

PERBANDINGAN DESAIN GELAGAR BAJA KONVENSIOMAL DAN CASTELLA PADA PERENCANAAN JEMBATAN KOMPOSIT

Agus

Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Padang

Abstrak

Teknologi komposit banyak digunakan dalam konstruksi jembatan. Gelagar baja komposit dapat berupa balok konvensional maupun gelagar dengan balok Castella yaitu balok yang dibentuk dengan cara membelah bagian tengah pelat badan profil baja-I. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis perbandingan desain gelagar komposit dengan gelagar standart (konvensional) dan gelagar castella. Metode yang dilakukan adalah dengan mendisain gelagar menurut standar perencanaan jembatan yaitu SKBI-1.3.28.1987, SNI T-15-1991-03, SNI-1726-2002 dan jembatan yang direncanakan adalah jembatan komposit bentang 30 m. Hasil perhitungan desain selanjutnya dibandingkan satu dengan lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada gelagar baja konvensional maupun castella, jumlah gelagar akan lebih sedikit jika menggunakan vote, dan dimensi gelagar yang menggunakan metode castella lebih kecil dibandingkan dengan gelagar konvensional.

Kata kunci : Jembatan Komposit, Gelagar Baja Konvensional, Gelagar Castella

Abstract

Composite technology is widely used in bridge construction. Composite steel girder can be either conventional or girder with Castella girder is the girder formed by splitting the middle of the plate body armor-I profiles. This study aims to conduct a comparative analysis of composite girder to girder design standard (conventional) and Castella girder. The method is carried out according to the design girder bridge design standards are SKBI-1.3.28.1987, SNI T-15-1991-03, SNI-1726-2002 and is planned composite bridge spans 30 m. The results of the design calculations then compared with the others. The results showed that the conventional steel girder and Castella, the amount would be less if the girder using a vote, and the dimensions of the Castella girder method is smaller than the conventional girder.

Keywords: Composites bridges, Conventional steel girder, Castella girder

1. Pendahuluan

Jaringan jalan raya mau tidak mau akan mendapati rintangan alam dan rintangan buatan, seperti lembah, alur sungai, saluran irigasi, saluran drainase, jalan yang melintang tidak sebidang, rel kereta api dan lain-lain. Apabila alternatif lain yang lebih mudah tidak mungkin dilaksanakan mau tidak mau rintangan tersebut harus dilewati atau diseberangi. Untuk melewati rintangan itu diperlukan prasarana pendukung jalan yakni berupa jembatan yang fungsi dan peranannya sama pentingnya dengan jalan itu sendiri.

Konstruksi komposit merupakan gabungan dari 2 material yaitu baja struktural dan beton bertulang yang banyak digunakan dalam konstruksi jembatan. Pada jembatan komposit umumnya berupa gelagar baja dan lantai jembatan terbuat dari beton bertulang. Gelagar baja komposit dapat direncanakan dalam beberapa bentuk yaitu gelagar dengan balok standart (konvensional) dan gelagar dengan balok *Castella*. *Castella* adalah balok yang mempunyai elemen pelat badan berlubang, yang dibentuk dengan cara membelah bagian tengah pelat badan profil baja-I, kemudian bagian bawah dari belahan tersebut dibalik dan disatukan kembali antara bagian atas dan bawah dengan cara digeser sedikit kemudian dilas. Perbandingan penggunaan balok dari baja konvensional dan balok castella pada jembatan komposit menarik untuk dianalisis.

2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu perencanaan jembatan komposit sesuai dengan pembebanan dan peraturan yang berlaku dalam pembangunan jembatan di Indonesia.

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis perbandingan desain gelagar komposit dengan gelagar standart (konvensional) dan gelagar *castella* meliputi dimensi penampang dan jumlah gelagar baja yang dibutuhkan antara gelagar komposit konvensional dan gelagar *castella*. Dengan beban dan dimensi dari bangunan atas jembatan yang sama, perbandingan ini penulis bagi atas 4 jenis gelagar baja yaitu :

- a. Gelagar jembatan baja yang menggunakan *voute* (tv)
- b. Gelagar jembatan baja yang tidak menggunakan *voute* (tv)
- c. Gelagar jembatan baja *castella* menggunakan *voute* (tv)
- d. Gelagar jembatan baja *castella* yang tidak menggunakan *voute* (tv)

3. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi meliputi :

- a. Panjang jembatan 30 m dengan lebar jembatan 8 m.
- b. Beban atas jembatan sama untuk semua jenis gelagar.
- c. Konstruksi komposit jembatan dengan plat lantai beton bertulang dan gelagar memanjang baja I-WF.

