

**SURAT EDARAN MENTERI PEKERJAAN UMUM**

**NO. 08/SE/M/2013**

**TENTANG**

**PEDOMAN PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN  
GELAGAR BAJA KOMPOSIT DENGAN SISTEM *FLENS*  
PRATEGANG UNTUK JEMBATAN**



**KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM**



**MENTERI PEKERJAAN UMUM  
REPUBLIK INDONESIA**

**Kepada Yth.:**

- 1. Gubernur di seluruh Indonesia;**
- 2. Bupati dan Walikota di seluruh Indonesia;**
- 3. Seluruh Pejabat Eselon I di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum;**
- 4. Seluruh Pejabat Eselon II di Ditjen Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.**

**SURAT EDARAN**

**NOMOR : 08 /SE/M/2013**

**TENTANG**

**PEDOMAN PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN GELAGAR BAJA KOMPOSIT  
DENGAN SISTEM *FLENS* PRATEGANG UNTUK JEMBATAN**

**A. Umum**

Sistem *flens* prategang merupakan salah satu sistem prategang eksternal yang gaya prategang dikerjakan pada *flens* bagian bawah gelagar baja. Penerapan gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang ini dilakukan dengan melakukan penarikan kabel gaya prategang oleh dongkrak kabel yang ditempatkan pada bagian blok angker/jangkar di *flens* prategang. Akibat gaya tarik pada kabel, pada bagian bawah gelagar baja akan tercipta gaya tekan sehingga terbentuk suatu lawan lendut (*chamber*) pada struktur secara keseluruhan.

Sebagai acuan dalam perencanaan dan pelaksanaan gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang untuk jembatan dan sesuai ketentuan Pasal 78 ayat (1), Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655), maka ditetapkan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Gelagar Baja Komposit dengan sistem *flens* prategang untuk jembatan dengan Surat Edaran Menteri.

Surat Edaran ini dapat diterapkan oleh Pejabat Eselon I dan Eselon II di lingkungan Kementerian Pekerjaan Umum untuk digunakan sebagaimana mestinya, sedangkan bagi Gubernur dan Bupati/Walikota di seluruh Indonesia agar dapat digunakan sebagai acuan.

**B. Dasar Pembentukan**

Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4655).



### C. Maksud dan Tujuan

Surat Edaran ini dimaksudkan untuk memperoleh peningkatan kapasitas dan daya layan jembatan dengan sistem *flens* prategang dan memperoleh pelaksanaan jembatan yang sesuai dengan pengaplikasian sistem *flens* prategang di lapangan.

Surat Edaran ini bertujuan untuk memberikan keterangan dan acuan bagi semua pihak yang terlibat dalam penerapan teknologi gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang.

### D. Ruang Lingkup

Pedoman Perencanaan Gelagar Baja Komposit dengan Sistem *Flens* Prategang untuk Jembatan mencakup hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang. Struktur jembatan yang dimaksud pada pedoman ini adalah jembatan baru dan dibatasi hanya untuk struktur dengan bentang sampai 30 m yang terletak di atas dua perletakan.

Pedoman Pelaksanaan Gelagar Baja Komposit dengan Sistem *Flens* Prategang untuk Jembatan meliputi pelaksanaan struktur atas jembatan komposit gelagar baja dengan sistem *flens* prategang, yang terdiri dari produksi gelagar baja, pelaksanaan pemasangan gelagar induk dan diafragma, pengecoran pelat lantai kendaraan, dan penarikan prategang baja eksternal.

### E. Penutup

Surat Edaran tentang Pedoman Perencanaan Dan Pelaksanaan Gelagar Baja Komposit dengan Sistem *Flens* Prategang untuk Jembatan ini dimuat secara lengkap dalam Lampiran, merupakan satu kesatuan dari bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Edaran Menteri ini.

Demikian atas perhatian Saudara disampaikan terima kasih.

Ditetapkan di Jakarta  
Pada tanggal 28 Mei 2013



MENTERI PEKERJAAN UMUM,

BOJO KIRMANTO



## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	iii
Pendahuluan.....	iv
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Metodologi perencanaan.....	2
4.1 Pendahuluan .....	2
4.2 Pokok perencanaan.....	2
4.3 Parameter perencanaan .....	2
4.4 Tahap perencanaan.....	2
5 Perencanaan .....	3
5.1 Tahap I : Menentukan spesifikasi jembatan .....	3
5.2 Tahap II : Menghitung propertis penampang gelagar komposit profil baja dan beton....	3
5.2.1 Menentukan lebar efektif lantai .....	3
5.2.2 Merancang profil gelagar baja .....	3
5.2.3 Menghitung titik berat gelagar komposit profil baja dan beton .....	4
5.3 Tahap III : Menghitung tegangan gelagar komposit .....	6
5.3.1 Tegangan akibat berat sendiri gelagar.....	6
5.3.2 Tegangan gelagar memikul beban pelat beton dan berat sendiri gelagar baja sebelum komposit.....	6
5.3.3 Tegangan gelagar memikul beban pelat beton setelah komposit.....	7
5.3.4 Cek tegangan pada serat bawah gelagar profil baja terhadap tegangan izin tarik baja7	
5.4 Tahap IV : Perencanaan Prategang Eksternal .....	7
5.4.1 Pendahuluan .....	7
5.4.2 Prinsip dasar perencanaan.....	8
5.4.2.1 Kondisi I .....	8
5.4.2.2 Kondisi II .....	9
5.4.2.3 Kondisi III .....	9
5.4.2.4 Kondisi IV .....	9
5.4.3 Tahapan perencanaan prategang eksternal .....	10
5.5 Kontrol lendutan.....	11
5.5.1 Lendutan akibat beban sendiri baja .....	11
5.5.2 Lendutan akibat prategang .....	12
5.5.3 Lendutan akibat beban pelat beton.....	12

5.5.2	Lendutan akibat prategang.....	12
5.5.3	Lendutan akibat beban pelat beton .....	12
5.5.4	Lendutan akibat beban hidup .....	12
5.5.5	Lendutan akibat beban sendiri (profil baja dan beton) .....	13
5.5.6	Lendutan akibat beban total (profil baja, beton, dan beban hidup).....	13
5.5.7	Lendutan akibat beban total + prategang .....	13
5.6	Penghubung Geser ( <i>Shear Connector</i> ) .....	13
5.7	Kehilangan gaya prategang.....	14
5.7.1	Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis.....	14
5.7.2	Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada tendon .....	15
5.7.3	Kehilangan gaya prategang akibat selip pada angkur .....	15
5.7.4	Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi .....	15
5.8	Kelangsingan penampang .....	17
5.9	Perletakan karet .....	17
5.10	Sambungan Baut.....	18
Lampiran A (informatif) Bagan alir perencanaan gelagar baja komposit dengan sistem <i>flens</i> prategang untuk jembatan .....		20
Lampiran B (informatif) Contoh perencanaan .....		22
Lampiran C (informatif) Daftar nama dan lembaga .....		37
Bibliografi.....		38



## Prakata

Pedoman perencanaan gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang, merupakan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Pusat Litbang Jalan dan Jembatan dengan adaptasi teknologi yang pernah ada. Pedoman ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi semua pihak yang terlibat dalam penerapan teknologi gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang.

Pedoman ini dipersiapkan oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil pada Subpanitia Teknis 91-01/S2 Rekayasa Jalan dan Jembatan melalui Gugus Kerja Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) No. 8 Tahun 2007 dan dibahas dalam forum rapat konsensus yang diselenggarakan pada tanggal 14 September 2011 di Bandung, dengan melibatkan para narasumber, pakar dan lembaga terkait.

## Pendahuluan

Pedoman perencanaan gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang ini dimaksudkan untuk memperoleh peningkatan kapasitas dan daya layan jembatan dengan sistem *flens* prategang.

Sistem *flens* prategang gelagar baja komposit dilakukan dengan melakukan penarikan kabel gaya prategang oleh dongkrak kabel yang ditempatkan pada bagian blok angker/jangkar di *flens* prategang. Kemudian akibat gaya tarik pada kabel, pada bagian bawah gelagar baja akan tercipta gaya tekan, sehingga terbentuk suatu lawan lendut (*chamber*) pada struktur secara keseluruhan.

5.5.4	Lendutan akibat beban hidup .....	12
5.5.5	Lendutan akibat beban sendiri (profil baja dan beton) .....	13
5.5.6	Lendutan akibat beban total (profil baja, beton, dan beban hidup).....	13
5.5.7	Lendutan akibat beban total + prategang.....	13
5.6	Penghubung Geser ( <i>Shear Connector</i> ).....	13
5.7	Kehilangan gaya prategang .....	14
5.7.1	Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis.....	14
5.7.2	Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada tendon.....	15
5.7.3	Kehilangan gaya prategang akibat selip pada angkur.....	15
5.7.4	Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi.....	15
5.8	Kelangsingan penampang .....	17
5.9	Perletakan karet.....	17
5.10	Sambungan Baut.....	18
Lampiran A (Informatif) Bagan alir perencanaan gelagar baja komposit dengan sistem <i>flens</i> prategang untuk jembatan .....		20
Lampiran B (Informatif) Contoh perencanaan .....		22
Lampiran C (Informatif) Daftar nama dan lembaga .....		37
Bibliografi.....		38



## Perencanaan gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang untuk jembatan

### 1 Ruang lingkup

Pedoman ini mencakup hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan gelagar baja komposit dengan sistem *flens* prategang. Struktur jembatan yang dimaksud pada pedoman ini adalah jembatan baru dan dibatasi hanya untuk struktur dengan bentang sampai 30m yang terletak di atas dua perletakan.

### 2 Acuan normatif

Dokumen referensi di bawah ini harus digunakan dan tidak dapat ditinggalkan untuk melaksanakan pedoman ini.

SNI 03-1729-2002, *Tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung*.

SNI 03-2847-2002, *Tata cara penghitungan struktur beton untuk bangunan gedung*.

RSNI T-02-2005, *Pembebanan untuk jembatan*.

RSNI T-03-2005, *Perencanaan struktur baja untuk jembatan*.

AISC 2005, *Spesification for structural building*.

### 3 Istilah dan definisi

Untuk tujuan penggunaan pedoman ini, istilah dan definisi berikut digunakan.

#### 3.1

##### sistem *flens* prategang

salah satu sistem prategang eksternal dengan memberikan gaya prategang pada *flens* gelagar baja

#### 3.2

##### gelagar baja komposit

struktur gelagar yang terdiri dari baja dan beton yang bekerja secara bersama - sama dalam memikul beban

#### 3.3

##### prategang eksternal

suatu sistem tambahan untuk memperkuat elemen struktur utama. Pemberian efek prategang ini akan mengurangi tegangan pada gelagar, mengurangi lendutan secara keseluruhan, dan meningkatkan kemampuan struktur untuk menahan beban.

#### 3.4

##### prategang pada *flens* gelagar



prategang pada *flens* gelagar  
kabel/tendon yang ditempatkan pada *flens* bagian bawah gelagaryang diberi tegangan tarik

### 3.5

#### selubung kabel

pembungkus yang terbuat dari bahan *polypropylene* dengan jenis *High Density Polyethylene* (HDPE)

1dari 38

## 4 Metodologi perencanaan

### 4.1 Pendahuluan

Sistem *flens* prategang merupakan salah satu sistem prategang eksternal yang gaya prategang dikerjakan pada *flens* bagian bawah gelagar baja. Dengan metode ini dimensi gelagar baja dapat dikurangi sehingga dapat menghemat biaya konstruksi.

Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dengan gelagar baja komposit sistem *flens* prategang yaitu :

- a) Memberikan lawan lendut pada gelagar baja sehingga terjadi pengurangan tegangan pada baja.
- b) Penggunaan metode *flens* prategang dapat mengurangi kebutuhan berat baja gelagar.
- c) Gaya prategang dapat menambah efek redaman getaran pada struktur jembatansehingga dapat menaikkan ketahanan terhadap bahaya fatik pada bahan baja jembatan.
- d) Kuat lentur dan kuat geser dari gelagar dapat ditambah sekaligus.
- e) Kemudahan dalam pemeriksaan setelah prategang pada *flens* gelagar terpasang.

Disamping keuntungan di atas terdapat pula beberapa kekurangan-kekurangan yaitu :

- a) Kabel prategang yang ditempatkan di luar menjadi lebih mudah terkena korosi dan untuk menghindari *vandalisme* digunakan pelat penutup.
- b) Pada saat dilakukan penegangan pada gelagar, akan terjadi sejumlah pergerakan pada komponen-komponen lantai jembatan baik dalam arah vertikal maupun horizontal, sehingga perlu diperhitungkan akan terjadi tegangan-tegangan sekunder yang dapat merusak pelat lantai, gelagar ataupun bangunan bawah jembatan.
- c) Pada jembatan komposit baja, pemberian gaya aksial dapat mengakibatkan masalah kestabilan lokal sehingga diperlukan adanya perkuatan lokal, seperti pengaku *flens* ataupun pengaku dalam.

### 4.2 Pokok perencanaan

Perencanaan dengan prategang pada *flens* gelagar menyederhanakan penerapan beban aksial yang dikombinasikan dengan momen lentur negatif untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser dari struktur balok. Metode ini dapat juga digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya layan dari jembatan. Peningkatan kekakuan yang diberikan dengan prategang pada *flens* gelagar dapat mereduksi defleksi dan vibrasi selama umur layannya.

