

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BETON PRATEGANG**Asep Saepul Hidayat¹, Nurul Chayati¹**¹Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Ibn Khaldun Bogor**Abstrak**

Struktur jembatan terdiri atas bangunan bawah dan atas. Bangunan bawah jembatan sangat tergantung pada keadaan tanah, sehingga dibutuhkan data penyelidikan tanah yang membutuhkan waktu cukup lama dan biaya cukup besar. Mengingat alasan tersebut, titik berat pada perancangan struktur atas jembatan banyak menggunakan sistem struktur beton prategang. Selain alasan bentang jembatan yang cenderung panjang (30-90 m), pemanfaatan beton prategang pada konstruksi jembatan juga didasari pada keinginan untuk mengendalikan retak yang dapat terjadi. Struktur jembatan yang dihasilkan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap lingkungan.

Plat lantai kendaraan pada daerah tumpuan menggunakan tulangan pokok D 16-200 dan tulangan bagi D 13-700, sedangkan di daerah lapangan menggunakan tulangan pokok D 16-200 dan tulangan bagi D 13-700. Plat lantai trotoar menggunakan tulangan pokok D 16-100 dan tulangan bagi D 3-400; Plat injak arah melintang menggunakan tulangan D 13-100 dan Plat injak arah memanjang menggunakan tulangan D16-100. Hasil dimensi dan jarak tulangan dipengaruhi oleh besar kecilnya luas tulangan yang diperlukan dan luas tampang tulangan. Semakin besar tulangan yang diperlukan dan semakin kecil luas tampang tulangan, maka akan semakin panjang jarak tulangan yang diperoleh, dan sebaliknya.

Kata kunci: Struktur atas , jembatan beton prategang, tulangan, tegangan, lendutan.

PENDAHULUAN**Latar Belakang**

Peningkatan sarana transportasi sangat diperlukan untuk menunjang pertumbuhan ekonomi dan menunjang pembangunan nasional di masa yang akan datang. Jembatan Cinangneng merupakan salah satu prasarana transportasi yang sangat menentukan dalam upaya menunjang kelancaran lalu lintas dan meningkatkan aktivitas perekonomian di Daerah Kabupaten Bogor. Jembatan tersebut selesai dibangun pada tahun 1984 dengan bentang 42 meter. Jembatan Cinangneng tersebut sangat diperlukan, tetapi terkait dengan berkurangnya tingkat layanan dari jembatan yang sudah ada karena faktor umur jembatan tersebut..

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, adalah:

- 1) Memperoleh dimensi dan jarak tulangan beton bertulang pada konstruksi plat lantai kendaraan, trotoar, dan plat injak arah melintang dan memanjang.
- 2) Memperoleh nilai tegangan dan lendutan yang diizinkan akibat pembebanan pada balok gelagar beton prategang.

TINJAUAN PUSTAKA**Pengertian Jembatan**

Jembatan adalah suatu bangunan atau konstruksi yang dibangun pada rute jalan yang melintasi rintangan seperti sungai, rawa, jurang dan bangunan lain yang letaknya berada di bawah jalur jalan tersebut. jembatan merupakan penghubung jalur jalan yang terputus akibat adanya rintangan sehingga fungsi jembatan menjadi sangat penting sebagai penunjang lancarnya arus transportasi

(Bambang Supriadi dan Agus Muntohar, 2007).

Macam-macam Jembatan Berdasarkan Bahan

Jembatan berdasarkan bahan dapat dibedakan menjadi jembatan kayu, jembatan gelagar baja, dan jembatan gelagar beton(Bambang Supriadi dan Agus Muntohar, 2007).

Jembatan gelagar baja

Jembatan gelagar baja berdasarkan macam konstruksi terdiri atas jembatan gelagar non komposit dan komposit/balok gabungan. Jembatan gelagar non komposit, adalah jembatan gelagar dan lantai kendaraan yang tidak dihubungkan oleh penghubung geser. Jembatan gelagar komposit/balok gabungan, adalah balok baja dengan lantai yang dihubungkan dengan penghubung geser. Lantai beton pada balok gabungan tidak hanya bertumpu pada balok baja saja, tetapi juga dihubungkan pada sayap atas balok baja dengan penghubung geser. Kondisi tersebut membuat lantai beton dan balok baja bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan dalam memikul beban(Bambang Supriadi dan Agus Muntohar, 2007).

Jembatan gelagar beton

Jembatan gelagar beton berdasarkan macam konstruksi terdiri atas jembatan beton non prategang/beton bertulang dan jembatan beton prategang. Jembatan beton non prategang/beton bertulang, adalah struktur jembatan yang memakai bahan beton dan penulangan baja. Jembatan beton prategang, adalah struktur jembatan yang memakai bahan

beton dan kawat baja bermutu tinggi, dimana kawat baja tersebut harus ditarik terlebih dahulu sebelum bekerjanya beban luar. Penarikan baja ini menyebabkan tertekannya beton yang ada disekitarnya, sehingga beton menjadi mampu menahan beban yang lebih tinggi sebelum mengalami keretakan (Bambang Supriadi dan Agus Muntohar, 2007).

Beton Prategang

Keuntungan dan kerugian beton prategang

Struktur beton prategang mempunyai beberapa keuntungan, yaitu (TY Lin, Ne H Burns, 2000) dan Andri Budiadi, 2008).

- 1) Dapat memikul beban lentur yang lebih besar dari beton bertulang;
- 2) Penampang struktur lebih kecil/ramping, sebab seluruh luas penampang dipakai secara efektif;
- 3) Bobot baja prategang jauh lebih kecil daripada bobot tulangan biasa;
- 4) Retak terbuka di daerah tarik dapat dihindarkan, sehingga menjadi lebih tahan terhadap korosif;
- 5) Dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang dengan mengatur defleksinya;
- 6) Ketahanan geser dan puntirnya bertambah dengan adanya penegangan;
- 7) Dapat dipakai pada rekayasa konstruksi tertentu, misalnya pada konstruksi jembatan segmen; dan
- 8) Berbagai kelebihan lain pada penggunaan struktur khusus, seperti struktur pelat dan cangkang, struktur tangki, struktur pracetak, dan lain-lain.

