

# EFEK REAKSI TEKAN GELAGAR BAJA KOMPOSIT DENGAN MENGUNAKAN METODE PRAKOMPRESI (*COMPRESSIVE REACTION EFFECT OF COMPOSITE GIRDER WITH PRECOMPRESSION SYSTEM*)

N. Retno Setiati<sup>1)</sup>, Risma Putra<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Puslitbang Jalan dan Jembatan

<sup>1), 2)</sup> Jalan A.H. Nasution No. 264 Bandung 40294

<sup>1), 2)</sup> e-mail: retno.setiati@pusjatan.pu.go.id; risma.putra@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 07 Juni 2013; direvisi: 02 Juli 2013; disetujui: 01 Agustus 2013

## **ABSTRAK**

Metode prakompresi merupakan salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas dan daya layan jembatan komposit, yaitu dengan memberikan tegangan inisial pada pelat beton lantai jembatan atau gelagar baja. Jembatan jenis prakompresi merupakan hasil inovasi teknologi yang sudah pernah diterapkan di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya lawan lendut yang dihasilkan pada gelagar baja komposit akibat pemberian bangkitan reaksi tekan pada komponen struktur gelagar tersebut. Metode prakompresi diberikan pada gelagar baja sebelum dilakukan pengecoran lantai jembatan. Analisis didukung dengan membuat benda uji berupa balok baja profil IWF 400.300.9.16 bentang 16 m dengan berat 202118,2 N. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa setelah gelagar diberi gaya prakompresi, lendutan yang terjadi akibat beban hidup lebih kecil dari lendutan sebelum prakompresi yaitu  $0,0196 \text{ m} < 0,058 \text{ m}$ . Jembatan dengan bentang 16 meter standar dapat menjadi 20 meter prakompresi, sehingga terjadi kenaikan kapasitas struktur jembatan sebesar 25%.

**Kata kunci:** prakompresi, komposit, lendutan, tegangan, daya layan

## **ABSTRACT**

Precompression method is used to increase the capacity and serviceability of composite bridges by providing the precompression initials on the concrete slab or steel girder bridge. Precompression bridge is the result of technology innovation, which until now has been applied in Indonesia. This study aims to determine the magnitude of deflection that occurs in the steel girder given initial stress. Precompression method is given on steel girder before casting the concrete slab of bridge. Analysis is supported by creating a steel beam specimen IWF 400.300.9.16 profile spans 16 m with a weight of 202118,2 N. The result showed that after the girder has been given precompression force, the deflection caused by the live load is smaller than before precompression for  $0.0196 \text{ m} < 0.058 \text{ m}$ . By precompression, bridge with spans of 16 meters can be 20 meters, so that there is an increase in capacity of 25 % of the bridge structure.

**Keywords:** precompression, composite, deflection, stress, serviceability

## PENDAHULUAN

Penggunaan bangunan atas gelagar baja komposit masih menjadi pilihan di antara beberapa tipe bangunan atas. Dengan adanya penggunaan komponen material baja, maka kebutuhan penggunaan material baja pada jembatan dengan bangunan atas tipe gelagar baja komposit dirasa masih cukup besar. Selain itu, tingkat kekakuan jembatan gelagar baja komposit standar masih dirasa kurang. Hal ini dapat menyebabkan jembatan dengan gelagar baja komposit rentan terhadap fatik. Metode prakompresi dengan bangkitan reaksi tekan merupakan salah satu inovasi dalam desain gelagar baja komposit. Metode ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu mengurangi tegangan pada serat bawah gelagar baja akibat beban mati, meningkatkan kapasitas gelagar baja komposit, dan mereduksi kebutuhan penggunaan dimensi penampang baja. Penggunaan metode tersebut sudah pernah dilakukan di Indonesia sekitar tahun 80 an oleh Rooseno Soerjohadikusumo (Paten, *Composite bridge with precompression system*, no paten US 4343123 A).

Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan sejak tahun 1978 telah turut membantu proses pengembangan dan pengujian terhadap model gelagar komposit prakompresi di laboratorium. Jembatan Condet merupakan salah satu jembatan komposit prakompresi dengan bentang terpanjang yang pernah dibuat, yaitu 48 meter. Tipe jembatan komposit prakompresi lainnya adalah jembatan Logawa (Purwokwerto) yang mempunyai bentang 32 meter (Puslitbang Jalan dan Jembatan 1995). Penelitian lain yang identik dengan gelagar baja komposit juga pernah dilakukan pada tahun 2007 yaitu sistem perkuatan gelagar baja komposit dengan *flens* prategang. Berdasarkan hasil penelitian tersebut sistem *flens* prategang pada baja dapat mengurangi kebutuhan baja sebesar 13% dari kebutuhan baja tanpa sistem prategang (Puslitbang Jalan dan Jembatan 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar lawan lendut yang dihasilkan pada gelagar baja komposit akibat

pemberian bangkitan reaksi tekan pada komponen struktur gelagar tersebut. Pembuatan model skala laboratorium dibuat dengan menggunakan profil baja IWF 400.300.9.16. Hasil evaluasi akan dibandingkan dengan penelitian yang sudah dilakukan dengan menggunakan validasi program *Structural Analysis Programme* (SAP 2000).

Struktur jembatan dalam penelitian ini dibatasi hanya untuk struktur gelagar baja komposit dengan bentang standar di atas dua perletakan. Data yang diperlukan dalam perencanaan antara lain:

1. Dimensi jembatan: panjang dan lebar jembatan
2. Jarak antara gelagar
3. Jenis dan mutu material: profil baja, pelat beton
4. Kelas jembatan
5. Jenis dan dimensi gelagar profil baja
6. Tebal lantai beton

Hal lain sebagai latar belakang dilakukannya penelitian ini adalah perlu adanya inovasi dalam perencanaan gelagar baja komposit yang dapat mengurangi volume penggunaan baja namun tetap dapat memikul beban rencana sesuai peraturan yang berlaku, dan meningkatkan kekakuan struktur bangunan atas jembatan. Inovasi tersebut diantaranya dengan menggunakan gelagar baja komposit dengan metode prakompresi bangkitan reaksi tekan.

## KAJIAN PUSTAKA

Analisis struktur untuk semua keadaan batas harus didasarkan pada anggapan-anggapan elastis linier, kecuali bila cara-cara non-linier secara khusus memang dianggap perlu atau secara tidak langsung dinyatakan dalam standar ini, dan/atau bila disetujui oleh yang berwenang (Nawy 2000). Di samping itu, perhitungan struktur baja, beton, dan komposit juga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Analisis perhitungan struktur harus dilakukan dengan cara mekanika teknik yang baku.

2. Bila dilakukan analisis struktur dengan menggunakan program komputer yang khusus, maka perlu disampaikan penjelasan prinsip dan alur kerja dari program bersangkutan.
3. Percobaan model komponen atau keseluruhan struktur jembatan terhadap suatu pembebanan khusus bisa dilakukan bila diperlukan untuk menunjang analisis teoritis.
4. Analisis dengan menggunakan model matematik bisa dilakukan, asalkan model tersebut memang bisa diterapkan pada struktur dan dapat dibuktikan kebenarannya, atau sudah teruji kehandalannya dalam analisis- analisis struktur terdahulu.

