

Analisis Perbandingan Perancangan Struktur Atas Jembatan Dengan Steel Girder Dan Reinforced Concrete Girder

Muhammad Jazir Alkas¹⁾, Indra Ariani¹⁾, Sindy Auriandy¹⁾

¹⁾ Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
E-mail: auriandysindy@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan kayu yang berada di Desa Kedang Ipil, Kabupaten Kutai Kartanegara, saat ini telah mengalami penurunan kondisi dan tidak lagi memadai untuk dilalui kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan penggantian struktur jembatan menjadi tipe gelagar yang lebih kuat dan andal. Di Indonesia, jenis gelagar yang umum di aplikasikan adalah gelagar baja (*steel girder*) dan gelagar beton bertulang (*reinforced concrete girder*). Riset ini difokuskan untuk membandingkan perancangan bangunan atas dari jembatan dengan menggunakan kedua jenis gelagar tersebut. Perbandingan dilakukan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu kekuatan struktur, anggaran biaya, dan durasi pelaksanaan pekerjaan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil dari segi ketahanan struktur, *RC girder* memiliki momen nominal 34% lebih besar dari *steel girder* sehingga lendutan yang dihasilkan oleh *RC Girder* lebih kecil. Namun, untuk gaya geser nominal, *steel girder* didapat 76,4% lebih besar dari *RC girder*. Dari segi anggaran biaya, berdasarkan harga satuan Kabupaten Kutai Kartanegara tahun 2024, *RC girder* lebih efisien dibandingkan dengan *steel girder* dengan selisih biaya sebesar Rp1.223.138.955,4 dan tingkat efisiensi sebesar 40,68%. Sebaliknya, dari segi durasi pekerjaan *steel girder* lebih cepat pengerjaannya dibanding *RC girder* dengan selisih durasi selama 16 hari dan efisiensi sebesar 23,5%. Berdasarkan hasil evaluasi, *RC girder* lebih disarankan karena lebih kuat, lebih ekonomis, dan memiliki lendutan yang lebih kecil, meskipun waktu pengerjaannya lebih lama dibandingkan *steel girder*.

Kata Kunci: jembatan, gelagar, struktur, gelagar baja, gelagar beton bertulang,

ABSTRACT

The wooden bridge located in Kedang Ipil Village, Kutai Kartanegara, has deteriorated and is no longer adequate for vehicular traffic. Hence, it is essential to replace the present structure with a girder-type bridge that is more robust and dependable.. In Indonesia, the most commonly implemented girder types are steel girders and reinforced concrete (RC) girders. This study focuses on comparing the superstructure design of bridges using these two types of girders. The comparison is conducted based on three main aspects: structural strength, cost, and construction duration. The results indicate that in terms of structural capacity, the RC girder exhibits a nominal moment 34% higher than the steel girder, resulting in smaller deflection. However, for nominal shear forces, the steel girder demonstrates 76.4% higher values than the RC girder. Regarding costs, based on the 2024 unit prices in Kutai Kartanegara Regency, the RC girder proves to be more economical than the steel girder, with a cost difference of IDR 1,223,138,955.4 and an efficiency rate of 40.68%. Conversely, in terms of construction duration, the steel girder can be completed faster than the RC girder, with a time saving of 16 days and an efficiency of 23.5%. Based on these evaluations, the RC girder is recommended due to its higher strength, lower deflection, and greater cost efficiency, despite requiring a longer construction period compared to the steel girder.

Keyword: bridge, girder, structure, steel girder, reinforced concrete girder

1. Pendahuluan

Pada era perkembangan teknologi dan mobilitas yang pesat, setiap wilayah melakukan pembangunan dan perubahan terus menerus untuk meningkatkan kualitas sarana dan prasarana masyarakat. Dalam sistem transportasi, pembangunan jembatan memegang peranan yang signifikan. Jembatan berperan sebagai penghubung utama yang memungkinkan aktivitas perpindahan orang, barang, maupun kendaraan lintas wilayah. Perencanaan konstruksi jembatan sangat krusial untuk memastikan keamanan dan kelangsungan fungsi infrastruktur, terutama dengan adanya perubahan pola aktivitas dan struktur kota pertambahan jumlah penduduk, dan peningkatan kegiatan ekonomi di wilayah terkait (Widiyanto, 2024). Saat ini, jembatan mengalami perkembangan yang signifikan, mulai dari desain yang sederhana hingga struktur

yang kompleks, dengan material yang beragam seperti bambu, kayu, beton, hingga baja (Alfarisi & Rahayu, 2020).

Metode LRFD (*Load Resistance Factored Design*) telah menjadi acuan dalam perencanaan teknik jembatan di Indonesia sejak pengesahan BMS Peraturan Teknik Jembatan pada 1992 (Departemen Pekerjaan Umum, 2021). Metode LRFD merupakan pendekatan perencanaan yang mempertimbangkan kondisi batas secara eksplisit, dengan memasukkan berbagai faktor beban dan faktor resistensi. Faktor resistensi berfungsi untuk mengantisipasi potensi penurunan kapasitas struktur, sementara faktor beban berfungsi mengakomodasi po-tensi kelebihan beban, yang dirumuskan dalam bentuk $\varphi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i$ (Giatmajaya et al., 2020).

Penggunaan konstruksi jembatan kayu di Indonesia semakin menurun, Namun demikian, kayu masih digunakan pada beberapa pembangunan jembatan baru. Meskipun begitu, secara umum konstruksi kayu telah banyak digantikan oleh beton dan baja (Nikmah & Pamadi, 2023). Dalam merencanakan pembangunan jembatan, efektivitas dan efisiensi harus menjadi perhatian utama supaya jembatan yang dibangun mampu memenuhi standar keamanan dan kenyamanan pengguna (Yatnikasari et al., 2021). Sama halnya dengan jembatan kayu di Desa Kedang Ibil, Kabupaten Kutai Kartanegara. Pembangunan jembatan ini dilakukan sebagai pengganti jembatan lama yang kondisinya sudah mengalami kerusakan, kemiringan, serta tidak lagi berfungsi dengan baik (Firmansyah, 2023). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perancangan struktur atas jembatan dengan *steel girder* dan *reinforced concrete (RC) girder* untuk menentukan rekomendasi jenis gelagar yang lebih tepat apabila diaplikasikan di lapangan baik dari segi kekuatan struktur, anggaran biaya dan durasi pekerjaan.

