

PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN BETON PRATEGANG BENTANG 50 METER

Try Mei Fitra Solichin
NRP : 0721055

Pembimbing: Yosafat Aji Pranata, S.T.,M.T.

ABSTRAK

Jembatan merupakan suatu struktur untuk penghubung antar daerah yang terpisahakan oleh rintangan. Oleh karena itu jembatan dibuat harus memenuhi syarat kekakuan, lendutan, dan ketahanan terhadap beban yang bekerja.

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir adalah melakukan analisis dan desain struktur balok girder dari beton prategang. Beban-beban yang bekerja adalah beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), beban kendaraan (TD), beban rem (TB), beban pejalan kaki(TP), dan beban angin (EW). Gaya-gaya dalam diperoleh menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan Program SAP2000 *Nonlinier*. Desain dilakukan secara manual, berdasarkan Peraturan RSNI T – 02 – 2005 dan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

Hasil desain dan analisis yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini memperoleh lendutan dari perhitungan analitis sebesar 114,97 mm dan dari program SAP2000 sebesar 181,98 mm untuk girder tanpa tendon, sedangkan untuk girder dengan tendon didapat lendutan 54,62 mm untuk analitis dan 47,54 mm untuk cara perhitungan dengan SAP2000. Jumlah tendon yang digunakan sebanyak 6 tendon dengan tiap tendon terdiri dari 12 strand dan tiap strands memiliki luas $98,7\text{mm}^2$. Tulangan utama balok gider menggunakan 32D13 mm, tulangan geser balok girder menggunakan diameter 13mm, tulangan utama diafragma menggunakan 16D22 mm, tulangan geser diafragma menggunakan diameter D13 - 100 mm, dan tulangan *spalling* menggunakan 4D13 mm.

Kata Kunci: Jembatan, Prategang, Tendon, Tulangan.

DESIGN OF 50-METER SPAN PRESTRESSED CONCRETE BRIDGE

Try Mei Fitra Solichin

NRP : 0721055

Advisor : Yosafat Aji Pranata, S.T.,M.T.

ABSTRACT

Bridge is structure that used for join between areas that separated by barriers. Therefore, the bridge is build must have stiffness, strength, deflection, and have resistance load.

The purpose of research this thesis is to analyze and design of prestressed concrete beams. Loads that work is dead loads (MS), additional dead loads (MA), vehicle loads (TD), brake loads (TB), pedestrian loads (TP), and wind loads. The internal forces were obtained by finite element method with the aid of SAP2000 Nonlinier Software. While the design was executed manually, based on RSNI T – 02 – 2005 and Calculation Procedures for Concrete Structure for Building Construction.

Result of design and analysis has been done on this thesis get the deflection from the manual calculation of 114,97 mm and from SAP2000 of 181,98 mm for girder without tendon when for girder with tendon have deflection from manual calculation of 54,62 mm and from SAP2000 of 47,54 mm. The number of tendons used as much as 6 tendon with each tendon consists of 12 strands each strand has an area of 98,7 mm². The main reinforcement beam using 32D13 mm, shear reinforcement beam using diameter 13 mm, the main reinforcement of diafragma using 16D22 mm, shear reinforcement of diafragma using diameter 13 mm, and spaliing reinforcement using 4D10 mm reinforcement.

Keywords: *Bridge, Prestressed, Tendons, Reinforcement.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Sistematika Penelitian	3
BAB II TINJAUAN LITERATUR	4
2.1 Material	4
2.1.1 Beton	4
2.1.2 Baja	6
2.1.3 Beton Bertulang	8
2.1.4 Beton Prategang	8
2.1.5 Tendon	10
2.2 Balok Prategang	12
2.3 Metode Penegangan Pascatarik (<i>Post-Tension</i>)	13
2.4 Jembatan	14
2.4.1 Jembatan Beton Prategang	14
2.5 Beban yang Bekerja pada Jembatan	15
2.5.1 Beban Mati	16
2.5.1.1 Beban Sendiri (MS)	16
2.5.1.2 Beban Mati Tambahan (MA)	17
2.5.2 Beban Hidup	18
2.5.2.1 Beban Lajur "D" (D)	19
2.5.2.2 Beban Truk "T" (T)	21
2.5.2.3 Pembebanan untuk Pejalan Kaki (TP)	22
2.5.3 Beban Angin (EW)	23
2.5.4 Gaya Rem (TB)	24
2.6 Kombinasi Pembebanan	25
2.7 Perangkat Lunak SAP2000 <i>Nonlinier</i>	27
2.8 Perencanaan Girder Prategang	28
2.8.1 Perencanaan Lentur	28
2.8.2 Perencanaan Tendon	30