4. Tinjauan Konstruksi Jembatan Komposit

Konstruksi jembatan komposit merupakan sebuah konstruksi jembatan yang bahan dasarnya terdiri atas dua jenis material yang berbeda sifatnya, yang dibangun sedemikian rupa sehingga menjadi satu kesatuan yang kuat.

Keuntungan dan kerugian Konstruksi Jembatan Komposit

- a. Keuntungan konstruksi jembatan komposit :
 - 1) Profil baja dapat dihemat menjadi 20 – 30 % dibanding dengan system balok non komposit
 - 2) Penampang/tinggi profil baja lebih rendah
 - 3) Kekakuan lantai beton bertulang semakin tinggi karena komposit menyatu dengan gelagar memanjang sehingga pelendutan plat lantai/komposit semakin kecil.
 - 4) Panjang bentang untuk bentang tertentu dapat lebih besar, artinya dengan komposit sistem komposit baja dan beton. Untuk penampang yang sama mempunyai momen pikul yang jauh lebih besar
 - 5) Kapasitas daya pikul beban bertambah dibandingkan dengan plat beton yang bebas diatas gelagar baja (baja merupakan pemikul utama)
- b. Kerugian konstruksi jembatan komposit :

Untuk balok komposit statis tak tentu, misalnya balok yang terletak diatas beberapa tumpuan atau pada tumpuan jepit, maka momen negative hanya dipikul oleh beton saja, dengan demikian aksi komposit kurang berfungsi pada penampang yang memikul momen negatif.

Aksi komposit terjadi apabila dua bagian/batang struktur pemikul beban, misalnya konstruksi beton dan balok profil baja dihubungkan secara komposit menjadi satu, sehingga dapat memikul beban secara menyatu. Aksi komposit dapat terjadi apabila anggapan-anggapan berikut ini dapat dipenuhi atau mendekati keadaan sebenarnya yaitu :

- a. Lantai beton dengan profil baja, dihubungkan dengan penghubung geser secara tepat pada seluruh tulangan.
- b. Gaya geser pada penghubung geser adalah sebanding secara proporsional dengan beban pada penghubung geser.
- c. Distribusi tegangan adalah linear di setiap penampang
- d. Lantai beton dan balok baja tidak akan terpisah secara vertical dibagian manapun sepanjang batang.

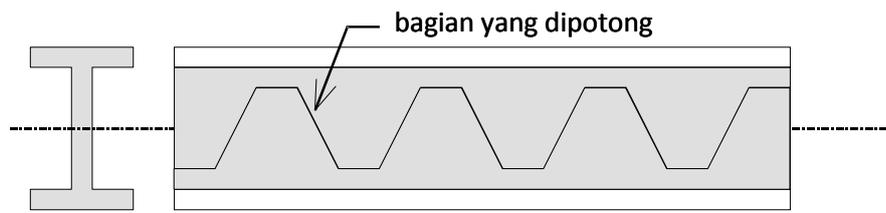
Penghubung balok dan baja (*shear connestor*) akan memikul gaya yang sejajar dengan sumbu balok, yang merupakan gaya geser.

Balok Castella

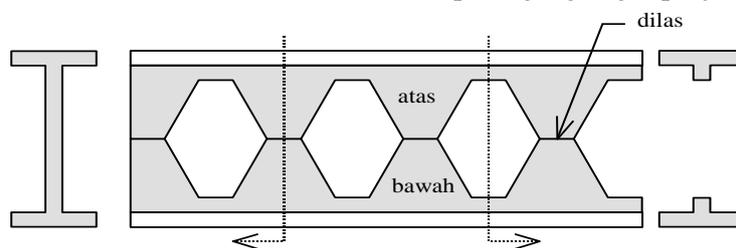
Balok *Castella / Open-Web Expanded Beams and Girders* (perluasan balok dan girder dengan badan berlubang) adalah balok yang mempunyai elemen pelat badan berlubang, yang dibentuk dengan cara membelah bagian tengah pelat badan, kemudian bagian bawah dari belahan tersebut dibalik dan disatukan kembali antara bagian atas dan bawah dengan cara digeser sedikit kemudian dilas. Gagasan semacam ini pertama kali dikemukakan oleh *H.E. Horton* dari Chicago dan *Iron Work* sekitar tahun 1910, yang sekarang ini dikenal dengan metode *Castella*. Jika pembelahannya zig-zag maka disamping bertambah tinggi juga akan dihasilkan pelat badan balok berlubang dan perluasan pelat badan balok, namun jika pembelahannya miring maka akan dihasilkan perluasan pada salah satu ujung pelat badan dan penyempitan pada ujung pelat badan yang satunya (menghasilkan balok non prismatic).

