
BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR *FLY OVER*

5.1 TINJAUAN UMUM

Setelah dilakukan pengumpulan dan analisis data, tahap selanjutnya yaitu perencanaan teknis. Perencanaan teknis yaitu berupa perhitungan elemen struktural pembentuk konstruksi *fly over* secara keseluruhan. Perhitungan ini dimaksudkan agar konstruksi *fly over* dapat dibangun sesuai dengan rancangan awal baik dari segi mutu (kualitas) bangunan, umur rencana, segi keamanan dan kestabilan struktur serta alokasi biaya pembangunan konstruksi tersebut.

Dalam perhitungan konstruksi, diperlukan tahapan pekerjaan yang sistematis dan untuk mempermudah dalam proses perhitungan konstruksi dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut:

A. Perencanaan bangunan atas *fly over*, meliputi:

1. Sistem pembebanan.
2. Tiang sandaran.
3. Trotoar.
4. Pelat lantai.
5. Balok prategang.
6. Diafragma.
7. *Deck slab*.

B. Perencanaan bangunan bawah, meliputi:

1. Perencanaan abutment *fly over*.
2. Perencanaan pondasi.

C. Perencanaan bangunan pelengkap, meliputi:

1. Pelat injak.
2. *Wingwall*.

D. Perencanaan oprit *fly over*.

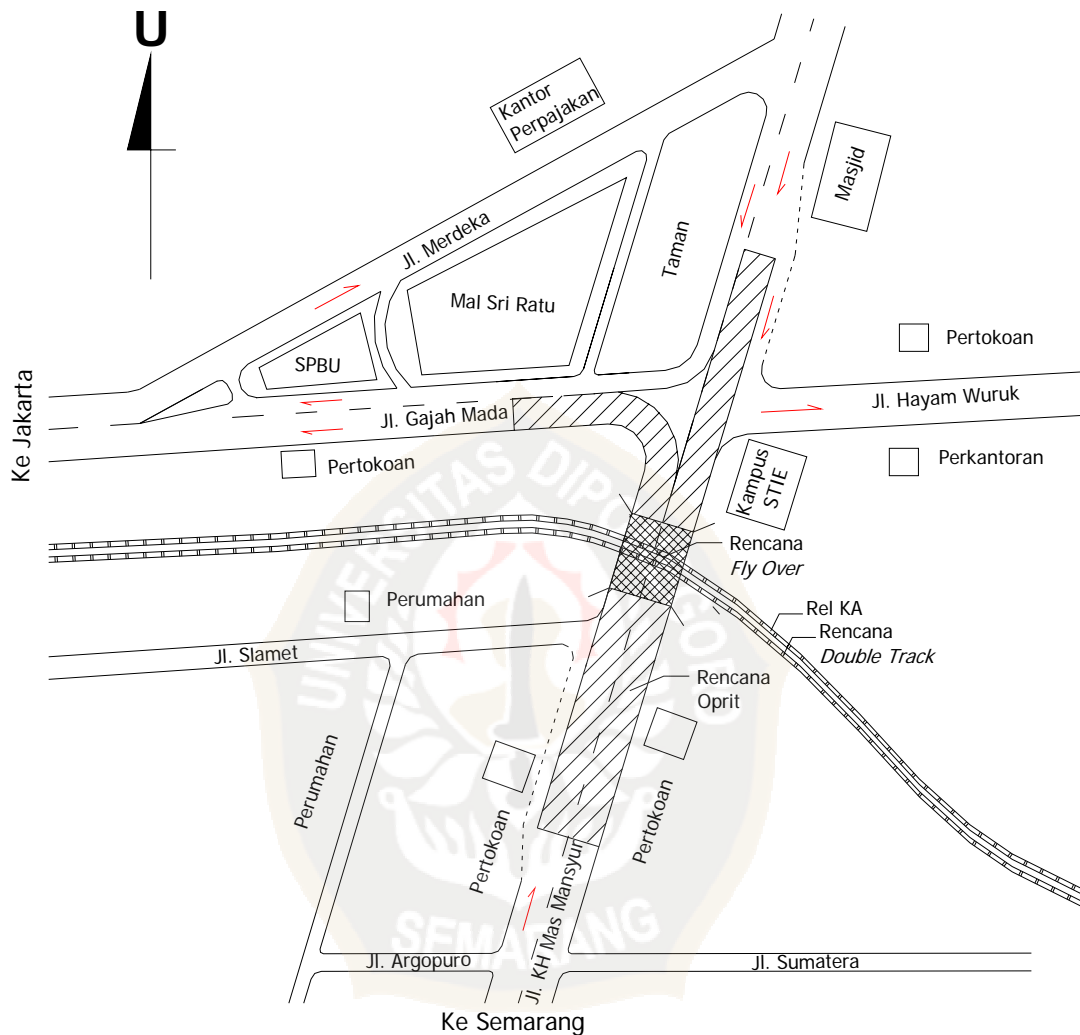
Tahapan perencanaan struktural pembentuk konstruksi *fly over*, secara detail akan disajikan dalam sub-sub bab sesuai dengan tahapannya.

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN *FLY OVER* PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.2 DATA-DATA PERENCANAAN DAN SPESIFIKASI BAHAN

5.2.1 Data-Data Perencanaan

Untuk menentukan spesifikasi *fly over*, berikut disajikan Gambar 5.1 *Lay out* lokasi rencana *fly over* untuk memberikan gambaran kondisi disekitar lokasi perencanaan *fly over*.



Gambar 5.1 Lay Out Lokasi Rencana Fly Over

Dari hasil analisis jalan rel pada Bab IV, untuk tinggi bebas kereta api tanpa listrik adalah 6,045m sedangkan untuk kereta api listrik adalah 6,20m, maka dalam perencanaannya tinggi dari jalan rel sampai gelagar *fly over* adalah 6,8m. Perbedaan tinggi antara tinggi bebas kereta api listrik dan tinggi jalan rel sampai gelagar adalah

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

0,5m, hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi apabila terjadi penurunan tanah selama masa umur rencana *fly over*. Sehingga tinggi abutment yang digunakan dalam perencanaan *fly over* di Bendan Pekalongan adalah 10m dengan tinggi poer abutment adalah 1,3m, tinggi badan abutment 5,7m dan tinggi kepala abutment 3m. Sedangkan panjang abutment 18m dan lebar abutment 6m.

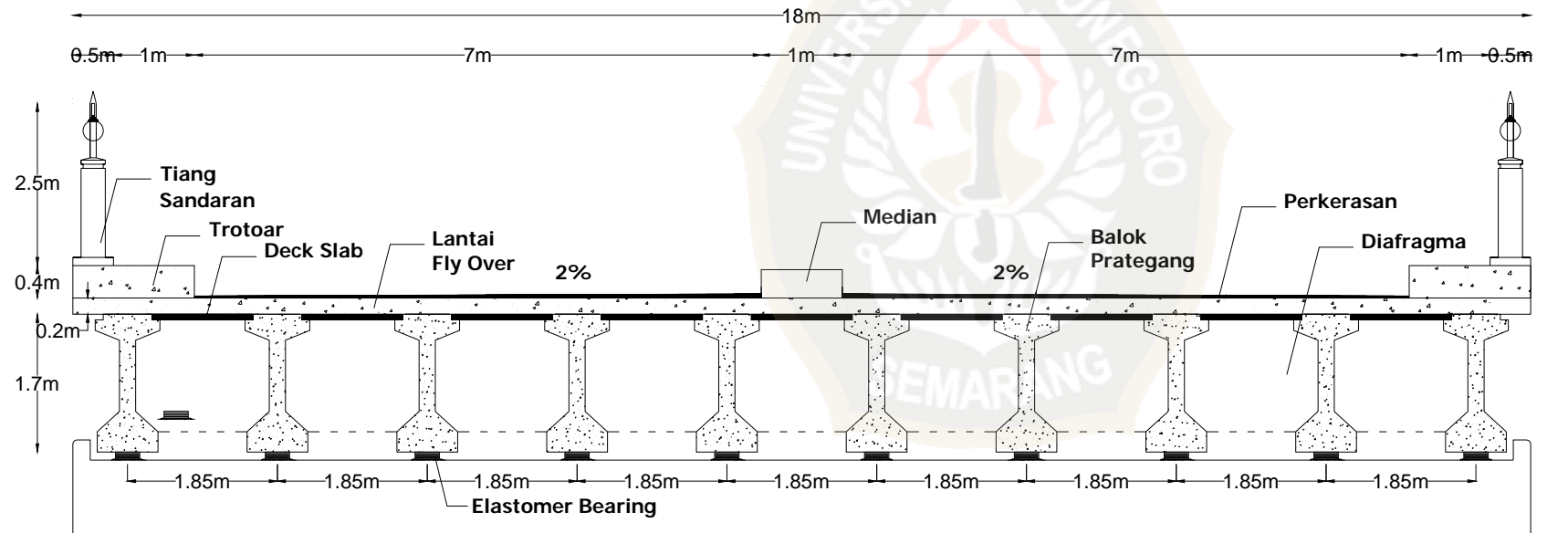
Dari penjelasan latar belakang pada Bab I yaitu adanya *double track* yang sekarang telah mulai dilaksanakan, maka ruang bebas kereta api yang digunakan dalam perencanaan *fly over* di Bendan Pekalongan ini adalah ruang bebas untuk kereta api *double track*. Ruang bebas kereta api *double track* adalah 10m dari kanan dan 10m dari kiri dihitung dari sumbu sepur. Untuk menjaga jarak pandang dari kereta api tersebut dan dengan menyesuaikan bentang yang tersedia dari PT WIKA maka dalam perencanaan *fly over* ini diambil bentang 30,8m. Jarak ruang bebas kereta api dari badan abutment adalah 4,75m dan jarak ruang bebas kereta api dari poer abutment adalah 1,95m, sehingga dalam pelaksanaannya nanti masih ada ruang bagi para pekerja dan tidak mengganggu kereta api yang lewat.

Lebar *fly over* disesuaikan dengan jalan eksisting yaitu 18m karena dari analisis pada Bab IV diperkirakan jalan KH Mas Mansyur masih dapat melayani volume lalu lintas sampai akhir umur rencana *fly over* dengan asumsi telah ada pengalihan lalu lintas regional ke jalan tol.

Kecepatan rencana yang digunakan pada perencanaan *fly over* ini adalah 50 km/jam, dari Standar Perencanaan Geometrik Jalan Luar Kota hal. 36, untuk kecepatan 50 km/jam landai memanjang maksimum adalah 9 %. Semakin kecil kelandaian, oprit akan semakin panjang sehingga lebih aman dan nyaman. Akan tetapi mengingat panjang ruas jalan KH. Mas Mansyur yang dibuat oprit terbatas, maka dalam perencanaannya kelandaian yang bisa digunakan adalah 5 %.

Untuk lebih jelasnya, Gambar 5.2 berikut adalah gambaran potongan memanjang *fly over* dengan ruang bebas pada kereta api *double track*, Gambar 5.3 merupakan gambar rencana panjang dan kelandaian memanjang oprit dan Gambar 5.4 adalah perencanaan potongan melintang pada *fly over* di Bendan Pekalongan.

Berikut Gambar 5.3 merupakan rencana potongan melintang *fly over* Bendan.



Gambar 5.3 Rencana Potongan Melintang *Fly Over*

Dari ketiga gambar tersebut diatas maka dapat disimpulkan data-data pada perencanaan *fly over* di Bendan Pekalongan yaitu:

1. Nama *Fly Over* : *Fly Over* Bendan
2. Lokasi *Fly Over* : Ruas Jalan KH Mas Mansyur Kota Pekalongan
3. Status Jalan : Jalan Arteri Primer Kelas 1
4. Konstruksi *Fly Over* : Beton Prategang
5. Data Konstruksi *Fly Over*
 - Bentang *Fly Over* : 30,8 m
 - Lebar *Fly Over* : 18 m (4 lajur)
 - Lebar Jalur : 4 × 3,5 m dengan lebar bahu dalam 4 x 0,25 m
 - Lebar Median : 1 m
 - Trotoar : 2 x 1 m
 - Tiang Sandaran : 2 x 0,3 m
7. Bangunan bawah : Abutment beton, tinggi 10m
8. Tipe pondasi : Pondasi *bore pile*, diameter 100cm dan tinggi 20m.

5.2.2 Spesifikasi Bahan

Spesifikasi bahan untuk beton maupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* dipengaruhi oleh dimensi elemen struktur, dan beban yang diterima oleh struktur tersebut. Oleh karena itu spesifikasi bahan beton maupun baja pada setiap elemen struktur *fly over* disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan dan yang dapat mempermudah proses pelaksanaan.

Berikut spesifikasi bahan untuk setiap elemen struktur:

A. Konstruksi atas

1. Tiang sandaran.

Tiang sandaran direncanakan menggunakan beton dengan lampu penerangan diatasnya. Untuk spesifikasi betonnya adalah sebagai berikut:

- a. Mutu beton : K – 250
- b. Mutu baja : $f_y = 240$ MPa

Pipa baja yang digunakan \varnothing 76,3 mm, tebal 3,2 mm dan standar lampu yang digunakan adalah Lampu *Centralite* dengan berat 0,5 kg.

2. Trotoar.

Trotoar direncanakan menggunakan beton tumbuk yang didalamnya terdapat 2 pipa \varnothing 4 inch.

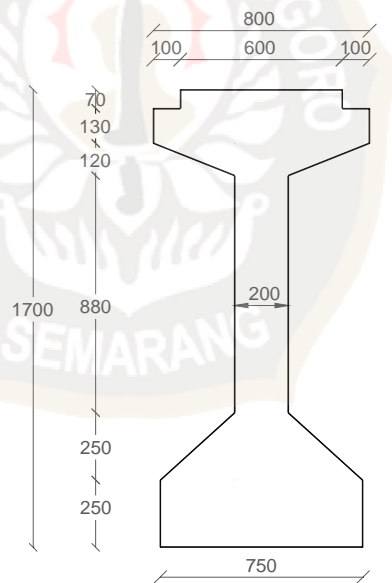
3. Pelat lantai *fly over*.

- a. Mutu beton : K – 350
- b. Mutu baja : $f_y = 400$ MPa

4. Balok prategang

Balok prategang yang digunakan adalah balok prategang sistem pasca tarik (*posttensioning*). Dimensi balok prategang yang digunakan adalah tinggi 170 cm, panjang 30,8 m, dengan mutu beton K-800. Kuat tarik ulur baja *prestress* 18.700 kg/cm² dan $f_y = 400$ MPa. Untuk penegangan balok prategang digunakan tendon yang berdiameter nominal = 12,7 mm.

Spesifikasi dimensi tersebut seperti terlihat pada Gambar 5.5 berikut:



Gambar 5.5 Penampang Balok Prategang

5. Diafragma dan *deck slab*

Diafragma dan *deck slab* yang digunakan adalah mutu beton K-350 dengan kuat tarik ulur baja *prestress* 18.700 kg/cm².

B. Konstruksi bawah:

1. Abutment

- a. Mutu beton : K – 350
- b. Mutu baja : $f_y = 400$ MPa

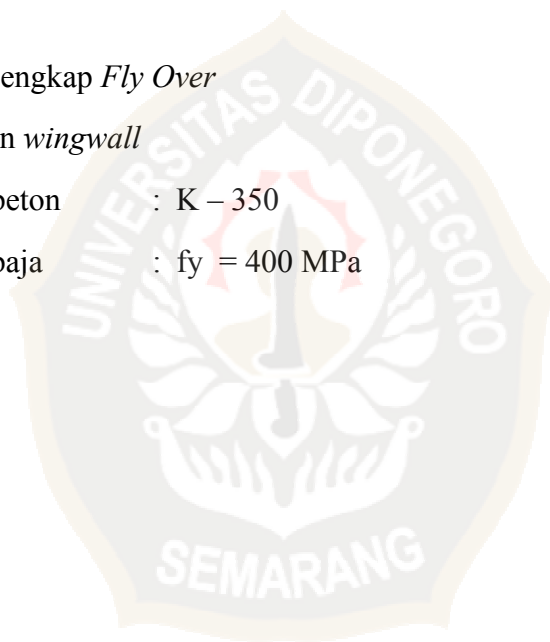
2. Pondasi

- a. Jenis : Pondasi dalam berupa *bore pile*
- b. Mutu beton : K – 600
- c. Mutu baja : $f_y = 400$ MPa

C. Bangunan Pelengkap *Fly Over*

Pelat injak dan *wingwall*

- a. Mutu beton : K – 350
- b. Mutu baja : $f_y = 400$ MPa



5.3 PERENCANAAN BANGUNAN ATAS FLY OVER

Bangunan atas *fly over* merupakan bagian *fly over* yang menerima langsung beban dari kendaraan atau orang yang melewatinya. Secara umum bangunan atas terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain: tiang sandaran, trotoar, pelat lantai, balok prategang, diafragma dan *deck slab*. Untuk menghitung komponen-komponen tersebut maka sebelumnya perlu dihitung sistem pembebanannya, kemudian komponen-komponen tersebut baru dapat dihitung.

5.3.1 Sistem Pembebanan

Berdasarkan buku “Panduan Perencanaan Teknik Jembatan – *Bridge Manajemen System tahun 1992*” data pembebanan terdiri dari:

1. Beban berat sendiri (beban mati).
2. Beban kendaraan rencana (beban truk “T”).
3. Beban lajur “D” dan beban garis “KEL”.
4. Gaya rem.
5. Beban angin.

Berikut merupakan perhitungan pembebanan tersebut diatas:

1. Beban mati

Berat jenis bahan untuk batas ultimate (*ULS*) dalam perhitungan konstruksi sebesar:

- a) Beton bertulang = $25 \text{ kN/m}^3 \times 1,3$ (BMS-1992 vol. 1, hal 2-15)
= $32,5 \text{ kN/m}^3$
- b) Beton aspal = $22 \text{ kN/m}^3 \times 1,0$ (BMS-1992 vol. 1, hal 2-15)
= 22 kN/m^3
- c) Balok prategang = $26 \text{ kN/m}^3 \times 1,2$ (BMS-1992 vol. 1, hal 2-15)
= $31,2 \text{ kN/m}^3$
- d) Beton konvensional = $25 \text{ kN/m}^3 \times 1,2$ (BMS-1992 vol. 1, hal 2-15)
= 30 kN/m^3

2. Beban kendaraan rencana (beban truk “T”)

Untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan *fly over* harus digunakan beban “T”, yaitu beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton.

