ KN/m}^3 = 4,8 \text{ KN/m} = 4,8 \text{ N/mm}$
q_u	= $1,2 \times 4,8 = 5,76 \text{ N/mm}$
$\frac{ln}{d}$	= $\frac{1497}{0,9 \times 1000} = 1,63 < 5$ (termasuk balok tinggi)
x	= $0,15L$
ln	= $0,15 \times 1497 = 224,55 \text{ mm}$ (letak penampang kritis)
V_u	= $\frac{1}{2} \times q_u \times ln - q_u \times x$

$$= \left(\frac{1}{2} \times 5.76 \times 1497 \right) - \left(5.76 \times 224,55 \right) = 3017,952 \text{ N}$$

Kemampuan penampang menahan geser

$$\begin{aligned} V_n &= \frac{\gamma_3}{3} \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= \frac{\gamma_3}{3} \times \sqrt{25} \times 200 \times (0.9 \times 1000) = 600000 \text{ N} \\ \phi V_n &= 0,6 \times 600000 \\ &= 360000 \text{ N} > V_u = 3017,952 \text{ N} \\ &\rightarrow \text{penampang } Ok. \end{aligned}$$

Momen pada penampang kritis

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{2} \times q_u \times l_n \times x - \frac{1}{2} \times q_u \times x^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 5.76 \times 1497 \times 224,55 - \left(\frac{1}{2} \times 5.76 \times 224,55^2 \right) \\ &= 822898,505 \text{ Nmm.} \end{aligned}$$

Bagian dari penampang yang mengalami tarik pada penampang kritis, As:

$$As = \frac{M_u}{\varphi \times f_y \times \frac{2}{3} h} = \frac{822898,505}{0.8 \times 300 \times \frac{2}{3} \times 1000} = 5.143 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.0046$$

$$\rho = \frac{As}{b_w \cdot d} = \frac{5.836}{200 \times 0.9 \times 1000} = 0.000032 < \rho_{min} = 0.0046$$

(pakai ρ_{min})

$$\frac{V_u d}{M_u} = \frac{3017,952 \times 0.9 \times 1000}{822898,505} = 3,3$$

$$\left(3.5 - 2.5 \times \frac{M_u}{V_u d} \right) = \left(3.5 - 2.5 \times \frac{822898,505}{3017,952 \times 0.9 \times 1000} \right) = 2.74 > 2.5$$

(pakai 2.5)

$$V_c = \left(3.5 - 2.5 \frac{M_u}{V_u \times d} \right) \left[\frac{\sqrt{f_c} + 120\rho \frac{V_u d}{M_u}}{7} \right] b_w \times d$$

$$= 2.5 \left[\frac{\sqrt{25} + (120 \times 0.0046 \times 3,3)}{7} \right] 200 \times (0.9 \times 1000) = 435831,429 \text{ N}$$

Vc_{max}

$$= \frac{1}{2} \sqrt{fc'} \times bw \times d = \frac{1}{2} \sqrt{25} \times 200 \times 0.9 \times 1000 = 450000 \text{ N}$$

$$Vc_{max} = 450000 \text{ N} > Vc = 438531,429 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

$$\varphi Vc = 0.6 \times 438531,429 = 263118,857 \text{ N} > Vu = 3017,952 \text{ N}$$

Pasang tulangan geser

- **Tulangan vertikal**

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{0.9 \times 1000}{2} = 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 500 \text{ mm}$$

$$\text{ambil } s = 450$$

$$AV_{min} = \frac{bw \times s}{3 \times fy} = \frac{200 \times 450}{3 \times 300} = 100 \text{ mm}^2$$

Pasang tulangan geser $\emptyset 10 - 300$ ($As = 314,16 \text{ mm}^2$)

- **Tulangan horizontal**

$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{0.9 \times 1000}{2} = 450 \text{ mm}$$

$$s \leq 500 \text{ mm}$$

$$\text{ambil } s = 300$$

$$AV_{min} = \frac{bw \times s}{3 \times fy} = \frac{200 \times 450}{3 \times 300} = 100 \text{ mm}^2$$

Pasang tulangan geser $\emptyset 10 - 300$ ($As = 314,16 \text{ mm}^2$)

Penulangan tarik balok melintang :

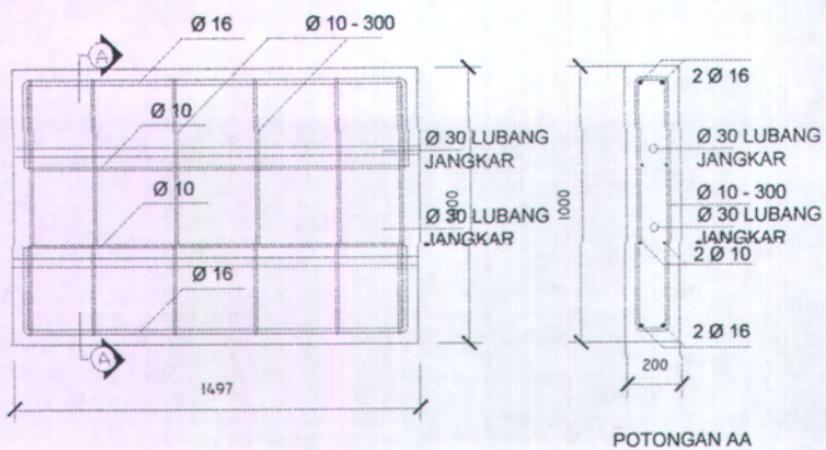
$$M_{max} = \frac{J}{8} \times ql^2 = \frac{l}{8} \times 5.76 \times 1497^2 = 1613526,48 \text{ Nmm}$$

$$As = \frac{Mu}{\varphi \times fy \times \frac{2}{3}h} = \frac{1613526,48}{0.8 \times 300 \times \frac{2}{3} \times 1000} = 10,084 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan tarik 2 D 16 ($As = 402 \text{ mm}^2$)

Sedangkan untuk tulangan tengah digunakan 2 $\emptyset 12$ ($As' = 226 \text{ mm}^2$).

Penjangkaran balok diafragma pada girder menggunakan tulangan 2 D 16 karena beban yang diterima akibat berat sendiri balok diafragma adalah sama dengan perhitungan di atas.



Gambar 4.20 : Penulangan Diafragma



5

PERENCANAAN STRUKTUR UTAMA

5.1 PRELIMINARI DESAIN

5.1.1 Uraian Kondisi Setempat

Jembatan Modangan ini terletak di perbatasan Kecamatan *Donomuljo Kabupaten Malang – Kecamatan Wates Kabupaten Blitar* yang melintasi sungai Kricakan. Jembatan ini direncanakan sebagai bagian dari jalur lintas selatan pulau jawa. Jembatan ini nantinya akan dilalui oleh berbagai macam jenis tipe kendaraan, baik berat ataupun jenis kendaraan ringan.

5.1.2 Alternatif Desain

a. Tinggi bebas minimum jembatan

Tinggi bebas minimum jembatan menurut Pedoman Perencanaan Pembebaran Jembatan Jalan Raya (PPJJR, tahun 1987, hlm 22) adalah sekitar \pm 1.0 m. Sungai Kricakan mempunyai tinggi bebas minimum - 8.0 m dari permukaan lantai kendaraan rencana, hal ini sesuai dengan data muka air banjir (MAB) pada sungai.

b. Membagi bentang jembatan

Dalam perencanaan jembatan Modangan ini diambil alternatif pembagian bentang jembatan menjadi dua dengan masing-masing bentang sepanjang 35 meter.

c. *Lebar jembatan*

Lebar jembatan direncanakan 9 m. Lebar jembatan direncanakan sedemikian rupa sehingga lebar jembatan menjadi konstan sepanjang bentang yang dimaksudkan untuk mempermudah pelaksanaannya. Selain itu lebar jalur lalu-lintasnya sendiri masih memenuhi untuk kelas jalan yang bersangkutan.

d. *Pemilihan gelagar tipe I – tidak simetris (bagian bawah lebih kecil daripada bagian atas)*

Jembatan ini direncanakan dengan struktur beton sistem komposit (composite section), yang mana gelagar/ balok utama dibuat secara cast in situ dan lantai kendaraan dicor kemudian (cast in situ). Menurut T.Y.Lin dalam bukunya *Desain Struktur Beton Prategang* adalah sebagai berikut :

- Profil I – tidak simetris (unsymmetrical I – section) cocok/ekonomis untuk beton pratekan sistem komposit (it can be economically used for certain composite sections).
- Jika perbandingan Mg/Mt cukup besar akan mengakibatkan profil I – tidak simetris dapat dianggap sebagai penampang berbentuk T.

5.2 PERENCANAAN GELAGAR UTAMA

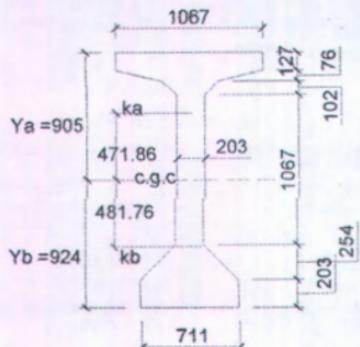
5.2.1 Menaksir Dimensi Gelagar Utama dan Karakteristiknya

Bentang jembatan Modangan 35 m, berdasarkan tabel 3.1 maka dipakai balaok pratekan standar AASTO-PCI tipe VI.

5.2.2 Perhitungan Penampang

1. Sebelum Komposit

Pada tengah bentang :



Gambar 5.1 : Dimensi Balok AASHTO-PCI type VI

Data material di atas :

$$A_c = 70 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I = 3052 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$C_b = Y_b = 924 \text{ mm (dari bawah balok)}$$

$$Y_a = 1829 - 924 = 905 \text{ mm}$$

$$r^2 = \frac{I}{A_c} = \frac{3052 \times 10^8}{70 \times 10^4} = 436000 \text{ mm}^2 = 4360 \text{ cm}^2$$

Kontrol rendemen balok

$$\rho = \frac{r^2}{Y_a \times Y_b} = \frac{436000}{905 \times 924} = 0,52$$

Maka dimensi balok tersebut sudah seimbang dan baik, karena apabila :

$\rho \leq 0,45 \rightarrow$ balok terlalu gemuk

$\rho \geq 0,55 \rightarrow$ balok terlalu langsing dan sulit dalam pelaksanaan

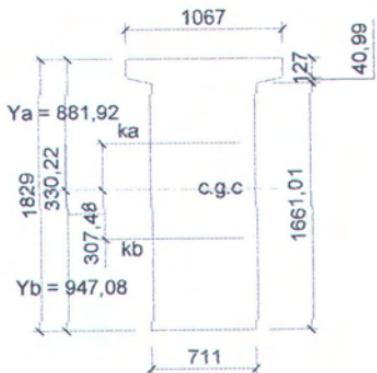
$$w_a = \frac{I}{y_a} = \frac{3052 \times 10^8}{905} = 337237569,1 \text{ mm}^3$$

$$w_b = \frac{I}{y_b} = \frac{3052 \times 10^8}{924} = 330303030,3 \text{ mm}^3$$

$$k_a = \frac{w_b}{A_c} = \frac{330303030,3}{70 \times 10^4} = 471,86 \text{ mm}$$

$$k_b = \frac{w_a}{A_c} = \frac{337237569,1}{70 \times 10^4} = 481,76 \text{ mm}$$

Pada ujung bentang:



Gambar 5.2 : Penampang Balok pada tumpuan.

$$Ac = (711 \times 1702) + 2\left(\frac{1}{2} \times 178 \times 41\right) + (1067 \times 127) = 1352929 \text{ mm}^2$$

$$ya = \frac{\left\{ (1067 \times 127 \times 63.5) + \left(2\left(\frac{1}{2} \times 178 \times 41\right) \times 140.667 \right) + (711 \times 1702 \times 978) \right\}}{1352929}$$

$$ya = 881,887 \text{ mm} = 88,189 \text{ cm}$$

$$yb = 1829 - 881,887 = 947,113 \text{ mm} = 94,711 \text{ cm}$$

$$I = \left(\frac{1}{12} \times 1067 \times 127^3 \right) + \left(1067 \times 127 \times \left(881,887 - \frac{127}{2} \right)^2 \right) + \left(2\left(\frac{1}{36} \times 178 \times 41^3\right) + \left(\left(\frac{1}{2} \times 178 \times 41\right) \times (881,887 - 140.667)^2 \right) \right) + \left(\frac{1}{12} \times 711 \times 1702^3 \right) + \left(711 \times 1702 \times \left(947,113 - \frac{1702}{2} \right)^2 \right)$$

$$= 3,941 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4 = 3,941 \cdot 10^7 \text{ cm}^4 = 39411207,6 \text{ cm}^4$$

$$r^2 = \frac{I}{Ac} = \frac{39411207,6}{13529,29} = 2913,03 \text{ cm}^2$$

$$wa = \frac{I}{ya} = \frac{3,94 \times 10^{11}}{881,887} = 446769257,3 \text{ mm}^3$$

$$wb = \frac{I}{yb} = \frac{3,94 \times 10^{11}}{947,113} = 416001047,4 \text{ mm}^3$$

$$ka = \frac{wb}{Ac} = \frac{416001047,4}{1352929} = 307,48 \text{ mm}$$

$$kb = \frac{wa}{Ac} = \frac{446769257,3}{1352929} = 330,223 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Penampang Komposit

Pada perhitungan penampang komposit ini lebar pengganti plat beton bertulang (bef) dihitung sebagai berikut :

Mutu beton pratekan → $fc' = 45 \text{ Mpa}$,

Mass Density = 2500 Kg/m^3 (TY. Lin, ACI).

$$Ec = (wc)^{1.5} \times 0.043\sqrt{fc'} = (2500)^{1.5} \times 0.043\sqrt{45} = 37362.39 \text{ Mpa}$$

Mutu beton bertulang → $fc' = 25 \text{ Mpa}$,

Mass Density = 2400 Kg/m^3

$$Ec = 4700\sqrt{fc'} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{Ec \text{ Balok}}{Ec \text{ Plat}} = \frac{37362.39}{23500} = 1.60$$

Jarak antar gelagar (s) = 1.70 m

Bef diambil nilai terkecil dari perumusan berikut :

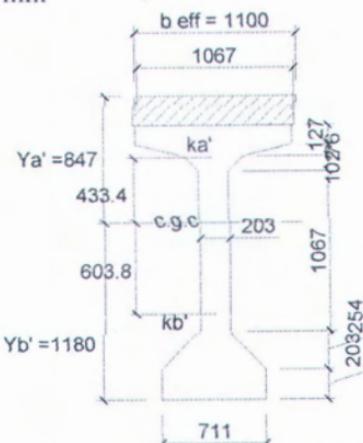
1. $bef = S$, S = jarak antar gelagar utama yaitu 1700 mm
 $bef = 1700 \text{ mm}$
 2. $bef = 8 \times ts$, ts = tebal plat beton jembatan = 200 mm
 $bef = 8 \times 200 = 1600 \text{ mm}$
 3. $bef = \frac{S}{n} = \frac{1700}{16} = 1069 \text{ mm} = 1100 \text{ mm}$

jadi diambil lebar flens terkecil = 1100 mm = 110 cm

$$\text{Luas penampang plat} = 110 \times 20 = 2200 \text{ cm}^2 = 2,2 \times 10^5 \text{ mm}^2.$$

Pada tengah bentang :

$$\begin{aligned}A' \text{ komposit} &= A \text{ gelagar} + A \text{ plat} \\&= 70 \times 10^4 \text{ mm}^2 + 2,2 \times 10^5 \text{ mm}^2 \\&= 920000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$



Gambar 5.3 : Penampang tengah bentang komposit

$$\begin{aligned} y_b &= \frac{(947,113 \times 70 \times 10^4) + (1100 \times 200 \times 1929)}{920000} \\ &= 1182 \text{ mm} = 118 \text{ cm} \\ ya' &= 2029 - 1182 = 847 \text{ mm} = 84,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I' = & \left(\frac{1}{12} \times 1100 \times 200^3 \right) + \left(1100 \times 200 \times \left(847 - \frac{200}{2} \right)^2 \right) + \\
 & \left(\frac{1}{12} \times 1067 \times 127^3 \right) + \left(1067 \times 127 \times \left(847 - 200 + \left(\frac{127}{2} \right) \right)^2 \right) + \\
 & \left(\frac{1}{12} \times 407 \times 76^3 \right) + \left(407 \times 76 \times (847 - 365)^2 \right) + \\
 & 2 \left(\left(\frac{1}{36} \times 330 \times 76^3 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 330 \times 76 \right) (847 - 352.333)^2 \right) + \\
 & \left(\frac{1}{12} \times 203 \times 102^3 \right) + \left(203 \times 102 \times (847 - 454)^2 \right) + \\
 & 2 \left(\left(\frac{1}{36} \times 102 \times 102^3 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 102 \times 102 \right) (847 - 437)^2 \right) + \\
 & \left(\frac{1}{12} \times 203 \times 1067^3 \right) + \left(203 \times 1067 \times (1180 - 1038.5)^2 \right) + \\
 & \left(\frac{1}{12} \times 203 \times 254^3 \right) + \left(203 \times 254 \times (1180 - 330)^2 \right) + \\
 & 2 \left(\left(\frac{1}{36} \times 254 \times 254^3 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 254 \times 254 \right) (1180 - 287.667)^2 \right) + \\
 & \left(\frac{1}{12} \times 711 \times 203^3 \right) + \left(711 \times 203 \times (1180 - 101.5)^2 \right) + \\
 & = 4,705 \times 10^{11} \text{ mm}^4 = 4,705 \times 10^7 \text{ cm}^4 = 47052995 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$r^2 = \frac{I}{Ac'} = \frac{4,705 \times 10^7}{9200} = 5114,45 \text{ cm}^2$$

$$wa' = \frac{I}{ya'} = \frac{4,705 \times 10^7}{84,7} = 555525,32 \text{ cm}^3$$

$$wb' = \frac{I}{yb'} = \frac{4,705 \times 10^7}{118} = 398754,19 \text{ cm}^3$$

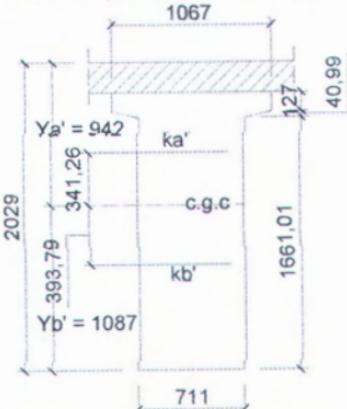
$$ka' = \frac{Wb'}{Ac'} = \frac{398754,19}{9200} = 43,34$$

$$kb' = \frac{Wa'}{Ac'} = \frac{555525,32}{9200} = 60,38 \text{ cm}$$

Pada ujung bentang :

$$A' \text{ komposit} = A \text{ gelagar} + A \text{ plat}$$

$$= 13529,29 \text{ cm}^2 + 2200 \text{ cm}^2 = 15729,29 \text{ cm}^2$$



Gambar 5.4 : Letak c.g.c. komposit

$$y_{b'} = \\ 0x200x1929) + (711x1829x914,5) + (2x(127x178x1765,5)) + (2x(0,5x178x41x1688,33) \\ 1572929$$

$$= 1087,01 \text{ mm} = 108,7 \text{ cm}$$

$$ya' = 202,9 - 108,7 = 94,2 \text{ cm}$$

$$I' = \left(\frac{1}{12} \times 1100 \times 200^3 \right) + \left(1100 \times 200 \times (942 - 100)^2 \right) + \\ 2 \left(\frac{1}{12} \times 178 \times 127^3 \right) + (178 \times 127 \times 678,5^2) + \\ 2 \left(\left(\frac{1}{36} \times 178 \times 41^3 \right) + \left(\frac{1}{2} \times 178 \times 41 \right) (942 - 140,67)^2 \right) + \\ \left(\frac{1}{12} \times 711 \times 1829^3 \right) + (711 \times 1829 \times 172,5^2)$$

$$= 5,835 \times 10^{11} \text{ mm}^4 = 5,835 \times 10^7 \text{ cm}^4 = 58348053 \text{ cm}^4$$

$$r^2 = \frac{I}{Ac'} = \frac{58348053}{15729,29} = 3709,52 \text{ cm}^2$$

$$wa' = \frac{I}{ya'} = \frac{58348053}{94,2} = 619406,08 \text{ cm}^3$$

$$wb' = \frac{I}{yb'} = \frac{58348053}{108,7} = 536780,62 \text{ cm}^3$$

$$ka' = \frac{Wb'}{Ac'} = \frac{536780,62}{15729,29} = 34,126 \text{ cm}$$

$$kb' = \frac{Wa'}{Ac'} = \frac{619406,08}{15729,29} = 39,379 \text{ cm}$$

5.2.3 Pembebatan

Beban-beban yang bekerja pada gelagar utama adalah :

a. Berat sendiri gelagar/balok memanjang

➤ *Pada tumpuan*

$$Ac = 13529,29 \text{ cm}^2 = 1,3529 \text{ m}^2$$

$$q = 1,3529 \times 25 = 33,822 \text{ kN/m}$$

$$qu = 33,822 \times 1,2 = 40,587 \text{ kN/m}$$

➤ *Pada lapangan*

$$Ac = 70 \times 10^4 \text{ mm}^2 = 7000 \text{ cm}^2 = 0,70 \text{ m}^2$$

$$q = 0,70 \times 25 = 17,50 \text{ kN/m}$$

$$qu = 17,50 \times 1,2 = 21 \text{ kN/m}$$

b. Beban mati

➤ *Aspal dengan tebal 5 cm*

$$q = 0,05 \times 22 \times 1,70 = 1,87 \text{ kN/m}$$

$$qu = 1,87 \times 2 = 3,74 \text{ kN/m}$$

➤ *Lantai kendaraan dengan tebal 20 cm*

$$q = 0,20 \times 1,70 \times 24 = 8,16 \text{ kN/m}$$

$$qu = 8,16 \times 1,3 = 10,608 \text{ kN/m}$$

➤ *Muatan sekunder akibat peninggian trotoar + kerb (25 cm) "dianggap dipasang setelah lantai kendaraan dicor"*

$$q = 0,25 \times 1,2 \times 25 \times 2 / 9 = 1,67 \text{ kN/m}$$

$$qu = 1,3 \times 1,67 = 2,17 \text{ kN/m}$$

➤ *Beban akibat tiang sandaran*

Bentang 35 m :

$$q = \frac{0,10 \times 0,16 \times 24 \times 19}{35} = 0,27 \text{ kN/m}$$

$$qu = 0,27 \times 1,1 = 0,297 \text{ kN/m}$$

➤ *Beban mati terpusat akibat gelagar melintang (diafragma)*

$$q = 4,8 \text{ kN/m}$$

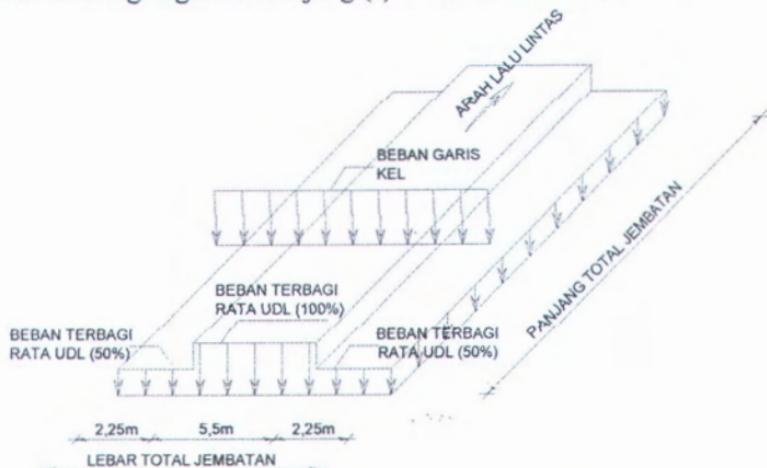
maka :

$$P = (1.70 - 0.203) \times 0.20 \times 1.00 \times 24 = 7.1856 \text{ kN}$$

$$P_u = 7.1856 \times 1.2 = 8.623 \text{ kN}$$

c. Beban hidup

Jarak antara gelagar memanjang (s) = 170 cm = 1.70 m



Gambar 5.5 : Beban garis KEL dan beban merta UDL pada jembatan

➤ **Beban hidup lalu-lintas merata (UDL)**

$L = 35$ meter, maka :

$$\begin{aligned} q &= 8.0(0.5+15/L)\text{kPa} \\ &= 8.0(0.5+15/35) \\ &= 7.43 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$q = 7.43 \times 2.75 = 20.432 \text{ kN/m/lajur}$$

$$\begin{aligned} q' &= q/2.75 \times \alpha \times S \\ &= 7.43 \times 1 \times 1.70 = 12.631 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$q_{u1} = 100\% \times 12.631 \times 2 = 25.262 \text{ kN/m}$$

$$q_{u2} = 50\% \times 12.631 \times 2 = 12.631 \text{ kN/m}$$

➤ **Beban hidup lalu-lintas garis/terpusat (KEL)**

$$P = 44 \text{ kN/m} = 44 \times 2.75 = 121 \text{ kN/m/lajur}$$

Untuk $L < 50$ meter

Maka faktor dinamik (DLA) sebesar 0.4 .. (BMS 2.3.6)

(Tabel 2.12 hal 2-20 BMS)

$$P = 44 \times (1 + 0,4) = 61.6 \text{ kN/m}$$

$$P' = 61.6 \times 1 \times 1.7 = 104.72 \text{ kN}$$

$$P_{u1} = 100\% \times 104.72 \times 2 = 209.44 \text{ kN}$$

$$P_{u2} = 50\% \times 104.72 \times 2 = 104.72 \text{ kN}$$

➤ *Air hujan dengan tinggi 5 cm*

$$q = 0.05 \times 1.70 \times 10 = 0.85 \text{ kN/m}$$

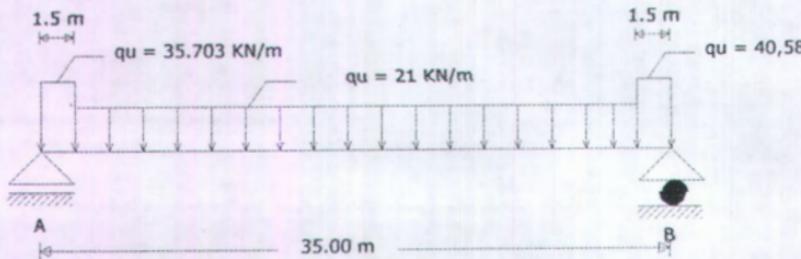
$$qu = 0.85 \times 1 = 0.85 \text{ kN/m}$$

5.2.4 Perhitungan Momen

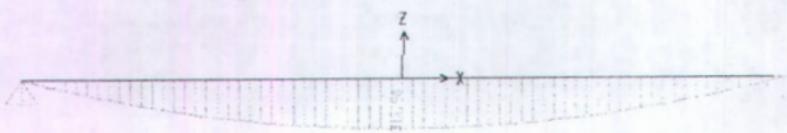
1. Beban sendiri gelagar/balok utama

$$qu \text{ tumpuan} = 35.703 \text{ kN/m}$$

$$q \text{ lapangan} = 19.61 \text{ kN/m}$$



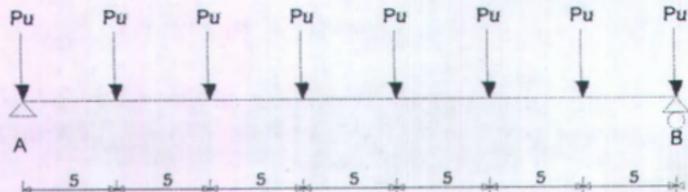
Gambar 5.6 Beban akibat berat sendiri gelagar utama bentang diatas dua tumpuan sendi rol



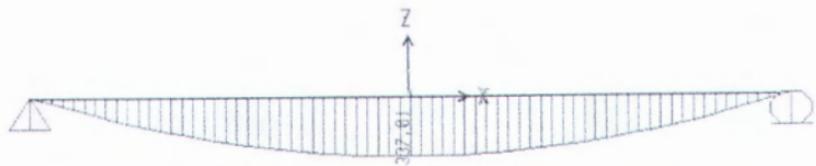
Gambar 5.7 Bidang momen akibat beban gelagar/ balok utama

2. Balok Melintang (diafragma)

$$Pu = 8.623 \text{ kN}$$



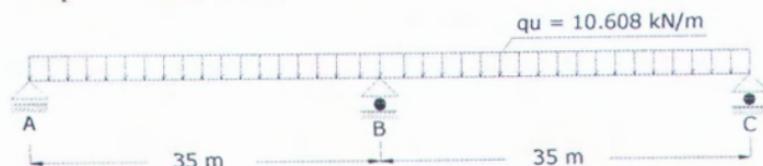
Gambar 5.8 Beban akibat balok melintang (Diaphragma)



Gambar 5.9 Bidang momen akibat beban balok melintang (Diaphragma)

3. Plat lantai kendaraan

$$q = 10.608 \text{ kN/m}$$



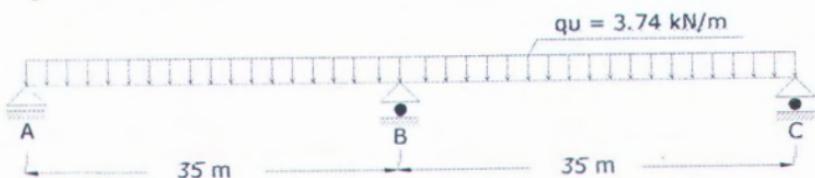
Gambar 5.10 Beban akibat plat lantai kendaraan



Gambar 5.11 Bidang momen akibat beban plat lantai kendaraan

4. Aspal

$$q = 3.74 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.12 Beban akibat plat lantai kendaraan+ aspal



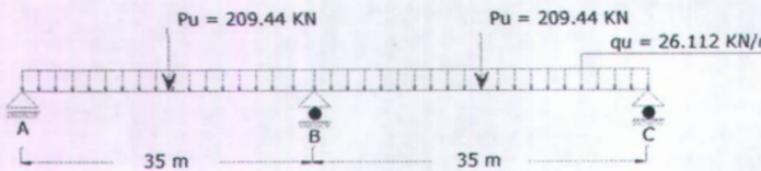
Gambar 5.13 : Bidang momen akibat beban plat lantai kendaraan+ aspal

5. Beban hidup

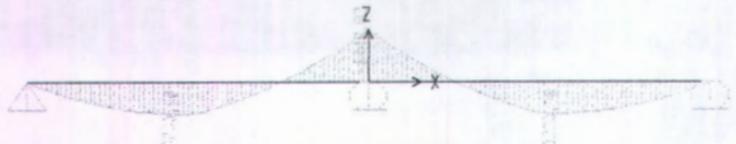
$$q_u = 25.262 + 0.85 = 26.112 \text{ kN/m}$$

$$P_u = 209.44 \text{ kN}$$

➤ Posisi A

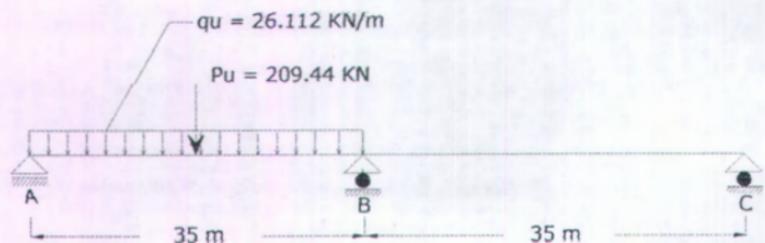


Gambar 5.14 Beban hidup posisi A

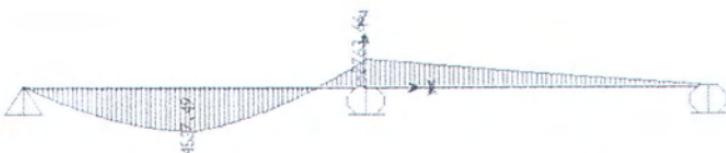


Gambar 5.15 Bidang momen akibat beban hidup posisi A

➤ Posisi B

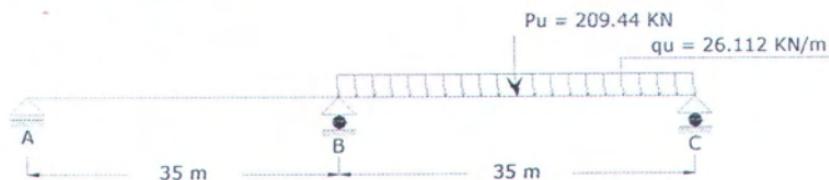


Gambar 5.16: Beban hidup posisi B

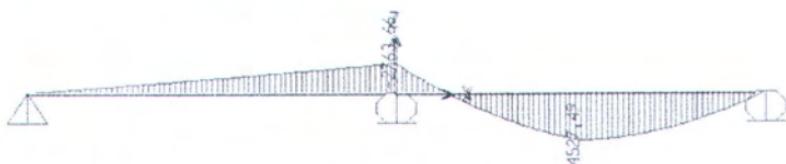


Gambar 5.17 : Bidang momen akibat beban hidup posisi B

➤ Posisi C



Gambar 5.18 : Beban hidup posisi C



Gambar 5.19 : Bidang momen akibat beban hidup posisi C

Untuk menentukan beban hidup yang dipakai adalah ditentukan dari posisi beban hidup yang mempunyai gaya dalam yang paling maksimum.

5.2.5

Menentukan Gaya Prategang Yang Terjadi

Tegangan izin untuk komponen struktur lentur.

1. Tegangan Baja - Baja Prategang Grade 270 ($f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$)

(Peraturan ACI, TY Lin jilid 1 hlmn 24)

- Pada saat jakcng adalah sebesar $0.80s f_{pu}$
 - $= 0.80 \times 1860 = 1488 \text{ Mpa}$.
- Setelah diangker adalah sebesar $0.70 f_{pu}$
 - $= 0.70 \times 1860 = 1302 \text{ Mpa}$.