### 4.3 Parameter perencanaan

Parameter yang menentukan penerapan suatu prategang pada *flens* gelagar adalah :

- a) Kesesuaian antara besarnya kapasitas, daya layan, dan umur rencana jembatan.
- b) Kestabilan struktur.
- c) Ketahanan komponen jembatan.

### 4.4 Tahap perencanaan



Langkah pertama dari perencanaan ini adalah melakukan perancangan gelagar komposit baja dan pelat beton tanpa sistem *flens* prategang eksternal. Perancangan ini dimaksudkan untuk mengetahui batasan dimensi profil gelagar baja yang mampu menahan beban tanpa membutuhkan prategang eksternal. Dari hasil perhitungan struktur komposit antara material baja dan beton didapat nilai tegangan masing-masing material tersebut dan tegangan beton pada serat atas serta tegangan baja pada serat bawah harus lebih kecil dari tegangan yang diizinkan.

2 dari 38

Langkah kedua adalah perencanaan dengan menggunakan sistem prategang eksternal. Pilih penampang profil baja yang didapat dari perencanaan langkah pertama serta tentukan diameter angker, serta tendon standar yang tersedia di pasaran, sehingga tegangan pada serat bawah profil baja lebih besar daripada tegangan izin baja. Oleh karena itu, diperlukan perkuatan untuk menahan selisih tegangan tersebut dengan sistem prategang eksternal pada *flens* gelagar. Hasil perencanaan diameter tendon serta jumlah tendon perlu dianalisis terhadap:

- lebar *flens* bawah dari profil baja,
- diameter angker tidak boleh lebih besar dari lebar  $\frac{(flens - t_w)}{2}$

## 5 Perencanaan

### 5.1 Tahap I : Menentukan spesifikasi jembatan

Struktur jembatan yang dimaksud pada pedoman ini dibatasi hanya untuk struktur komposit dengan bentang sampai 30m di atas dua perletakan. Data-data masukan untuk perencanaan yang harus ditentukan, paling sedikit namun tidak terbatas:

- a) Dimensi jembatan yaitu panjang dan lebar jembatan
- b) Jarak antara gelagar
- c) Jenis dan mutu material yaitu profil baja, pelat beton, tendon
- d) Kelas jembatan
- e) Jenis dan dimensi gelagar profil baja
- f) Tebal lantai beton
- g) Tebal lapisan aspal

### 5.2 Tahap II : Menghitung propertis penampang gelagar komposit profil baja dan beton

#### 5.2.1 Menentukan lebar efektif lantai

Pengaruh geser dalam lantai beton harus diperhitungkan, terkecuali perencana melakukan analisis lengkap. Geser dapat diperhitungkan dengan menggunakan suatu lebar efektif lantai seperti yang dijelaskan berikut.

Bila lantai beton meliputi kedua sisi *web* gelagar, lebar efektif lantai harus diambil sebagai nilai terkecil dari:

- i. Jarak pusat ke pusat antara gelagar,
- ii. Dua belas kali tebal minimum pelat.

Bila lantai beton meliputi hanya satu sisi dari gelagar, lebar efektif lantai harus diambil sebagai setengah nilai yang dihitung dengan (i) dan (ii) di atas. Lebar efektif lantai harus digunakan untuk menghitung besaran penampang gelagar komposit pada keadaan batas layanan dan ultimit



### 5.2.2 Merancang profil gelagar baja

Penampang profil baja serta penempatan posisi kabel prategang eksternal mempengaruhi rasio tegangan komposit gelagar baja terhadap tegangan kabel prategang eksternal. Semakin tinggi profil baja, semakin tebal dan lebar *flens*, serta semakin tebal *web*, maka semakin tinggi persentase tegangan yang ditahan oleh profil baja dan sebaliknya, semakin rendah persentase tegangan yang ditahan oleh kabel prategang eksternal.

3dari 38

pada beton, hal tersebut terjadi akibat pengaruh penggunaan dan penempatan tendon dan anker.

Salah satu tujuan perencanaan ini adalah untuk mendapatkan dimensi penampang profil gelagar baja dengan diameter dan jumlah kabel prategang eksternal yang menghasilkan rasio optimum antara distribusi tegangan baja terhadap tegangan kabel prategang tersebut, yaitu sekitar 74% : 26 %. Rasio optimum tersebut didapat apabila persyaratan berikut terpenuhi:

- Tegangan baja pada serat bawah < tegangan tarik baja
- Tegangan beton pada serat atas < tegangan tekan beton maksimum

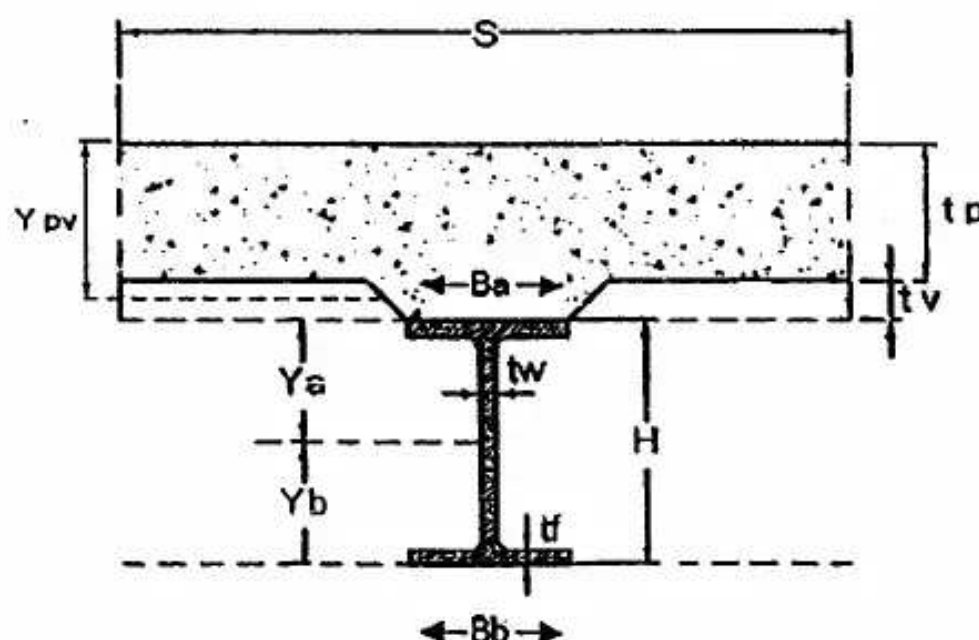
Variabel dalam perencanaan ini adalah:

- Penampang profil baja gelagar (tinggi, lebar dan tebal flens, serta tebal web)
- Penempatan tendon pada flens
- Jumlah dan diameter tendon

### 5.2.3 Menghitung titik berat gelagar komposit profil baja dan beton

- Menghitung titik berat beton (titik berat gabungan pelat lantai dan voute dari serat atas beton), dengan potongan penampang seperti terlihat pada Gambar 1.

$$Y_{pv} = \frac{\left( \frac{S \cdot I_p^2}{2} \right) + I_v^2 \cdot \left( \frac{t_v}{3} + I_p \right) + I_v \cdot B_a \cdot \left( \frac{t_v}{2} + I_p \right)}{I_p \cdot S + I_v^2 + I_v \cdot B_a} \quad (1)$$



Gambar 1 - Titik berat beton dan profil baja

Keterangan:



$Y_{pv}$  adalah jarak titik berat beton;  
 $t_p$  adalah tebal pelat;  
 $t_v$  adalah tebal voute;  
 $S$  adalah lebar efektif lantai;  
 $B_a$  adalah lebar flens atas profil baja;  
 $B_b$  adalah lebar flens bawah profil baja.

b) Menghitung titik berat komposit dari serat atas ( $Y_{cc}$ ) seperti terlihat pada Gambar 2

$$Y_{cc} = \frac{\{A \times (t_p + t_v + Y_a) + [(t_p \times L_{bep}) + (t_v \times L_{bev})] \times Y_{pv}\}}{A_c} \quad (2)$$

4 dari 38

**Keterangan:**

$Y_{cc}$  adalah jarak titik berat komposit dari serat atas beton (Gambar 2);

$A$  adalah luas profil baja;

$Y_a$  adalah jarak titik berat profil baja dari serat atas baja (Gambar 2);

$L_{bep}$  adalah lebar beton ekivalen pelat =  $\frac{S}{n}$ ;

$L_{bev}$  adalah lebar beton ekivalen voute =  $\frac{[B_a + (2 \times t_v)]}{n}$ ;

$A_c$  adalah luas komposit.

$n$  adalah rasio modular

c) Menghitung titik berat komposit dari serat bawah ( $Y_{bc}$ )

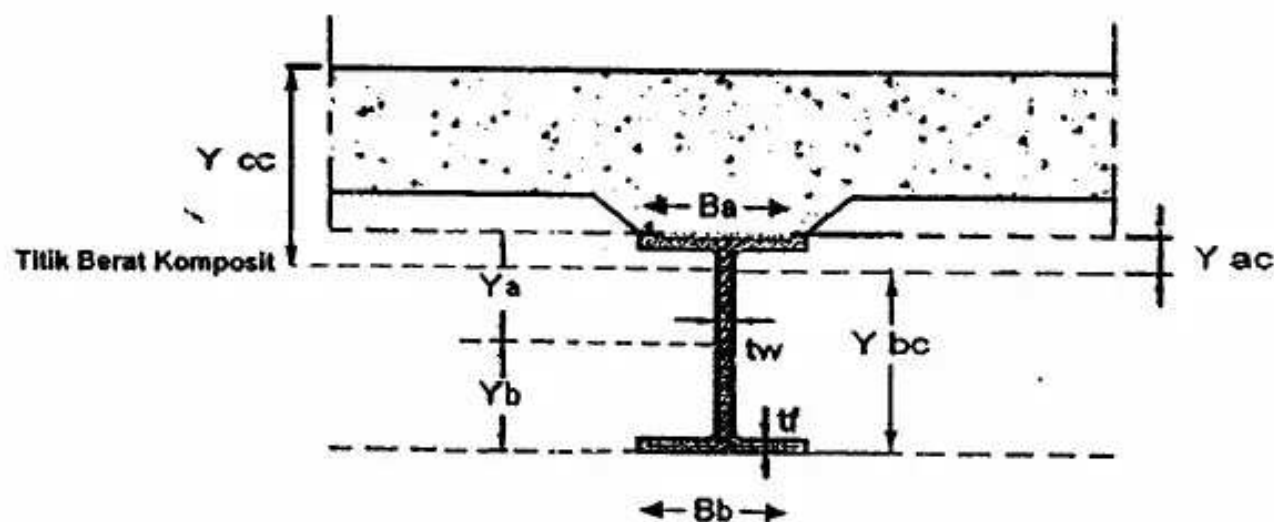
$$Y_{bc} = Y_a + Y_b + t_p + t_v - Y_{cc} \quad (3)$$

**Keterangan:**

$Y_{bc}$  adalah jarak titik berat komposit dari serat bawah (Gambar 2);

$Y_b$  adalah jarak titik berat profil baja dari serat bawah (Gambar 2);

$Y_{ac}$  adalah jarak titik berat komposit dari serat atas profil baja (Gambar 2).



Gambar 2 - Titik berat penampang komposit

d) Menghitung momen inersia komposit ( $I_{xc}$ )

$$I_{xc} = \left[ I_x + A \cdot (Y_a - Y_{ac})^2 \right] + \left( \frac{1}{12} L_{bep} t_p^3 \right) + \left( \frac{1}{12} L_{bev} t_v^3 \right) + \left[ I_{x'} + A \cdot (Y_{ac} - (t_p + t_v))^2 \right] + \left[ I_{x'} + A \cdot (Y_{ac} - (t_p + t_v))^2 \right]$$

$$\left[ L_{bep} \cdot \left( I_{cc} - \left( \frac{I_p}{2} \right) \right) \right] + \left[ L_{bev} \cdot \left( I_{cc} - \left( I_p + \frac{I_p}{3} \right) \right) \right]$$

(4)

**Keterangan:**

$I_{xc}$  adalah momen inersia komposit ;  
 $I_x$  adalah momen inersia profil baja.

e) Menghitung momen tahanan komposit serat atas

$$S_{xa} = \frac{I_{xc}}{Y_{cc}} \quad (5)$$

f) Menghitung momen tahanan komposit serat bawah

$$S_{xb} = \frac{I_{xc}}{Y_{bc}} \quad (6)$$

5 dari 38

**Keterangan:**

$S_{xa}$  adalah momen tahanan komposit serat atas;  
 $S_{xb}$  adalah momen tahanan komposit serat bawah.

### 5.3 Tahap III : Menghitung tegangan gelagar komposit

#### 5.3.1 Tegangan akibat berat sendiri gelagar

Tegangan – tegangan pada serat atas dan bawah baja akibat beban sendiri gelagar dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_{a1} = \frac{-M_{bs} \cdot Y_a}{I_x} \quad (7)$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M_{bs} \cdot Y_b}{I_x} \quad (8)$$

**Keterangan:**

$\sigma_{a1}$  adalah tegangan pada serat atas baja akibat beban sendiri gelagar;  
 $\sigma_{b1}$  adalah tegangan pada serat bawah baja akibat beban sendiri gelagar.  
 $M_{bs}$  adalah momen akibat berat sendiri gelagar profil baja;

Besarnya momen akibat berat sendiri adalah:

$$M_{bs} = \frac{1}{8} \cdot q_{baja} \cdot L^2 \quad (9)$$

**Keterangan:**

$q_{baja}$  adalah beban terbagi rata akibat berat sendiri profil baja;  
 $L$  adalah panjang gelagar.