Struktur beton prategang juga mempunyai beberapa kerugian yang perlu diatasi, yaitu (TY Lin, Ne H Burns, 2000) dan Andri Budiadi, 2008).

Beton

Beton adalah campuran dari semen, air dan agregat serta suatu bahan tambahan. Setelah beberapa jam dicampur, bahan-bahan tersebut akan langsung mengeras sesuai bentuk pada waktu basahnya. Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan nilai f_c' antara (30-45 Mpa). Kuat tekan beton yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada saat tertekan, pengankuran tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil (Andri Budiadi, 2008).

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

- | | | |
|---------------------|-------|-----------------------|
| (1) Beton biasa | | 2,50 t/m ³ |
| (2) Beton prategang | | 2,55 t/m ³ |

Baja

Baja yang dipakai untuk beton prategang ada empat macam, yaitu (Andri Budiadi, 2008):

- 1) Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik,
- 2) Untaian kawat (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pascatarik,
- 3) Kawat batangan (*bars*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang sistem pratarik, dan
- 4) Tulangan biasa, sering digunakan untuk tulangan non-prategang (tidak ditarik), seperti tulangan memanjang, sengkang, tulangan untuk pengankuran dan lain-lain.

Kawat tunggal yang dipakai untuk beton prategang adalah yang sesuai dengan spesifikasi seperti *ASTM A 421* di Amerika Serikat. Ukuran dari kawat tunggal bervariasi dengan diameter (3–8 mm), dengan tegangan tarik (f_{pu}) antara (1500–1700 Mpa), dengan modulus elastisitas $E_s = 200 \times 10^3$ MPa. Kawat tunggal untuk tujuan disain tegangan leleh dapat diambil sebesar 0,85 dari tegangan tariknya (0,85 f_{pu}).

Untaian kawat yang dipakai harus memenuhi syarat seperti yang terdapat pada *ASTM A 416*. Untaian kawat yang banyak dipakai adalah untaian tujuh kawat dengan dua kualitas seperti grade 250 dan grade 270. Diameter untaian kawat bervariasi antara (7,9–15,2 mm). Tegangan tarik untaian kawat adalah antara (1750–1860 Mpa), dengan modulus elastisitas $E_s = 193 \times 10^3$ MPa. Untaian kawat untuk tujuan disain tegangan leleh dapat diambil sebesar 0,85 dari tegangan tariknya (0,85 f_{pu}).

Jenis dan besar pembebanan

a) Beban primer

Beban primer adalah beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perancangan jembatan.

1) Beban mati

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

- (3) Baja tuang 7,85 t/m³
- (4) Air 1,00 t/m³
- 2) Beban mati tambahan

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

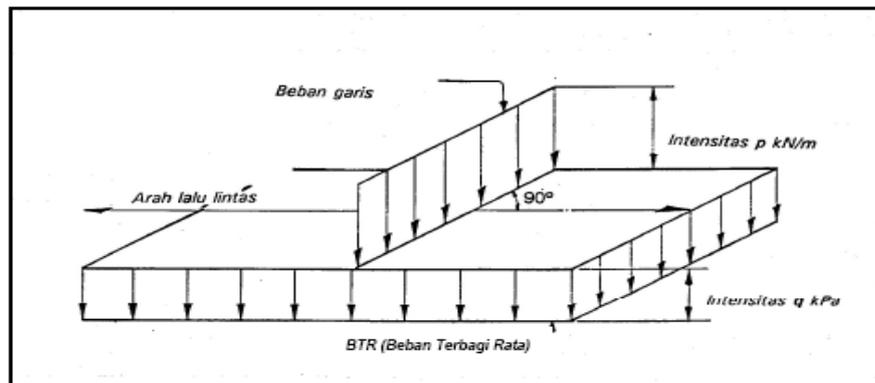
Girder jembatan direncanakan mampu memikul beban mati tambahan berupa:

- (1) Aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari (overlay), dan
- (2) Genangan air hujan setinggi 50 mm apabila saluran drainase tidak bekerja dengan baik.
- 3) Beban hidup

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban hidup pada jembatan yang harus ditinjau dinyatakan dalam dua macam, yaitu beban "D" yang merupakan beban lajur untuk gelagar dan beban "T" yang merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan.

- (1) Beban lajur "D"

Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada girder yang ekivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Intensitas beban "D" terdiri atas beban terbagi merata (UDL) dan beban garis (KEL). Distribusi beban "D", seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Distribusi beban "D"

- (2) Beban terbagi merata (UDL)

Beban terbagi merata mempunyai intensitas q yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan sebagai berikut[5]:

$$q = 8,00 \text{ kPa} \quad (\text{untuk } L < 30 \text{ m})$$

$$q = 8,00 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \quad (\text{untuk } L > 30 \text{ m})$$

dengan:

q = intensitas beban terbagi rata dalam arah memanjang jembatan, [kPa];

L = panjang total jembatan yang dibebani, [meter].

- (3) Beban garis (KEL)

Beban garis mempunyai intensitas $p = 44 \text{ kN/m}$.

- (4) Beban truk "T"

Beban truk "T" adalah beban satu kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi yang digunakan untuk menganalisis plat jalur lalu-lintas. Distribusi beban "T", seperti ditunjukkan pada Gambar 2 (Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2005).

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa berubah ubah antara (4 - 9 m) untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Adapun penyebaran ditempatkan di tengah lajur.

- (5) Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Dalam perencanaan, beban "KEL" maupun "T" akan diperbesar dengan faktor beban dinamis yang mentransfer beban dinamis menjadi beban statis ekivalen dengan ketentuan[5]:

- (1) Faktor beban dinamis untuk beban "T" adalah sebesar 0,3,
- (2) Faktor beban dinamis untuk (KEL) diambil sebagai berikut:

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

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

$DLA = 0,3$ untuk $L \geq 90$ m

(6) Beban pejalan kaki

Intensitas beban pejalan kaki dipengaruhi oleh luas total daerah pejalan kaki yang direncanakan. Besarnya beban yang bekerja adalah 5 kPa. Apabila trotoar memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN (Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2005).

b) Beban sekunder

Beban sekunder adalah beban yang merupakan beban sementara yang akan selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan.