2. Tegangan Beton – Beton Pratekan ($fc' = 45 \text{ Mpa}$)

(SNI 03-2847-2002 ps-20.4)

- Pada saat transfer f_{ci} direncanakan pada umur beton 21 hari sebesar $95\% \times 45 = 42.75 \text{ Mpa}$

$$\text{Tekan} = 0.6 f_{ci} = 0.6 \times 42.75 = 25.65 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow f_{ci} = 256.50 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Tarik} = 0.25 \times \sqrt{f_{ci}} = 0.25 \times \sqrt{45} = 1.677 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow f_{ti} = 16.77 \text{ Kg/cm}^2$$

Untuk bentang sederhana;

$$\text{Tarik} = 0.50 \times \sqrt{f_{ci}} = 0.50 \times \sqrt{45} = 3.35 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow f_{ti} = 33.54 \text{ Kg/cm}^2$$

- Pada saat service load (pembebanan penuh)

$$\text{Tekan} = 0.45 f_{ci} = 0.45 \times 45 = 20.25 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow f_{cs} = 202.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Tarik} = 0.5 \times \sqrt{f_{ci}} = 0.5 \times \sqrt{45} = 3.354 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow f_{ts} = 33.54 \text{ Kg/cm}^2$$

(Tegangan tarik pada saat pembebanan penuh adalah 0 Kg/cm^2)

5.2.6 Perhitungan Gaya Prategang Awal

Dengan mengetahui nilai – nilai dari tegangan ijin bahan dan karakteristik penampang serta momen M_p dan M_c , maka batasan F_o dapat ditentukan dengan mensubstitusikan nilai-nilai tersebut pada persamaan tegangan. Nilai – nilai dari tegangan ijin bahan dan karakteristik penampang sebagai berikut :

$$f_{ci} = 251,37 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{ti} = 33,54 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{cs} = 202,5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{ts} = 33.54 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K_a = 47,186 \text{ cm}$$

$$K_b = 48,176 \text{ cm}$$

$$W_a = 337237,57 \text{ cm}^3$$

$$W_b = 330303,03 \text{ cm}^3$$

$$W_a' = 555525,32 \text{ cm}^3$$

$$W_b' = 398754,19 \text{ cm}^3$$

$$K_a' = 43,34 \text{ cm}$$

$$K_b' = 60,38 \text{ cm}$$

$$M_g = 3315,98 \text{ kNm}$$

$$M_t = 8866,11 \text{ kNm}$$

Batasan F_o pada D (pada tengah bentang)

Batasan F_o pada titik D dapat ditentukan dengan persamaan pada kondisi saat transfer untuk serat atas dan bawah serta kondisi saat service untuk serat atas dan bawah sebagai berikut :

$$\text{I. } F_o \leq \left(\frac{Mg + f_{ti} \cdot W_a}{e_o - K_b} \right)$$

$$\text{II. } F_o \leq \left(\frac{Mg + f_{ci} \cdot W_b}{e_o + K_a} \right)$$

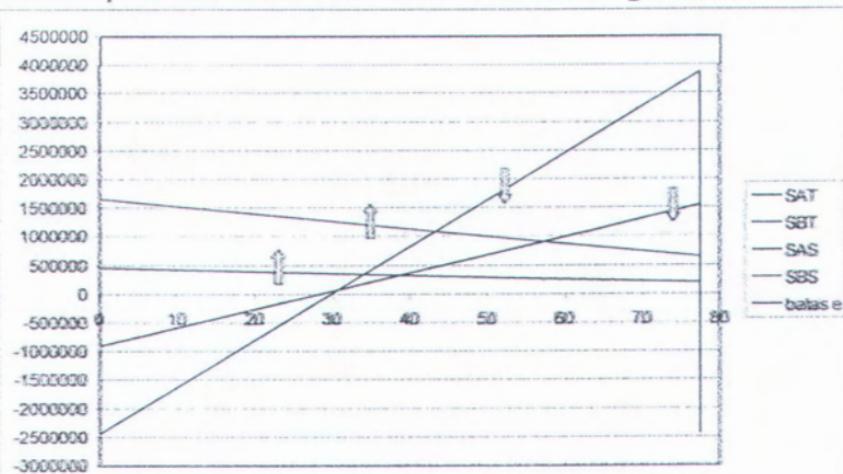
$$\text{III. } F_o \geq \left(\frac{M_t - f_{cs} \cdot W_a}{e_o - K_b} \right)$$

$$\text{IV. } F_o \geq \left(\frac{M_t - f_{ts} \cdot W_b}{e_o + K_a} \right)$$

direncanakan tebal deking = 15 cm sehingga :

$$e_o D = Y_b - d = 92,4 - 15 = 77,4 \text{ cm}$$

dari hasil persamaan diatas dimasukkan dalam sebuah grafik dibawah ini :



Gambar 5.20 Grafik gaya prategang awal:

Dari grafik di atas direncanaan gaya prategang awal:

$$F_o = 1,000,000 \text{ kg}$$

Untuk sistem pasca tarik (post tension) kehilangan pratekan diasumsikan sebesar 20%, sehingga gaya prategang efektif :

$$F = 1,000,000 - (0,20 \times 1,000,000) = 800,000 \text{ kg}$$

5.2.6 Perhitungan Daerah Limit Kabel

Daerah limit c.g.s adalah daerah yang merupakan batas untuk lokasi c.g.s dan selama c.g.s diletakkan pada daerah tersebut tegangan-tegangan yang terjadi pada suatu penampang yang ditinjau tidak akan melampaui batas-batas tegangan yang diijinkan, baik pada keadaan setelah transfer maupun pada keadaan setelah pembebahan penuh. Untuk penampang yang mengalami lenturan akibat momen positif.

Daerah limit kabel dibatasi oleh batas bawah (a_L) dan batas atas (a_U) yang dapat dicari berdasarkan persamaan berikut :

- batas bawah (diukur dari kern bawah) :

$$a_2 = \frac{M_G}{F_o}$$

- batas atas (diukur dari kern atas) :

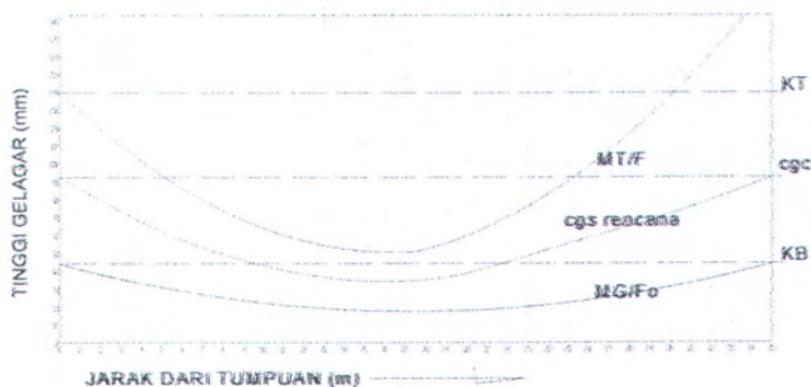
$$a_1 = \frac{M_{maks}}{F} = \frac{M_{total}}{F}$$

Perhitungan daerah limit kabel dinyatakan pada tabel berikut :

Tabel 5.2 Perhitungan daerah limit kabel

X (m)	MG (kgcm)	MT (kgcm)	a1 MT/F (cm)	a2 MG/Fo (cm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	3852824,33	10641938,38	10,64	3,08
2,00	7319147,45	20472315,70	20,47	5,86
3,00	10545871,86	29638034,47	29,64	8,44
4,00	13557481,31	38163578,44	38,16	10,85
5,00	16353975,80	46048947,61	46,05	13,08
6,00	18935355,33	53207911,97	53,21	15,15
7,00	21301619,90	59726701,53	59,73	17,04
8,00	23452769,51	65605316,28	65,61	18,76
9,00	25388804,16	70843756,23	70,84	20,31
10,00	27109723,85	75442021,37	75,44	21,69
11,00	28615528,57	79313881,71	79,31	22,89
12,00	29906218,34	82545567,25	82,55	23,92
13,00	30981793,14	85137077,98	85,14	24,79
14,00	31842252,99	87088413,91	87,09	25,47
15,00	32487597,87	88399575,03	88,40	25,99
16,00	32917827,79	88984331,35	88,98	26,33
17,00	33132942,75	88928912,87	88,93	26,51
17,50	33159832,12	88661138,07	88,66	26,53

Nilai a_1 dan a_2 diplot pada grafik, maka dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 5.21. Daerah limit kabel

5.2.7

Perencanaan Letak Koordinat Kabel

Jenis dan karakteristik kabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Uncoated seven wire stress relieved strand grade 270 ASTM-A416
- Sistem kawat untaian (strand) ganda VSL
- Diameter nominal = 0,60 inch \approx 15,24 mm
- Luas tampang nominal = 138,7 mm²
- Modulus elastisitas (E_s) = $1,95 \cdot 10^6$ Kg/cm²
- Ultimate tensile strength = 18600 Kg/cm²

Dari tabel VSL diperoleh data-data sebagai berikut :

- Direncanakan menggunakan tendon type VSL 19 Sc dengan beban karakteristik 3500 KN
- Diameter selongsong = 84 mm
- Angker hidup type 27 K 5
- Angker mati type 27 K 5

Besar gaya pratekan untuk satu kabel (fpe) :

$$fpe = 70\% \cdot 18600 = 13020 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Luas perlu (Aps)} = \frac{F_o}{fpe} = \frac{1000000}{13020} = 76,805 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jumlah kabel (n)} = \frac{Aps}{A_1} = \frac{76,805}{1,387} = 56 \text{ strand}$$

Jadi kabel yang digunakan 56 strand dalam 3 selongsong dengan masing-masing

- Tendon 1 → n = 18 → tipe angkur 19 K 5
- Tendon 2 → n = 19 → tipe angkur 19 K 5
- Tendon 3 → n = 19 → tipe angkur 19 K 5

Penempatan ketiga tendon tersebut dinyatakan dalam tabel berikut:

Tabel 5.3 Tata letak kabel

x (m)	Tendon 2			Tendon 1			Tendon 3		
	eo (cm)	y (cm)	z (cm)	eo (cm)	y (cm)	z (cm)	eo (cm)	y (cm)	z (cm)
0	-7,60	110,00	0,00	-27,60	120,0	0,00	33,18	59,22	0,00
0,5	-3,02	95,42	0,47	-23,19	115,6	0,00	35,27	57,13	0,00
1	1,40	91,00	0,94	-18,92	111,3	0,00	37,29	55,11	0,00
1,5	5,66	86,74	1,41	-16,82	107,2	0,00	39,26	53,14	0,00
2	9,76	82,64	1,88	-10,84	103,2	0,00	41,16	51,24	0,00
2,5	13,72	78,68	2,35	-7,02	99,4	0,00	43,00	49,40	0,00
3	17,53	74,87	2,82	-3,34	95,7	0,00	44,78	47,62	0,00
3,5	21,19	71,21	3,29	0,20	92,2	0,00	46,49	45,91	0,00
4	24,70	67,70	3,76	3,60	88,8	0,00	48,14	44,26	0,00
4,5	28,08	64,32	4,23	6,86	85,5	0,00	49,73	42,67	0,00
5	31,31	61,09	4,70	9,99	82,4	0,00	52,40	40,00	0,00
5,5	34,40	58,00	5,17	12,98	79,4	0,00	52,73	39,67	0,00
6	37,36	55,04	5,64	15,84	76,6	0,00	54,14	38,26	0,00
6,5	40,18	52,22	6,11	18,57	73,8	0,00	55,49	36,91	0,00
7	42,86	49,54	6,58	21,17	71,2	0,00	56,77	35,63	0,00
7,5	45,42	46,98	8,05	23,65	68,8	0,00	58,00	34,40	0,00
8	47,84	44,56	13,05	25,99	66,4	0,00	59,16	33,24	0,00
8,5	50,12	42,28	17,80	28,21	64,2	0,00	60,27	32,13	0,00
9	52,28	40,12	22,12	30,30	62,1	0,00	61,31	31,09	0,00
9,5	54,31	38,09	26,51	32,27	60,1	0,00	61,34	31,06	0,00
10	56,15	36,25	30,48	33,16	59,2	0,00	63,21	29,19	0,00
10,5	57,99	34,41	34,20	35,84	56,6	0,00	64,08	28,32	0,00
11	59,64	32,76	37,65	37,44	55,0	0,00	64,88	27,52	0,00
11,5	61,17	31,23	40,69	38,92	53,5	0,00	65,62	26,78	0,00
12	62,57	29,83	43,65	40,27	52,1	0,00	66,21	26,19	0,00
12,5	63,85	28,55	46,47	41,51	50,9	0,00	66,93	25,47	0,00
13	65,12	27,28	48,80	42,63	49,8	0,00	67,50	24,90	0,00
13,5	66,03	26,37	51,08	43,63	48,8	0,00	68,00	24,40	0,00
14	66,94	25,46	52,99	44,51	47,9	0,00	68,45	23,95	0,00
14,5	67,73	24,67	54,65	45,28	47,1	0,00	68,83	23,57	0,00
15	68,39	24,01	56,08	45,92	46,5	0,00	69,15	23,25	0,00
15,5	68,93	23,47	57,21	46,45	46,0	0,00	69,43	22,97	0,00
16	69,36	23,04	58,10	46,86	45,5	0,00	69,63	22,77	0,00
16,5	69,66	22,74	58,74	47,15	45,3	0,00	69,78	22,62	0,00
17	69,84	22,56	59,12	47,33	45,1	0,00	69,87	22,53	0,00
17,5	69,98	22,50	59,25	47,39	45,0	0,00	69,90	22,50	0,00
18	69,84	22,56	59,12	47,33	45,1	0,00	69,87	22,53	0,00
18,5	69,66	22,74	58,74	47,15	45,3	0,00	69,78	22,62	0,00

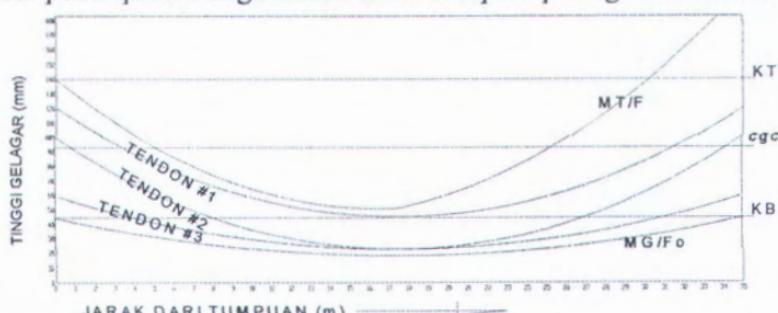
19	69,36	23,04	58,10	46,86	45,5	0,00	69,63	22,77	-58,00
19,5	68,93	23,47	57,21	46,45	46,0	0,00	69,43	22,97	-57,05
20	68,39	24,01	56,08	45,92	46,5	0,00	69,15	23,25	-55,84
20,5	67,73	24,67	54,65	45,28	47,1	0,00	68,83	23,57	-54,35
21	66,94	25,46	52,99	44,51	47,9	0,00	68,45	23,95	-52,59
21,5	66,03	26,37	51,08	43,63	48,8	0,00	68,00	24,40	-50,56
22	65,12	27,28	48,80	42,63	49,8	0,00	67,50	24,90	-48,25
22,5	63,85	28,55	46,47	41,51	50,9	0,00	66,93	25,47	-45,68
23	62,57	29,83	43,65	40,27	52,1	0,00	66,21	26,19	-42,83
23,5	61,17	31,23	40,69	38,92	53,5	0,00	65,62	26,78	-39,70
24	59,64	32,76	37,65	37,44	55,0	0,00	64,88	27,52	-36,31
24,5	57,99	34,41	34,20	35,84	56,6	0,00	64,08	28,32	-32,64
25	56,15	36,25	30,48	33,16	59,2	0,00	63,21	29,19	-28,69
25,5	54,31	38,09	26,51	32,27	60,1	0,00	61,34	31,06	-24,47
26	52,28	40,12	22,12	30,30	62,1	0,00	61,31	31,09	-19,98
26,5	50,12	42,28	17,80	28,21	64,2	0,00	60,27	32,13	-15,21
27	47,84	44,56	13,05	25,99	66,4	0,00	59,16	33,24	-10,17
27,5	45,42	46,98	8,05	23,65	68,8	0,00	58,00	34,40	-6,73
28	42,86	49,54	6,58	21,17	71,2	0,00	56,77	35,63	-6,28
28,5	40,18	52,22	6,11	18,57	73,8	0,00	55,49	36,91	-5,82
29	37,36	55,04	5,64	15,84	76,6	0,00	54,14	38,26	-5,37
29,5	34,40	58,00	5,17	12,98	79,4	0,00	52,73	39,67	-4,92
30	31,31	61,09	4,70	9,99	82,4	0,00	52,40	40,00	-4,47
30,5	28,08	64,32	4,23	6,86	85,5	0,00	49,73	42,67	-4,02
31	24,70	67,70	3,76	3,60	88,8	0,00	48,14	44,26	-3,56
31,5	21,19	71,21	3,29	0,20	92,2	0,00	46,49	45,91	-3,11
32	17,53	74,87	2,82	-3,34	95,7	0,00	44,78	47,62	-2,66
32,5	13,72	78,68	2,35	-7,02	99,4	0,00	43,00	49,40	-2,21
33	9,76	82,64	1,88	-10,84	103,2	0,00	41,16	51,24	-1,76
33,5	5,66	86,74	1,41	-16,82	107,2	0,00	39,26	53,14	-1,30
34	1,40	91,00	0,94	-18,92	111,3	0,00	37,29	55,11	-0,85
34,5	-3,02	95,42	0,47	-23,19	115,6	0,00	35,27	57,13	-0,40
35	-7,60	110,00	0,00	-27,60	120,0	0,00	33,18	59,22	0,00

catatan : - eo diukur dari cgc, jika (+) kebawah dan (-) keatas

- y diukur dari tepi bawah

- z diukur dari center line, jika (+) kekanan dan (-) kekiri

Gambar penempatan ketiga tendon tersebut seperti pada gambar berikut:



Gambar 5.22. Lintasan kabel Tendon

5.2.9 Kehilangan Gaya Prategang

Gaya pratekan yang diterima oleh setiap potongan pada balok pratekan besarnya tidak akan konstan terhadap waktu (lebih kecil dari prategang awal). Tegangan-tegangan selama berbagai tahap pembebahan juga berubah-ubah karena kekuatan beton dan modulus elastisitas bertambah terhadap waktu.

Analisa keseluruhan dan rancangan dari komponen struktur beton pratekan menyertakan pertimbangan gaya-gaya efektif dari tendon prategang, pada setiap pembebahan yang berarti bersama-sama dengan sifat bahan yang berlaku pada fungsi struktur tersebut (Lyn, T.Y., Burns, Ned H., Desain Struktur Beton Prategang, Jilid I, hlm 87).

Perhitungan kehilangan pratekan :

$$E_s = 1.95 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_c' = 45 \text{ Mpa}$$

$$E_c' = (w_c)^{1.5} 0.043\sqrt{f_c'} = (2500)^{1.5} 0.043\sqrt{45}$$

$$= 36056.596 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 42,75 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = (w_c)^{1.5} 0.043\sqrt{f_{ci}} = (2500)^{1.5} 0.043\sqrt{42,75}$$

$$= 35143,62 \text{ Mpa}$$

- Kehilangan pratekan akibat perpendekan elastisitas (*elastomeric shortening*). Pada sistem pasca tarik, jika tendon yang dimiliki lebih dari satu dan tendon ditarik secara berurutan, maka gaya prategang akan bekerja secara bertahap pada beton. Perpendekan beton bertambah setiap kali kabel diikatkan padanya. Tendon yang pertama ditarik akan mengalami kehilangan terbesar akibat perpendekan beton karena pemberian gaya prategang yang berurutan untuk tendon-tendon yang lain. Tendon yang ditarik terakhir tidak akan mengalami kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis beton, karena seluruh perpendekan telah terjadi pada saat gaya prategang di tendon terakhir diukur.

Mutu kabel grade 270

$$f_{pu} = 18600 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{pe} = 0.70 \times 18600 = 13020 \text{ Kg/cm}^2$$

$$n = \frac{E_s}{E_{ci}} = \frac{1.9 \times 10^6}{35143,62} = 5,406$$

$$\Delta fs = \frac{n \cdot fo}{Ac} \quad \dots \dots \dots (TY. Lin, edisi 3, hlm 98)$$

$$F = 8000000 \text{ N}$$

$$Fo = 10000000 \text{ N}$$

$$Fo/3 = 10000000 / 3 = 3333333,333 \text{ N.}$$

Kehilangan prategang pada tendon 3 (tendon pertama yang ditarik):

$$\Delta fs_1 = \frac{5,406 \times (2 \times 3333333,333)}{700000} = 51,486 \text{ Mpa}$$

Kehilangan prategang pada tendon 2 (tendon kedua yang ditarik):

$$\Delta fs_2 = \frac{5,406 \times 3333333,333}{700000} = 25,74 \text{ Mpa}$$

Tidak ada kehilangan prategang pada tendon 1 (tendon terakhir yang ditarik).

Kehilangan gaya prategang total akibat perpendekan elastis:

$$\begin{aligned} ES &= 51,486 + 25,74 \\ &= 77,226 \text{ Mpa.} \end{aligned}$$

Persentase kehilangan prategang akibat perpendekan elastis:

$$\Delta fs = \frac{77,226}{1302} \times 100\% = 5,93\%$$

- b. Kehilangan pratekan akibat gesekan kabel (*friction and wobble effect*)

Pada saat kabel ditarik dengan perantara dongkrak (*jack*), gaya tarik yang bekerja pada kabel tersebut lebih kecil daripada yang ditunjukkan oleh jarum manometer pada dongkrak. Hal ini disebabkan karena adanya gesekan pada sistem angker. Kehilangan gaya pratekan yang terbesar adalah akibat gesekan yang dipengaruhi oleh :

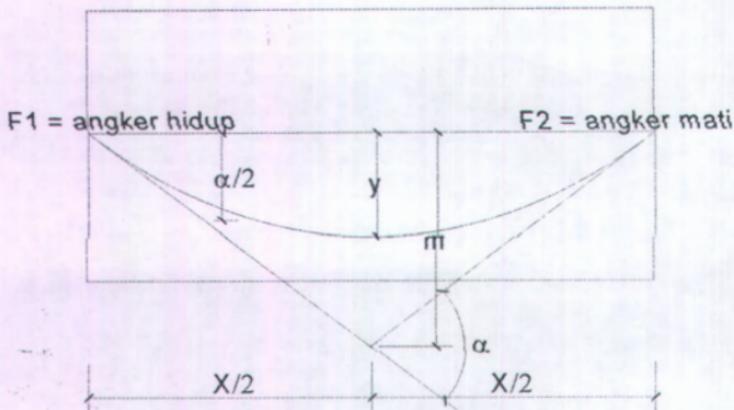
- Efek panjang kabel (K)
- Efek kelengkungan kabel (μ)

Harga koefisien pada umumnya dipakai :

- $0,15 \leq \mu \leq 0,25$
- $0,0016 \leq K \leq 0,0066$

Dalam perhitungan dipakai koefisien :

- $\mu = 0,20$ (selubung logam dilapisi timbal (*tabel 4 - 7 ACI, TY.Lin, th 1993, hlm 96*))
- $K = 0,0026$
- $Fo = 10000000 \text{ N}$



Gambar 5.23 Penentuan Pendekatan Sudut Pusat Tendon pada tendon 1

Sumber: Desain Struktur Beton Prategang jilid 1 edisi 3 T.Y Lin & Ned. H. Burns gambar 4.9 hal 123

Pada perhitungan kehilangan pratekan akibat gesekan kabel ini, tendon membentuk busur lingkaran.

1. Kehilangan gaya pratekan akibat tendon 1

$$L = 35 \text{ m}$$

$$K \times L = 0,0026 \times 35 = 0,091$$

$$\alpha = (8 \cdot y) / X \quad \dots (\text{T.Y.Lin. jilid 1 Hal 123})$$

$$\alpha = (8 \cdot 473,9) / 35000 = 0,1083$$

$$\mu \cdot \alpha = 0,20 \times 0,1083 = 0,022$$

$$KL + \mu \cdot \alpha = 0,113$$

$$e^{-KL-\mu\alpha} = e^{-0,091-0,022} = 0,893$$

Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon 1

$$= 1 - 0,893 = 0,107$$

$$= 10,7 \%$$

2. Kehilangan gaya pratekan akibat tendon 2

$$L = 35 \text{ m}$$

$$K \times L = 0,0026 \times 35 = 0,091$$

$$\alpha = (8 \cdot y) / X \quad \dots (\text{T.Y.Lin. jilid 1 Hal 123})$$

$$\alpha = (8 \cdot 699,9) / 35000 = 0,16$$

$$\mu \cdot \alpha = 0,20 \times 0,16 = 0,032$$

$$KL + \mu \cdot \alpha = 0,123$$

$$e^{-KL-\mu\alpha} = e^{-0,091-0,32} = 0,884$$

Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon 1
 $= 1 - 0,884 = 0,116$
 $= 11,6 \%$

3. Kehilangan gaya pratekan akibat tendon 3

$$L = 35 \text{ m}$$

$$K \times L = 0,0026 \times 35 = 0,091$$

$$\alpha = (8 \cdot y) / X \quad \dots (T.Y.Lin. jilid 1 Hal 123)$$

$$\alpha = (8 \cdot 699,9) / 35000 = 0,16$$

$$\mu \cdot \alpha = 0,20 \times 0,16 = 0,032$$

$$KL + \mu \cdot \alpha = 0,123$$

$$e^{-KL-\mu\alpha} = e^{-0,091-0,32} = 0,884$$

Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon 1

$$= 1 - 0,884 = 0,116$$

$$= 11,6 \%$$

Jadi prosentase rata-rata kehilangan gaya pratekan akibat gesekan:

$$= \frac{10,7 + 11,6 + 11,6}{3} = 11,3\%$$

c. Kehilangan pratekan akibat slip angker (*slip anchorage*)

Pada sistem posttension setelah kabel ditarik (misalkan 15 cm) kemudian dilepas, panjang tarikan akan menjadi lebih kecil dari 15 cm. Artinya ada kehilangan gaya pratekan akibat slip yang terjadi pada angkur.

Besarnya slip tergantung pada jenis angkur yang berbentuk *baji* (*wedge*) dan tegangan pada kabel. Rata-rata slip yang terjadi sebesar 2.5 mm sedangkan dalam perhitungan digunakan asumsi slip (δ) sebesar 0.80 mm.

$$E_s = 1.95 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{pu} = 18600 \text{ Kg/cm}^2$$

Persamaan yang dipakai :

$$\Delta f_s = \frac{\Delta a \cdot E_s}{L}$$

Dimana :

$$\Delta f_s = \text{Kehilangan pratekan pada baja}$$

$$\Delta a = \text{Deformasi total pada angker}$$

$$L = \text{Panjang total kabel}$$

Tendon 1

$$L = 3606,14 \text{ cm}$$

$$\Delta fs = \frac{0,25 \times 1,95 \cdot 10^6}{3606,14} = 135,19 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\% \text{Slip} = \frac{135,19}{18600} \times 100\% = 0,726 \%$$

Tendon 2

$$L = 3613,3 \text{ cm}$$

$$\Delta fs = \frac{0,25 \times 1,95 \cdot 10^6}{3613,3} = 134,92 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\% \text{Slip} = \frac{134,92}{18600} \times 100\% = 0,725 \%$$

Tendon 3

$$L = 3525,63 \text{ cm}$$

$$\Delta fs = \frac{0,25 \times 1,95 \cdot 10^6}{3525,63} = 138,27 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\% \text{Slip} = \frac{138,27}{18600} \times 100\% = 0,743 \%$$

$$\% \text{Slip rata-rata} = \frac{0,726 + 0,725 + 0,743}{3} = 0,73\%$$

- d. Kehilangan pratekan akibat rangkak beton (*creep*). Pengertian rangkak beton (*creep*) adalah deformasi plastis dari beton yang merupakan fungsi waktu (besar pembebahan tetap). Regangan *creep* ini tergantung pada waktu, umur beton pada saat pembebahan, kelembaban udara dan jenis agregat yang digunakan.

Persamaan yang dipakai :

$$CR = KCR \cdot \frac{Es}{Ec} (fcir - fcds)$$

.....(TY.Lin, hlm 107)

Dimana :

KCR = 1.60 → untuk post tension

.....(TY.Lin, hlm 107)

fcir = Tegangan beton di daerah cgs oleh gaya Fo

$$= \frac{F_o}{A_c} + \frac{F_o \cdot e^2}{I_x} - \frac{M_g \cdot e}{I_x}$$

f_{cds} = Tegangan beton pada titik berat tendon akibat seluruh beban mati yang bekerja pada komponen struktur setelah diberi F_o

$$= \frac{M_d \cdot e}{I_x}$$

$$F_o = 10000000 \text{ N}$$

$$M_G = 3315,98 \text{ kN.m}$$

$$M_{DL} = 5681,3 \text{ kN.m}$$

$$e = 58,64 \text{ cm}$$

$$I = 3052 \cdot 10^4 \text{ cm}^4$$

$$f_{cir} = \frac{10000000}{700000} + \frac{10000000 \times 586,4^2}{3052 \cdot 10^8} - \frac{3315,98 \cdot 10^6 \times 586,4}{3052 \cdot 10^8}$$

$$= 14,28 + 11,267 - 6,37 = 19,177 \text{ Mpa}$$

$$f_{cds} = \frac{5681,3 \times 10^6 \times 586,4}{3052 \cdot 10^8} = 10,915 \text{ Mpa}$$

$$CR = 1,6 \times \frac{1,95 \times 10^5}{36056,596} \times (19,177 - 10,915)$$

$$= 71,490 \text{ Mpa}$$

Jadi persentase kehilangan pratekan akibat rangkak beton (creep):

$$\%CR = \frac{71,490}{1302} \times 100\% = 5,491\%$$

e. Kehilangan pratekan akibat susut beton (*shrinkage*).

Pada saat kabel ditegangkan dan dijangkar sebenarnya telah terjadi suatu perpanjangan tertentu. Pada saat waktu beton menyusut, panjang balok total diperkecil kabel kehilangan sebagian dari perpanjangan yang semula. Gaya prategang berkurang setelah berlalunya waktu akibat susut beton.

Diasumsikan bahwa saluran kabel diinjeksi dengan adukan (*dry-grouting*) sehingga kabel dan beton monolit. Dengan demikian deformasi dalam arah memanjang akan sama. Penyusutan beton tergantung pada beberapa faktor, seperti mutu semen dalam 1 m^3 beton, banyaknya air dan kelembaban udara.

Persamaan yang dipakai :

$$SH = \epsilon SH \cdot KSH \cdot Es$$

Dimana :

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

$$V = \text{Luas balok} = 7000 \text{ cm}^2$$

S = Keliling balok yang berhubungan dengan udara terbuka

$$\begin{aligned} &= (711 + 203 + 359.210 + 1067 + 144.250 + 338.638 + \\ &\quad 127 + 1067 + 127 + 338.638 + 144.250 + 1067 + \\ &\quad 359.210 + 203) = 6256,20 \text{ cm} \\ &= 625,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{7000}{625,62} = 11,19 \text{ cm} = 4,40 \text{ inch}$$

$$f_{pe} = 13020 \text{ Kg/cm}^2$$

RH = Kelembaban udara, diambil rata-rata = 75%

$$\epsilon SH = 8,2 \times 10^{-6} \times (1 - 0,06 \times 4,4) \times (100 - 75) = 1,5088 \times 10^{-4}$$

KSH = 0,73 → pasca tarik dilaksanakan 10 hari setelah selesainya masa perawatan basah (Tabel 4.4, *Desain Struktur Beton Prategang*, Lyn, T.Y., Burns, Ned H, jilid I, hlm 109)

$$Es = 1.95 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$SH = 1,5042 \cdot 10^{-4} \times 0,73 \times 1,95 \times 10^5 = 21,478 \text{ Mpa}$$

Jadi persentase kehilangan pratekan :

$$\% SH = \frac{21,478}{1302} \times 100 \% = 1,645 \%$$

- f. Kehilangan pratekan akibat relaksasi (*relaxation*)
Kehilangan gaya prategang secara perlahan-lahan yang besarnya tergantung pada lamanya waktu dan perbandingan f_{pl}/f_{py} , dimana regangan yang terjadi pada kabel konstan tetapi tegangannya akan berkurang.

Persamaan yang dipakai :

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

Dimana sesuai dengan buku Desain Struktur Beton Prategang, Lyn, T.Y., Burns, Ned H., jilid I, tabel 4.5 dan 4.6, hlm 111 :

$$K_{RE} = 138 \text{ Mpa}$$

$$J = 0,15$$

$$\frac{f_{pi}}{f_{pu}} = 0,70 \rightarrow C = 1$$

$$RE = [138 - 0,15(21,478 + 126,72 + 162,98)]. 1 \\ = 91,32 \text{ Mpa}$$

Jadi persentase kehilangan pratekan :

$$\%RE = \frac{91,32}{1302} \times 100\% = 7,01\%$$

Sehingga total kehilangan pratekan dari kondisi transfer sampai kondisi beban bekerja, yaitu :

- ***Di tengah bentang***

$$\Delta = ES + CR + SH + RE$$

$$= (5,93 + 5,49 + 1,645 + 7,01)\% = 20\%.$$

$$= 77,226 + 71,49 + 21,478 + 91,32 = 261,51 \text{ Mpa}$$

Bila gaya prategang pada komponen struktur tinggi, maka kehilangan gaya prategang menjadi $\pm 25\%$ untuk sistem post tension(T.Y Lin jilid 1 Hal 127).

Kehilangan gaya prategang maksimum = 345 Mpa untuk beton normal (Komisi ACI-ASCE², T.Y Lin jilid 1 Hal 127).