Dengan cara semacam itu maka balok dengan luas yang sama akan menghasilkan modulus potongan dan momen inersia yang lebih besar. Namun disisi lain dengan semakin tingginya balok maka kelangsingannya semakin meningkat sehingga akan menurunkan tegangan kritisnya, atau akan menghasilkan tegangan kritis yang lebih kecil dari pada tegangan lelehnya ($f_{cr} < f_y$). Jika $f_{cr} < f_y$ maka profilnya akan cepat rusak (yang sering disebut *prematur calleb*), hal ini dapat diatasi dengan cara memasang pengaku pada bagian pelat badannya.

Bentuk badan profil tergantung dari teknis pembelahan pelat badan profil yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Ada beberapa macam bentuk yang sering dipergunakan dilapangan seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Profil balok I dipotong zig-zag sepanjang



Gambar 2. Balok Castella segi enam

Pembebanan Jembatan

1) Beban Primer

Beban primer adalah merupakan beban utama didalam perhitungan terhadap tegangan yang terjadi pada setiap perencanaan suatu konstruksi jembatan. Beban primer sesuai dengan PPPJIR-1987 meliputi sebagai berikut.

a. Beban Mati

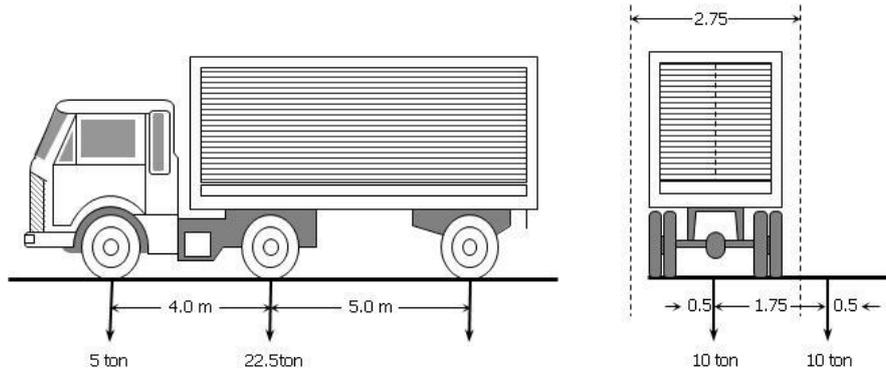
Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan, termasuk segala unsur tambahan yang merupakan satu kesatuan yang tetap dengan jembatan

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah merupakan beban yang berasal dari lalu lintas kendaraan yang bergerak maupun pejalan kaki yang bekerja pada jembatan. Beban hidup pada jembatan harus ditinjau dan dinyatakan dalam dua macam yaitu:

1). Beban " T "

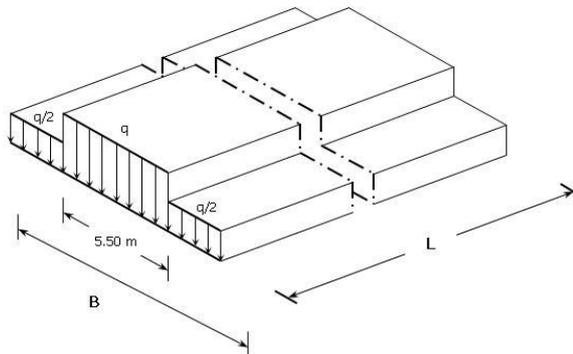
Beban T merupakan beban terpusat untuk lantai kendaraan. Beban ini digunakan untuk perhitungan lantai jembatan kendaraan. Beban ini diakibatkan oleh kendaraan truck yang mempunyai beban roda ganda (*Dual Wheel Load*) sebesar 10 ton dengan ukuran serta kedudukan seperti yang tertera pada gambar berikut ini:



Gambar 3. Pembebanan Truk " T "

2). Beban " D "

Beban D merupakan jalur untuk perhitungan kekuatan gelagar-gelagar jembatan. Beban "D" atau beban jalur adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar "q" ton per meter panjang jalur per jalur dan beban garis "P" ton per jalur lalu lintas. Beban "D" dapat dilihat seperti gambar berikut ini :



Gambar 4. Beban Jalur "D"