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \dots\dots\dots(1),$$

dengan:

- T_{EW} = beban angin, [kN.m];
- C_w = koefisien seret diambil sebesar 1,2;
- V_w = kecepatan angin rencana, [m/det];

Kecepatan angin rencana, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kecepatan angin rencana

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

3) Beban gempa

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

Koefisien gempa horizontal dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2):

$$K_h = \frac{C}{S} \dots\dots\dots(2).$$

Beban rencana gempa minimum diperoleh dari persamaan berikut:

$$T_{EQ} = K_v \cdot W_T \dots\dots\dots(4),$$

1) Gaya rem

Pengaruh pengereman kendaraan harus diperhitungkan dalam analisis jembatan, dimana gaya tersebut dianggap bekerja pada jarak 1,8 m di atas permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (L) sebagai berikut:

2) Beban angin

Beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan persamaan (1) (Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2005):

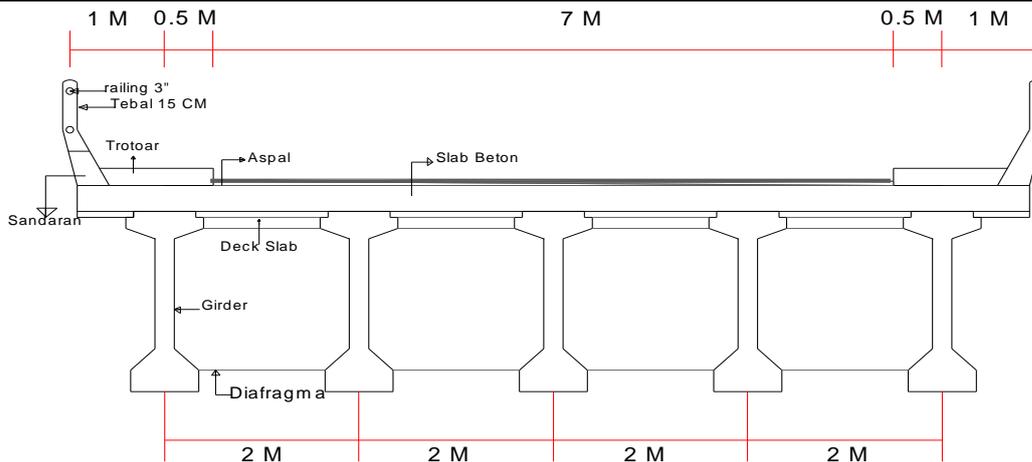
$$\dots\dots\dots(1),$$

TATA KERJA

Bahan dan Alat

Bahan

Bahan yang digunakan pada perancangan struktur atas jembatan beton prategang berupa data yang pernah direncanakan oleh Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Bogor. Data tersebut kemudian diolah menjadi data siap pakai untuk perancangan struktur atas jembatan. Potongan melintang jembatan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Potongan melintang jembatan

- 1) Spesifikasi teknis

Panjang bentang jembatan	= 42 m
Lebar jembatan	= 7 m
Jarak antar gelagar	= 2 m
Lebar trottoar	= 1,5 m
Tebal lantai kendaraan	= 30 cm
Tebal lantai trottoar	= 20 cm
Tebal plat injak	= 20 cm
Tebal diafragma	= 20 cm
Tebal aspal	= 5 cm
Tebal genangan air hujan	= 5 cm
- 2) Spesifikasi bahan
 - a) Mutu beton lantai jembatan = K-350

$fc' = 350 \text{ kg/cm}^2$	= $350 \times 9,807 \times 10^{-2}$
	= 34,325 Mpa

Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{fc'}$

	= $4700 \cdot \sqrt{34,325}$
	= 27535,94 Mpa
 - b) Mutu beton prategang = K-500

$fc' = 500 \text{ kg/cm}^2$	= $500 \times 9,807 \times 10^{-2}$
	= 49,035 Mpa

Modulus elastisitas beton (E_c) = $(Bf)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{fc'}$

	= $(2550) \cdot 1,5 \cdot 0,043 \sqrt{49,035}$
	= 38773,22 Mpa

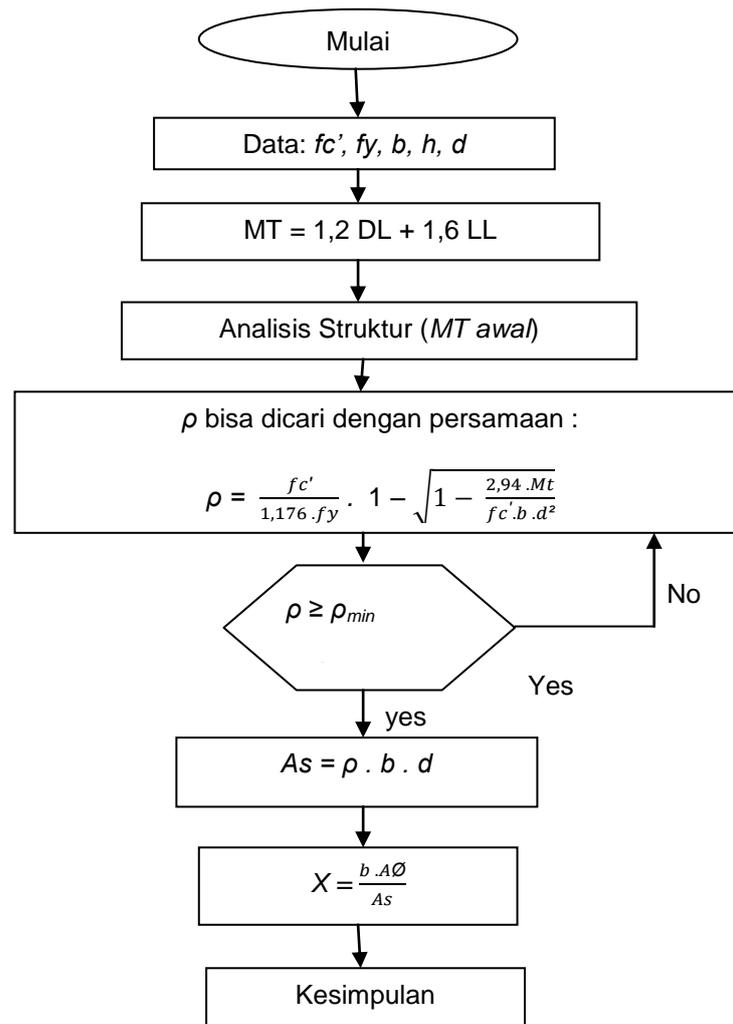
Alat

Alat yang digunakan pada perancangan struktur atas jembatan beton prategang, yaitu:

- 1) *Microsoft Excel 2007* untuk perhitungan perancangan struktur atas jembatan beton prategang, dan
- 2) *AutoCAD 2008* dan *3dsMAX 2008* untuk menggambar hasil perancangan struktur atas jembatan beton prategang.

Metode

Metode pada perancangan struktur atas jembatan beton prategang, meliputi: 1) dimensi dan jarak tulangan beton bertulang, dan 2) tegangan dan lendutan pada balok gelagar beton prategang.



Gambar 3 Diagram alir perancangan beton bertulang

Tegangan dan lendutan pada balok gelagar beton prategang

Perhitungan tegangan dan lendutan pada balok gelagar beton prategang, dapat diperoleh dengan cara:

- 1) Memasukan data spesifikasi bahan berupa kuat tekan beton (f_c') dan mutu baja beton prategang. Dimensi balok prategang berupa panjang balok, jarak antar balok prategang, tebal plat lantai kendaraan, tebal aspal, dan lain-lain;
- 2) Memasukan data dimensi balok prategang;
- 3) Mencari lebar efektif beton prategang;
- 4) Menentukan *section properties* pada balok prategang dan balok komposit, sehingga diperoleh letak titik berat, momen inersia, dan tahanan momen;
- 5) Menghitung beban berupa beban sendiri, beban mati tambahan, beban "D", gaya rem, beban angin dan beban gempa, sehingga diperoleh momen maksimum akibat beban masing-masing;
- 6) Menghitung gaya prategang akibat beban balok prategang, eksentrisitas dan jumlah tendon yang digunakan;
- 7) Menghitung posisi tendon pada tumpuan dan tengah bentang, dan lintasan inti tendon;
- 8) Menghitung kehilangan gaya prategang, sehingga diperoleh gaya prategang efektif;
- 9) Menghitung tegangan pada kondisi awal dan akhir, hasil tegangan dibandingkan dengan tegangan maksimal yang diizinkan; dan
- 10) Menghitung lendutan pada kondisi awal dan akhir, hasil lendutan dibandingkan dengan lendutan maksimal yang diizinkan.

HASIL DAN BAHASAN

Analisis Dimensi dan Jarak Tulangan Beton Bertulang

Data dan hasil perhitungan dimensi dan jarak tulangan beton bertulang

Data dan hasil perhitungan, meliputi:
a) plat lantai kendaraan, b) plat lantai trotoar,

c) plat injak arah melintang, dan d) plat injak arah memanjang.

a) Plat lantai kendaraan

1) Dimensi

Tebal plat lantai kendaraan = 0,30 m

Tebal aspal = 0,05 m

Tebal genangan air hujan = 0,05 m

2) Pembebanan

(1) Beban mati (*DL*)

Bj beton = 2500 kg/m³

Bj aspal = 2300 kg/m³

Bj air = 1000 kg/m³

Berat plat lantai kendaraan = 0,30 . 2,5 ton/m³ = 0,750 ton/m²

Berat aspal = 0,05 . 2,3 ton m³ = 0,115 ton/m²

Berat air hujan = 0,05 . 1 ton/m³ = 0,050 ton/m² +

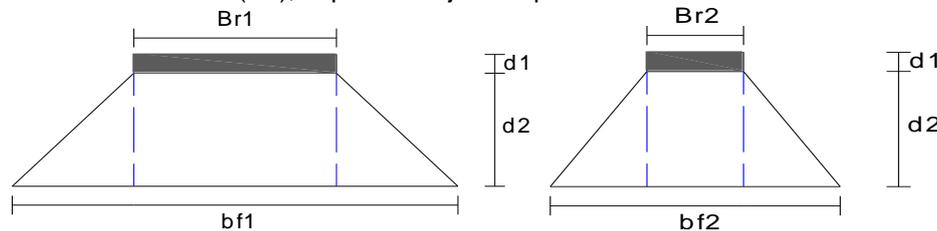
Total beban mati (*qDL*) = 0,915 ton/m²

(2) Beban Hidup (*LL*)

(a) Beban truk (*TT*)

Distribusi beban truk (*TT*) sama dengan 10 ton, sesuai Peraturan Bina Marga tahun 1987.

Distribusi beban truk (*TT*), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Distribusi beban truk (*TT*)

Br1 (panjang muka roda mengenai jalan) = 0,50 m

Br2 (lebar muka roda mengenai jalan) = 0,20 m

d1 (tebal aspal) = 0,05 m

d2 (tebal beton) = 0,30 m

bf1 = *Br1* + 2 . (*d1* + *d2*)

$$= 0,50 + 2 . (0,05 + 0,30)$$

$$= 1,20 \text{ m}$$

bf2 = *Br2* + 2 . (*d1* + *d2*)

$$= 0,20 + 2 . (0,05 + 0,30)$$

$$= 0,90 \text{ m}$$

Muatan T bekerja seluas = *bf1* . *bf2*

$$= 1,20 . 0,90$$

$$= 1,08 \text{ m}^2$$

Beban (*TT*) = $\frac{\text{Beban Truk (T)}}{\text{Muatan T bekerja}} = \frac{10}{1,08} = 9,259 \text{ ton/m}^2$.