- ***Di perletakan***

$$\Delta = FR + Slip$$

$$= (11,3 + 0,73)\% = 12,03\%$$

5.2.10 Kontrol Tegangan

Asumsi tanda: - Gaya tekan (-)
- Gaya tarik (+)

Pada tengah bentang

Tegangan pada beton yang diijinkan pada saat :

- Transfer (jacking) $\rightarrow fci = 256,5 \text{ Kg/cm}^2 : fti = 33,54 \text{ Kg/cm}^2$
- Pembebanan penuh $\rightarrow fcs = 202,5 \text{ Kg/cm}^2 : fts = 0 \text{ Kg/cm}^2$

1. Tegangan saat transfer (jacking)

$$F_o = 12\,500\,000 \text{ N}$$

$$e_o = 623,97 \text{ mm}$$

$$M_G = 3315,98 \text{ KNm} = 3315,98 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Tegangan pada serat atas

$$f_{atas} = -\frac{F_o}{A_c} + \frac{F_o \cdot e_o \cdot ya}{I} - \frac{M_G \cdot ya}{I}$$

$$= -\frac{10000000}{700000} + \frac{10000000 \times 623,97 \times 905}{3052 \times 10^8} - \frac{3315,98 \times 10^6 \times 905}{3052 \times 10^8}$$

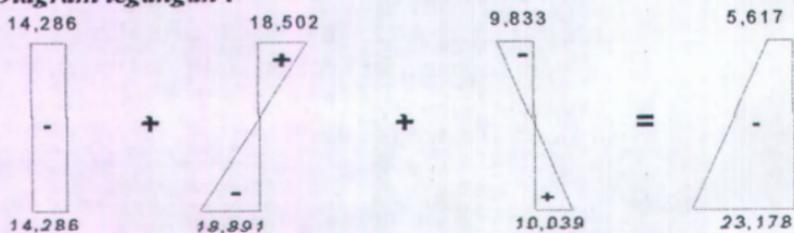


$$\begin{aligned}
 &= -14,286 + 18,502 - 9,833 \\
 &= -5,617 \text{ Mpa (tekan)} \leq f_{ci} = 25,137 \text{ Mpa (tekan)} \rightarrow OK
 \end{aligned}$$

Tegangan pada serat bawah

$$\begin{aligned}
 f_{bawah} &= -\frac{F_o}{A_c} - \frac{F_o \cdot e \cdot y_b}{I} + \frac{M_g \cdot y_b}{I} \\
 &= -\frac{10000000}{700000} - \frac{10000000 \times 623,97 \times 924}{3052 \times 10^8} + \frac{3315,98 \times 10^6 \times 924}{3052 \times 10^8} \\
 &= -14,286 - 18,891 + 10,039 \\
 &= -23,138 \text{ Mpa (tekan)} \leq f_{ci} = 25,137 \text{ Mpa (tekan)} \\
 &\rightarrow OK
 \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



Gambar 5.24. Diagram tegangan pada saat jacking pada tengah bentang

2. Tegangan saat beban mati bekerja (setelah plat lantai kendaraan dicor)

$$F = 12500000 \times (1 - 0,26) = 9250000 \text{ N}$$

$$e_0 = 623,97 \text{ mm}$$

$$M_G = 3315,98 \text{ KNm} = 3315,98 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_D = 2365,31 \text{ KNm} = 2365,31 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

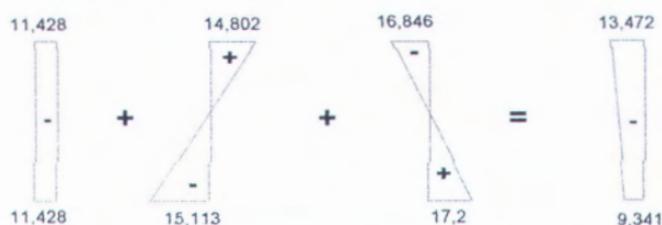
$$M_{G+D} = 5681,29 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

Tegangan pada serat atas

$$\begin{aligned}
 f_{atas} &= \frac{F}{A_c} + \frac{F \cdot e \cdot y_a}{I} - \frac{M_p \cdot y_a}{I} \\
 &= -\frac{8000000}{700000} + \frac{8000000 \times 623,97 \times 905}{3052 \times 10^8} - \frac{5681,29 \times 10^6 \times 905}{3052 \times 10^8} \\
 &= -11,428 + 14,802 - 16,846 \\
 &= -13,472 \text{ Mpa (tekan)} \leq f_{cs} = 20,25 \text{ Mpa (tekan)} \rightarrow OK
 \end{aligned}$$

Tegangan pada serat bawah

$$\begin{aligned}
 f_{\text{bawah}} &= \frac{F}{A_c} - \frac{F \cdot e \cdot y_b}{I} + \frac{M_p \cdot y_b}{I} \\
 &= -\frac{8000000}{700000} - \frac{8000000 \times 623,97 \times 924}{3052 \times 10^8} + \frac{5681,29 \times 10^6 \times 924}{3052 \times 10^8} \\
 &= -11,428 - 15,113 + 17,20 \\
 &= -9,341 \text{ Mpa (tekan)} \leq f_{cs} = 20,25 \text{ Mpa (tekan)} \rightarrow OK
 \end{aligned}$$

Diagram tegangan :

Gambar 5.25. Diagram tegangan setelah pelat lantai kendaraan dicor pada tengah bentang

3. Tegangan saat beban hidup bekerja (komposit)

$$ML = 8866,11 \text{ KNm} = 8866,11 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

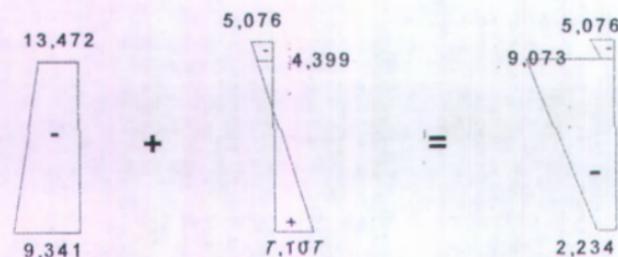
Tegangan pada serat atas

$$\begin{aligned}
 f_{\text{atas}} &= -\frac{ML \cdot ya'}{I'} \\
 &= -\frac{3184,81 \times 10^6 \times 750}{4,705 \times 10^{11}} \\
 &= -5,076 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tegangan pada serat bawah

$$\begin{aligned}
 f_{\text{bawah}} &= +\frac{ML \cdot yb'}{I'} \\
 &= +\frac{3184,81 \times 10^6 \times 1050}{4,705 \times 10^{11}} \\
 &= +7,107 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



Gambar 5.26 Diagram tegangan setelah komposit

5.2.11 Perhitungan Momen Batas dan Momen Retak

Pada perencanaan balok menerus ini, momen retak dan momen batas dihitung pada kedua penampang kritisnya.

a. Kontrol terhadap momen batas (Mu)

Berdasarkan ACI syarat balok untuk dapat mencapai keadaan aman apabila :

$$\varnothing M_n > M_u$$

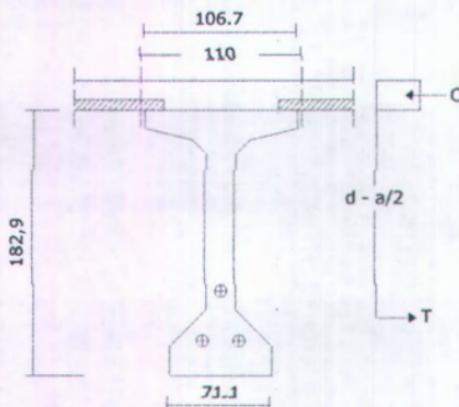
dimana :

\varnothing = Faktor reduksi

M_n = Momen nominal

M_u = Momen batas

➤ Momen Batas Pada Tengah Bentang



Gambar 5.27 Resultan gaya-gaya pada momen batas pada lapangan

$$\begin{aligned}
 f_{pu} &= 1860 \text{ MPa} \\
 A_{ps} &= 138,7 \text{ mm}^2 \times 56 = 7767,2 \text{ mm}^2 \\
 d &= 1829 - 300 = 1529 \text{ mm} \\
 \rho_p &= \frac{A_{ps}}{\text{bef}.d} = \frac{7767,2}{1100 \times 1529} = 0,0046 \\
 f_{ps} &= f_{pu} \left(1 - 0,5 \times \rho_p \times \frac{f_{pu}}{f_{c'}} \right) \\
 &= 1860 \left(1 - 0,5 \times 0,00462 \times \frac{1860}{450} \right) = 1842,248 \text{ MPa} \\
 \omega_p &= \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f_{c'}} = \frac{0,0046 \times 1842,248}{45} \leq 0,30 \\
 &= 0,188 \leq 0,30 \rightarrow OK
 \end{aligned}$$

Daerah tekan beton :

$$\begin{aligned}
 T' &= A_{ps} \times f_{ps} = 7767,2 \times 1842,248 = 14309108,67 \text{ N} \\
 C' &= 0,85 \times f_{c'} \times b \times a \\
 T' &= C' \\
 a &= \frac{A_{ps} \times f_{ps}}{0,85 \times f_{c'} \times \text{bef}} = \frac{14309108,67}{0,85 \times 45 \times 1100} = 340,086 \text{ mm} \\
 M_n &= T' \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 14309108,67 \left(1529 - \frac{340,086}{2} \right) \\
 &= 1,944 \times 10^{10} \text{ Nmm} \\
 \theta M_n &= 0,8 \times 1,944 \times 10^{10} \\
 &= 1,556 \times 10^{10} \text{ Nmm} \\
 M_u &= 8866,11 \times 10^6 \text{ Nmm} \\
 M_u &\leq \theta M_n \\
 8,866 \times 10^9 \text{ Nmm} &< \theta \cdot M_n = 1,556 \times 10^{10} \text{ Nmm} \quad (OK)
 \end{aligned}$$

a. Kontrol terhadap momen retak (Mcr)

➤ *Momen Batas Pada Tengah Bentang D*

Perhitungan momen retak didasarkan pada retak yang terjadi pada serat bawah karena momen yang bekerja adalah momen positif (+), maka persamaan yang digunakan untuk menghitung momen retak :

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= M_1 + M_2 = F(e + ka) + fr \cdot W_b \\
 fr &= 0,7\sqrt{f_{c'}} = 0,7 \times \sqrt{45} = 4,70
 \end{aligned}$$

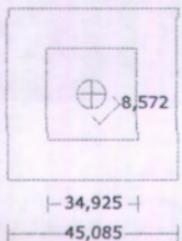
$$\begin{aligned}
 Mcr &= (8000000 \times (623,97 + 471,86)) + (4,70 \times 330303030) \\
 &= 1,032 \times 10^{10} \text{ Nmm} \\
 1,2 \text{ Mcr} &< \theta \cdot Mn \\
 1,238 \times 10^{10} &< 1,556 \times 10^{10} \text{ Nmm (OK)}
 \end{aligned}$$

5.2.12 Kontrol Tegangan Pada Blok Angker

Tegangan daerah blok angker (end block) yang dikabatkan gaya prategang yang ditransferkan melalui pelat angker (bearing plates) pada saat transfer dan saat service besarnya tidak boleh melebihi tegangan yang diijinkan.

Direncanakan :

- Angker hidup tipe 19 Sc
- Angker mati tipe 19 P



Gambar 5.28 Penampang angker pada balok

$$\begin{aligned}
 Ab &= (34,925 \times 34,925) - \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 8,572^2 \right) = 1162,045 \text{ cm}^2 \\
 &= 116204,5 \text{ mm}^2 \\
 Ab' &= 45,085 \times 45,085 = 2032,657 \text{ cm}^2 = 203265,7 \text{ mm}^2 \\
 Fi &= \frac{10000000}{3} = 3333333,333 \text{ N} \\
 F &= \frac{8000000}{3} = 2666666,667 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Saat Stressing (Peralihan)

$$\begin{aligned}
 F_{cp} &= 0,8 \times fci \sqrt{\frac{Ab'}{Ab}} - 0,20 \\
 &= 0,8 \times 42,75 \times \sqrt{\frac{203265,7}{116204,5}} - 0,20 \\
 &= 45,032 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$F_{cp} = 1,25 \times fci = 1,25 \times 45,032 = 56,29 \text{ Mpa}$$

$$F_{cp} \text{ diambil yang terkecil} = 45,032 \text{ Mpa}$$

Kontrol :

$$\frac{F_i}{A_b} = \frac{116204,5}{A_b} = 51,53 \text{ Mpa} < F_{cp} = 52,369 \text{ Mpa} \rightarrow \text{OK}$$

Saat Service Load

$$F_{cp} = 0,6 \times f_{ci} \sqrt{\frac{A_b'}{A_b}} - 0,20 = 0,6 \times 45 \times \sqrt{\frac{203265,7}{116204,5}} - 0,20 \\ = 35,51 \text{ Mpa}$$

$$F_{cp} = 45 \text{ Mpa}$$

Fcp diambil yang terkecil = 35,51 Mpa

Kontrol :

$$\frac{F}{A_b} = \frac{2666666,667}{116204,5} = 22,94 \text{ Mpa} < F_{cp} = 35,51 \text{ Mpa} \rightarrow \text{OK}$$

5.2.13 Perhitungan Lendutan

Sebelum retak, lendutan dari beton prategang dapat diramalkan dengan ketelitian yang lebih besar daripada balok beton bertulang. Pada beban kerja, balok beton prategang tidak akan retak. Karena sifat beton prategang mendekati benda yang elastik homogen yang mematuhi hukum-hukum akibat lentur dan gaya geser yang biasa, lendutan dapat dihitung dengan metode-metode yang tersedia dalam dasar-dasar kekuatan bahan.

Metode pendekatan untuk memperkirakan lendutan ke atas dari sebuah komponen setelah selang waktu tertentu adalah dengan memakai angka pengali yang memungkinkan untuk memperhitungkan akibat rangkap (modulus reduksi). Angka pengali untuk lendutan ini diturunkan oleh Martin dan dipakai dalam PCI Design Hanfbook (*T.Y Lin & Ned H.Burns Desain Struktur Beton Prategang edisi 3 jilid 1 hal-331*). Angka pengali dapat dilihat pada tabel 2.2 bab tinjauan pustaka dalam tulisan ini..

Lendutan Yang Bekerja Pada Saat Transfer

$$F_o = 10000000 \text{ N} = 1000000 \text{ kg}$$

$$e = 623,967 \text{ mm}$$

$$E = 36056,596 \text{ Mpa} = 360565,96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$W \text{ tendon prategang} = \frac{8Fe}{L^2} = \frac{8 \times 10000000 \times 623,967}{35000^2} \\ = 40,75 \text{ N/mm}$$

$$\Delta \text{ prategang} = \frac{5WG.L^4}{384EI} = \frac{5 \times 40,75 \times 35000^4}{384 \times 37362,396 \times 3052 \times 10^8} = 69,826 \text{ mm } (\uparrow)$$

$$\Delta \text{ wg} = \frac{5WG.L^4}{384EI} = \frac{5 \times 40,587 \times 35000^4}{384 \times 37362,396 \times 3052 \times 10^8} = 69,547 \text{ mm } (\downarrow)$$

Perkiraan lendutan ke atas saat peralihan = 0,278 mm (↑)

Lendutan Yang Bekerja Saat pengangkatan (umur 21 hari)

Angka pengali lendutan ke atas saat pengangkatan = 1,8

Angka pengali lendutan ke bawah saat pengangkatan = 1,5

$$\Delta \text{ prategang} = 69,826 \times 1,8 = 125,687 \text{ mm } (\uparrow)$$

$$\Delta \text{ wg} = 69,547 \times 1,85 = 128,662 \text{ mm } (\downarrow)$$

Perkiraan lendutan ke atas saat pengangkatan = 2,975 mm (↓)

Lendutan Yang Bekerja Saat akhir

Angka pengali lendutan ke atas saat akhir = 2,45

Angka pengali lendutan ke bawah saat akhir = 2,7

.....(T.Y Lin, jilid 1, Hal 332)

$$\Delta \text{ prategang} = 69,826 \times 2,45 = 171,074 \text{ mm } (\uparrow)$$

$$\Delta \text{ wg} = 69,547 \times 2,3 = 159,958 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$\Delta \text{ plat} = \frac{5WL^4}{384EI} = \frac{5 \times 10,608 \times 35000^4}{384 \times 37362,9 \times 3052 \times 10^8} \times 2,3 = 41,806 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$\Delta \text{ diafragma} =$$

$$\frac{M.L^2}{8EI} = \frac{337010 \times 35000^2}{8 \times 37362,9 \times 3052 \times 10^8} \times 2,3 = 0,004 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$\Delta \text{ Lalint} = \frac{M.L^2}{8EI} = \frac{4527490000 \times 35000^2}{8 \times 37362,9 \times 3052 \times 10^8} = 60,79 \text{ mm } (\downarrow)$$

Perkiraan lendutan saat akhir = 91,484 mm (↓)

Batas Lendutan(T.Y Lin, jilid 1, Hal 334)

$$L / 360 = 35000 / 360 = 97,22 \text{ mm } (\downarrow)$$

Lendutan saat akhir = 91,48 mm (↓) \leq 97,22 mm (↓) O.K

5.2.14 Perhitungan Gaya Geser

- a. Gaya Geser Retak Badan

$$V_{cw} = 0.3 (\sqrt{f_c} + f_{pc}) bw * d + V_p$$

dimana :

f_{pc} = Tegangan akibat gaya pratekan

$$= \frac{F}{A_c}$$

$$V_p = \text{Gaya geser yang disebabkan gaya pratekan} \\ = \omega_p \cdot (0.5 L - x)$$

$$\omega_p = \frac{0.8 \times F \times e}{L^2}$$

F = Gaya pratekan

e = Puncak parabola

L = Panjang segmen

a. Gaya Geser Retak Lentur Geser Miring

$$V_{ci} = \frac{\sqrt{f'c}}{20} \cdot b \cdot w \cdot d + V_d + \frac{V_i \times M_{cr}}{M_{max}}$$

$$\text{dimana: } M_{cr} = (e + Kt) \cdot f + (f_r - f_d) \cdot S_b$$

$$f_r = 0,5 \sqrt{f'c}$$

$$S_b = I/C_b$$

$$f_d = M_g / S_b$$

$$V_s = V_u/\phi - V_c \text{ dengan } \phi = 0,75$$

$$V_c = V_{cw} \text{ atau } V_{ci} \text{ (diambil yang terkecil)}$$

Jika $V_s > V_u/\phi - V_c$... perlu tulangan geser

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

Jika $V_s < V_u/\phi - V_c$... pakai tulangan geser minimum

Tulangan geser maksimum:

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot w \cdot s}{(1200) f_y}$$

Dan tidak kurang dari $A_v \geq \frac{1 \cdot b \cdot w \cdot s}{3 f_y}$; dimana: bw dan s dalam mm

1. $S \text{ max } \leq \frac{3}{4} h$
2. $S \text{ max } \leq 600 \text{ mm}$

Penulangan Memanjang Gelagar Pratekan

Kekuatan lentur pada Gelagar pratekan Seluruhnya diterima oleh *kabel strain/tendon namun untuk menciptakan duktilitas yang memadai dan penambahan kekuatan dalam lentur maka diperlukan tulangan menanjang dimana luas tulangannya diambil 0,25 % dari luas penampang beton*

Penulangan memanjang minimum = $0,0025 \times A_c$

- Pada tumpuan ujung

$$A_s = 0,0025 \times A_c$$

$$= 0,0025 \times 1352929 = 3382,322 \text{ mm}^2$$

Pasang tulangan 12 D19 ($As = 3402,34 \text{ mm}^2$)

- Pada lapangan

$$As = 0,0025 \times Ac$$

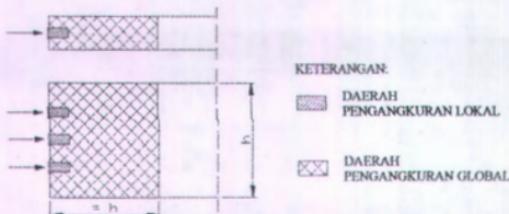
$$= 0,0025 \times 700000 = 1750 \text{ mm}^2$$

Pasang tulangan 7 D19 ($As = 1984,7 \text{ mm}^2$)

Perhitungan tulangan geser disajikan pada tabel penulangan geser.

5.2.15 Pengangkuran blok ujung

Bagian dari komponen struktur beton prategang yang mengelilingi angkur tendon sering kali disebut blok ujung. Pada seluruh panjang blok ujung, gaya prategang dialihkan dari luas yang kurang lebih terpusat dan didistribusikan melalui seluruh penampang beton. Diketahui dari pengamatan secara teoritis dan eksperimen bahwa panjang ancang ini tidak lebih dari tinggi balok dan sering kali lebih kecil. Daerah pengangkuran ini dibagi menjadi dua yaitu daerah pengangkuran lokal dan daerah pengangkuran global yang juga meliputi daerah lokal.



Gambar 5.29 Daerah pengangkuran

Ada pembesaran faktor beban 1,2 terhadap gaya penarikan tendon maksimum sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 11.2.8

a. Penulangan pengangkuran global:

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \times \Sigma P_{su} \left(1 - \frac{a}{h} \right)$$

a = tinggi angkur

h = tinggi balok

ΣP_{su} = jumlah gaya tendon terfaktor

..... SNI 03-2847-2002 pasal 20.13.(3)(2)

..... Edward G Navy jilid 1 hal 150

$$= 0,25 \times 1,2 \times 10000000 \times \left(1 - \frac{693}{1.829} \right) = 1863313,28 \text{ N}$$

$$A_t = \frac{T_{\text{pencar}}}{f_y} = \frac{1863313,28}{400} = 4658,28 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipasang } A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jadi dibutuhkan sengkang} = \frac{4658,28}{265,46} = 18 \text{ buah}$$

Panjang pengangkuran global diambil sebesar $h = 1829 \text{ mm}$.

$$\text{Jarak antar as-as tulangan} = \frac{1829}{18} = 152,4 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

b. Penulangan pengangkuran lokal:

Pada daerah pengangkuran lokal diberi baja untuk tegangan tarik transversal total sebesar $0,03F$ (T.Y Lyn & Ned H. Burns jilid I hal 309) Maka tegangan tarik pada daerah lokal $= 0,03 \times 10000000 = 300000 \text{ N}$.

Luas tulangan sengkang untuk daerah lokal:

$$A_t = \frac{300000}{400} = 750 \text{ mm}^2$$

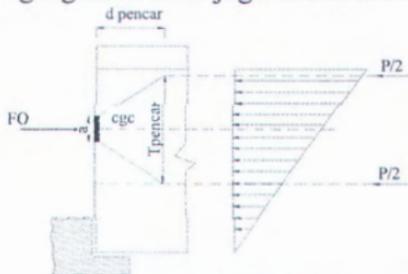
$$\text{Dipasang } A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jadi dibutuhkan sengkang} = \frac{750}{265,46} = 3 \text{ buah}$$

Panjang daerah pengangkuran lokal = panjang 1 blok angkur = $34,925 \text{ mm}$

$$\text{Jarak antar as-as tulangan} = \frac{349,25}{2} = 174,62 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

Jarak ini $= 174,62 > 152,4 \text{ mm}$ pada pengangkuran global, maka dipakai penulangan sesuai perhitungan pada pengangkuran global. Pada daerah pengangkuran lokal juga ditambahkan tulangan spiral $\varnothing 10-38 \text{ mm}$.



Gambar 5.30 Statika akibat tendon pada blok ujung

5.2.16 Perhitungan tulangan untuk momen negatif pada tumpuan tengah

Momen negatif pada tumpuan tengah berasal dari beban pelat menerus dan beban hidup lalu lintas.

$$\mu_u = 5213,11 \text{ kNm. (output SAP 2000)}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400} = 0,004$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta_i f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,026$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,026 = 0,02$$

$$R_n = \frac{\mu_u}{\varphi b d^2} = \frac{5213,11 \cdot 10^6}{0,9 \times 1700 \times (200 - 20)^2} = 10,51 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82 \text{ Mpa}$$

$$\rho \delta = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 10,51}{400}} \right) = 0,014$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,014 \times 1700 \times 180 = 4284 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } 10 \text{ D } 24 \rightarrow A_s = 4523,89 \text{ mm}^2$$

Untuk arah melebar pada plat $L = 1700 \text{ mm}$.

Dipasang D 24 – 100.

Tulangan dipasang sepanjang 8,9 m dari tumpuan (kiri dan kanan tumpuan), dan ditambah panjang penyaluran.

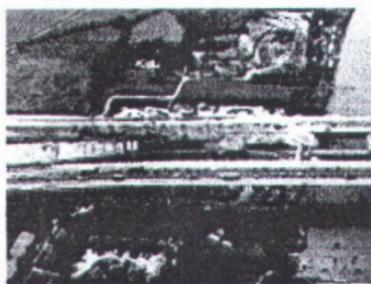
$$12 \times db = 12 \times 32 = 384 \text{ mm}$$

..... (*SNI 2847.ps 14.12.4, 2002*)

$$Ln/16 = 35/16 = 2,1875 \text{ m}$$

..... (*SNI 2847.ps 14.12.4, 2002*)

$$\text{Panjang tulangan ini} = 8,9 \text{ m} + 2,1875 \text{ m} = 11,0875 \text{ m}$$



6

PERENCANAAN LANDASAN

6.1 PEMBEBANAN

6.1.1 Pembebanan Vertikal

Dari output SAP didapat reaksi:

Beban Mati

❖ Berat gelagar utama	= 41383,31	Kg
❖ Berat balok diaphragma	= 3550,67	Kg
❖ Berat plat lantai kendaraan		
Berat aspal + muatan sekunder	= 14884,04	Kg +

$$P_1 = 59818,02 \text{ Kg}$$

Beban Hidup

a. Akibat beban lalu-lintas merata

$$\text{Akibat beban lalu-lintas terpusat} = 26074,15 \text{ Kg} + \\ P_2 = 26074,15 \text{ Kg}$$

$$\text{Beban total} = P_1 + P_2 = 85892,17 \text{ Kg}$$

6.1.2 Pembebanan Horisontal

a. Akibat beban mati pada jembatan

R akibat beban mati diambil dari gaya horisontal dengan koefisien 15 %.

$$H_1 = 15\% \times 85892,17 = 12883,825 \text{ kg}$$

b. Akibat gaya rem

$$H_2 = 25\ 000 \text{ kg}$$

c. *Akibat gaya gempa bumi*

$$H_3 = Kh \times V$$

$$\begin{aligned} Kh &= C \times S \times I \quad C = 0,1 \text{ untuk zona 4 (Kab. Malang)} \\ &= 0,1 \times 2 \times 1 = 0,2, \end{aligned}$$

$S = 2$ (asumsi dapat menahan simpangan besar)

$I = 1$ faktor kepentingan

$$H_{12} = 0,2 \times 85892,17 \text{ Kg} \quad = 17178,43 \text{ kg}$$

d. *Akibat gaya gesek*

Gaya gesek pada tumpuan yang ditinjau dari bahan antara karet dan besi sebesar 0,16 dari beban mati.

$$F_A = F_C = 0,16 \times 85892,17 = 13742,747 \text{ Kg}$$

e. *Akibat pengaruh suhu*

Pengaruh susut dan suhu pada arah melintang dapat diabaikan karena lebar jembatan kurang dari 10 m (BDM, BMS, pasal 7.3, hlm 7-6).

f. *Akibat Beban Angin*

Gaya angin rencana pada bangunan atas dihitung berdasarkan 2 persamaan berikut ini (PPTJ, BMS pasal 2.4.6 hal 2-43) :

1. Tekanan angin pada bangunan atas (KN)

$$C_w = 1,20$$

$$V_w = 25 \text{ (kecepatan angin pada daerah lebih dari } 5 \text{ km dari laut)}$$

$$\begin{aligned} T_{ew} &= 0,0006 C_w V_w^2 Ab \\ &= 0,0006 \times 1,2 \times 25^2 \times (1,829 \times 35) \\ &= 29,286 \text{ KN} \end{aligned}$$

2. Tekanan angin merata pada Kendaran (KN/m)

$$\begin{aligned} T_{ew} &= 0,0012 C_w V_w^2 = 0,0012 \times 1,2 \times 25^2 \\ &= 0,9 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_4 &= 29,286 \text{ kN} + 0,9 \text{ kN/m} \times 35 \text{ m} \\ &= 60,786 \text{ kN} = 6078,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

g. *Beban Horisontal Total*

$$\begin{aligned} H_A &= H_C = 12883,825 + 25000 + 17178,43 + 13742,747 \\ &\quad + 6078,6 \\ &= 74883,602 \text{ Kg} \end{aligned}$$

6.1.3 Gerakan Tangensial (α_a , α_b , α_s)

$$\alpha_a = \frac{H * x * t}{1000 * At * G}$$

..... (BDM volume 1, BMS, hlm 7-6)



Gambar 6.1. Gerakan tangensial

dimana : H = gaya horizontal
 t = tebal karet landasan
 G = modulus geser = 0.69 MPa
 At = luas denah karet

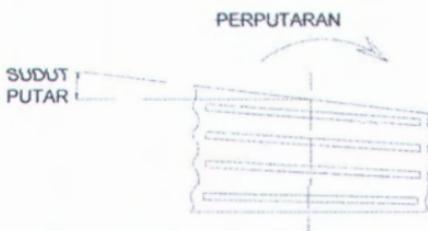
Tangensial di tumpuan A

$$\alpha_a = \frac{74883,602 \times 97}{1000 \times 480 \times 250 \times 0,69} = 0,0878$$

$$\alpha_b = 0 \text{ (lebar jembatan } = 9\text{m} < 10\text{ m)}$$

Maka $\alpha_s = \alpha_a + \alpha_b = 0,0878 + 0 = 0,0878$

6.2 PERPUTARAN SUDUT



Gambar 6.2. Perputaran sudut

6.2.1 Akibat beban mati

a. Berat sendiri gelagak utama

$$q = 21 \text{ Kg/cm}$$

$$\theta = \frac{q \cdot L^3}{48EI} = \frac{21 \times 3500^3}{48 \times 354235,04 \times 30520000} = 0,0017 \text{ rad}$$

b. Berat plat lantai kendaraan

$$q = 10,608 \text{ Kg/cm}$$

$$\theta = \frac{q \cdot L^3}{48EI} = \frac{10,608 \times 3500^3}{48 \times 354235.04 \times 30520000} = 0.0009 \text{ rad}$$

c. *Berat balok melintang/diaphragma*

$$P = 3550,67 \text{ Kg}$$

$$\theta = \frac{P \cdot L^2}{32EI} = \frac{3550,67 \times 3500^2}{32 \times 354235.04 \times 30520000} = 0.00012 \text{ rad}$$

d. *Berat aspal + muatan sekunder*

$$q = 3,74 \text{ kg/cm}$$

$$\theta = \frac{q \cdot L^3}{48EI} = \frac{3,74 \times 3500^3}{48 \times 354235.04 \times 30520000} = 0.0003 \text{ rad}$$

6.2.2 Akibat Beban Hidup

a. *Beban hidup merata*

$$q = 26,112 \text{ Kg/cm}$$

$$\theta = \frac{q \cdot L^3}{48EI} = \frac{26,112 \times 3500^3}{48 \times 354235.04 \times 30520000} = 0.0022 \text{ rad}$$

b. *Beban hidup terpusat*

$$P = 20944 \text{ Kg}$$

$$\theta = \frac{P \cdot L^2}{32EI} = \frac{20944 \times 3500^2}{32 \times 354235.04 \times 30520000} = 0,0007 \text{ rad}$$

6.3 PERHITUNGAN PELAT LANDASAN

Plat landasan yang digunakan adalah plat yang terbuat dari bahan karet atau yang biasa disebut Rubber Bearing Pad. Landasan karet ini mempunyai dua tipe, yaitu :

- Tipe A, Chemically Protected Externally, yang mempunyai lapisan-lapisan karet dan baja pada lapisan dalam sedangkan lapisan terluarnya terdiri dari lapisan baja.
- Tipe B, Fully Eveloped in Rubber, tipe ini mempunyai lapisan karet dan baja terbungkus dalam lapisan karet setebal 3 mm.

Besar reaksi vertikal dan rotasi :

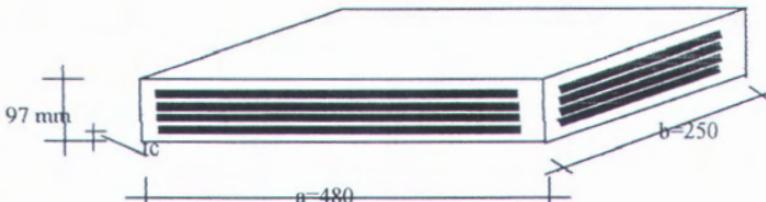
$$V = 85892,17 \text{ Kg} = 858,9217 \text{ kN}$$

$$\theta_{aq} = 0,0051$$

$$\theta_{ap} = 0,0008$$

Direncanakan elastomer dengan dimensi 480 x 250 mm dengan data :

- Kekuatan Geser Maximum pada rotasi nol = 900 kN (elastomer A)
- Kekuatan tekan pada geser nol = 169×10^3 kN/m (elastomer A)
- Panjang elastomer (a) = 480 mm
- Lebar elastomer (b) = 250 mm
- Tebal karet dalam (t_i) = 15 mm
- Tebal tiap plat baja (t_s) = 5 mm
- Jumlah lapisan karet (n) = 4 lapis
- Tinggi keseluruhan (t) = 97 mm
- Tebal selimut atas dan bawah (t_c) = 6 mm
- Tebal selimut sisi = 10 mm
- Luas denah elastomer (A_r) = 120000 mm²



Gambar 6.3 Elastomer bearing pad

6.4 Kontrol Perletakan

- a. Faktor bentuk harus berada $4 \leq S \leq 12$

$$S = \frac{axb}{2(a+b)t_i} = \frac{480 \times 250}{2 \times (480 + 250) \times 14} = 5.87$$

$a = 480 \text{ mm}$; $b = 250 \text{ mm}$; $t_i = 1.4 \times t_c = 1.4 \times 10 = 14 \text{ mm}$

Jadi $4 \leq 5.87 \leq 12 \dots \dots \dots \text{OK}$

- b. Jumlah regangan tekan, perputaran dan geser

$$E_{sc} + E_{st} + E_{sh} = E_t \leq \frac{2.6}{\sqrt{G}}$$

$$A_{eff} = A \left(1 - \frac{\alpha_a}{\alpha} - \frac{\alpha_b}{b}\right)$$

$$= 480 \times 250 \left(1 - \frac{0.0878}{480} - \frac{0}{250}\right) = 119975.5 \text{ mm}^2$$

$$E_{sc} = \frac{6 \times S \times V^* \times 10^3}{3 \times A_{eff} \times G \times (1+2S^2)} = \frac{6 \times 5.87 \times 858947 \times 10^3}{3 \times 119975500.69 \times (1+2 \times 5.87^2)} = 2,08$$

$$E_{st} = \frac{(\alpha_{aq} \times a^2) + (\alpha_{ap} \times b^2)}{2 \times t \times t_1} = \frac{(0,0051 \times 480^2) + (0,0008 \times 250^2)}{2 \times 97 \times 14} = 0,31$$

$$E_{sh} = \frac{\alpha_s}{t} = \frac{0,098}{97} = 0,001$$

$$E_t = 2,08 + 0,31 + 0,001 \leq \frac{2,6}{\sqrt{G}} = \frac{2,6}{\sqrt{0,69}}$$

$$= 2,391 \leq 3,13 \dots \text{OK}$$

c. Luas tumpuan eff min, $A_{eff} \geq 0,9 \text{ A}$

$$119975,5 \text{ mm}^2 \geq 0,9 (480 \times 250)$$

$$119975,5 \text{ mm}^2 \geq 108.000 \text{ mm}^2$$

maka Regangan Maximum $E_{sh\ max} = 0,7$

$$E_{sh\ max} \geq E_{sh}$$

$$0,7 \geq 0,0032 \dots \text{OK}$$

d. Mencegah lelah khusus pada jembatan

$$\frac{1,4V *}{E_{sc} \times V_{LL}} \sqrt{\frac{0,69}{G}} \geq 1$$

$$V_{LL} = \text{reaksi oleh beban hidup saja (KEL dan UDL)}$$

$$= 26074,15 \text{ kg}$$

$$\frac{1,4 \times 85892,17}{2,08 \times 26074,15} \sqrt{\frac{0,69}{0,69}} \geq 1$$

$$1,4 \geq 1 \dots \text{OK}$$

e. Stabilitas perletakan dalam tekan

$$\frac{V *}{A_{eff}} \leq \frac{2 \times be \times G \times S}{3 \times t}$$

; $be = \text{nilai terkecil dari } a \text{ atau } b \text{ yaitu } 250 \text{ mm}$

$$\frac{85892,17}{119975,5} \leq \frac{2 \times 250 \times 0,69 \times 5,87}{3 \times 97}$$

$$0,86 \text{ N/mm}^2 \leq 6,959 \text{ N/mm}^2 \dots \text{OK}$$

f. Tebal minimum t_i dari pelat baja yang tertanam dalam perletakan

$$3 \text{ mm} \leq t_i \geq \frac{3V * \times f_y \times 1000}{A \times f_y}; f_y = \text{tegangan leleh baja} = 320 \text{ MPa}$$

$$3 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm} \geq \frac{3 \times 858,92 \times 1000 \times 14}{480 \times 250 \times 320} \text{ mm}$$

$$3 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm} \geq 1,12 \text{ mm} \dots \text{OK}$$



7

PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH

7.1 PERENCANAAN ABUTMENT JEMBATAN

7.1.1 Pendahuluan

Abutment pada pangkal jembatan antara sisi arah Malang dan sisi arah Blitar direncanakan sama. Dengan panjang bentang yang sama, maka diasumsikan abutment memikul beban yang sama besar.