Besarnya beban terbagi rata "q" ditentukan sebagai berikut :

$$q = 2,2 \text{ t/m}' \dots \dots \dots \text{ untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 2,2 - 1,1/60 \times (L-30) \text{ t/m}' \dots \dots \dots \text{ untuk } 30 < L < 60 \text{ m}$$

$$q = 1,1 (1+30/L) \text{ t/m}' \dots \dots \dots \text{ untuk } L > 60 \text{ m}$$

L = panjang bentang dalam meter

T/m' = ton per meter panjang perjalur

Ketentuan penggunaan beban "D" dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut:

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,50 m, beban "D" sepenuhnya (100%) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih dari 5,50, beban "D" sepenuhnya (100%) dibebankan pada jalur 5,50 m sedangkan lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban "D" (50%)

c. Beban Kejut

Beban kejut dimaksudkan untuk memperhitungkan pengaruh-pengaruh getaran dan pengaruh dinamis lainnya. Tegangan-tegangan pada beban hidup akibat beban garis "P" harus dikalikan dengan koefisien kejut yang akan memberikan hasil maksimum. Sedangkan beban lainnya seperti beban "q" dan "T" tidak dikalikan dengan koefisien kejut.

Koefisien kejut ditentukan dengan rumus: $K = 1 + 20 / (50 + L)$
dimana: K = Koefisien kejut, L = Panjang bentang

2) Beban Sekunder

Beban sekunder adalah merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan pada perhitungan tegangan jembatan. Umumnya beban sekunder menimbulkan tegangan-tegangan yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan beban primer. Beban sekunder biasanya tergantung dari bahan yang digunakan, panjang bentangan dan keadaan setempat dari jembatan. Beban sekunder sesuai dengan PPPJIR-1987 adalah sebagai berikut:

a. Beban Angin

Pengaruh beban angin pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horizontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan dalam arah tegak lurus sumbu memanjang yang bernilai 150 Kg/m². Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang dianggap terkena angin ditetapkan sebesar prosentase tertentu terhadap luas sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup.

b. Gaya Akibat Perbedaan Suhu

Untuk menentukan besarnya gaya akibat perbedaan suhu dilakukan peninjauan terhadap timbulnya tegangan-tegangan struktural. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan bentuk akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan, baik yang menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Perbedaan suhu ditetapkan sesuai dengan data perkembangan suhu setempat.

c. Gaya Akibat Rangkak dan Susut

Pengaruh rangkak dan susut bahan beton terhadap suatu konstruksi harus ditinjau. Besarnya pengaruh rangkak dan susut tersebut apabila tidak ada ketentuan lain dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunnya suhu sebesar 15° C.

d. Gaya Rem

Peninjauan terhadap pengaruh gaya-gaya, dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem harus dilakukan. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5 % dari beban "D" tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada dalam satu jurusan. Gaya rem dapat dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1.80 m. diatas permukaan lantai kendaraan.

e. Gaya Akibat Gempa Bumi

Untuk perencanaan jembatan-jembatan yang akan dibangun pada daerah yang diperkirakan terdapat pengaruh-pengaruh gempa bumi, harus dilakukan dengan menghitung pengaruh-pengaruh gempa tersebut. Pengaruh-pengaruh gempa bumi pada suatu jembatan dihitung senilai dengan pengaruh gaya horizontal pada konstruksi akibat beban mati.

f. Gaya Gesekan Pada Tumpuan Bergerak

Jembatan harus ditinjau terhadap gaya yang timbul akibat adanya gesekan pada tumpuan bergerak. Gaya gesekan pada tumpuan yang bergerak ini timbul akibat adanya pemuaian dan penyusutan dari jembatan disebabkan perbedaan suhu dan akibat-akibat lainnya.

3. Metodologi

a. Data Teknis

Data-data jembatan ini adalah sebagai berikut :

- Konstruksi bangunan atas terbuat dari Balok komposit
- Jembatan kelas 1
- Bentang rencana 30 m
- Lebar jalur lalu lintas 6,5 m
- Lebar trotoar 2 x 0,75 m
- Tebal trotoar 25 cm
- Tebal lantai kendaraan 20 cm
- Tebal lapisan aspal 5 cm
- Mutu beton K-300
- Mutu baja B_j 50
- Panjang Abutment 10 m
- Lebar Abutment 3 m

b. Standar Perencanaan Jembatan

Peraturan – peraturan atau standar perencanaan jembatan, antara lain :

