

Pengaruh Penggunaan Diafragma pada Gelagar I Terhadap Kemampuan Layan Jembatan Jalan Raya Kelas A yang Menggunakan Konstruksi Baja

Influence of Using Diaphragm in Girder I Against Capability of High Grade Bridge Class A Capability Using Steel Construction

Auliyan Selfas, Pujo Priyono, Ilanka Cahya Dewi
 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
 Jln. Karimata 49, Jember 68121
E-mail : auliyanselfas@gmail.com

ABSTRACT

Highway bridge is the infrastructure of connecting by land, one of the standart bridge that is widely applied in Indonesia is the type of composite girder bridge. In addition to the standard loading of RSNI T-02-2005, this composite standard bridge is planned with reference to steel structure planning standards for RSNI bridge T-03-2005 and loading for bridge SNI 1725-2016. The regulation applies the Load and Resistance Factored Design (LRFD) method. The composite bridges were analyzed in the form of spans of 16m, 18m, and 20m, where bridge analysis was generally only simple beam (2D) and the diaphragm was calculated as a common beam and as a longitudinal girder. In this paper, we analyzed in 3D frame using SAP2000 application obtained a large comparison of inertial values between elongated girder with diaphragm of 250.1034 times in span 16 m, 200,810 times span 18m, and 164.3328954 times in span 20m. The regression value of the effect of diaphragm usage was 79% on span 16m, 73% in span 18m, and 63% in span of 20m and regression graph showed decreased capacity.

Keywords: Composite Bridge, Diaphragm Effect, SAP2000 Analysis.

Abstrak

Jembatan jalan raya merupakan prasarana penghubung melalui darat, salah satu tipe jembatan yang banyak diterapkan di Indonesia adalah jembatan gelagar komposit. Selain berdasarkan standar pembebanan RSNI T-02-2005, jembatan standar komposit ini direncanakan dengan mengacu standar perencanaan struktur baja untuk jembatan RSNI T-03-2005 serta pembebanan untuk jembatan SNI 1725-2016. Peraturan tersebut menerapkan metode *Load and Resistance Factored Design* (LRFD). Jembatan komposit yang dianalisa berupa bentang 16m, 18m, dan 20m, dimana analisa jembatan yang dilakukan pada umumnya hanya berupa *simple beam* (2D) serta diafragma diperhitungkan sebagai balok biasa dan sebagai pengaku gelagar memanjang. Dalam penulisan ini gelagar dianalisa secara 3D menggunakan aplikasi SAP2000 didapatkan perbandingan nilai inersia yang yang besar antara gelagar memanjang dengan diafragma sebesar 250.1034 kali pada bentang 16 m, 200.810 kali bentang 18m, dan 164.3328954 kali pada bentang 20m. Nilai regresi pengaruh penggunaan diafragma sebesar 79% pada bentang 16m, 73% pada bentang 18m, dan 53% pada bentang 20m dan grafik regresi menunjukkan kapasitasnya mengalami penurunan.

Kata Kunci : Jembatan Komposit , Pengaruh Diafragma , Analisa SAP2000.

Pendahuluan

Transportasi merupakan bagian penting dalam kehidupan manusia pada umumnya dan masyarakat Indonesia pada khususnya, dimana Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki banyak pulau serta lautan yang luas sehingga pemerintah ingin setiap pulau ataupun antar daerah satu dan lainnya terhubung dengan sarana dan prasarana transportasi yang baik serta nyaman terutama dalam transportasi darat. Transportasi darat merupakan transportasi yang paling efisien dibandingkan jalur transportasi yang lain sehingga dibutuhkan sarana prasana darat yang baik, jembatan jalan raya merupakan prasarana penghubung melalui darat yang digunakan untuk lalu lintas manusia maupun barang dari suatu tempat menuju tempat lainnya guna memperlancar hubungan lalu lintas darat yang terputus karena pengaruh kondisi alam yang dapat berupa lembah, sungai, laut, jalan, dan sebagainya. Jenis jembatan bermacam-macam tergantung fungsi dan tingkat kesulitan rintangannya, guna meningkatkan aktivitas perekonomian masyarakat serta menunjang kelancaran lalu lintas dengan upaya meningkatkan sarana dan prasarana transportasi.