2. Metode Penelitian

Sumber data dalam perencanaan ini meliputi data bentang jembatan, data pembebahan jembatan, dan rincian harga upah, bahan material dan alat berat. Perhitungan struktur atas jembatan dilakukan dengan menggunakan standar Panduan Praktis Perencanaan Jembatan Tahun 2021.

Perencanaan struktur atas jembatan baik dengan *steel girder* dan *reinforced concrete (RC) girder* dimulai dengan *preliminary design* gelagar, perhitungan pembebahan, analisa struktur gelagar, perhitungan diafragma dan sambungan. Setelah hasil perencanaan struktur atas didapatkan, akan dilanjut dengan perhitungan rencana anggaran biaya dan durasi di lapangan.

A. Preliminary Design

Preliminary design gelagar (Departemen Pekerjaan Umum, 2021) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Tabel 1. Pemilihan Desain Gelagar

Bahan	Struktur Atas	Tinggi minimum (Termasuk pelat lantai)	
		Bentang sederhana	Bentang menerus
Beton Bertulang	Pelat lantai dengan tulangan utama sejajar dengan lalu lintas	1,2 (S + 3000)/30	(S + 3000)/30 ≥ 165 mm
	Gelagar T	0,070 L	0,065 L
	Gelagar boks	0,060 L	0,055 L
Beton pratekan	Struktur gelagar untuk pedestrian	0,035 L	0,033 L
	Pelat lantai	0,030 L ≥ 165 mm	0,027L ≥ 165 mm
	Gelagar boks cor ditempat	0,045 L	0,040 L
Baja	Gelagar I pracetak	0,045 L	0,040 L
	Struktur gelagar untuk pejalan kaki	0,033 L	0,030 L
	Gelagar boks berdekatan	0,030 L	0,025 L
	Tinggi total gelagar I komposit	0,040 L	0,032 L
	Tinggi gelagar bagian dari gelagar I komposit	0,033 L	0,027 L ≥ 165 mm
	Rangka baja	0,100 L	0,100 L

B. Pembebanan Jembatan

Pada perhitungan pembebanan, jenis beban yang diperhitungkan meliputi beban mati struktur, beban mati tambahan, beban lajur/beban truk, beban pedestrian, beban rem, dan beban angin kendaraan. Dari beban tersebut, akan dihitung momen dan gaya geser dengan kombinasi pembebanan sesuai seperti pada Tabel 2 (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Tabel 2. Kombinasi Pembebanan

Keadaan Batas	MS	TT	Gunakan salah satu									
	MA	TD	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	EQ	TC	TV
	TA	TB	PR	TR	PL	TP	SH					
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Output dari *preliminary design* serta analisis pembebanan jembatan kemudian dijadikan sebagai data input untuk pemodelan jembatan pada perangkat lunak SAP2000 (Ridwan & Umroniah, 2023).

C. Kontrol Gelagar

Hasil pemodelan jembatan kemudian digunakan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap beban rencana dan menghitung besarnya kapasitas kekuatan serta berat gelagar (Ridwan & Umroniah, 2023). Dalam hal ini, akan didapatkan momen dan gaya geser nominal serta deformasi dan nilai camber masing masing gelagar yang akan menjadi pembanding dari aspek kekuatan struktur.

Untuk *steel girder*, kontrol gelagar akan di bagi menjadi 3 tahap yaitu tahap konstruksi, batas layan dan batas kuat. Momen dan gaya geser nominal *steel girder* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$M_n = M_p \left(1,07 - 0,7 \left(\frac{D_p}{D_t} \right) \right) \quad (1)$$

$$V_n = C \cdot 0,58 F_{yw} D t_w \quad (2)$$

Dengan : M_n = momen nominal (kNm), M_p = momen plastis (kNm), D_p = jarak dari sisi atas pelat beton ke sumbu netral penampang komposit pada momen plastis (mm), D_t = ketinggian seluruh elemen komposit (mm), V_n = gaya geser nominal (kN), C = rasio tahanan tekuk geser terhadap tahanan leleh geser, F_{yw} = tegangan leleh baja profil (MPa), D = tinggi pelat badan (mm), t_w = tebal pelat badan (mm).

Sedangkan, untuk *RC girder*, kontrol gelagar dilakukan pemeriksaan tulangan lentur, tulangan geser, dan tulangan torsi. Momen dan gaya geser nominal *RC girder* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$M_n = A_{stotal} f_y \left(d_e - \frac{a}{2} \right) \quad (3)$$

$$V_n = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b_w d_e + \frac{A_v f_y d_e}{s} \quad (4)$$

Dengan : A_{stotal} = luas tulangan lentur total (mm^2), f_y = kuat leleh baja tulangan (MPa), d_e = tinggi efektif (mm), a = tinggi blok tekan (mm), f_c' = kuat tekan beton (MPa), b_w = lebar badan (mm), A_v = area tulangan geser (mm^2), s = spasi tulangan geser (mm).

Setelah dilakukan pemeriksaan pada masing gelagar, maka dilanjutkan dengan pemeriksaan *camber* dan deformasi. Pemberian camber pada jembatan tidak hanya akan berpengaruh terhadap nilai lendutan yang terjadi, namun juga pada perilaku jembatan (Wusqo & Saputra, 2023). Nilai camber ditentukan berdasarkan deformasi maksimum yang terjadi secara langsung maupun deformasi jangka panjang akibat beban mati. Sedangkan, untuk pemeriksaan deformasi akan ditentukan oleh nilai beban hidup terbesar dari beban truk sendiri dan 25% beban truk ditambah dengan beban lajur.