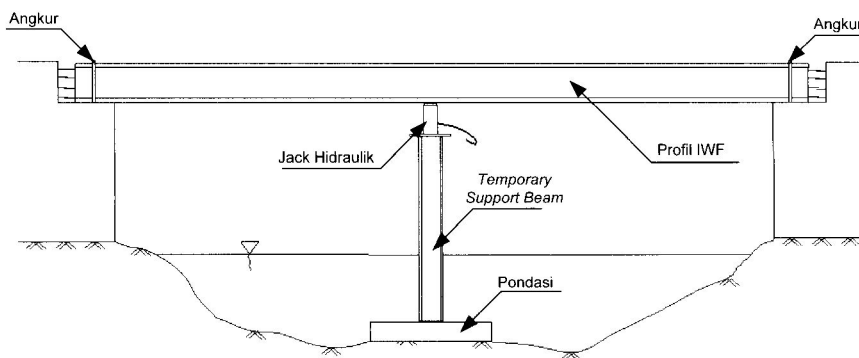
Perencanaan gelagar komposit mengacu pada beberapa tahap perencanaan sebagai berikut yaitu perencanaan gelagar komposit, analisis gelagar komposit, lebar efektif sayap beton, lendutan pada beban layan, kapasitas geser vertikal, perencanaan hubungan geser, perencanaan pelat beton, dan pemeriksaan tegangan yang terjadi pada gelagar komposit

(Irawan 1988). Penggunaan dimensi penampang komposit untuk bentang jembatan 8 m s/d 20 m menurut Standar Jembatan Gelagar Komposit yang di keluarkan oleh Direktorat Bina Program, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum (Indonesia 2009) dapat dilihat pada Tabel 1.

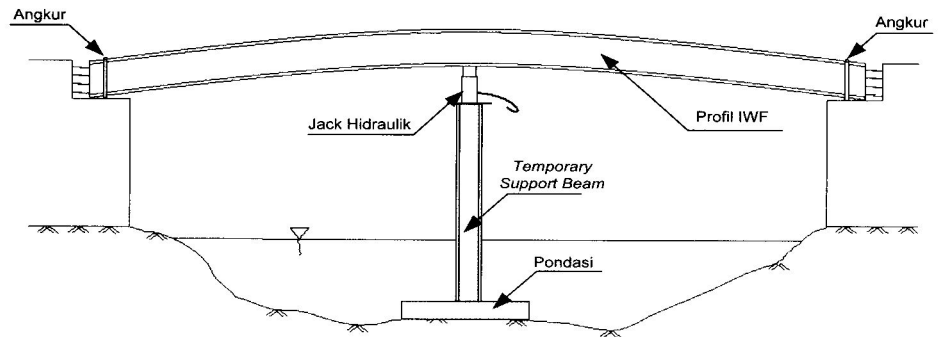
Dari kajian pustaka (Puslitbang Jalan dan Jembatan 1995), metode prakompresi pada gelagar baja komposit dilakukan dengan cara memberikan gaya lawan lendut yang berupa tegangan inisial atau prakompresi pada gelagar baja. Gaya yang diberikan dimaksudkan untuk membuat tegangan sisi serat bawah gelagar baja menjadi daerah tekan dan serat atas menjadi daerah tarik. Pemberian gaya prakompresi dilakukan sebelum pelat beton dicor. Sedangkan gaya bangkitan reaksi tekan merupakan gaya normal alami yang terjadi pada sisi perletakan jepit, yang merupakan gaya lawan akibat adanya lawan lendut pada gelagar. Sebagai ilustrasi, beberapa tahapan pemberian gaya prakompresi dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 5.

**Tabel 1.** Standar jembatan gelagar komposit bentang 8 m s/d 20 m

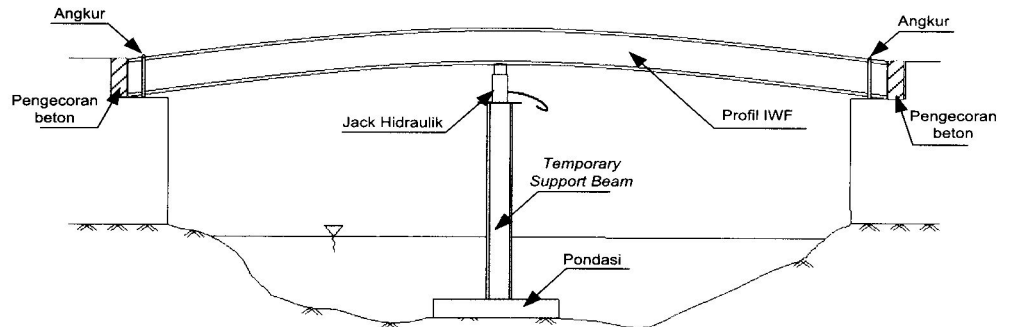
| No | Bentang (meter) | Profil (mm)     | Mutu Baja | Shear Connector (Stud) |                  | Penampang beton |            | Mutu beton $f_c'$ (MPa) |
|----|-----------------|-----------------|-----------|------------------------|------------------|-----------------|------------|-------------------------|
|    |                 |                 |           | Diameter (mm)          | Tinggi Stud (mm) | Tebal (mm)      | $b_f$ (mm) |                         |
| 1  | 8               | HB 250x125x6x9  | BJ 42     | $\phi 22$              | 125              | 200             | 600        | 20                      |
| 2  | 10              | HB 250x200x6x9  | BJ 42     | $\phi 22$              | 140              | 200             | 600        | 20                      |
| 3  | 12              | HB 300x200x6x9  | BJ 42     | $\phi 22$              | 150              | 200             | 600        | 20                      |
| 4  | 14              | HB 350x250x9x16 | BJ 42     | $\phi 22$              | 170              | 200             | 600        | 20                      |
| 5  | 16              | HB 400x300x9x16 | BJ 42     | $\phi 22$              | 180              | 200             | 600        | 20                      |
| 6  | 18              | HB 450x300x9x16 | BJ 42     | $\phi 22$              | 190              | 200             | 600        | 20                      |
| 7  | 20              | HB 500x300x9x16 | BJ 42     | $\phi 22$              | 200              | 200             | 600        | 20                      |



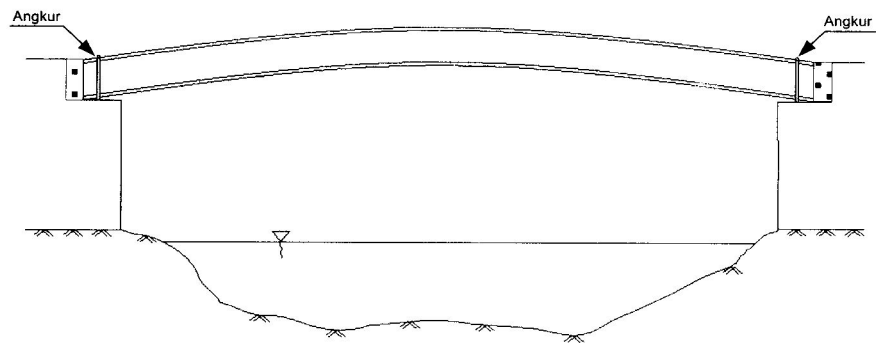
**Gambar 1.** Kondisi gelagar baja dalam keadaan normal



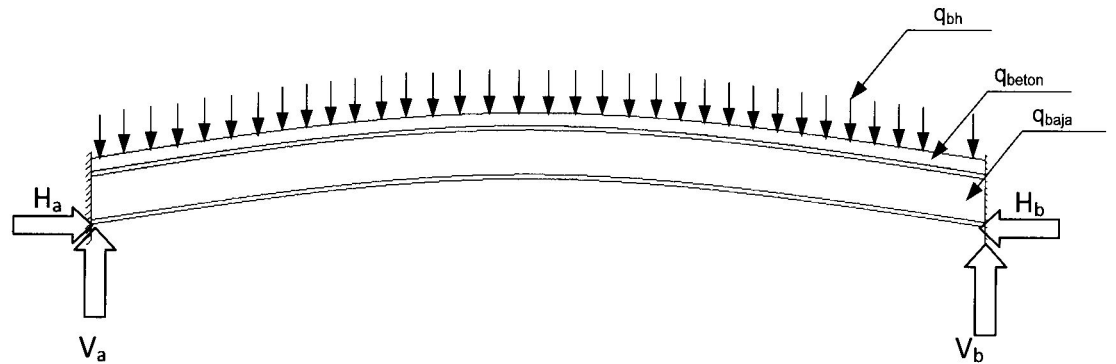
**Gambar 2.** Gaya prakompresi yang diberikan pada gelagar baja dengan *jack hydraulic*