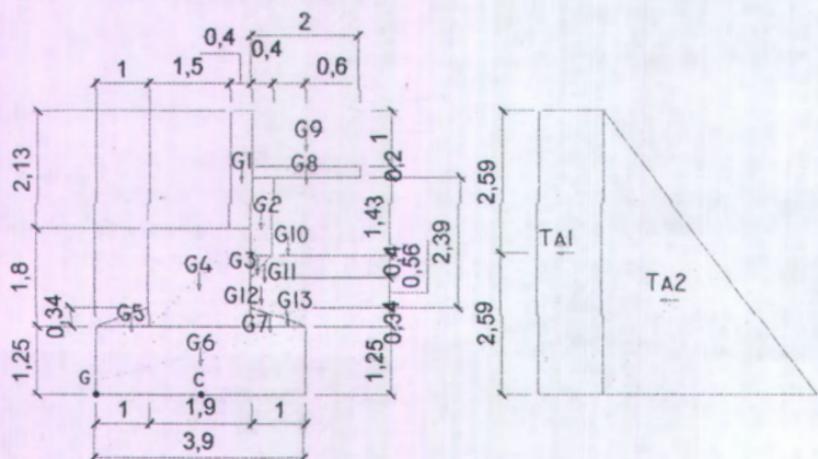
Data bangunan atas

Type	: Jembatan Balok Prestressed
Bentang	: 70 m (2 x 35)
Lebar total jembatan	: 9,5 meter (7m laik kendaraan + 2x 1,25 Trotoar)
Tinggi Balok	: 1,829 meter

Rencana bangunan bawah

Mutu Beton	: $f'_c = 25$ Mpa
Mutu Baja	: $f_y = 300$ Mpa
Jenis Pondasi	: Sumuran
Diameter Sumuran	: 2 m

7.1.2 Statika Pembebanan



Gambar 7.1 Abutmen jembatan dan statika pembebanan

Beban Vertikal Pada Abutmen (Perletakan A = C)

- Reaksi Total akibat beban mati
 $R_a = 586614 \text{ N} \times 6 = 3519684 \text{ N}$
- Reaksi Total Akibat beban Hidup (KEL + UDL)
 $R = 414945 \text{ N} \times 6 = 2489670 \text{ N}$
- Reaksi Total Maximum Akibat beban Mati dan beban Hidup
 $R = 6009354 \text{ N}$
- Berat Abutment, tanah, dan plat injak
Lebar kepala jembatan 10 m, dibuat dari beton bertulang di atas pondasi sumuran, $\gamma_b = 2400 \text{ Kg/m}^3$, $\gamma_t = 1621 \text{ Kg/m}^3$, $\theta = 13,32^\circ$.

Tabel 7.1 Perhitungan Berat Landhoofd / Abutment

Berat Landhoofd (Kg)	X _G (m)	Y _G (m)	M _{XG} (Kgm)	M _{YG} (Kgm)
$G_1 = 2400x(0,40x2,13x10) = 20448$	2,70	4,12	55209,6	84245,76
$G_2 = 2400x(0,40x1,43x10) = 13728$	3,1	3,26	42556,8	3569,28
$G_3 = 2400x(1/2x0,40x0,40x10) = 1920$	3,03	2,42	5817,6	4646,40
$G_4 = 2400x(1,90x1,8x10) = 82080$	1,95	2,15	160056	176472
$G_5 = 2400x(1x0,34x10) = 8160$	0,67	1,36	5467,2	11097,6
$G_6 = 2400x(3,90x1,25x10) = 117000$	1,95	0,63	228150	73710
$G_7 = 2400x(1x0,34x10) = 8160$	3,57	1,36	29131,20	11097,6
$G_8 = 2400x(2x0,2x10) = 9600$	3,9	4,08	37440	39168
TOTAL = 261096		Total Momen=	563828,4	404006,64

$$X_G = \frac{\sum MX_G}{\sum V} = \frac{563828,4}{261096} = 2,16 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{\sum MY_G}{\sum V} = \frac{404006,64}{261096} = 1,55 \text{ m}$$

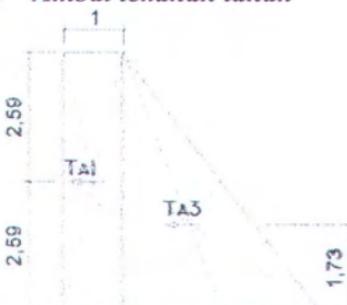
Tabel 7.2 Perhitungan berat tanah di belakang abutment

Berat Tanah (Kg)	X _G (m)	Y _G (m)	M _{XG} (Kgm)	M _{YG} (Kgm)
G ₉ = 1621x(1x2x10) = 32420	3,90	4,68	126438	151725,6
G ₁₀ = 1621x(2,39x0,60x10) = 23245,14	3,6	2,78	83682,504	64621,45
G ₁₁ = 1621x(1/2x0,40x0,40x10) = 1296,8	3,17	2,28	4110,85	2956,7
G ₁₂ = 1621x(0,56x0,40x10) = 3631,04	3,10	1,87	11256,22	6790,04
G ₁₃ = 1621x(1/2x1x0,34x10) = 2755,7	3,57	1,48	9837,85	4078,44
TOTAL = 63348,68		Total Momen=	235325,42	230172,23

$$X_G = \frac{\sum MX_G}{\sum V} = \frac{235325,42}{63348,68} = 3,71 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{\sum MY_G}{\sum M_V} = \frac{230172,23}{63348,68} = 3,63 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total } (W_{\text{tot}}) &= W_L + W_T \\ &= 261096 + 63348,68 = 324444,68 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Beban Horisontal**a. Akibat tekanan tanah**

Gambar 7.2 Tekanan tanah di belakang abutment

Koefisien tekanan tanah (Ka)

$$Ka = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\theta}{2} \right) = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{13,32}{2} \right) = 0,62$$

Tekanan tanah yang terjadi

$$T_{a1} = \gamma t \times h \times Ka \times h_1 \times L$$

$$= 1621 \times 1 \times 0,62 \times 5,18 \times 10 = 52060,04 \text{ kg}$$

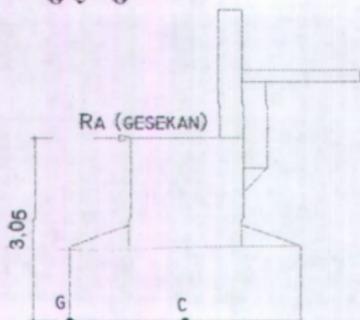
$$Y_{a1} = 2,59 \text{ m}$$

$$T_{a2} = \gamma t \times h_2 \times K_a \times 0,5 \times h_2 \times L$$

$$= 1621 \times 5,18 \times 0,62 \times 0,5 \times 5,18 \times 10 = 134835,49 \text{ kg}$$

$$Y_{a2} = 1,73 \text{ m}$$

b. Akibat gaya gesekan



Gambar 7.3 Gaya gesek pada tumpuan

Gaya gesek yang terjadi akibat gesekan pada tumpuan bergerak :

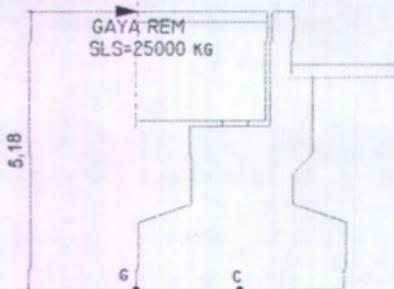
$$Ra = 351968,4 \text{ Kg}$$

$$F = K \times P = 0,16 \times 351968,4 = 56314,94 \text{ Kg}$$

$$\rightarrow Y_G = 3,05 \text{ m}$$

c. Akibat gaya rem

Untuk rencana SLS = 250 kN = 25 000 kg



Gambar 7.4 Gaya rem SLS

$$Y_R = \text{Tinggi gelagar konstruksi sampai ke A} \\ = 5,18 \text{ m}$$

d. Akibat gaya gempa bumi

$$T_{EQ} = Kh \cdot I \cdot W_T$$

dimana :

Kh = Koefisien beban gempa horisontal = C . S

C = Koefisien geser dasar = 0.1 (zone 4, tanah keras) (BMS, 1992, tabel 2.12, hlm. 2-50)

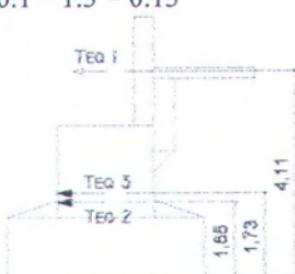
I = Faktor kepentingan = 1.0 (BMS, 1992, tabel 2.13, hlm. 2-50)

S = Faktor tipe bangunan = 1.3 F

$$F = 1,25 - (0,025 * 6) = 1,10 \leq 1,00 \rightarrow F = 1,0$$

$$S = 1,3 F = 1,3 * 1 = 1,3$$

$$Kh = 0,1 * 1,3 = 0,13$$



Gambar 7.5 Beban gempa pada abuament

Akibat bangunan atas

$$T_{EQ} = 0,13 * 1,0 * 351968,4 = 45755,892 \text{ kg}$$

$$\rightarrow Y_A = 4,11 \text{ m}$$

Akibat bangunan bawah

$$T_{EQ} = 0,13 * 1,0 * 261096 = 33942,48 \text{ kg}$$

$$\rightarrow Y_A = 1,55 \text{ m}$$

Akibat tekanan tanah (Tag)

$$T_{EQ} = 0,13 * 1,0 * 186895,53 = 24296,42 \text{ kg}$$

$$\rightarrow Y_A = 1,73 \text{ m}$$

e. Akibat beban angin

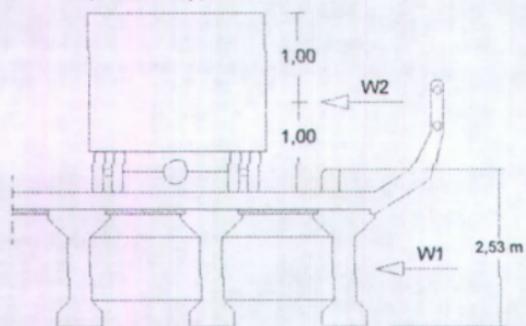
Sesuai dengan BMS 1992, hal 2-43, beban angin bekerja tegak lurus jembatan dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_{EW1} = 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times A_b$$

$$= 0,0006 \times 1,44 \times 30^2 \times (2,130 \times 35) = 57,97 \text{ kN}$$

$$= 5797 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 T_{EW2} &= 0,0012 \times C_w \times V_w^2 \\
 &= 0,0012 \times 1,2 \times 30^2 = 1,29 \text{ kN/m} = 129 \text{ Kg/m} \\
 W_1 &= \frac{5797}{2} = 2898,5 \text{ Kg} \\
 &\rightarrow Y_A = 4,11 \text{ m} \\
 W_2 &= 35 \times \frac{129}{2} = 2257,5 \text{ Kg} \\
 &\rightarrow Y_a = 6,18 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 7.6 Beban horisontal akibat angin

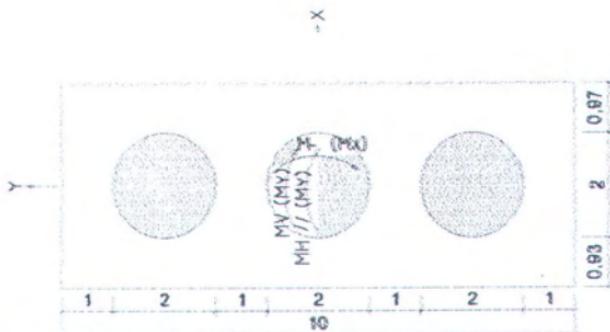
7.1.3 Kombinasi Pembebatan

Tabel 7.3 Kombinasi gaya dengan tegangan yang diijinkan

Kombinasi Beban	Tegangan Yang Digunakan Dalam % Terhadap Tekanan Yang Dijinkan
I. $M + (H + K) + Ta$	100 %
II. $M + Ta + F + W$	125 %
III. $Kombinasi I + R + F + W$	140 %
IV. $M + Tag + Gb$	150 %

dimana :

- M = Muatan mati
- H = Muatan hidup
- Ta = Tekanan tanah
- Tag = Tekanan tanah akibat gempa
- W = Muatan angin
- R = Gaya rem
- F = Gaya geser dari tumpuan bergerak
- Gb = Gempa bumi



Gambar 7.7 Arah momen pada poer

Asumsi tanda: Momen searah jarum jam (+)
Momen berlawanan jarum jam (-)

1. *Kombinasi I : M + (H + K) + Ta*

a. *Beban vertikal (V)*

- Muatan mati (M)

$$\text{Bangunan atas} = 351968,4 \text{ Kg}$$

$$\text{Bangunan bawah} = 261096 \text{ Kg}$$

$$\text{Tanah di belakang Landhoofd} = 63348,68 \text{ Kg+}$$

$$\text{Total M} = 676413,08 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Muatan hidup (H)} &= 248967 \text{ Kg+} \\ &= 248967 \text{ Kg} \end{aligned}$$

b. *Beban horisontal sejajar sumbu jembatan*

$$\begin{aligned} \text{Tekanan tanah aktif (Ta)} &= 186895,53 \text{ Kg+} \\ &= 186895,53 \text{ Kg} \end{aligned}$$

c. *Momen terhadap titik G*

$$MV (My) = (351968,4 \times 0) + (261096 \times 0,21)$$

$$(63348,68 \times 1,95) + (248967 \times 0)$$

$$= -68699,77 \text{ kgm}$$

$$MH// (My) = -(186895,53 \times 1,73) = -323329,27 \text{ kgm}$$

2. *Kombinasi II : M + Ta + F + W*

a. *Beban vertikal (V)*

$$\text{Muatan mati (M)} = 676413,08 \text{ Kg}$$

b. *Beban horisontal sejajar sumbu jembatan*

$$\text{Tekanan tanah aktif (Ta)} = 186895,53 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser memanjang (F)} &= 56314,94 \text{ Kg+} \\ &= 243210,47 \text{ Kg} \end{aligned}$$

c. **Beban horisontal tegak lurus sumbu jembatan**

$$\begin{array}{lcl} \text{Muatan angin (W}_1\text{)} & = & 2898,5 \text{ Kg} \\ \text{Muatan angin (W}_2\text{)} & = & \underline{2257,5 \text{ Kg}} + \\ \text{W}_{\text{tot}} & = & 5156 \text{ Kg} \end{array}$$

d. **Momen terhadap titik G**

$$\begin{aligned} \text{MV (My)} &= -68699,77 \text{ Kgm} \\ \text{MH// (My)} &= -(186895,53 \times 1,73) - (56314,94 \times 3,05) \\ &= -236551,03 \text{ kgm} \\ \text{MH } \perp &= (2898,5 \times 4,11) + (2257,5 \times 6,18) = 25864,18 \text{ kgm} \end{aligned}$$

3. **Kombinasi III : (Kombinasi I) + R + F + W**

a. **Beban vertikal (V)**

$$\text{Muatan mati + hidup} = 925380,08 \text{ Kg}$$

b. **Beban horisontal sejajar sumbu jembatan**

$$\begin{array}{lcl} \text{Kombinasi I} & = & 126835,53 \text{ Kg} \\ \text{Gaya rem} & = & 25000 \text{ Kg} \\ \text{Gaya geser memanjang} & = & \underline{56314,94 \text{ Kg}} + \\ & = & 208150,47 \text{ Kg} \end{array}$$

c. **Beban horisontal tegak lurus sumbu jembatan**

$$\begin{array}{lcl} \text{Muatan angin (W}_1\text{)} & = & 2898,5 \text{ Kg} \\ \text{Muatan angin (W}_2\text{)} & = & \underline{2257,5 \text{ Kg}} + \\ \text{W}_{\text{tot}} & = & 5156 \text{ Kg} \end{array}$$

d. **Momen terhadap titik G**

$$\begin{aligned} \text{MV} &= -68699,77 \text{ Kgm} \\ \text{MH//} &= (-219425,47) - (25000 \times 5,18) - (56314,94 \times 3,05) \\ &= -520686,04 \text{ kgm} \\ \text{MH } \perp &= (2898,5 \times 4,11) + (2257,5 \times 6,18) = 25864,18 \text{ kgm} \end{aligned}$$

4. **Kombinasi IV : M + Tag + Gb**

a. **Beban vertikal (V)**

$$\text{Muatan mati (M)} = 676413,08 \text{ Kg}$$

b. **Beban horisontal sejajar sumbu jembatan**

Beban akibat gempa

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban mati jembatan (T}_{EQ1}\text{)} & = & 45755,892 \text{ Kg} \\ \text{Beban landhoofd (T}_{EQ3}\text{)} & = & 333942,48 \text{ Kg} \\ \text{Tekanan tanah (Tag) (T}_{EQ2}\text{)} & = & \underline{24296,42 \text{ Kg}} + \\ \text{Gb} & = & 403994,79 \text{ Kg} \end{array}$$

c. *Momen terhadap titik G*

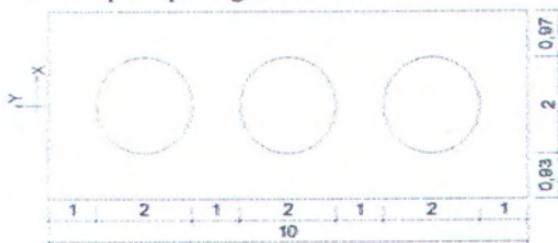
$$MV = -68699,77 \text{ Kgm}$$

$$\begin{aligned} MH// &= -(45755,892 \times 4,11) - (333942,48 \times 1,55) - \\ &\quad (24296,42 \times 1,73) \\ &= -747700,37 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

7.1.4 Perhitungan distribusi pondasi

Direncanakan pondasi sumuran dengan data sebagai berikut:

- Luas poer = $3,90 \times 10 \text{ m}$
- Jumlah pondasi sumuran = 3
- Diameter pondasi sumuran = 2 m
- Jarak seperti pada gambar 7.5



Gambar 7.8 Denah pondasi sumuran

$$X = 0 ; X^2 = 0$$

$$Y = 3 ; Y^2 = 9$$

Beban vertikal:

$$P_0 = \frac{V}{n} \pm \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \pm \frac{My \cdot X}{\sum x^2}$$

Tabel 7.4 Kombinasi beban

Uraian Gaya	Kombinasi			
	1	2	3	4
Total gaya vertikal (V) (kg)	676413,08	676413,08	925380,08	676413,08
Total Momen (Mv) (My) (kgm)	-68699,77	-68699,77	-68699,77	-68699,77
Total Momen (Mh//) (My) (kg m)	-219425,47	-236551,03	-520686,04	-747700,36
Total Momen (Mh \perp) (Mx) (kg m)	0,00	25864,18	25864,18	0,00
My = Mv + Mh//	-288125,24	305250,8	-589385,81	-816400,13
Mx = Mh \perp	0,00	25864,18	25864,18	0,00
Pmax (kg)	225471,03	229781,72	312770,72	225471,03
Pmin (kg)	225471,03	221160,33	-48109	225471,03

Berdasarkan kombinasi pembebanan pada tabel 7.4 di atas, didapat pembebanan yang paling besar dengan kombinasi 3. Resumen pembebanan sebagai berikut:

- Beban vertikal (V) = 925380,08 kg
- Beban horizontal
Sejajar sumbu jembatan (Hv) = 208150,47 kg
- Momen arah x (M_x) = 25864,18 kgm
- Momen arah y (M_y)
 - M_y = -68699,77 kgm
 - $M_y //$ = -520686,04 kgm

7.1.5 Perhitungan daya dukung pondasi sumuran

Untuk menghitung daya dukung pondasi sumuran, digunakan formula Thersagi (1943) (General Shear) sebagai berikut :

- Pondasi bentuk lingkaran

$$qu = 1,3.c.N_c + q.N_q + 0,3.\gamma.B.N\gamma$$

dimana :

q_{ijin} = Daya dukung ijin γ = berat volume tanah

qu = Daya dukung ultimate B = Diameter/lebar pondasi

c = kohesi tanah L = Panjang pondasi

q = $\gamma.DF$ N_c, N_q, N = Faktor daya dukung

DF = kedalaman dasar pondasi

SF = Angka Keamanan

($SF = 2$ utk beban sementara ; $SF = 3$ utk beban tetap)

Daya dukung 1 (satu) buah pondasi sumuran dihitung berdasarkan daya dukung ujung saja (end bearing) karena bertumpu pada batuan. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 7.5 berikut :

Tabel 7.5 Daya dukung 1 (satu) buah pondasi sumuran

B m	DF m	c ton/m ²	ϕ °	γ ton/m ³	q ton/m ²	Nc	Nq	N γ	qult ton/m ²	A m ²	Qult ton	Qjin (SF=2) ton	Qjin (SF=3) ton
2	1,0	0	30	1,621	2,1	32	20	19	60,08	3,142	188,7	94,4	62,9
2	2,0	0	30	1,621	4,2	32	20	19	101,68	3,142	319,4	159,7	106,5
2	3,0	0	30	1,621	6,2	32	20	19	143,28	3,142	450,1	225,1	150,0
2	4,0	0	30	1,621	8,3	32	20	19	184,88	3,142	580,8	290,4	193,6
2	5,0	0	30	1,621	10,4	32	20	19	226,48	3,142	711,5	355,8	237,2
2	6,0	0	30	1,621	12,5	32	20	19	268,08	3,142	842,2	421,1	280,7
2	7,0	0	30	1,621	14,6	32	20	19	309,68	3,142	972,9	486,4	324,3
2	8,0	0	30	1,621	16,6	32	20	19	351,28	3,142	1103,6	551,8	367,9
2	9,0	0	30	1,621	18,7	32	20	19	392,88	3,142	1234,3	617,1	411,4
2	10,0	0	30	1,621	20,8	32	20	19	434,48	3,142	1365,0	682,5	455,0

Dari hasil perhitungan di atas maka diketahui :

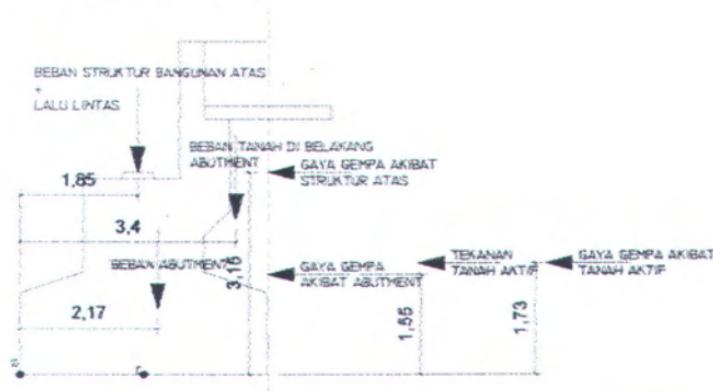
$$P_{max} P_4 = 925,380 \text{ ton} < (3 \times 324,3) = 972,9 \text{ ton}$$

(Df = 7,0 m)ok !

Maka digunakan pondasi sumuran 3 buah Ø 2,0m dengan kedalaman 7,0 meter.

7.1.6 Stabilitas Abutment

a. Terhadap Guling



Gambar 7.9 Gaya yang bekerja pada abutment penyebab dan penahan guling

- Momen penahan guling terhadap titik A
 Berat bangunan atas $M_x = 600,935 \times 1,85$ = 111,730 tm
 Berat abutment $M_x = 261,096 \times 2,17$ = 566,578 tm
 Tanah urug abutment $M_x = 63,348 \times 3,40$ = 215,383 tm

- Momen guling terhadap titik G
 Tekanan tanah $My = 186,896 \times 1,73 = 323,329$ tm
 Gempa $My = -(45755,892 \times 3,15) - (333942,48 \times 1,55) - (24296,42 \times 1,73)$
 $= -747,70$ tm

$$SF = \frac{\text{momen penahan guling}}{\text{momen guling}} \geq 1,5$$

$$SF = \frac{1111,73 + 566,578 + 215,383}{747,70 + 323,329} \\ = 1,76 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

b. Terhadap Geser

- Gaya penahan geser
 Berat bangunan atas = 600,935 ton
 Berat abutment = 261,096 ton
 Tanah urug abutment = 63,348 ton
- Gaya geser
 Tekanan tanah $T_a = 186,896$ ton
 Gempa $T_{EQ} = 403,994$ ton

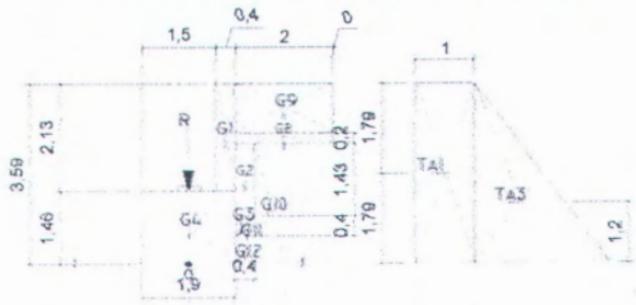
$$SF = \frac{\text{gaya penahan geser}}{\text{gaya geser}} \geq 1,5$$

$$SF = \frac{600,935 + 261,096 + 63,348}{186,896 + 403,994} \\ = 1,6 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

7.1.7 Perhitungan Penulangan Abutment

Perhitungan kolom abutment per 1 m

Beban vertikal (V) diambil dari gaya akibat beban mati dan hidup.



Gambar 7.10 Beban kolom abutment

a. Beban-beban yang bekerja di titik O :

$$\text{Aksi beban mati} = 351968,4 \text{ kg} \quad X_0 = 0 \text{ m}$$

$$\text{Aksi beban hidup} = 248697 \text{ kg} \quad X_0 = 0 \text{ m}$$

Berat sendiri

$$G_1 = 2400x(0,40x2,13x10) = 20448 \text{ kg} \quad X_0 = 0,75$$

$$G_2 = 2400x(0,40x1,43x10) = 13728 \text{ kg} \quad X_0 = 1,15$$

$$G_3 = 2400x(1/2x0,40x0,40x10) = 1920 \text{ kg} \quad X_0 = 1,08$$

$$G_4 = 2400x(1,90x1,8x10) = 82080 \text{ kg} \quad X_0 = 0$$

$$G_8 = 2400x(2x0,2x10) = 9600 \text{ kg} \quad X_0 = 1,95$$

$$G_9 = 1621x(1x2x10) = 32420 \text{ kg} \quad X_0 = 1,95$$

$$G_{11} = 1621x(1/2x0,40x0,40x10) = 1296,8 \text{ kg} \quad X_0 = 1,22$$

$$G_{12} = 1621x(0,56x0,40x10) = 3631,04 \text{ kg} \quad X_0 = 1,15$$

Gaya horisontal

$$Ta1 = 1621 \times 1 \times 0,62 \times 3,59 \times 1,00 = 3608,02 \text{ kg} \quad Y_0 = 1,79 \text{ m}$$

$$Ta2 = \frac{1}{2} \times 1621 \times 3,59^2 \times 0,62 \times 1,00 = 6476,40 \text{ kg} \quad Y_0 = 1,20 \text{ m}$$

Beban horisontal // = 208150,47 kg (komb. Beban 3)

Momen akibat beban horisontal // = 520686,04 kgm (perhitungan momen komb. Beban 3)

Sehingga didapat reaksi pada titik O sebagai berikut:

$$P_0 = 351968,4 + 248697 + 20448 + 13728 + 1920 + 82080 + 9600 + 32420 + 1296,8 + 3631,04$$

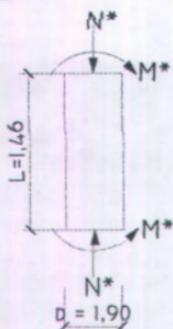
$$= 765789,24 \text{ kg } (\uparrow) (N')$$

$$N_0 = 3608,02 + 6476,40 + 208150,47$$

$$= 218234,89 \text{ kg } (\leftarrow)$$

Momen yang bekerja pada pangkal kolom (potongan 1-1)

$$\begin{aligned}
 M_{J-J} &= (351968,4 \times 0) + (248697 \times 0) + (20448 \times 0,75) + (13728 \times 1,15) \\
 &\quad + (1920 \times 0) + (82080 \times 1,95) + (9600 \times 1,95) + (32420 \times 1,95) \\
 &\quad + (1296,8 \times 1,22) + (3631,04 \times 1,15) - (3608,02 \times 1,79) - \\
 &\quad (6476,4 \times 1,2) + (520686,04) \\
 &= 785332 \text{ kgm} \curvearrowright
 \end{aligned}$$



Gambar 7.11 Gaya dan momen yang bekerja pada kolom abutment

Penulangan

Syarat kolom pendek yaitu $L/r \leq 22$

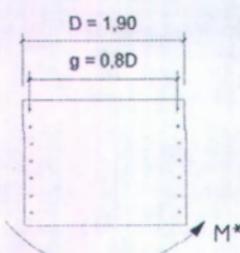
... (BDM.BMS volume 1 hal 5-112)

$$L = 1,46 \text{ m}$$

$$r = 0,25 \text{ } d = 0,25 \times 1,90 = 0,475$$

$$\frac{L}{r} = \frac{1,46}{0,475} = 3,07 \leq 22 \text{ (OK)}$$

$$f'_c = 25 \text{ MPa} ; f_y = 300 \text{ MPa} ; g = 0,9$$



Gambar 7.12 Kolom persegi bertulang dua sisi(tampak atas)
(Sumber: BDM, BMS volume 1, Hal 5-129)

$$h = d = 1900 \text{ mm} ; b = 1000 \text{ mm}$$

$$\frac{K_R^C M_u}{Ag \cdot d} = \frac{M^*}{bd^2} = \frac{0,75 \times 7853320000}{1000 \times 1900^2} = 2,18$$

$$\frac{K_R^C N_u}{Ag} = \frac{N^*}{bd} = \frac{0,75 \times 7657892,4}{1000 \times 1900} = 3,02$$

Dari diagram interaksi $g = 0,8$ fc 25 MPa diperoleh :

$\rho = 0,015$ (gambar 5.19 (b) Bagan rencana kolom BDM, BMS hal 5-127)

Syarat tulangan kolom (BDM, BMS hal 5-117)

Luas Tulangan total kolom (Asc) harus sebesar

$$= 0,01 Ag < Asc < 0,04 Ag \rightarrow 0,01 < 0,015 < 0,04 \dots \text{o.k}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka dipakai } Asc &= \rho \times b \times d = 0,015 \times 1000 \times 1900 \\ &= 28500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 36 D32 (2 sap pada 2 sisi)

$$\rightarrow Asc = 28953 \text{ mm}^2$$

Tulangan pembagi = $20\% \times Asc$ pasang

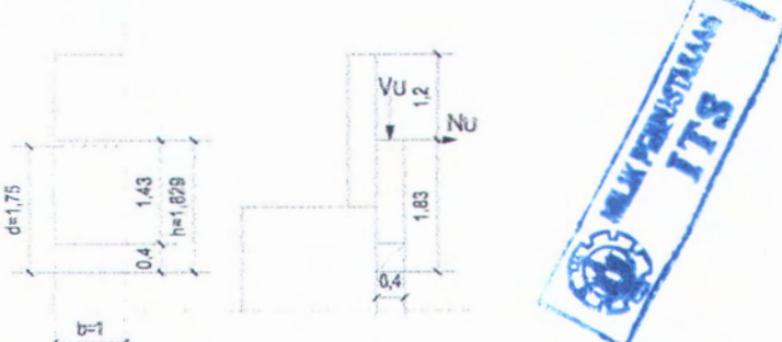
$$= 0,20 \times 28953 = 5790 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D16-125 (As = 6434 mm²)

7.1.8 Penulangan konsol

f_c = 25 Mpa

f_y = 300 Mpa



Gambar 7.13 Gaya yang bekerja pada konsol

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0,0047$$

$$1. Vn1 \leq 0,2 \cdot f_c' \cdot b \cdot d$$

$$\leq 0,2 \cdot 25.1000.1750$$

$$\leq 8750000 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{Vu(\text{berat tanah dan pelat injak})}{\phi}$$

$$V_n = \frac{(2 \times 1.11621) + (0,2 \times 2 \times 1 \times 2400)}{0,65} = 6464,62 \text{ kg} = 64646,2 \text{ N}$$

$$V_n < V_n \dots \text{o.k}$$

$$2. \quad A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} = \frac{64646,2}{300 \cdot 1,4} = 153,92 \text{ mm}^2$$

3. Tulangan Af yang dibutuhkan untuk menahan momen Mu adalah:

$$\begin{aligned} Mu &= 0,2 Vu + N_{UC} (h-d) \\ &= (0,2 \times 42020,03) + (0,2 \times 42020,03 (1,829 - 1,75)) \\ &= 9067,92 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\beta \cdot b \cdot d^2} = \frac{9067,92}{0,8 \cdot x \cdot 1000 \cdot x 1750^2} = 3,7 \times 10^{-6}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = \frac{300}{0,85 \cdot 25} = 14,12$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(l - \sqrt{l - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{14,12} \left(l - \sqrt{l - \frac{2 \cdot x \cdot 14,12 \cdot x \cdot 3,7 \times 10^{-6}}{300}} \right)$$

$$\rho \text{ perlu} = 1,23 \times 10^{-8} < \rho \text{ min} = 0,0047$$

$$A_s = 0,0047 \times 1000 \times 1750 = 8225 \text{ mm}^2$$

4. Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan gaya tarik Nuc adalah:

$$A_n = \frac{N_{UC}}{\phi \cdot f_y} = \frac{8404}{0,65 \times 300} = 43,097 \text{ mm}^2$$

Tulangan utama total As adalah nilai terbesar dari :

$$1. \quad A_s = A_s + A_n = 8225 + 43,097 = 8268,1 \text{ mm}^2$$

$$2. \quad A_s = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 153,92}{3} + 43,097 \right) = 145,710 \text{ mm}^2$$

$$3. \quad A_s \text{ min} = 8225 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan utama dipakai $A_s = 8268,1 \text{ mm}^2$

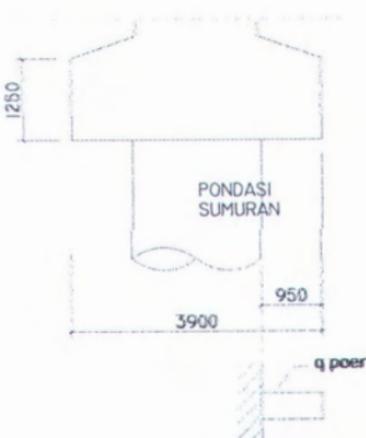
Dipasang tulangan D32-90, $A_s = 8846,72 \text{ mm}^2$

$$A_h = A_s / 2 = 8225 / 2 = 4112,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 7 D 28, $A_s = 4310,26 \text{ mm}^2$.