D. Sambungan dan Diafragma

Setelah gelagar dinyatakan aman terhadap beban yang direncanakan, maka dapat dilanjut ke perencanaan diafragma, sambungan dan elastomer. Khusus *steel girder*, sambungan yang dimaksud berupa sambungan baut gelagar – gelagar dan gelagar – diafragma. Adapun pada *steel girder* perlu direncanakan *shear connector* antara profil baja dan pelat beton diatasnya sebagai penyalur aksi komposit. Untuk menambah kekangan pada gelagar, maka akan dipasang pula pengaku transversal di sisi kiri dan kanan gelagar. Selanjutnya, seluruh hasil perencanaan akan di visualisasikan dalam bentuk gambar rencana untuk dilakukan pembuatan rencana anggaran biaya dan durasi pekerjaan.

E. Rencana Anggaran Biaya

Dalam pembuatan rencana anggaran biaya diawali dengan mempersiapkan gambar kerja untuk menentukan berbagai jenis pekerjaan, dilanjutkan dengan mengkalkulasi volume pekerjaan, mempersiapkan rincian harga upah, bahan, dan peralatan, membuat Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), menentukan jumlah keseluruhan rencana anggaran pekerjaan dan membuat rekapitulasi biaya secara menyeluruh. (Pesiwarissa et al., 2022). Analisa Harga Satuan Pekerjaan yang digunakan adalah AHSP Bina Marga Tahun 2022. Sedangkan, untuk standar harga satuan yang digunakan adalah SSH Kutai Kartanegara tahun 2024.

Tahap berikutnya adalah perhitungan durasi pekerjaan. Dalam penyusunan rencana waktu dan penentuan kebutuhan tenaga kerja, Analisa Harga Satuan dijadikan acuan. Oleh karena itu, perhitungan durasi pekerjaan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{k \times V}{N} \quad (5)$$

Dengan T adalah periode pelaksanaan pekerjaan, k adalah koefisien produktivitas tenaga kerja, V adalah volume pekerjaan, dan N adalah jumlah tenaga kerja (Mandela & Sitepu, 2023).

3. Hasil dan Pembahasan

Jembatan ini dirancang sebagai jembatan gelagar dengan bentang 20 m, lebar keseluruhan 7,5 m, jalur lalu lintas masing-masing 3 m untuk dua lajur, trotoar 0,75 m untuk kedua sisi, pelat lantai setebal 25 cm, dan aspal setebal 4 cm. Sebelum merencanakan gelagar, akan dilakukan perencanaan railing, trotoar, dan pelat lantai.

A. Railing dan Trotoar

Railing terdiri atas dua komponen utama: pipa sandaran (*railing pipe*) dan tiang sandaran (*rail post*), yang masing-masing memiliki peran struktural maupun keselamatan pengguna jembatan (Jatoeb et al., 2019). Untuk tiang sandaran digunakan 15 x 15 x 90 cm dengan jarak tiang 1,2 m. Sedangkan untuk pipa *railing*, digunakan pipa galvanis 3". Trotoar direncanakan berupa blok beton normal mutu 15 MPa dengan lebar 750 mm dan tebal 200 mm.

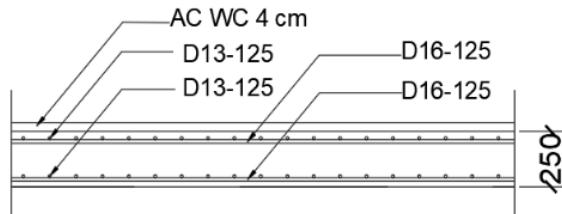
B. Pelat Lantai

Pelat lantai direncanakan sebagai pelat satu arah dimana ($L_y/L_x = 3,33 > 2$) dengan data sebagai berikut:

Tebal pelat	= 25 cm
Mutu Beton	= 29,05 Mpa
Mutu Baja	= BJTS 420

Tulangan lentur = D16-125 ($A_s = 1608 \text{ mm}^2 > A_{\text{sperlu}} = 795 \text{ mm}^2$)

Tulangan susut = D13-125 ($A_s = 1061 \text{ mm}^2 > A_{\text{sperlu}} = 533 \text{ mm}^2$)

**Gambar 1.** Penulangan Pelat Lantai

Pelat lantai perlu dilakukan beberapa kontrol untuk memastikan apakah pelat lantai aman digunakan atau tidak. Adapun hasil kontrol pelat lantai dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Kontrol lendutan pada pelat lantai:

$$\Delta_{slab} = 0,25 \text{ mm} < \frac{L_x}{240} = 5 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

2. Kontrol geser pons:

$$V_u = LF(1 + FBD) \cdot TT = 263 \text{ kN} \leq V_r = \phi_v (0,33 \cdot \sqrt{f'_c} U \cdot d) = 1082 \text{ kN} \text{ (Memenuhi)}$$

C. Perencanaan Steel Girder

Tipe *Steel girder* yang digunakan adalah gelagar jenis *I-girder*. Struktur gelagar didesain sebagai sistem komposit yang menggabungkan gelagar baja dengan pelat beton. Berdasarkan Tabel 1, Perhitungan tinggi minimum gelagar baja I komposit dengan bentang sederhana ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h_{min} = 0,033 \cdot L_b = 660 \text{ mm} \sim 800 \text{ mm}$$

Maka digunakan profil I 800.300.14.26 dengan mutu baja ASTM A572 Grade 42 ($f_y = 290 \text{ MPa}$ dan $f_u = 415 \text{ MPa}$)

Cross section properties gelagar I dihitung sebelum komposit, *short term composite*, dan *long term composite*. Data penampang gelagar yang dianalisis meliputi titik berat, momen inersia dan modulus penampang elastis.