**Gambar 3.** Pengecoran beton penahan



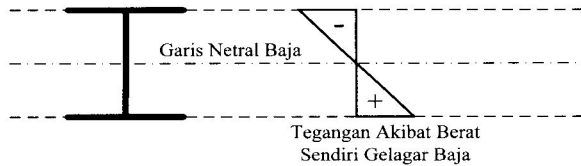
**Gambar 4.** Lawan lendut terbentuk akibat bangkitan reaksi tekan



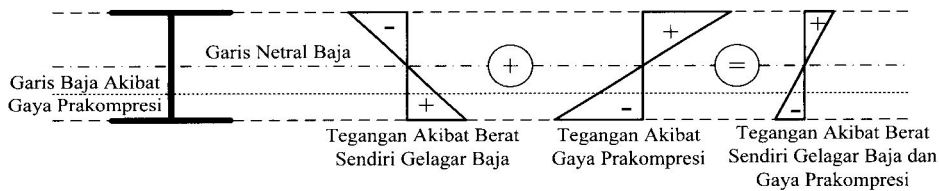
**Gambar 5.** Reaksi pada perletakan jepit akibat beban komposit baja dan beton, serta beban hidup

Dari metode keseimbangan, diperoleh diagram tegangan-regangan di tengah bentang pada saat kondisi normal, dibebani gaya prakompresi, dan

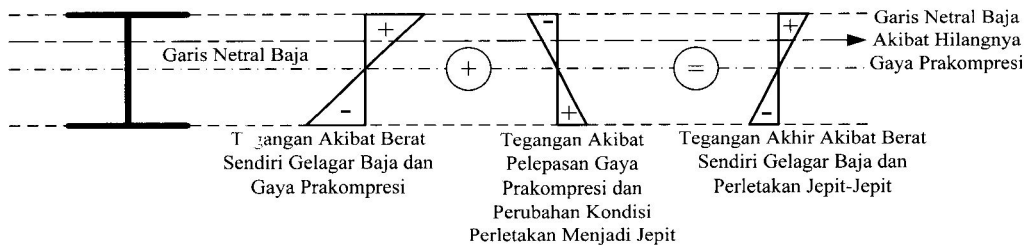
pelepasan gaya prakompresi (Gambar 6 sampai Gambar 10). Tahapan tegangan yang bekerja pada gelagar adalah sebagai berikut:



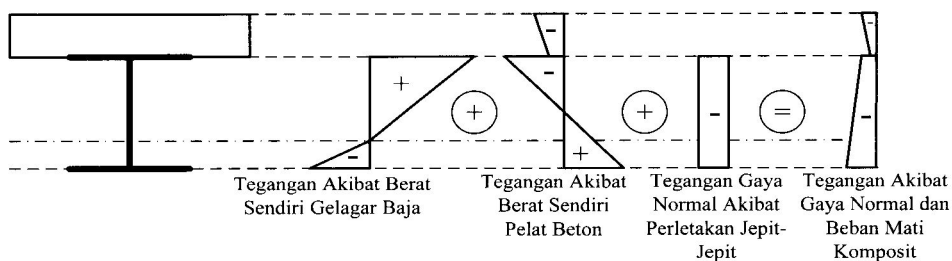
**Gambar 6.** Kondisi awal gelagar baja akibat berat sendiri



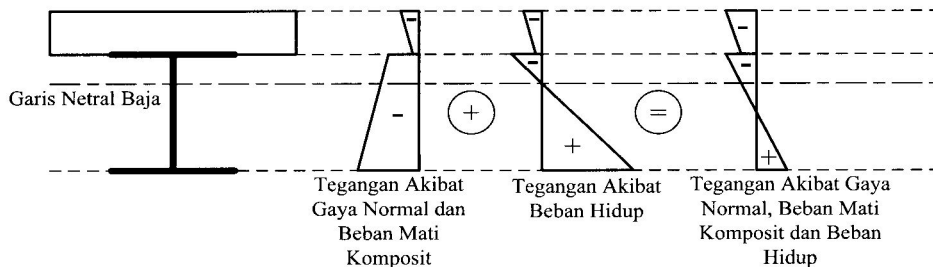
**Gambar 7.** Kondisi gelagar baja akibat berat sendiri dan gaya prakompresi



**Gambar 8.** Kondisi komposit akibat berat sendiri baja, pelepasan gaya prakompresi dan perubahan kondisi perletakan menjadi jepit-jepit



**Gambar 9.** Kondisi komposit akibat berat sendiri komposit dan gaya normal

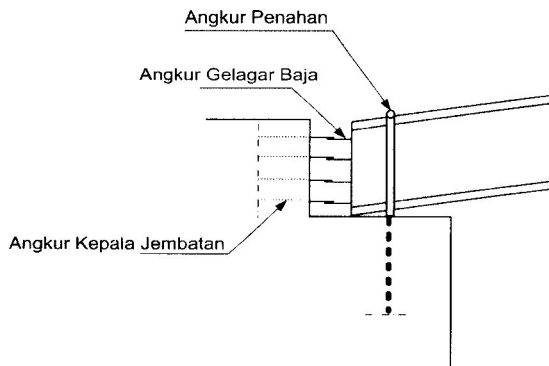


**Gambar 10.** Kondisi komposit akibat berat sendiri baja-beton, gaya normal dan beban hidup

Sistem perletakan berupa angkur penahan yang didesain mengikuti profil gelagar baja yaitu lebar *flens* atas dan tinggi *web* yang direncanakan. Terdapat dua kondisi untuk merencanakan perletakan yaitu:

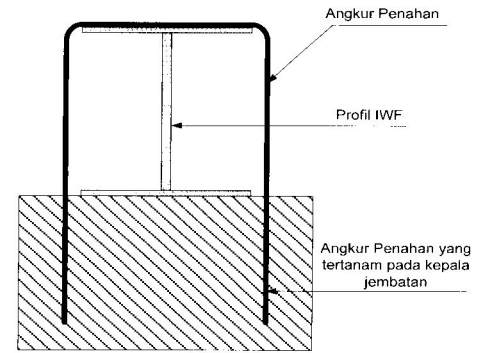
1. Kondisi pada saat pemberian gaya prakompresi, dimana perletakan direncanakan untuk dapat menahan gaya vertikal akibat gaya prakompresi, dan dapat bergerak bebas pada arah memanjang gelagar baja dengan perletakan angkur.
2. Kondisi pada saat pasca pemberian gaya kompresi dimana lawan lendut pada gelagar telah tercapai sesuai perencanaan, dan perletakan berubah menjadi jepit-jepit. Untuk menahan gaya lawan pada gelagar, maka kedua ujung gelagar diberikan tahanan dengan beton penahan pada sisi kepala jembatan.

Sistem perletakan saat pemberian gaya prakompresi yaitu angkur penahan. Kuat tarik dan geser pada angkur dihitung berdasarkan reaksi yang terjadi akibat pemberian gaya prakompresi pada gelagar baja yang berupa reaksi gaya vertikal dan gaya normal.



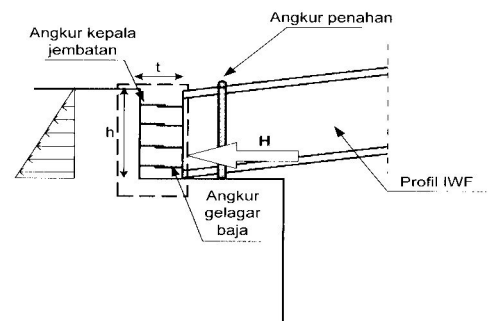
**Gambar 11.** Tampak samping perletakan dengan sistem angkur

Gambar 11 menunjukkan detail sistem angkur saat bekerjanya gaya prakompresi dengan posisi gelagar melendut ke atas. Angkur dari kepala jembatan disambung dengan angkur gelagar baja dengan cara dilas. Penyambungan angkur ini dilakukan setelah gaya prakompresi diberikan pada gelagar baja. Sistem penyambungan angkur tersebut dapat dilihat pada Gambar 12 (Puslitbang Jalan dan Jembatan 2011).