(b) Beban angin (*T_{EW}*)

$$T_{EW} = 0,0012 . C_w . (V_w)^2$$

dengan,

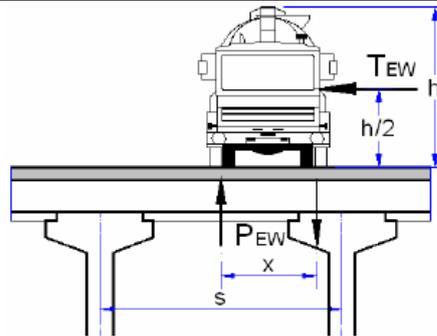
Koefisien seret (*C_w*) = 1,20

Kecepatan angin rencana (*V_w*) = 35 m/det

maka:

$$T_{EW} = 0,0012 . 1,20 . (35)^2 = 1,764 \text{ kN/m}$$

Bidang yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan. Distribusi beban angin, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Distribusi beban angin

Tinggi kendaraan di atas lantai jembatan (h) = 2,00 m
 Jarak antar roda kendaraan (X) = 1,75 m
 Transfer beban angin ke lantai jembatan (P_{EW}) = $\frac{1}{2} \cdot h \cdot T_{EW}$
 = $\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1,764$
 = 1,008 kN/m

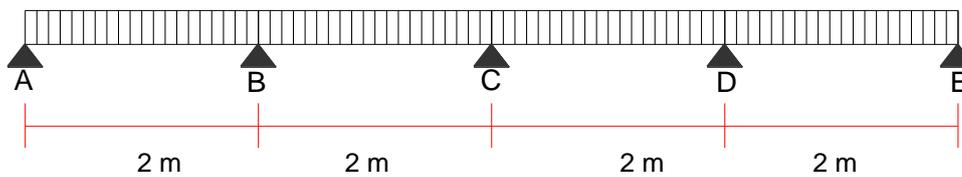
Total beban hidup (qLL) = Beban (TT)
 = 9,259 ton/ m².

(c) Muatan total ($q\ total$) = (1,2 · qDL) + (1,6 · qLL)
 = (1,2 · 0,915) + (1,6 · 9,259)
 = 15,913 ton/m².

3) Momen

(1) Momen untuk beban merata

Ditinjau plat beton selebar 1 m (perletakan dianggap jepit). Distribusi momen beban merata, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Distribusi momen beban merata

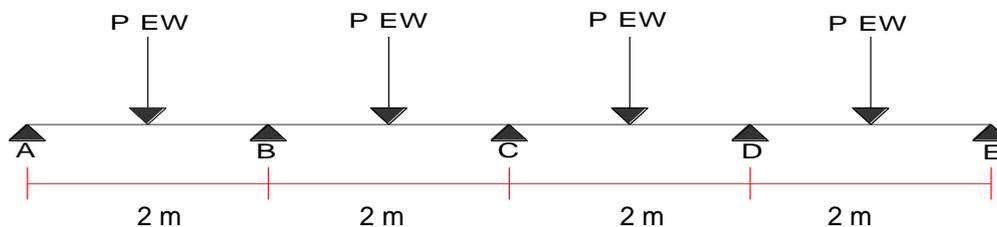
$$M = \frac{1}{12} \cdot q\ total \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 15,913 \cdot 2^2$$

$$= 5,3043\ tm.$$

(2) Momen untuk beban terpusat

Ditinjau plat beton selebar 1 m (perletakan dianggap jepit). Distribusi momen beban terpusat, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Distribusi momen beban terpusat

$$M = \frac{1}{8} \cdot P_{EW} \cdot L$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 1,008 \cdot 2$$

$$= 0,252\ kNm.$$

Nilai M didistribusikan dengan cara *cross* sehingga diperoleh hasil momen beban terpusat. Hasil momen beban terpusat, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil momen beban terpusat

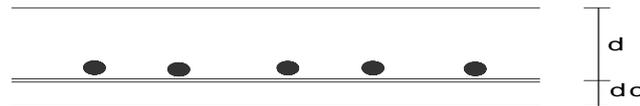
	A	B		C		D		E
	AB	BA	BC	CB	CD	DC	DE	ED
K	3 EI / L							
Df	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
M°	0,2520	-0,2520	0,2520	-0,2520	0,2520	-0,2520	0,2520	-0,2520
	-0,2520	-0,1260					0,126	0,2520
		0,0630	0,0630			-0,0630	-0,063	
				0,0315	-0,0315			
				0,0000				
M	0,0000	-0,3150	0,3150	-0,2205	0,2205	-0,3150	0,3150	0,0000

Momen tumpuan (MT) beban terpusat = 0,3150 kNm
= 315000 Nmm.

Momen tumpuan (MT) total = (MT) beban merata + (MT) beban terpusat
= 66303395,1 + 315000
= 66618395,1 Nmm
= 6,662 tm.

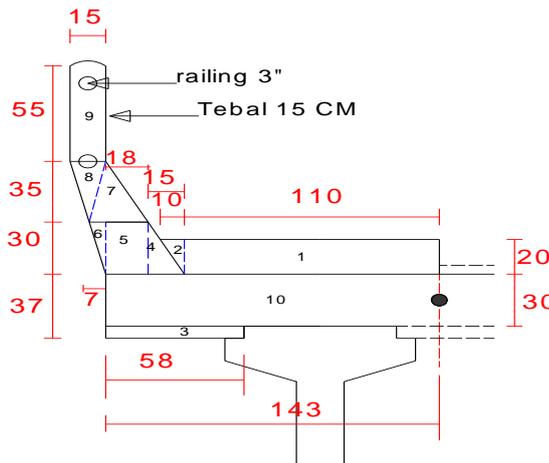
4) Pembesian

Pembesian plat lantai kendaraan terdapat tebal efektif beton dan jarak tulangan sisi luar beton. Pembesian plat lantai kendaraan, seperti ditunjukkan pada Gambar 8