7.1.9 Penulangan Poer

Pembebanan



Gambar 7.14 Gaya pada poer

$$q_{poer} = 1,25 \times 0,95 \times 2400 = 2850 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = \frac{1}{2} \times 2850 \times 0,95^2 = 1286 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\varphi b d^2} = \frac{1286 \times 10000}{0.8 \times 3900 \times (1250 - 55)^2} = 0,0039 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c} = \frac{300}{0.85 \times 25} = 15.059$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{300} = 0.0047$$

$$\rho_{balance} = \frac{0.85 \times f_c' \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} = \frac{0.85 \times 25 \times 0.85}{300} \times \frac{600}{600 + 300} = 0.037$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.037 = 0.028$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15.059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15.059 \times 0.0029}{300}} \right) = 9,7 \times 10^{-6}$$

karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka dipakai ρ_{min}

$$A_{st} = 0,0047 \times 1000 \times 1195 = 5616,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D32-140 ($A_s = 5629,73 \text{ mm}^2$)

Tulangan pembagi = $20\% \times 5629,73 = 1126 \text{ mm}^2$

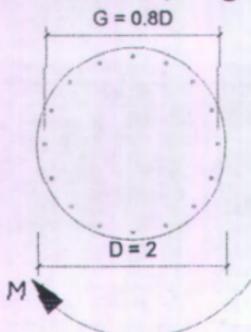
Dipasang tulangan D16-160 ($A_s = 1206,37 \text{ mm}^2$)

7.1.10 Penulangan Pondasi Sumuran

Dari perhitungan pada kolom didapat gaya-gaya yang bekerja pada 1 pondasi sumuran:

$$N = 765789,24/3 = 255263,08 \text{ kg}$$

$$M^* = 785332 / 3 = 261777,33 \text{ kgm}$$



Gambar 7.15 Kolom bulat (tampak atas)
(Sumber: BDM, BMS volume 1, Hal 5-143)

$$D = 2000 \text{ mm}$$

$$\frac{K_R^C M_u}{Ag.D} = \frac{0,75 \times 261777,33 \times 10000}{(\pi/4 \times 2000^2) \times 2000} = 0,31$$

$$\frac{K_R^C N_u}{Ag.} = \frac{0,75 \times 2552630,8}{(\pi/4 \times 2000^2)} = 0,81$$

Dari diagram interaksi $g = 0,8$ fc 25 MPa diperoleh :

$\rho = 0,001$ (gambar 5.19 (b) Bagan rencana kolom BDM, BMS hal 5-143)

Syarat tulangan kolom (BDM, BMS hal 5-117)

Luas Tulangan total kolom (Asc) harus sebesar:

$$0,01 Ag < Asc < 0,04 Ag$$

Dipakai $\rho = 0,01$

$$Asc = 0,01 \times \pi/4 \times 2000^2 = 31415,92 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 40 D32 \rightarrow Asc = 32169,91 mm²

Jarak busur antar tulangan = $\pi \times D / 40 = 150 \text{ mm}$

Pengikat lateral sesuai tabel 6.17 (BMS bagian 6)

Dipakai Ø 12mm dengan jarak terkecil dari:

a. $15 d_b = 15 \times 32 = 480 \text{ mm}$

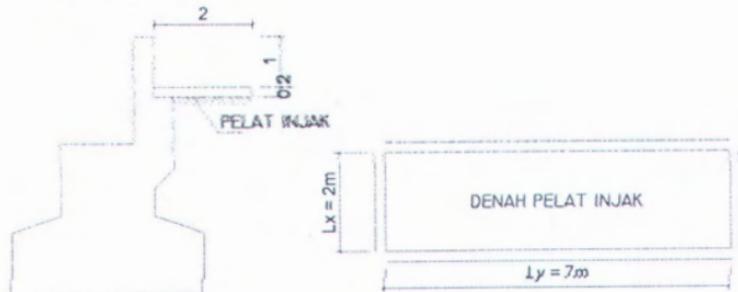
b. 300 mm

Maka pengikat lateral (tulangan geser pakai) = Ø12-300mm.

7.1.11 Perencanaan Pelat Injak

Dimensi pelat injak

- Tebal pelat = 20 cm
- Lebar pelat = 200 cm
- Panjang pelat = 700 cm



Gambar 7.16 Posisi pelat injak dan denah pelat injak

Pembebatan pelat injak

- Berat tanah di atas pelat = $2 \times 2 \times 1621 = 6484 \text{ kg/m}$
- Berat pelat injak = $0,20 \times 3 \times 2400 = 1440 \text{ kg/m}$
- qu $= 7924 \text{ kg/m}$

Penulangan pelat injak

Data perencanaan :

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$

$$d_x = 200 - (40 + \frac{1}{2} 19) = 150,50 \text{ mm}$$

$$d_y = 200 - (40 + 13 + \frac{1}{2} 19) = 137,50 \text{ mm}$$

Perbandingan antara L_x dan L_y

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{700}{200} = 3,50 > 2,00 \rightarrow \text{pelat satu arah}$$

Momen yang terjadi

$$M_{lx} = 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X = 0,001 \times 7924 \times 2,00^2 \times 63 \\ = 1996,85 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X = 0,001 \times 7924 \times 2^2 \times 13 = 412,05 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = -0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X = -0,001 \times 7924 \times 3^2 \times 125 \\ = -3962 \text{ kgm}$$

Penulangan arah x

Tumpuan

$$Mtx = 3962 \text{ kgm}$$

Dari perhitungan sebelumnya diperoleh :

$$\rho_{\min} = 0,0047; \rho_b = 0,037; \rho_{\max} = 0,028; m = 15,059$$

$$R_n = \frac{Mu}{\varphi b d^2} = \frac{3962 \times 10000}{0,8 \times 1000 \times 150,5^2} = 2,17 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,059 \times 2,17}{300}} \right) = 0,0077$$

Dipakai $\rho = 0,0077$

$$A_{st} = 0,0077 \times 1000 \times 150,50 = 1164,77 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D16-160 ($A_s = 1206,37 \text{ mm}^2$)

Lapangan

$$M_{lx} = 1996,85$$

Dari perhitungan sebelumnya diperoleh :

$$\rho_{\min} = 0,0047; \rho_b = 0,037; \rho_{\max} = 0,028; m = 15,059$$

$$R_n = \frac{Mu}{\varphi b d^2} = \frac{1996,85 \times 10000}{0,8 \times 1000 \times 150,5^2} = 1,10 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,059 \times 1,10}{300}} \right) = 0,0047$$

Dipakai $\rho = 0,0047$

$$A_{st} = 0,0047 \times 1000 \times 150,50 = 707,35 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D16-300 ($A_s = 804,25 \text{ mm}^2$)

Penulangan arah y

$$M_{ly} = 412,05 \text{ kgm}$$

Dari perhitungan sebelumnya diperoleh :

$$\rho_{\min} = 0,0047; \rho_b = 0,037; \rho_{\max} = 0,028; m = 15,059$$

$$R_n = \frac{Mu}{\varphi b d^2} = \frac{412,05 \times 10000}{0,8 \times 1000 \times 150,5^2} = 0,227 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{15,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,059 \times 0,227}{300}} \right) = 0,0047$$

Dipakai $\rho = 0,0047$

$$A_{st} = 0,0047 \times 1000 \times 150,50 = 707,35 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D16-300 ($A_s = 804,25 \text{ mm}^2$)

7.2 PERENCANAAN PILAR TENGAH

7.2.1 Pendahuluan

Pilar tengah jembatan merupakan perletakan bagi dua bentang jembatan. Pada pilar ini menumpu balok-balok pratekan (girder) dengan benatang yang sama yaitu sepanjang 35 meter baik dari sisi arah Malang maupun dari sisi arah Blitar.

7.2.2 Beban vertikal

a. Reaksi Total akibat beban mati

Pilar tengah menerima beban mati dari sisi kanan dan kiri pilar dari balok-balok sebagai balok sederhana.

$$R_a = 683872 \text{ N} \times 2 \times 6 = 8206464 \text{ N}$$

b. Reaksi Total Akibat beban Hidup (KEL + UDL)

Diasumsikan beban hidup garis 100% pada lebar lantai kendaraan. Pilar menerima beban hidup sebagai beban menerus.

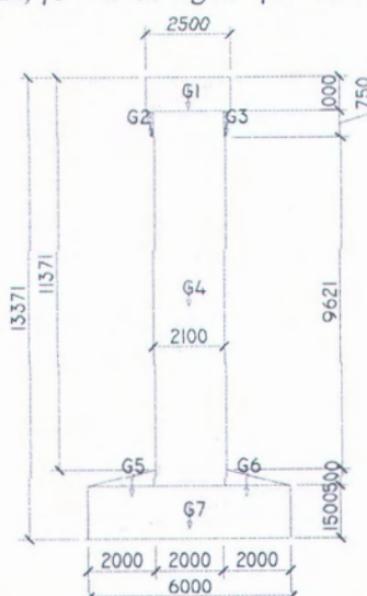
$$R_d = 713006 \text{ N} \times 6 = 4278036 \text{ N}$$

c. Reaksi Total Maximum Akibat beban Mati dan beban Hidup

$$R_{max} = 12484500 \text{ N}$$

e. Berat pilar

Lebar pilar jembatan 10 m, dibuat dari beton bertulang di atas pondasi sumuran, $\gamma_b = 2400 \text{ Kg/m}^3$, $\gamma_t = 2080 \text{ Kg/m}^3$, $\theta = 35^\circ$.



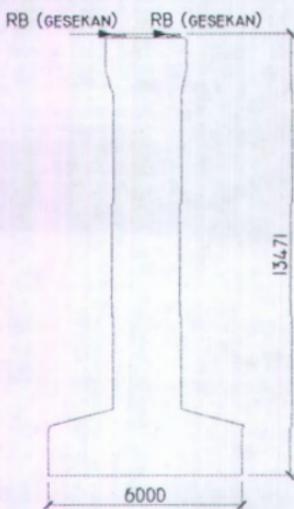
Gambar 7.17 Statika beban akibat berat sendiri

Tabel 7.6 Perhitungan Berat pilar tengah

	Berat pilar (kg)
$G_1 = 2400 \times (2,5 \times 1 \times 10)$	60000
$G_2 = 2400 \times (1/2 \times 0,40 \times 0,75 \times 10)$	3600
$G_3 = 2400 \times (1/2 \times 0,40 \times 0,75 \times 10)$	3600
$G_4 = 2400 \times (10,870 \times 2 \times 10)$	521760
$G_5 = 2400 \times (1/2 \times 0,5 \times 2 \times 10)$	12000
$G_6 = 2400 \times (1/2 \times 0,5 \times 2 \times 10)$	12000
$G_7 = 2400 \times (6 \times 1,5 \times 10)$	216000
TOTAL	828960

7.2.3 Beban Horisontal

a. Akibat gaya gesekan



Gambar 7.18 Gaya gesek pada pilar tengah

Gaya gesek yang terjadi akibat gesekan pada tumpuan bergerak :

$$RB = 820646,4 \text{ Kg}$$

$$K = 0,16$$

$$F = K \times P = 0,16 \times 820646,4 = 131303,42 \text{ Kg}$$

Pada 2 tumpuan, maka

$$F = 2 \times 131303,42 = 262606,85 \text{ kg} \rightarrow Y = 13,471 \text{ m}$$

b. Akibat gaya rem

Untuk rencana SLS = 250 kN = 25 000 kg



Gambar 7.19 Gaya rem SLS pada pilar

$$Y_R = \text{Tinggi gelagar konstruksi sampai ke A} \\ = 15,50 \text{ m}$$

c. Akibat gaya gempa bumi

$$T_{EQ} = K_h \cdot I \cdot W_T$$

dimana :

$$K_h = \text{Koefisien beban gempa horisontal} = C \cdot S$$

C = Koefisien geser dasar = 0.1 (zone 4, tanah keras) (BMS, 1992, tabel 2.12, hlm. 2-50)

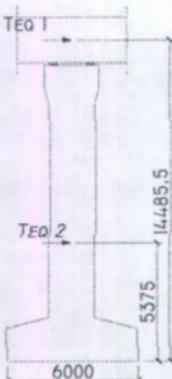
I = Faktor kepentingan = 1.0 (BMS, 1992, tabel 2.13, hlm. 2-50)

S = Faktor tipe bangunan = 1.3 F

$$F = 1,25 - (0,025 * 6) = 1.10 \leq 1.00 \rightarrow F = 1.0$$

$$S = 1.3 F = 1.3 * 1 = 1.3$$

$$K_h = 0.1 * 1.3 = 0.13$$



Gambar 7.20 Beban gempa pada pilar tengah

Akibat bangunan atas

$$T_{EQI} = 0,13 * 1,0 * 820646,4 = 106684,03 \text{ kg}$$

Akibat bangunan bawah

$$T_{EQ2} = 0,13 * 1,0 * 828960 = 107764,8 \text{ kg}$$

$\rightarrow Y = 5,38 \text{ m}$

d. Akibat beban angin

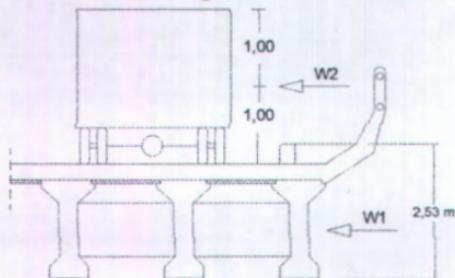
Sesuai dengan BMS 1992, hal 2-43, beban angin bekerja tegak lurus iembatan dan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_{EWI} = 0,0006 \times C_w \times V_w^2 \times Ab$$

$$T_{EW2} = 0,0012 \times C_w \times V_w^2$$

$$W_1 = 5759 \text{ Kg} \rightarrow Y_A = 14,61 \text{ m}$$

$$W_2 = 35 \times 129 = 4515 \text{ Kg} \rightarrow Ya = 16,50 \text{ m}$$



Gambar 7.21 Beban horisontal akibat angin

e. Akibat aliran Sungai/hanyutan/tumbukan batang kayu

- Gaya aliran sungai/Gaya seret (T_{FF})

$$T_{FE} = 0.5 C_D (V_S)^2 A_D \text{ kN} \dots \text{PPTJ, BMS hal 2-37}$$

Dimana :

$C_D = \text{Koefisien seret} = 0.7$ (tergantung bentuk pilar)

$$V = 5 \text{ m/dt} \times 1.5 = 7.5 \text{ m/dt}$$

1.5 = tabel 2.7 PPTI BMS hal 2-39

$5 \text{ m/dt} \equiv$ data Kecepatan sungai

$$A_D = \text{Luas Proyeksi pilar tegak lurus aliran dengan kedalaman air} = (13.7 \text{ m} \times 2 \text{ m}) = 27.4 \text{ m}^2$$

$$T_{FE} = 0.5 \cdot 0.7 \cdot (7.5)^2 \cdot 27.4 = 539.438 \text{ kN}$$

- Akibat Benda hanyutan

$$T_{FE} = 0.5 C_D (V_s)^2 A_D$$

Dimana :

$C_D = 1.04$ PPTL BMS hal 2-40

$A_d = 20 \times 1 \text{ m}$ (kedalaman) $= 20 \text{ m}^2$ (diambil terkecil)

$$= 1.2 \times 10 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$$

$$T_{EE} = 0.5 \cdot 1.04 (7.5)^2 / 2 \text{ m}^2 = 351 \text{ kN}$$

- #### ■ Akibat Tumbukan kayu

$$T_{EF} = \frac{M(V_0)^2}{d} \text{ kN} \quad \dots \dots \text{PPTJ, BMS hal 2-41}$$

Dimana :

M = 2 ton (ditetapkan oleh peraturan)

$d = 0.075 \text{ m}$ (pilar beton masif) tabel 2.8 PPTI BMS hal 2-42

$$V_0 = 14 \times 5 \text{ m}^3/\text{dt}^2 \quad (14 \equiv \text{ketentuan peraturan})$$

$$T_{EF} = \frac{2(1,4 \times 5)^2}{0,075} = 1306 \text{ kN}$$

Gaya Tumbukan kayu ditinjau bersama dengan gaya seret, dan tidak boleh diambil bersamaan dengan benda hanyutan.

Ganit

Akibat tumbukan kayu :

$$T_{EFL} = 1306 + 539,438 = 1845,438 \text{ kN} = 184543,8 \text{ Kg (menentukan)}$$

$$Y = 3.07 \text{ m}$$

Akibat gaya benda hanyutan :

$$T_{FF2} = 351 \text{ kN} = 35100 \text{ Kg}$$



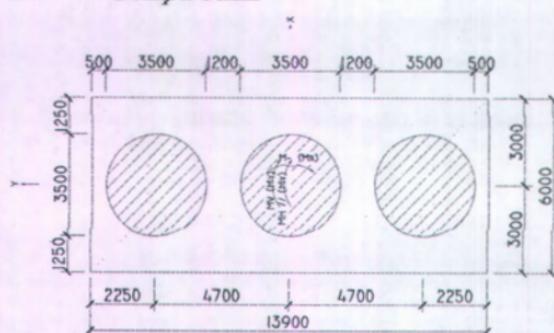
Gambar 7.22 Beban sejajar aliran sungai pada pilar

7.2.4 Kombinasi Pembebatan

- | | |
|-----------|----------------------------|
| Kombinasi | 1. $M + (H+K) + Ta$ |
| Kombinasi | 2. $M + Ta + F + W$ |
| Kombinasi | 3. Kombinasi 1 + R + F + W |
| Kombinasi | 4. $M + Tag + Gb$ |

dimana :

- | | |
|-----|------------------------------------|
| M | = Muatan mati |
| H | = Muatan hidup |
| Ta | = Tekanan tanah |
| Tag | = Tekanan tanah akibat gempa |
| W | = Muatan angin |
| R | = Gaya rem |
| F | = Gaya geser dari tumpuan bergerak |
| Gb | = Gempa bumi |



Gambar 7.23 Arah momen pada poer pilar jembatan

Asumsi tanda:

- Momen searah jarum jam (+)
- Momen berlawanan jarum jam (-)

I. Kombinasi I : $M + (H + K) + Ta$

a. Beban vertikal (V)

$$\begin{array}{l} \text{- Muatan mati (M)} \\ \quad \text{Bangunan atas} = 820646,4 \text{ Kg} \\ \quad \text{Bangunan bawah} = 828960 \text{ Kg} \\ \quad \text{Total M} = 1649606,4 \text{ Kg} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{- Muatan hidup (H)} = 427803,6 \text{ Kg} \\ = 427803,6 \text{ Kg} \end{array}$$

b. Beban horizontal tegak lurus sumbu jembatan

$$\begin{array}{l} \text{Tekanan akibat tumbukan kayu (Tef)} \\ = 184543,8 \text{ Kg} \\ = 184543,8 \text{ Kg} \end{array}$$

c. Momen terhadap titik G

$$\begin{array}{l} MV (\text{My}) = (427803,6 \times 15,5) = 6630955,8 \text{ kgm} \\ MH \perp (\text{My}) = (184543,8 \times 5,07) = 935637,07 \text{ kgm} \end{array}$$

2. Kombinasi II : $M + Ta + F + W$

a. Beban vertikal (V)

$$\text{Muatan mati (M)} = 1649606,4 \text{ Kg}$$

b. Beban horizontal sejajar sumbu jembatan

$$\begin{array}{l} \text{Gaya rem (F)} = 25000 \text{ Kg} \\ \text{Gaya geser memanjang (F)} = 262606,85 \text{ Kg} \\ = 287606,85 \text{ Kg} \end{array}$$

c. Beban horizontal tegak lurus sumbu jembatan

$$\begin{array}{l} \text{Tekanan akibat tumbukan kayu (Tef)} \\ = 184543,8 \text{ Kg} \\ \text{Muatan angin (W}_1\text{)} = 5759 \text{ Kg} \\ \text{Muatan angin (W}_2\text{)} = 4515 \text{ Kg} \\ W_{\text{tot}} = 194817,8 \text{ Kg} \end{array}$$

d. Momen terhadap titik G

$$\begin{array}{l} MH// (\text{My}) = (25000 \times 15,5) + (262606,85 \times 13,471) \\ = 3925076,88 \text{ kgm} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} MH \perp = (184543,8 \times 3,07) + (5759 \times 14,61) + (4515 \times 16,5) \\ = 725185,96 \text{ kgm} \end{array}$$

3. Kombinasi III : (Kombinasi I) + R + F + W

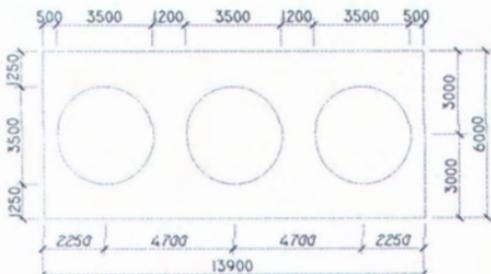
a. Beban vertikal (V)

- Muatan mati + hidup = 2077410 Kg
- b. **Beban horizontal sejajar sumbu jembatan**
- | | | |
|--------------------------|---|-----------------------|
| Gaya rem (F) | = | 25000 Kg |
| Gaya geser memanjang (F) | = | <u>262606,85 Kg</u> + |
| | | = 287606,85 Kg |
- c. **Beban horizontal tegak lurus sumbu jembatan**
- | | | |
|------------------------|---|------------------|
| Kombinasi 1 | = | 184543,8 Kg |
| Muatan angin (W_1) | = | 5759 Kg |
| Muatan angin (W_2) | = | <u>4515 Kg</u> + |
| W_{tot} | = | 194817,8 Kg |
- d. **Momen terhadap titik G**
- $$MV (My) = (427803,6 \times 15,5) = 6630955,8 \text{ kgm}$$
- $$MH// (My) = (25000 \times 15,5) + (262606,85 \times 13,471)$$
- $$= 3925076,88 \text{ kgm}$$
- $$MH \perp = (184543,8 \times 3,07) + (5759 \times 14,61) + (4515 \times 16,5)$$
- $$= 725185,96 \text{ kgm}$$
4. **Kombinasi IV : M + Tag + Gb**
- a. **Beban vertikal (V)**
- | | | |
|-----------------|---|--------------|
| Muatan mati (M) | = | 1649606,4 Kg |
|-----------------|---|--------------|
- b. **Beban horizontal sejajar sumbu jembatan**
- Beban akibat gempa
- | | | |
|-----------------------------------|---|----------------------|
| Beban mati jembatan (T_{EQ1}) | = | 106684,03 Kg |
| Beban pilar (T_{EQ2}) | = | <u>107764,8 Kg</u> + |
| Gb | = | 214448,83 Kg |
- c. **Momen terhadap titik G**
- $$MH// = (106684,03 \times 14,48) + (107764,8 \times 5,38)$$
- $$= 2124559,38 \text{ Kgm}$$

7.2.5 Perhitungan distribusi pondasi

Direncanakan pondasi sumuran dengan data sebagai berikut:

- Luas poer = $13,9 \times 6 \text{ m}$
- Jumlah pondasi sumuran = 3
- Diameter pondasi sumuran = 3,50 m
- Jarak seperti pada gambar 7.24



Gambar 7.24 Denah pondasi sumuran

$$X = 0 ; X^2 = 0$$

$$Y = 4,7 ; Y^2 = 22,09$$

$$\text{Beban vertikal: } P_0 = \frac{V}{n} \pm \frac{Mx \cdot Y}{\sum y^2} \pm \frac{My \cdot X}{\sum x^2}$$

Tabel 7.7 Kombinasi beban

Uraian Gaya	Kombinasi			
	1	2	3	4
Total gaya vertikal (V) (kg)	2077410	1649606,4	2077410	1649606,4
Total Momen (Mv) (My) (kgm)	6630955,8	0	6630955,8	0
Total Momen (Mh//) (My) (kg m)	0	3925076,88	3925076,88	2124559,38
Total Momen (Mh \perp) (Mx) (kg m)	935637,07	725185,96	725185,96	0
My = Mv + Mh//	6630955,8	3925076,88	10556032,68	2124559,38
Mx = Mh \perp	935637,07	725185,96	725185,96	0
Pmax (kg)	891541,72	704163,68	846764,88	692470
Pmin (kg)	493398,28	395573,91	538175,11	692470

Berdasarkan kombinasi pembebanan pada tabel 7.4 di atas, didapat pembebanan yang paling besar dengan kombinasi 1. Resumen pembebanan sebagai berikut:

- Beban vertikal (V) = 2077410 kg
- Beban horisontal
- Tegak lurus sumbu jembatan (Hv) = 184543,8 kg
- Momen arah x (Mx) = 6630955,8 kgm
- Momen arah y (My) My = 6630955,8 kgm

7.2.6 Perhitungan daya dukung pondasi sumuran

Untuk menghitung daya dukung pondasi sumuran, digunakan formula sebagai berikut :

- Pondasi bentuk lingkaran

$$qu = 1,2.c.Nc + w_{sa}DNq + 0,6.w_{sb}.r.N\gamma$$

..... BMS bagian 9 hal 9.15

dimana :

q_{ijin} = Daya dukung ijin γ = berat volume tanah

qu = Daya dukung ultimate r = jari-jari pondasi

c = kohesi tanah

q = $\gamma \cdot DF$

Nc , Nq , $N\gamma$ = Faktor daya dukung

..... BMS bagian 9 hal 9.15

w_{sa} = satuan berat tanah di atas pondasi

w_{sb} = satuan berat tanah di bawah pondasi

D = kedalaman dasar pondasi

SF = Angka Keamanan

(SF = 2 utk beban sementara ; SF = 3 utk beban tetap)

Daya dukung 1 (satu) buah pondasi sumuran dihitung berdasarkan daya dukung ujung saja (end bearing) karena bertumpu pada batuan. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 7.8 berikut :

Tabel 7.8 Daya dukung 1 (satu) buah pondasi sumuran

B m	DF m	c ton/m ²	\emptyset °	γ ton/m ³	q ton/m ²	Nc	Nq	N γ	qult ton/m ²	A m ²	Qult ton	Qijin (SF=2) ton	Qijin (SF=3) ton
3,5	1,0	0	35	2,08	2,1	46	33	34	143,35	9,621	1379,1	689,6	459,7
3,5	2,0	0	35	2,08	4,2	46	33	34	212,61	9,621	2045,5	1022,8	681,8
3,5	3,0	0	35	2,08	6,2	46	33	34	281,87	9,621	2711,9	1356,0	904,0
3,5	4,0	0	35	2,08	8,3	46	33	34	351,14	9,621	3378,3	1689,2	1126,1
3,5	5,0	0	35	2,08	10,4	46	33	34	420,40	9,621	4044,7	2022,4	1348,2
3,5	6,0	0	35	2,08	12,5	46	33	34	489,67	9,621	4711,1	2355,6	1570,4
3,5	7,0	0	35	2,08	14,6	46	33	34	558,93	9,621	5377,5	2688,8	1792,5
3,5	8,0	0	35	2,08	16,6	46	33	34	628,19	9,621	6043,9	3022,0	2014,6
3,5	9,0	0	35	2,08	18,7	46	33	34	697,46	9,621	6710,3	3355,2	2236,8
3,5	10,0	0	35	2,08	20,8	46	33	34	766,72	9,621	7376,7	3688,4	2458,9

Dari hasil perhitungan di atas maka diketahui :

Pmax P1 = 2077,410 ton < (3 x 904) = 2712 ton

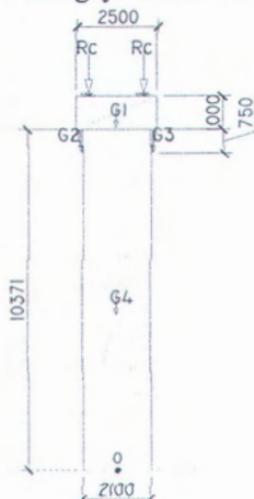
(Df = 3,0 m)ok !

Maka digunakan pondasi sumuran 3 buah Ø 3,5m dengan kedalaman 3,0 meter.

7.2.7 Perhitungan Penulangan Pilar

Perhitungan kolom abutment per 1 m

Beban vertikal (V) diambil dari gaya akibat beban mati dan hidup.



Gambar 7.25 Beban kolom pilar

a. Beban-beban yang bekerja di titik 0 :

$$\text{Aksi beban mati} = 1649606,4 \text{ kg} \quad X_0 = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Aksi beban hidup} = 427803,6 \text{ kg} \quad X_0 = 0,85 \text{ m}$$

Berat sendiri

$$G_1 = 2400x(1x2,2,5x10) = 20448 \text{ kg} \quad X_0 = 0$$

$$G_2 = 2400x(1/2x0,20x0,75x10) = 13728 \text{ kg} \quad X_0 = 1,12$$

$$G_3 = 2400x(1/2x0,20x0,75x10) = 1920 \text{ kg} \quad X_0 = 1,12$$

$$G_4 = 2400x(10,37x2,10x10) = 82080 \text{ kg} \quad X_0 = 0$$

Gaya horisontal

$$\text{Gaya rem (F)} = 25000 \text{ kg} \quad Y_0 = 13,50$$

$$\text{Gaya geser memanjang (F)} = 262606,85 \text{ kg} \quad Y_0 = 13,50$$

$$\text{Gaya gempa akibat struktur atas} = 106684,03 \text{ kg} \quad Y_0 = 12,48$$

$$\text{Gaya gempa akibat struktur bawah} = 107764,8 \text{ kg} \quad Y_0 = 3,38$$

Sehingga didapat reaksi akibat beban horizontal pada titik 0 sebagai berikut:

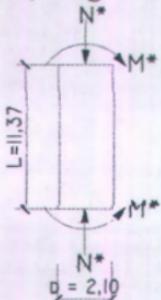
$$P_0 = 25000 + 262606,85 + 106684,03 + 107764,8$$

$$= 502055,68 \text{ kg } (\uparrow) (N^*)$$

$$N_0 = 1649606,4 + 427803,6 + 20448 + 13728 + 1920 + 82080 \\ = 2195586 \text{ kg } (\leftarrow)$$

Momen yang bekerja pada pangkal kolom

$$M_{I-I} = (25000 \times 13,5) + (262606,85 \times 13,5) + (106684,03 \times 12,48) \\ + (107764,8 \times 3,38) + (1649606,4 \times 0,85) - (1649606,4 \times 0,85) \\ + (427803,6 \times 0,85) + (13728 \times 1,12) - (13728 \times 1,12) \\ = 5941987,25 \text{ kgm}$$



Gambar 7.26 Gaya dan momen yang bekerja pada kolom pilar

Penulangan

Syarat kolom pendek yaitu $L/r \leq 22$

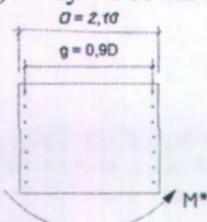
... (BDM.BMS volume 1 hal 5-112)

$$L = 11,37 \text{ m}$$

$$r = 0,25 \quad d = 0,25 \times 2,1 = 0,525$$

$$\frac{L}{r} = \frac{11,37}{0,525} = 21,65 \leq 22 \quad \dots \dots \dots \text{ (OK)}$$

$$f_{c'} = 25 \text{ MPa} \quad ; \quad f_y = 300 \text{ MPa} \quad ; \quad g = 0,9$$



Gambar 7.27 Kolom persegipanjang bertulang dua sisi(tampak atas)
(Sumber: BDM, BMS volume 1, Hal 5-129)

$$h = d = 2100 \text{ mm} \quad ; \quad b = 1000 \text{ mm}$$

$$\frac{K_R^C M_u}{Ag.d} = \frac{M^*}{bd^2} = \frac{0,75 \times 59419872500}{1000 \times 2100^2} = 1,01 \text{ Mpa}$$

$$\frac{K_R^C N_u}{Ag} = \frac{N^*}{bd} = \frac{0,75 \times 21955860}{1000 \times 2100} = 7,84 \text{ MPa}$$

Dari diagram interaksi $g = 0,9$ $f_c = 25 \text{ MPa}$ diperoleh :

$\rho = 0,00$ (gambar 5.19 (b) Bagan rencana kolom BDM, BMS hal 5-127)

Syarat tulangan kolom (BDM, BMS hal 5-117)

Maka dipakai luas tulangan kolom minimum $A_{sc} > 0,01 Ag$
.....(BMS, bagian 6, hal 6-90)

Maka dipakai $A_{sc} = \rho \times b \times d = 0,01 \times 1000 \times 2100 = 21000 \text{ mm}^2$

Dipasang tulangan 28 D32 (2 sap pada 2 sisi)

$$\rightarrow A_{sc} = 22518,94 \text{ mm}^2$$

Tulangan pembagi = $20\% \times A_{sc}$ pasang

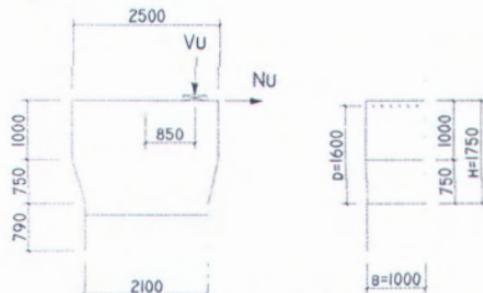
$$= 0,20 \times 22518,94 = 4503,79 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan DI6-I60 ($A_s = 4825,49 \text{ mm}^2$)

7.2.8 Penulangan konsol

$$f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 300 \text{ MPa}$$



Gambar 7.28 Gaya yang bekerja pada konsol

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 0,0047$$

$$\begin{aligned} 1. \quad V_{n1} &\leq 0,2 \cdot f_c \cdot b \cdot d \\ &\leq 0,2 \cdot 25 \cdot 1000 \cdot 1750 \\ &\leq 8750000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_{n1} = \frac{Vu(\text{reaksi padac})}{\phi}$$

$$V_{n1} = \frac{346235}{0,65} = 532669,23 \text{ kg} = 5326692,3 \text{ N}$$

$$V_{n1} < V_n \dots \text{o.k}$$

$$2. \text{ Avf} = \frac{Vn}{fy.\mu} = \frac{5326692,3}{300.1,4} = 1268,26 \text{ mm}^2$$

3. Tulangan Af yang dibutuhkan untuk menahan momen Mu adalah:

$$\begin{aligned} Mu &= 0,2 Vu + N_{UC} (h-d) \\ &= (0,2 \times 346235) + (0,2 \times 346235 (1,75 - 1,60)) \\ &= 79634,05 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\beta.b.d^2} = \frac{79634,05}{0,8 \times 1000 \times 1600^2} = 3,8 \times 10^{-5}$$

$$m = \frac{fy}{0,85.f_c} = \frac{300}{0,85.25} = 14,12$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{14,12} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,12 \times 3,8 \times 10^{-5}}{300}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 1,83 \times 10^{-6} < \rho_{min} = 0,0047$$

$$As = 0,0047 \times 1000 \times 1600 = 7520 \text{ mm}^2$$

4. Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan gaya tarik Nuc adalah:

$$An = \frac{N_{UC}}{\phi.fy} = \frac{69247}{0,65 \times 300} = 355,11 \text{ mm}^2$$

Tulangan utama total As adalah nilai terbesar dari :

$$1. As = As + An = 7520 + 355,11 = 7875,11 \text{ mm}^2$$

$$2. As = \left(\frac{2A_{yy}}{3} + A_n \right) = \left(\frac{2 \times 1268,26}{3} + 355,11 \right) = 1200,62 \text{ mm}^2$$

$$3. As_{min} = 7520 \text{ mm}^2$$

Maka tulangan utama dipakai As = 7875,11 mm²

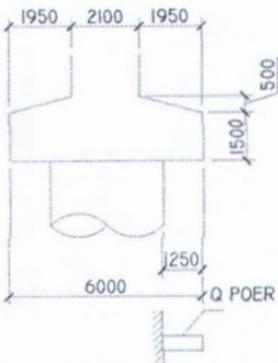
Dipasang tulangan D32-100, As = 8042,48 mm²

$$A_h = As / 2 = 8042/2 = 4021,24 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 7 D 28, As = 4310,26 mm².