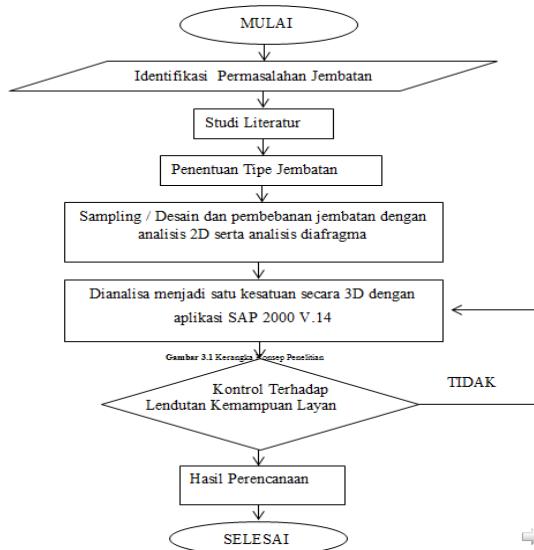
Direktorat Jenderal Bina Marga, mengeluarkan pedoman gambar standar pekerjaan jalan dan jembatan, yang berisi gambar teknik dari jembatan standar Bina Marga. Jembatan standar Bina Marga terdiri dari beberapa desain tipe jembatan tipikal dengan panjang bentang bervariasi. Salah satu tipe jembatan yang banyak diterapkan di Indonesia adalah jembatan gelagar komposit.

Pada jembatan gelagar komposit, bagian bawah struktur atas jembatan terdapat balok melintang atau biasa disebut diafragma yang mana fungsinya untuk memperpendek pada arah y gelagar, serta umumnya jembatan dianalisis secara dua dimensi (2D) yang mana diafragma hanya sebagai pengaku lateral dan diperhitungkan sebagai balok biasa. Hal ini menjadi pertimbangan penulis untuk mengambil tugas akhir dengan judul “Studi Pengaruh Penggunaan Diafragma pada Gelagar I Terhadap Kemampuan Layan Jembatan Jalan Raya Kelas A yang Menggunakan Konstruksi Baja” dengan alasan meminimalisir penggunaan balok diafragma, serta pengaruh beban balok diafragma yang dianggap menjadi satu kesatuan terhadap jembatan yang dianalisis secara tiga dimensi (3D) menggunakan SAP 2000 V.14.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan diafragma pada gelagar I terhadap kemampuan layan dengan bentang jembatan 16 meter, 18 meter, dan 20

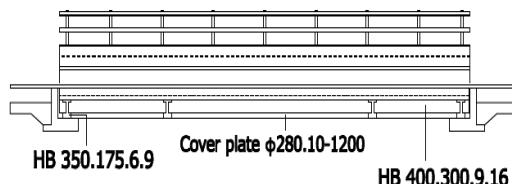
meter jembatan standart Bina Marga kelas A tipe komposit dengan pembebangan lalu lintas berdasarkan standar pembebangan untuk jembatan RSNI T-02-2005, standar perencanaan struktur baja untuk jembatan RSNI T-03-2005 dan standar pembebangan jembatan SNI 1725-2016.

Metode Penelitian



HASIL DAN ANALISIS DATA

1. Analisa Struktur Jembatan Bentang 16 meter



Data Perencanaan:

- Gelagar Memanjang : Profil HB/ WF 400.300.9.16
- Gelagar melintang/ diafragma: Profil HB/ WF350.175.6.9
- Mutu Beton = K225,
- Kuat Tekan Beton ($f'c$) = 18 MPa
- Mutu Baja = BJ-21
- Mutu Baja_{UB} = BJ-41,
 f_y = 250 MPa
- Tebal pelat lantai = 20 cm
- Jarak antar gelagar= 120 cm
- Bentang Memanjang = 16 m
- Bentang Melintang = 8.4
- Kelas Jalan =Jalan Kelas A
- Lebar = 1m+7m+ 1m