#### 5.3.2 Tegangan gelagar memikul beban pelat beton dan berat sendiri gelagar baja sebelum komposit

Tegangan pada serat atas dan bawah gelagar baja sebelum komposit, akibat beban berat sendiri pelat beton dan gelagar baja, yang dihitung berdasarkan:

$$\sigma_{a2} = \frac{-M_{slab} \cdot Y_a}{I_x} + \sigma_{a1} \quad (10)$$



$$\sigma_{b2} = \frac{M_{slab} \cdot Y_b}{I_x} + \sigma_{b1} \quad (11)$$

**Keterangan:**

- $\sigma_{a1}$  adalah tegangan pada serat atas baja sebelum komposit;  
 $\sigma_{b1}$  adalah tegangan pada serat bawah baja sebelum komposit;  
 $M_{slab}$  adalah momen akibat gelagar memikul pelat beton;

Besarnya momen akibat berat pelat beton adalah:

$$M_{slab} = \frac{1}{8} \cdot q_{beton} \cdot L^2 \quad (12)$$

**Keterangan:**

- $q_{beton}$  adalah beban terbagi rata akibat berat sendiri beton;  
 $L$  adalah Panjang gelagar.

6 dari 38

### 5.3.3 Tegangan gelagar memikul beban pelat beton setelah komposit

Tegangan pada serat atas dan bawah gelagar baja setelah komposit, akibat tebal perkerasan aspal, beban hidup (berdasarkan RSNI T – 02 – 2005) beban terbagi rata  $q_{UDL}$  dan beban garis  $P_{KEL}$  yang dihitung berdasarkan:

$$\sigma_{cb} = \frac{M_{tot} \cdot Y_{cc}}{I_{xc} \cdot n} \quad (13)$$

$$\sigma_{ac} = \frac{M_{tot} \cdot Y_{ac}}{I_{xc}} \quad (14)$$

$$\sigma_{a3} = \sigma_{ac} + \sigma_{a2} \quad (15)$$

$$\sigma_{b3} = \frac{M_{tot} \cdot Y_{bc}}{I_{xc}} + \sigma_{b2} \quad (16)$$

**Keterangan:**

- $Y_{ac}$  adalah jarak titik berat komposit dari serat atas profil baja;  
 $\sigma_{cb}$  adalah tegangan beton serat atas;  
 $\sigma_{ac}$  adalah tegangan beton serat bawah;  
 $\sigma_{a3}$  adalah tegangan baja serat atas;  
 $\sigma_{b3}$  adalah tegangan baja serat bawah.

dan

$$M_{total} = M_{bh} + M_{bm} \quad (17)$$

$$M_{bh} = \frac{1}{4} \cdot P \cdot L \cdot K \quad (18)$$

$$M_{bm} = \frac{1}{8} \cdot (q_{beton} + q_{aspal} + q_{baja} \cdot L^2) \quad (19)$$

**Keterangan:**

- $M_{bh}$  adalah momen akibat beban hidup;  
 $L$  adalah panjang gelagar;  
 $M_{bm}$  adalah momen akibat beban mati;  
 $q_{aspal}$  adalah beban terbagi rata akibat berat sendiri aspal;  
 $q_{beton}$  adalah beban terbagi rata akibat berat sendiri beton;  
 $q_{baja}$  adalah beban terbagi rata akibat berat sendiri baja;



#### 5.3.4 Cek tegangan pada serat bawah gelagar profil baja terhadap tegangan izin tarik baja

Apabila tegangan akhir pada serat bawah gelagar profil baja lebih kecil dari tegangan izin tarik baja maka mungkin dimensi profil baja terlalu besar sehingga perlu diperkecil. Sebaliknya, apabila tegangan akhir pada serat bawah gelagar profil baja lebih besar dari tegangan tarik izin baja, maka diperlukan perkuatan untuk dapat menahan kelebihan tegangan baja tersebut. Selisih tegangan tersebut akan ditahan oleh kabel prategang eksternal, sehingga selanjutnya dilakukan perencanaan kabel prategang eksternal.

#### 5.4 Tahap IV : Perencanaan Prategang Eksternal

##### 5.4.1 Pendahuluan

Perencanaan struktur ini harus ditinjau untuk batas ultimit dan batas layan berdasarkan tegangan izinnya (*working stress design*). Fluktuasi gaya prategang pada kabel prategang

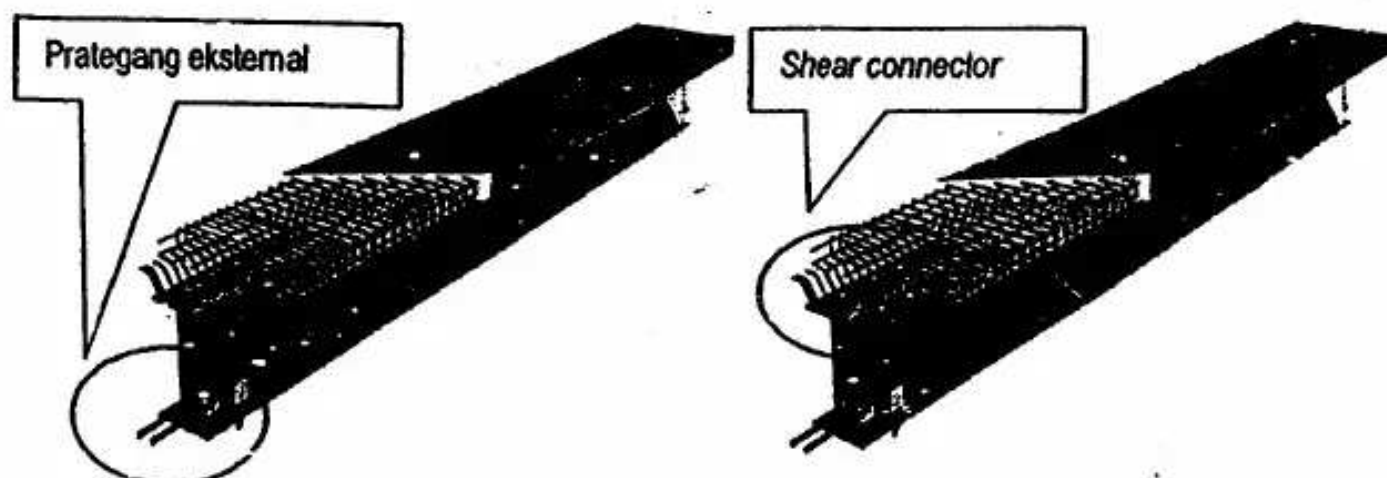
7 dari 38

lebih besar dibandingkan kabel prategang pada beton prategang normal akibat baja prategang mendapat gaya tambahan akibat perpendekan kabel.

Gaya prategang untuk sistem prategang pada *flens* gelagar dibatasi sebesar 45% terhadap gaya putus. Hal ini dimaksudkan untuk mengakomodasi fatik yang disebabkan oleh getaran struktur dan getaran kabel sendiri. Pada umumnya untuk beton pratekan biasa, gaya prategang kabel dibatasi sebesar 75% terhadap gaya putus.

Sistem penempatan prategang eksternal pada sisi *flens* akan menambah kekuatan gelagar sesuai dengan prategang yang diberikan pada serat bawah (daerah momen positif) atau serat atas (daerah momen negatif) gelagar. Prategang merupakan tegangan tekan cadangan sebesar tegangan izin baja yang masih ditambah dengan tegangan izin sesuai perencanaan konvensional; sehingga dengan demikian, untuk gelagar komposit baru tegangan tarik izin berlipat dua kali.

Perencanaan dengan sistem *flens* prategang baja pada jembatan baru dapat diterapkan dengan penarikan yang dilakukan sebelum pengecoran. Dengan demikian, penerapan tersebut tidak mengakibatkan keretakan pada pelat lantai. Perkuatan gelagar dengan flens baja prategang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 - Perkuatan gelagar dengan *flens* baja prategang



#### 5.4.2 Prinsip dasar perencanaan

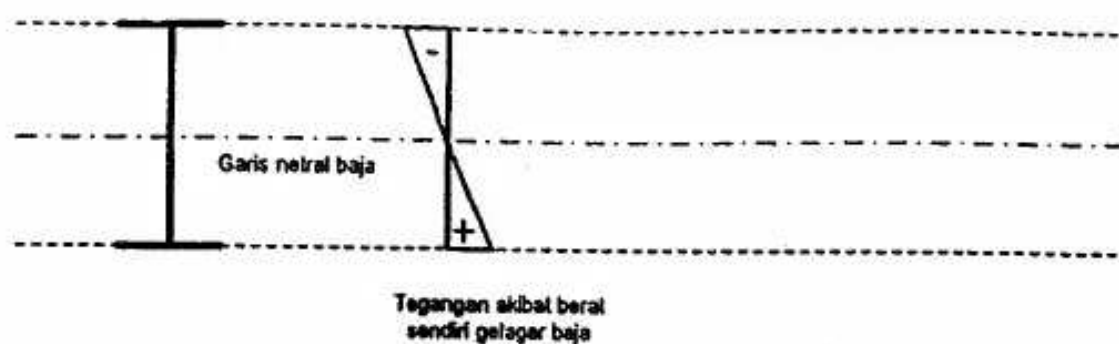
Prinsip dasar perencanaan dengan *flens* prategang baja adalah gelagar baja telah diberikan gaya prategang terlebih dahulu sebelum dilakukan pengecoran lantai, sehingga kapasitas gelagar lantai dalam menerima beban telah meningkat. Setelah dilakukan pengecoran maka pelat lantai menjadi beban mati yang dipikul oleh gelagar baja dan gaya prategang. Pada saat menerima beban lalu lintas maka yang memikul beban adalah gelagar baja komposit dengan gaya *flens* prategang.

Tahapan pembebanan yang bekerja pada gelagar terdiri dari empat kondisi berikut:

##### 5.4.2.1 Kondisi I

Pada tahapan kondisi pertama ini, tegangan yang terjadi hanya diakibatkan oleh beban berat sendiri gelagar profil baja. Diagram tegangan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 4.

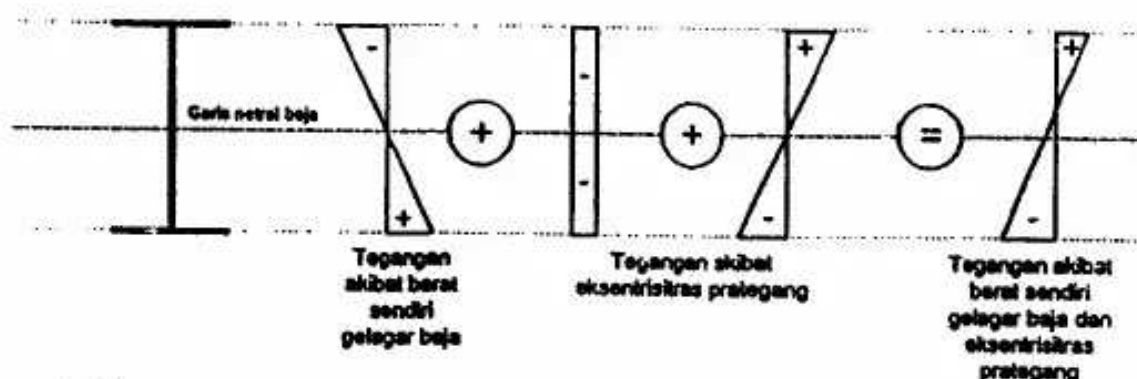
8 dari 38



Gambar 4 - Diagram tegangan akibat berat sendiri gelagar baja

##### 5.4.2.2 Kondisi II

Pada tahapan kondisi kedua, tegangan yang terjadi merupakan tegangan akibat beban berat sendiri gelagar profil baja serta tegangan akibat eksentrisitas prategang eksternal yang bekerja pada *flens* profil gelagar baja. Diagram tegangan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 5.

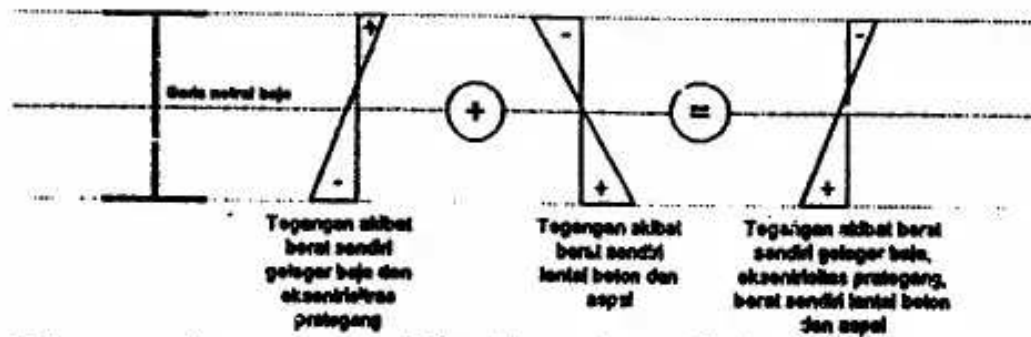


Gambar 5 - Diagram tegangan akibat berat sendiri gelagar baja dan eksentrisitas prategang



#### 5.4.2.3 Kondisi III

Pada tahapan kondisi ketiga, tegangan yang terjadi merupakan tegangan akibat beban berat sendiri gelagar profil baja dan tegangan akibat prategang eksternal yang bekerja pada *flens* profil baja, serta tegangan akibat beban berat sendiri lantai beton dan aspal. Lantai beton dicor setelah dilakukan penarikan tendon pada *flens* gelagar. Diagram tegangan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 6.