2.8.3	Perencanaan Geser	31
2.6.3.1	Kuat Geser <i>Web</i>	33
2.6.3.2	Kuat Geser Lentur	34
2.8.4	Perencanaan Puntir	36
2.8.5	Perencanaan Kombinasi Momen, Geser, dan Puntir	39
2.8.6	Perencanaan Tulangan Minimum <i>Non-prategang</i>	40
2.8.7	Perencanaan Zona Pengangkuran	40
2.8.8	Perencanaan Kehilangan Prategang pada Beton	44
2.8.8.1	Perpendekan Elastis pada Struktur Pascatarik	45
2.8.8.2	Gesekan pada Tendon	45
2.8.8.3	Slip pada Angkur	47
2.8.8.4	Rangkak pada Beton	47
2.8.8.5	Susut pada Beton	48
2.8.8.6	Relaksasi Baja	49
2.8.9	Perencanaan Kemampuan Layan	50
2.9	Perencanaan Diafragma	53
2.7.1	Perencanaan Tekan	53
2.7.2	Perencanaan Geser	54
BAB III STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN		57
3.1	Studi Kasus	57
3.2	<i>Preliminary</i> Desain	59
3.2.1	<i>Preliminary</i> Balok Girder	59
3.2.2	<i>Preliminary</i> Tebal Pelat	66
3.2.3	<i>Preliminary</i> Diafragma	71
3.3	<i>Input</i> Beban yang Bekerja pada Struktur Jembatan	75
3.3.1	Beban Mati	75
3.3.1.1	Beban Mati Tambahan (MA)	75
3.3.2	Beban Hidup	77
3.3.2.1	Beban Lajur (D)	77
3.3.2.2	Beban Pejalan Kaki (TP)	79
3.3.3	Beban Angin (EW)	79
3.3.3.1	Beban Angin Arah – Y (EW_y)	79
3.3.3.2	Beban Angin Arah – Z (EW_z)	81
3.3.4	Beban Rem (TB)	82
3.4	<i>Input</i> Kombinasi Beban yang Bekerja pada Struktur Jembatan	83
3.5	Hasil Output SAP2000 <i>Nonlinier</i>	86
3.6	Perencanaan Girder Prategang	88
3.6.1	Perencanaan dengan Metode Analitis	88
3.6.1.1	Perencanaan Lentur	88
3.6.1.2	Perencanaan Jumlah Tendon	92
3.6.1.3	Perencanaan Tulangan <i>Non-Prategang</i>	92
3.6.1.4	Perencanaan Geser	93
3.6.1.5	Perencanaan Puntir	96
3.6.1.6	Perencanaan Zona Pengangkuran	97
3.6.1.7	Perencanaan Kehilangan Prategang	100
3.6.1.8	Perencanaan Diafragma	104
3.6.1.9	Perencanaan Lendutan	107