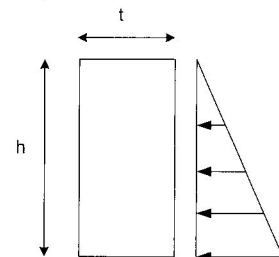
**Gambar 12.** Perletakan dengan sistem angkur penahan

Sistem sambungan antara perletakan dengan gelagar baja yaitu berupa jepit dengan pengecoran beton. Kuat tekan beton direncanakan sesuai dengan gaya normal yang terjadi.



**Gambar 13.** Tampak samping perencanaan perletakan jepit

Dari Gambar 13, tebal beton penahan angkur yang diperlukan untuk mengakomodir tegangan yang bekerja dilustrasikan pada Gambar 14. Besarnya dimensi dari beton penahan dapat dilihat pada hasil perhitungan (Lampiran A).



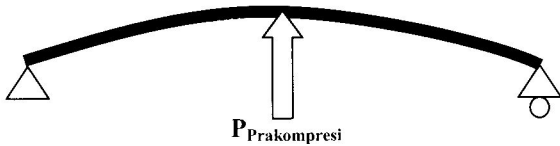
**Gambar 4.** Tebal beton penahan

**HIPOTESIS**

Pemberian gaya prakompresi dapat meningkatkan kapasitas struktur jembatan dengan mempertahankan dimensi dari profil gelagar baja.

**METODOLOGI**

Metode pemberian gaya prakompresi yang dilakukan dalam penelitian ini berbeda dengan metode yang sudah dilakukan dalam penelitian sebelumnya (Paten, *Composite bridge with precompression system*, no paten US 4343123 A). Pada penelitian yang dilakukan oleh Soeryohadikusumo (1982), pemberian tekanan dilakukan pada lantai jembatan dengan menggunakan alat "Flate Jack". Pemberian tekanan tersebut menimbulkan momen negatif pada bangunan atas jembatan sehingga pada penampang gelagar komposit akan bekerja gaya aksial dan momen negatif yang akan mengurangi momen positif akibat beban gravitasi. Sedangkan dalam penelitian ini, pemberian gaya prakompresi dilakukan pada gelagar bagian bawah dengan menggunakan "Jack Hydraulic". Pemberian gaya prakompresi dilakukan pada kondisi perletakan sendi-rol, agar beban aksial (P) yang diberikan untuk mencapai lawan lendut rencana lebih mudah tercapai (Gambar 15).



**Gambar 15.** Pemberian gaya prakompresi pada gelagar baja

Setelah lawan lendut di tengah bentang tercapai, maka kedua ujung perletakan diubah menjadi jepit dengan cara dilas, seperti terlihat pada Gambar 16.

Pada saat perletakan sendi rol diubah menjadi jepit-jepit dan gaya kompresi *jack hydraulic* tidak bekerja, maka gaya prakompresi akan hilang sebesar 50%. Setelah diberikan gaya prakompresi, kemudian pelat lantai dicor. Semua data yang terkumpul baik data sekunder maupun primer dievaluasi dan dianalisis yang kemudian dijadikan sebagai dasar untuk menetapkan parameter-parameter baru dalam perencanaan gelagar baja komposit prakompresi dengan bangkitan reaksi tekan. Untuk validasi data menggunakan program bantu *software Structural Analysis Progame SAP 2000* (CSI 2013).



Perletakan diubah menjadi jepit-jepit

**Gambar 16.** Pelepasan gaya prakompresi dan perletakan diubah menjadi jepit-jepit

**Tabel 2.** Berat dan volume gelagar komposit bentang 8 m s/d 20 m

| No. | L<br>(meter) | Dimensi Gelagar<br>HB (mm) | Berat Gelagar<br>Total (N) | Volume Beton (m <sup>3</sup> ) |                         | Tulangan<br>(N) |
|-----|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------|
|     |              |                            |                            | f <sub>c</sub> ' 19 MPa        | f <sub>c</sub> ' 25 MPa |                 |
| 1   | 8            | 250.125.6.9                | 37496,7                    | 18,51                          | 0,8                     | 24180           |
| 2   | 10           | 250.200.6.9                | 59544,4                    | 27,50                          | 1,0                     | 30130           |
| 3   | 12           | 300.200.6.9                | 76168,7                    | 29,10                          | 1,2                     | 36410           |
| 4   | 14           | 350.250.9.16               | 143844,3                   | 34,71                          | 1,4                     | 42050           |
| 5   | 16           | 400.300.9.16               | 202118,2                   | 40,69                          | 1,6                     | 47720           |
| 6   | 18           | 450.300.9.16               | 238582,5                   | 46,46                          | 1,8                     | 53990           |
| 7   | 20           | 500.300.9.19               | 272196,9                   | 52,40                          | 2,0                     | 59730           |

Catatan: Untuk lebar kendaraan 1,00 m + 7,00 m + 1,00 m

**Tabel 3.** Reaksi perletakan pada tiap abutment jembatan bentang 8 m s/d 20 m

| No. | L (meter) | Beban mati (A)<br>(kN) | Beban hidup<br>(B) (kN) | Beban hidup + kejut<br>(C) (kN) | Beban Total<br>(A+C) (kN) |
|-----|-----------|------------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1   | 8         | 359,25                 | 472,73                  | 566,77                          | 926,03                    |
| 2   | 10        | 461,21                 | 522,73                  | 613,64                          | 1074,84                   |
| 3   | 12        | 559,25                 | 572,73                  | 660,70                          | 1219,95                   |
| 4   | 14        | 693,78                 | 622,73                  | 707,95                          | 1401,73                   |
| 5   | 16        | 824,53                 | 672,73                  | 755,37                          | 1579,90                   |
| 6   | 18        | 941,63                 | 722,73                  | 802,94                          | 1744,57                   |
| 7   | 20        | 1059,59                | 772,73                  | 850,65                          | 1910,24                   |

Catatan: Untuk lebar kendaraan 1,00 m + 7,00 m + 1,00 m

### HASIL DAN ANALISIS

Data konstruksi yang digunakan mengacu pada Standar Jembatan Gelagar Komposit bentang jembatan (8–20) m dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 di atas.

Dipakai profil 400.300.9.16 dimana pada standar jembatan gelagar profil tersebut dipakai untuk bentang 16 m (202118,2 N) dengan lebar lantai kendaraan 1,00 m + 7,00 m + 1,00 m. Berat gelagar untuk bentang 20 m adalah 2542647,8 N. Reaksi perletakan pada bentang 16 m dapat dilihat pada Tabel 3 diatas, dengan menggunakan profil yang sama reaksi perletakan untuk bentang 20 m adalah:

Beban mati = 171770 N  
 Beban hidup+ kejut = 124300 N  
 Beban total = 296070 N

Momen akibat beban mati yaitu:

$$M = \frac{1}{8} Ql^2$$

$$M = \frac{1}{8} 1,72 \times 20^2$$

$$M = 86 \text{ t.m} = 860 \text{ kNm}$$

Momen akibat beban hidup+beban kejut

$$M = \frac{1}{8} Ql^2 + \frac{1}{4} pxl$$

$$M = \frac{1}{8} 1,125 \times 20^2 + \frac{1}{4} 8,575 \times 20$$

$$M = 99,125 \text{ t.m} = 991,25 \text{ kNm}$$

Modulus elastisitas = 2.1E+08 MPa  
 Momen inersia = 0,001 m<sup>4</sup>  
 Batas lendutan L/240 = 0,083 m

Lendutan akibat beban mati sebagai berikut:

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} x QxL^4 / (Es x Icom)$$

$$\delta_{max} = \frac{5}{384} x 17,2 \times 20^4 / (2.1E + 08 x 0,00122)$$

$$\delta_{max} = 0,146 \text{ m}$$

Lendutan akibat beban lajur D yaitu:

$$\delta_{max} = \frac{1}{48} x pxL^3 / (Es x Icom)$$

$$\delta_{max} = \frac{1}{48} x 85,75 \times 20^3 / (2.1E + 08 x 0,00122)$$

$$\delta_{max} = 0,058 \text{ m}$$

Lendutan akibat beban hidup 0,058 m < lendutan ijin elastis = 0,083 m.