7.2.9 Penulangan Poer

Pembebanan



Gambar 7.29 Gaya pada poer

$$q_{poer} = 1,25 \times 1,5 \times 2400 = 4500 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = \frac{1}{2} \times 4500 \times 1,25^2 = 3515,62 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\varphi b d^2} = \frac{3515,62 \times 10000}{0,8 \times 1000 \times (1500 - 55)^2} = 0,021 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{300}{0,85 \times 25} = 15,059$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{300} = 0,0047$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \times f_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{300} \times \frac{600}{600 + 300} = 0,037$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,037 = 0,028$$

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

$$= \frac{1}{15,059} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,059 \times 0,021}{300}} \right) = 7,02 \times 10^{-5}$$

karena $\rho_{perlu} < \rho_{min}$ maka dipakai ρ_{min}

$$A_{st} = 0,0047 \times 1000 \times 1195 = 5616,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan D32-140 ($A_s = 5629,73 \text{ mm}^2$)

$$\text{Tulangan pembagi} = 20\% \times 5629,73 = 1126 \text{ mm}^2$$

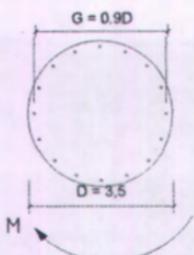
Dipasang tulangan D16-160 ($A_s = 1206,37 \text{ mm}^2$)

7.2.10 Penulangan Pondasi Sumuran

Dari perhitungan pada kolom didapat gaya-gaya yang bekerja pada 1 pondasi sumuran:

$$N^* = 502055,68 / 3 = 167351,89 \text{ kg}$$

$$M^* = 5941987,25 / 3 = 1980662,42 \text{ kgm}$$



Gambar 7.30 Kolom bulat (tampak atas)
(Sumber: BDM, BMS volume 1, Hal 5-143)

$$D = 3500 \text{ mm}$$

$$\frac{K_R^C M_u}{Ag \cdot D} = \frac{0,75 \times 1980662,42 \times 10000}{(\pi / 4 \times 3500^2) \times 3500} = 0,44 \text{ MPa}$$

$$\frac{K_R^C N_u}{Ag} = \frac{0,75 \times 1673518,9}{(\pi / 4 \times 3500^2)} = 0,13$$

Dari diagram interaksi $g = 0,9$ fc 25 MPa diperoleh :

$\rho = 0,001$ (gambar 5.19 (b) Bagan rencana kolom BDM, BMS hal 5-143)

Syarat tulangan kolom (BDM, BMS hal 5-117)

Luas Tulangan total kolom (Asc) harus sebesar:

$$0,01 Ag < Asc < 0,04 Ag$$

Dipakai $\rho = 0,01$

$$Asc = 0,01 \times \pi / 4 \times 3500^2 = 96211,28 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan 120 D32 \rightarrow $Asc = 32169,91 \text{ mm}^2$

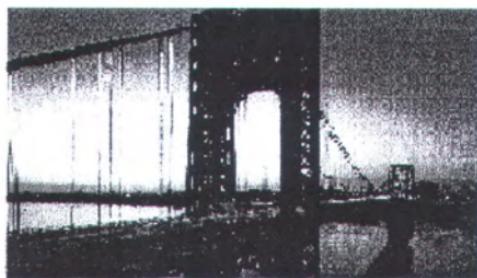
Pengikat lateral sesuai tabel 6.17 (BMS bagian 6, hal 6-92)

Dipakai D 12 mm dengan jarak terkecil dari:

$$a. 15 d_b = 15 \times 32 = 480 \text{ mm}$$

$$b. 300 \text{ mm}$$

Maka pengikat lateral (tulangan geser pakai) = Ø12 -300 mm



8

KESIMPULAN

Pada tugas akhir yang telah disusun dengan judul “ Modifikasi Perencanaan Jembatan Modangan di Kabupaten Malang dengan Struktur Balok Beton Pratekan ” ini, dapat diambil kesimpulan antara lain :

1. Bentang jembatan direncanakan sepanjang 70 m dibagi menjadi 2 bentang yaitu masing-masing sepanjang 35 meter. Setiap bentang mempunyai lebar yang sama, yaitu 10,00 m.
2. Dengan lebar 10,00 m maka direncanakan menggunakan 6 buah balok utama dengan jarak as ke as balok utama sebesar 1,70 m.
3. Tiang sandaran dari beton bertulang dengan tinggi 1,25 m dan dimensi 20/15 cm, trotoar selebar 1,20 m dibuat dari Kerb sebagai pembatas tepi dan ditengahnya di isi pasir padat lalu ditutup dengan paving block, pelat lantai kendaraan dari beton bertulang dengan tebal total 20 cm terdiri dari 9,5 cm plat beton pracetak dan 10,5 cm plat beton cast in situ, dan untuk balok melintang precast direncanakan sebagai pengaku dengan jarak antar diafragma 5 m.
4. Balok utama menggunakan balok pratekan yang mengacu pada standard AASHTO dengan tinggi balok 1,829 m untuk bentang 35 m.
5. Perhitungan statika menggunakan perhitungan statika tertentu untuk berat girder dan balok diafragma, dan menggunakan perhitungan statika tak tentu pada beban mati plat, aspal dan hidup lalu lintas, yang juga dapat disebut dengan kesinambungan sebagian.
6. Gaya pratekan awal yang diberikan ke balok utama adalah sebesar 1000000kg, setelah perhitungan kehilangan gaya prategang gaya awal tersebut mengalami kehilangan gaya sebesar 20 %.

7. Kabel prategang yang dipakai adalah Uncoated seven wire stress relieved strand grade 270 ASTM-A416 diameter 15,70 mm dengan jumlah total 56 strand yang terbagi dalam 3 tendon.
8. Lendutan total yang terjadi pada balok adalah sebesar 91,48 mm. Lendutan tersebut masih dibawah lendutan ijin sebesar 97,22 mm.
9. Abutment pangkal jembatan direncanakan dengan ketinggian 5,13 m, pier/pilar direncanakan dengan tinggi 15,75 m yang diukur dari permukaan lantai kendaraan sampai alas poer.
10. Untuk Pondasi pada Abutment menggunakan pondasi sumuran Ø 200 cm dengan kedalaman 7 m dan pada pilar menggunakan pondasi sumuran Ø 350 cm dengan kedalaman 3,0 m.

DAFTAR PUSTAKA

- 1. Dirjen Bina Marga, Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System), Departemen Pekerjaan Umum, 1992.
- 2. Departemen Pekerjaan Umum, Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971), Departemen Pekerjaan Umum, 1971.
- 3. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan dan Gedung, SNI-03-2847-2002.
- 4. Dirjen Bina Marga, Peraturan Pembebaran Jembatan Jalan Raya, Departemen Pekerjaan Umum, 1986.
- 5. Lyn, T.Y., Burns, Ned H., Desain Struktur Beton Prategang, Edisi 3 jilid 1 & 2 Interaksara, Jakarta, 2000.
- 6. Nawy Edward G., Beton Prategang, Edisi 3 jilid 1 & 2, Erlangga, Jakarta, 2001.
- 7. Wang, Chu-Kia., Salmon, Charles G., Hariandja, Binsar., Desain Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta, 1989.
- 8. W.C. Vis., Kusuma Gideon., Dasar-dasar perencanaan beton bertulang CUR edisi 2, seri 1, Erlangga, Jakarta, 1993.
- 9. Sunggono K. H, Buku Teknik Sipil, Nova, Bandung 1979.
- 10. Djoko Irawan, Modul kuliah Struktur Jembatan.
- 11. Supani, Modul kuliah Struktur Beton Prategang.
- 12. <http://www.VSL.com/>
- 13. <http://www.PCI.com/>
- 14. Anna Rosytha, Tugas Akhir, Perencanaan Jembatan Grobogan di Kabupaten Lumajang Dengan Struktur Balok Beton Pratekan, Surabaya, 2006.
- 15. Catatan-catatan kuliah.

LAMPIRAN A

PENULANGAN GESER

Tabel Perhitungan Nilai Vu/phi pada balok bentang 35 m

X	V Gelagar (kN)	V Blk Melintang (kN)	V P.Iantai + aspal + muatan skunder (kN)	V Total beban hidup (kN)	Vd (kN)	VL (kN)	Vu = Vd+VL (kN)	Vu/phi (kN)
0	-405,8316809	34,82018144	-145,9625725	-414,9448121	-586,614	-414,945	-1592,488	-1873,516
0,5	-385,2824328	-34,5644334	-140,4028244	-401,633064	-560,250	-401,633	-1531,591	-1801,871
1	-364,7331848	-34,30868536	-134,8430764	-388,321316	-533,885	-388,321	-1470,693	-1730,227
1,5	-344,1839373	-34,05293732	-129,2833284	-375,09568	-507,520	-375,010	-1409,795	-1658,583
2	-333,4281893	-33,79718928	-123,7235803	-361,6978199	-490,949	-361,698	-1361,629	-1601,917
2,5	-322,6724413	-33,54144124	-118,1638323	-348,3860719	-474,378	-348,386	-1313,463	-1545,251
3	-311,9166932	-33,28569319	-112,6040842	-335,0743238	-457,806	-335,074	-1265,297	-1488,585
3,5	-301,1609452	-33,02994515	-107,0443362	-321,7625758	-441,235	-321,763	-1217,131	-1431,919
4	-290,4051971	-32,77419711	-101,4845881	-308,4508277	-424,664	-308,451	-1168,965	-1375,253
4,5	-279,6494491	-32,51844907	-95,92484011	-295,1390797	-408,093	-295,139	-1120,799	-1318,587
5	-268,8937011	-32,26270103	-90,36509207	-281,8273317	-391,521	-281,827	-1072,633	-1261,921
5,5	-258,137953	-23,38395299	-84,80534403	-268,5155836	-366,327	-268,516	-1013,257	-1192,067
6	-247,382205	-23,12820495	-79,24559598	-255,2038356	-349,756	-255,204	-965,090	-1135,401
6,5	-236,6264569	-22,87245691	-73,68584794	-241,8920875	-333,185	-241,892	-916,924	-1078,735
7	-225,8707089	-22,61670886	-68,1260999	-228,5803395	-316,614	-228,580	-868,758	-1022,069
7,5	-215,1149609	-22,36096082	-62,56635186	-215,2685915	-300,042	-215,269	-820,592	-965,403
8	-204,3592128	-22,10521278	-57,00660382	-201,9568434	-283,471	-201,957	-772,426	-908,737
8,5	-193,6034648	-21,84946474	-51,44685578	-188,6450954	-266,900	-188,645	-724,260	-852,070
9	-182,8477167	-21,5937167	-45,88710774	-175,3333473	-250,329	-175,333	-676,094	-795,404
9,5	-172,0919687	-21,33796866	-40,3273597	-162,0215993	-233,757	-162,022	-627,928	-738,738
10	-161,3362206	-21,06222062	-34,76761166	-148,7098513	-217,186	-148,710	-579,752	-682,072
10,5	-150,5804726	-12,20347258	-29,20786361	-135,3981032	-191,992	-135,398	-520,386	-612,218
11	-139,8247248	-11,94772454	-23,64811557	-122,0863552	-175,421	-122,096	-472,219	-555,552
11,5	-129,0689765	-11,69197649	-18,08836753	-108,7746071	-158,849	-108,775	-424,053	-498,886
12	-118,3132285	-11,43622845	-12,52861949	-95,46285909	-142,278	-95,463	-375,887	-442,220
12,5	-107,5574804	-11,18048041	-6,9687145	-82,15111105	-125,707	-82,151	-327,721	-385,554
13	-96,8017324	-10,92473237	-1,409123408	-68,839363	-109,136	-68,839	-279,555	-328,888
13,5	-86,04593436	-10,66898433	4,150624633	-55,52761496	-92,564	-55,528	-231,389	-272,222
14	-75,29023632	-10,41323629	9,710372674	-42,21586692	-75,993	-42,216	-183,223	-215,556
14,5	-64,53448828	-10,15748825	15,27012072	-28,90411888	-59,422	-28,904	-135,057	-158,890
15	-53,77874024	-9,901740206	20,82986876	-15,59237084	-42,851	-15,592	-86,891	-102,224
15,5	-43,02299219	-1,022992165	26,3896168	-2,280622799	-17,656	-2,281	-27,515	-32,370
16	-32,26724415	-0,767244124	31,94936484	11,03112524	-1,085	11,031	20,652	24,296
16,5	-21,51149611	-0,511496082	37,50911288	24,34287328	15,486	24,343	68,818	80,962
17	-10,75574807	-0,255748041	43,06886092	37,65462132	32,057	37,655	116,984	137,628
17,5	-2,93803E-08	-2,66454E-14	48,62860896	50,96636937	48,629	50,966	165,150	194,294
18	10,75574801	0,255748041	54,188357	260,4063694	65,200	260,406	605,573	712,438
18,5	21,51149605	0,511496082	59,74810504	273,7181174	81,771	273,718	653,739	769,104
19	32,26724409	0,767244124	65,30785309	287,0298654	98,342	287,030	701,905	825,770
19,5	43,02299214	1,022992165	70,86760113	300,3416135	114,914	300,342	750,071	882,436
20	53,77874018	9,901740206	76,42734917	313,6533615	140,108	313,653	809,447	952,290
20,5	64,53448822	10,15748825	81,98709721	326,9651096	156,679	326,965	857,613	1008,956
21	75,29023626	10,41323629	87,54684525	340,2768576	173,250	340,277	905,779	1065,623
21,5	86,0459843	10,66898433	93,10659329	353,5886057	189,822	353,589	953,945	1122,289
22	96,80173234	10,92473237	98,66634133	366,9003537	206,393	366,900	1002,111	1178,955
22,5	107,5574804	11,18048041	104,2260894	380,2121017	222,964	380,212	1050,277	1235,621
23	118,3132284	11,43622845	109,7858374	393,5238498	239,535	393,524	1098,444	1292,287
23,5	129,0689765	11,69197649	115,3455855	406,8355978	256,107	406,836	1146,610	1348,953
24	139,8247245	11,94772454	120,9053335	420,1473459	272,678	420,147	1194,776	1405,619
24,5	150,5804725	12,20347258	126,4650815	433,4590939	289,249	433,459	1242,942	1462,285
25	161,3362206	21,06222062	132,0248296	446,7708419	314,443	446,771	1302,318	1532,139
25,5	172,0919666	21,33796866	137,5845776	460,08259	331,015	460,083	1350,484	1588,805
26	182,8477167	21,5937167	143,1443257	473,394338	347,586	473,394	1398,650	1645,471
26,5	193,6034647	21,84946474	148,7040737	486,7060861	364,157	486,706	1446,816	1702,137
27	204,3591228	22,10521278	154,2638217	500,0178341	380,728	500,018	1494,982	1758,803
27,5	215,1149608	22,36096082	159,8235698	513,3295821	397,299	513,330	1543,149	1815,469
28	225,8707088	22,61670886	165,3833178	526,6413302	413,871	526,641	1591,315	1872,135
28,5	236,6264569	22,87245691	170,9430659	539,9530782	430,442	539,953	1639,481	1928,801
29	247,3822049	23,12820495	176,5028139	553,2648263	447,013	553,265	1687,647	1985,467
29,5	258,137953	23,38395299	182,062562	566,5765743	463,584	566,577	1735,813	2042,133
30	268,893701	23,63970103	187,62231	579,8883224	480,156	579,888	1783,979	2098,799
30,5	279,649449	32,51844907	193,182058	593,2000704	505,350	593,200	1843,355	2168,653
31	290,4051971	32,77419711	198,7418061	606,5118184	521,921	606,512	1891,521	2225,319
31,5	301,1609451	33,02994515	204,3015541	619,8235665	538,492	619,824	1939,687	2281,985
32	311,9166932	33,28569319	209,8613022	633,1353145	555,064	633,135	1987,853	2338,651
32,5	322,6724412	33,54144124	215,4210502	646,4470626	571,635	646,447	2036,020	2395,317
33	333,4281892	33,79718928	220,9807982	659,7588106	588,206	659,759	2084,186	2451,983
33,5	344,1839374	34,05293732	226,5405463	673,0705586	604,777	673,071	2132,352	2508,649
34	364,7331854	34,30868536	232,1002943	686,3823067	631,142	686,382	2193,249	2580,293
34,5	385,2824335	34,5644334	237,6600424	699,6940547	657,507	699,694	2254,147	2651,938
35	405,8316815	34,82018144	243,2197904	713,0058028	683,872	713,006	2315,045	2723,582

Keterangan :

Vu = Vd + VL (Pada perhitungan pembebanan sudah dikalikan load factor)

Vn = Vu/phi → phi = 0,85

Tabel Perhitungan Nilai V_{cl} dan V_{cw} Pada Balok Bentang 35 m

X m	V_g Kg	VL Kg	V_u^* Kg	$V_u = V_u^* - V_p$ Kg	bw cm	dpc cm	$bw \cdot dpc$ cm^2	e cm	ka cm	M_{plat}	M_{diag}	fd	fr	P'	V_p kg	M_d Kg/cm	$M_{gelagar}$	M_l Kg/cm	M^* Kg/cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(5)	(7)	(8)				(9)		(10)	(11)	(12)		(13)	(14)
0	58661,4	41494,5	100155,925	100247,39	71,1	182,9	13004,2	-0,67	30,748	1001559247	1E+09	0	46,96	-0,03518	-91,4634	0	1E+13	0	0
1,5	50752,0	37501,0	88252,977	87690,21	71,1	182,9	13004,2	9,367	30,748	882529771	8,8E+08	27727862	46,96	0,489361	562,76	8827057141618	8,83E+12	5924658	8827063066276
2	49094,9	36169,8	85264,678	84496,89	71,1	182,9	13004,2	13,36	47,186	852646778,8	8,4E+08	26788973	46,96	0,697992	767,79	8528165403723	8,53E+12	7766426	8528173170149
5	39152,1	28182,7	67334,883	66029,46	71,1	182,9	13004,2	31,23	47,186	673348825,8	6,6E+08	21155659	46,96	1,631782	1305,43	6734821901586	6,73E+12	17419304	6734839320890
5,5	36632,7	26851,6	63484,283	62176,72	71,1	182,9	13004,2	33,37	47,186	634842833,7	6,2E+08	19945854	46,96	1,743412	1307,56	6349684946621	6,35E+12	18795161	6349703741782
6	34975,6	25520,4	60495,984	59187,46	71,1	182,9	13004,2	35,78	47,186	604959841,5	5,9E+08	19006971	46,96	1,869322	1308,53	6050795249325	6,05E+12	20104459	6050815353784
16	108,5	1103,1	1211,625	2182,60	71,1	182,9	13004,2	61,95	47,186	12116248,68	2,2E+07	380706,49	46,96	3,236571	-970,97	121196429011	1,21E+11	32313095	121228742106
16,5	1548,6	2434,3	3982,899	5120,21	71,1	182,9	13004,2	62,2	47,186	39828993,97	5,1E+07	1251408,3	46,96	3,249459	-1137,31	398380970782	3,98E+11	32224660	398413195442
17	3205,7	3765,5	6971,199	8274,12	71,1	182,9	13004,2	62,35	47,186	69711986,13	8,3E+07	2190296,3	46,96	3,257295	-1302,92	697272314489	6,97E+11	32069666	697304384156
17,5	4862,9	5096,6	9959,498	11426,46	71,1	182,9	13004,2	62,4	47,186	99594978,3	1,1E+08	3129184,3	46,96	3,259907	-1466,96	996163642523	9,96E+11	31848114	996195490637
18	6520,0	26040,6	32560,622	34189,27	71,1	182,9	13004,2	62,35	47,186	325606222,4	3,4E+08	10230154	46,96	3,257295	-1628,65	3256729723140	3,26E+12	30512803	3256760235942
18,5	8177,1	27371,8	35548,921	37336,12	71,1	182,9	13004,2	62,2	47,186	355489214,6	3,7E+08	11169042	46,96	3,249459	-1787,20	3555620996316	3,55E+12	29110933	3555650107249
19	9834,2	28703,0	38537,221	40479,16	71,1	182,9	13004,2	61,95	47,186	385372206,8	4E+08	12107929	46,96	3,236571	-1941,94	3854512231355	3,85E+12	27642504	3854539873859
21	17325,0	34027,7	51352,718	53859,08	71,1	182,9	13004,2	59,97	47,186	513527175,4	5,4E+08	16134401	46,96	3,132952	-2506,36	5136323872071	5,14E+12	21103202	5136344975272
22	20639,3	36690,0	57329,316	60076,09	71,1	182,9	13004,2	58,42	47,186	573293159,7	6E+08	18012174	46,96	3,051973	-2746,78	5734105651469	5,73E+12	17434198	5734123085668
24,5	28924,9	43345,9	72270,812	75433,31	71,1	182,9	13004,2	52,64	47,186	722708120,6	7,5E+08	22706601	46,96	2,749997	-3162,50	7228558246840	7,23E+12	7096911	7228565343751
25	31444,3	44677,1	76121,411	79308,77	71,1	182,9	13004,2	50,84	47,186	761214112,7	7,9E+08	23916408	46,96	2,656131	-3187,36	7613695429070	7,61E+12	4829778	7613700258848
33,5	60477,7	67307,1	127784,798	128787,99	71,1	182,9	13004,2	9,367	47,186	1277847980	1,3E+09	40148270	46,96	0,489361	-1003,19	12781045524107	1,28E+13	43894980	12781089419087
34	63114,2	68638,2	131752,447	132475,46	71,1	182,9	13004,2	6,59	30,748	1317524472	1,3E+09	41394842	46,96	0,344294	-723,02	13177886997018	1,32E+13	47360171	13177934357189
34,5	65750,7	69969,4	135720,096	136059,32	71,1	182,9	13004,2	3,02	30,748	1357200964	1,4E+09	42641411	46,96	0,15778	-339,23	13574727433739	1,36E+13	50891921	13574778325660
35	68387,2	71300,6	139687,746	139610,35	71,1	182,9	13004,2	-0,67	30,748	1396877456	1,4E+09	43887979	46,96	-0,03518	77,39	13971567542188	1,4E+13	54490229	13971622032418

Keterangan :

- (2) $V_g = V(Berat Sendiri Gelagar + Lantai Kendaraan + Diapragma)$ dari Ouput SAP 2000
- (3) $VI = VL$ beban hidup (kondisi terburuk) dari Ouput SAP 2000
- (4) $V^* = 1,3 Vd + 2 VI$ $Vd = Momen akibat beban mati$, $VI = Momen beban hidup$
- (9) $fd = Md/Wb$
- (10) $P' = (0,8*F*e)/L^2$
- (14) $Vp = P'(0,5L-X)$ L = bentang Parabola, $P' = (0,8*F*e)/L^2$
- (13) $Md = M(Berat sendiri Gelagar + Lantai Kendaraan + Diapragma)$
- (14) $M^* = 1,3 Md + 2 ML$ $Md = Momen akibat beban mati$, $ML = Momen beban hidup$

<i>X</i> <i>m</i>	<i>Mg</i> <i>Kgcm</i>	<i>Mcr</i> <i>Kgcm</i>	<i>Vcl</i> <i>Kg</i>	<i>Vcw</i> <i>Kg</i>	<i>Vc</i> <i>Kg</i>	<i>Vn</i> <i>Kg</i>	<i>Vs</i> <i>Kg</i>	<i>Smin</i> <i>Vc > Vn</i>	<i>S</i> <i>cm'</i>	<i>Sengkang</i> <i>dipakai</i>
(1)	(15)	(16)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)
0,00	-914634	39008447,750	63.023,18	874.666,49	63.023,18	117.938,10	54914,92	8,61	16,733	Ø10 - 150
1,50	5627646	-8827010101170,060	55.113,76	875.320,72	55.113,76	103.164,96	48051,20	8,61	19,123	Ø10 - 150
2,00	7677910	-8528102018208,080	53.456,63	875.525,75	53.456,63	99.408,10	45951,47	8,61	19,997	Ø10 - 150
5,00	1,3E+07	-6734744217404,880	43.513,89	876.063,38	43.513,89	77.681,71	34167,83	8,61	26,893	Ø10 - 200
5,50	1,3E+07	-6349605553106,840	40.994,46	876.065,52	40.994,46	73.149,09	32154,62	8,61	28,577	Ø10 - 200
6,00	1,3E+07	-6050713927810,170	39.337,34	876.066,48	39.337,34	69.632,30	30294,97	8,61	30,331	Ø10 - 300
16,00	-9709714	-121094171496,642	4.470,25	873.786,99	4.470,25	2.567,76	-1902,49	8,61	-482,993	Ø10 - 300
16,50	-1,1E+07	-398278515934,070	5.910,35	873.620,65	5.910,35	6.023,78	113,43	8,61	8101,202	Ø10 - 300
17,00	-1,3E+07	-697169739641,631	7.567,47	873.455,04	7.567,47	9.734,25	2166,78	8,61	424,081	Ø10 - 300
17,50	-1,5E+07	-996061027675,724	9.224,60	873.291,00	9.224,60	13.442,89	4218,29	8,61	217,835	Ø10 - 300
18,00	-1,6E+07	-3256627148291,770	10.881,72	873.129,31	10.881,72	40.222,67	29340,95	8,61	31,318	Ø10 - 300
18,50	-1,8E+07	-3555518541468,720	12.538,85	872.970,75	12.538,85	43.924,85	31386,00	8,61	29,277	Ø10 - 200
19,00	-1,9E+07	-3854409973840,230	14.195,97	872.816,01	14.195,97	47.622,55	33426,57	8,61	27,490	Ø10 - 200
21,00	-2,5E+07	-5136223201222,850	21.686,77	872.251,59	21.686,77	63.363,62	41676,85	8,61	22,048	Ø10 - 200
22,00	-2,7E+07	-5734006220621,650	25.001,02	872.011,18	25.001,02	70.677,75	45676,74	8,61	20,117	Ø10 - 200
24,50	-3,2E+07	-7228463439992,100	33.286,64	871.595,46	33.286,64	88.745,07	55458,43	8,61	16,569	Ø10 - 150
25,00	-3,2E+07	-7613602059555,440	35.806,07	871.570,60	35.806,07	93.304,43	57498,37	8,61	15,981	Ø10 - 100
33,50	-1E+07	-12780985333258,800	64.839,48	873.754,77	64.839,48	151.515,28	86675,80	8,61	10,601	Ø10 - 100
34,00	-7230171	-13177842177903,800	67.475,95	874.034,94	67.475,95	155.853,49	88377,53	8,61	10,397	Ø10 - 100
34,50	-3392261	-13574685470624,900	70.112,43	874.418,73	70.112,43	160.069,79	89957,36	8,61	10,215	Ø10 - 100
35,00	773921	-13971528533740,700	72.748,90	874.835,35	72.748,90	164.247,47	91498,57	8,61	10,043	Ø10 - 100

Keterangan :

$$(16) \quad Mcr = F.(e + ka) + (fr-fd).wb \rightarrow F = 800000 \text{ Kg} \rightarrow fr = 46,96 \text{ Kg/cm}^2$$

$$(18) \quad Vci = 0.05 \cdot bw \cdot dpc \cdot \sqrt{fc'} + Vg + (Vl + Mcr / Mmax)$$

$$(19) \quad Vcw = (0.3 \sqrt{fc'} + fpc) bw \cdot dpc + Vp$$

(20) *Vc* adalah nilai terkecil dari *Vci* dan *Vcw*

$$(22) \quad Vs = Vn - Vc$$

Vc/2 < Vn < Vc Tulangan geser tidak diperlukan (gunakan sengkang minimum)

$$(23) \quad Smin = (Av^t \cdot Smin) = (Av^t \cdot 3fy)/bw \quad \text{tul diameter 10 mm (As = 157 mm}^2\text{)}$$

$$(24) \quad S = (Av \cdot fy \cdot D) / Vs \rightarrow Av = 2 \times 0.25 \times p \times 1^2 = 1.57 \text{ cm}^2 \rightarrow fy = 3200 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow d = 182,9 \text{ cm}$$

Tulangan memanjang minimum = 0,25 % x *Ac*

1. Pada ujung bentang = 0,0025 x 1352929 = 3382,322 mm² ® Dipasang Tulangan 12 D19 (*As* = 3402,34 mm²)

2. Pada tengah bentang = 0,0025 x 700000 = 1750 mm² ® Dipasang Tulangan 7 D 19 (*As* = 1984,7 mm²)



LAMPIRAN B

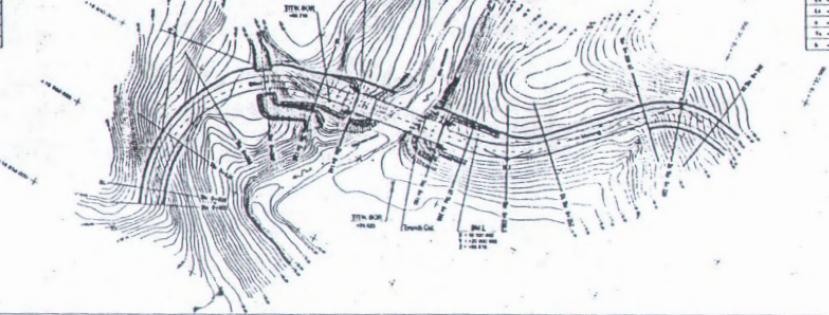
DATA PERENCANAAN

Pada kenyataannya dari pemboran WD IA dan WD IIIB, lapisan penutup diatas batuan pondasi yang keras terdiri campuran pasir + kerikil + tanah ("non cohesive soil"), sehingga parameter tanah diestimasi secara empiris sebagai " Well Graded Gravels, Gravels Sand Mixture + GW), maka menurut Canadian Foundation Engineering Manual Part I (Th 1978) adalah :

- Wet density (γ) = 2,080 ton/m³
- Cohesion (c) = 0 kg/cm²
- Internal friction angle (ϕ) = 35°

Hasil-hasil pengujian disajikan dalam bentuk Summary (ringkasan-ringkasan data) seperti pada lampiran.

$x = 42$	m
$y = 83$	%
$T_0 = 1.30 \text{ Hz}$	
$\theta = 110^\circ$	m



Δ	20 m	L_0	10 m
α	0.3 %	σ	0.1 %
ΔL_{eff}	3.016 m	T_0	30.748 s
Δt	1.100 s	δ	1.004 m

BAGIAN PHOK

PERENCANAAN SUPERVISI

JALAN DAN KEMERDEKAAN

LINTAS SEJATAN MASA TEGAR

PETER JANIN FLORAS

PERENCANAAN TEKNIKS JEMBATAN

PART-1

JEMBATAN MOOANGAN.