Tabel 3 Cross Section Properties

Tahap	Titik Berat (mm)	Inersia Penampang (mm ⁴)	Modulus Elastis Penampang
			(mm ³)
Konstruksi	400	2.825.535.691	7.063.839
Short Term Composite	342	8.713.991.389	12.305.300
Long Term Composite	481	5.260.466.813	9.249.213

Selanjutnya, dilakukan analisa gaya dalam yang diawali dengan memodelkan struktur sebagai balok profil dengan 2 tumpuan sederhana (sendi rol) serta dilengkapi dengan pengikat diafragma. Menggunakan 12 kombinasi pembebahan dari SNI 1725:2016, maka di dapatkan momen dan gaya geser ultimit gelagar sebagai berikut.

$$M_u \text{ (Interior)} = 2936 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ (Interior)} = 468 \text{ kN}$$

$$M_u \text{ (Eksterior)} = 2343 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ (Eksterior)} = 409 \text{ kN}$$

Setelah didapatkan gaya dalam ultimitnya, maka dilakukan pemeriksaan komponen gelagar yang dibagi menjadi 3 tahap :

1. Tahap Konstruksi

Tahap ini meliputi pemeriksaan gelagar terhadap kombinasi beban mati, yang terdiri atas beban pelat beton basah dan berat sendiri baja. Hasil pemeriksaan gelagar pada tahap konstruksi diuraikan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 4. Kontrol Gelagar Baja Interior Tahap Konstruksi

Pemeriksaan	Pelat Sayap Atas	Pelat Sayap Bawah	Pelat Badan
Tahanan Nominal Leleh	$f_{bu1} \leq \varphi_f \cdot R_h \cdot f_y$ 73,42 MPa ≤ 261 MPa (Memenuhi)	$f_{bu2} \leq \varphi_f \cdot R_h \cdot f_y$ 73,42 MPa ≤ 261 MPa (Memenuhi)	-
Tahanan Lentur	$f_{bu1} \leq \text{Min } (\varphi \cdot F_{ncLB}, \varphi \cdot F_{ncLTB})$ 73,42 MPa ≤ 229,3 MPa (Memenuhi)	$\sigma_u \leq \text{Min } ((0,9 \cdot E_s \cdot k / (D/t_w)^2, R_h \cdot F_{yc}, F_{yw}/0,7))$ 73,42 MPa ≤ 261 MPa (Memenuhi)	
Gaya Geser Nominal		$V_u \leq \varphi V_n$ 468 kN ≤ 1761 kN (Memenuhi)	

Tabel 5. Kontrol Gelagar Baja Eksterior Tahap Konstruksi

Pemeriksaan	Pelat Sayap Atas	Pelat Sayap Bawah	Pelat Badan
Tahanan Nominal Leleh	$f_{bu1} \leq \varphi_f \cdot R_h \cdot f_y$ 112,34 MPa ≤ 261 MPa (Memenuhi)	$f_{bu2} \leq \varphi_f \cdot R_h \cdot f_y$ 112,34 MPa ≤ 261 MPa (Memenuhi)	-
Tahanan Lentur	$f_{bu1} \leq \text{Min } (\varphi \cdot F_{ncLB}, \varphi \cdot F_{ncLTB})$ 112,34 MPa ≤ 229,3 MPa (Memenuhi)	$f_{bu2} \leq \varphi_f \cdot R_h \cdot f_y$ 112,34 MPa ≤ 261 MPa (Memenuhi)	$\sigma_u \leq \text{Min } ((0,9 \cdot E_s \cdot k / (D/t_w)^2, R_h \cdot F_{yc}, F_{yw}/0,7))$ 112,34 MPa ≤ 261 MPa (Memenuhi)
Gaya Geser Nominal		$V_u \leq \varphi V_n$ 409 kN ≤ 1761 kN (Memenuhi)	

2. Batas Layan

Pada tahap ini, gelagar telah berfungsi sebagai komposit dan diasumsikan menerima beban transien seperti kendaraan. Pemeriksaan batas layan diuraikan pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

Tabel 6. Kontrol Gelagar Baja Interior Batas Layan

Pemeriksaan	Pelat Sayap Atas	Pelat Sayap Bawah	Pelat Badan
Tegangan Komposit	$f_{bu1} \leq 0,95 \cdot R_h \cdot f_{yc}$ 87,5 MPa ≤ 275,5 MPa (Memenuhi)	$f_{bu2} \leq 0,95 \cdot R_h \cdot f_{yt}$ 207,8 MPa ≤ 275,5 MPa (Memenuhi)	$f_{bu_web} \leq F_{crwb}$ 77,9 MPa ≤ 290 MPa (Memenuhi)

Tabel 7. Kontrol Gelagar Baja Eksterior Batas Layan

Pemeriksaan	Pelat Sayap Atas	Pelat Sayap Bawah	Pelat Badan
Tegangan Komposit	$f_{bu1} \leq 0,95 \cdot R_h \cdot f_{yc}$ 112,54 MPa ≤ 275,5 MPa (Memenuhi)	$f_{bu2} \leq 0,95 \cdot R_h \cdot f_{yt}$ 172,9 MPa ≤ 275,5 MPa (Memenuhi)	$f_{bu_web} \leq F_{crwb}$ 103,27 MPa ≤ 290 MPa (Memenuhi)

3. Batas Kuat

Pada tahap ini, gelagar komposit diasumsikan menerima beban permanen sepenuhnya, termasuk efek rangkak dan susut beton. Pada batas kuat, akan dihitung kapasitas momen dan gaya geser nominal gelagar dengan persamaan:

$$M_n = M_p \left(1,07 - 0,7 \cdot \frac{D_p}{D_t} \right) = 3643,8 \text{ kNm}$$

$$\emptyset M_n = 0,9 \cdot 3653,8 = 3279,5 \text{ kNm} > 2936 \text{ kNm (Interior)} ; 2342,6 \text{ kNm (Eksterior)} \text{ (Memenuhi)}$$

$$\phi V_n = \phi C \cdot V_p = \phi C \cdot (0,58 \cdot F_y D \cdot t_w) = 1.1 \cdot (0,58 \cdot 290 \cdot 748 \cdot 14) = 1761,4 \text{ kN} > 468 \text{ kN (\text{Interior})}$$

; 409 kN (\text{Eksterior}) (**Memenuhi**)

Pemeriksaan deformasi diambil nilai terbesar akibat beban hidup berupa beban truk dan beban lajur. Maka didapat deformasi akibat kedua jenis beban hidup pada gelagar interior dan eksterior berturut turut sebesar 23,34 mm dan 18,7 mm dimana lebih kecil dari deformasi ijinnya (Δ_{ijin}) = L/800 = 25 mm.