3.6.2	Perencanaan dengan SAP2000 <i>Nonlinier</i>	107
3.7	Pembahasan	115
3.7.1	Gaya Dalam	116
3.7.2	Lendutan	117
3.7.3	Kehilangan Prategang	117
BAB IV	KESIMPULAN DAN SARAN	120
4.1.	Kesimpulan	120
4.2.	Saran	121
	Daftar Pustaka	122
	Lampiran	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva Tegangan dan Regangan pada Beton Normal dan Beton Mutu Tinggi	4
Gambar 2.2	Diagram Tegangan-Regangan Baja.....	6
Gambar 2.3	Struktur Beton Pratekan Pertama (Jackson, 1886).....	9
Gambar 2.4	Kawat Tunggal (<i>Wires</i>).....	10
Gambar 2.5	Untaian Kawat (<i>Strand</i>).....	10
Gambar 2.6	Kawat Batangan (<i>Bars</i>).....	11
Gambar 2.7	Tulangan Biasa	11
Gambar 2.8	Berbagai Bentuk Penampang Beton Prategang (A) Bentuk I, (B) Bentuk T-terbalik, (C) Bentuk T, dan (D) Bentuk Kotak.....	12
Gambar 2.9	Metode Prategang Pascatarik	13
Gambar 2.10	Jembatan Feinsterwalder di Baldwinstein, Jerman (Sumber: www.cbdg.org.uk/image/Skye.jpg)	15
Gambar 2.11	Diagram Beban yang Bekerja pada Jembatan.....	15
Gambar 2.12	Beban Lajur "D"	20
Gambar 2.13	Beban "D": BTR vs Panjang yang Dibebani	20
Gambar 2.14	Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang	21
Gambar 2.15	Pembebanan Truk "T" (500kN)	22
Gambar 2.16	Pembebanan untuk Pejalan Kaki	23
Gambar 2.17	Gaya Rem per Lajur 2,75 m.....	25
Gambar 2.18	Balok Prategang dengan Tendon Parabola	28
Gambar 2.19	Beban Imbang w_b	28
Gambar 2.20	Diagram Tegangan	29
Gambar 2.21	Kegagalan Akibat Geser	31
Gambar 2.22	Tegangan Geser pada Beton Pratekan	32
Gambar 2.23	Balok yang Menerima Puntir (Andri, 2008)	36
Gambar 2.24	Penampang Tumpuan Balok I.....	41
Gambar 2.25	Model Distribusi Tekan dan Tarik	42
Gambar 2.26	Momen Akibat <i>Spalling</i> dan <i>Bursting</i>	43
Gambar 2.27	Panjang Penyaluran Tulangan.....	44
Gambar 2.28	Penjelasan Nilai α pada Lengkungan (Hadipratomo, 2008)	46
Gambar 2.29	Notasi Penampang	54
Gambar 3.1	Data Struktur Jembatan.....	55
Gambar 3.2	Ukuran Penampang Girder dan Diafragma.....	56
Gambar 3.3	Diagram Kerja Pengerjaan Tugas Akhir Secara Keseluruhan	57
Gambar 3.4	Mendefinisikan Satuan dan Model yang Digunakan	58
Gambar 3.5	Mendefinisikan Titik Koordinat dan Jarak	58
Gambar 3.6	Mendefinisikan <i>Material</i>	59
Gambar 3.7	<i>Input Material Property Data</i>	59
Gambar 3.8	Mendefinisikan <i>Section Properties</i>	60
Gambar 3.9	Mendefinisikan <i>Section Properties</i>	60
Gambar 3.10	<i>Input Material</i> pada <i>Frame Section</i>	61
Gambar 3.11	Plot Balok Girder pada SAP2000.....	62
Gambar 3.12	<i>Input</i> Koefisien Berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002	62

Gambar 3.13	Pemilihan <i>Property</i> yang Akan Digunakan	63
Gambar 3.14	<i>Input Property</i> dan Mendefinisikan Perletakan	63
Gambar 3.15	Menggandakan Balok Prategang.....	64
Gambar 3.16	Mendefinisikan <i>Material</i>	64
Gambar 3.17	<i>Input Material Property Data</i>	65
Gambar 3.18	Mendefinisikan <i>Section Properties</i>	65
Gambar 3.19	Mendefinisikan Tebal Pelat Jembatan.....	66
Gambar 3.20	Mendefinisikan Tebal Pelat Trotoar.....	67
Gambar 3.21	Pemilihan <i>Property</i> yang Akan Digunakan	67
Gambar 3.22	Membagi Pelat Jembatan Menjadi Beberapa Bagian.....	68
Gambar 3.23	Membagi Pelat Trotoar Menjadi Beberapa Bagian.....	68
Gambar 3.24	Mendefinisikan <i>Material</i>	69
Gambar 3.25	<i>Input Material Property Data</i>	70
Gambar 3.26	Mendefinisikan <i>Section Properties</i>	70
Gambar 3.27	Mendefinisikan <i>Section Properties</i>	71
Gambar 3.28	Mendefinisikan Diafragma	71
Gambar 3.29	<i>Input</i> Koefisien Berdasarkan SNI 02 – 2847 – 2002.....	72
Gambar 3.30	Pemilihan <i>Property</i> yang Akan Digunakan	72
Gambar 3.31	Mendefinisikan <i>Define Load Patterns</i>	73
Gambar 3.32	Mendefinisikan Beban Tambahan pada Pelat Jembatan.....	74
Gambar 3.33	Mendefinisikan Beban Tambahan pada Pelat Trotoar.....	74
Gambar 3.34	Menentukan Beban Rata (BTR)	75
Gambar 3.35	Distribusi Beban Lajur "D".....	75
Gambar 3.36	Mendefinisikan Beban Lajur "D" 100%.....	76
Gambar 3.37	Mendefinisikan Beban Lajur "D" 50%.....	76
Gambar 3.38	Mendefinisikan Beban Pejalan Kaki	77
Gambar 3.39	Mendefinisikan Beban Angin pada Arah – Y.....	78
Gambar 3.40	Mendefinisikan Beban Angin pada Arah – Z.....	79
Gambar 3.41	Menentukan Beban Rem.....	80
Gambar 3.42	Arah Kerja Gaya Rem.....	80
Gambar 3.43	Mendefinisikan Beban Rem.....	81
Gambar 3.44	Mendefinisikan Kombinasi Beban 1	82
Gambar 3.45	Mendefinisikan Kombinasi Beban 2	82
Gambar 3.46	Mendefinisikan Kombinasi Beban 3	83
Gambar 3.47	Mendefinisikan Kombinasi Beban 4	83
Gambar 3.48	Mendefinisikan Kombinasi Beban 5	83
Gambar 3.49	Menentukan Tabel Hasil yang Akan Dikeluarkan	84
Gambar 3.50	Tabel <i>Element Force – Frame</i>	84
Gambar 3.51	<i>Define Load</i>	106
Gambar 3.52	Mendefinisikan pada Kombinasi 1	106
Gambar 3.53	Mendefinisikan pada Kombinasi 2.....	106
Gambar 3.54	Mendefinisikan pada Kombinasi 3.....	107
Gambar 3.55	Mendefinisikan pada Kombinasi 4.....	107
Gambar 3.56	Mendefinisikan pada Kombinasi 5.....	107
Gambar 3.57	Memilih Jenis Garis Tendon.....	108
Gambar 3.58	Pemodelan Tendon	108
Gambar 3.59	Mendefinisikan Tendon Parabola.....	109
Gambar 3.60	Tendon <i>Load</i>	110