Besarnya lendutan akibat kombinasi pembebanan yang terjadi digunakan sebagai lawan lendut pada gelagar, besarnya gaya prakompresi yang dibutuhkan dengan lendutan 0,058 yaitu:

$$P_{\text{prakompresi}} = \frac{48 \times \delta \times EI}{L^3} = 85,19 \text{ kN}$$

Gambar 17 menunjukkan hasil *output* gaya-gaya dalam berdasarkan program SAP 2000 sebagai berikut:

1. Gaya geser = 79,844 kN
2. Momen = 195,154 kNm
3. Lendutan maksimum = 0,0196 m

Lendutan yang terjadi akibat beban hidup setelah gelagar diberikan gaya prakompresi adalah 0,0196 m < 0,058 m (lendutan akibat beban hidup sebelum prakompresi).

$$f_{tc} = M \times \frac{10^6}{n \times W_{tc}}$$

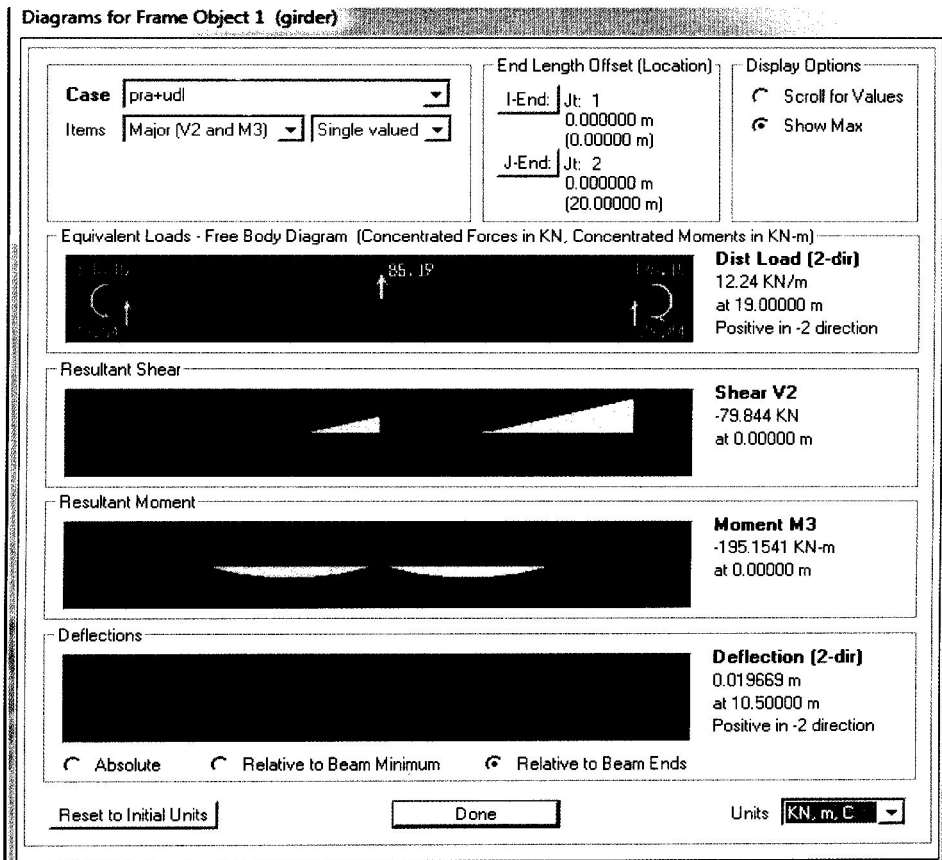
Tegangan pada sisi atas baja

$$f_{ts} = M \times \frac{10^6}{W_{tc}}$$

Tegangan pada sisi bawah baja

$$f_{bs} = M \times \frac{10^6}{W_{bs}}$$

Tegangan ijin beton 100%  $f'_c = 10 \text{ MPa}$ .  
 Tegangan ijin baja 100%  $f_s = 224 \text{ MPa}$ .  
 Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai  $n = 9,8$  dan  $W_{tc} = ,7 \times 10^7 \text{ mm}^2$ ,  $W_{bs} = 0,998 \times 10^7 \text{ mm}^2$ .



Gambar 17. *Output* analisis program (computers and structures SAP 2000 versi 14 2013)

**Tabel 4.** Tegangan yang terjadi pada gelagar komposit kondisi normal

| Tegangan pada tumpuan gelagar | Gelagar komposit kondisi normal |                                       |                                   |  |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|
|                               | Momen                           | Serat atas beton                      | Serat atas baja                   | Serat bawah baja                         |
| Jenis beban                   | M (kN.m)                        | $f_{tc}$ (MPa)                        | $f_{ts}$ (MPa)                    | $f_{bs}$ (MPa)                           |
| Berat sendiri                 | 860,00                          | 10,12                                 | 0,434                             | 197,38                                   |
| Beban lajur "D"               | 991,25                          | 11,67                                 | 0,499                             | 227,50                                   |
| Total                         | 1851,25                         | 21,79                                 | 0,933                             | 424,88                                   |
| <b>Keterangan</b>             |                                 | <b>&gt; <math>f_c</math> (not OK)</b> | <b>&lt; <math>f_s</math> (OK)</b> | <b>&gt; <math>f_{bs}</math> (not OK)</b> |

**Tabel 5.** Tegangan yang terjadi setelah diberi gaya prakompresi

| Tegangan pada tumpuan gelagar |                   | Gelagar komposit kondisi normal |                                   |                                   |                                      |
|-------------------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| No.                           | Jenis beban       | Momen                           | Serat atas beton                  | Serat atas baja                   | Serat bawah baja                     |
|                               |                   | M (kN.m)                        | $f_{tc}$ (MPa)                    | $f_{ts}$ (MPa)                    | $f_{bs}$ (MPa)                       |
| 1                             | Berat sendiri     | 466,34                          | 5,50                              | 0,235                             | 107,21                               |
| 2                             | Beban lajur "D"   | 335,25                          | 3,95                              | 0,169                             | 76,94                                |
|                               | Total             | 801,59                          | 9,45                              | 0,404                             | 184,15                               |
|                               | <b>Keterangan</b> |                                 | <b>&lt; <math>f_c</math> (OK)</b> | <b>&lt; <math>f_s</math> (OK)</b> | <b>&lt; <math>f_{bs}</math> (OK)</b> |

## PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis dapat ditentukan besarnya tegangan yang terjadi pada gelagar komposit dalam keadaan normal dan keadaan setelah diberi gaya prakompresi (Tabel 4 dan Tabel 5).