Sedangkan, pemeriksaan *camber* diambil nilai terbesar akibat beban mati dengan inersia komposit dan inersia bruto. Maka didapat *camber* dari kedua kondisi tersebut yaitu 40,82 mm untuk gelagar interior dan 56,23 mm untuk gelagar eksterior.

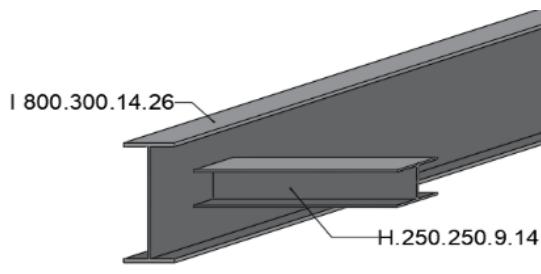
D. Perencanaan Diafragma Baja

Pada jembatan dengan gelagar komposit, diafragma berperan untuk memperpendek gelagar pada arah y, dan umumnya analisis jembatan dilakukan dalam dua dimensi (2D) di mana diafragma berfungsi sebagai pengaku melintang serta diperlakukan seperti balok konvensional (Selfas et al., 2018). Adapun data diafragma yang diaplikasikan adalah sebagai berikut.

Profil = H 250.250.9.14

Mutu baja (f_y) = ASTM A572 Grade 42 ($f_y = 290 \text{ MPa}$, $f_u = 415 \text{ MPa}$)

Jarak diafragma = 3,84 m



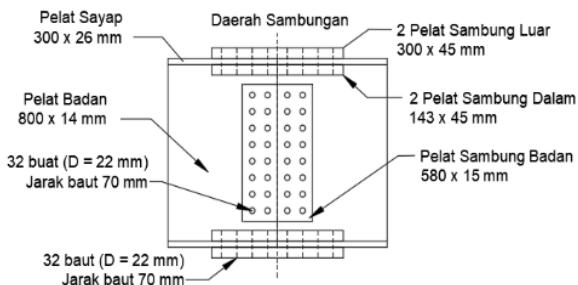
Gambar 2. Diafragma Baja

E. Perencanaan Sambungan Baut

Sambungan baut dipasang di 2 lokasi yaitu sambungan antara gelagar – gelagar dan gelagar – diafragma.

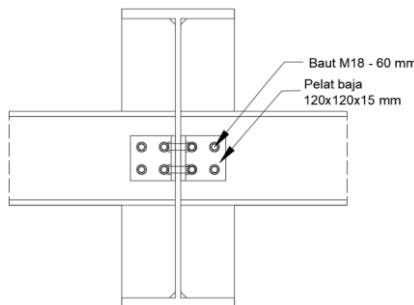
1) Sambungan gelagar – gelagar

Diameter baut	= 22 mm
Jumlah baut pada sayap dan badan	= 32 baut
Tegangan ultimate baut	= 830 Mpa
Tegangan leleh pelat baja	= 290 Mpa
Tegangan ultimit pelat baja	= 415 MPa
Dimensi pelat sambung sayap luar	= 600 x 300 x 45 mm
Dimensi pelat sambung sayap dalam	= 600 x 143 x 45 mm
Dimensi pelat sambung badan	= 580 x 320 x 15 mm

**Gambar 3** Detail Sambungan Gelagar – Gelagar

2) Sambungan gelagar – diafragma

Diameter baut	= 18 mm
Jumlah baut	= 4 baut
Dimensi pelat	= L 120.120.15
Mutu baut	= A325
Tegangan ultimit baut	= 830 Mpa

**Gambar 4** Detail Sambungan Gelagar – Diafragma

F. Perencanaan Shear Connector

Dalam perencanaan *stud connector*, diameter yang digunakan adalah 22 mm dengan tinggi 100 mm. Berdasarkan peraturan AASHTO LRFD, tahanan geser nominal dapat dihitung dengan mengambil nilai terkecil dari kedua persamaan ini:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \sqrt{f'_c} E_c = 163047,4 \text{ N}$$

$$A_s F_u = 159655,7 \text{ N}$$

Digunakan tahanan nominal angkur sebesar 159655,7 N. Dengan gaya longitudinal $P_{sc} = 7407750 \text{ N}$, didapat jumlah angkur baja sepanjang gelagar sebanyak:

$$N = 2 \cdot \frac{P_{sc}}{Q_n} = 109,17 \text{ buah}$$

Jarak longitudinal untuk 1 buah *stud connector* yang dipasang tiap penampang melintang dihitung sebagai berikut.

$$S_{sc} = \frac{L_b}{n_{row}} = 366,39 \text{ mm}$$

Diambil jarak longitudinal sepanjang 150 mm.

G. Perencanaan Pengaku Transversal

Pengaku direncanakan berada di kiri dan kanan pelat badan gelagar dengan dimensi 748 x 143 x 15 mm. Jarak antar pengaku dipasang sebesar 1 meter ke arah memanjang.

H. Perencanaan Reinforced Concrete Girder

Tipe *RC girder* yang digunakan adalah gelagar jenis *T-girder*. Untuk pemilihan dimensi, penampang gelagar ditentukan pada Tabel 1. dengan tipe struktur gelagat T bentang sederhana yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$h_{min} = 0,07 L_B = 1400 \text{ mm}$$

Maka, digunakan profil gelagar T berdimensi 500 x 1400 mm dengan mutu beton 29,05 MPa dan mutu tulangan BJTS 420.