Gambar 3.61	Pengaturan Arah Kerja.....	110
Gambar 3.62	Mendefinisikan Lendutan	111
Gambar 3.63	Lendutan Maksimal Girder Tanpa Tendon.....	111
Gambar 3.64	Lendutan Maksimal Girder Dengan Tendon.....	112
Gambar 3.65	<i>Choose Table for Display</i>	112
Gambar 3.66	<i>Table: Element Force – Frame</i>	113
Gambar 3.67	Titik Pengamatan Gaya Dalam	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Beton Akibat Temperatur	5
Tabel 2.2	Nilai Perbandingan Kuat Tekan Benda Uji.....	6
Tabel 2.3	Faktor Beban untuk Berat Sendiri	16
Tabel 2.4	Berat Isi untuk Beban Mati [kN/m^3].....	16
Tabel 2.5	Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan	15
Tabel 2.6	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana.....	19
Tabel 2.7	Faktor Beban Akibat Beban Lajur "D".....	19
Tabel 2.8	Faktor Beban Akibat Pembebanan untuk Pejalan Kaki.....	22
Tabel 2.9	Faktor beban Akibat Beban Angin	23
Tabel 2.10	Koefisien Seret C_w	24
Tabel 2.11	Kecepatan Angin Rencana V_w	24
Tabel 2.12	Faktor Beban Akibat Gaya Rem	25
Tabel 2.13	Pengaruh Umur Rencana pada Faktor Beban Ultimit	25
Tabel 2.14	Kombinasi Beban Umum untuk Keadaan Batas Kelayakan dan Ultimit	26
Tabel 2.15	Data Tendon dari <i>VSL Type EC</i>	30
Tabel 2.16	Tegangan Geser Akibat Puntir (IS: 456, 1979).....	37
Tabel 2.17	Koefisien <i>Wobble</i> dan Koefisien <i>Friksi</i> (SNI, 2002)	46
Tabel 2.18	Nilai C Menurut PTI.....	49
Tabel 3.1	Perbandingan Gaya Dalam.....	114
Tabel 3.2	Perbandingan Lendutan	115

DAFTAR NOTASI

MS	Beban berat sendiri
MA	Beban mati tambahan
D	Beban lajur "D"
T	Beban lruk "T"
TP	Beban pejalan kaki
EW	Beban angin
TB	Beban rem
A	Luas
A _b	Luas bruto
A _c	Luas penampang beton
A _{cp}	Luas yang dibatasi oleh keliling luas penampang beton
A _g	Luas penampang balok
A _m	Luas tulangan memanjang
A _{m min}	Luas tulangan memanjang minimum
A _s	Luas sengkang
A _p	Luas tulangan prategang dalam daerah tarik
A _v	Luas tulangan sengkang
b	Lebar
b _w	Lebar <i>web</i> (badan)
b ₁	Lebar balok T
b ₂	Tinggi balok T diluar sayap
C	Koefisien relaksasi
C _w	Koefisien seret
d _p	Nilai terbesar dari jarak serat tekan ke titik berat tulangan atau 0,8h
E	Modulus elastisitas
E _c	Modulus elastisitas beton
E _s	Modulus elastisitas baja
E _{ps}	Modulus elastisitas tendon
e	Eksentrisitas
ε	Regangan
f _b	Tegangan di serat tertarik/ bawah
f' _{ci}	Kuat tekan beton saat transfer
f _e	Tegangan elastis
f _p	Tegangan <i>proporsional</i>
f	Tegangan
f _c '	Kuat tekan beton
f _c	Tegangan lentur
f _d	Tegangan akibat beban mati
f _{pe}	Tegangan prategang efektif
f _{pi}	Tegangan tarik
f _{pu}	Kuat tarik <i>strand</i>
f _x	Tegangan <i>horisontal</i>
f _y	Tegangan <i>vertical</i>
f _{ys}	Tegangan leleh tulangan geser
f _{yt}	Tegangan leleh tulangan puntir