Dari Tabel 4 diketahui bahwa tegangan yang terjadi pada sisi atas beton dan sisi bawah baja telah terlampaui (lebih besar dari tegangan ijin). Tegangan pada sisi atas beton telah terlampaui sebesar 11,8 MPa dan tegangan pada sisi bawah baja sebesar 200,885 MPa. Setelah girder diberi gaya prakompresi (Tabel 5) tegangan yang terjadi tidak melampaui tegangan ijin yaitu pada sisi atas beton 9,45 MPa (< 10 MPa) dan pada sisi bawah baja 184,16 MPa (< 224 MPa). Hal ini terjadi karena kelebihan tegangan diakomodir oleh tegangan akibat gaya prakompresi. Berdasarkan hasil analisis dapat dilihat bahwa beban yang bekerja pada gelagar komposit biasa adalah berat sendiri dan beban hidup yang masing-masing menghasilkan momen MDL dan MLL, dimana kapasitas penampang gelagar yang direncanakan harus dapat memikul total momen tersebut. Sedangkan pada gelagar prakompresi,

total momen yang harus dipikul gelagar tersebut adalah MDL dan MLL ditambah dengan momen negatif akibat prakompresi. Profil penampang gelagar jembatan standar dengan panjang bentang 16 meter dapat menjadi 20 meter prakompresi dalam memikul besarnya pengaruh beban luar. Akan tetapi menurut hasil studi yang telah dilakukan sebelumnya (Puslitbang Jalan dan Jembatan 1995), ada beberapa kerugian dari jembatan komposit prakompresi, di antaranya jembatan tersebut akan mengalami kehilangan gaya prakompresi setelah melewati masa pelayanan tertentu.

### Perencanaan perletakan pasca pemberian gaya prakompresi

Sistem sambungan antara perletakan dengan gelagar baja yaitu berupa jepit dengan pengecoran beton.

Besarnya momen dan gaya geser yang bekerja pada ujung gelagar akibat gaya prakompresi adalah, momen akibat gaya kompresi 68,299 tm. Gaya geser akibat gaya prakompresi 6,8299 t.

Spesifikasi baut yang direncanakan untuk sistem sambungan dapat dilihat dalam Tabel 6.

**Tabel 6.** Spesifikasi angkur baut (AISC 2010)

| No. | Karakteristik                               | Simbol  | Besaran | Satuan |
|-----|---|---------|---------|--------|
| 1   | Jenis angkur baut                           | A-325   | -       | -      |
| 2   | Tegangan tarik putus                        | $f_u^b$ | 825     | MPa    |
| 3   | Tegangan leleh                              | $f_y$   | 400     | MPa    |
| 4   | Diameter                                    | D       | 19      | mm     |
| 5   | Jumlah angkur pada sisi tekan               | $n_c$   | 2       | buah   |
| 6   | Jarak baut terhadap pusat penampang gelagar | F       | 214,5   | mm     |
| 7   | Panjang angkur yang tertanam di beton       | $L_a$   | 500     | mm     |

Berdasarkan spesifikasi pada Tabel 6 dan gaya-gaya dalam yang bekerja pada tumpuan, dapat ditentukan jumlah dan dimensi baut pada sambungan (lampiran A). Perencanaan perhitungan tumpuan (*bearing*) gelagar prakompresi pada lampiran A mengacu pada RSNI-T-12-200. (Indonesia 2004), "Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan", dan RSNI T-03-2005 (Indonesia 2005), "Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan" (Indonesia 2005).

Dari hasil analisis dan evaluasi didapat bahwa tegangan yang terjadi pada serat atas gelagar baja akibat gaya prakompresi lebih kecil dari tegangan ijin pada gelagar baja. Untuk memperkecil kehilangan gaya prakompresi pada gelagar baja, maka sistem perletakan jepit yang terdiri dari beton penahan, tulangan angkur antara gelagar baja dengan kepala jembatan harus terintegrasi. Akibat dari sistem yang terintegrasi antara gelagar baja dengan kepala jembatan, maka jembatan tidak memerlukan sambungan siar muai dan perletakan karet.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari uraian diatas dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Metode prakompresi pada gelagar baja komposit bila ditinjau dari segi mekanika teknik dapat memberikan keuntungan dengan timbulnya momen negatif yang melawan pengaruh sebagian beban luar yang bekerja.

2. Gaya prakompresi dapat menyebabkan terjadinya tegangan awal (*initial stress*) pada komponen baja profil yang menimbulkan regangan tekan pada serat bawah baja.
3. Dari hasil analisis, lendutan yang terjadi akibat beban hidup pada gelagar baja komposit prakompresi lebih kecil dibandingkan gelagar tanpa prakompresi ( $0,0196m < 0,058m$ ). Makin besar gaya prakompresi, lendutan akibat beban hidup makin kecil, hal ini mengakibatkan perilaku balok menjadi lebih kaku dengan bertambahnya gaya prakompresi.
4. Jembatan dengan bentang 16 meter standar dapat menjadi 20 meter prakompresi, sehingga terjadi kenaikan kapasitas struktur jembatan sebesar 25%.

### Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk kajian selanjutnya adalah:

1. Pemilihan lokasi untuk pembangunan jembatan dengan metode prakompresi perlu memperhitungkan lokasi penempatan *temporary support* sebagai perletakan *jack hydraulic*.
2. Agar tidak terjadi tekuk lokal pada gelagar baja, maka daerah perletakan dan daerah pemberian gaya prakompresi perlu ditambahkan pengaku. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kehilangan gaya prakompresi aktual, yang diperlukan sebagai *input* data dalam perencanaan gelagar baja komposit prakompresi dengan bangkitan rekasi tekan.

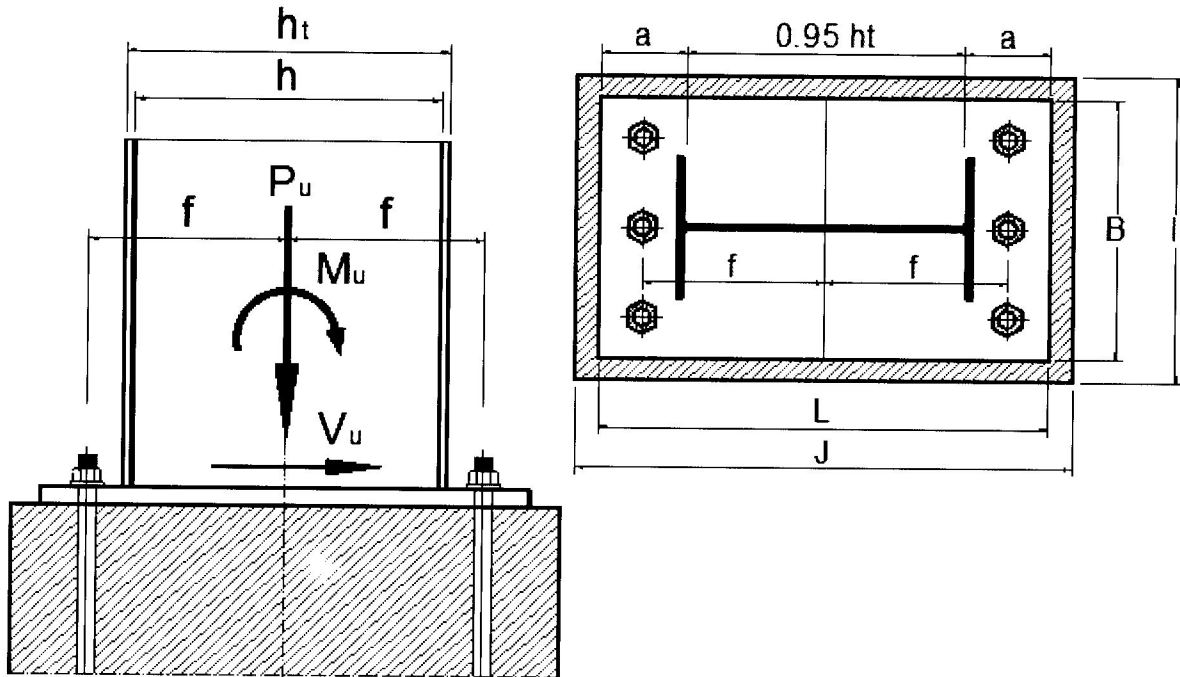
## DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction . 2010. *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago: AISC
- Computers and Structures, Inc. 2013. *Integrated Solution for Structural Analysis and Design*. SAP 2000 version 14.00. California: CSI.
- Hicks, Tyler G. ,2002. *McGraw-Hill Pocket Reference, Civil Engineering Formulas-Pocket Guid*. New York : The McGraw-Hill Companies.
- Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum. 2004. *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*. RSNI-T-12-200. Jakarta: Kementerian PU.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. RSNI T-03-2005. Jakarta: Kementerian PU.
- \_\_\_\_\_. 2009. Kementerian Pekerjaan Umum. Direktorat Jenderal Bina Marga. *Standar Jembatan Gelagar Komposit Bentang Jembatan 8 m - 20 m*. Jakarta: Ditjen Bina Marga.
- Irawan P, Ridwan I. 1988. *Studi Analisis Perilaku Balok Komposit Beton Baja Sistem Prakompresi*. Thesis. Institut Teknologi Bandung.
- Nawy, Edward G. 2000. *Prestressed Concrete*. Third Edition. Michigan: Prentice-Hall.
- Puslitbang Jalan dan Jembatan. 2011. *Pembuatan Model Fisik Skala Laboratorium Gelagar Komposit Prakompresi dengan Bangkitan Reaksi Tekan*. Laporan Akhir Penelitian dan Pengembangan. Bandung: Pusjatan.
- \_\_\_\_\_. 2007. *Penyusunan DED Perkuatan Gelagar Baja Komposit dengan Sistem Flens Prategang Baja*. Laporan Akhir. Bandung: Pusjatan.
- \_\_\_\_\_. 1995. *"Pengkajian Nilai Sisa Kekuatan Jembatan Komposit Prakompresi*. Bandung: Pusjatan.
- Soerjohadikusumo, Roosseno . 1982. *Composite bridge with precompression system*. US Patent 4343123 A .  
[www.google.com.br/patents](http://www.google.com.br/patents).