Selanjutnya, dilakukan analisa gaya dalam yang diawali dengan memodelkan struktur sebagai balok menerus dengan 2 tumpuan sederhana (sendi rol). Menggunakan 12 kombinasi pembebaan dari SNI 1725:2016, maka dapatkan momen dan gaya geser ultimit gelagar sebagai berikut.

$$M_u (\text{Interior}) = 3767 \text{ kNm}$$

$$V_u (\text{Interior}) = 633 \text{ kN}$$

$$M_u (\text{Eksterior}) = 3230 \text{ kNm}$$

$$V_u (\text{Eksterior}) = 586 \text{ kN}$$

Setelah di dapat gaya dalam ultimitnya, maka dapat dilakukan perencanaan tulangan dengan data tulangan sebagai berikut:

$$\text{Dimensi tulangan pokok} = 29 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi tulangan geser} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi tulangan pembagi} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor koreksi momen lentur} = 0,9$$

$$\text{Faktor koreksi gaya geser} = 0,75$$

Tulangan lentur direncanakan dalam beberapa tahap sebagai berikut.

- 1) Tinggi efektif

$$d_e = h - d_c - D_s - \frac{D}{2} = 1323 \text{ mm}$$

- 2) Luas tulangan perlu

$$A_{sreq} = \frac{M_u}{\phi_f \cdot f_y \cdot 0,85 \cdot d_e} = 8865 \text{ mm}^2 (\text{Interior}); 7602 \text{ mm}^2 (\text{eksterior})$$

- 3) Luas satu tulangan perlu

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 660,5 \text{ mm}^2$$

- 4) Kebutuhan tulangan tarik

$$n_{tulangan} = \frac{A_{sreq}}{A_s} = 13,4 \text{ buah} (\text{Interior}); 11,2 \text{ buah} (\text{eksterior}) \\ \sim \text{digunakan } 14 \text{ tulangan.}$$

- 5) Luas tulangan total

$$A_{stotal} = n_{tulangan} \cdot A_s = 9247 \text{ mm}^2$$

- 6) Menentukan tinggi blok tegangan tekan

$$a_{trial} = \frac{A_{stotal} \cdot f_y}{(0,85 \cdot f'_c b_{ef})} = 131 \text{ mm}$$

- 7) Menentukan kapasitas momen nominal penampang terfaktor ($\phi f \cdot M_n$)

$$M_n = A_{stotal} \cdot f_y \left(d_e - \frac{a_{trial}}{2} \right) = 4393 \text{ kNm}$$

- 8) Menentukan dimensi tulangan tekan

Luas tulangan tekan perlu didapat dari persamaan :

$$A'_{sperlu} = \frac{(1,2 M_{cr}; 1,33 M_u)}{\phi_f \cdot f_y \cdot 0,85 \cdot d_e} \text{ dengan}$$

$$M_{cr} = 0,75 \cdot 1,6 \cdot f_r \cdot \frac{l_g}{y_t} = 808 \text{ kNm}, \text{ maka didapat:}$$

$$A'_{sperlu} = 2280 \text{ mm}^2$$

$$n'_{tulangan} = (A'_{sperlu}) / A_s = 3,45 \text{ buah} \sim \text{digunakan } 4 \text{ tulangan.}$$

Oleh karena itu digunakan tulangan tarik 14D29 dan tulangan tekan 4D29.

Dikarenakan jarak antara tulangan tarik dan tekan lebih dari 30 cm, maka diperlukan tulangan pembagi. Dengan mutu baja lebih yang digunakan lebih dari 400 MPa, maka digunakan persamaan luas tulangan susut:

$$A_s = \frac{0,0018 \cdot b \cdot h \cdot f_y}{420} = \frac{0,0018 \cdot 500 \cdot 1400}{420} = 1200 \text{ mm}^2.$$

Oleh karena itu, digunakan tulangan susut 6D19 dengan luas tulangan $1701 \text{ mm}^2 > 1200 \text{ mm}^2$.

Tulangan geser perlu dipasang karena $V_u = 633 \text{ kN}$ (Interior) ; 586 kN (eksterior) $> 0,5 \cdot \phi_v \cdot V_c = 222,75 \text{ kN}$. Tulangan geser dipasang dengan jarak 200 mm kearah memanjang. Perencanaan tulangan geser dapat dilakukan dalam beberapa tahap sebagai berikut.

- 1) Luas tulangan sengkang

$$A_v = 2 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_s^2 \right) = 265,46 \text{ mm}^2$$

- 2) Kekuatan geser tulangan

$$V_s = \frac{A_v f_y d_e}{s} = 737,26 \text{ kN}$$

- 3) Kekuatan geser nominal

$$V_{n1} = V_c + V_s = 1331,3 \text{ kN}$$

$$V_{n2} = 0,25 \cdot f'_c b_w d_e = 4802,3 \text{ kN}$$

Dipilih kuat geser nominal terkecil dari kedua persamaan diatas yaitu 1331,3 kN.

- 4) Tahanan geser terfaktor

$$V_r = \phi_v V_n = 993,45 \text{ kN} > V_u = 633 \text{ kN} (\text{Interior}) ; 586 \text{ kN} (\text{eksterior})$$

- 5) Periksa spasi tulangan geser

Tegangan geser di beton

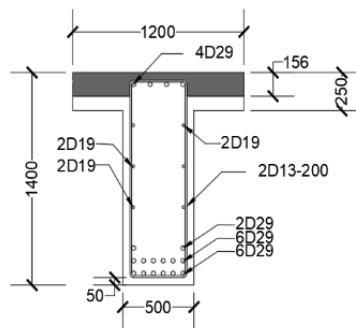
$$\nu_u = \frac{V_u}{\phi_v b_w d_e} = 1 \text{ MPa} < 0,125 \cdot f'_c = 4 \text{ MPa} (\text{Memenuhi})$$

$$s_{max} = 0,8 d_e = 1058 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Diambil $s_{max} = 600 \text{ mm} > s = 200 \text{ mm}$ (memenuhi)

Pemeriksaan deformasi diambil nilai terbesar akibat beban hidup berupa beban truk dan beban lajur. Maka didapat deformasi akibat kedua jenis beban hidup pada gelagar interior dan eksterior berturut turut sebesar 9,61 mm dan 6,33 mm dimana lebih kecil dari deformasi ijinnya ($\Delta_{ijin} = L/800 = 25 \text{ mm}$).