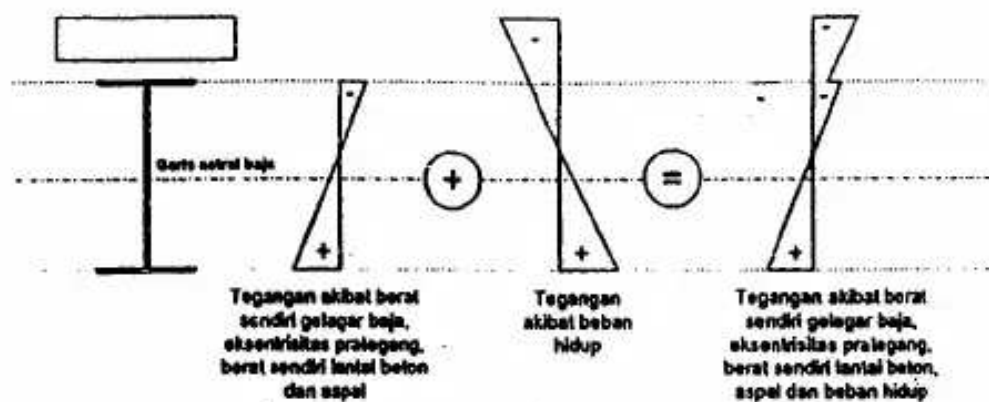


Gambar 6 - Diagram tegangan akibat berat sendiri gelagar baja, eksentrisitas prategang, berat sendiri lantai beton dan aspal

#### 5.4.2.4 Kondisi IV

Pada tahapan kondisi akhir, tegangan yang terjadi merupakan tegangan akibat beban berat sendiri gelagar profil baja, tegangan akibat prategang eksternal yang bekerja pada *flens* profil gelagar baja, tegangan akibat beban berat sendiri lantai beton, aspal serta beban hidup yang direncanakan. Diagram tegangan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 7.

9 dari 38



Gambar 7 - Diagram tegangan akibat berat sendiri gelagar baja, eksternal prategang, dan berat sendiri lantai beton, serta beban hidup

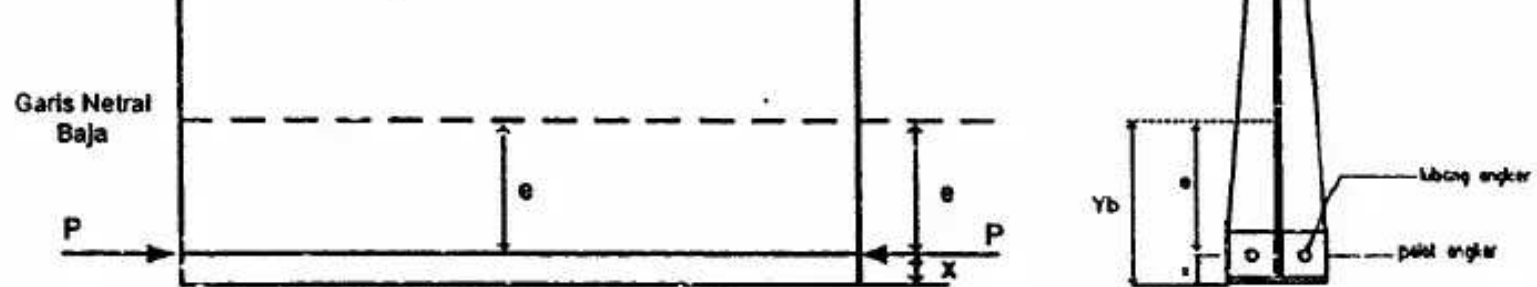
#### 5.4.3 Tahapan perencanaan prategang eksternal

- Menghitung kelebihan tegangan yang terjadi pada perencanaan gelagar balok komposit, yang merupakan selisih tegangan tarik yang terjadi pada serat bawah profil baja gelagar dengan tegangan izin tarik baja ;

$$\text{Kelebihan tegangan} = \sigma_{b3} - \sigma_s \quad (20)$$

- Menentukan jarak penempatan tendon ( $x$ ) pada *flens* gelagar. Gambar 8 memperlihatkan penempatan kabel (tendon) yang dapat ditempatkan pada jembatan komposit. Penempatan sejumlah tendon pada penampang gelagar baja yang digunakan harus dipasang simetris terhadap titik pusat dari penampang gelagar baja.





Gambar 8 - Contoh penempatan kabel (tendon) eksentris pada jembatan komposit

c) Menghitung nilai eksentrisitas (e) :

$$e = Y_b - x$$

(21)

Keterangan:

$Y_b$  adalah jarak dari garis netral profil baja ke serat bawah (Gambar 8).

d) Menentukan spesifikasi tendon yang akan dipakai, yaitu :

- Diameter tendon
- Jumlah tendon (n)
- Gaya putus ( $P_{\text{putus}}$ ) satu tendon
- Gaya putus kumulatif tendon ( $P$ ) =  $0,85 \times 0,7 \times P_{\text{putus}} \times n$  tendon

Karakteristik tendon Grade 270 ASTM dapat dilihat pada Tabel 1.

10 dari 38

Tabel 1 - Karakteristik tendon

Tipe Tendon	ASTM Grade 270	
	13 mm (0,5")	15 mm (0,6")
Diameter (mm)	12,7	-
Luas Nominal (mm <sup>2</sup> )	98,7	140
Berat Nominal (kg/m)	0,775	1,1
Tegangan Leleh (Mpa)	1670	1670
Tegangan Tarik Putus (Mpa)	1860	1860
Batas leleh (kN)	183,7	260,7
Modulus (Gpa)	Sekitar 195	Sekitar 196
Relaksasi (%)	Maks 2,5	Maks 2,6

e) Menghitung tegangan yang terjadi pada baja :

$$\sigma_{\text{topPs}} = -\frac{P}{A} + P.e.\frac{Y_s}{I_x} \quad (22)$$

$$\sigma_{\text{bc:Ps}} = -\frac{P}{A} - e.\frac{Y_b}{I_x}$$

(23)

Keterangan:

- $\sigma_{top}$  adalah tegangan serat atas baja;
- $\sigma_{bot}$  adalah tegangan serat bawah baja;
- $P$  adalah gaya putus kumulatif tendon;
- $A$  adalah luas penampang profil gelagar baja;
- $e$  adalah eksentrisitas;
- $Y_b$  adalah titik berat gelagar dari serat bawah;
- $I_x$  adalah momen inersia gelagar.

- f) Hasil yang harus dicapai adalah:  
 $\sigma_{bot} < \text{tegangan izin tarik baja dan}$   
 $\sigma_{top} < \text{tegangan tekan beton yang direncanakan}$
- g) Apabila keadaan tersebut belum tercapai, maka lakukan perencanaan ulang dengan cara mengubah-ubah nilai ( $x$ ) dan jumlah tendon ( $n$ ) yang digunakan hingga mencapai hasil yang sesuai.

## 5.5 Kontrol lendutan

Pembatasan lendutan pada balok baja mengacu pada RSNI T-03-2005 mengenai perencanaan struktur baja untuk jembatan.

### 5.5.1 Lendutan akibat beban sendiri baja

Lendutan akibat beban sendiri baja dihitung berdasarkan :

$$\delta = \frac{5 \cdot q_{baja} \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_s} \quad (24)$$

Keterangan:

- $\delta$  adalah lendutan;
- $q_{baja}$  adalah berat sendiri baja;
- $L$  adalah panjang bentang jembatan;

11 dari 38

- $E_s$  adalah modulus elastisitas baja;
- $I_s$  adalah momen inersia gelagar baja.

### 5.5.2 Lendutan akibat prategang

Lendutan akibat prategang dihitung berdasarkan :

$$\delta = -\frac{P_e \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot E_s \cdot I_s} \quad (25)$$

Keterangan:

- $P_e$  adalah gaya putus kumulatif tendon;
- $e$  adalah eksentrisitas;
- $E_s$  adalah modulus elastisitas baja;
- $I_s$  adalah momen inersia gelagar baja.

Lendutan dalam unsur komposit dapat dihitung dengan teori elastis dengan menganggap aksi komposit penuh tetapi mengabaikan tiap bagian beton yang tertarik. Penampang transformasi dapat diperoleh dengan menggunakan rasio modular sebesar:

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (26)$$



**Keterangan:**

$n$  adalah rasio modular ;

$E_s$  adalah modulus elastisitas baja =  $200 \times 10^3$  MPa;

$E_c$  adalah modulus elastisitas beton =  $4700 \sqrt{f'_c}$  MPa.

(27)

### 5.5.3 Lendutan akibat beban pelat beton

Lendutan akibat beban pelat beton dihitung berdasarkan :

$$\delta = \frac{5.q_{\text{beton}}.L^4}{384.E_s.I_s}$$

(28)

**Keterangan:**

$\delta$  adalah lendutan;

$q_{\text{beton}}$  adalah berat sendiri beton;

$L$  adalah panjang bentang jembatan;

$E_s$  adalah modulus elastisitas baja;

$I_s$  adalah momen inersia gelagar baja.

### 5.5.4 Lendutan akibat beban hidup

Lendutan akibat beban hidup dihitung berdasarkan :

$$\delta = \frac{5.q_{bh}.L^4}{384.E_k.I_k} + \left[ \frac{PL^3}{48.E_k.I_k} \right]$$

(29)

**Keterangan:**

$\delta$  adalah lendutan;

$q_{bh}$  adalah berat beban hidup;

$L$  adalah panjang bentang jembatan;

$E_k$  adalah modulus elastisitas komposit;

$I_k$  adalah momen inersia komposit.

12 dari 38

### 5.5.5 Lendutan akibat beban sendiri (profil baja dan beton)

Lendutan akibat beban sendiri profil baja dan beton dihitung berdasarkan :

$$\delta = \frac{5.q_{\text{baja}}.L^4}{384.E_s.I_s} + \left( \frac{5.q_{\text{beton}}.L^4}{384.E_s.I_s} \right)$$

(30)

**Keterangan:**

$\delta$  adalah lendutan;

$q_{\text{baja}}$  adalah berat sendiri baja;

$q_{\text{beton}}$  adalah berat sendiri beton;

$L$  adalah panjang bentang jembatan;

$E_s$  adalah modulus elastisitas baja;

$I_s$  adalah momen inersia gelagar baja.

### 5.5.6 Lendutan akibat beban total (profil baja, beton, dan beban hidup)

Lendutan akibat profil baja, beton dan beban hidup dihitung berdasarkan :

$$\delta = \frac{5.q_1.L^4}{384.E_k.I_k} \quad (31)$$

Keterangan:

- $\delta$  adalah lendutan;
- $q_1$  adalah berat sendiri komponen baja, beton dan beban hidup;
- $L$  adalah panjang bentang jembatan;
- $E_k$  adalah modulus elastisitas komposit;
- $I_k$  adalah momen inersia komposit.

#### 5.5.7 Lendutan akibat beban total + prategang

$$\delta = \frac{5.q_2.L^4}{384.E_k.I_k} - \frac{P_e.e.L^2}{8.E_s.I_s} \quad (32)$$

Keterangan:

- $\delta$  adalah lendutan;
- $q_2$  adalah berat akibat beban total dan prategang;
- $L$  adalah panjang bentang jembatan;
- $E_k$  adalah modulus elastisitas komposit;
- $E_s$  adalah modulus elastisitas baja;
- $I_k$  adalah momen inersia komposit;
- $I_s$  adalah momen inersia gelagar baja;
- $P_e$  adalah tegangan putus kumulatif tendon;
- $e$  adalah eksentrisitas.

#### 5.6 Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Gaya geser yang timbul antara pelat beton dan balok baja selama pembebanan harus sedemikian sehingga gelincir dapat dikekang. Penampang komposit penuh diasumsikan tidak mengalami gelincir pada bidang pertemuan pelat dan balok baja.

Gaya geser horizontal pada bidang kontak antara balok baja dan pelat beton harus ditransfer oleh penghubung-penghubung geser. Untuk aksi komposit beton mengalami gaya tekan akibat lentur, gaya horizontal total yang bekerja pada daerah yang dibatasi oleh titik-titik momen positif maksimum dan momen nol yang berdekatan harus diambil sebagai nilai terkecil dari :

13 dari 38

$$b). A_s.f_y \quad (34)$$

$$c). \sum Q_n \quad (35)$$

Keterangan:

- $f_c'$  adalah mutu beton (MPa);
- $A_c$  adalah luas penampang beton, mm<sup>2</sup>;
- $A_s$  adalah luas penampang profil baja, mm<sup>2</sup>;
- $f_y$  adalah tegangan leleh profil baja, MPa;
- $\sum Q_n$  adalah jumlah kekuatan penghubung-penghubung geser di sepanjang daerah yang dibatasi oleh momen maksimum dan momen nol, N.