- Reaksi Rerletakan per Kepala Jembatan (Ton)

Beban Mati (M)	Beban Hidup (H)	Beban Hidup + Kejut (K)	Beban Total (M+H+K)
82.453	67.273	75.537	157.990

Sumber : Standar Jembatan Komposit (Departemen PU,2009)

1.1 Tata Perencanaan

a. Menentukan Lebar Efektif Balok

$$\begin{aligned} b_{\text{eff}} &\leq L/4 \\ &\leq 1600/4 \\ &\leq 400 \text{ cm} \\ b_e &\leq b_0 \\ &\leq 120 \text{ cm}; \text{ sehingga lebar balok efektif (be) = 120 cm} \end{aligned}$$

b. Menentukan Modulus Ratio (n)

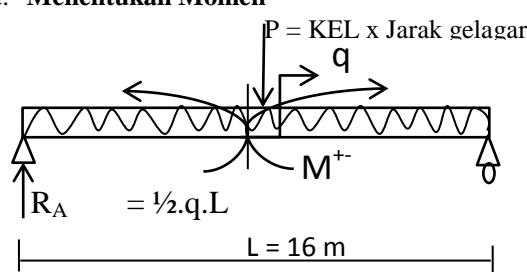
- Modulus elastisitas (Ec) = $4700 \sqrt{F'_c}$ = 19940.41123 Mpa
- Modulus baja (Es) = 200000 Mpa
Modulus ratio (n) = Es/Ec = 10.0299
Sehingga Penampang Beton ditransformasikan terhadap penampang baja
 $Be/n = 120 / 10.0299 = 11.964 \text{ cm}$

c. Letak garis netral

Tabel 1. Penentuan garis netral dan momen inersia

	Luas Transformasi	Lengan Momen	AY	$Io = 1/12.b.h^3$	d	$Io + A.d^2$
	A (cm^2)	cm	Cm^3	(cm^4)	(cm)	(cm^4)
Pelat Beton	239.28	10	2392.85	7976.16	10.48	34248.32
Profil WF	129.00	40	5160.00	39150	18.98	85638.95
Total	368.28		7552.85			119887.28

d. Menentukan Momen



- Beban garis terpusat (P)
= $KEL \times \text{Jarak gelagar}$
= $49 \times 1.2 = 58.8 \text{ KN}$
- $R_a = \frac{1}{2} \cdot P + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L$
 $(157.99/8) = \frac{1}{2} \cdot (5.8) + \frac{1}{2} \cdot q \cdot 16$
 $q = 2.1 \text{ t/m}$
- Momen = $1/8 \cdot q \cdot L^2$
- Momen = $R_a \times \frac{1}{2} \cdot L$

Momen lentur merupakan momen max yang terjadi di tengah bentang

MomenMax (Mu)

$$\text{Mu total} = 1/8 \times q \times L^2 + 1/4 \times P \times L$$

$$= 90.4 \text{ t.m}$$

$$M_{\text{total elatis}} = \text{Mu per bentang} / 1.8$$

$$= 50.22 \text{ t.m}$$

- Menentukan Tegangan Ijin

$$\sigma_{\text{Ijin}} = 250 / 1.5 = 166.67 \text{ MPa}$$

$$= 1667 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Sesuai dengan ketentuan teknis).}$$

$$M_{\text{sk}} = \frac{\sigma \cdot I}{ysb}$$

$$M_{\text{sk}} = (1667 \times 119887.28) / 39.49$$

$$= 5059581.137 \text{ kg.cm}$$

$$= 50.5958 \text{ t.m}$$

Sehingga syarat $M_{\text{sk}} \text{ Kap} (50.5958 \text{ t.m}) > M_{\text{total}} (50.22 \text{ t.m})$ terpenuhi

e. Analisa Desain Penampang

- Kontrol Penampang (RSNI T-03-2005)
Dalam konstruksi ini digunakan profil HB/WF 400.300.9.16

$$\lambda \longrightarrow \lambda_f = b/2tf = 9.375$$

$$\lambda_w = h/tw = 44.44$$

$$\lambda_p \longrightarrow \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.75$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 106.25$$