Sedangkan, pemeriksaan *camber* diambil nilai terbesar akibat beban mati dengan inersia efektif dan inersia bruto. Maka didapat *camber* dari kedua kondisi tersebut yaitu 45,572 mm untuk gelagar interior dan 54,34 mm untuk gelagar eksterior.



Gambar 5. Detail Tulangan RC Girder

I. Perencanaan Diafragma Beton Bertulang

Diafragma pada jembatan beton bertulang digunakan untuk mengikat atau perkakuan antara gelagar-gelagar memanjang (Mayendra et al., 2018). Diafragma diletakkan melintang tepat dibawah pelat lantai. Data diafragma yangdigunakan adalah sebagai berikut.

Dimensi = $500 \times 450 \text{ mm}$

Jarak diafragma = 3,84 m

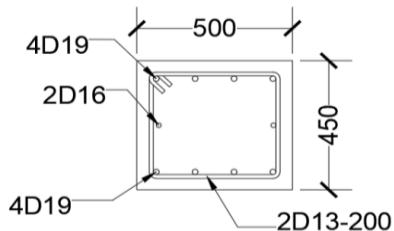
Mutu beton = 29,05 MPa

Mutu tulangan = BJTS 420

Tulangan lentur = 4D19 ($M_u = 48,9 \text{ kNm} < \phi M_n = 157,8 \text{ kNm}$)

Tulangan geser = D13-200 ($V_u = 275 \text{ kN} < V_r = 292,6 \text{ kN}$)

Tulangan bagi = 2D16



Gambar 6. Detail Diafragma Beton Bertulang

J. Perencanaan Elastomer

Elastomer yang digunakan adalah elastomer bearing pad berdimensi 500 x 450 x 126 mm dengan spesifikasi sebagai berikut:

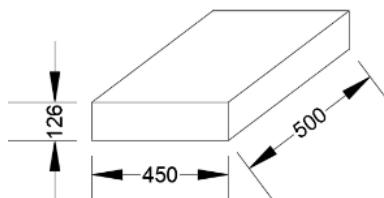
Tebal efektif karet = 10 mm

Tebal lapisan penutup = 5 mm

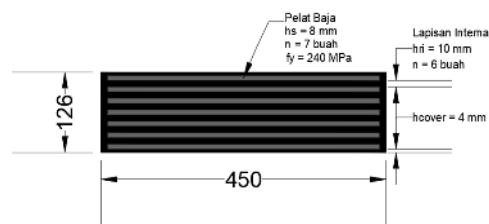
Tebal pelat baja = 8 mm

Jumlah lapisan baja = 6 buah

Tegangan leleh pelat baja = 240 MPa



Gambar 7. Elastomer



Gambar 8. Detail Elastomer

K. Perencanaan Anggaran Biaya

Dalam hal ini, anggaran biaya yang direncanakan tidak mencakup biaya mobilisasi dan demobilisasi, SMKK, pembangunan kantor dan gudang serta hanya menggunakan harga standar satuan dasar dari Peraturan Bupati Kutai Kartanegara Tahun 2023 tentang Standar Harga Satuan Tahun 2024.

1) Struktur atas jembatan dengan *Steel Girder*

Dari hasil perhitungan *bill of quantity*, didapatkan rekapitulasi biaya termasuk pajak 11% sebesar Rp3.006.866.798.

2) Struktur atas jembatan dengan *Reinforced Concrete Girder*

Dari hasil perhitungan *bill of quantity*, didapatkan rekapitulasi biaya termasuk pajak 11% sebesar Rp1.783.727.843.

L. Perencanaan Durasi Pekerjaan

Seperti halnya RAB, durasi pekerjaan tidak mencakup mobilisasi dan demobilisasi, serta pembangunan kantor dan gudang. Setelah dihitung, maka didapatkan durasi pekerjaan struktur atas jembatan dengan *steel girder* adalah 68 hari. Sedangkan, jika menggunakan *reinforced concrete girder* memerlukan durasi pekerjaan selama 84 hari.

M. Perbandingan Steel Girder dan Reinforced Concere Girder

Berdasarkan hasil perencanaan dan perhitungan rencana anggaran biaya dan durasi pekerjaan struktur atas jembatan dengan menggunakan kedua jenis gelagar tersebut, didapat rekapitulasi perbandingan antara kedua jenis gelagar seperti **Tabel 8**.

Tabel 8. Perbandingan Perancangan Struktur Atas Jembatan dengan *Steel Girder* dan *RC Girder*