Gambar 8 Pembesian plat lantai kendaraan

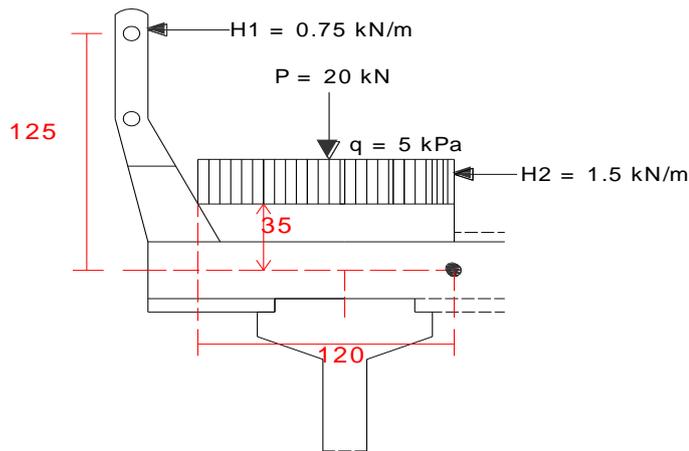
Tebal efektif plat beton (d) = 250 mm
 Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (dc) = 50 mm
 Tebal plat beton (h) = 300 mm
 Kuat tekan beton K-350 (fc') = 34,325 Mpa
 Tegangan leleh baja U-40 (fy) = 392,280 Mpa
 Faktor distribusi tegangan (β1) = 0,85 - $\frac{(fc' - 30) \cdot 0,05}{7}$
 = 0,82



Gambar 9 Dimensi plat lantai trotoar

(1) Beban hidup

Distribusi beban hidup plat lantai trotoar, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Distribusi beban hidup pada plat lantai trotoar

Dari distribusi beban hidup diperoleh hasil beban hidup pada plat lantai trotoar. Hasil perhitungan beban hidup pada plat lantai trotoar, seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

1) Momen

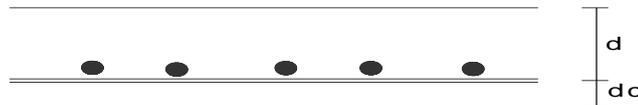
Momen tumpuan (*MT*) beban mati = 3182,028 kgm
 = 31820282,224 Nmm

Momen tumpuan (*MT*) beban hidup = 17,4375 kgm
 = 17437500 Nmm

Momen tumpuan (*MT*) total = (1,2 . *MT* beban mati) + (1,6 . *MT* beban hidup)
 = (1,2 . 31820282,224) + (1,6 . 17437500)
 = 66084338,669 Nmm.

2) Pembesian

Pembesian plat lantai trotoar terdapat tebal efektif plat beton dan jarak tulangan sisi luar beton. Pembesian plat lantai trotoar, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Pembesian plat lantai trotoar

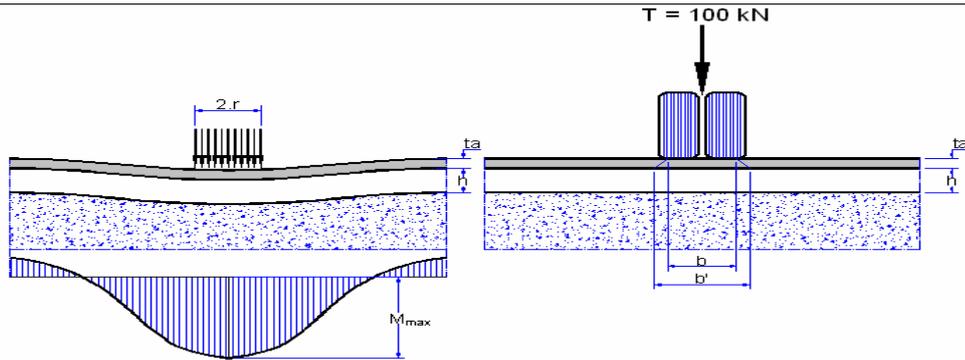
Tebal efektif plat beton (*d*) = 150 mm
 Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (*dc*) = 50 mm
 Tebal plat beton (*h*) = 200 mm
 Kuat tekan beton K-350 (*fc'*) = 34,325 Mpa
 Tegangan leleh baja U-40 (*fy*) = 392,280 Mpa
 Faktor distribusi tegangan (β_1) = $0,85 - \frac{(fc' - 30) \cdot 0,05}{7}$
 = 0,82
 Ditinjau plat beton selebar 1 m = 1000 mm

b) Plat injak arah melintang

1) Pembebanan

Distribusi beban hidup pada plat injak arah melintang berupa beban roda ganda truk

(beban *T*) yang besarnya *T* = 100 kN. Distribusi beban truk pada plat injak arah melintang, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



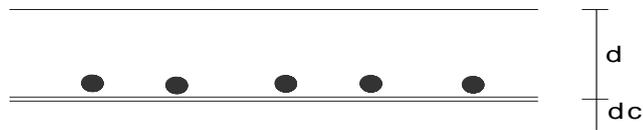
Gambar 12 Distribusi beban truk pada palat injak arah melintang

Faktor beban ultimit (KTT) = 2
 Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk (DLA) = 0,3
 Beban truk "T" (TT) = $(1 + DLA) \cdot T$
 = $(1 + 0,3) \cdot 100$
 = 130 kN.

2) Momen
 Tebal plat injak (h) = 0,2 m
 Tebal lapisan aspal (ta) = 0,05 m
 Lebar bidang kontak roda truk (b) = 0,5 m
 $b' = b + ta$
 = 0,5 + 0,05
 = 0,55

tulangan sisi luar beton. Pembesian plat injak arah melintang, seperti ditunjukkan pada Gambar 15.