h	Tinggi
I	Inersia penampang
I_c	Inersia penampang beton
J	Faktor waktu
K	Koefisien <i>wobble</i>
K_{re}	Koefisien relaksasi
L	Panjang bentang
M	Momen akibat beban luar
M_{cr}	Momen retak
M_{DL}	Momen lentur akibat beban mati
M_m	Momen yang sudah di modifikasi
M_{maks}	Momen maksimum akibat beban luar
M_u	Momen lentur terfaktor
N_u	Beban aksial
n	Rasio modular
P	Gaya prategang
P_i	Gaya prategang setelah transfer gaya
p_h	Keliling dari garis pusat tulangan sengkang
P_{cp}	Tegangan tekan pada beton
Q	Momen statis
s	Jarak sengkang
s_v	Jarak sengkang geser
s_t	Jarak sengkang puntir
T_n	Momen puntir tahan
T_p	Momen puntir disumbangkan oleh gaya prategang
T_s	Kuat puntir yang disumbangkan oleh tulangan sengkang dan tulangan memanjang
T_u	Momen puntir terfaktor
t_1	Tebal sayap(<i>flange</i>)
t_2	Tebal badan(<i>web</i>)
V_u	Gaya geser terfaktor
V_c	Kuat geser
$V_{c \text{ min}}$	Kuat geser minimum
$V_{c \text{ max}}$	Kuat geser maksimum
V_{ci}	Kuat geser lentur
V_{cs}	Gaya geser
V_{cw}	Kuat geser badan
V_i	Gaya geser pada penampang yang ditinjau
V_p	Geser akibat prategang
V_s	Gaya geser yang disumbangkan oleh tulangan sengkang
V_w	Kecepatan angin
W	Momen tahan
W_c	Berat per volume beton prategang
W_c''	Berat per volume beton
w_p	<i>Balanced load</i>
x_1	Lebar sengkang
y_a	Jarak dari serat tekan terluar ke titik berat
y_b	Jarak dari serat tarik terluar ke titik berat

y_l	Tinggi sengkang
y_t	Jarak dari pusat berat penampang ke serat tekan terluar
α	Sudut pada tendon
μ	Koefisien friksi
σ_{tt}	Tegangan tarik izin pada saat transfer gaya prategang
σ_{ts}	Tegangan tarik izin pada saat servis
σ_{ct}	Tegangan tarik izin pada saat transfer gaya prategang
τ_v	Tegangan geser
τ_t	Tegangan geser akibat puntir
ν	Poisson ratio
δ	Lendutan
δ_b	Lendutan balok
δ_t	Lendutan tendon
ΔA	Besarnya slip
Δf_{pCR}	Kehilangan prategang akibat rangkai
Δf_{pF}	Kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon
Δf_{pES}	Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis
Δf_{pF}	Kehilangan prategang akibat gesekan pada tendon
Δf_{pSH}	Kehilangan prategang akibat susut
\bar{f}_{cs}	Tegangan beton setelah transfer
\bar{f}_{csd}	Tegangan beton akibat beban mati setelah transfer

DAFTAR LAMPIRAN

- L.1 Jembatan prategang
- L.2 Penampang Melintang Jembatan
- L.3 Tulangan *Spalling*, *Splitting*, dan *Bursting*
- L.4 Tulangan Utama dan Tulangan Geser Girder
- L.5 Tulangan Utama dan Tulangan Geser Diafragma
- L.6 Detail Potongan a – a
- L.7 Detail Potongan A – A, Potongan B – B, dan Potongan C – C
- L.8 Detail Potongan D – D, Potongan E – E, dan Potongan F – F
- L.9 Spesifikasi *Stressing Anchorage VSL Type EC*
- L.10 *MANUAL VSL MULTISTRAND SYSTEM*
- L.11 Grafik *NZR*