No	Pembeda	Perencanaan Struktur Atas Jembatan dengan	
		<i>Steel Girder</i>	<i>Reinforced Concrete Girder</i>
1	Spesifikasi Gelagar	Dimensi : Profil I 800.300.14.26 $f_y = 290 \text{ MPa}$ $f_u = 415 \text{ MPa}$ $M_u = 2936 \text{ kN} (\text{interior}) \text{ dan } 2343 \text{ kN} (\text{eksterior})$ $V_u = 468 \text{ kN} (\text{interior}) \text{ dan } 409 \text{ kN} (\text{eksterior})$ $M_n = 3279 \text{ kNm}$ $V_n = 1761 \text{ kN}$	Dimensi : 500 x 1400 $f'_c = 29,05 \text{ MPa}$ $f_y = 420 \text{ MPa}$ $M_u = 3767 \text{ kN} (\text{interior}) \text{ dan } 3230 \text{ kN} (\text{eksterior})$ $V_u = 633 \text{ kN} (\text{interior}) \text{ dan } 586 \text{ kN} (\text{eksterior})$ $M_n = 4394 \text{ kNm}$ $V_n = 998 \text{ kN}$
2	Gaya dalam ultimit		
3	Tahanan Nominal		
4	Besar Camber	40,82 mm (interior) 56,23 mm (eksterior) $\Delta_{\text{live}} = 23,34 \text{ mm} \leq \Delta_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$ (interior)	45,47 mm (interior) 54,34 mm (eksterior) $\Delta_{\text{live}} = 9,61 \text{ mm} \leq \Delta_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$ (interior)
5	Lendutan	$\Delta_{\text{live}} = 18,706 \text{ mm} \leq \Delta_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$ (eksterior)	$\Delta_{\text{live}} = 6,2384 \text{ mm} \leq \Delta_{\text{ijin}} = 25 \text{ mm}$ (eksterior)
6	Rencana Anggaran Biaya	Rp3.006.866.798,34	Rp1.783.727.842,94
7	Durasi Pekerjaan	68 hari	84 ari

4. Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi desain struktur atas jembatan dengan *steel girder* dan *reinforced concrete (RC) girder*, dapat disimpulkan bahwa dari hasil perencanaan struktur atas jembatan dengan kedua jenis gelagar, maka dapat hasil bahwa *RC girder* memiliki momen nominal 34% lebih besar dari *steel girder*. Oleh karena itu, lendutan yang dihasilkan oleh *RC Girder* lebih kecil dari *steel girder*. Namun, untuk gaya geser nominal *steel girder* didapat hasil 76,4% lebih besar dari *RC girder*. Dari segi anggaran biaya, *RC girder* lebih efisien dibandingkan dengan *steel girder* dengan selisih biaya sebesar Rp1.223.138.955,4 dan tingkat efisiensi sebesar 40,68%. Sebaliknya, dari segi durasi pekerjaan *steel girder* lebih cepat pengerjaannya dibanding *RC girder* dengan selisih durasi selama 16 hari dan efisiensi sebesar 23,5%

5. Daftar Pustaka

Alfarisi, S., & Rahayu, T. (2020). Perencanaan Struktur Atas Jembatan Komposit Desa Bojongloa Kec. Pagelaran Kab. Cianjur. *Jurnal Momen*.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016 Pembebatan untuk Jembatan*. www.bsn.go.id

Departemen Pekerjaan Umum. (2021). *Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan*. Direktorat Jenderal Bina Marga.

Firmansyah, R. F. (2023). *Studi Perencanaan Jembatan Gelagar Menggunakan Baja Komposit di Desa Curah Malang Kecamatan Rambipuji.*

Giatmajaya, W., Gede, I., Darmayasa, O., Ketut, N., & Sukawati, S. A. (2020). *Perencanaan Struktur Komposit Baja Beton Dengan Metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) Ruang Kelas Lantai III SMK Pariwisata Labuan Bajo-Flores-NTT.* 3(2).

Jatoeb, M. A., M. H., & Mutoha, A. (2019). Perencanaan Bangunan Atas Jembatan Rangka Tipe Parker dengan Kontruksi Baja Bentang 60 Meter Desa Bram Itam Raya Kecamatan Bram Itam Kabupaten Tanjung Jabung Barat. *Jurnal Civronlit Unbari*, 4(2), 69. <https://doi.org/10.33087/civronlit.v4i2.53>

Mandela, W., & Sitepu, C. I. (2023). Analisis Waktu dan Biaya Berdasarkan Produktivitas Tenaga Kerja pada Proyek Pembangunan Gedung KIR Kota Sorong. *Jurnal Poltek STPAUL*, 9(2), 30–35.

Mayendra, M. J., Alamsyah, & Pribadi, J. A. (2018). Evaluasi dan Desain Ulang Jembatan Beton Bertulang T-Girder Menggunakan SNI 1725-2016. *Seminar Nasional Industri Dan Teknologi (SNIT)*, 293–328.

Nikmah, F. H., & Pamadi, M. (2023). Reconstruction of the Kanaan Composite Bridge Bontang City, East Kalimantan. *LEADER : Civil Engineering and Architecture Journal*, 114–124.

Pesiwarissa, R. M., Siahaya, V. T. C., Hukom, E., Teknik, J., Politeknik, S., & Ambon, N. (2022). Analisis Rencana Anggaran Biaya Pada Penggantian Jembatan Wai-Wei Kabupaten Seram Bagian Barat. *JURNAL SIMETRIK*, 12(1).

Ridwan, M., & Umroniah, L. (2023). Perencanaan Jembatan Rangka Baja Tipe Parker Bentang 78 Meter Menggunakan SNI 1725-2016 Dan SNI 1729-2020. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4(5), 570–578. <https://doi.org/10.59141/jist.v4i5.617>

Selfas, A., Priyono, P., & Dewi, I. C. (2018). Pengaruh Penggunaan Diafragma pada Gelagar I Terhadap Kemampuan Layan Jembatan Jalan Raya Kelas A yang Menggunakan Konstruksi Baja. *E-Journal Teknik Sipil*.

Widiyanto, W. E. (2024). Perencanaan Struktur Jembatan Gelagar Dengan Tipe Beam Bridge. *Jurnal Tera*. <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/jurnaltera/>

Wusqo, U., & Saputra, A. (2023). Pengaruh Pemberian Camber Terhadap Perilaku Jembatan Komposit Beton dengan Gelagar Boks Baja. *Potensi : Jurnal Sipil Politeknik*, 25, 20–28.

Yatnikasari, S., Asnan, M. N., & Liana, U. W. M. (2021). Alternatif Perencanaan Jembatan Rangka Baja dengan Menggunakan Metode LRFD di Jembatan Gelatik Kota Samarinda. *Rang Teknik Journal*, 4(2), 282–294. <https://doi.org/10.31869/rtj.v4i2.2518>