RUAS : PANGGUNGWARU - BATAS BUTAR

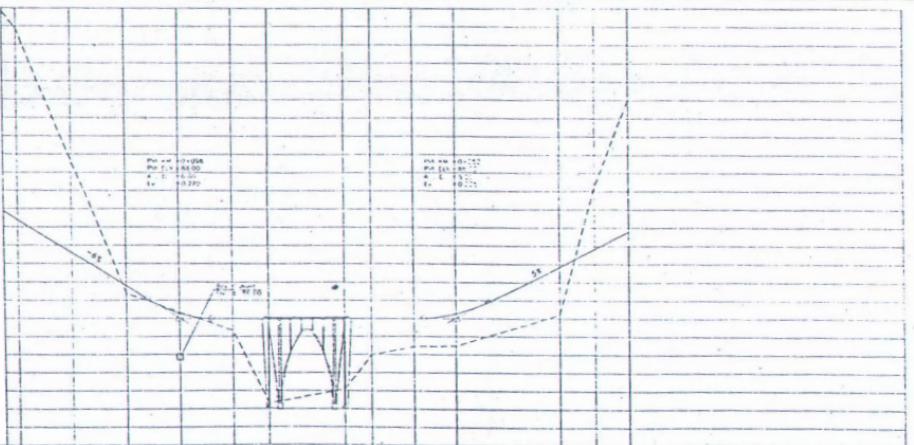
STA 2-500

第10章 Java的线程API

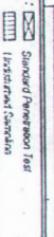


KOPERASI BMT KESIHATAN
DAMAI PUSAT KEMERIAH

DEPARSUH	TANGGAL	TANDA TANGAN
ASUNG C.S		<i>[Signature]</i>
NO. SPESIAL	DEPARSUH	
0. ZAHRA / LIAK BRIDGE EN-DEER		<i>[Signature]</i>
MANAJER		
<u>E. TUSYENAWATI</u> TEAM LEADER		<i>[Signature]</i>
0. PENGARAH		
0. YUDI PRAMONO Telp. 318-1111		<i>[Signature]</i>
WAKIL PENGARAH DILAKUKAN PADA:		
KEARIFAN LOKAL DAN KUTUBERAN		<i>[Signature]</i>
ASUNG GUNUNG		
DEPARSUH DILAKUKAN BERWAKTU:	<p style="text-align: center;">K. Mingguan K. Bulanan K. Setiap 15 hari K. Setiap 1 bulan K. Setiap 1 minggu K. Setiap 1 tahun</p>	
NO. SPESIAL	DEPARSUH	
	08	56



KM / STA	ELV	HRZ DZG
AS - LIMA	-0.000	-0.000
AS - PECUASCA	-0.000	-0.000

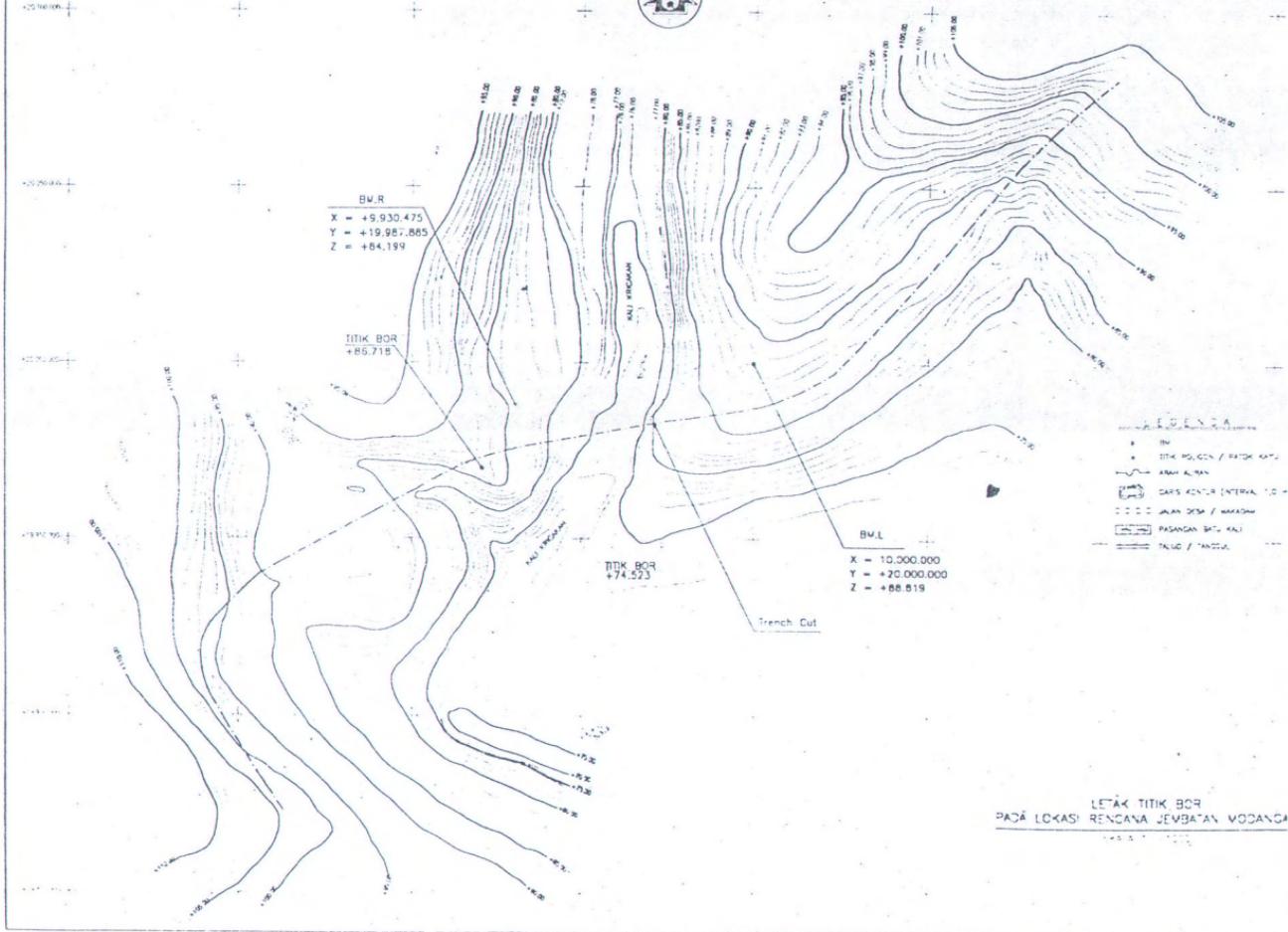


DESKRIPSI TEHING SUNGAI
SANDARAN KIRI - JEMBATAN MONDANGAN
DONOMULYO - MALANG

Tanggal : 12 Juli 2003

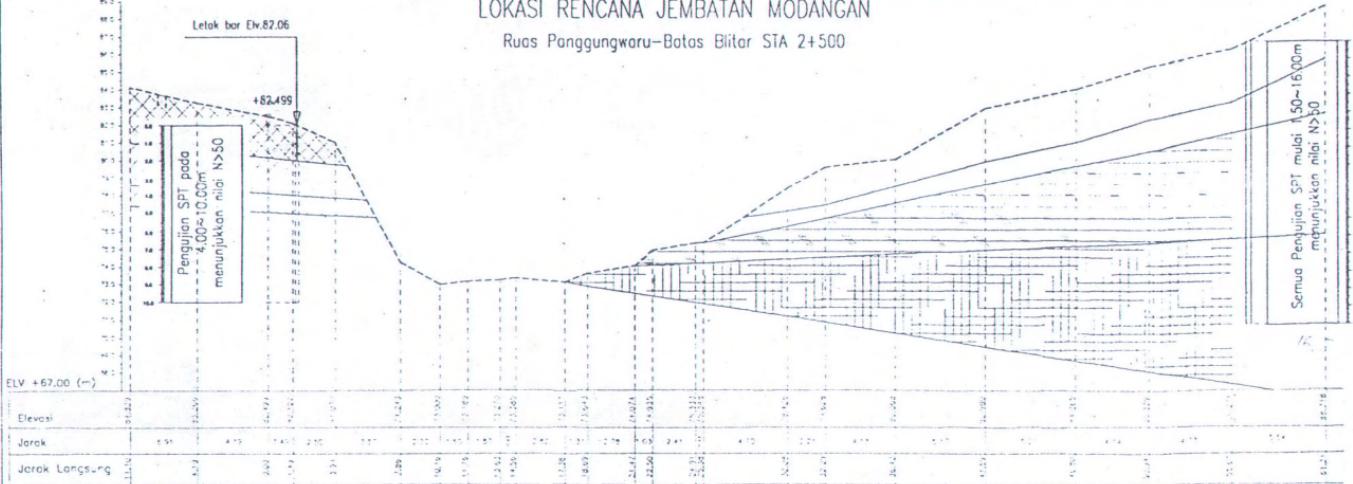
Oleh : Triwibowo B.

Kedalaman (m)	Simbol	Deskripsi	Keterangan
1		0.00 - 2.00 m : Clay-gravel, kering, low plasticity, lepas, lunak	
2		2.00 - 4.00 m : Decomposed sampai highly weathered basalt, dense, mudah diremas, kering, fragmental	
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10		=End of Description=	
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			



LOKASI RENCANA JEMBATAN MODANGAN

Ruas Panggungwaru-Batas Blitar STA 2+500



Lokasi bor Elv.82.06

+82.499

Pengujian SPT pada 4.00-10.00cm
menunjukkan nilai N>50

= Clay-gravel, kering, low plasticity, lepas, lunak

= Decomposed semi highly weathered basalt, dense, mudah diremas, kering, fragmental

= Moderately weathered basalt, very dense, sulit diremas, kering

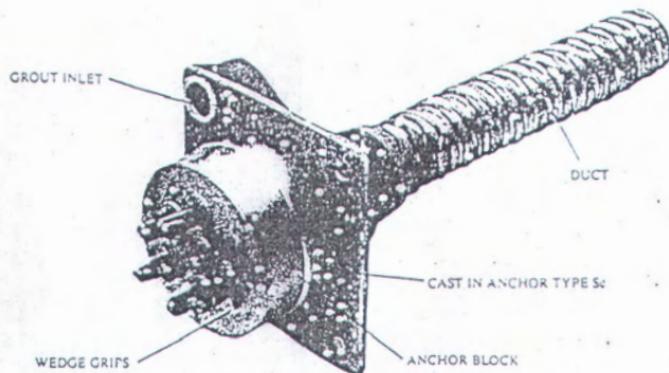
= Pasir kerikil, coklat keabuan, lapuk sedang, banyak gravel ukuran kerikil-kerikil

= Pasir kerikil coklat kehitaman, kondisi seger, melimpah mineral plagioklas

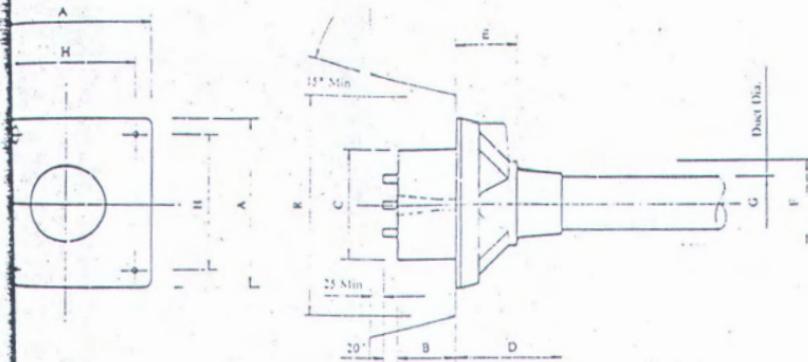
= Basalt, mosif, putih keabuan, kondisi seger, melimpah mineral plagioklas

STATION	JEMB. MODANGAN - DONOMULYO			DATE OF TESTING	18-07-2003					
PILE NO.	WD - IA (4.50 - 5.00) m			TESTED BY	Lab. IKA					
LIQUID LIMIT TEST										
1	2		3							
O. OF BLOWS	38	NO. OF BLOWS	30	NO. OF BLOWS	26					
No.	J-84	No.	J-11	No.	J-81					
43.8029	DW	42.0850	WW	43.2882	DW	41.6840	WW	41.1139	DW	39.7512
42.0850	TW	39.3796	DW	41.6840	TW	39.2096	DW	39.7512	TW	37.6607
1.7179	Ws	2.7054	Ww	1.6042	Ws	2.4744	Ww	1.3627	Ws	2.0905
V = 63.50 %			W = 64.84 %				W = 65.19 %			
4	5		6							
O. OF BLOWS	22	NO. OF BLOWS	18	NO. OF BLOWS	13					
No.	J-42	No.	J-12	No.	J-23					
41.6011	DW	40.5280	WW	40.6974	DW	39.1657	WW	39.2646	DW	38.0130
40.5280	TW	38.9082	DW	39.1657	TW	36.8928	DW	38.0130	TW	36.2036
1.0731	Ws	1.6198	Ww	1.5317	Ws	2.2729	Ww	1.2516	Ws	1.8094
V = 66.25 %			W = 67.39 %				W = 69.17 %			
PLASTIC LIMIT TEST										
1	2		3							
No.	J-63	No.	L-46	No.	J-47					
41.7968	DW	40.9461	WW	42.5151	DW	41.4925	WW	42.2484	DW	41.1620
40.9461	TW	38.4883	DW	41.4925	TW	38.5318	DW	41.1620	TW	38.0218
0.8507	Ws	2.4578	Ww	1.0226	Ws	2.9607	Ww	1.0864	Ws	3.1402
V = 34.61 %			W = 34.54 %				W = 34.60 %			
5	10	20	40	100						
number of blows										
LIQUID LIMIT = 65.64 %										
PLASTIC LIMIT = 34.58 %										
PLASTICITY INDEX = 31.06 %										
FLOW INDEX = 12.16										
REMARKS:										
WW : Wt. of container + wet soil in g.										
DW : Wt. of container + dry soil in g.										
TW : Wt. of container in g.										
The Limits is determined on the portion of the soil passing 0.42 mm sieve										

ANCHORAGE



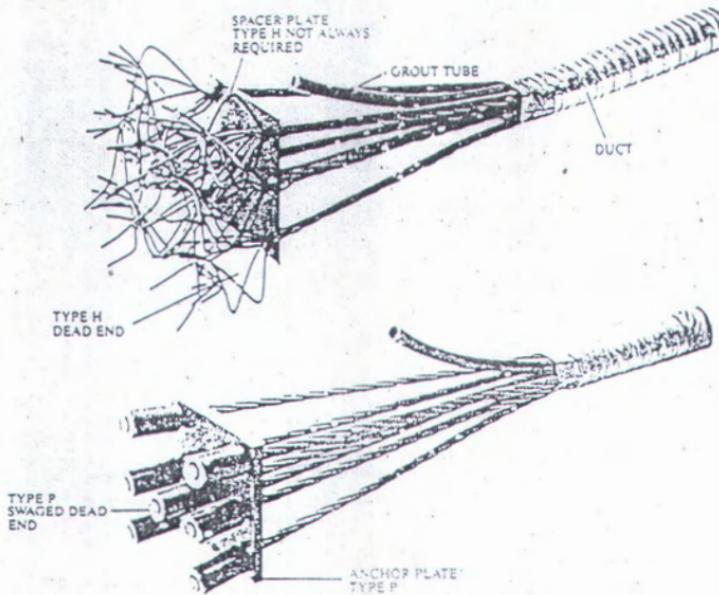
VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc



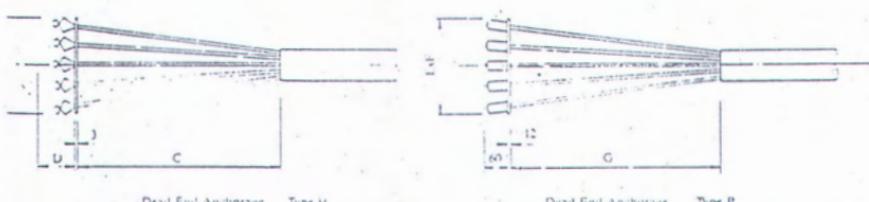
TYPE	Dimensions (mm)								Characteristic Load (kN)	
	A	B	C	D	E	F	G	H		
15g	135	54	90	106	16	56	39	115	250	552
15g	150	54	190	150	16	64	50	125	250	736
75c	165	54	120	100	60	85	50	125	290	1290
75c	215	54	160	160	85	120	69	130	360	2210
75c	265	66	180	210	110	145	84	200	360	3500
75c	290	77	200	215	140	150	90	230	360	4030
75c	315	92	220	250	160	175	96	250	300	4970
75c	315	92	230	250	160	175	105	250	360	5700
75c	370	107	250	320	100	200	113	305	900	6810
75c	390	112	260	350	140	210	118	325	900	7730
45c	430	122	300	340	160	235	135	365	900	8830
45c	465	142	320	340	160	250	135	400	900	10120

NOTE: Dimension R does not allow for lift off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.
Refer VSL office for details. Plate type anchors (Type Sp) also available on request.

DEAD END ANCHORAGE



VSL DEAD END ANCHORAGES TYPE H-TYPE P



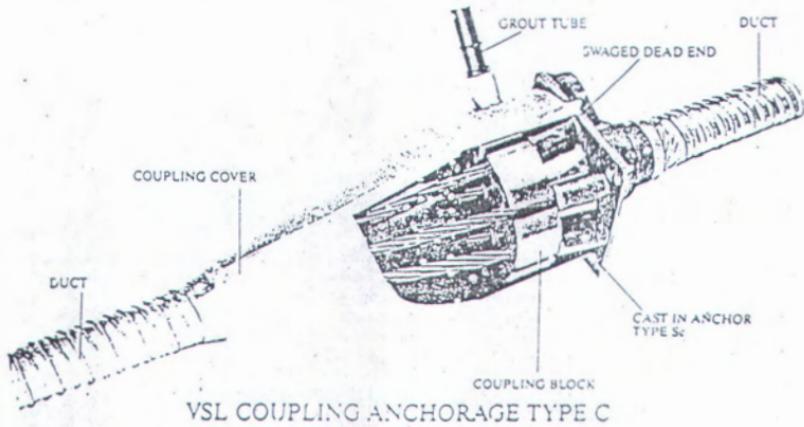
Dead End Anchorage Type H

Dead End Anchorage Type P

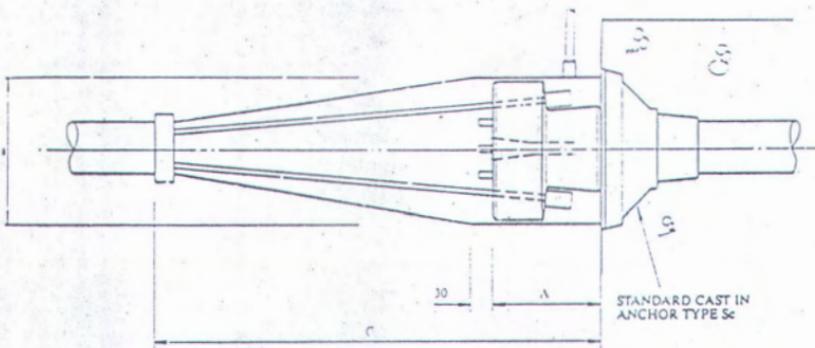
VSL TYPE H 12.7mm	A	B	C	D	Dimensions (mm)
3H	125	125	600	-	
5H	125	125	600	-	
7H	175	150	600	-	
10H	300	250	1000	150	
19H	375	300	1000	150	
32H	400	300	1000	150	
37H	450	400	1000	150	
45H	450	425	1000	150	
37R	325	450	1100	150	
42R	600	450	1100	150	
48R	645	450	1200	150	
55R	700	500	1200	150	

VSL TYPE P 12.7mm	E	F	G	Dimensions (mm)
3P	100	100	100	
4P	120	120	130	
7P	130	130	230	
12P	200	200	350	
19P	250	250	500	
32P	300	250	500	
37P	300	300	650	
31P	350	300	650	
37P	375	350	850	
42P	375	375	850	
48P	400	400	1000	
55P	425	425	1000	

COUPLING ANCHORAGE

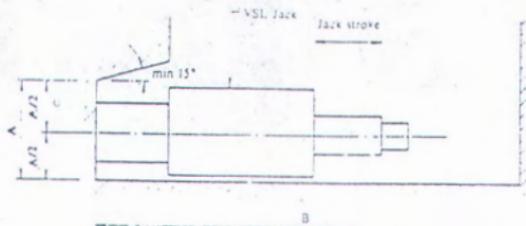


VSL COUPLING ANCHORAGE TYPE C



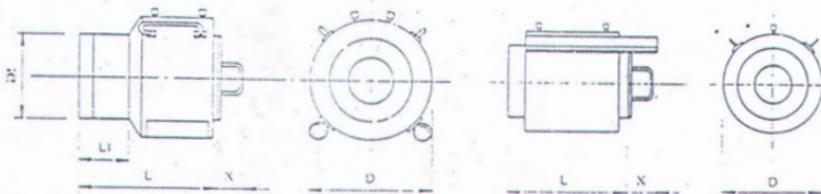
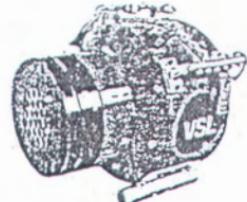
VSL TYPE	A	Dimensions (mm) B	C	Characteristic Load (kN)
3c	110	140	130	332
4c	110	160	130	116
5c	110	180	410	1290
6c	110	210	470	2310
7c	110	240	550	3500
8c	110	260	620	4050
9c	110	310	960	4970
10c	110	330	960	5700
11c	150	390	1000	6810
12c	150	395	1000	7730
13c	150	420	1000	8830
14c	170	490	1140	10120

STRESSING JACKS



JACK CLEARANCE REQUIREMENTS

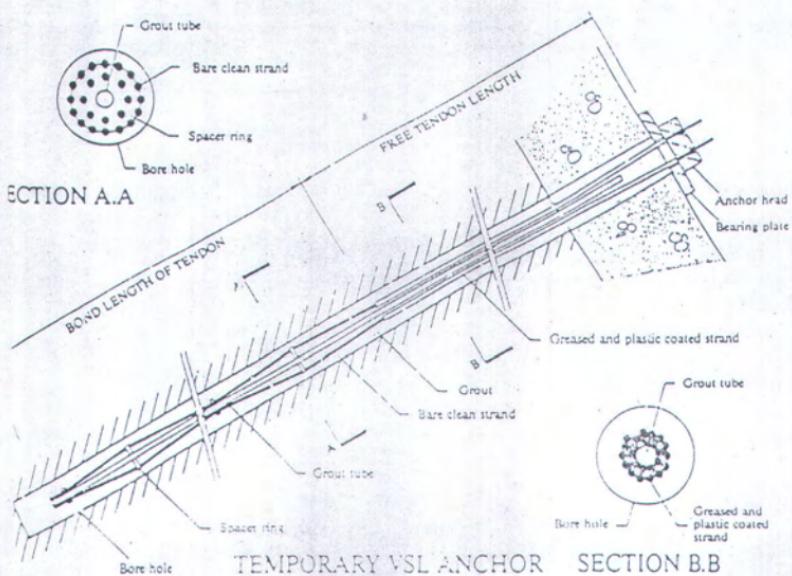
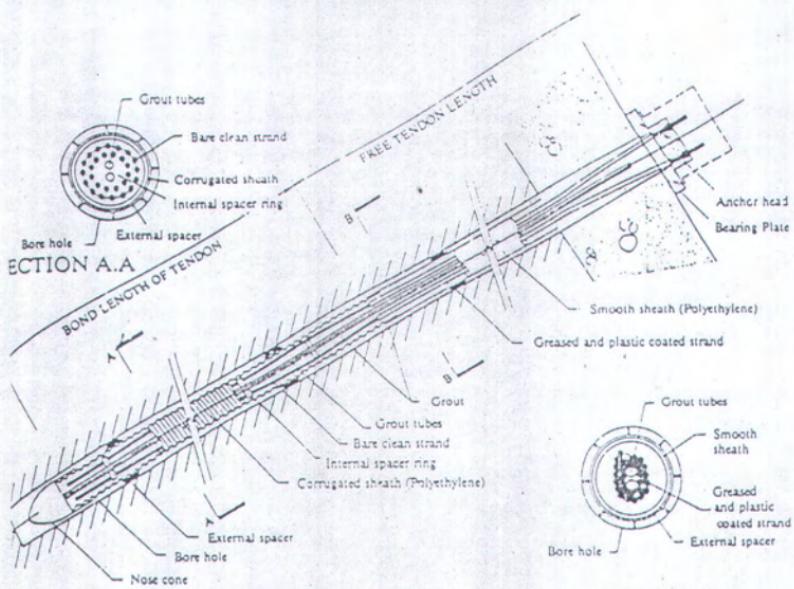
Dimensions (mm)	VSL JACK TYPE					
	VSL50	VSL100	VSL180L	VSL190	VSL190M	VSL290
A	225	325	400	400	430	500
B	1000	1000	1800	1600	1300	1600
- VSL460	VSL470	VSL750	VSL1000	VSL1250	VSL1650	VSL1900
A	600	850	700	900	750	1000
B	1400	2400	1600	2300	2300	1800



STRESSING JACK DETAILS

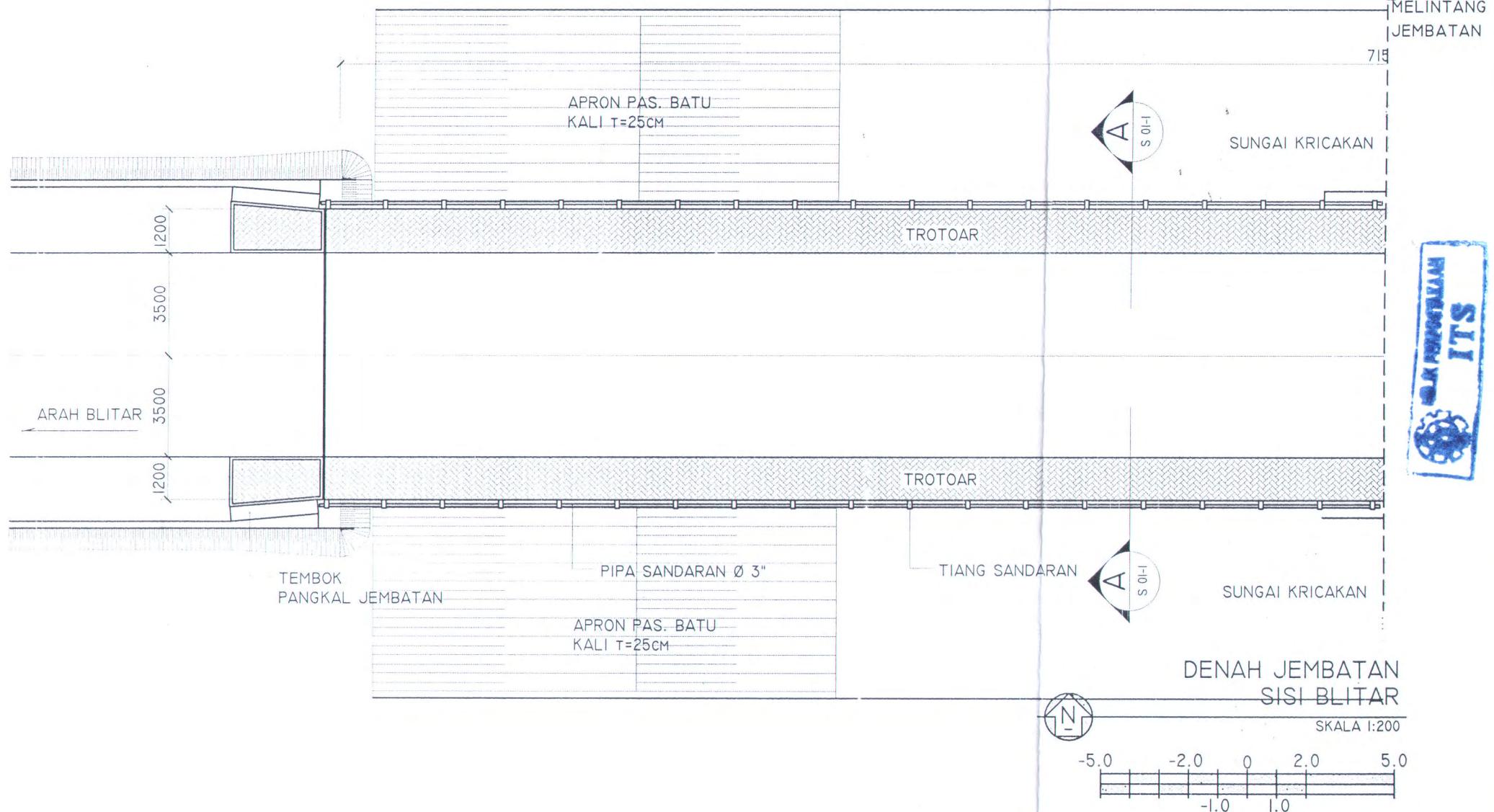
VSL JACK TYPE	TENDON TYPE	NOMINAL CAP. (kN)	DIMENSIONS (mm)					STROKE (mm)	MASS (kg)
			D	D1	L	L1	X		
VSL50	1&4	500	210	-	430	-	-	150	74
VSL100	7	1000	275	-	405	-	-	160	76
VSL180L	12	1800	305	-	715	-	90	305	275
VSL190	12	1900	410	230	565	200	135	100	151
VSL190M	12	1900	350	-	440	-	90	140	160
VSL290	19	2900	390	270	450	215	240	100	202
VSL460	31	4600	495	330	510	200	85	100	425
VSL670	42	6700	660	-	840	-	250	200	1550
VSL750	42	7500	720	410	1030	215	165	200	1500
VSL1000	51	10000	790	-	855	-	165	200	2200
VSL1250	55	12500	810	420	1125	220	165	150	1730
VSL1650	54	16500	910	600	615	140	-	150	1730
VSL190X	91	19000	1075	-	1030	-	165	150	3045

HOR DETAILS



GAMBAR

PERENCANAAN



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2007

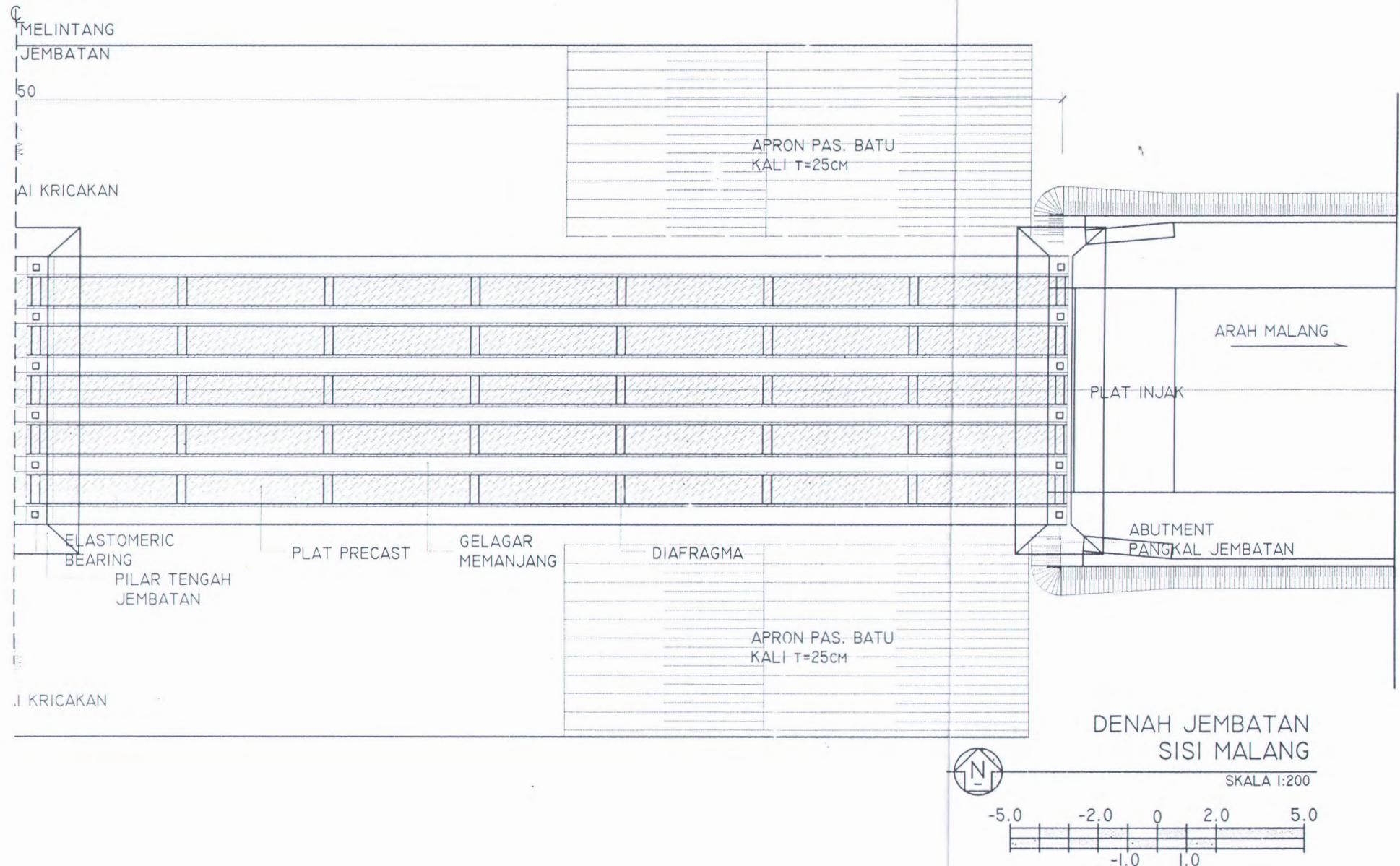
JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- DENAH JEMBATAN SISI BLITAR

MAHASISWA
FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING
IR. AMAN SUBAKTI, MSc
NIP. 130532032

KETERANGAN
-
SKALA 1:200
NO. GAMBAR
ARC_01



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA
2007

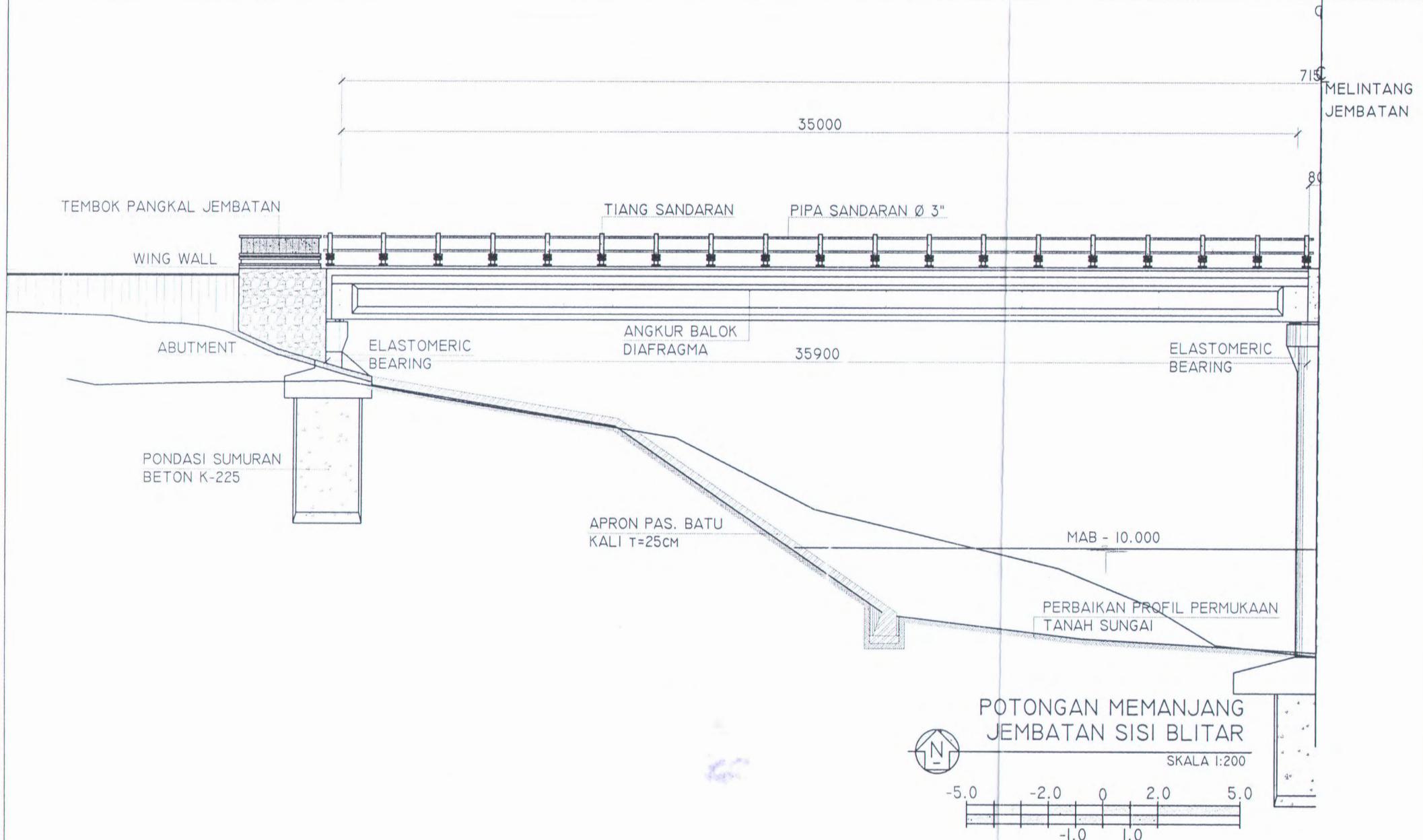
JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- DENAH JEMBATAN SISI MALANG

MAHASISWA
FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING
IR. AMAN SUBAKTI, MSc
NIP. 130532032

KETERANGAN
-
SKALA
I:200
NO. GAMBAR
ARC_02



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2007

JUDUL TUGAS AKHIR
 MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
 DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
 STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
 - POTONGAN MEMANJANG JEMBATAN SISI BLITAR

MAHASISWA
 FAISAL RIZA
 NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING
 IR. AMAN SUBAKTI, MSC
 NIP. 130532032

KETERANGAN
 SKALA
 I:200
 NO. GAMBAR
 ARC_03

MEMANJANG
JEMBATAN

50

35000

00

BETON COR DI TEMPAT
(KONTINUITAS BALOK)