- Pedoman perencanaan pembebanan jembatan jalan raya (SKBI-1.3.28.1987)
- SNI T-15-1991-03
- SNI-1726-2002

4. Analisis dan Pembahasan

Gelagar konvensional tanpa *voute*

Berdasarkan analisa pembebanan digunakan profil **I-WF 912x302x18x34** mm dengan jumlah gelagar **Ng = 6 buah** dan jarak gelagar **S = 1,2 m** diperoleh gaya-gaya dalam maksimum yaitu momen lentur maksimum (M_{max}) dan gaya geser maksimum (D_{max}) masing-masing sebagai ditampilkan berikut :

Tabel 1. Moman lentur maksimum (M_{max})

INTERVAL			BEBAN PRIMER			BEBAN SEKUNDER	
			Beban Mati Primer M_{DL}	Beban Mati Sekunder M_{SDL}	Beban Hidup M_{LL+K}	Gaya Rem M_{Rm}	Gaya Gesek M_{Gg}
0,0 m	$\leq x \leq$	3,0 m	41,91 t.m	60,67 t.m	59,59 t.m	0,47 t.m	–
3,0 m	$\leq x \leq$	6,0 m	74,65 t.m	107,85 t.m	105,94 t.m	0,42 t.m	–
6,0 m	$\leq x \leq$	9,0 m	97,89 t.m	141,55 t.m	139,04 t.m	0,39 t.m	–
9,0 m	$\leq x \leq$	12 m	111,97 t.m	161,78 t.m	158,91 t.m	0,33 t.m	–
12 m	$\leq x \leq$	15 m	116,55 t.m	168,52 t.m	165,53 t.m	0,28 t.m	–

Tabel 2. Gaya geser maksimum (D_{max})

INTERVAL			BEBAN PRIMER			BEBAN SEKUNDER	
			Beban Mati Primer D_{DL}	Beban Mati Sekunder D_{SDL}	Beban Hidup D_{LL+K}	Gaya Rem D_{Rm}	Gaya Gesek D_{Gg}
0,0 m	$\leq x \leq$	3,0 m	15,603 ton	22,469 ton	22,070 ton	0,102 ton	–
3,0 m	$\leq x \leq$	6,0 m	12,441 ton	17,975 ton	18,311 ton	0,102 ton	–
6,0 m	$\leq x \leq$	9,0 m	9,383 ton	13,481 ton	14,551 ton	0,102 ton	–
9,0 m	$\leq x \leq$	12 m	6,220 ton	8,988 ton	10,792 ton	0,102 ton	–
12 m	$\leq x \leq$	15 m	3,163 ton	4,494 ton	7,032 ton	0,102 ton	–

Selanjutnya dilakukan analisis kuat lentur profil yang digunakan sesuai gaya-gaya dalam maksimum tersebut.

Kuat lentur nominal penampang gelagar baja komposit (M_n)

Gaya-gaya yang bekerja pada penampang komposit

Gaya tekan pada beton (C_c) = 5.100.000 N

Gaya tekan pada baja (C_s) = 4.595.600 N

Gaya tarik baja (T_s) = 9.695.600 N

Kuat Lentur Nominal Penampang Gelagar Baja Komposit

$$M_n = (C_c \times d_1) + (C_s \times d_2)$$

dimana :

$$d_1 = h + t_v + (h_p/2) - y'$$

$$= 843,123 \text{ mm}$$

$$d_2 = h - (d_f/2) - y'$$

$$= 644,101 \text{ mm}$$

Maka

$$M_n = 7259956576,2 \text{ Nmm}$$

$$M_n = 7259,96 \text{ kN.m}$$

Kuat lentur rencana penampang gelagar baja komposit ($f M_n$)

$$f M_n = 0,85 M_n$$

$$f M_n = 6170,96 \text{ kN.m}$$

Momen lentur ultimit gelagar baja komposit (M_u)

Momen lentur maksimum akibat beban yang bekerja

$$\text{Akibat beban mati primer } (M_{DL}) = 1165,55 \text{ kN.m}$$

$$\text{Akibat beban mati sekunder } (M_{SDL}) = 1685,16 \text{ kN.m}$$

$$\text{Akibat beban hidup } (M_{LL}) = 1655,28 \text{ kN.m}$$

Momen lentur akibat beban yang bekerja

$$M_{u1} = 1,4 (M_{DL} + M_{SDL})$$

$$= 3990,98 \text{ kN.m}$$

$$M_{u2} = 1,2 (M_{DL} + M_{SDL}) + 1,6 M_{LL}$$

$$= 6069,30 \text{ kN.m}$$

Momen lentur ultimit pada gelagar baja komposit

$$M_u = 6069,30 \text{ kN.m}$$

Pemeriksaan kapasitas penampang gelagar baja komposit terhadap beban yang bekerja

$$f M_n \geq M_u$$

$$6170,96 \text{ kN.m} \geq 6069,30 \text{ kN.m}$$

Perhitungan yang sama selanjutnya dilakukan terhadap *type-type* gelagar :