3) Pembesian
 Pembesian plat injak arah melintang terdapat tebal efektif plat beton dan jarak



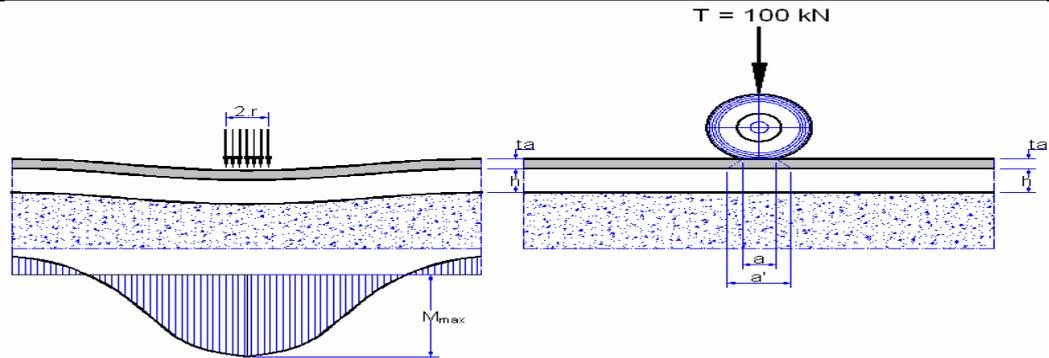
Gambar 15. Pembesian plat injak arah melintang

Tebal efektif plat beton (d) = 150 mm
 Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (dc) = 50 mm
 Tebal plat beton (h) = 200 mm
 Kuat tekan beton K-350 (fc') = 34,325 Mpa
 Tegangan leleh baja U-40 (fy) = 392,280 Mpa
 Faktor distribusi tegangan (β_1) = $0,85 - \frac{(fc' - 30) \cdot 0,05}{7}$
 = 0,82
 Ditinjau plat beton selebar 1 m = 1000 mm

truk (beban T) yang besarnya $T = 100$ kN. Distribusi beban truk pada palat injak arah memanjang, seperti ditunjukkan pada Gambar 16.

c) Plat injak arah memanjang

1) Pembebanan
 Distribusi Beban hidup pada plat injak arah memanjang berupa beban roda ganda



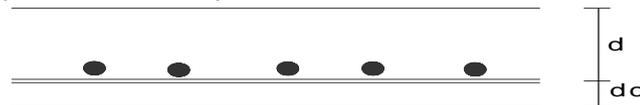
Gambar 16. Distribusi beban truk pada palat injak arah memanjang

Faktor beban ultimit (*KTT*) = 2
 Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk (*DLA*) = 0,3
 Beban truk "T" (*TT*) = (1 + *DLA*) · *T*
 = (1 + 0,3) · 100
 = 130 kN.

2) Momen
 Tebal plat injak (*h*) = 0,2 m
 Tebal lapisan aspal (*ta*) = 0,05 m
 Lebar bidang kontak roda truk (*a*) = 0,2 m
 $b' = a + ta$
 = 0,2 + 0,05
 = 0,25 m

Kuat tekan beton K-350 $f_{c'} = 34,325$ Mpa
 Angka poisson (*u*) = 0,15
 Standar modulus of soil reaction (*Ks*) = 81500 kN/m³
 Modulus elastisitas beto (*Ec*) = 27535,94 Mpa
 = 27535943,873 kN/m³

3) Pembesian tulangan sisi luar beton. Pembesian plat injak arah memanjang, seperti ditunjukkan pada Gambar 17. Terdapat tebal efektif plat beton dan jarak



Gambar 17 Pembesian plat injak arah memanjang

Tebal efektif plat beton (*d*) = 150 mm
 Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (*dc*) = 50 mm
 Tebal plat beton (*h*) = 200 mm
 Kuat tekan beton K-350 ($f_{c'}$) = 34,325 Mpa
 Tegangan leleh baja U-40 (f_y) = 392,280 Mpa
 Faktor distribusi tegangan (β_1) = $0,85 - \frac{(f_{c'} - 30) \cdot 0,05}{7}$
 = 0,82
 Ditinjau plat beton selebar 1 m = 1000 mm

Analisis Tegangan dan Lendutan Pada Balok Gelagar Beton Prategang
Data dan hasil perhitungan tegangan dan lendutan pada balok gelagar beton prategang

Data dan hasil perhitungan, meliputi:
 a) spesifikasi bahan, b) dimensi, c) lebar efektif plat lantai, d) *section properties*, e)

a) Spesifikasi bahan

f) perhitungan gaya prategang, eksentrisitas, dan jumlah tendon, g) perhitungan posisi tendon dan lintasan inti tendon, h) perhitungan kehilangan gaya prategang, i) perhitungan tegangan pada penampang balok prategang, dan j) perhitungan lendutan pada balok prategang.

1) Beton

Mutu beton balok prategang = K - 500
 Kuat tekan beton balok prategang (f_c') = 49,035 Mpa
 Modulus elastisitas beton (E_c) = $(B)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f_c'}$
 = $(2550)^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{49,035}$
 = 38773,22 Mpa
 Kaut tekan beton pada keadaan awal/saat transfer (f_{ci}') = $0,8 \cdot f_c'$
 = $0,8 \cdot 49,035$
 = 39,228 Mpa

Tegangan izin beton keadaan awal:

Tegangan tekan = $0,6 \cdot f_{ci}' = 23,537$ Mpa
 Tegangan tarik = $0,5 \cdot \sqrt{f_{ci}'}$ = 3,132 Mpa

Tegangan izin beton keadaan akhir:

Tegangan tekan = $0,45 \cdot f_c' = 22,066$ Mpa
 Tegangan tarik = $0,5 \cdot \sqrt{f_c'}$ = 3,501 Mpa

Mutu beton plat lantai

= K - 350
 Kuat tekan beton plat lantai (f_c') = 34,325 Mpa
 Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700 \cdot \sqrt{f_c'}$
 = $4700 \cdot \sqrt{34,325}$
 = 27535,94 Mpa