Gaya horizontal total yang bekerja pada bidang kontak pelat beton dan balok baja di daerah yang dibatasi oleh titik momen negatif maksimum dan momen nol harus diambil sebagai nilai terkecil dari :



$$a). A_s f_y \quad (36)$$

$$b). \sum Q_n \quad (37)$$

Kekuatan nominal satu penghubung geser *stad* yang ditanam di dalam pelat beton adalah :

$$Q_n = 0,5 A_{sc} \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} f_u \quad (38)$$

Keterangan:

$A_{sc}$  adalah luas penampang penghubung geser *stad*, mm<sup>2</sup>;

$f_u$  adalah kuat tarik penghubung geser *stad*, MPa;

$Q_n$  adalah kapasitas geser untuk penghubung geser *stad*, N.

## 5.7 Kehilangan gaya prategang

Dalam sistem prategang, kehilangan gaya prategang dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu :

- Kehilangan yang terjadi seketika selama penegangan kabel. Gaya prategang dapat hilang dengan segera akibat gesekan dan selip pada angker. Gaya prategang yang telah direduksi akibat kehilangan awal disebut gaya prategang awal.
- Kehilangan akibat berjalannya waktu, terutama disebabkan oleh relaksasi. Gaya prategang yang telah direduksi akibat relaksasi disebut gaya prategang efektif.

Secara umum, kehilangan gaya prategang berpengaruh pada perilaku struktur saat dikenai beban layan seperti lendutan dan lawan lendut, sebagaimana deformasi yang terjadi selama konstruksi.

### 5.7.1 Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis

Secara umum, kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis tergantung pada rasio modular dan tegangan beton pada level baja atau dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$ES = n f_c \quad (39)$$

14dari 38

Keterangan:

$f_c$  adalah tegangan beton pada level baja;

$n$  adalah rasio modular dengan nilai  $n = \frac{E_s}{E_c}$ . (40)

Besarnya kehilangan tegangan akibat perpendekan elastik dapat diestimasi sebesar :

$$ES = \frac{n P_i}{A_s + n A_s} \quad (41)$$

Keterangan:

$n$  adalah angka rasio pada saat transfer, dengan harga  $n = \frac{E_s}{E_c}$ ;

$P_i$  adalah gaya prategang awal;

- $A_c$  adalah luas penampang beton;  
 $A_s$  adalah luas penampang baja.

### 5.7.2 Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada tendon

Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1} = -KL - \mu\alpha \quad (42)$$

Keterangan:

- $P_1$  adalah besarnya gaya prategang di titik 1;  
 $P_2$  adalah besarnya gaya prategang di titik 2;  
 $L$  adalah panjang segmen yang diperhitungkan;  
 $\alpha$  adalah sudut pada tendon.

### 5.7.3 Kehilangan gaya prategang akibat selip pada angkur

Selip pada angkur terjadi sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan baji pada angkur. Untuk menentukan kehilangan tegangan akibat selip dapat digunakan persamaan berikut :

$$\Delta L = \frac{f_s}{E_s} L \quad (43)$$

Keterangan:

- $\Delta$  adalah deformasi pada angkur atau dapat dihitung dari rasio  $f_s$  dan  $E_s$ ;  
 $f_s$  adalah tegangan pada penampang;  
 $E_s$  adalah modulus elastisitas baja tendon;  
 $L$  adalah panjang kabel.

### 5.7.4 Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi

Tendon *stress relived* mengalami kehilangan pada gaya prategang sebagai akibat dari perpanjangan konstan terhadap waktu. Besar pengurangan prategang tidak hanya bergantung pada durasi gaya prategang yang ditahan, melainkan juga pada rasio antara prategang awal dan kuat leleh baja prategang,  $\frac{f_{pu}}{f_{py}}$ .

Kehilangan prategang ini disebut relaksasi tegangan.

Peraturan SNI 03-2847-2002 membatasi tegangan tarik di tendon sebagai berikut :

1. Akibat pengangkuran tendon  $0,94 f_{py}$

Tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil  $0,8 f_{pu}$  dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon prategang atau perangkat angkur.

2. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang  $0,82 f_{py}$

Tetapi tidak lebih besar dari  $0,74 f_{pu}$

3. Tendon paska tarik, pada daerah antara tendon tendon...



... pada daerah angkur dan sambungan, segera setelah penyaluran gaya  $0,70 f_{pu}$ .

Nilai  $f_{py}$  dapat dihitung dari :

- Batang prategang,  $f_{py} = 0,80 f_{pu}$
- Tendon *stress relived*,  $f_{py} = 0,85 f_{pu}$
- Tendon relaksasi rendah,  $f_{py} = 0,90 f_{pu}$

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta f_{PR} = f_{pi} - f_{PR} \quad (44)$$

Keterangan:

$f_{PR}$  adalah tegangan prategang yang tersisa pada baja setelah relaksasi;

$f_{pi}$  adalah prategang awal.

Untuk *stress-relived wires*, besarnya relaksasi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{f_p}{f_{pi}} = 1 - \frac{\log t}{10} \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (45)$$

Keterangan:

$t$  adalah durasi waktu kondisi terbebani (dalam jam);

$f_{pi}$  adalah prategang awal;

$f_{py}$  adalah kuat leleh baja prategang.

Untuk *low-relaxtion strands/bars*, besarnya relaksasi adalah sebagai berikut :

$$\frac{f_p}{f_{pi}} = 1 - \frac{\log t}{45} \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \quad (46)$$

Keterangan:

$t$  adalah durasi waktu kondisi terbebani (dalam jam);

$f_{pi}$  adalah prategang awal;

$f_{py}$  adalah kuat leleh baja prategang.

## 5.8 Kelangsingan penampang

Peraturan AISC 2005 mengklasifikasikan bentuk-bentuk penampang menjadi kompak, non kompak dan langsing berdasarkan nilai rasio lebar-tebal. Untuk bentuk penampang profil

*flens* lebar, rasio untuk *flens* adalah  $\frac{B_e}{2t_f}$  dan rasio untuk *web* adalah  $\frac{h}{t_w}$ .

Hal tersebut dapat diringkas seperti pada Gambar 9, bila :

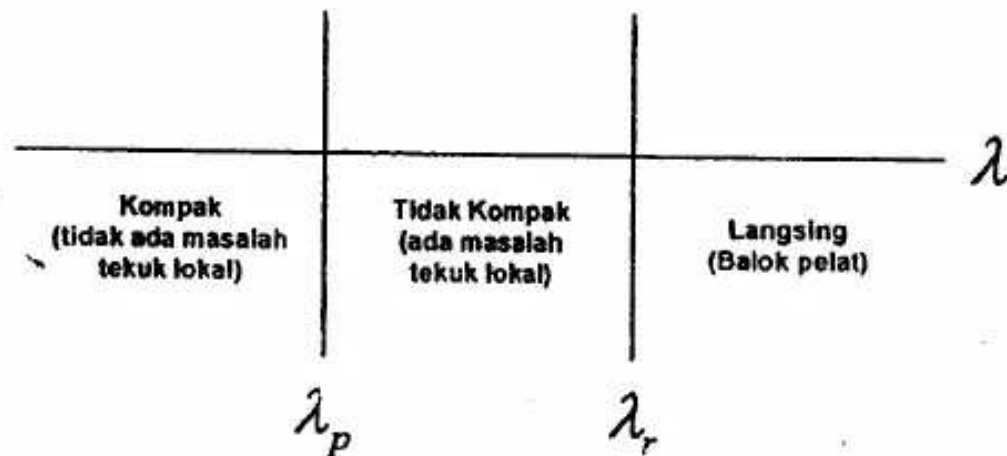
$\lambda$  = rasio lebar-tebal

$\lambda_c$  = batas atas untuk kategori kompak

$\lambda_p$  = batas atas untuk kategori kompak  
 $\lambda_r$  = batas atas untuk kategori non-kompak

Berdasarkan kelangsingan tiap elemen tersebut, klasifikasi penampang adalah sebagai berikut :

- $\lambda \leq \lambda_p \rightarrow$  kompak  
 $\lambda_p < \lambda < \lambda_r \rightarrow$  non-kompak  
 $\lambda \geq \lambda_r \rightarrow$  langsing



Gambar 9 - Pengelompokan penampang

Kategori tersebut didasarkan pada rasio lebar-tebal dari penampang yang terburuk. Sebagai contoh jika webnya kompak sedangkan flensnya non-kompak, maka penampang tersebut diklasifikasikan sebagai penampang non-kompak. Perhitungan  $\lambda_p$  dan  $\lambda_r$  untuk profil flens lebar dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 - Batas-batas  $\lambda_p$  dan  $\lambda_r$  profil flens lebar

Elemen	$\lambda$	$\lambda_p$	$\lambda_r$
Flens	$\frac{B_s}{2t_f}$	$0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Web	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

## 5.9 Perletakan karet

Perletakan karet merupakan salah satu elemen penting pada struktur jembatan. Desain perletakan menggunakan karet ini perlu dilakukan agar perletakan dapat mendistribusi beban yang terjadi pada jembatan. Dalam perhitungan ini digunakan metode perhitungan desain *neoprene*, dengan rumus sebagai berikut;

17 dari 38

beban yang terjadi pada jembatan. Dalam perhitungan ini digunakan metode perhitungan desain *neoprene*, dengan rumus sebagai berikut;

$$\text{Lebar Perletakan} = \frac{(\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup, lb})}{800 \times (\text{Panjang Perletakan, in})} \quad (47)$$

Keterangan:

Panjang perletakan merupakan asumsi desain



Panjang perletakan merupakan asumsi desain.

Atau :

$$\text{Lebar Perletakan} = 5 \times \text{Tebal Perletakan} \quad (48)$$

Keterangan:

Tebal perletakan merupakan asumsi desain.

Atau dapat digunakan lebar perletakan berdasarkan perkiraan apabila hasil perhitungan diatas dirasa kurang. Karena hasil perhitungan diatas merupakan batas minimum ukuran lebar perletakan.

Untuk menghitung kapasitas beban yang dapat diterima perletakan karet, digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kekerasan Perletakan} = \frac{(\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup, lb})}{(\text{Panjang Perletakan}) \times (\text{Lebar Perletakan, in})} \quad (49)$$

Keterangan:

Satuan kekerasan perletakan dalam psi.

Faktor bentuk (*shape factor*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Faktor Bentuk} = \frac{(\text{Panjang Perletakan} \times \text{Lebar Perletakan, in})}{2(\text{Panjang Perletakan} + \text{Lebar Perletakan, in})(\text{Tebal Perletakan, in})} \quad (50)$$

Perhitungan *Slippage* dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{(\text{Beban Mati, lb})(\text{Tebal Perletakan, in})}{5(\text{Panjang Perletakan} \times \text{Lebar Perletakan, in})} < (0,0006)(\text{Temperatur, } ^\circ\text{F})(\text{Panjang Girder}) \quad (51)$$

Keterangan:

Asumsi temperatur rata-rata di lapangan 100 °F.

Untuk kebutuhan pelat pada perletakan karet disesuaikan dengan dimensi perletakan karet yang ada.

## 5.10 Sambungan Baut

Baut adalah salah satu alat penyambung profil baja, selain paku keling dan las. Baut yang lazim digunakan sebagai alat penyambung profil baja adalah baut hitam dan baut berkekuatan tinggi. Dalam perencanaan sambungan baut yang mengacu pada SNI 03-1729-2002, dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

$d$  adalah diameter baut.

b. Kuat geser rencana dari satu baut dihitung sebagai berikut :

$$\phi \times 0,45 \times F_u \times A_b \times m$$

**Keterangan:**

- $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan (0,75);  
 $F_u$  adalah tegangan tarik putus baut;  
 $A_s$  adalah luas penampang baut;  
 $m$  adalah jumlah bidang geser.