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

3. Beban lajur “D” dan beban garis “KEL”

a) **Beban “D”**

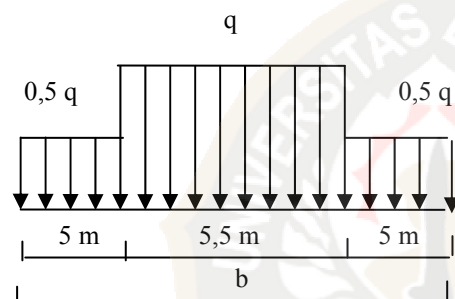
Untuk bentang 30,8 m, menurut BMS-1992 hal 2-22 perhitungannya menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} q &= 8,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \\ &= 8,0 \times \left(0,5 + \frac{15}{30,8}\right) \text{ kPa} \\ &= 7,9 \text{ kPa} \\ &= 7,9 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Karena jembatan termasuk kelas I (BM 100) maka pembebanannya menjadi:

$$q = 1 \times 7,9 = 7,9 \text{ kN/m}^2$$

Menurut BMS 1992 hal 2-24, untuk *fly over* dengan lebar lantai > 5,5 m beban “D” didistribusikan seperti Gambar 5.6 dibawah ini:



Ket. : beban “D” seluruhnya (100 %) dibebankan pada lebar jalur 5,5 m, sedangkan selebihnya dibebani 50 % “D”.

Gambar 5.6 Distribusi Beban “D”

Pada *fly over* ini, balok prategang yang digunakan sebanyak 10 buah, tentunya dalam perencanaan digunakan balok yang pembebanannya paling berat yaitu balok tengah, maka beban “D” yang digunakan akan sebesar 7,9 kN/m² karena dalam wilayah balok tersebut persebaran beban “D” masih 100%.

b) **Beban “KEL”**

Menurut BMS 1992 hal 2-22, beban garis “KEL” sebesar p KN/m, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang *fly over* dan tegak lurus pada arah lalu lintas.

$$q_p = 44 \text{ kN/m}$$

Pada beban KEL terdapat faktor beban Dinamik (DLA) yang mempengaruhi. Berdasarkan BMS hal 2-29 maka besarnya DLA *fly over* di Bendan Pekalongan:

$$\text{BM 100} \longrightarrow q_p = 100\% \times 44 = 44 \text{ kN/m}$$

$$L \geq 90 \text{ m} \longrightarrow \text{DLA} = 30 \%$$

$$L \leq 50 \text{ m} \longrightarrow \text{DLA} = 40 \%$$

$$L = 30,8 \text{ m} \longrightarrow \text{DLA} = 40 \%$$

$$\text{Dengan DLA} = 40 \% \text{ maka } q_p = (100\% + 40\%) \times 44 = 61,6 \text{ kN/m}$$

$$P = 61,6 \times 1,85 = 113,96 \text{ kN}$$

4. Gaya Rem

Pengaruh rem dan percepatan lalu lintas harus dipertimbangkan sebagai gaya memanjang. Gaya ini tidak tergantung pada lebar *fly over*, tetapi gaya ini tergantung pada panjang struktur yang tertahan atau bentang *fly over*.

Berdasarkan Gambar 2.9 pada BMS hal 2-31, besarnya gaya rem untuk bentang 30,8 m:

$$\text{Gaya rem bentang} < 80 \text{ m} \leq 250 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya rem bentang} > 100 \text{ m} \geq 300 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya Rem pada balok } \textit{fly over} \text{ Bendan} = 250 \text{ kN}$$

5. Beban angin

Berdasarkan BMS hal 2-44, karena *fly over* Bendan jauh dari pantai ($> 5 \text{ km}$), maka rencana kecepatan angin yang digunakan sebesar 25 m/dt sedang C_w yang digunakan sebesar:

$$\text{a. } b/d \textit{ fly over} \text{ Bendan} = \frac{18}{1,7 + 0,2 + 0,4 + 2,5} = 3,75$$

$$\text{b. } C_w \text{ untuk } b/d = 2 \text{ adalah } 1,5$$

$$\text{c. } C_w \text{ untuk } b/d \geq 6 \text{ adalah } 1,25$$

$$\text{d. } C_w \text{ untuk } b/d = 3,75 \text{ adalah } 1,5 + \frac{(1,25 - 1,5) \times (3,75 - 1,5)}{(6 - 2)} = 1,359$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Dianggap ada angin yang lewat bekerja merata di seluruh permukaan struktur atas (BMS 1992 hal 2-43), maka beban angin yang digunakan sebesar:

$$\begin{aligned} T_{ew} &= 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ kN.....BMS 1992 hal 2-43} \\ &= 0,0006 \times 1,359 \times 25^2 \times 28,305 \\ &= 14,43 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Beban angin per m²

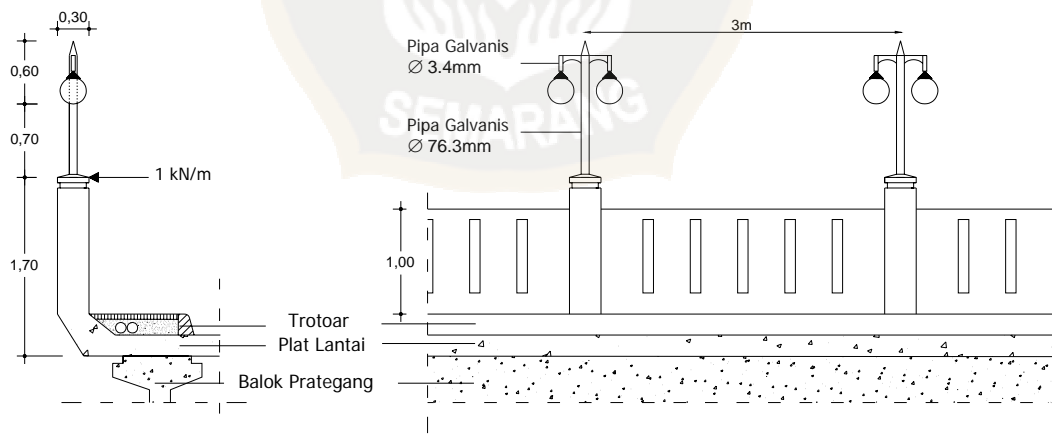
$$\begin{aligned} T_{ew} &= 0,0012 C_w (V_w)^2 \text{ kN} \\ &= 0,0012 \times 1,359 \times 25^2 \\ &= 1,02 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

5.3.2 Tiang Sandaran

Sandaran selain berfungsi sebagai pembatas *fly over* juga sebagai pagar pengaman bagi kendaraan yang melintas. Sandaran terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Tembok pengaman merupakan pagar untuk pengaman *fly over* di sepanjang bentang *fly over*.
2. Tiang sandaran berupa kolom beton tiap jarak 300 cm dengan lampu hias pada bagian atasnya.

Berikut Gambar 5.7 merupakan detail tiang sandaran pada *fly over* Bendan.



Gambar 5.7 Detail Tiang Sandaran

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Untuk kedua bagian dari tiang sandaran *fly over* Benda tersebut, perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Tembok Pengaman

Spesifikasi teknis tembok pengaman:

- (1). Panjang tembok pengaman = 300 cm
- (2). Tinggi tembok pengaman = 100 cm
- (3). Lebar tembok pengaman = 15 cm

Tembok pengaman tersebut terdiri dari susunan batu bata dan asiran yang hanya berfungsi sebagai pembatas tidak diperuntukkan menahan beban.

2. Tiang Sandaran

Menurut BMS 1992 bagian 2, tiang sandaran diperhitungkan mampu menahan beban horisontal sebesar 1 kN/m. Tiang sandaran tersebut terdiri dari kolom beton, pipa galvanis dan lampu hias.

Kolom beton direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Mutu beton = K – 250 ($f'c = 25 \times 0,83 = 20,75 \text{ kg/cm}^2$)
- b) Mutu baja tulangan = $f_y = 240 \text{ MPa}$
- c) Tinggi kolom beton = 1,7 m.
- d) Jarak tiang sandaran = 3 m.
- e) Dimensi sandaran = $(0,3 \times 0,3) \text{ m}$.
- f) Tebal selimut (p) = 25 mm
- g) \varnothing tul. utama = 12 mm
- h) \varnothing tul. sengkang = 8 mm

Perhitungan tulangan utama:

$$d = h - p - (0,5 \varnothing_{\text{Tulangan utama}}) - \varnothing_{\text{Sengkang}}$$
$$= 300 - 30 - 0,5 \times 12 - 8 = 256 \text{ mm}$$

$$H = 1 \text{ kN/m}$$

$$P = H \times L = 1 \times 3 = 3 \text{ kN}$$

$$M_u = P \times h$$

$$= 3 \times 1,7 = 5,1 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\frac{M}{b \times d^2} = \rho \times 0,8 \times f_y \times \left[1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'c} \right]$$

$$\frac{5,1 \times 10^6}{300 \times 256^2} = \rho \times 0,8 \times 240 \times \left[1 - 0,588 \times \rho \times \frac{240}{20,75} \right]$$

$$0,259 = 192 \rho - 1305,785 \rho^2$$

$$\rho = 0,00136$$

$$\rho_{\min} = 0,0058$$

$$\rho_{\max} = 0,0363$$

$\rho < \rho_{\min}$, dipakai ρ_{\min}

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0058 \times 300 \times 256 = 445,44 \text{ mm}^2$$

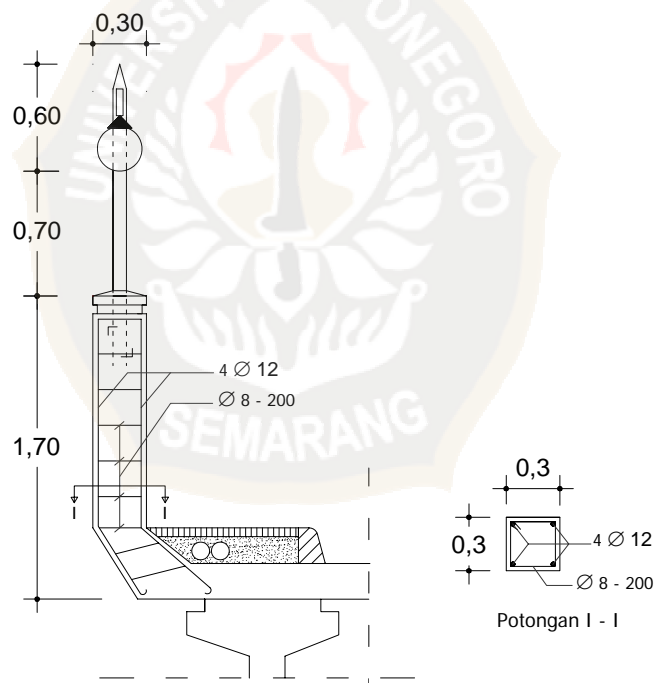
Di pakai tulangan 4 Ø 12, A_s terpasang $445,44 \text{ mm}^2 < 452 \text{ mm}^2$

Tulangan pembagi = $0,2 \times A_s$ tulangan utama

$$= 0,2 \times 445,44 = 89,09 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan Ø 8 – 200 ($A_s = 251 \text{ mm}^2$)

Penerapan hasil perhitungan penulangan pada tiang sandaran diatas dapat dilihat dalam Gambar 5.8 berikut:

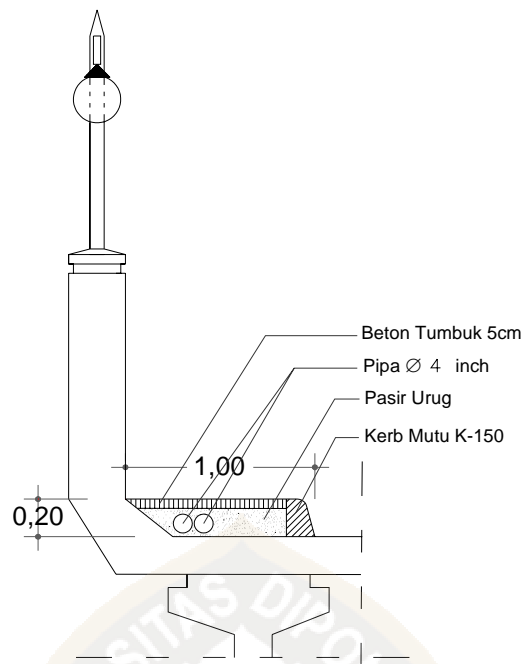


Gambar 5.8 Penulangan Tiang Sandaran

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Trotoar

Trotoar atau sering disebut *side walk* adalah sebuah prasarana yang diperuntukkan bagi pejalan kaki. Trotoar adalah pertebalan dari pelat lantai kantilever seperti terlihat pada Gambar 5.9 berikut:



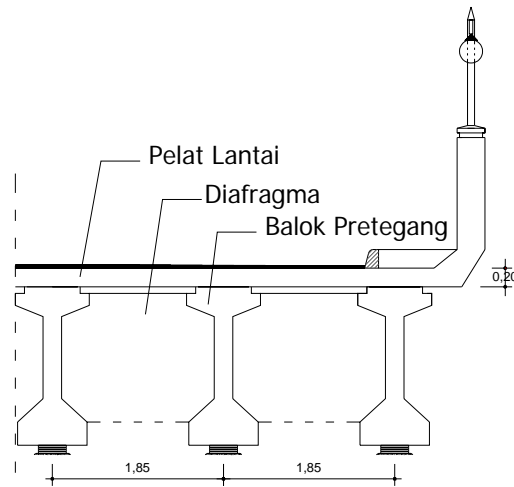
Gambar 5.9 Trotoar

Pada perencanaan *fly over* Benda ini, lantai trotoar direncanakan dengan lebar (b) = 1 m dan tebal (t) = 0,2 m. Didalam trotoar disediakan 2 pipa dengan Ø 4 inch untuk penanaman kabel listrik, telepon atau jaringan utilitas lainnya. Untuk lebih ekonomisnya trotoar dirancang menggunakan penutup dari bahan beton tumbuk dengan tebal 5 cm yang didalamnya diisi pasir urug dan disamping trotoar digunakan kerb dengan tinggi 20 cm, lebar 15 cm dan panjang 40 cm, dengan mutu beton K-150.

5.3.4 Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai kendaraan merupakan bagian penting dalam perencanaan *fly over*. Pelat lantai *fly over* diletakkan diatas balok prategang dan dibawah perkerasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.10 skema pelat lantai kendaraan berikut ini:

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN



Gambar 5.10 Skema Pelat Lantai Kendaraan

Dalam perencanaan *fly over* Bendan, pelat lantai *fly over* direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tebal pelat lantai kendaraan (h) = 20 cm
- Tebal lapisan air hujan (t_h) = 5 cm
- Mutu beton (f'c) = K-350 (f'c = 350 × 0,83 = 290 kg/cm²)
- Mutu baja (fy) = 400 MPa
- Berat Jenis (BJ) beton = 24 kN/m³
- Berat Jenis (BJ) air hujan = 10 kN/m³

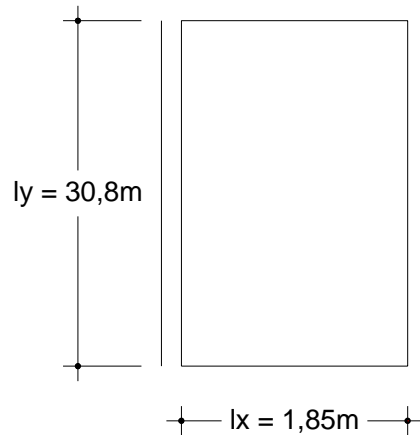
5.3.4.1 Pembebanan Akibat Beban Mati

A. Beban mati (D) pada lantai kendaraan

Beban mati pada lantai kendaraan terdiri dari:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pelat} &= h \times b \times \text{BJ}_{\text{beton}} = 0,2 \times 1 \times 24 = 4,80 \text{ kN/m} \\ \text{Berat aspal} &= t \times b \times \text{BJ}_{\text{aspal}} = 0,05 \times 1 \times 22 = 1,10 \text{ kN/m} \\ \text{Berat air hujan} &= t_h \times b \times \text{BJ}_{\text{air}} = 0,05 \times 1 \times 10 = \underline{0,50 \text{ kN/m}} \\ \Sigma \text{Beban mati (q}_D\text{)} &= 6,40 \text{ kN/m} \\ q_u &= 1,2 \times q_D \\ &= 1,2 \times 6,40 = 7,68 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Diasumsikan pelat lantai menumpu pada dua sisi (arah ly) dan terletak bebas pada dua sisi yang lain (arah lx) karena tidak ada gelagar melintang yang ikut menahan beban, sesuai dengan Gambar 5.11 berikut:



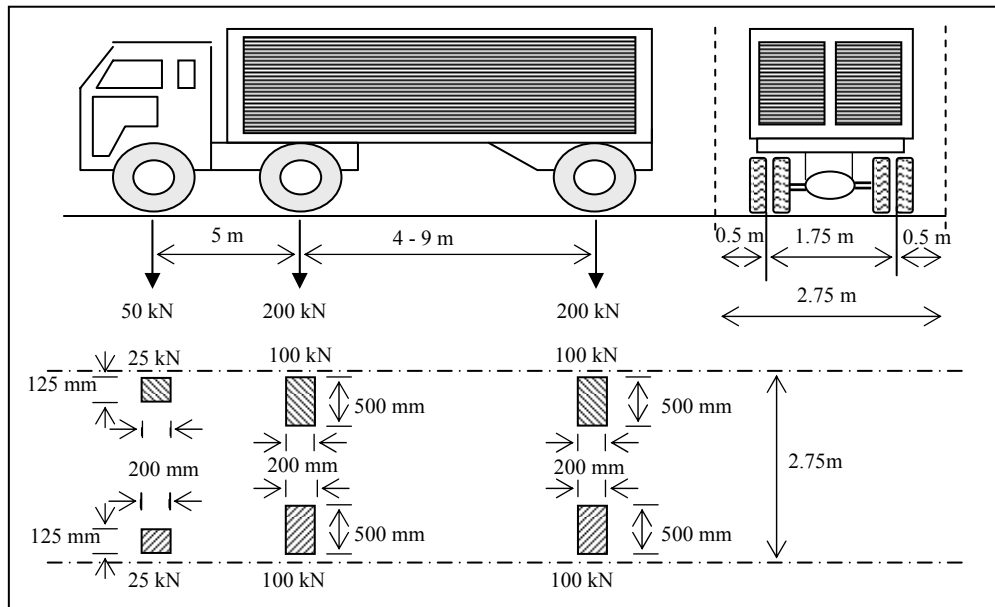
Gambar 5.11 Asumsi Perletakan Pelat Lantai Fly Over

Perhitungan momen untuk beban tetap pada lantai kendaraan menurut Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang, hal 26 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 7,68 \times 1,85^2 \times 65 = 1,709 \text{ kNm} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L_x^2 \times X \\ &= -0,001 \times 7,68 \times 1,85^2 \times 83 = -2,182 \text{ kNm} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 7,68 \times 1,85^2 \times 16 = 0,421 \text{ kNm} \end{aligned}$$

B. Beban Muatan (T)

Untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan *fly over* harus digunakan beban “T”, yaitu beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 5.12 berikut:



Gambar 5.12 Gambar Kendaraan Truk yang Mempunyai Beban Roda Ganda (*dual wheel load*) sebesar 10 ton

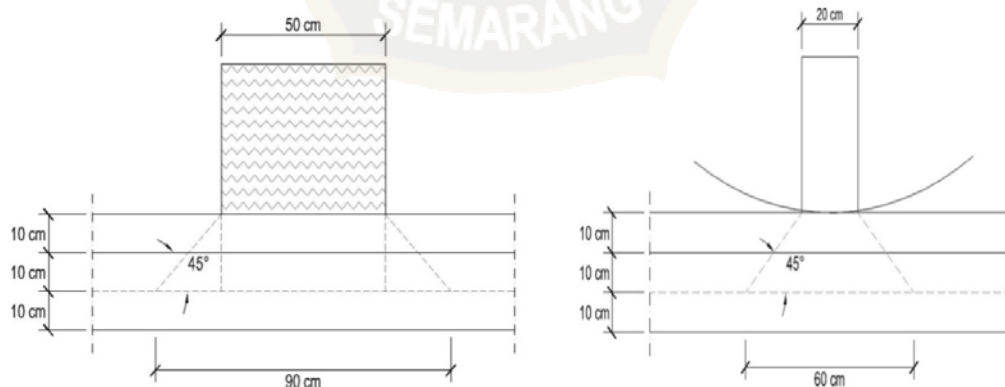
Momen yang dihasilkan dari beban muatan ini dapat dibagi menjadi:

1. Momen akibat beban satu roda
2. Momen pada saat roda berdekatan
3. Momen akibat beban sementara

Dari ketiga momen tersebut akan didapatkan momen desain yang digunakan untuk penulangan pada pelat lantai kendaraan.

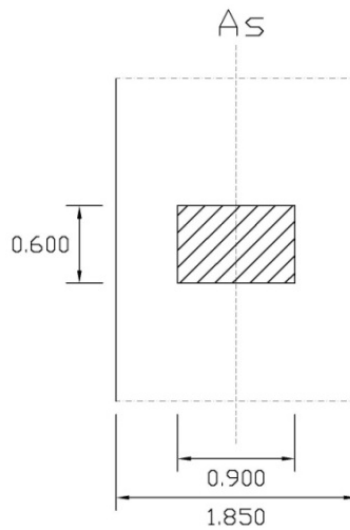
1. Momen Akibat Beban Satu Roda

Momen akibat beban satu roda ini terkondisikan apabila saat satu roda berada ditengah – tengah pelat. Berikut Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 merupakan penyebaran beban satu roda dan tinjauan pembebanannya.



Gambar 5.13 Penyebaran Beban Satu Roda

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN



Gambar 5.14 Tinjauan Pembebanan terhadap Beban Satu Roda

Tekanan roda dianggap menyebar, sehingga:

$$t_x = 50 + 2 \cdot 20 = 90 \text{ cm}$$

$$t_y = 20 + 2 \cdot 20 = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Beban roda} = 100 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor beban "T"} = 2,0$$

$$\text{Beban terfaktor} = 100 \times 2 = 200 \text{ kN}$$

Muatan T disebarakan sehingga:

$$T' = \frac{200 \cdot 1}{0,9 \cdot 0,6} = 370,37 \text{ kN/m}^2$$

Digunakan tabel Bitner dengan $L_x = 1,85 \text{ m}$

$L_y = \infty \text{ m}$ (lantai tidak menumpu pada diafragma)

Dicari momen pada saat 1 roda pada tengah pelat

$$\left. \begin{array}{l} t_x = 90 \\ l_x = 185 \end{array} \right\} \begin{array}{l} t_x / l_x = 0,486 \longrightarrow f_{xm} = 0,1472 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} t_y = 60 \\ l_x = 185 \end{array} \right\} \begin{array}{l} t_y / l_x = 0,324 \longrightarrow f_{ym} = 0,0976 \end{array}$$

$$\begin{aligned} M_{xm} &= f_{xm} \cdot T' \cdot t_x \cdot t_y \\ &= 0,1472 \cdot 370,37 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \\ &= 29,440 \text{ kNm} \end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\begin{aligned}
 M_{ym} &= f_{ym} \cdot T' \cdot t_x \cdot t_y \\
 &= 0,0976 \cdot 370,370 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \\
 &= 19,520 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen total akibat beban satu roda adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Arah X (lapangan)} \longrightarrow M_{Lx} &= M_L + M_{xm} \\
 &= 1,709 + 29,440 \\
 &= 31,149 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

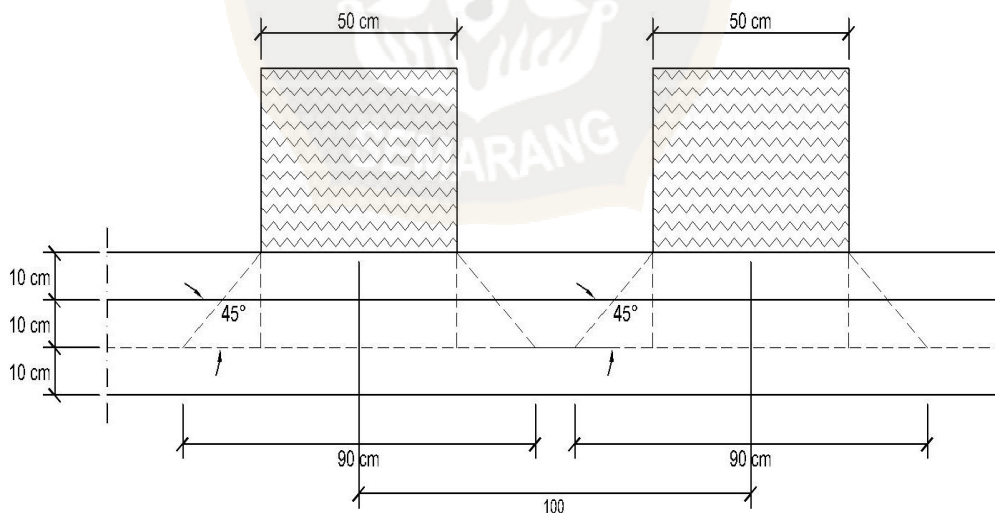
$$\begin{aligned}
 \text{Arah X (tumpuan)} \longrightarrow M_{Tx} &= M_T + M_{xm} \\
 &= -2,182 + 29,440 \\
 &= 27,258 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Arah Y (lapangan)} \longrightarrow M_{Ly} &= M_L + M_{ym} \\
 &= 0,421 + 19,520 \\
 &= 19,941 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2. Momen Pada saat Roda Berdekatan

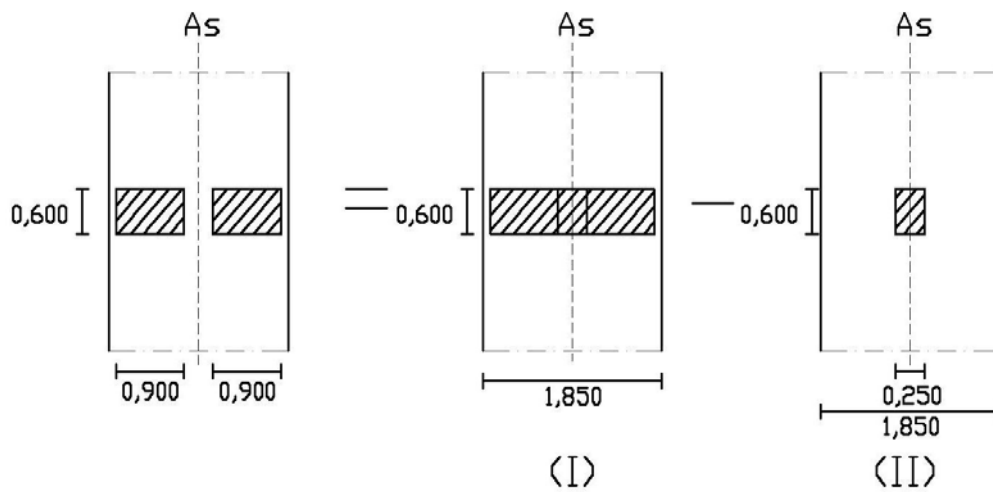
Momen pada saat roda berdekatan memiliki persyaratan bahwa jarak antara as ke as minimal 100 cm.

Berikut Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 merupakan penjelasan dari penyebaran beban dua roda dan tinjauan pembebanan terhadap dua roda.



Gambar 5.15 Penyebaran Beban Dua Roda

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN



Gambar 5.16 Tinjauan Pembebanan terhadap Beban Dua Roda

(1). Bagian I

$$\left. \begin{array}{l} t_x = 182,5 \\ l_x = 185 \end{array} \right\} t_x / l_x = 0,986 \longrightarrow f_{xm} = 0,0919$$

$$\left. \begin{array}{l} t_y = 60 \\ l_x = 185 \end{array} \right\} t_y / l_x = 0,324 \longrightarrow f_{ym} = 0,0595$$

$$\begin{aligned} M_{xm1} &= f_{xm1} * T' * t_{x1} * t_{y1} \\ &= 0,0919 * 370,37 * 1,825 * 0,6 \\ &= 37,271 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ym1} &= f_{ym1} * T' * t_{x1} * t_{y1} \\ &= 0,0595 * 370,370 * 1,825 * 0,6 \\ &= 24,131 \text{ KNm} \end{aligned}$$

(2). Bagian II

$$\left. \begin{array}{l} t_x = 25 \\ l_x = 185 \end{array} \right\} t_x / l_x = 0,135 \longrightarrow f_{xm} = 0,2228$$

$$\left. \begin{array}{l} t_y = 60 \\ l_x = 185 \end{array} \right\} t_y / l_x = 0,324 \longrightarrow f_{ym} = 0,1107$$

$$\begin{aligned} M_{xm2} &= f_{xm2} * T' * t_{x1} * t_{y1} \\ &= 0,2228 * 370,37 * 0,25 * 0,6 \\ &= 12,378 \text{ KNm} \end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\begin{aligned} M_{ym2} &= f_{ym2} * T' * t_{x1} * t_{y1} \\ &= 0,1107 * 370,370 * 0,25 * 0,6 \\ &= 6,150 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Momen bidang kontak penyebaran dua roda merupakan pengurangan dari bagian 1 dan bagian 2, adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{xm} &= M_{xm1} - M_{xm2} \\ &= 37,271 - 12,378 \\ &= 24,893 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ym} &= M_{ym1} - M_{ym2} \\ &= 24,131 - 6,150 \\ &= 17,981 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen Total akibat beban dua roda yang berdekatan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Arah X (lapangan)} \longrightarrow M_{Lx} &= M_L + M_{xm} \\ &= 1,709 + 24,893 \\ &= 26,602 \text{ kNm} \end{aligned}$$

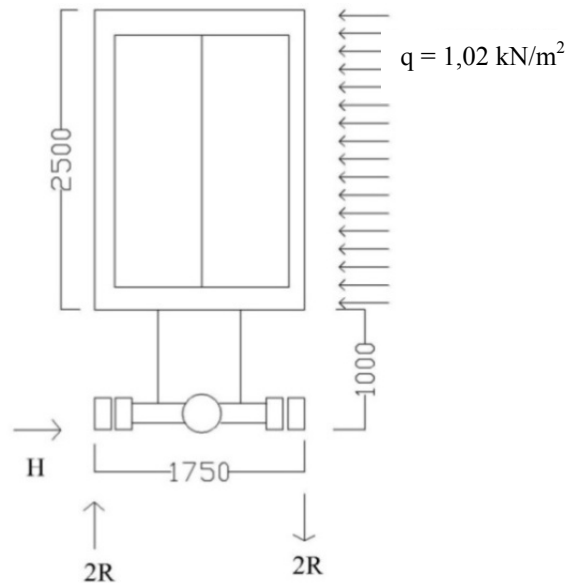
$$\begin{aligned} \text{Arah X (tumpuan)} \longrightarrow M_{Tx} &= M_T + M_{xm} \\ &= -2,182 + 24,893 \\ &= 22,711 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah Y (lapangan)} \longrightarrow M_{Ly} &= M_L + M_{ym} \\ &= 0,421 + 17,981 \\ &= 18,402 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Momen Akibat Beban Sementara

Beban sementara adalah beban angin yang bekerja pada kendaraan kearah horizontal dengan $q = 1,02 \text{ kN/m}^2$ (BMS 1992).

Berikut Gambar 5.17 merupakan gambar potongan melintang kendaraan dan pembebanan akibat beban sementara.



Gambar 5.17 Gambar Potongan Melintang Truk

$$H = 2,5 \times 1,02 = 2,55 \text{ kN}$$

$$\sum M = 0$$

$$R \times 1,75 - H \times \left(\frac{2,5}{2} + 1 \right) = 0$$

$$R \times 1,75 - 2,55 \times 2,25 = 0$$

$$R = 3,28 \text{ kN}$$

$$2R = 6,55 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban T} &= \text{beban T roda} + \text{beban angin} \\ &= 200 + 6,55 \\ &= 206,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

Muatan T disebarikan $f_x = 90 \text{ cm}$, $f_y = 60 \text{ cm}$

$$T' = \frac{T \times BM}{f_x \times f_y} = \frac{206,55 \times 1}{0,9 \times 0,6} = 382,50 \text{ kN/m}$$

Ditinjau akibat beban 2 roda yang menentukan maka:

$$\begin{aligned} M_{xm} &= f_{xm} \times T' \times t_x \times t_y \\ &= 0,0919 \times 382,5 \times 0,9 \times 0,6 \\ &= 18,982 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ym} &= f_{ym} \times T' \times b_x \times b_y \\ &= 0,0595 \times 382,55 \times 0,9 \times 0,6 = 12,29 \text{ kNm} \end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Momen total akibat beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Arah X (lapangan)} \longrightarrow M_{Lx} &= M_L + M_{xm} \\ &= 1,709 + 18,982 = 20,691 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah X (tumpuan)} \longrightarrow M_{Tx} &= M_T + M_{xm} \\ &= -2,182 + 18,982 = 16,800 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arah Y (lapangan)} \longrightarrow M_{Ly} &= M_L + M_{ym} \\ &= 0,421 + 12,29 = 12,711 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kombinasi pembebanan akibat beban muatan adalah sebagai berikut:

1. Momen akibat beban tetap + beban satu roda

$$M_{Lx} = 31,149 \text{ kNm}$$

$$M_{Tx} = 27,258 \text{ kNm}$$

$$M_{Ly} = 19,941 \text{ kNm}$$

2. Momen akibat beban tetap + beban pada saat roda berdekatan

$$M_{Lx} = 26,602 \text{ kNm}$$

$$M_{Tx} = 22,711 \text{ kNm}$$

$$M_{Ly} = 18,402 \text{ kNm}$$

3. Momen akibat beban tetap + beban angin

$$M_{Lx} = 20,691 \text{ kNm}$$

$$M_{Tx} = 16,800 \text{ kNm}$$

$$M_{Ly} = 12,711 \text{ kNm}$$

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam penulangan pelat lantai kendaraan adalah momen yang paling besar, sehingga digunakan momen sebagai berikut:

$$M_{Lx} = 31,149 \text{ kNm}$$

$$M_{Tx} = 27,258 \text{ kNm}$$

$$M_{Ly} = 19,941 \text{ kNm}$$

5.3.4.2 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai Kendaraan

a. Penulangan Lapangan Arah X

$$M_u = M_L x = 31,149 \text{ kNm}$$

$$f'_c = 35 \times 0,83 = 29,05 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h \text{ tebal pelat lantai beton} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{selimut beton } p = 40 \text{ mm}$$

$$\text{diameter tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$d = h - p - \frac{1}{2} \phi$$

$$= 200 - 40 - 6,5$$

$$= 153,5 \text{ mm}$$

$$M / b d^2 = 31,149 \times 10^6 / (1000 \times 153,5^2) = 1,322 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{M}{b \times d^2} = \rho \times 0,8 \times f_y \times \left[1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right]$$

$$1,322 = 320 \rho - 2590,843 \rho^2$$

$$\rho = 0,00428$$

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{\min} = 0,0035 \\ \rho_{\max} = 0,3825 \end{array} \right\} \rho > \rho_{\min}, \text{ dipakai } \rho$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00428 \times 1000 \times 153,5$$

$$= 656,98 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan lapangan arah x → D 13 - 200 ($A_s = 664 \text{ mm}^2$).