TEMBOK PANGKAL JEMBATAN

PLAT INJAK

AC T=5CM

ELASTOMERIC
BEARING

35900

ELASTOMERIC
BEARING

WING WALL
ABUTMENT

MAB - 10.000

APRON PAS. BATU KALI
T=25CM

PONDASI SUMURAN
BETON K-225

PERBAIKAN PROFIL PERMUKAAN
TANAH SUNGAI

-14.000

PONDASI SUMURAN

POTONGAN MEMANJANG
JEMBATAN SISI MALANG

SKALA 1:200



-5.0 -2.0 0 2.0 5.0
-1.0 1.0



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2007

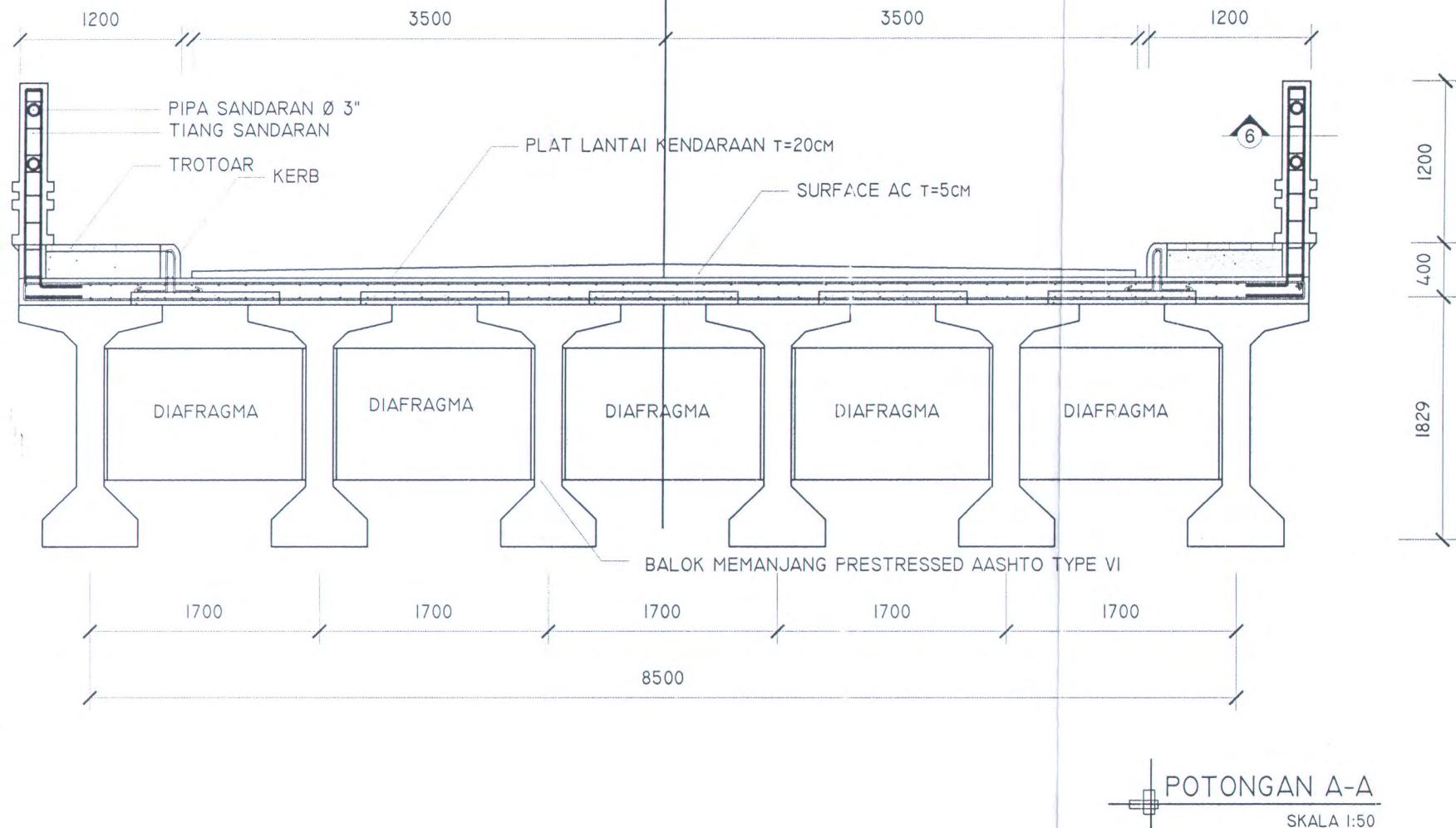
JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- POTONGAN MEMANJANG SISI MALANG

MAHASISWA
FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING
IR. AMAN SUBAKTI, MSC
NIP. I30532032

KETERANGAN
-
SKALA
I:200
NO. GAMBAR
ARC_04



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2007

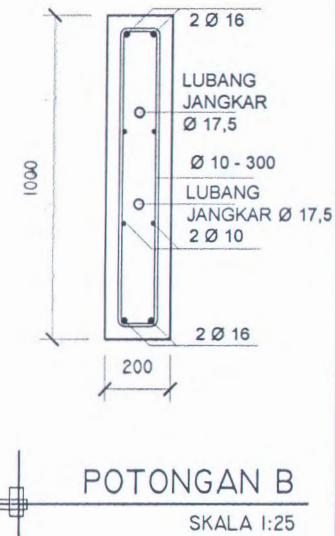
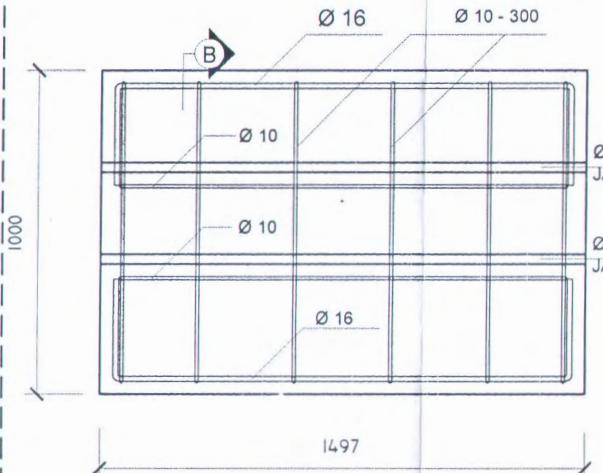
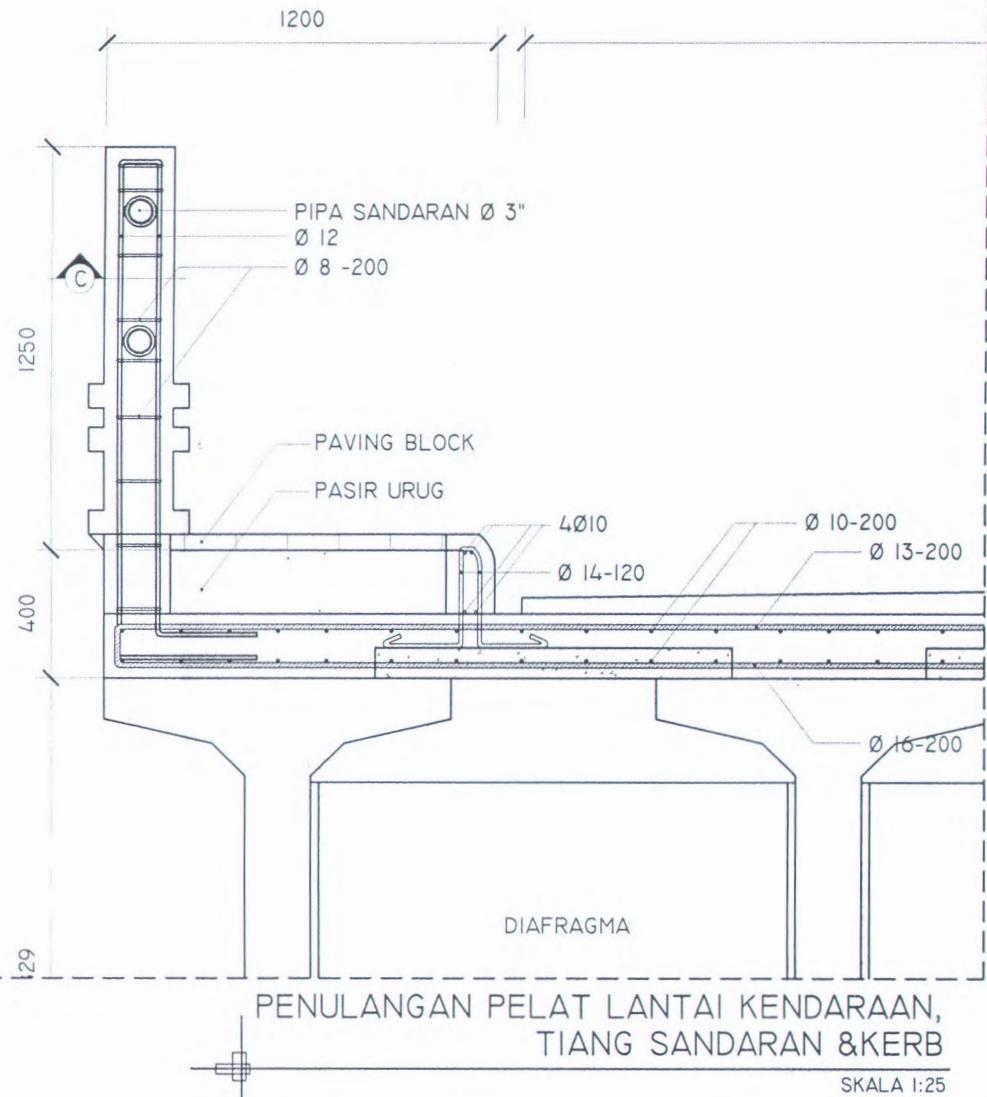
JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- POTONGAN A-A

MAHASISWA
FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING
IR. AMAN SUBAKTI, MSc
NIP. 130532032

KETERANGAN
—
SKALA 1:200
NO. GAMBAR
ARC_05



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA
2007

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR

- PENULANGAN PELAT LANTAI KENDARAAN, TIANG SANDARAN DAN KERB
- PENULANGAN DIAFRAGMA
- POTONGAN B
- POTONGAN C

MAHASISWA

FAISAL RIZA

NRP. 3104 109 620

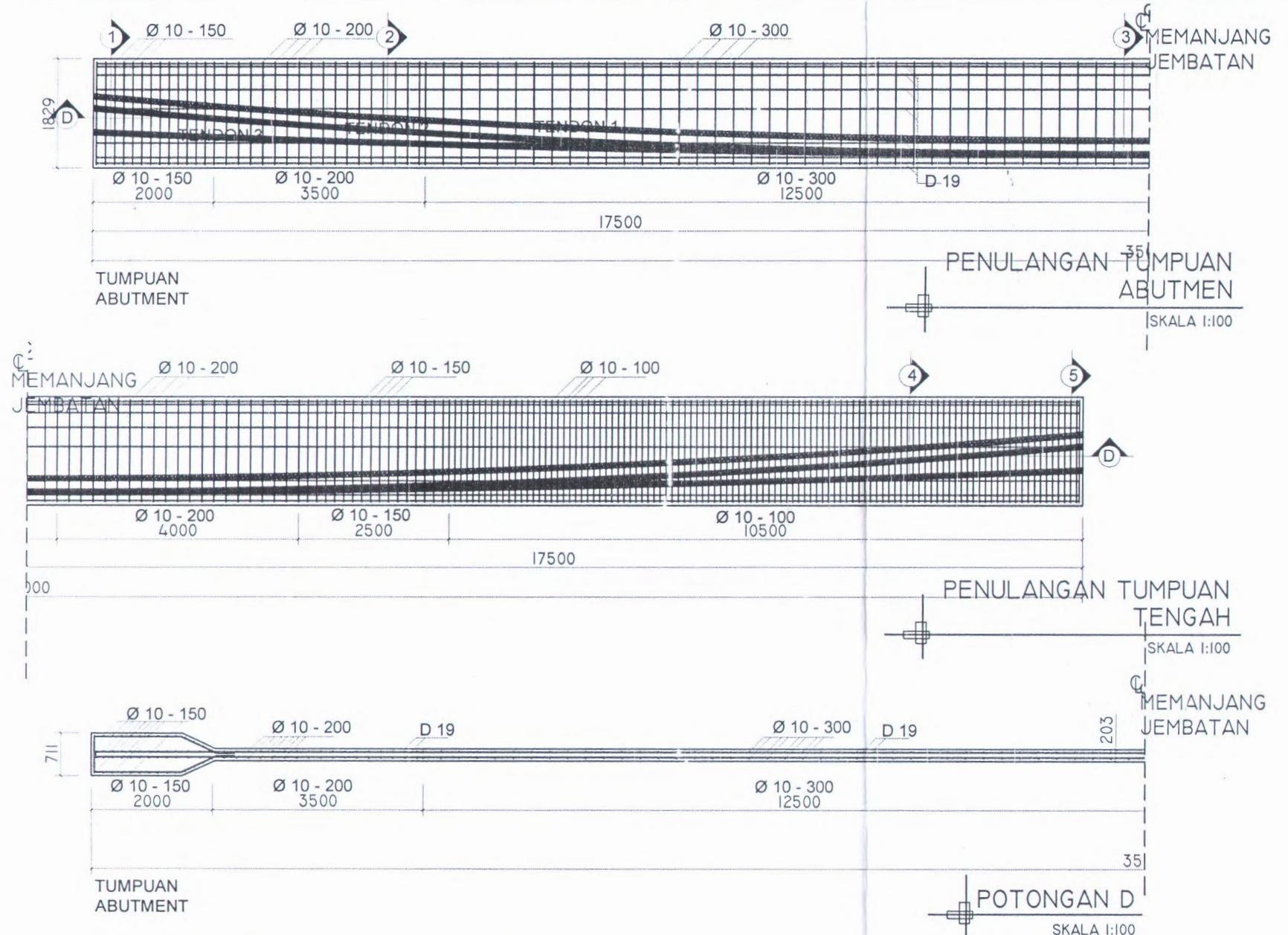
KETERANGAN

DOSEN PEMBIMBING

IR. AMAN SUBAKTI, MSc

NIP. 130532032

SKALA
1:25
1:10
NO. GAMBAR
STR_01



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA
2007

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- PENULANGAN GELAGAR TUMPUAN ABUTMEN
- PENULANGAN GELAGAR TUMPUAN TENGAH
- POTONGAN D

MAHASISWA

FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

KETERANGAN

-

DOSEN PEMBIMBING

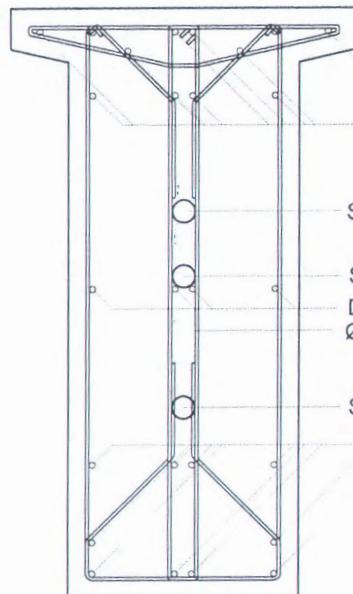
IR. AMAN SUBAKTI, MSc
NIP. 130532032

SKALA

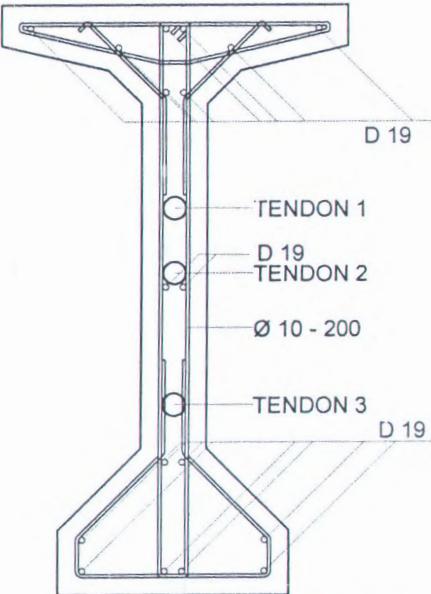
1:100

NO. GAMBAR

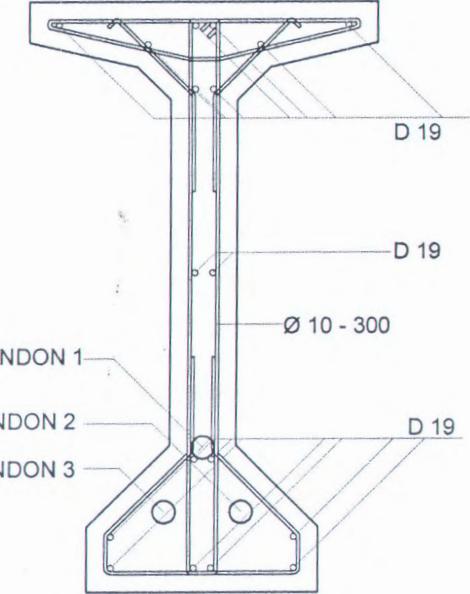
STR_02



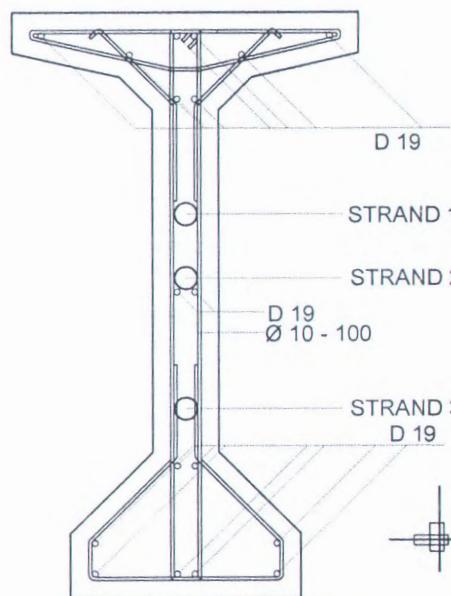
POTONGAN 1
SKALA 1:25



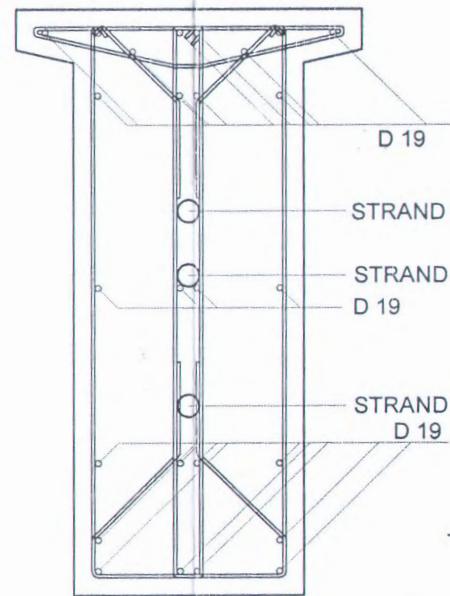
POTONGAN 2
SKALA 1:25



POTONGAN 3
SKALA 1:25



POTONGAN 4
SKALA 1:25



POTONGAN 5
SKALA 1:25



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA
2007

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- PENAMPANG GELAGAR

MAHASISWA

FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING

IR. AMAN SUBAKTI, MSc
NIP. I30532032

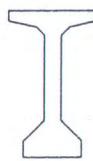
KETERANGAN

-

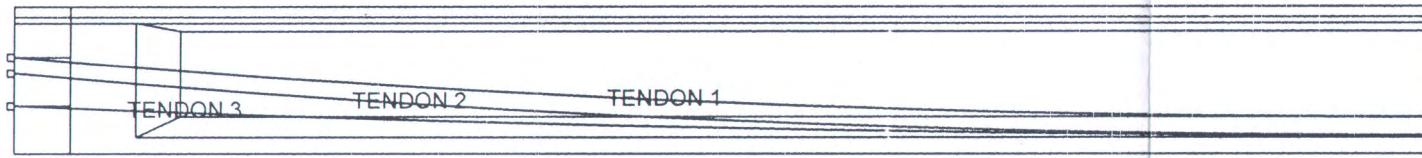
SKALA
I:25

NO. GAMBAR
STR_03

MEMANJANG
JEMBATAN

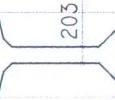


1829



SKALA 1:100

1067



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17



35

LINTASAN TENDON ARAH Z

SKALA 1:100

x	y (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	15.5	16	17	17.5	18
Tendon 2	y (cm)	110.00	91.00	82.64	74.87	67.70	61.09	55.04	49.54	44.56	40.12	36.25	32.76	29.83	27.28	25.46	24.01	23.47	23.04	22.56	22.50	22.56
	z (cm)	0.00	0.94	1.88	2.82	3.76	4.70	5.64	6.58	13.05	22.12	30.48	37.65	43.65	48.80	52.99	56.08	57.21	58.10	59.12	59.25	59.12
Tendon 1	y (cm)	120.0	111.3	103.2	95.7	88.8	82.4	76.6	71.2	66.4	62.1	59.2	55.0	52.1	49.8	47.9	46.5	46.0	45.5	45.1	45.0	45.1
	z (cm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tendon 3	y (cm)	59.22	55.11	51.24	47.62	44.26	40.00	38.26	35.63	33.24	31.09	29.19	27.52	26.19	24.90	23.95	23.25	22.97	22.77	22.53	22.50	22.53
	z (cm)	0.00	-0.85	-1.76	-2.66	-3.56	-4.47	-5.37	-6.28	-10.17	-19.98	-28.69	-36.31	-42.83	-48.25	-52.59	-55.84	-57.05	-58.00	-59.07	-59.20	-59.07

KOORDINAT TENDON

NTS



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2007

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- LINTASAN TENDON ARAH X,Y
- LINTASAN TENDON ARAH Z
- KOORDINAT TENDON

MAHASISWA

FAISAL RIZA

NRP. 3104 109 620

KETERANGAN

-

DOSEN PEMBIMBING

IR. AMAN SUBAKTI, MSc

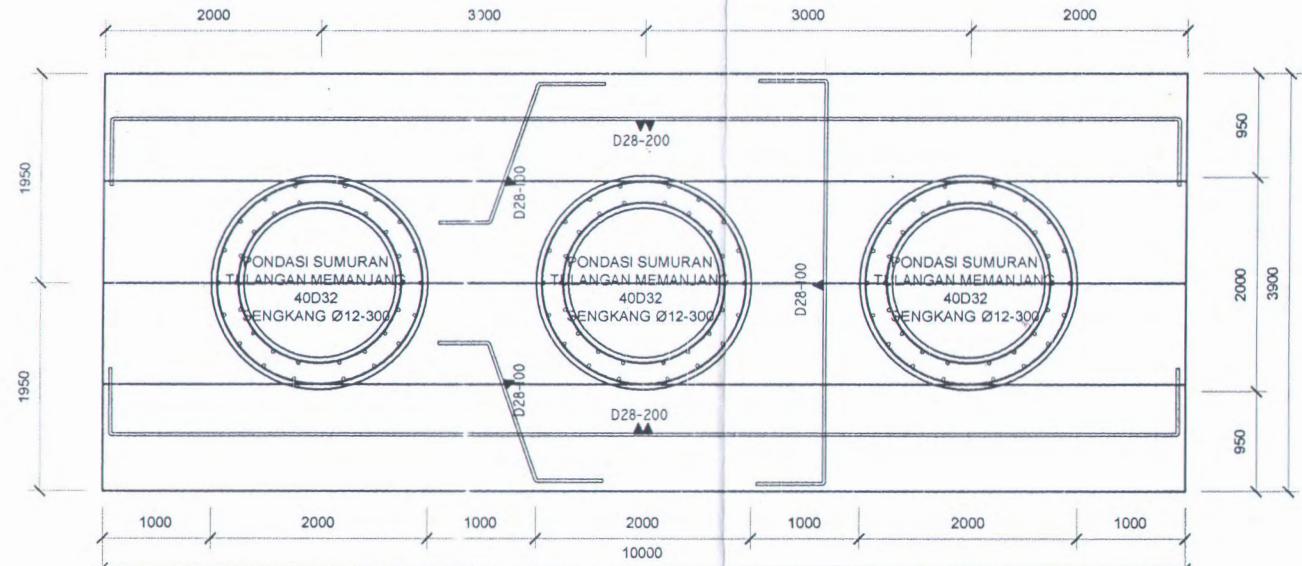
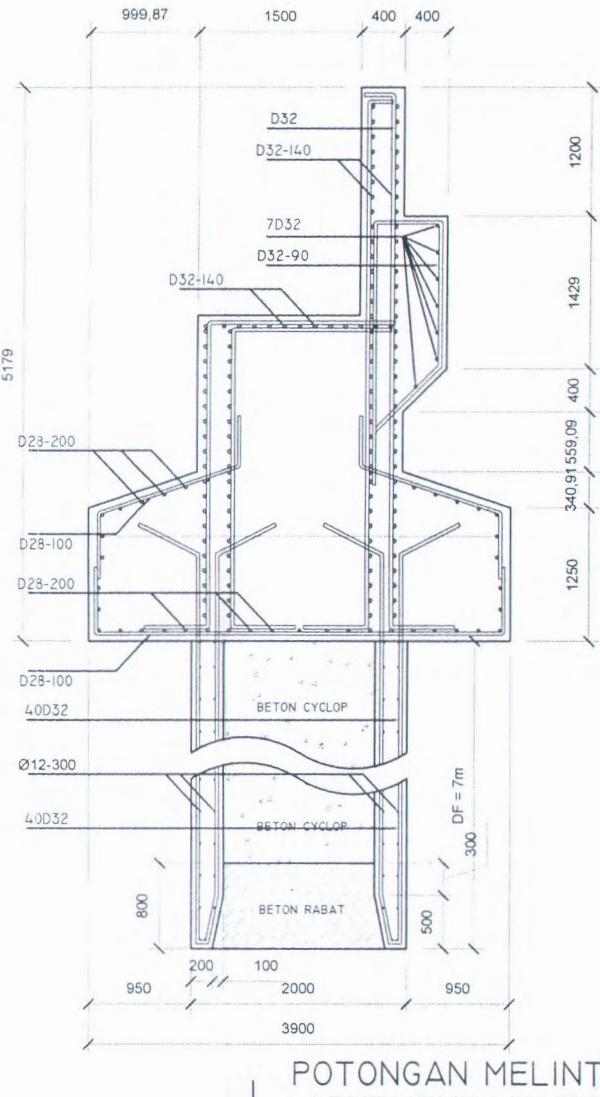
NIP. 130532032

SKALA

I:100
NTS

NO. GAMBAR

STR_04



DENAH PONDASI SUMURAN DAN POER PADA ABUTMENT

SKALA 1:75



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA
2007

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

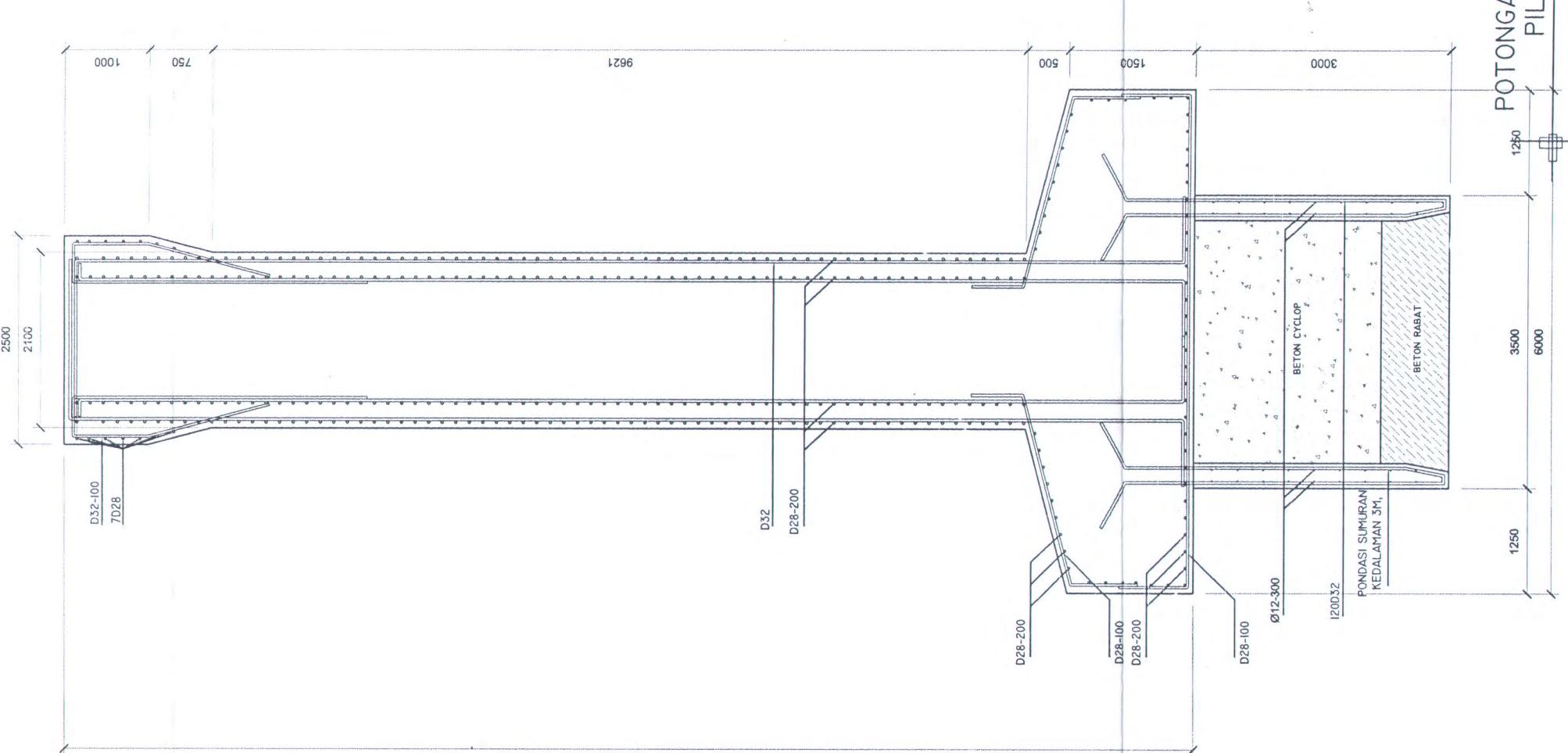
NAMA GAMBAR
- POTONGAN MELINTANG ABUTMENT JEMBATAN
- DENAH PONDASI SUMURAN DAN
POER PADA ABUTMENT

MAHASISWA
FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING
IR. AMAN SUBAKTI, MSC
NIP. I30532032

KETERANGAN	SKALA	NO. GAMBAR
-	1:175	STR_05

POTONGAN MELINTANG
PILAR JEMBATAN



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA
2007

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- POTONGAN MELINTANG PILAR JEMBATAN

MAHASISWA

FAISAL RIZA

NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING

IR. AMAN SUBAKTI, MSc

NIP. 130532032

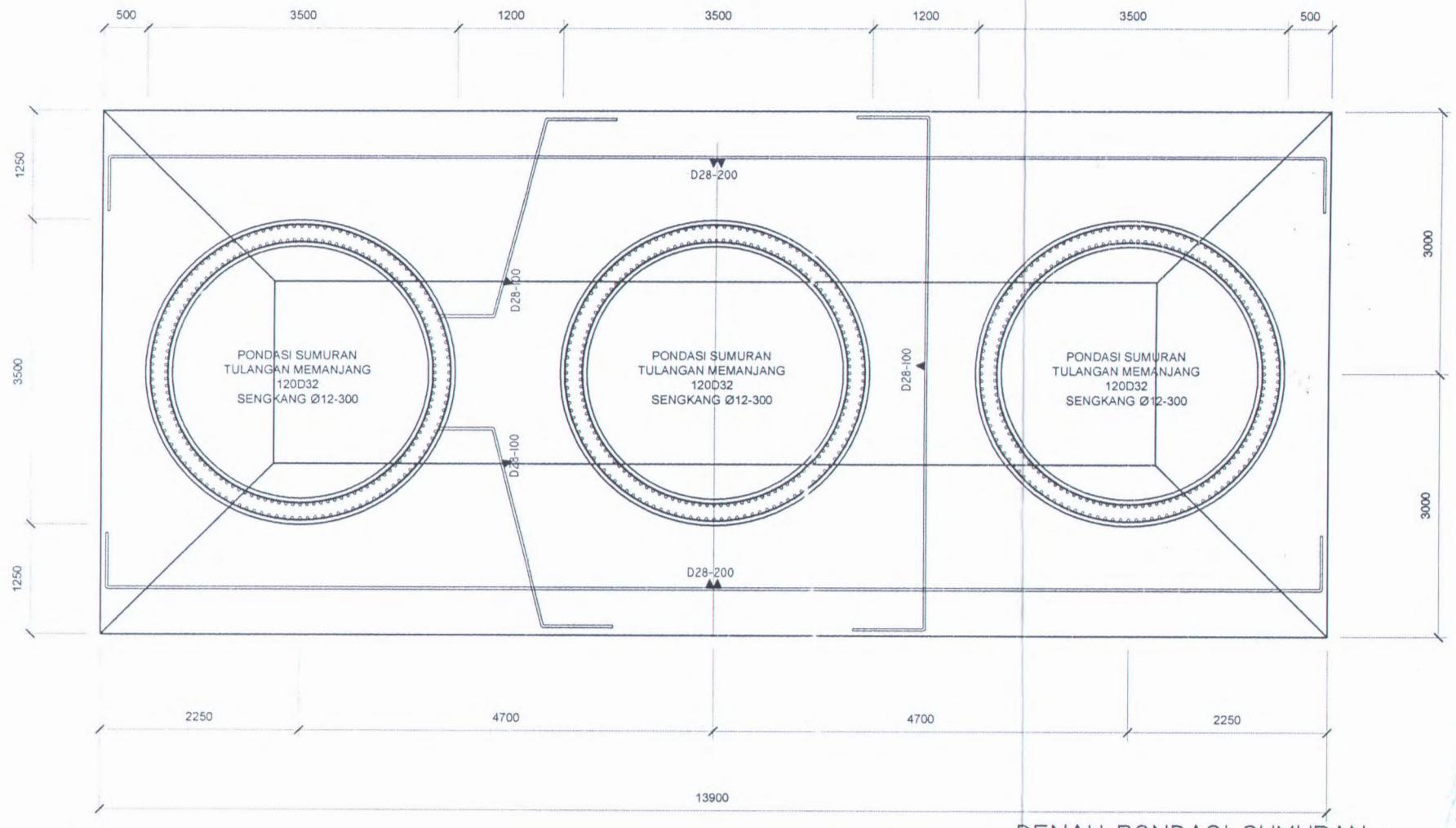
KETERANGAN

SKALA

1:175

NO. GAMBAR

STR_06



**DENAH PONDASI SUMURAN
DAN POER PADA PILAR**

SKALA 1:75



FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2007

JUDUL TUGAS AKHIR
MODIFIKASI STRUKTUR JEMBATAN MODANGAN
DENGAN BETON PRATEKAN BALOK TIPE I
STATIS TAK TENTU

NAMA GAMBAR
- DENAH PONDASI SUMURAN DAN
POER PADA PILAR

MAHASISWA
FAISAL RIZA
NRP. 3104 109 620

DOSEN PEMBIMBING
IR. AMAN SUBAKTI, MSc
NIP. 130532032

KETERANGAN
—

SKALA
1:175
NO. GAMBAR
STR_07