**c. Kuat tumpu**

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah antara baut atau pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut :

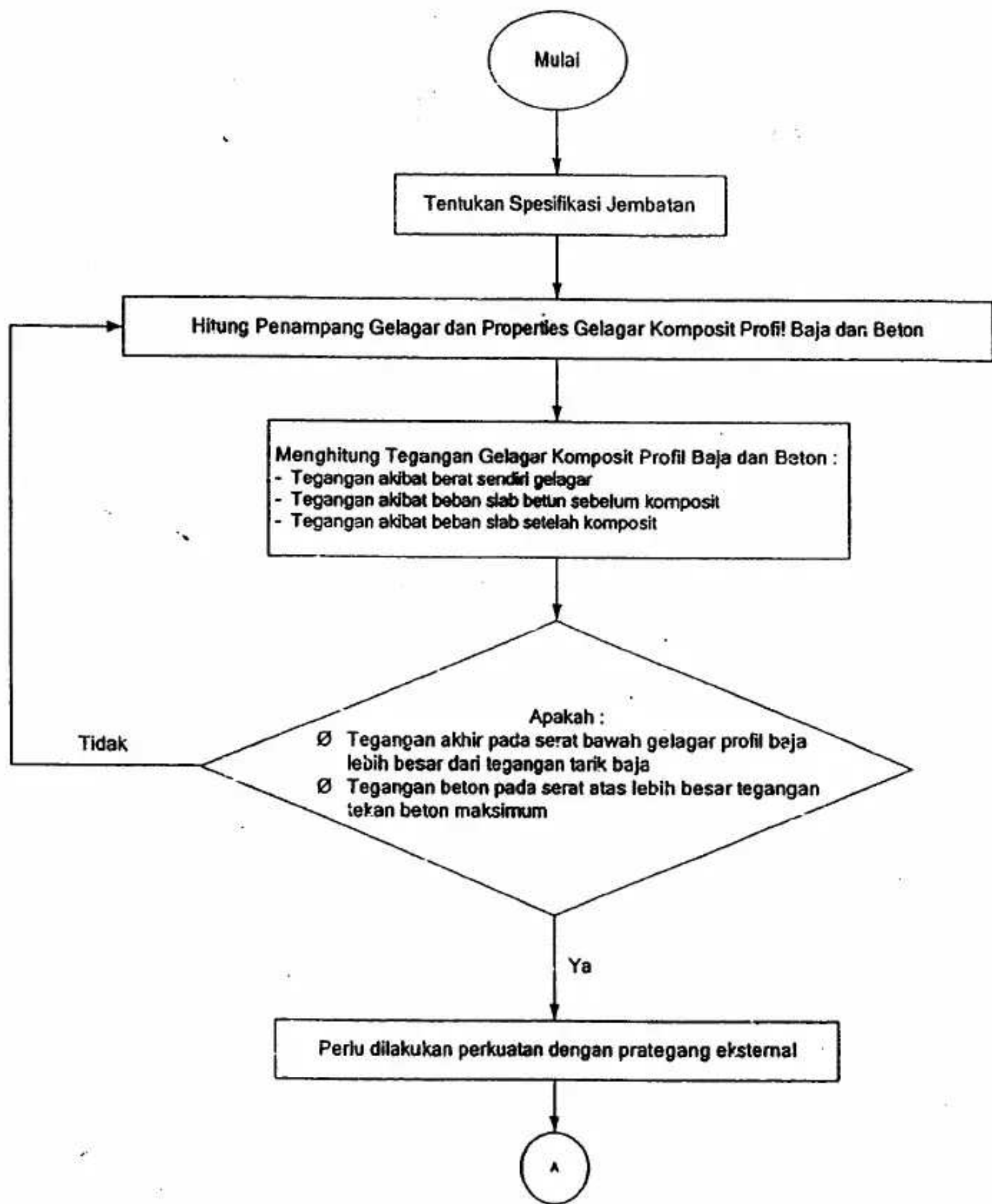
$$\phi \times t_{\text{pelat}} \times d_b \times 2,4 \times F_u$$

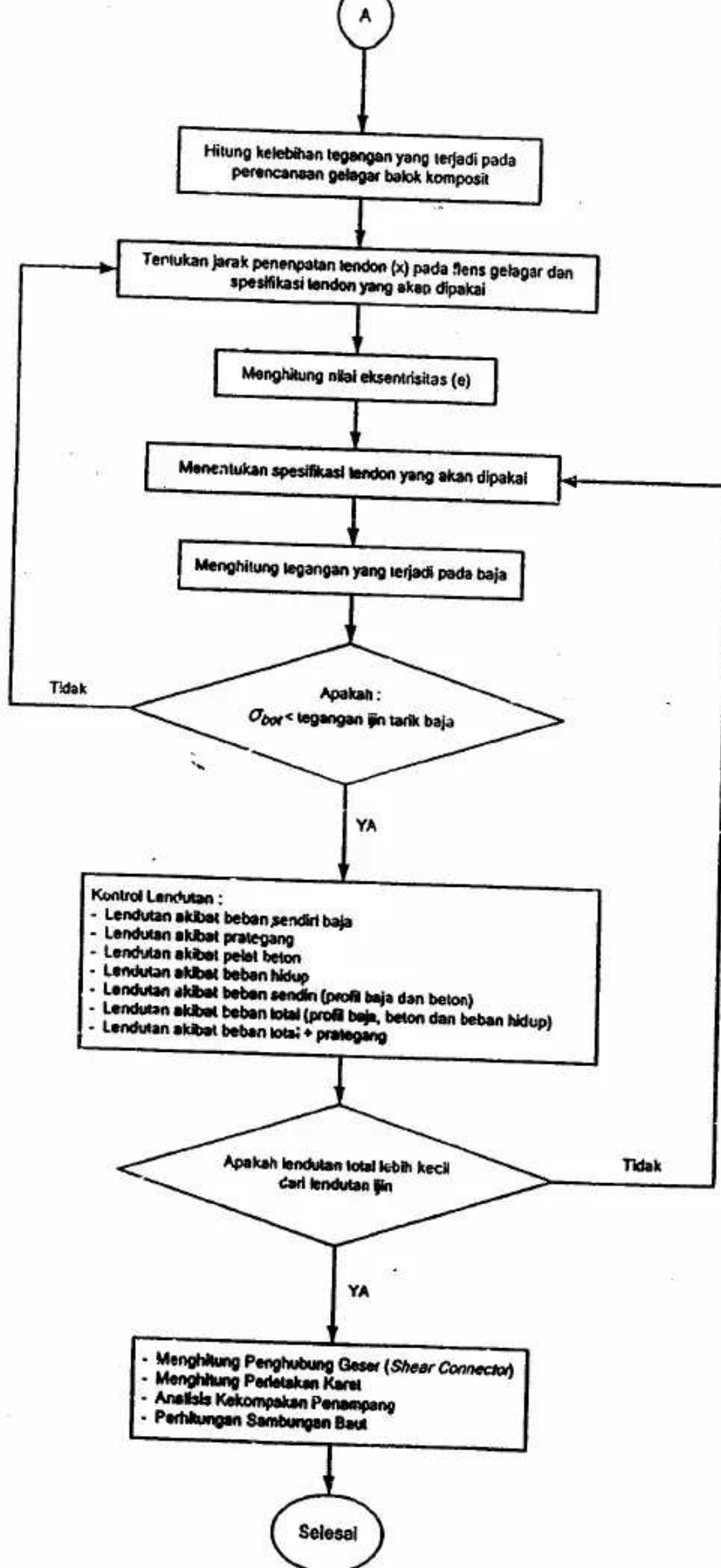
(54)

**Keterangan:**

- $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan (0,75);  
 $t_{\text{pelat}}$  adalah tebal pelat;  
 $d_b$  adalah diameter baut nominal;  
 $F_u$  adalah tegangan tarik putus baut.







Gambar A.1 - Bagan alir perencanaan



### A. Data Jembatan

Bangunan atas :

- Gelagar HWF = 1.350 x 250/450
- Jumlah gelagar = 5 buah
- Mutu baja = 490 MPa

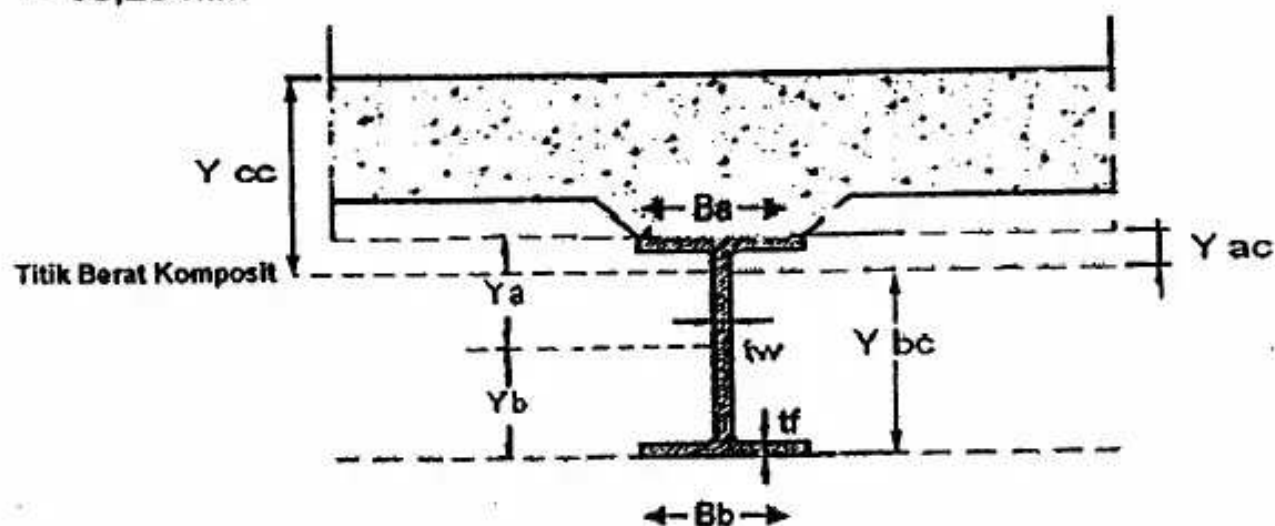
$f_y$  = 3.500 kg/cm<sup>2</sup>  
 Kondisi SLS = 2.100 kg/cm<sup>2</sup>  
 (Serviceability Limit States)

- Lebar efektif lantai (S) = 2 m
- Tebal lantai beton ( $t_p$ ) = 20 cm
- ( $t_v$ ) = 5 cm
- Mutu Beton ( $f_c$ ) = 29 MPa
- Tebal lapisan aspal ( $t_{aspl}$ ) = 4 cm
- Lebar Jembatan (B) = 9 m
- Panjang Bentang (L) = 30 m

### B. Analisis Penampang

Section Properties IWF 1350.450.19.22

H	= 1.350 mm	A	= 402,14 cm <sup>2</sup>
B <sub>b</sub>	= 450 mm	w	= 315,68 kg/m
B <sub>s</sub>	= 250 mm	i <sub>x</sub>	= 50,13 cm
t <sub>w</sub>	= 19 mm	i <sub>y</sub>	= 6,99 cm
t <sub>f</sub>	= 22 mm	I <sub>x</sub>	= 1.010.513,24 cm <sup>4</sup>
Y <sub>a</sub>	= 74,77 mm	I <sub>y</sub>	= 19.645,48 cm <sup>4</sup>
Y <sub>b</sub>	= 60,23 mm		



#### 1. Gelagar Komposit

- $f'_c$  = 24,1 N/mm<sup>2</sup>
- $E_c$  = 23.059 N/mm<sup>2</sup>
- $E_s$  = 200.000 N/mm<sup>2</sup>
- $n = \frac{E_s}{E_c} = 8,7$

- lebar beton *ekivalen* pelat

$$L_{bep} = \frac{S}{n} = 23,06 \text{ cm}$$

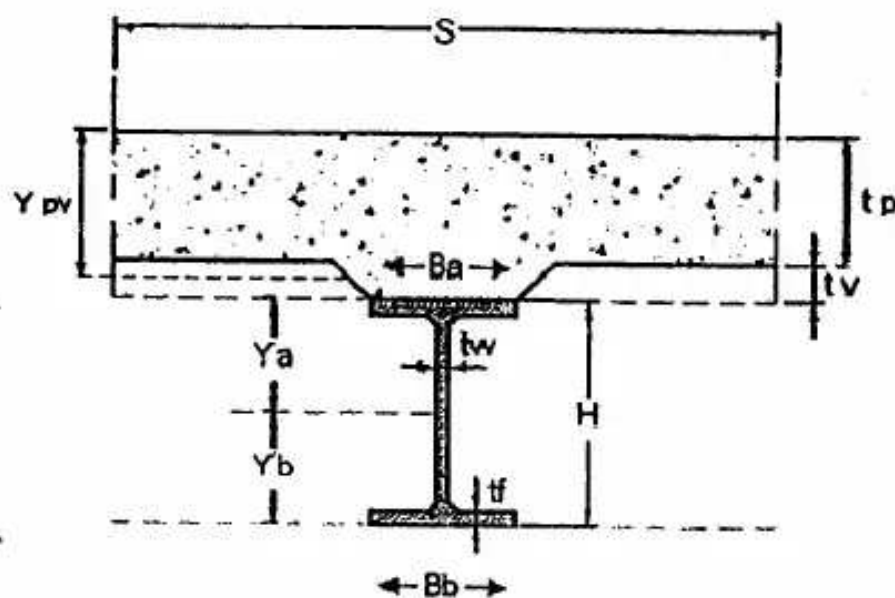
- lebar beton *ekivalen* route

$$L_{bev} = \frac{[B + (2 \cdot t_v)]}{n} = 4,04 \text{ cm}$$

- Luas komposit

$$A_c = A + (t_p \cdot L_{bep}) + (t_v \cdot L_{bev}) = 883,5 \text{ cm}^2$$

- Titik berat pelat beton diukur dari serat atas



$$Y_{pv} = \frac{\left( \frac{S t_p^2}{2} \right) + t_v^2 \cdot \left( \frac{t_v}{3} + t_p \right) + t_v \cdot B_a \cdot \left( \frac{t_v}{2} + t_p \right)}{t_p \cdot S + t_v^2 + t_v \cdot B_a} = 13 \text{ cm}$$

- Titik berat komposit diukur dari serat atas beton

$$Y_{cc} = \frac{\{A \times (t_p + t_v + Y_a) + [(t_p \times L_{bep}) + (t_v \times L_{bev})] \times Y_{pv}\}}{A_c} = 52,5 \text{ cm}$$