b. Penulangan Tumpuan Arah X

$$M_u = M_T x = 27,258 \text{ kNm}$$

$$f'_c = 35 \times 0,83 = 29,05 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$h \text{ tebal pelat lantai beton} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{selimut beton } p = 40 \text{ mm}$$

$$\text{diameter tulangan} = 13 \text{ mm}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\begin{aligned}d &= h - p - \frac{1}{2}\phi \\ &= 200 - 40 - 6,5 \\ &= 153,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$M / b d^2 = 27,258 \times 10^6 / (1000 \times 153,5^2) = 1,157 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{M}{b \times d^2} = \rho \times 0,8 \times f_y \times \left[1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'c} \right]$$

$$1,157 = 320 \rho - 2590,843 \rho^2$$

$$\rho = 0,0037$$

$$\left. \begin{aligned}\rho_{\min} &= 0,0035 \\ \rho_{\max} &= 0,3825\end{aligned} \right\} \rho > \rho_{\min}, \text{ dipakai } \rho$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0037 \times 1000 \times 153,5 \\ &= 567,95 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh luas tulangan tumpuan yang dibutuhkan $567,95 \text{ mm}^2$, sedangkan luas tulangan lapangan arah x yang dipakai adalah 664 mm^2 . Karena luas tulangan tumpuan arah x yang diperlukan lebih kecil dari luas tulangan lapangan arah x, maka pada pemasangan tulangan tumpuan untuk pelat lantai kendaraan digunakan tulangan yang sama dengan tulangan lapangan arah x yaitu D13 – 200.

c. Penulangan Lapangan Arah Y

$$M_u = M_{L y} = 19,941 \text{ KNm}$$

$$f'c = 35 \times 0,83 = 29,05 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$h \text{ tebal pelat lantai beton} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{selimut beton } p = 40 \text{ mm}$$

$$\text{diameter tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}d &= h - p - \frac{1}{2}\phi \\ &= 200 - 40 - 6,5 \\ &= 153,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$M / b d^2 = 19,941 \times 10^6 / (1000 \times 153,5^2) = 0,846 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{M}{b \times d^2} = \rho \times 0,8 \times f_y \times \left[1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'c} \right]$$

$$0,846 = 320 \rho - 2590,843 \rho^2$$

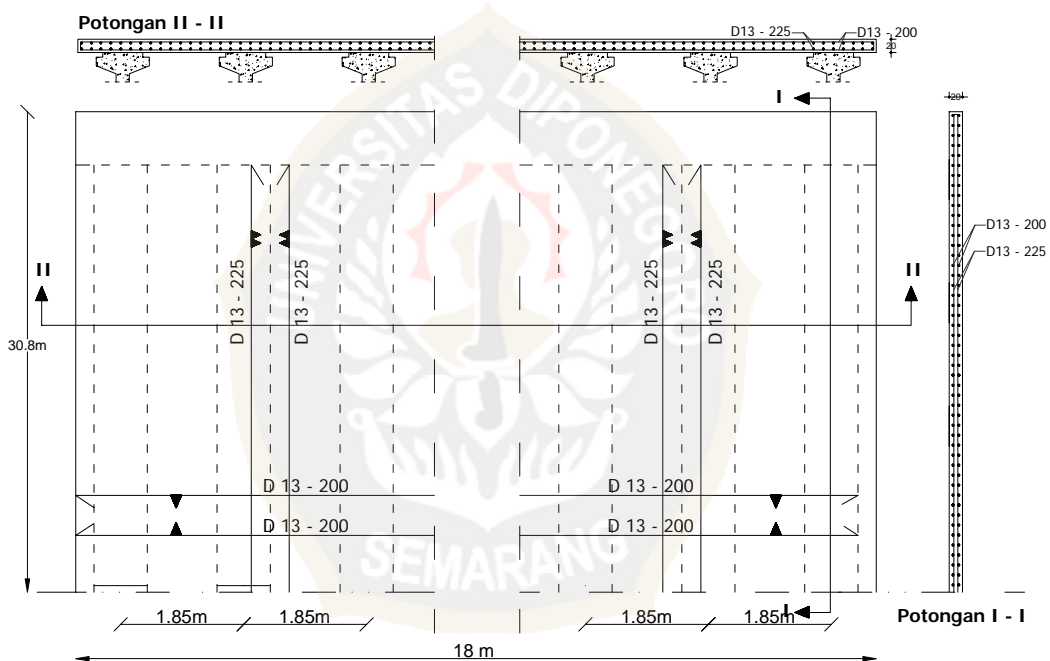
$$\rho = 0,0027$$

$$\left. \begin{array}{l} \rho_{\min} = 0,0035 \\ \rho_{\max} = 0,3825 \end{array} \right\} \rho < \rho_{\min}, \text{ dipakai } \rho_{\min}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 153,5 \\ &= 537,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lapangan arah y \rightarrow D 13 - 225 ($A_s = 590 \text{ mm}^2$).

Berikut Gambar 5.18 merupakan detail penulangan pelat lantai kendaraan.

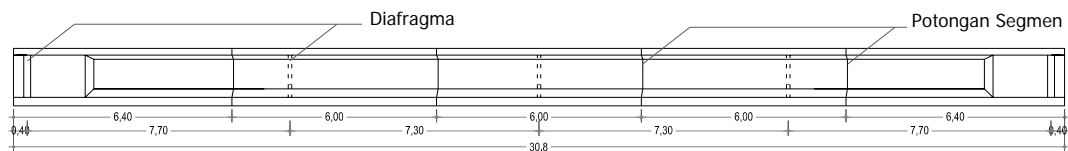


Gambar 5.18 Detail Penulangan Pelat Lantai Kendaraan

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.5 Perhitungan Balok Prategang

Balok prategang merupakan konstruksi utama bangunan atas *fly over*, balok prategang ini memiliki fungsi utama untuk menahan gaya lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban di atasnya. Berikut Gambar 5.19 merupakan sketsa balok prategang:



Gambar 5.19 Sketsa Balok Prategang

Data – data teknis balok prategang adalah sebagai berikut:

Panjang = 30,8 m

Jumlah segmen = 5 buah

Jumlah diafragma = 5 buah

Penampang balok prategang dapat dilihat pada Gambar 5.5.

5.3.5.1 Bahan Material

Balok prategang terdiri dari beton dan kabel *prestress*, berikut merupakan spesifikasi dari bahan material beton prategang tersebut:

1. Beton

Komponen pracetak K-800

f'_c = tegangan umur 28 hari = $0,83 \times 80 = 66,4$ MPa

f_{ci} = tegangan beton saat transfer (umur 14 hari)
= $0,9 \times 80$ MPa = $59,76$ MPa

Kondisi Awal

$$\begin{aligned}\sigma_A &= -f_{ti} \\ &= -(-0,5 \sqrt{f_{ci}}) = 0,5 \times \sqrt{59,76} = 3,865 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_B = 0,6 \times f'_{ci} = 0,6 \times 59,76 = 35,856 \text{ MPa}$$

Kondisi Akhir

$$\sigma_B = 0,45 \times 66,4 = 33,68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_A = -f_t = -(-0,5 \sqrt{f'_c}) = 0,5 \sqrt{66,4} = 4,074 \text{ MPa}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

2. Kabel *Prestress* (*Uncoated stress relieved seven wire*)

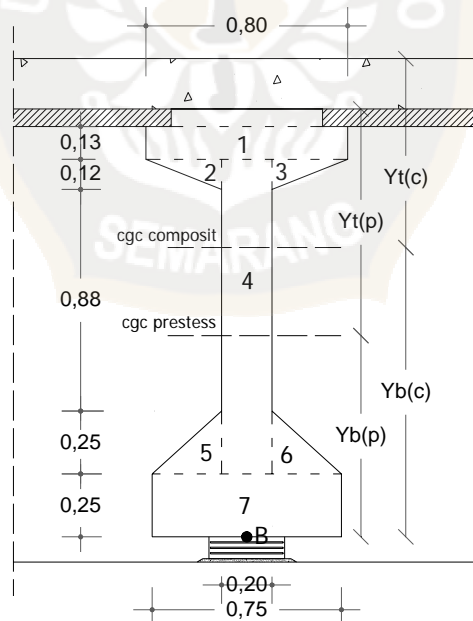
- a. Diameter \emptyset = 12,7 mm
- b. Luas penampang efektif = 0,987 cm²
- c. Modulus elastis E = 1,95 × 10⁶ kg/m² = 1,95 × 10⁴ kN/m²
- d. *Ultimate Tesile Strength* = 19000 kg/m² = 190 kN/m²

5.3.5.2 Analisis Penampang Balok

Analisis penampang balok prategang ini digunakan untuk mengetahui titik berat penampang, jarak dari serat atas dan serat bawah penampang yang nantinya digunakan untuk mengetahui letak eksentrisitas tendon balok serta pembebanan balok prategangnya.

Analisis penampang balok ini terdiri dari dua bagian yaitu penampang balok sebelum komposit dan penampang balok sesudah komposit. Analisis penampang balok sebelum komposit adalah penampang balok itu sendiri sedangkan penampang balok setelah komposit merupakan penampang balok ditambah dengan pelat lantai kendaraan.

Berikut Gambar 5.20 adalah gambar untuk menjelaskan sketsa letak titik berat penampang sebelum adanya komposit (*CGC composit*) dan letak titik berat penampang balok prategang (*CGC prestress*).



Gambar 5.20 Sketsa Titik Berat Penampang Balok Prategang

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

1. Analisis penampang sebelum komposit

Berikut Tabel 5.1 merupakan perhitungan dari analisis penampang dan momen inersia (I_x) balok prategang.

Tabel 5.1 Analisis Penampang Balok Prategang

No	b (cm)	h (cm)	A (cm ²)	Y (cm)	A*Y (cm ²)	(Y-Yb) ² (cm ²)	I _{xo} (cm ⁴)	A*(Y-Yb) ² (cm ²)	I _{x tot} (cm ⁴)
1	80	13	1040	156,5	162.760	5858,37	14.646,67	6.092.704,80	6.107.351,47
2	30	12	180	146	26.280	4361,28	1440	785.030,40	786.470,40
3	30	12	180	146	26.280	4361,28	1440	785.030,40	786.470,40
4	20	125	2500	87,5	218.750	56,85	3.255.208,33	142.125,00	3.397.333,33
5	27,5	25	343,75	33,3	11.458,22	2174,08	35.807,29	747.340,00	783.147,29
6	27,5	25	343,75	33,3	11.458,22	2174,08	35.807,29	747.340,00	783.147,29
7	75	25	1875	12,5	23.437,50	4550,85	97.656,25	8.532.843,75	8.630.500,00
Total			6462,5		480.423,94				21.274.420,18

Sumber : Analisis Tahun 2009

Penentuan cgc balok prategang:

$$Y_b(p) = \sum \frac{A x Y}{A} = \frac{480.423,94}{6462,5} = 74,34 \text{ cm}$$

$$Y_t(p) = 170 - 74,34 = 95,66 \text{ cm}$$

$$W_b = \frac{I_x}{Y_b} = \frac{21.274.420,75}{74,34} = 286.177,30 \text{ cm}^3$$

$$W_t = \frac{I_x}{Y_t} = \frac{21.274.420,75}{95,66} = 222.396,20 \text{ cm}^3$$

Penentuan batas inti (batas kern) balok prategang:

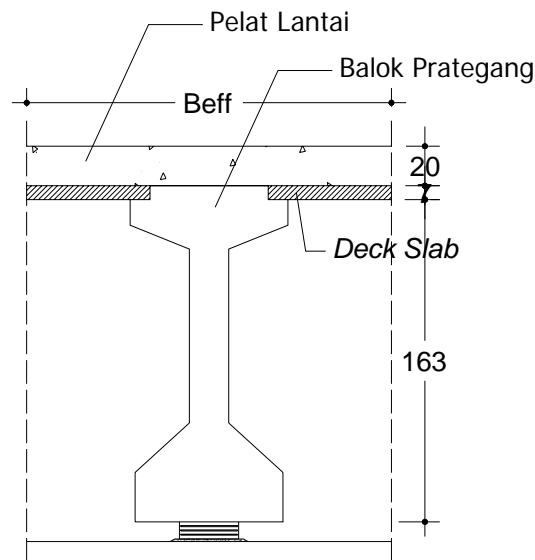
$$K_t(p) = \frac{I_{xTot}}{(A x Y_b)} = \frac{21.274.420,18}{(6462,5 x 74,34)} = 44,28 \text{ cm}$$

$$K_b(p) = \frac{I_{xTot}}{(A x Y_t)} = \frac{21.274.420,18}{(6462,5 x 95,66)} = 34,41 \text{ cm}$$

2. Analisis penampang sesudah komposit

Balok komposit dalam hal ini adalah perpaduan antara balok prategang dengan pelat lantai. Oleh karena itu dalam perhitungan momen inersia ditentukan dengan perpaduan keduanya. Berikut Gambar 5.21 merupakan sketsa komposit balok prategang.

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN



Gambar 5.21 Komposit Balok Prategang

Luas Pelat Ekuivalen

Lebar efektif (b_e):

$b_e \approx \frac{1}{4} \times L$ dimana L adalah panjang balok prategang

$$\approx \frac{1}{4} \times 3080 = 770 \text{ cm}$$

$b_e \approx 12 t$ dimana t adalah tebal pelat lantai kendaraan

$$\approx 12 \times 20 = 240 \text{ cm}$$

$b_e \approx \text{jarak antar balok} = 185 \text{ cm}$

Dari ketiga alternatif tersebut diatas maka dipilih b_e terkecil yaitu 185 cm

Mutu beton girder (f'_c) = 80 MPa x 0,83 = 66,4 MPa

Mutu beton pelat lantai (f'_c) = 35 Mpa x 0,83 = 29,05 MPa

Modulus elastisitas beton: (E) = $wc^{1,5} \cdot 0,043 \cdot \sqrt{f'_c}$

Mutu beton ekuivalen (n):

$$n = \frac{E_{\text{pelat}}}{E_{\text{betonprategang}}} = \frac{2400^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{29,05}}{2500^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{66,4}} = 0,661$$

Lebar pelat efektif (b_{ef}):

$$b_{ef} = n \times b_e$$

$$= 0,661 \times 185$$

$$= 122,285 \text{ cm}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Luas pelat efektif (A_{plat}):

$$A_{plat} = 20 \times 122,285 \\ = 2445,7 \text{ cm}^2$$

Jarak pelat keatas (y_{plat}):

$$y_{plat} = h + t/2 \\ = 170 + 20/2 = 180 \text{ cm}$$

Luas Balok Komposit:

$$A_c' = A_{balok} + A_{pelat} \\ = 6462,5 + 2445,7 = 8908,2 \text{ cm}^2$$

Statis Momen:

$$S_c = (A \times Y_b) + (A_{plat} \times (h + 0,5h_{plat})) \\ = (6462,5 \times 74,34) + (2445,7 \times (170 + (0,5 \times 20))) \\ = 920.648,25 \text{ cm}^3$$

Jarak dari serat bawah:

$$Y_b' = \frac{S_c}{A_c'} = \frac{920.648,25}{8908,2} = 103,35 \text{ cm}$$

Jarak dari serat atas :

$$Y_t' = (170 + 20) - 103,35 = 86,65 \text{ cm}$$

Momen inersia (I_X'):

$$I_X' = I_X + A_c' (y_b' - y_b)^2 + I_{pelat} + A_{pelat} (y_b' - y_{pelat})^2 \\ = 21.274.420,18 + 8908,2 (103,35 - 74,34)^2 + (1/12 \times 122,285 \times 20^3) + \\ 2445,7 (103,35 - 180)^2 \\ = 28.665.444,46 \text{ cm}^4$$

Momen lawan bagian atas komposit:

$$W_t' = \frac{28.665.444,46}{86,65} = 330.818,75 \text{ cm}^3$$

Momen lawan bagian bawah komposit :

$$W_b' = \frac{28.665.444,46}{103,35} = 277.362,79 \text{ cm}^3$$

Penentuan batas inti balok prategang:

$$K_b' = \frac{28.665.444,46}{86,65 \times 8908,2} = 37,14 \text{ cm}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$K_t' = \frac{28.665.444,46}{103,35 \times 8908,2} = 31,14 \text{ cm}$$

Perbandingan modulus penampang balok dengan komposit:

$$m_b = \frac{(I_x : Y_b)}{(I_x' : Y_b')} = 1,032$$

$$m_a = \frac{(I_x : Y_t)}{(I_x' : Y_t')} = 0,672$$

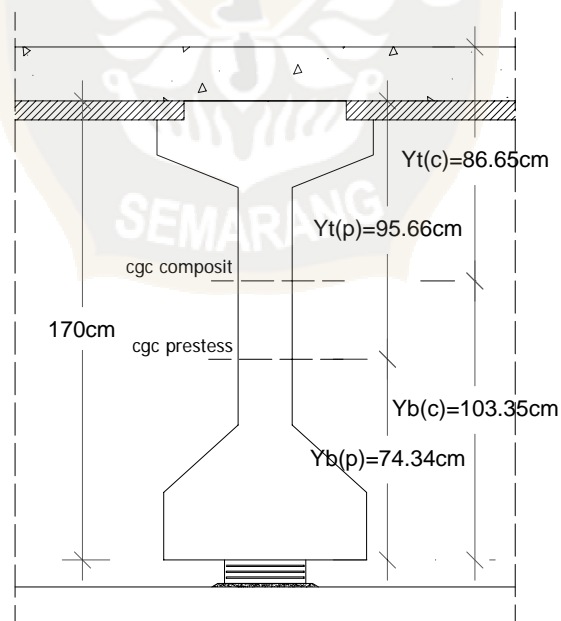
Resume dari kedua jenis analisis penampang yaitu analisis balok prategang dan analisis penampang komposit adalah pada Tabel 5.2 sebagai berikut:

Tabel 5.2 Resume Analisis Penampang

Uraian	A (cm ²)	Y _t (cm)	y _b (cm)	I _x (cm ⁴)	W _t (cm ³)	W _b (cm ³)
Balok <i>Precast</i>	6462,5	95,66	74,34	21.274.420,18	222.396,20	286.177,30
Balok <i>Composite</i>	8908,2	86,65	103,35	28.665.444,46	330.818,75	277.362,79

Sumber : Hasil Analisis Tahun 2009

Berikut Gambar 5.22 merupakan jarak serat atas dan serat bawah penampang balok prategang sebelum komposit dan sesudah komposit.