LAMPIRAN A

**PERHITUNGAN TUMPUAN (BEARING)**

**BASE PLATE DAN ANGKUR**

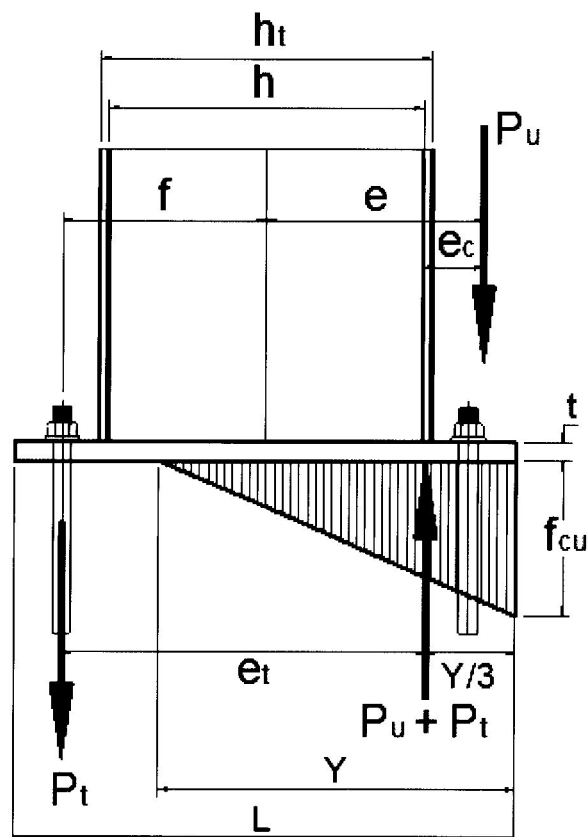


**1. DATA TUMPUAN**

| BEBAN KOLOM                         |  | DATA BEBAN KOLOM  |              |
|-------------------------------------|--|-------------------|--------------|
| Gaya aksial akibat beban terfaktor, |  | $P_u =$           | 109557.39 N  |
| Momen akibat beban terfaktor,       |  | $M_u =$           | 87571.43 Nmm |
| Gaya geser akibat beban terfaktor,  |  | $V_u =$           | 260816.29 N  |
| PLAT TUMPUAN (BASE PLATE)           |  | DATA PLAT TUMPUAN |              |
| Tegangan leleh baja,                |  | $f_y =$           | 240 MPa      |
| Tegangan tarik putus plat,          |  | $f_u^p =$         | 370 MPa      |
| Lebar plat tumpuan,                 |  | $B =$             | 330 mm       |
| Panjang plat tumpuan,               |  | $L =$             | 540 mm       |
| Tebal plat tumpuan,                 |  | $t =$             | 20 mm        |
| KOLOM PEDESTRAL                     |  | DATA KOLOM BETON  |              |
| Kuat tekan beton,                   |  | $f'_c =$          | 20 MPa       |
| Lebar penampang kolom,              |  | $I =$             | 400 mm       |
| Panjang penampang kolom,            |  | $J =$             | 600 mm       |

| DIMENSI KOLOM BAJA                          | DATA KOLOM BAJA  |         |
|---|------------------|---------|
| Profil baja :                               | WF 700.300.15.28 |         |
| Tinggi total,                               | $h_t =$          | 700 mm  |
| Lebar sayap,                                | $b_f =$          | 300 mm  |
| Tebal badan,                                | $t_w =$          | 15 mm   |
| Tebal sayap,                                | $t_f =$          | 28 mm   |
| ANGKUR BAUT                                 | DATA ANKUR BAUT  |         |
| Jenis angkur baut,                          | Tipe :           | A-325   |
| Tegangan tarik putus angkur baut,           | $f_u^b =$        | 825 MPa |
| Tegangan leleh angkur baut,                 | $f_y =$          | 400 MPa |
| Diameter angkur baut,                       | $d =$            | 19 mm   |
| Jumlah angkur baut pada sisi tarik,         | $n_t =$          | 3 bh    |
| Jumlah angkur baut pada sisi tekan,         | $n_c =$          | 3 bh    |
| Jarak baut terhadap pusat penampang kolom,  | $f =$            | 220 mm  |
| Panjang angkur baut yang tertanam di beton, | $L_a =$          | 500 mm  |

## 2. EKSENTRISITAS BEBAN



Eksentrisitas beban,

$$e = M_u / P_u = 0.80 \text{ mm}$$

$$L / 6 = 90.00 \text{ mm}$$

$e < L / 6$

$$h = h_t - t_f = 672 \text{ mm}$$

$$e_t = f + h / 2 = 556 \text{ mm}$$

$$e_c = f - h / 2 = -116 \text{ mm}$$

Jumlah angkur baut total,

$$n = n_t + n_c = 6 \text{ bh}$$

### 3. TAHANAN TUMPU BETON

Gaya tarik pada angkur baut,

$$P_t = P_u \cdot e_c / e_t = -22857 \text{ N}$$

Gaya tekan total pada plat tumpuan,

$$P_{uk} = P_u + P_t = 86700 \text{ N}$$

Panjang bidang tegangan tekan beton,

$$Y = 3 \cdot (L - h) / 2 = -198.00 \text{ mm}$$

Luas plat tumpuan baja,

$$A_1 = B \cdot L = 178200 \text{ mm}^2$$

Luas penampang kolom pedestral,

$$A_2 = I \cdot J = 240000 \text{ mm}^2$$

Tegangan tumpu nominal,

$$f_{cn} = 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{A_2 / A_1} = 19.729 \text{ MPa}$$