- Titik berat komposit diukur dari serat bawah beton

$$Y_{bc} = Y_a + Y_b + t_p + t_v - Y_{cc} = 107,5 \text{ cm}$$

- Momen Inersia komposit

$$I_{xc} = \left[ I_x + A(Y_a - Y_{cc})^2 \right] + \left( \frac{1}{12} L_{bep} t_p^3 \right) + \left( \frac{1}{12} L_{bev} t_v^3 \right) + \left[ L_{bep} t_p \cdot \left( Y_{cc} - \left( \frac{t_p}{2} \right) \right)^2 \right] + \left[ L_{bev} t_v \cdot \left( Y_{cc} - \left( t_p + \frac{t_v}{3} \right) \right)^2 \right] = 1.975.832 \text{ cm}^4$$



- Modulus statis komposit terhadap serat atas

$$S_{xa} = \frac{I_{xc}}{Y_{oc}} = 37.632 \text{ cm}^3$$

- Modulus statis komposit terhadap serat bawah

$$S_{xb} = \frac{I_{xc}}{Y_{bc}} = 18.381 \text{ cm}^3$$

## 2. Perhitungan Tegangan

### ➤ Perhitungan tegangan akibat berat sendiri gelagar

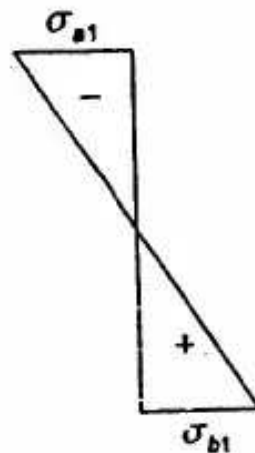
$$- M_{bs} = \frac{1}{8} \cdot q_{baja} \cdot L^2 \rightarrow q_{baja} = w_{baja}$$

$$= 35.513,99 \text{ Kg.m}$$

$$- \sigma_{a1} = \frac{-M_{bs} \cdot Y_a}{I_x} = -263 \text{ kg/cm}^2$$

$$- \sigma_{b1} = \frac{M_{bs} \cdot Y_b}{I_x} = 212 \text{ kg/cm}^2$$

- Gambar Tegangan akibat berat sendiri gelagar :



### ➤ Perhitungan tegangan akibat gelagar memikul beban pelat beton (sebelum komposit)

$$- \text{BJ beton} = 2.5 \text{ t/m}^3$$

$$- q_{beton} = (L_{bep} \cdot n \cdot t_p) + (L_{bev} \cdot n \cdot t_v) \cdot (10^{-4}) \cdot (\text{bj beton})$$

$$= 1,04375 \text{ t/m}$$

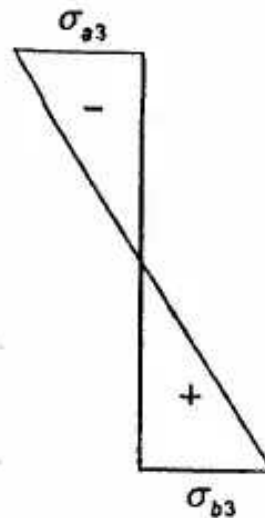
$$- M_{slab} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 = 117,42 \text{ tm} = 117.422 \text{ kg.m}$$

$$- \sigma_{a3} = \frac{-M_{slab} \cdot Y_a}{I_x} - \sigma_{a2}$$

$$= -1.132 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}$$

$$- \sigma_{b3} = \frac{-M_{slab} \cdot Y_b}{I_x} + \sigma_{b2}$$

$$= 912 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tarik)}$$



➤ Perhitungan tegangan akibat beban hidup dan berat aspal setelah komposit  
Beban hidup berdasarkan RSNI T – 02 – 2005

- $q_{UDL} = 900 \text{ kg/m}^2$      $q = q_{UDL} \times S = 900 \times 2 \text{ m} = 1.800 \text{ kg/m}$
- $P_{KEL} = 4900 \text{ kg/m}$      $P = P_{KEL} \times S = 4.900 \times 2 \text{ m} = 9.800 \text{ kg}$
- $K = 1.4$

$$\begin{aligned}
 - M_{bh} &= \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P \cdot L \cdot K \\
 &= \frac{1}{8} \times 1.800 \times (30)^2 + \frac{1}{4} \times 9.800 \times 30 \times 1,4 = 305.400 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$- \text{BJ aspal} = 2,2 \text{ t/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 - q_{aspal} &= \text{tebal aspal} \times S \times \text{BJ aspal} \\
 &= 0,04 \times 2 \times 2,2 \\
 &= 0,176 \text{ t/m} = 176 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$- M_{aspal} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot L^2 = \frac{1}{8} \times 176 \times (30)^2 = 19.800 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned}
 - M_{total} &= M_{bh} + M_{aspal} \\
 &= 305.400 + 19.800 = 325.200 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

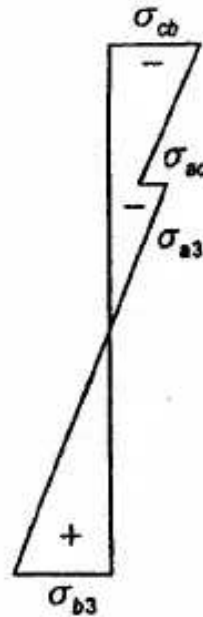
$$\begin{aligned}
 - \sigma_{cb} &= \frac{M_{tot} \cdot Y_{cc}}{I_{xc} \cdot n} \\
 &= - 141,45 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{ac} &= \frac{M_{tot} \cdot Y_{ac}}{I_{xc}} \\
 &= - 452,62 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{a3} &= \sigma_{ac} + \sigma_{a2} \\
 &= - 1.584,62 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{b3} &= \frac{M_{tot} \cdot Y_{bc}}{I_{xc}} + \sigma_{b2} \\
 &= 2.681 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tarik)}
 \end{aligned}$$



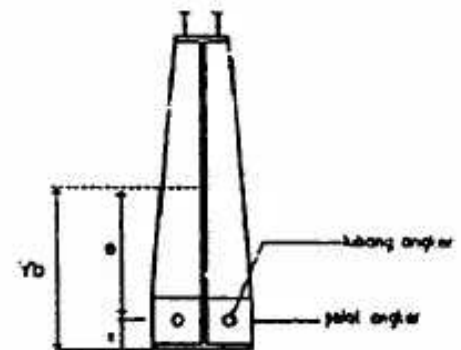
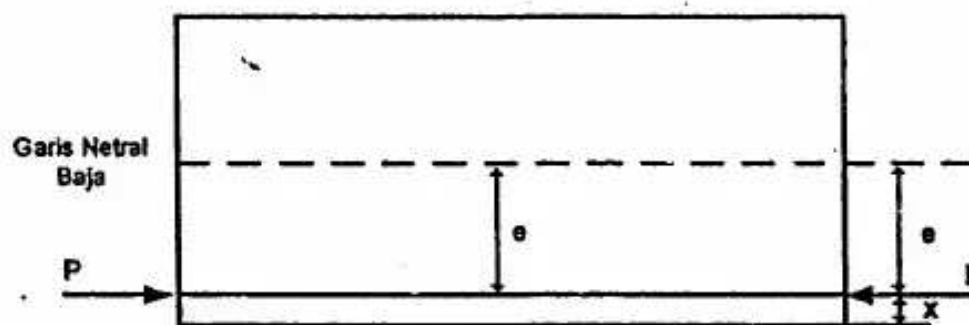


Tegangan tarik yang terjadi akibat beban hidup jembatan ( $2.681 \text{ kg/cm}^2$ ), lebih besar dari tegangan tarik izin ( $2.100 \text{ kg/cm}^2$ ), sehingga perlu diperkuat.

Kesimpulan : Gelagar baja komposit perlu perkuatan

### 3. Dengan perkuatan prategang eksternal

#### ➤ Tendon pada *flens* bawah gelagar



- Kelebihan tegangan yang terjadi =  $\sigma_{b3} - \sigma_a$   
=  $581 \text{ kg/cm}^2$
- Ditetapkan  $x$  = 20 cm
- $e$  =  $Y_b - x = 40,23 \text{ cm}$

#### ➤ Akibat perkuatan (spesifikasi tendon)

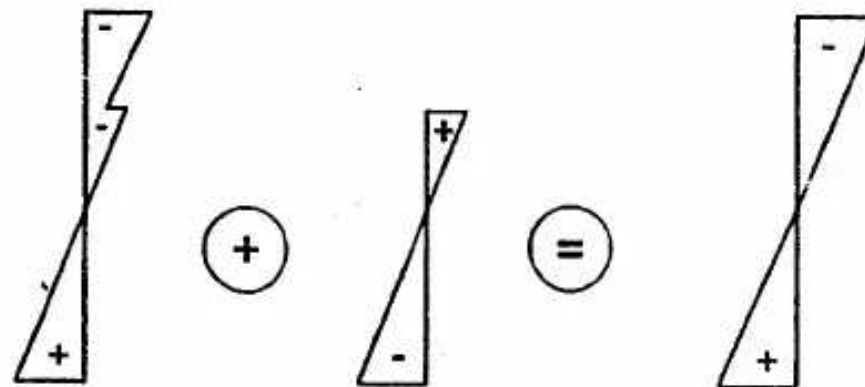
- $d$  strand = 0.5"  
= 1,27 cm
- $n$  strand = 12 buah (6x2)
- $P$  putus = 18,76 ton
- $P_e$  =  $0,85 \times 0,7 \times P \text{ putus} \times n \text{ strand}$   
=  $0,85 \times 0,7 \times 18,76 \times 12 = 133,946 \text{ ton}$   
(asumsi kehilangan prategang total adalah sebesar 15%, apabila akan melakukan analisa lebih lengkap lihat 5.7)

#### ➤ Tegangan yang terjadi pada baja

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{top} Ps &= -\frac{P}{A} + P \cdot e \cdot \frac{Y_t}{I_x} \\
 &= 65,63 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tarik)}
 \end{aligned}$$

26 dari 38

$$\begin{aligned}
 - \sigma_{bot} Ps &= -\frac{P}{A} + P \cdot e \cdot \frac{Y_b}{I_x} \\
 &= -654,265 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \sigma_{baja} &< \sigma_{izin} \\
 2.026,735 \text{ kg/cm}^2 &< 2.100 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

#### 4. Kontrol lendutan

- Lendutan akibat beban sendiri baja

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{5 \cdot q_{baja} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 3,64 \times 3000^4}{384 \times 2.000.000 \times 1.010.513} \\
 &= 1,647 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan akibat prestress

$$\begin{aligned}
 \delta &= -\frac{P \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} = -\frac{133.946 \times 40,23 \times 3.000^2}{8 \times 2.000.000 \times 1.010.513} \\
 &= -3,00 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan akibat beban pelat beton

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{5 \cdot q_{beton} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 10,69 \times 3.000^4}{384 \times 2.000.000 \times 1.010.513} \\
 &= 5,579 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Lendutan akibat beban hidup

$$\begin{aligned}
 \delta &= \frac{5 \cdot q_{bh} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_c} + \left[ \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_c} \right] \\
 &= \frac{5 \times 18 \times 3.000^4}{384 \times 2.000.000 \times 1.942.418} + \left[ \frac{98 \times 3.000^3}{48 \times 2.000.000 \times 1.942.418} \right] \\
 &= 4,901 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

##### a. Lendutan akibat beban sendiri (profil baja dan beton)

$$\delta = 1,814 + 5,579 = 7,393 \text{ cm}$$

##### b. Lendutan akibat beban total (profil baja, beton, dan beban hidup)



$$\delta = 1,814 + 5,579 + 4,901 = 12,294 \text{ cm}$$

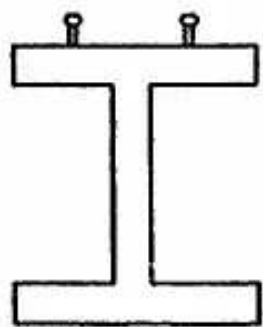
27 dari 38

c. Lendutan akibat beban total + prestress

$$\delta = 1,814 + 5,579 + 4,901 - 3,00 = 9,294 \text{ cm}$$

- Lendutan total adalah 9,294 cm
- Lendutan izin  $\frac{1}{300} \cdot L = \frac{1}{300} \times 3.000 = 10 \text{ cm}$
- Lendutan total = 9,294 cm < Lendutan izin = 10 cm.....(OK)

## Perencanaan Shear Connector



$$\begin{aligned}
 A_s &= 402,14 \text{ cm}^2 \\
 A_c &= 883,492 \text{ cm}^2 \\
 V_h &= 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c \\
 &= 102.485,0214 \text{ kg} \\
 V_h &= A_s \cdot f_y \\
 &= 844.494 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

(diambil nilai terkecil dari  $V_h = 102.485,0214 \text{ kg}$ )

Digunakan *connector* tipe paku (*stud connector*)