Gambar 5.22 Letak Titik Berat Penampang

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.5.3 Pembebanan Balok Prategang

Pembebanan pada balok prategang digunakan untuk mengetahui apakah penampang balok prategang tersebut bisa menahan beban – beban yang bekerja pada penampang.

Pembebanan pada balok prategang terdiri dari 2 macam beban yaitu:

1. Beban Mati
2. Beban Hidup

Selanjutnya merupakan tahapan dari pembebanan balok prategang.

1. Pembebanan balok prategang akibat beban mati

Berat sendiri balok prategang (q_1)

$$\begin{aligned}q_1 &= A_c \times \gamma_{\text{beton prategang ULS}} \\ &= 0,64625 \text{ m}^2 \times 31,2 \text{ kN/m}^3 = 20,16 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Berat pelat lantai (q_2)

$$\begin{aligned}q_2 &= A_{\text{pelat}} \times \gamma_{\text{beton bertulang ULS}} \\ &= 0,2 \text{ m} \times 1,85 \text{ m} \times 32,5 \text{ kN/m}^3 = 12,03 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Berat aspal (q_3)

$$\begin{aligned}q_3 &= A_{\text{aspal}} \times \gamma_{\text{aspal ULS}} \\ &= 0,05 \text{ m} \times 1,85 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 = 4,07 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Deck slab (q_4)

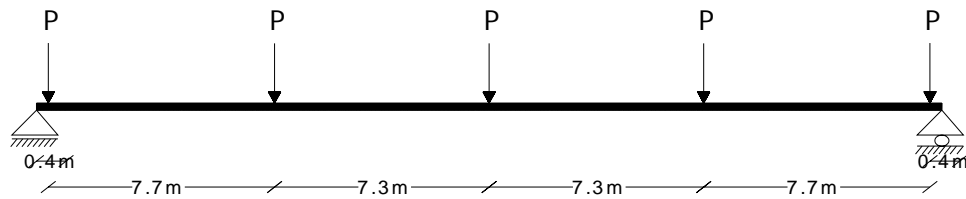
$$\begin{aligned}q_4 &= A_{\text{Deck Slab}} \times \gamma_{\text{beton bertulang ULS}} \\ &= 0,07 \times 1,2 \text{ m} \times 32,5 \text{ kN/m}^3 = 2,73 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Berat diafragma (P)

$$\begin{aligned}P &= V_{\text{diafragma}} \times \gamma_{\text{beton bertulang ULS}} \\ &= 0,395 \text{ m}^3 \times 32,5 \text{ kN/m}^3 = 12,84 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total beban } q &= q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \\ &= 20,16 + 12,03 + 4,07 + 2,73 \\ &= 38,98 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Direncanakan pada *fly over* Bendan akan menggunakan 5 buah diafragma dengan jarak antar diafragma adalah 7,7m dan 7,3m. Berikut Gambar 5.23 merupakan sketsa pembebanan diafragma pada gelagar jembatan.



Gambar 5.23 Pembebanan Balok Prategang Akibat Diafragma (P)

$$\Sigma P = 5 \times 12,84 = 64,2 \text{ kN}$$

Reaksi Perletakan:

$$V_A = V_B = (38,98 \times 30,8 + 64,2) \times 0,5 = 632,392 \text{ kN}$$

Momen akibat balok prategang (M_G):

$$\begin{aligned} M_G &= \frac{1}{8} \times 20,16 \times 30,8^2 \\ &= 2390,57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen akibat beban mati (M_m):

$$\begin{aligned} M_m &= \frac{1}{8} \times 38,98 \times 30,8^2 + \frac{1}{4} \times 64,2 \times 30,8 \\ &= 4622,248 + 494,34 \\ &= 5116,88 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Pembebanan balok prategang akibat beban hidup

Dari perhitungan sistem pembebanan yang telah dilakukan pada sub-bab sebelumnya didapatkan beban hidup sebagai berikut:

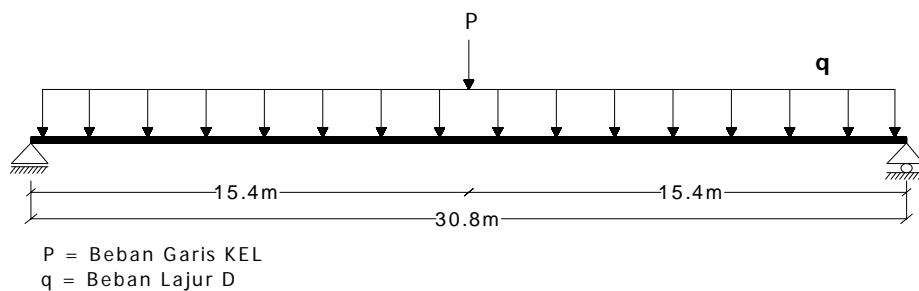
Beban lajur "D" $\rightarrow (q) = 7,9 \text{ kN/m}^2 \times 1,85 \text{ m} = 14,02 \text{ kN/m}$

Beban garis "KEL" $(p) = 44 \text{ kN/m}$

Beban dinamik (DLA) $= 1,4$

Gaya akibat beban garis "KEL" dan beban dinamik $(P) = 113,96 \text{ kN}$

Berikut Gambar 5.24 merupakan sketsa pembebanan pada beban hidup.



Gambar 5.24 Pembebanan Balok Prategang Akibat Beban Hidup

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Reaksi Perletakan:

$$V_A = (14,02 \times 30,8 + 113,96) \times 0,5 = 272,89 \text{ kN}$$

Momen akibat beban hidup (M_h):

$$\begin{aligned} M_h &= \frac{1}{8} \times 14,02 \times 30,8^2 + \frac{1}{4} \times 113,96 \times 30,8 \\ &= 2539,98 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Momen total akibat beban mati dan beban hidup

$$\begin{aligned} M_T &= \text{Momen Total} \\ &= M_m + M_h \\ &= 5116,88 + 2539,98 \\ &= 7656,568 \text{ kNm} \end{aligned}$$

M_p = Momen pada prategang akibat berat sendiri balok, pelat lantai kendaraan, *deck slab* dan balok diafragma sebelum komposit berfungsi (tanpa beban hidup dan beban aspal).

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{8} \times (20,16 + 12,03 + 2,73) \times 30,8^2 + \frac{1}{4} \times 64,2 \times 30,8 \\ &= 4635,154 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_c &= \text{Momen penampang komposit} \\ &= M_T - M_p \\ &= 7656,568 - 4635,154 \\ &= 3021,414 \text{ kNm} \end{aligned}$$

5.3.5.4 Perhitungan Gaya Prategang

Berdasarkan dari perhitungan yang telah dilakukan pada sub-bab sebelumnya, maka didapatkan spesifikasi sebagai berikut:

Mutu beton balok prategang : $f'_c = 80 \text{ MPa}$

Titik berat penampang : $Y_b (p) = 74,34 \text{ cm}$ $Y_b (c) = 103,35 \text{ cm}$
 $Y_t (p) = 95,66 \text{ cm}$ $Y_t (c) = 86,65 \text{ cm}$

Luas penampang : $A (p) = 6462,5 \text{ cm}^2$
 $A (c) = 8908,2 \text{ cm}^2$

Momen inersia : $I_x (p) = 21.274.420,18 \text{ cm}^4$
 $I_x (c) = 28.665.444,46 \text{ cm}^4$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Spesifikasi beton prategang (K-800)

$$f'c = \text{tegangannya umur 28 hari} = 80 \times 0,83 = 66,4 \text{ MPa}$$

$$f'c_i = \text{tegangannya beton saat transfer (umur 14 hari)} \\ = 0,9 \times 66,4 \text{ MPa} = 59,76 \text{ MPa}$$

Kondisi awal (setelah transfer tegangan, sebelum kehilangan tegangan)

$$f_{ti} = -3,865 \text{ MPa}$$

$$f_{ci} = 35,85 \text{ MPa}$$

Kondisi Akhir (pada saat beban mulai bekerja)

$$f_t = -4,074 \text{ MPa}$$

$$f_c = 33,68 \text{ MPa}$$

Berikut merupakan tahapan perhitungan gaya prategang:

- i. Perkiraan Awal Gaya Prategang

$$F = \frac{M_T}{0,65h} = \frac{7656,568}{0,65 \times 1,7} = 6929,021 \text{ kN}$$

Kehilangan tegangan rata-rata untuk sistem *post tensioning* adalah:

$$20\% \rightarrow F_0 = \frac{F}{0,8} = \frac{6929,021}{0,8} = 8661,276 \text{ kN}$$

- ii. Mencari letak eksentrisitas (CGS)

$$e_1 = \frac{M_T}{F} = \frac{7656,568}{6929,021} = 1,105 \text{ cm}$$

$$e_2 = \frac{M_G}{F_0} = \frac{239,057}{8661,276} = 28 \text{ cm}$$

$$e = e_1 + e_2 + K_b \\ = 1,105 + 28 + 34,41 = 63,52 \text{ cm} < Y_b = 74,34 \text{ cm}$$

Diambil eksentrisitas tendon (CGS), $e = 64 \text{ cm}$

- iii. Perhitungan gaya pratekan yang dibutuhkan

Gaya pratekan efektif

$$F = \frac{M_P + (mb \times M_C)}{e + K_t} = \frac{463515,4 + (1,032 \times 302141,4)}{64 + 44,28} \\ = 7160,374 \text{ kN}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

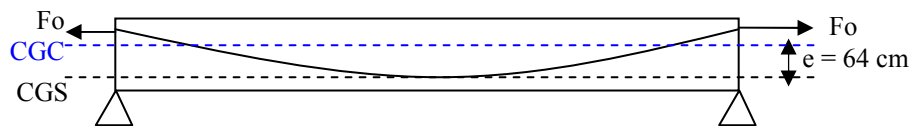
Gaya pratekan awal

$$F_0 = \frac{F}{0,8} = \frac{7160,374}{0,8} = 8950,467 \text{ kN}$$

iv. Kontrol tegangan

a. Akibat gaya pratekan awal

Sketsa pembebanan balok akibat gaya pratekan awal dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut:



Gambar 5.25 Pembebanan Balok akibat Gaya Pratekan Awal

$$\frac{F_0}{A} = \frac{8950,467}{6462,5} = 1,385 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{bottom} = + \frac{F_0 \times e}{A \times Kt}$$

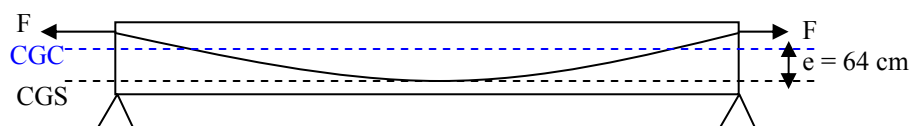
$$= + \frac{8950,467 \times 64}{6462,5 \times 44,28} = 2,001 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{top} = - \frac{F_0 \times e}{A \times Kb}$$

$$= - \frac{8950,467 \times 64}{6462,5 \times 34,41} = - 2,575 \text{ kN/cm}^2$$

b. Akibat gaya pratekan efektif

Sketsa pembebanan balok akibat gaya pratekan efektif dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut:



Gambar 5.26 Pembebanan Balok akibat Gaya Pratekan Efektif

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\frac{F}{A} = \frac{7160,374}{6462,5} = 1,107 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{bottom} = + \frac{F \times e}{A \times K_t}$$

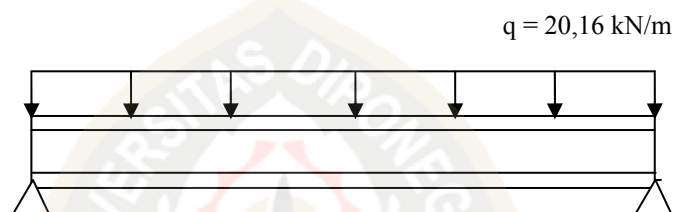
$$= + \frac{7160,374 \times 64}{6462,5 \times 44,28} = 1,601 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{top} = - \frac{F \times e}{A \times K_b}$$

$$= - \frac{7160,374 \times 64}{6462,5 \times 34,41} = - 2,601 \text{ kN/cm}^2$$

c. Akibat berat sendiri balok prategang

Sketsa pembebanan balok akibat berat sendiri balok prategang dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut:



Gambar 5.27 Pembebanan Balok Prategang Akibat Berat Sendiri

$$f_{bottom} = - \frac{M_G}{A \times K_t} = - \frac{239057}{6462,5 \times 44,28}$$

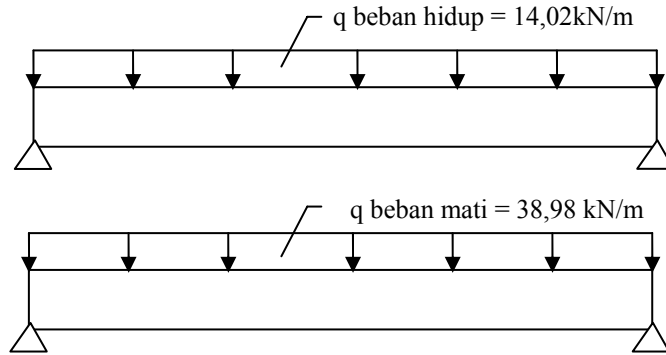
$$= - 0,84 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{top} = + \frac{M_G}{A \times K_b} = + \frac{239057}{6462,5 \times 34,41}$$

$$= 1,08 \text{ kN/cm}^2$$

d. Akibat muatan total

Momen akibat muatan total diperoleh dari dua beban merata yaitu beban mati dan beban hidup. Sketsa balok prategang akibat muatan lokal dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut:



Gambar 5.28 Sketsa Balok Prategang akibat Muatan Total

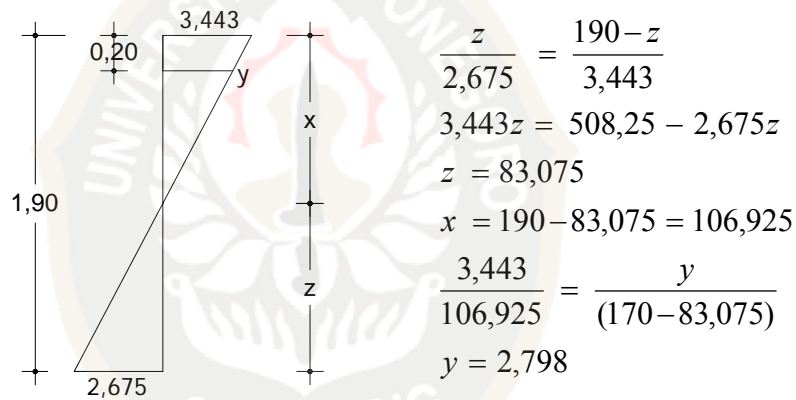
$$f_{bottom} = - \frac{M_T}{A \times K_t} = - \frac{765656,8}{6462,5 \times 44,28}$$

$$= - 2,675 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{top} = + \frac{M_T}{A \times K_B} = + \frac{765656,8}{6462,5 \times 34,41}$$

$$= 3,443 \text{ kN/cm}^2$$

Perhitungan nilai y:



e. Kombinasi Tegangan

1. Keadaan awal (a + c)

$$\begin{aligned} \text{Serat atas (ft)} &= 1,385 - 2,575 + 1,08 \\ &= -0,11 \text{ kN/cm}^2 \\ &= -1,1 \text{ MPa} < - 3,865 \text{ MPa} \dots \dots \text{(ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat bawah (fb)} &= 1,385 + 2,001 - 0,84 \\ &= 2,546 \text{ kN/cm}^2 \\ &= 25,46 \text{ MPa} < 35,85 \text{ MPa} \dots \dots \text{(ok)} \end{aligned}$$

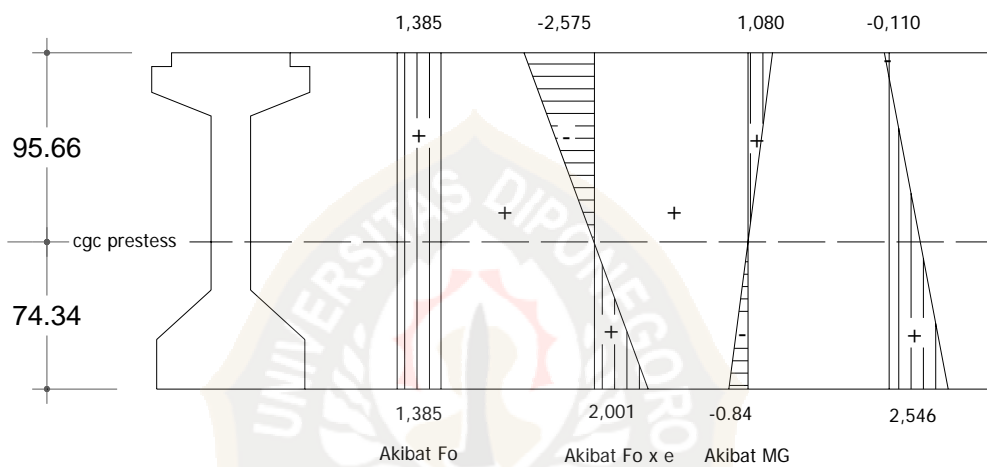
TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