$$f_{cn} = 1.70 \cdot f'_c = 34.000 \text{ MPa}$$

Tegangan tumpu nominal beton yg digunakan,

$$f_{cn} = 19.729 \text{ MPa}$$

Faktor reduksi kekuatan tekan beton,

$$f = 0.65$$

Tegangan tumpu beton yg diijinkan,

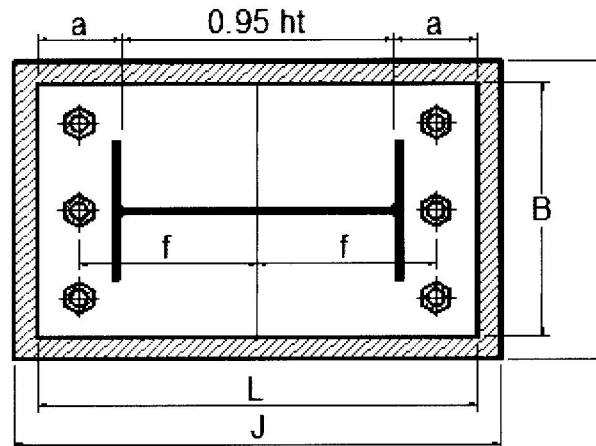
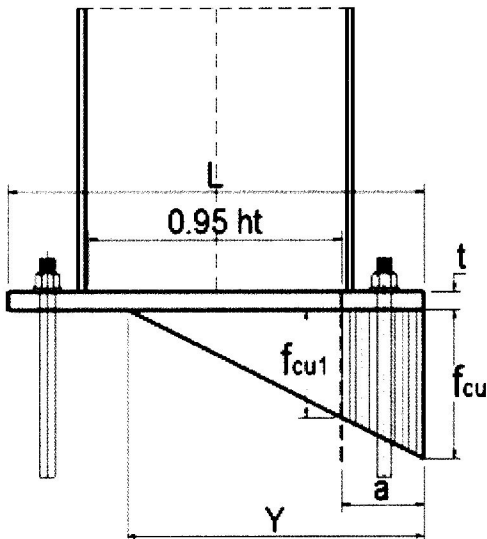
$$f \cdot f_{cn} = 12.824 \text{ MPa}$$

Tegangan tumpu maksimum yang terjadi pada beton,

$$f_{cu} = 2 \cdot P_{uk} / (Y \cdot B) = -2.654 \text{ MPa}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\begin{array}{ccc} f_{cu} & \leq & f \cdot f_{cn} \\ -2.654 & < & 12.824 \end{array} \quad \text{aman (OK)}$$



#### 4. KONTROL DIMENSI PLAT TUMPUAN

Lebar minimum plat tumpuan yang diperlukan,

$$B_{p \text{ min}} = P_{uk} / (0.5 * f * f_{cu} * Y) = \boxed{-68} \text{ mm}$$

Lebar plat yang digunakan,

$$B = \boxed{330} \text{ mm}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{-68} < \boxed{330} \quad \text{aman (OK)}$$

Panjang bagian plat tumpuan jepit bebas,

$$a = (L - 0.95 * h_t) / 2 = \boxed{-62.5} \text{ mm}$$

$$f_{cu1} = (1 - a / Y) * f_{cu} = \boxed{-1.816} \text{ MPa}$$

Modulus penampang plastis plat,

$$Z = 1/4 * B * t^2 = \boxed{33000} \text{ mm}^3$$

Momen yang terjadi pada plat akibat beban terfaktor,

$$M_{up} = 1/2 * B * f_{cu1} * a^2 + 1/3 * B * (f_{cu} - f_{cu1}) * a^2 = \boxed{-1530493} \text{ Nmm}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$f_b = \boxed{0.90}$$

Tahanan momen nominal plat,

$$M_n = f_y * Z = \boxed{7920000} \text{ Nmm}$$

Tahanan momen plat,

$$f_b * M_n = \boxed{7128000} \text{ Nmm}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{-1530493} < \boxed{7128000} \quad \text{aman (OK)}$$

#### 5. GAYA TARIK PADA ANGKUR BAUT

Gaya tarik pada angkur baut,

$$T_{u1} = P_t / n_t = \boxed{-7619} \text{ N}$$

Tegangan tarik putus angkur baut,

$$f_u^b = \boxed{825} \text{ MPa}$$

Luas penampang angkur baut,

$$A_b = p / 4 * d^2 = \boxed{284} \text{ mm}^2$$

Faktor reduksi kekuatan tarik,

$$f_t = \boxed{0.90}$$

Tahanan tarik nominal angkur baut,

$$T_n = 0.75 * A_b * f_u^b = \boxed{175433} \text{ N}$$

Tahanan tarik angkur baut,

$$f_t * T_n = \boxed{157890} \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{-7619} < \boxed{157890} \quad \text{aman (OK)}$$

#### 6. GAYA GESER PADA ANGKUR BAUT

Gaya geser pada angkur baut,

$$V_{u1} = V_u / n = \boxed{43469} \text{ N}$$

Tegangan tarik putus baut,

$$f_u^b = \boxed{825} \text{ MPa}$$

Jumlah penampang geser,

$$m = \boxed{1}$$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,

$$r_1 = \boxed{0.4}$$

Luas penampang baut,

$$A_b = p / 4 * d^2 = \boxed{284} \text{ mm}^2$$

Faktor reduksi kekuatan geser,

$$f_f = \boxed{0.75}$$

Tahanan geser nominal,

$$V_n = r_1 * m * A_b * f_u^b = \boxed{93564} \text{ N}$$

Tahanan geser angkur baut,

$$f_f * V_n = \boxed{70173} \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{43469} < \boxed{70173} \quad \text{aman (OK)}$$



### 7. GAYA TUMPU PADA ANGKUR BAUT

Gaya tumpu pada angkur baut,

$$R_{u1} = V_{u1} = \boxed{43469} \text{ N}$$

Diameter baut,

$$d = \boxed{19} \text{ mm}$$

Tebal plat tumpu,

$$t = \boxed{20} \text{ mm}$$

Tegangan tarik putus plat,

$$f_u^p = \boxed{370} \text{ MPa}$$

Tahanan tumpu nominal,

$$R_n = 2.4 * d * t * f_u^p = \boxed{337440} \text{ N}$$

Tahanan tumpu,

$$f_t * R_n = \boxed{253080} \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{43469} < \boxed{253080} \quad \text{aman (OK)}$$

### 8. KOMBINASI GESER DAN TARIK

Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi,

$$f_1 = \boxed{807} \text{ MPa}$$

$$f_2 = \boxed{621} \text{ MPa}$$

Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,

$$r_2 = \boxed{1.9}$$

Tegangan geser akibat beban terfaktor,

$$f_{uv} = V_u / (n * A_b) = \boxed{153.32} \text{ MPa}$$

Kuat geser angkur baut,

$$f_t * r_1 * m * f_u^b = \boxed{247.50} \text{ MPa}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{153.32} < \boxed{247.50} \quad \text{aman (OK)}$$

Gaya tarik akibat beban terfaktor,

$$T_{u1} = \boxed{-7619} \text{ N}$$

Tahanan tarik angkur baut,

$$f_t * T_n = f_t * f_1 * A_b = \boxed{171606} \text{ N}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{-7619} < \boxed{171606} \quad \text{aman (OK)}$$

Kuat tarik angkur baut,

$$f_t = 0.75 * f_u^b = \boxed{618.75} \text{ MPa}$$

Batas tegangan kombinasi,

$$f_1 - r_2 * f_{uv} = \boxed{515.70} \text{ MPa}$$

$$f_2 = \boxed{621.00} \text{ MPa}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{618.75} > \boxed{515.70} \quad \text{No OK}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{618.75} < \boxed{621.00} \quad \text{aman (OK)}$$

### 9. KONTROL PANJANG ANGKUR BAUT

Panjang angkur tanam yang digunakan,

$$L_s = \boxed{500} \text{ mm}$$

Kuat tekan beton,

$$f_c' = \boxed{20}$$

Tegangan leleh baja,

$$f_y = \boxed{400}$$

Diameter angkur baut,

$$d = \boxed{19}$$

Panjang angkur tanam minimum yang diperlukan,

$$L_{min} = f_y / (4 * \phi * f_c') * d = \boxed{425} \text{ mm}$$

Syarat yang harus dipenuhi :

$$\boxed{425} < \boxed{500} \quad \text{aman (OK)}$$