Diameter,  $d$  stud : 1,9 cm

Panjang stud  $P$  : 10 cm

Luas stud,  $A$  stud : 2,83385 cm<sup>2</sup>

$f_u$  : 4.900 kg/cm<sup>2</sup>

$f$  : 0,85

$f_u$  SLS : 2.940 kg/cm<sup>2</sup>

$E_c$  : 259.597,03 kg/cm<sup>2</sup>

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u$$

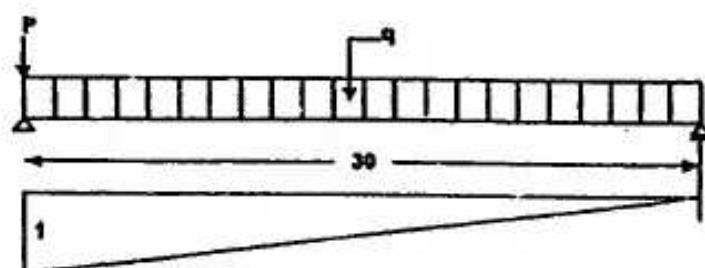
$$\begin{aligned}
 Q_{n1} &= 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\
 &= 12.294,07112 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{n2} &= A_{sc} \cdot f_u \\
 &= 13.885,87 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$Q_n = 12.294,07112 \text{ kg}$   
(diambil nilai terkecil dari  $Q_{n1}$  dan  $Q_{n2}$ )

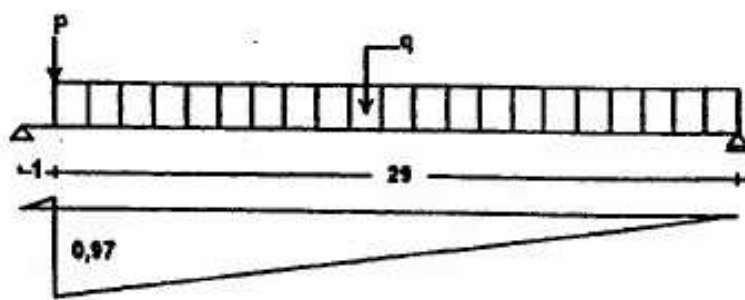
$$n = \frac{V_h}{f \cdot Q_n} \quad 9,81 \quad \sim \quad 10$$

untuk 2 buah paku :  $Q_n \text{ total} = 2 \times Q_n : 24.588,1$



Potongan I  
 $V = 9.8034,63$





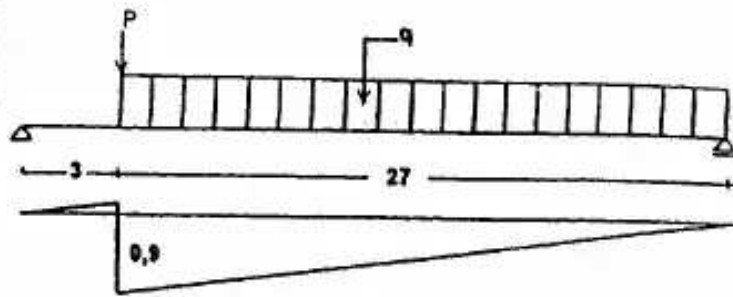
Potongan II (1/30 bentang)

$$V_{\max} = 92.722,31$$

$$V_{\min} = -814,219$$

$$V = 93.536,53$$

29 dari 38

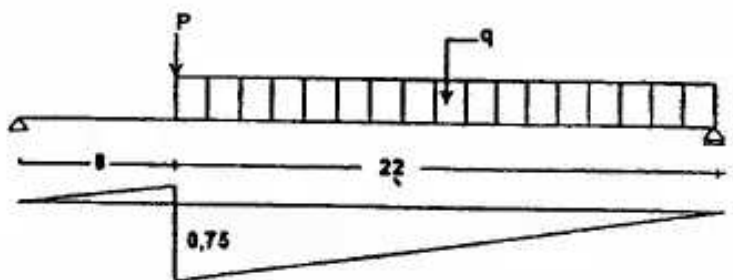


Potongan III (1/10 bentang)

$$V_{\max} = 81.630,6903$$

$$V_{\min} = -3.202,9863$$

$$V = 84.833,6766$$

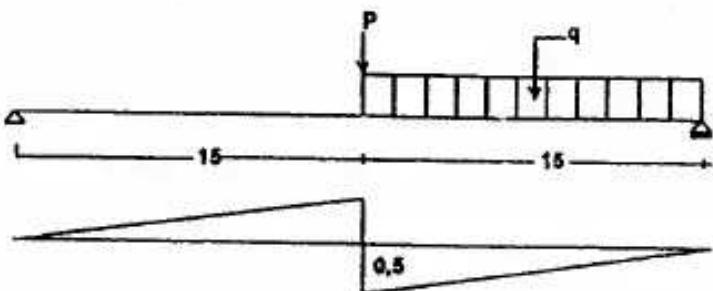


Potongan IV (1/4 bentang)

$$V_{\max} = 59.774,9794$$

$$V_{\min} = -10.757,6644$$

$$V = 70.532,6438$$

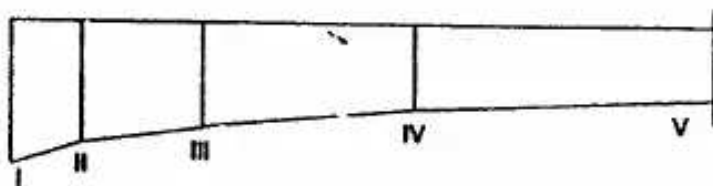


Potongan V (1/2 bentang)

$$V_{\max} = 30.682,6575$$

$$V_{\min} = -30.682,6575$$

$$V = 61.365,315$$



Tegangan – tegangan geser :

$$\sigma = \frac{V \cdot S}{I \cdot b}$$

Keterangan :

$$S = 3.6770 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 1.010.513,24 \text{ cm}^4$$

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

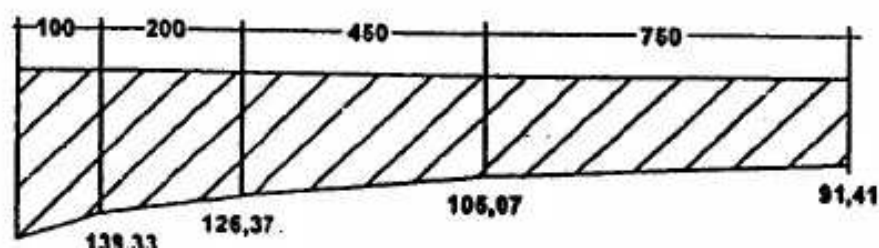
$$\sigma_1 = 146,03$$

$$\sigma_2 = 139,33$$

$$\sigma_3 = 126,37$$

$$\sigma_4 = 105,07$$

$$\sigma_5 = 91,41$$



Volume Tegangan	Jumlah	Jarak
a = 356.705,84	12	9
b = 664.251,28	22	9
c = 1.301.815,65	40	11
d = 1.841.956,76	25	30

30 dari 38

Penempatan *stud connector*

Lokasi	Jarak antar <i>stud</i> (cm)
0 s.d 1/30 bentang	9
1/30 s.d 1/10 bentang	9
1/10 s.d 1/4 bentang	11
1/4 s.d 1/2 bentang	30

lokasi (m)	Jarak antar <i>stud</i> (cm)	Jumlah <i>stud bolt</i> (buah)
0 s.d 1	9	24
1 s.d 3	9	44
3 s.d 7.5	11	80
7.5 s.d 15	30	36
		184



## Perhitungan Perletakan Karet

Panjang girder	= 30.000 mm	= 1.181,10 in
Panjang Perletakan	= 300 mm	= 11,81 in
Tebal Perletakan	= 60 mm	= 2,36 in
Beban Mati	= 19,2 Ton	= 38.400 lb
Beban Hidup	= 31,4 Ton	= 62.800 lb
Temperatur	= 40°C	= 104°F

$$\begin{aligned} \text{Lebar Perletakan} &= \frac{\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup}}{800 \times \text{Panjang Perletakan}} = 0,000211 \text{ in} \\ &= 0,005355 \text{ mm, atau} \\ &= 5 \times \text{Tebal Perletakan} = 11,81102 \text{ in} \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

asumsi minimum

$$\begin{aligned} \text{Kekerasan Perletakan} &= \frac{\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup}}{\text{Panjang Perletakan} \times \text{Lebar}} = 28,56089 \text{ psi} \\ &= 0,02008 \text{ kg/mm}^2 \\ &= 20,080,29 \text{ kg/m}^2 \\ &= 20,08029 \text{ Ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Shape Factor} = \frac{\text{Panjang Perletakan} + \text{Lebar}}{2 \times (\text{Panjang Perletakan} + \text{Lebar})(\text{Tebal Perletakan})} = 1,25$$

## Cek Slippage

$$\begin{aligned} \frac{(\text{Beban Mati})(\text{Tebal Perletakan})}{5 \times (\text{Panjang Perletakan} \times \text{Lebar})} &> (0,00006)(\text{Temperatur, } ^\circ\text{F})(\text{Panjang Girder}) \\ 130,048 \text{ in} &> 7,37 \text{ in} \end{aligned}$$

### Analisis Kekompakan Penampang

#### Data Profil :

WF 1350x 450x250x22x19

$H$	$= 1.350 \text{ mm}$	$= 135 \text{ cm}$
$B_b$	$= 450 \text{ mm}$	$= 45 \text{ cm}$
$B_s$	$= 250 \text{ mm}$	$= 25 \text{ cm}$
$B$	$= 350 \text{ mm}$	$= 35 \text{ cm}$
$t_w$	$= 19 \text{ mm}$	$= 1,9 \text{ cm}$
$t_f$	$= 22 \text{ mm}$	$= 2,2 \text{ cm}$
$I_x$	$= 1.010.513,24 \text{ cm}^4$	
$I_y$	$= 19.645,48 \text{ cm}^4$	

#### Data Material :

$E$	$= 200.000 \text{ MPa}$
$F_y$	$= 343,3 \text{ MPa}$
$A$	$= 446,14 \text{ cm}^2$
$G$	$= \frac{E}{2,6}$
	$= 76,92 \text{ MPa}$

#### Besaran Penampang :

$$h_o = H - t_f$$

$$= 132,80 \text{ cm}$$

$$S_x = \frac{I_x}{0,5 \times H}$$

$$= 14,97 \text{ cm}^3$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$= 66,40 \text{ mm}$$



$$h = H - 2t_f - 2r$$

$$= 1.286 \text{ mm}$$

$$r_{bx} = \sqrt{\frac{I_y \cdot h_o}{2s_x}}$$

$$= 93,30 \text{ mm}$$

33 dari 38

Pengecekan penampang kompak atau tidak

$$\frac{B_s}{2t_f} = 5,68 \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9,17$$

$$\frac{h}{t_w} = 67,68 \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90,75$$

Kesimpulan :  $\lambda \leq \lambda_p$  ..... Penampang Kompak

### Perhitungan Sambungan Baut

#### Data Material :

$$\begin{aligned}
 d_b &= 24 \text{ mm} = 2,4 \text{ cm} \\
 F_{ub} &= 816 \text{ MPa} = 8.160 \text{ kg/cm}^2 & \text{SLS (Serviceability Limit States)} &= 4.896 \text{ kg/cm}^2 \\
 F_{yb} &= 653 \text{ MPa} = 6.530 \text{ kg/cm}^2 & \text{SLS (Serviceability Limit States)} &= 3.918 \text{ kg/cm}^2 \\
 q_{dl} &= 1.603,042 \text{ kg/m} \\
 A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = 4,52 \text{ cm}^2 \\
 m &= 2 \text{ (banyaknya bidang geser)} \\
 l_{pelat} &= 120 = 12 \text{ cm} \\
 P &= \frac{q_{dl} \cdot l}{2} = 8.015,21 \text{ kg} \\
 e &= 2,5 \times d_b + 2,5 \times d_b = 12 \text{ cm} \\
 M &= P \times e = 96.182,52 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

No.	$X_i$ (cm)	$Y_i$ (cm)	$X_i^2$ (cm <sup>2</sup> )	$Y_i^2$ (cm <sup>2</sup> )
1	6	42	36	1.764
2	6	42	36	1.764
3	6	30	36	900
4	6	30	36	900
5	6	18	36	324
6	6	18	36	324
7	6	6	36	36
8	6	6	36	36
9	6	6	36	36
10	6	6	36	36



10	6	6	36	36
11	6	18	36	324
12	6	18	36	324
13	6	30	36	900
14	6	30	36	900
15	6	42	36	1.764
16	6	42	36	1.764
		Jumlah	576	12.096

$$n = 16$$

$$K_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot P}{n} = 250,48 \text{ kg}$$

$$KM_x = \frac{M \cdot Y_i}{\Sigma(X_i^2 + Y_i^2)} = 318,79 \text{ kg}$$

$$KM_y = \frac{M \cdot X_i}{\Sigma(X_i^2 + Y_i^2)} = 45,54 \text{ kg}$$

35 dari 38

$$K_r = (KM_x^2 + (KM_y + KP)^2)^{0,5}$$

$$= 435,03 \text{ kg}$$

Menentukan kekuatan baut :

$$N_{geser} = \phi \times 0,45 \times F_{u_b} \times A_b \times m = 14.942,98 \text{ kg}$$

$$N_{tumpu} = \phi \times t_{pelat} \times d_b \times 2,4 \times F_{u_b} = 253.808,6 \text{ kg}$$

$$N_{baut} = 14.942,98 \text{ kg}$$

$$K_r < N_{baut} \dots \dots \dots \text{OK}$$