2. Keadaan Akhir (b + d)

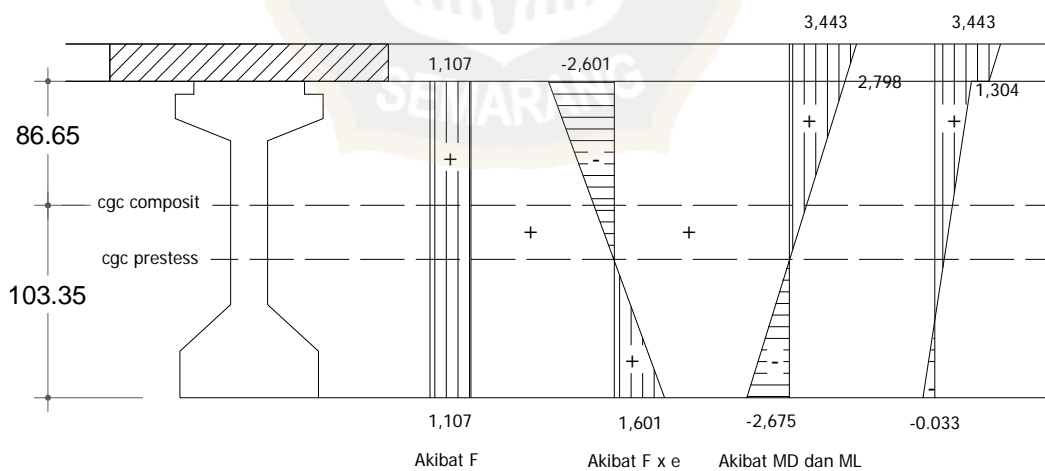
$$\begin{aligned} \text{Serat atas} &= 1,107 - 2,601 + 3,443 \\ &= 1,949 \text{ kN/cm}^2 \\ &= 19,49 \text{ MPa} < 33,68 \text{ MPa} \dots\dots(\text{ok}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat bawah} &= 1,107 + 1,601 - 2,675 \\ &= -0,033 \text{ kN/cm}^2 \\ &= -0,33 \text{ MPa} < -4,074 \text{ MPa} \dots\dots(\text{ok}) \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas maka kondisi awal dan kondisi akhir pada balok prategang setelah transfer tegangan dan setelah beban hidup bekerja dapat digambarkan seperti pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30 berikut:



Gambar 5.29 Diagram Tegangan Kondisi Awal pada Balok Prategang H = 1700mm



Gambar 5.30 Diagram Tegangan Kondisi Akhir pada Balok Prategang H = 1700mm

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.5.5 Perhitungan Kabel Prategang (Tendon)

Kabel prategang yang digunakan untuk tendon prategang adalah untai kawat/*strand* “seven wire strand” dengan spesifikasi seperti berikut ini:

Spesifikasi:

Diameter nominal tiap strand = 12,7 mm

Luas nominal tiap strand = 98,71 mm²

Tegangan batas fpu = 1860 Mpa = 186 kN/cm²

Luas tampang = 98,71 x 7 = 690,97 mm² = 6,9097 cm²

Gaya pra-penegangan terhadap beban:

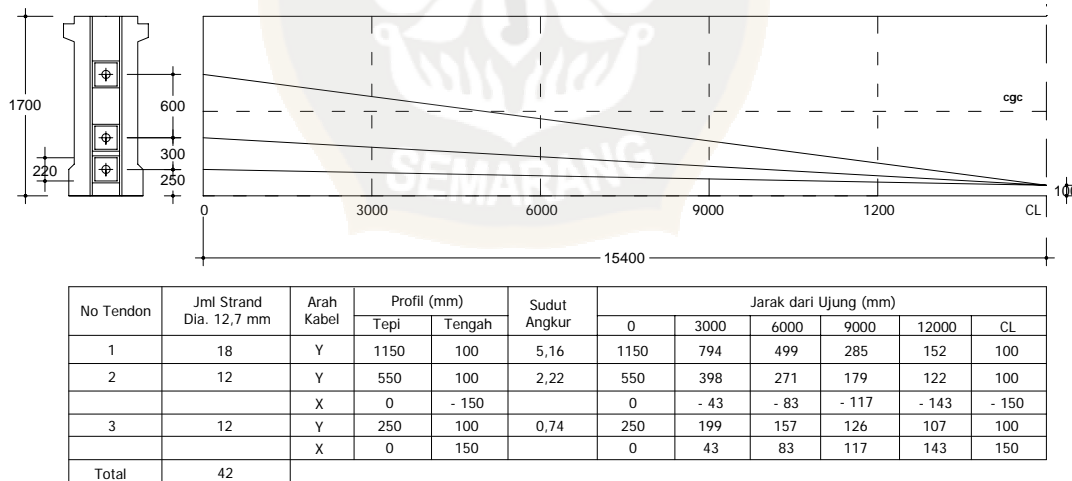
$$\begin{aligned} F_{pu} &= f_{pu} \times \text{luas tampang} \\ &= 186 \times 6,909 \\ &= 3855,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jumlah tendon yang dibutuhkan:

$$F_o = 8950,467 \text{ kN}$$

$$n = \frac{F_o}{0,7 \times F_{pu}} = \frac{8950,467}{0,7 \times 3855,22} = 3,31 \approx 3 \text{ buah}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh jumlah tendon yang digunakan adalah 3 buah, sedangkan lintasan tendon balok prategang disesuaikan dengan standar dari pabrikasi balok prategang yang tersedia seperti pada Gambar 5.31 berikut:



Gambar 5.31 Lay Out dan Koordinat Perletakan Tendon pada Balok Prategang H = 1700 mm

**TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN**

5.3.5.6 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan tegangan pada balok prategang adalah proses menurunnya tegangan prategang yang dapat diakibatkan oleh beton maupun tendonnya (bajanya). Jenis-jenis kehilangan tegangan pada balok prategang tersebut adalah sebagai berikut:

1) Akibat tegangan elastis beton.

Yaitu kehilangan tegangan yang terjadi pada saat gaya prategang dialihkan ke beton, sehingga beton akan mengalami perpendekan.

2) Akibat rangkai beton.

Yaitu kehilangan tegangan pada balok prategang akibat beban mati yang bekerja terus menerus dalam jangka waktu yang lama.

3) Akibat susut beton.

Yaitu kehilangan tegangan yang diakibatkan proses penguapan air pada beton.

4) Akibat relaksasi baja.

Yaitu kehilangan tegangan yang diakibatkan perubahan regangan baja yang konstan didalam tendon bila terjadi rangkai dan dalam waktu yang lama.

5) Akibat slip pada baja

Yaitu kehilangan tegangan yang terjadi pada saat gaya prategang dialihkan ke angkur. Perlengkapan didalam 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.

Pada perencanaan *fly over* Bendan ini perhitungan kehilangan tegangan menggunakan rumus-rumus dan ketentuan-ketentuan pada “Desain Struktur Beton Prategang jilid 1” T.Y. LIN.

1. Akibat tegangan elastis beton

Dari hasil perhitungan sebelumnya diperoleh:

$$A_s = 42 \times 98,71 = 4145,82 \text{ mm}^2$$

$$A_c = 6462,5 \text{ cm}^2 = 646250 \text{ mm}^2$$

$$F_o = A_s \times f_{pu}$$

$$= 4145,82 \times 1860 = 7.711.225,2 \text{ N}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4,2 \times 10^4 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4,2 \times 10^4} = 4,762$$

Maka kehilangan kehilangan gaya prategang:

$$E_S = \frac{n \times F_o}{A_c}$$

$$= \frac{4,762 \times 7.711.225,2}{646250}$$

$$= 56,821 \text{ MPa}$$

2. Akibat rangkai beton (Creep Losses)

Untuk mencari kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton yaitu:

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana:

$$K_{cr} = 1,6 \text{ untuk komponen struktur pasca-tarik}$$

$$f_{cds} = \frac{M_p \times e}{I}$$

$$= \frac{463515,4 \times 64}{21.274.420,18} = 1,394 \text{ kN/cm}^2 = 13,94 \text{ MPa}$$

$$F_{cir} = \frac{F_o}{A_c} + \frac{F_o \times e^2}{I} - \frac{M_G \times e}{I}$$

$$= \frac{8950,467}{6462,5} + \frac{8950,467 \times 64^2}{21.274.420,18} - \frac{239057 \times 64}{21.274.420,18}$$

$$= 2,389 \text{ kN/cm}^2 = 23,89 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4,2 \times 10^4 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{4,2 \times 10^4} = 4,762$$

Maka kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton:

$$CR = 1,6 \times 4,762 (23,89 - 13,94)$$

$$= 75,811 \text{ MPa}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

3. Akibat susut beton (*Shrinkage*)

Kehilangan gaya prategang akibat susut beton dapat dihitung dengan rumus seperti berikut:

$$SH = 8,2 * 10^{-6} * K_{sh} * E_s * (1 - 0,06 \frac{S}{V}) * (100 - RH)$$

Dimana:

$$RH = \text{Kelembaban relatif (80 \%)}$$

$$K_{sh} = 0,64 \text{ (dimisalkan jangka waktu perawatan basah sampai pada penerapan prategang = 20 hari)}$$

$$\begin{aligned} V &= \text{Volume Balok} \\ &= A_c \times L \\ &= 6462,50 \times 3080 = 1,99 \times 10^7 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \text{Luas Permukaan Balok} \\ &= 530,14 \times 3080 \\ &= 1,63 \times 10^6 \end{aligned}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{1,99 \times 10^7}{1,63 \times 10^6} = 12,209 \text{ cm} = 4,807 \text{ inch}$$

Maka kehilangan gaya prategang akibat susut beton:

$$\begin{aligned} SH &= 8,2 * 10^{-6} * K_{sh} * E_s * (1 - 0,06 \frac{V}{S}) * (100 - RH) \\ &= 8,2 \times 10^{-6} \times 0,64 \times 200000 \times (1 - 0,06 \times 4,807) \times (100 - 80) \\ &= 14,937 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

4. Akibat relaksasi baja

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan rumus seperti berikut ini:

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

Dimana:

$$K_{re} = 138 \text{ MPa (Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 Mpa, Tabel 4-5 hal. 90 Buku T.Y.LIN Jilid 1)}$$

$$J = 0,15 \text{ (Strand atau kawat stress-relieved derajat 1860 Mpa, Tabel 4-5 hal. 90 Buku T.Y.LIN Jilid 1)}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\begin{aligned}f_{pi} &= 0,7 f_{pu} \rightarrow f_{pi} / f_{pu} = 0,7 \\C &= 1 \text{ (Tabel 4-6 hal. 90 Buku T.Y.LIN Jilid 1)} \\RE &= [138 - 0,15 \times (14,937 + 75,811 + 56,821)] \times 1 \\&= 115,865 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5. Akibat slip pada baja

Kehilangan gaya prategang akibat slip baja dapat dihitung dengan rumus seperti berikut ini:

$$\Delta f_s = \frac{\Delta a \times E_s}{L}$$

Dimana:

Δa = besarnya angker slip, biasanya diambil 6mm.

E_s = modulus elastisitas baja prategang

L = panjang balok prategang

$$\begin{aligned}\Delta f_s &= \frac{6 \times 200.000}{30800} \\&= 38,96 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Kehilangan Gaya Prategang Total:

Dari hasil perhitungan 5 macam kehilangan gaya prategang yang terjadi pada beton dan baja, maka diperoleh kehilangan gaya prategang total sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Kehilangan Total} &= ES + CR + SH + RE + \Delta f_s \\&= 56,821 + 75,811 + 14,937 + 115,865 + 38,96 \\&= 302,394 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Prosentase kehilangan tegangan:

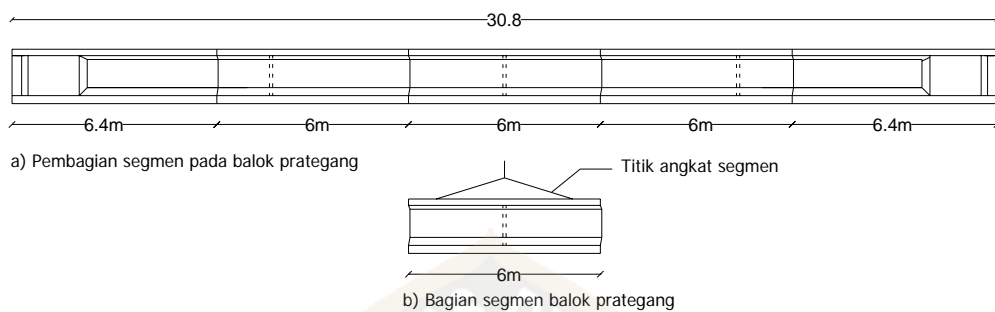
$$\begin{aligned}E &= \frac{302,394}{1860} \times 100 \% = 16,26 \% \\R &= 100 \% - 16,26 \% = 83,74 \% \\&= 0,84 \longrightarrow \text{ (syarat : } 0 < R < 1 \text{)}\end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.5.7 Perhitungan Penulangan Balok Prategang

Perhitungan penulangan konvensional balok prategang adalah perhitungan tulangan terhadap momen dan gaya lintang akibat berat sendiri balok saat pengangkatan ke lokasi pekerjaan. Pengangkatan pada balok prategang ini dilakukan per-segmen. Untuk itu penulangan konvensional pada balok prategang didasarkan pada cara pengangkatan yang terletak pada 0,2 L pada ujung-ujung segmen, karena pada kondisi ini tegangan terbesar terjadi.

Untuk lebih jelasnya kondisi pengangkatan gelagar yang dilakukan per segmen tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut:



Gambar 5.32 Pengangkatan Segmen pada Balok Prategang H = 1700 mm

Seperti yang telah dijelaskan diatas, penulangan pada balok prategang ini didasarkan terhadap momen dan gaya lintang dimana nantinya momen digunakan untuk perhitungan tulangan utama, sedangkan gaya lintang digunakan untuk perhitungan tulangan geser. Berikut perhitungan pada balok prategang untuk tiap segmen dengan panjang 6000 mm.

1. Perhitungan Tulangan Utama

Penulangan balok prategang didasarkan atas pengangkatan 2 titik.

$$\begin{aligned} M_u &= 0,5 \times q \times (0,20 \times L)^2 \\ &= 0,5 \times 20,16 \times (0,20 \times 6000)^2 \\ &= 14.515.200 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan pokok D13 dan sengkang D13.

$$\begin{aligned} d &= h - p - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} \text{Øtul. pokok} \\ &= 1700 - 40 - 13 - (0,5 \times 13) \\ &= 1640,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{14.515.200}{800 \times 1640,5^2} = 0,0067 \text{ MPa}$$

$$\frac{Mu}{b \times d^2} = \rho \times 0,8 \times f_y \times \left[1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f_c} \right]$$

$$0,0067 = 320 \rho - 1133,494 \rho^2$$

$$\rho = 0,000021$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$\rho_{\min} > \rho$ maka dipakai $\rho_{\min} = 0,0035$

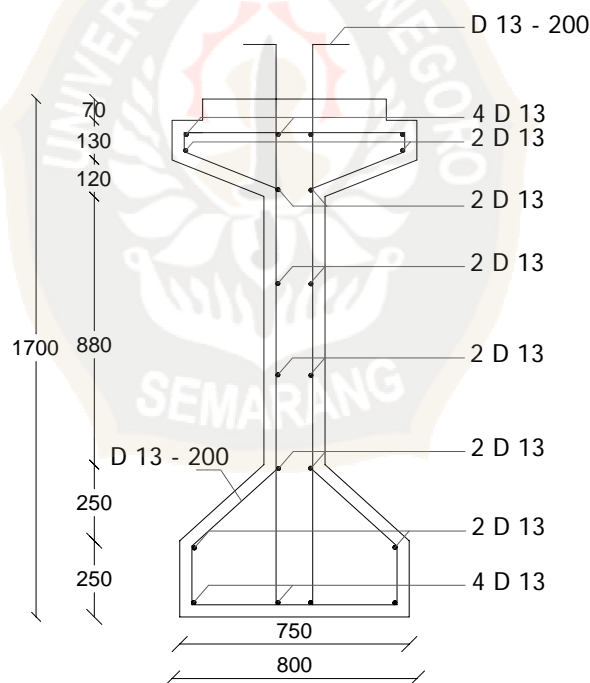
$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 800 \times 1640,5$$

$$= 4593,4 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan 20 D 13 ($A_s = 4619 \text{ mm}^2$)

Penempatan tulangan dari hasil perhitungan balok prategang dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut:



Gambar 5.33 Penulangan pada Balok Prategang H = 1700 mm

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

2. Perhitungan Tulangan Geser Balok Prategang

a. Gaya lintang akibat gelagar (V_D)

$$\text{Akibat gelagar} = 0,5 q L = 0,5 \times 20,16 \times 6 = 60,48 \text{ kN}$$

$$\text{Akibat diafragma} = 0,5 P = 0,5 \times 64,2 = 32,10 \text{ kN}$$

$$\text{Akibat plat lantai} = 0,5 q L = 0,5 \times 12,03 \times 6 = \underline{36,09 \text{ kN} +}$$

$$V_D = 128,67 \text{ kN}$$

b. Gaya lintang akibat beban hidup (V_L)

$$\text{Akibat beban D} = 0,5 P = 0,5 \times 113,96 = 56,98 \text{ kN}$$

$$\text{Akibat angin} = 0,5 q L = 0,5 \times 14,43 \times 6 = \underline{43,29 \text{ kN} +}$$

$$V_L = 100,27 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } V_u &= V_D + V_L \\ &= 228,94 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= \text{Tinggi efektif balok} \\ &= 1640,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

V_c = gaya lintang yang ditahan oleh beton.