- Gelagar konvensional dengan *voute*
- Gelagar *castella* tanpa *voute*
- Gelagar *castella* dengan *voute*

Setelah dilakukan analisis dan desain masing-masing, hasilnya secara ringkas diperlihatkan sebagaimana resume hasil perhitungan sebagai berikut.

Tabel 3. Resume hasil perhitungan desain

Model	Sket	Dimensi Profil Baja	Jarak Gelagar (S)	Jumlah Gelagar	Keterangan
Gelagar Jembatan Baja dengan <i>Voute</i> (tv)		IWF 912.302.18.34	1,2 m	6 buah	Jumlah gelagar baja konvensional yang menggunakan <i>Voute</i> (tv) lebih sedikit dibandingkan tanpa menggunakan <i>Voute</i> (tv).
Gelagar Jembatan Baja tanpa <i>Voute</i> (tv)		IWF 912.302.18.34	1,1 m	7 buah	Jumlah gelagar baja castella yang menggunakan <i>Voute</i> (tv) lebih sedikit dibandingkan tanpa menggunakan <i>Voute</i> (tv). Dimensi profil gelagar baja castella lebih kecil dari pada gelagar konvensional.
Gelagar Jembatan Baja Castella dengan <i>Voute</i> (tv)		IWF 700.300.13.24	1,2 m	6 buah	Untuk menghemat penggunaan material, pilihan yang paling ekonomis untuk jembatan komposit bentang 30 m dapat di pakai gelagar castella IWF 700.300.13.24 dengan menggunakan <i>Voute</i> (tv) 8 cm.
Gelagar Jembatan Baja Castella tanpa <i>Voute</i> (tv)		IWF 700.300.13.24	1,1 m	7 buah	

5. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Perencanaan jembatan komposit bentang 30 m dengan beberapa variasi gelagar disimpulkan sebagai berikut :

1. Gelagar jembatan baja yang menggunakan *voute* (tv), dapat digunakan profil baja IWF 912.302.18.34 dengan jarak gelagar 1,2 m sebanyak 6 buah.
2. Gelagar jembatan baja yang tidak menggunakan *voute* (tv), dapat digunakan profil baja IWF 912.302.18.34 dengan jarak gelagar 1,1 m sebanyak 7 buah.
3. Gelagar jembatan baja castella yang menggunakan *voute* (tv), dapat digunakan profil baja IWF 700.300.13.24 dengan jarak gelagar 1,2 m sebanyak 6 buah..
4. Gelagar jembatan baja castella yang tidak menggunakan *voute* (tv), dapat digunakan profil baja IWF 700.300.13.24 dengan jarak gelagar 1,1 m sebanyak 7 buah.
5. Pada gelagar baja konvensional maupun *castella*, jumlah gelagar akan lebih sedikit jika menggunakan *voute*.
6. Dimensi gelagar yang menggunakan metode *castella* lebih kecil dari gelagar konvensional.

b. Saran

1. Untuk efisiensi biaya pada jembatan komposit bentang 30 m sangat direkomendasikan penggunaan gelagar *castella*.
2. Pada saat penyambungan gelagar *castella* harus dilakukan dengan ketelitian dan mutu las yang baik.

Daftar Pustaka

- Bowless, Joseph. E. 1985. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid I*. Jakarta : Penerbit Erlangga
- Departemen Pekerjaan Umum. SKBI. 1.3.28. 1987., *Pedoman Pembebanan Perencanaan Jembatan Jalan Raya*.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI) N.I. -2*.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan. BMS-7, Bagian 6. Analisis struktur*.
- Rudy Gunawan,Ir. 1987. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta : Penerbit Kanisius
- Sunggono.Kh,Ir. 1995. *Buku Teknik Sipil*. Bandung : Penerbit NOVA.
- Suharyanto. 2000. *Stabilitas Balok dan Kolom Baja Tampang I Terhadap Buckling - Makalah Seminar Nasional Konstruksi Baja Indonesia Pada Millenium Ke-3*, Janabadra, Yogyakarta.