2) Baja prategang

Jenis *strand*: *Uncoated 7 wire super strands ASTM A 416 grade 270*

Tegangan leleh *strand* (f_{py}) = 1580 Mpa
 Kuat tarik *strand* (f_{pu}) = 1860 Mpa
 Diameter nominal *strand* = 12,7 mm = 1/2 "
 Luas tampang nominal satu *strand* (A_{st}) = 98,7 mm²
 Beban putus minimal satu *strand* (P_{bs}) = 187,32 kN
 Jumlah kawat untaian (*strand cable*) = 19 kawat untaian/tendon
 Diameter selubung ideal = 84 mm
 Luas tampang *strand* = 1875,3 mm²
 Beban putus satu tendon (P_{b1}) = 3559,08 kN
 Modulus elastisitas *strand* (E_s) = 193000 Mpa

b) Dimensi

Panjang balok prategang (L) = 42 m
 Tebal plat lantai jembatan (h_o) = 0,30 m
 Tebal deck slab (h_d) = 0,07 m
 Jarak antar balok prategang (S) = 2,00 m
 Tebal aspal (h_a) = 0,05 m
 Tinggi genganan air hujan (th) = 0,05 m

Bahasan tegangan dan lendutan pada balok gelagar beton prategang

Perancangan balok gelagar beton prategang menggunakan sistem pascatarik dimana pemberian tegangan pada balok prategang dilakukan setelah beton dicetak/dicor. Bahan yang digunakan pada perancangan beton prategang menggunakan mutu beton K-500 dengan tinggi balok gelagar beton prategang 2,1 meter dan panjang 42 meter dan menggunakan jenis baja *strand uncoated 7 wire super strand ASTM A 416 grade 270*. Momen maksimum yang dihasilkan akibat pembebanan diantaranya momen maksimum akibat berat balok prategang sebesar 4652,994 kNm, momen maksimum akibat berat sendiri sebesar 8658,534 kNm, moemen maksimum akibat berat mati

tambahan sebesar 727,650 kNm, momen maksimum akibat beban lajur "D" sebesar 4317,6 kNm, momen maksimum akibat gaya rem sebesar 69,699 kNm, momen maksimum akibat beban angin sebesar 222,264 kNm, dan momen maksimum akibat beban gempa sebesar 938,618 kNm. Momen maksimum yang paling besar terjadi adalah akibat berat sendiri dikarenakan beban yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan jenis beban yang lain.

Kondisi pada perancangan beton prategang diantaranya pada kondisi awal dan kondisi setelah kehilangan gaya prategang, kehilangan gaya prategang merupakan berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan. Persentase kehilangan gaya prategang total yang

dihasilkan sebesar 25,66 % sehingga diperoleh gaya prategang efektif sebesar 8754,393 kN. Tegangan izin tendon baja pascatarik diperoleh sebesar 1302 Mpa, dan tegangan yang terjadi pada tendon baja pascatarik diperoleh 933,653 Mpa sehingga dapat disimpulkan aman pada tendon prategang dikarenakan tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan maksimum yang diizinkan.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka dapat disimpulkan:

- 1) Diperoleh dimensi dan jarak tulangan, yaitu:
Hasil dimensi dan jarak tulangan dipengaruhi oleh besar kecilnya luas tulangan yang diperlukan dan luas tampang tulangan. Semakin besar tulangan yang diperlukan dan semakin kecil luas tampang tulangan, maka akan semakin panjang jarak tulangan yang diperoleh, dan sebaliknya.
- 2) Diperoleh nilai tegangan dan lendutan, yaitu:
 - a) Kondisi awal diperoleh nilai tegangan di serat atas (f_a) sebesar -2384,088 kPa, nilai tegangan di serat bawah (f_b) sebesar -23536,800 kPa dan nilai lendutan (δ) sebesar -0,04775 m;
 - b) Kondisi setelah kehilangan gaya prategang diperoleh nilai tegangan di serat atas (f_a) sebesar -3625,643, nilai tegangan di serat bawah (f_b) sebesar -19141,179 kPa, dan nilai lendutan (δ) sebesar -0,03501 m;
 - c) Kondisi setelah plat lantai dicor diperoleh nilai tegangan di serat atas (f_a) sebesar -12355,823 kPa, nilai tegangan di serat bawah (f_b) sebesar -10963,342 kPa, dan nilai lendutan (δ) sebesar 0,003142 m;
 - d) Kondisi setelah plat dan balok menjadi komposit diperoleh nilai tegangan di serat atas plat (f_{ac}) sebesar -3313,459 kPa, nilai tegangan di serat atas balok (f'_{ac}) sebesar -4629,756 kPa, nilai

tegangan di serat bawah balok (f_{bc}) sebesar -13843,830 kPa, dan nilai lendutan (δ) sebesar -0,02079 m; dan

- e) Tegangan yang terjadi pada balok komposit akibat kombinasi pembebanan lebih kecil dari -22065,750 kPa dan nilai lendutan yang terjadi pada balok komposit akibat kombinasi pembebanan lebih kecil dari $L/300$ sebesar 0,140 m.

Saran-saran

Melengkapi simpulan, maka dapat dikemukakan saran-saran seperti berikut:

- 1) Perancangan beton bertulang pada plat lantai kendaraan sebaiknya tidak terlalu tebal karena akan menghasilkan beban dan momen yang besar; dan
- 2) Perancangan beton prategang selain menggunakan metode tegangan kerja dan lendutan dapat juga menggunakan metode perancangan kekuatan batas, perancangan keadaan batas, dan perancangan probabilistik.

DAFTAR PUSTAKA

- Lin, T.Y., Ned H. Burns, *Desain Struktur Beton Prategang*, (edisi ketiga), diterjemahkan oleh: Mediana, Binarupa, Jakarta, 2000.
- Imran, Iswandi, *Catatan Kuliah SI-5212 Perilaku Struktur Beton Prategang*, ITB, Bandung, 2010.
- Supriadi, Bambang, Agus Setyo Muntohar, *Jembatan*, Beta Offset, Yogyakarta, Juni 2007.
- Budiadi, Andri, *Desain Praktis Beton Prategang Mengacu pada SK SNI 03-2874-2002*, Andi, Yogyakarta, 2008.
- Direktorat Bina Marga, *Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T-02-2005*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 2005.
- Romadhon, Eri Setia, *Struktur Beton Sesuai dengan Standar SKSNI 03-2847-2002*, UIKA, Bogor, 2006.
- Ilham, Noer, *Perhitungan Struktur Jembatan*, _____, _____, 2008, <http://noerilham.wordpress.com>. (23 Juli 2010).