Untuk perhitungan V_c ini, harus dilihat dari dua hal yaitu retak akibat geseran pada badan penampang (V_{cw}) dan retak miring akibat lentur (V_{ci}). Nantinya nilai V_c adalah nilai terkecil dari V_{cw} dan V_{ci} .

c. Retak akibat geseran pada badan penampang

$$V_{cw} = (0,29 \times \sqrt{f'_c} + 0,3 \times f_{pc}) \times b_w \times d + V_p$$

V_p = komponen vertikal dari gaya prategang

$$\begin{aligned} V_p &= F_o \times \text{tg } \alpha \\ &= 8950,467 \times \frac{128}{164,05} \\ &= 6983,601 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} f_{pc} &= \frac{F}{A_c} = \frac{7160,374}{6462,5} \\ &= 11,07 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29 \times \sqrt{f'_c} + 0,3 \times f_{pc}) \times b_w \times d + V_p \\ &= (0,29 \times \sqrt{6,64} + 0,3 \times 1,107) \times 20 \times 164,05 + 6983,601 \\ &= 10525,039 \text{ kN} \end{aligned}$$

d. Retak miring akibat lentur (V_{ci})

$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05 \times b_w \times d \times \sqrt{f'_c} + \frac{V_t \times M_{cr}}{M_{\max}} \\ M_{cr} &= \frac{I_{c'}}{Y_{t'}} \times (0,5 \times \sqrt{f'_c} + f_{pc}) \\ &= \frac{28.665.444,46}{86,65} \times (0,5 \times \sqrt{6,64} + 1,107) \\ &= 792.446,494 \text{ kNcm} \end{aligned}$$

Menurut buku “Struktur Beton Pratekan Ir. Han Aylie” tegangan terbesar terdapat pada 0,25 L dari tumpuan.

$$\begin{aligned} x &= 0,25 \times 600 \\ &= 150 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_{\max}}{V_t} &= \frac{L \times x - x^2}{L - 2 \times x} \\ &= \frac{600 \times 150 - 150^2}{600 - 2 \times 150} = 225 \text{ cm} \end{aligned}$$

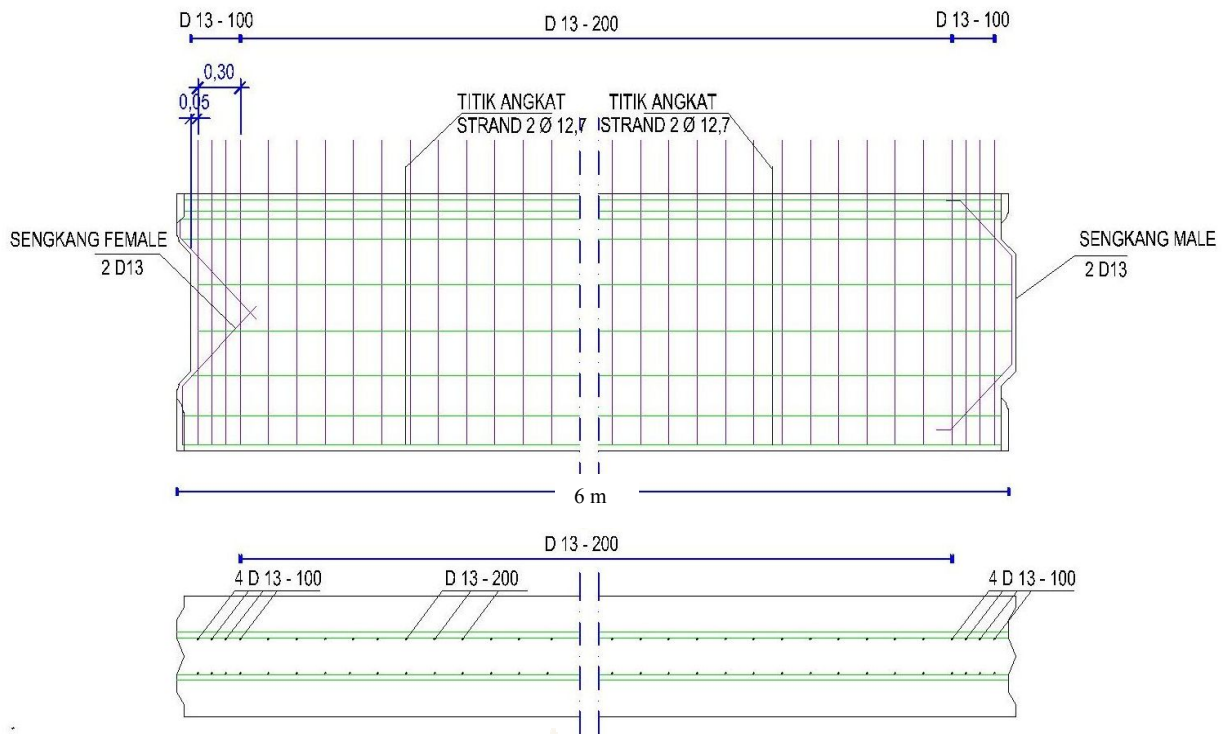
$$\begin{aligned} V_{ci} &= 0,05 \times 20 \times 164,05 \times \sqrt{6,64} + \frac{792.446,494}{225} \\ &= 3944,712 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi nilai V_c diambil yang terkecil, yaitu $V_{ci} = 3944,712 \text{ kN}$

Nilai $V_u = 228,94 \text{ kN}$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa $V_u < V_c$ maka tidak diperlukan tulangan geser, jadi dipakai tulangan geser praktis D13 – 200 ($A_s = 664\text{mm}^2$), sedangkan pada tepi segmen dipakai D13 – 100 ($A_s = 1327\text{mm}^2$) hal ini dimaksudkan untuk memperkuat letak tulangan sengkang *female* dan sengkang *male* dengan jarak 0,45m dari tepi segmen juga untuk menahan tegangan tumbukan pada saat dilakukan *stressing*.

Berikut Gambar 5.34 merupakan detail penulangan pada segmen prategang:



Gambar 5.34 Penulangan Geser Segmen Prategang

5.3.5.8 Perencanaan End Block

Akibat *stressing* maka pada ujung balok terjadi tegangan yang besar dan untuk mendistribusikan gaya prategang tersebut pada seluruh penampang balok, maka perlu suatu bagian ujung *block* (*end block*) yang panjangnya sama dengan tinggi balok dengan seluruhnya merata selebar *flens* balok. Pada bagian *end block* tersebut terdapat 2 (dua) macam tegangan yang berupa:

1. Tegangan tarik yang disebut *bursting zone* terdapat pada pusat penampang di sepanjang garis beban.
2. Tegangan tarik yang tinggi yang terdapat pada permukaan ujung *end block* yang disebut *spalling zone* (daerah yang terkelupas).

Untuk menahan tegangan tarik di daerah *bursting zone* digunakan sengkang atau tulangan *spiral longitudinal*. Sedangkan untuk tegangan tarik di daerah *spalling zone* digunakan *wiremesh* atau tulangan biasa yang dianyam agar tidak terjadi retakan. Perhitungan untuk mencari besarnya gaya yang bekerja pada *end block* adalah berupa pendekatan.

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Gaya yang terjadi pada *end block* dicari dengan rumus sebagai berikut:

1. Untuk angkur tunggal

$$T_o = 0,04F + 0,20 \left[\frac{(b_2 - b_1)}{(b_2 + b_1)} \right]^3 F$$

2. Untuk angkur majemuk

$$T_o = 0,20 \left[\frac{(b_2 - b_1)}{(b_2 + b_1)} \right]^3 F$$

$$T_s = \frac{F}{3}(1 - \gamma)$$

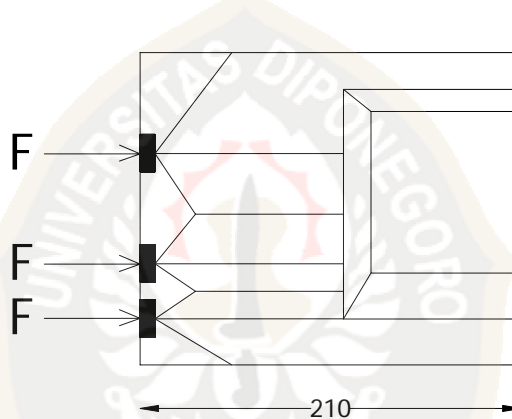
Dimana : T_o = Gaya pada *spelling zone*

T_s = Gaya pada *bursting zone*

F = Gaya prategang efektif

b_1, b_2 = Bagian – bagian dari prisma

Pembagian gaya pada *end block* dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut:



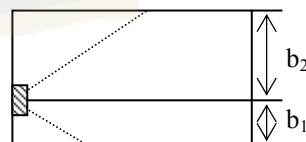
Gambar 5.35 Gaya pada *End Block* Balok Prategang H = 1700 mm

a. Prisma 1

$$F = 7160,374 \text{ kN} / 3 = 2386,791 \text{ kN}$$

$$b_1 = 30 \text{ cm}$$

$$b_2 = 55 \text{ cm}$$

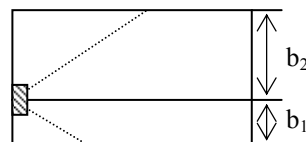


b. Prisma 2

$$F = 7160,374 \text{ kN} / 3 = 2386,791 \text{ kN}$$

$$b_1 = 15 \text{ cm}$$

$$b_2 = 30 \text{ cm}$$



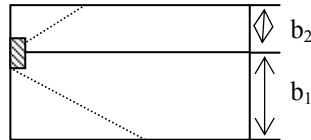
TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

c. Prisma 3

$$F = 7160,374 \text{ kN} / 3 = 2386,791 \text{ kN}$$

$$b_1 = 25 \text{ cm}$$

$$b_2 = 15 \text{ cm}$$



Perhitungan gaya pada permukaan *end block* ditunjukkan pada Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3 Perhitungan Gaya pada Permukaan *End Block*

Prisma	Jarak dari angkur		Gaya F (kN)	Surface force (kN)	
	b1 (cm)	b2 (cm)		0,04 F	$0.2 \left(\frac{b_2 - b_1}{b_2 + b_1} \right)^3 F$
1	30	55	2386,791	95,472	12,145
2	15	30	2386,791	95,472	17,679
3	25	15	2386,791	95,472	7,459

Sumber : Hasil Analisis Tahun 2009

$$T_{o \max} = 95,472 + 17,679 = 113,151 \text{ kN}$$

T_o ditahan oleh *Net Reinforcement* yang ditempatkan di belakang pelat pembagi.

Digunakan tulangan dengan $f_y = 400 \text{ MPa}$.

$$A_s = \frac{113,151}{400} = 282,877 \text{ mm}^2$$

Maka dipasang tulangan 4 D 13 mm dengan A_s terpasang 431 mm^2

Perhitungan Tulangan pada daerah *bursting zone* (T_s)

Bearing angkur yang digunakan mempunyai ukuran 250 mm x 250 mm.

Diameter tiap jangkar = 12 cm

$$2a = 0,88 d = 0,88 \times 12 = 10,56 \text{ cm} = 0,1056 \text{ m}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

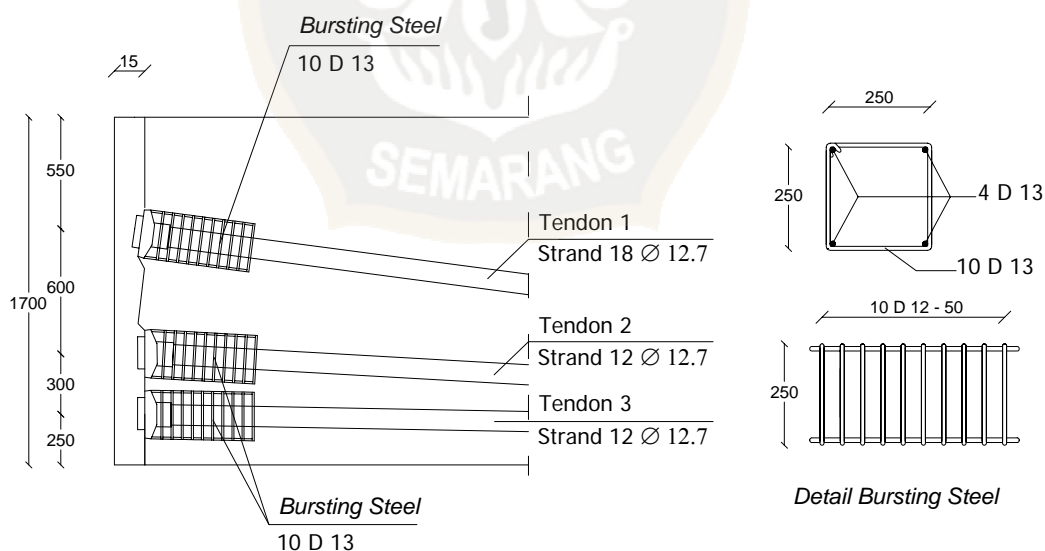
Penulangan *bursting zone* disajikan dalam Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5.4 Penulangan *Bursting Zone*

No	Uraian	<i>Bursting area</i>			Sat
		Prisma 1	Prisma 2	Prisma 3	
1	Gaya (F)	2386,791	2386,791	2386,791	kN
2	Sisi Prisma (2b)	0,25	0,25	0,25	m
3	Lebar (2a)	0,1056	0,1056	0,1056	m
4	$\gamma = \frac{2a}{2b}$	0,423	0,423	0,423	-
5	Bursting Force $T_s = \frac{F}{3}(1-\gamma)$	459,059	459,059	459,059	kN
6	Koefisien reduksi ($\sigma_b = 0$)	1	1	1	-
7	Angkur miring $T_s' = 1,1 * T_s$	504,965	504,965	504,965	kN
8	f_y (a)	400	400	400	Mpa
9	Tulangan diperlukan $A_s = \frac{T_s'}{a}$	1262,413	1262,413	1262,413	mm ²
10	Tul. terpasang Luas tul. Terpasang	10 D 13 1327	10 D 13 1327	10 D 13 1327	mm ²

Sumber : Hasil Analisis Tahun 2009

Berikut Gambar 5.36 merupakan penulangan *bursting zone* hasil dari perhitungan diatas.



Gambar 5.36 Penulangan *Bursting Zone*

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

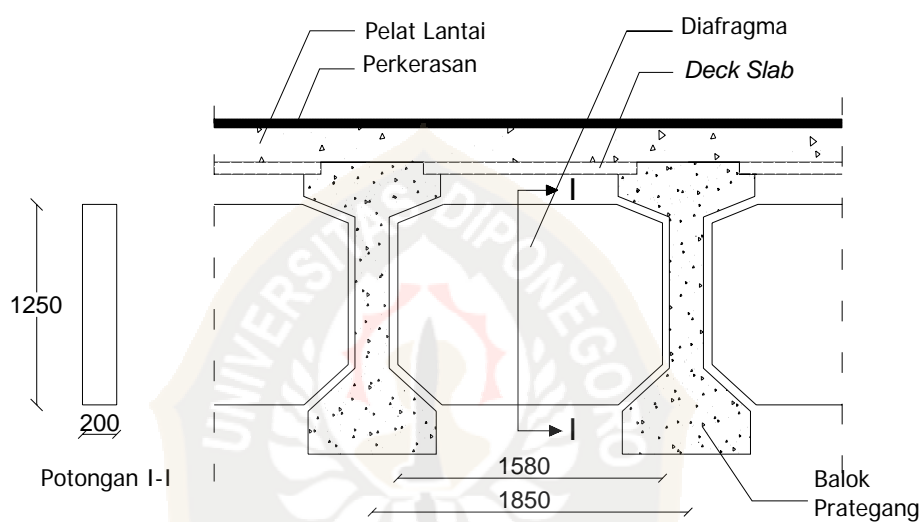
5.3.6 Perhitungan Balok Diafragma

Diafragma adalah elemen struktural pada *fly over* dengan balok prategang berupa sebuah balok yang berfungsi sebagai pengaku. Dalam pembebanannya, diafragma ini tidak menahan beban luar apapun kecuali berat sendiri balok diafragma tersebut.

Dimensi balok diafragma adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} h &= 1250 \text{ mm} \\ P &= 1580 \text{ mm} \\ t &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gambar 5.37 merupakan sketsa balok diafragma pada bangunan atas *fly over*.



Gambar 5.37 Sketsa Balok Diafragma

$$\begin{aligned} I_x &= \frac{1}{12} \times 200 \times 1250^3 \\ &= 3,26 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$K_t - K_b = \frac{I_x}{A \times C_b} = \frac{3,26 \times 10^{10}}{1250 \times 200 \times 1250 / 2} = 208,64 \text{ mm}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.6.1 Pembebanan Diafragma

Pada diafragma pembebanan yang terjadi hanya dari berat dari diafragma itu sendiri, berikut perhitungan pembebanan diafragma:

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri} &= 0,20 \times 1,250 \times 31,2 \\ &= 7,8 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen yang terjadi} &= \frac{1}{12} \times q \times L^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 7,8 \times 1,58^2 = 1,623 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya lintang} &= 0,5 \times q \times L \\ &= 0,5 \times 7,8 \times 1,58 = 6,162 \text{ kN}\end{aligned}$$

5.3.6.2 Perhitungan Momen Kritis Balok Diafragma

Perhitungan momen kritis balok diafragma dihitung terhadap terjadinya keadaan yang paling ekstrim, yaitu pada kondisi di mana salah satu lajunya terdapat beban kendaraan yang maksimum sedangkan lajur yang lain tanpa beban kendaraan. Pada diafragma tengah dikuatirkan akan pecah akibat momen yang terjadi, yang diakibatkan oleh perbedaan deformasi pada gelagar yang saling berdekatan.

Spesifikasi balok diafragma adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Tinggi balok (h)} &= 1250 \text{ mm} \\ \text{Mutu beton (f'c)} &= 35 \times 0,83 = 29,05 \text{ MPa} \\ \text{Tebal balok (t)} &= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{1}{360} \times 1580 = 4,389 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{29,05} = 2,78 \times 10^4 \text{ MPa}$$

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{M \times L^2}{6 \times E_c \times I}$$

$$\begin{aligned}M &= \frac{6 \times E_c \times I}{L^2} \times \Delta_{\text{maks}} \\ &= \frac{6 \times 2,78 \times 10^4 \times 3,26 \times 10^{10}}{1580^2} \times 4,389 \\ &= 2,18 \times 10^8 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.6.3 Tegangan Izin Balok Diafragma

$$f'c = 35 \times 0,83 = 29,05 \text{ MPa}$$

$$f'ci = 0,9 \times 29 = 26,1 \text{ MPa}$$

Kondisi awal (sesudah transfer tegangan)

$$\begin{aligned}\sigma_A &= -f_{ti} \\ &= -(-0,5 \sqrt{f'ci}) = 0,5 \times \sqrt{26,1} = 2,554 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_B &= -0,6 \times f'ci \\ &= -0,6 \times 26,1 = -15,66 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kondisi akhir pada saat beban mulai bekerja

$$\sigma_B = -0,45 \times 29,05 = -13,05 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\sigma_A &= -f_t \\ &= -(-0,5 \sqrt{f'c}) = 0,5 \sqrt{29,05} = 2,692 \text{ MPa}\end{aligned}$$

5.3.6.4 Perhitungan Gaya Prategang yang Dibutuhkan

Dalam perencanaan diafragma perlu diperhitungkan gaya prategang yang dibutuhkan agar balok tersebut mampu menahan beban sendiri dari diafragma.

$$F = \frac{M_T}{0,65h} = \frac{1,623}{0,65 \times 1,25} = 1,997 \text{ kN}$$

Kehilangan tegangan rata-rata untuk sistem *post tensioning* adalah 20%.

$$\rightarrow F_0 = \frac{F}{0,8} = \frac{1,997}{0,8} = 2,496 \text{ kN}$$

Kontrol Tegangan

1. akibat momen kritis

$$\begin{aligned}f_{bottom} &= \frac{M_T}{A \times K_A} = \frac{162,3}{20 \times 125 \times 20,864} \\ &= 0,00311 \text{ kN/cm}^2 = 0,0311 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_{top} &= -\frac{M_T}{A \times K_B} = -\frac{162,3}{20 \times 125 \times 20,864} \\ &= -0,00311 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

2. akibat gaya prategang awal

$$f_{bottom} = - \frac{Fo}{A} = - \frac{2,496}{20 \times 125}$$
$$= - 0,000998 \text{ kN/cm}^2 = -0,00998 \text{ MPa}$$

$$f_{top} = - \frac{Fo}{A} = - \frac{2,496}{20 \times 125}$$
$$= - 0,000998 \text{ kN/cm}^2 = -0,00998 \text{ Mpa}$$

3. akibat gaya prategang efektif

$$f_{bottom} = - \frac{F}{A} = - \frac{1,997}{20 \times 125}$$
$$= - 0,000799 \text{ kN/cm}^2 = -0,00799 \text{ MPa}$$

$$f_{top} = - \frac{F}{A} = - \frac{1,997}{20 \times 125}$$
$$= - 0,000799 \text{ kN/cm}^2 = -0,00799 \text{ Mpa}$$

Kombinasi Tegangan

a. Keadaan awal (1 + 2)

$$\text{Serat atas (ft)} = - 0,0311 \text{ MPa} - 0,00998 \text{ MPa}$$
$$= - 0,0411 \text{ MPa} < - 15,684 \text{ MPa} \dots\dots\dots(\text{ok})$$

$$\text{Serat bawah (fb)} = 0,0311 \text{ MPa} - 0,00998 \text{ MPa}$$
$$= 0,02112 \text{ MPa} < 2,556 \text{ MPa} \dots\dots\dots(\text{ok})$$

b. Akibat gaya pratekan efektif (2 + 3)

$$\text{Serat atas} = - 0,0311 - 0,00799$$
$$= - 0,03909 \text{ MPa} < -13,072 \text{ MPa} \dots\dots\dots(\text{ok})$$

$$\text{Serat bawah} = 0,0311 - 0,00799$$
$$= 0,02311 \text{ MPa} < 2,694 \text{ MPa} \dots\dots\dots(\text{ok})$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.6.5 Perhitungan Tendon Balok Diafragma

Dalam balok diafragma digunakan untaian kawat/*strand* “seven wire strand” dengan diameter setiap *strand* 0,5”. Luas tiap *strand* 98,7 mm², dengan jumlah *strand* 7.

$$\text{Luas tampang} = 690,9 \text{ mm}^2 = 6,909 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan batas } T_{pu} = 18700 \text{ kg/cm}^2 = 187 \text{ kN/cm}^2.$$

Gaya pra-penegangan terhadap beban:

$$\begin{aligned} F_{pu} &= T_{pu} \times \text{luas tampang} \\ &= 187 \times 6,909 \\ &= 1291,98 \text{ kN} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan 2 buah tendon.

5.3.6.6 Perhitungan Tulangan Balok Diafragma

Berikut merupakan tahapan perhitungan tulangan balok diafragma:

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{M}{0,8} \\ &= \frac{2,18 \times 10^8}{0,8} \\ &= 2,73 \times 10^8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan pokok D13 dan sengkang D10.

$$\begin{aligned} d &= h - p - \varnothing \text{ sengkang} - 0,5 \varnothing \text{ tul. pokok} \\ &= 1250 - 40 - 10 - 0,5 \times 13 \\ &= 1193,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = 0,8 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{2,73 \times 10^8}{200 \times 1193,5^2} = 0,8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0,588 \times \rho \times \frac{400}{35} \right)$$

$$0,957 = 320 \rho - 2590,843 \rho^2$$

$$\rho = 0,0031$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

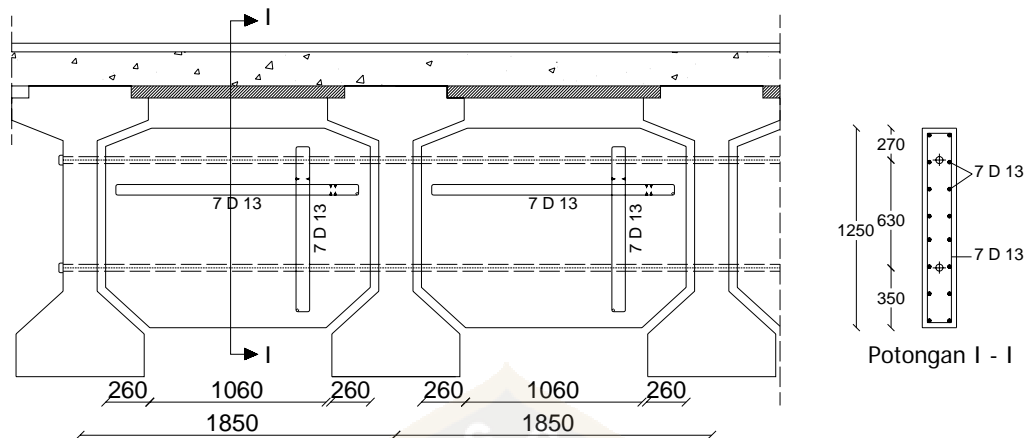
$\rho_{min} > \rho$ maka dipakai $\rho_{min} = 0,0035$

$$A_s = \rho \times b \times d \\ = 0,0035 \times 200 \times 1193,5$$

$$A_s = 835,45 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan pokok 7 D 13 ($A_s = 929 \text{ mm}^2$)

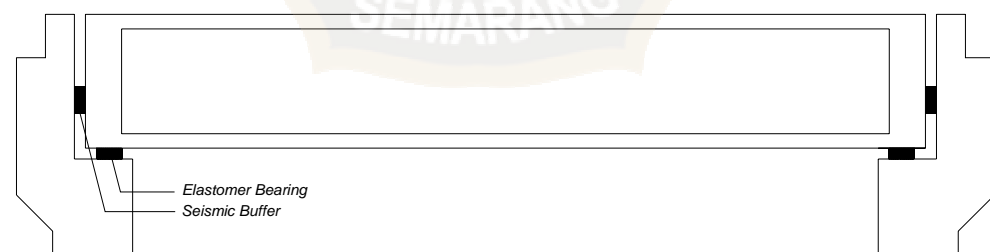
Berikut Gambar 5.38 merupakan detail penulangan balok diafragma.



Gambar 5.38 Penulangan Balok Diafragma

5.3.7 Perhitungan Landasan

Untuk perletakkan *fly over* direncanakan digunakan *bearings* merk CPU buatan Indonesia. Perletakan *bearings* pada *fly over* dapat dilihat pada Gambar 5.39 berikut:



Gambar 5.39 Sketsa Posisi *Elastomer Bearing* dan *Seismic Buffer*

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

CPU *Elastomeric Bearings* memiliki karakteristik sebagai berikut:

a. Spesifikasi:

- 1) Merupakan bantalan atau perletakan elastomer yang dapat menahan beban berat, baik yang vertikal maupun horizontal.
- 2) Bantalan atau perletakan elastomer disusun atau dibuat dari lempengan elastomer dan logam yang disusun secara lapis berlapis.
- 3) Merupakan satu kesatuan yang saling merekat kuat, diproses dengan tekanan tinggi.
- 4) Bantalan atau perletakan elastomer berfungsi untuk meredam getaran sehingga kepala abutment tidak mengalami kerusakan.
- 5) Lempengan logam yang paling luar dan ujung-ujungnya elastomer dilapisi dengan lapisan elastomer supaya tidak mudah berkarat.
- 6) Bantalan atau perletakan elastomer juga disebut bantalan *Neoprene* yang dibuat dari karet sintetis.

b. Pemasangan:

- 1) Bantalan atau perletakan elastomer dipasang antara tumpuan kepala abutment dengan gelagar *fly over*.
- 2) Untuk melekatkan bantalan atau elastomer dengan beton dan/atau baja dapat digunakan lem *epoxy rubber*.

c. Ukuran:

Selain ukuran-ukuran standar yang sudah ada, juga dapat dipesan ukuran sesuai permintaan.

Gaya vertikal ditahan oleh *elastomeric bearing* dan gaya horizontal ditahan oleh *seismic buffer*.

Reaksi tumpuan yang terjadi pada beton prategang *fly over* yaitu:

- | | | | |
|------------------------|------|---|------------|
| 1. Berat bangunan atas | (DL) | = | 632,392 kN |
| 2. Beban hidup | (LL) | = | 272,890 kN |
| Total | (V) | = | 905,282 kN |

Gaya horisontal dihitung berdasarkan gaya rem:

$$\text{Gaya rem} = Ph = 250 \text{ kN (BMS 1992)}$$

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

Spesifikasi elastomer dapat dilihat dalam Tabel 5.5 sebagai berikut:

Tabel 5.5 Spesifikasi Bearing Elastomer dan Seismic Buffer

Jenis	Ukuran (mm)	Beban Max (kN)
TRB 1	480 . 300 . 87	2435
TRB 2	480 . 300 . 101	3600
TRB 3	350 . 280 . 97	540
TRB 4	350 . 280 . 117	690

1. Dimensi *bearing elastomer*

TRB 1 ukuran 480 . 300 . 87

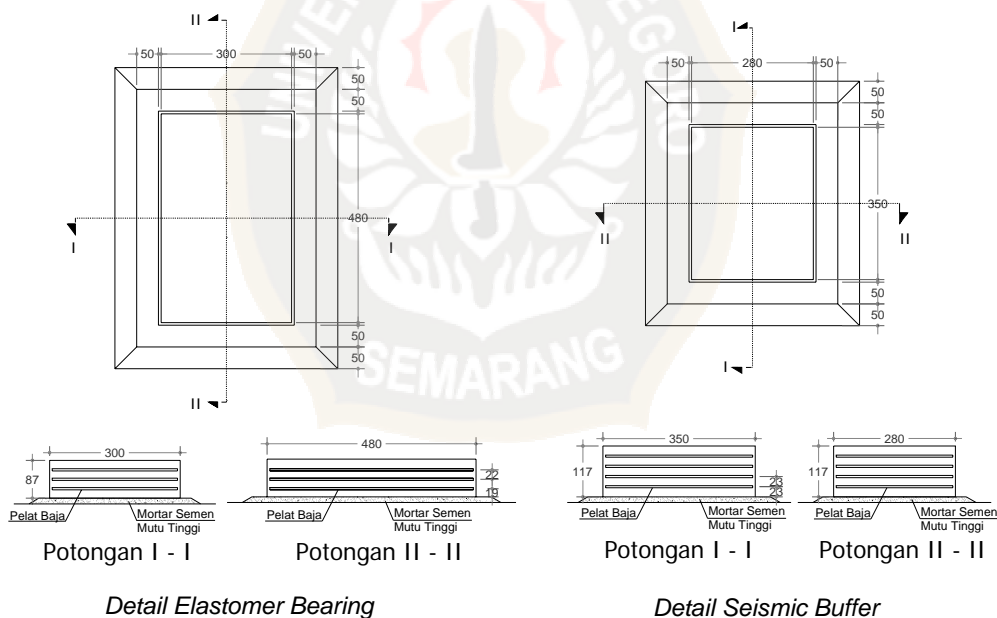
Beban max = 2435 kN > 905,282 kN(OK)

2. Dimensi *seismic buffer*

TRB 3 ukuran 350 . 280 . 117

Beban max = 540 kN > 250 kN.....(OK)

Gambar 5.40 berikut adalah detail *elastomer bearing* dan *seismic buffer*:



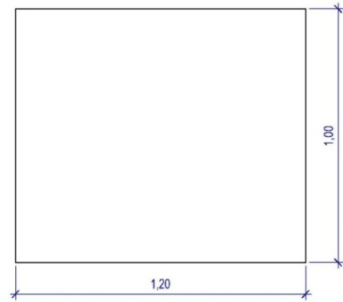
Gambar 5.40 Detail Elastomer Bearing dan Seismic Buffer

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN

5.3.8 Perencanaan Deck Slab

Deck Slab merupakan salah satu bagian dari bangunan atas, terletak diantara balok prategang dan pelat lantai kendaraan, perencanaan *deck slab* ini menggunakan beton K-350. Sketsa *deck slab* dijelaskan pada Gambar 5.41 berikut:

Direncanakan:



Menggunakan beton K-350:

$L = 100 \text{ cm}$

$P = 120 \text{ cm}$

$t = 7 \text{ cm}$

Gambar 5.41 Sketsa Deck Slab

Pembebanan *deck slab*:

- a. Pelat lantai kendaraan : $0,2 \times 1,2 \times 32,5 = 7,80 \text{ kN/m}$
 - b. Lapisan Aspal : $0,1 \times 1,2 \times 22 = 2,64 \text{ kN/m}$
 - c. Berat sendiri : $0,07 \times 1,2 \times 32,5 = 2,73 \text{ kN/m}$
- $q_{\text{tot}} = 13,17 \text{ kN/m}$

$$M = \frac{1}{8} \times q_{\text{tot}} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 13,17 \times 1^2 = 1,646 \text{ kNm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^2 = \frac{1}{12} \times 1200 \times 70^2 = 490000 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 4700 \sqrt{29,05} = 2,78 \times 10^4 \text{ Mpa}$$

Lendutan maksimum:

$$\Delta_{\text{maks}} = \frac{1}{360} \times L = \frac{1}{360} \times 1200 = 3,33 \text{ mm}$$

$$\Delta = \frac{M \times L^2}{6 \times E_c \times I} = \frac{1,6 \times 10^6 \times 1200^2}{6 \times 2,78 \times 10^4 \times 490000} = 2,818 \text{ mm} < 3,33 \text{ mm} \dots\dots\text{ok}$$

**TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN**

$$M_u = \frac{M}{0,8} = \frac{1,646}{0,8} = 2,058 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan pokok D10

$$d = h - p - 0,5 \varnothing \text{ tul. pokok}$$

$$= 70 - 40 - 5 = 25 \text{ mm}$$

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = 0,8 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,0588 \times \rho \times \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{2,058 \times 10^6}{1000 \times 25^2} = 0,8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0,0588 \times \rho \times \frac{400}{29,05} \right)$$

$$3,29 = 320 \rho - 2590,843 \rho^2$$

$$\rho = 0,011$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

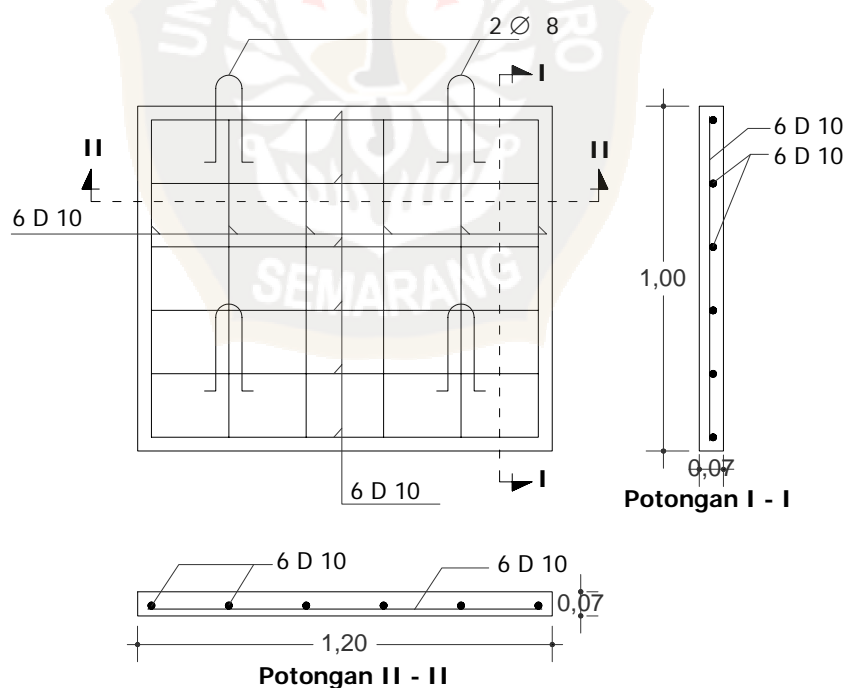
$\rho_{\min} < \rho$ maka dipakai $\rho = 0,011$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,011 \times 1000 \times 25 = 275 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan pokok 6 D 10 ($A_s = 471 \text{ mm}^2$)

Berikut Gambar 5.42 merupakan gambar penulangan *deck slab*:



Gambar 5.42 Penulangan Deck Slab

TUGAS AKHIR
PERENCANAAN FLY OVER PERLINTASAN JALAN RAYA DAN JALAN REL
DI BENDAN PEKALONGAN