Penampang Kompak: : ($\lambda \leq \lambda_p$)

- Kontrol Lentutan (δ)

$$\text{Lendutan } (\delta) = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times EI}$$

$$= 74.73 \text{ mm}$$

$$\text{Lendutan Izin} = L/180$$

$$= 88.9 \text{ mm}$$

Syarat: Lendutan < Lendutan Izin

$$74.73 \text{ mm} < 88.9 \text{ mm... OK}$$

f. Analisa Struktur

- Analisa Pembebanan

1. Berat Sendiri (Q_{ms})

$$\begin{aligned} - \text{Lantai Jembatan} &= tc \times W_c \\ 0.2 \times 25 &= 5 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{Profil} &= W_{\text{profil}} \\ &\equiv 1.07 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{ms}} = 6.07 \text{ KN/m}$$

2. Beban Mati Tambahan (Q_{ma})

$$\begin{aligned} - \text{Aspal} &= t_{\text{aspal}} \times W_{\text{aspal}} \\ &= 0.1 \times 22 \\ &= 2.2 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{Air hujan} &= t \times W \\ &= 0.05 \times 10 \\ &\equiv 0.5 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{ma}} = 2.7 \text{ KN/m}$$

3. Beban Lalu Lintas

a. Beban Truk "T" (tt)

$$\begin{aligned} \text{Faktor dinamis (FBD)} &= 40 \% \\ \text{Beban truk pada lantai jembatan} \\ &= 112.5 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban truk (Ptt)} &= (1 + \text{FBD}) \times T \\ &= 157.5 \text{ KN} \end{aligned}$$

Beban "T" hanya diaplikasikan sebagai beban terpusat pada proses pembebanan

b. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur terdiri dari BTR/ Beban Terbagi Rata (q) dan BGT/ Beban Garis Terpusat (p)

$$\text{BTR (q)} = 9 \text{ Kpa}$$

$$\text{BGT (p)} = 49 \text{ KN/m}$$

Beban yang dimasukkan atau diasumsikan adalah beban merata sehingga nilai dari BTR/BGT tidak perlu diperhitungkan atas jarak gelagar.

- Analisa Momen pada Jembatan

1. Momen Akibat Berat Sendiri (Mms)

$$\begin{aligned} \text{Mms} &= 1/8 \times Q_{\text{ms}} \times L^2 \\ &= 194.24 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

2. Momen Akibat Berat Mati Tambahan (Mma)

$$\begin{aligned} \text{Mma} &= 1/8 \times Q_{\text{ma}} \times L^2 \\ &= 86.4 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

3. Momen Akibat Beban "T" (Mtt)

$$\begin{aligned} \text{Mtt} &= 1/4 \times P_{\text{tt}} \times L \\ &= 630 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

4. Momen Akibat Beban "D"

$$\begin{aligned} \text{MTD} &= (1/8 \times \text{BTR} \times L^2) + \\ &\quad (1/4 \times \text{BGT} \times L) \\ &= 484 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Total} &= \text{Mms} + \text{Mma} + \text{Mtt} + \text{MTD} \\ &= 1394.64 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

Kontrol Momen

$$\begin{aligned} M_{\text{total}} &< M_{\text{u}} (\text{Mu elastis} \times \text{jumlah gelagar}) \\ 1394.64 \text{ KN.m} &< 7273 \text{ KN.m} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

1.2 Perbandingan Nilai Momen Analisa 2D dan 3D

Analisa ini adalah nilai momen pada hasil analisa dibandingkan dengan nilai hasil analisa 3D jembatan pada SAP2000, yang mana nantinya akan diketahui seberapa pengaruh diafragma jembatan

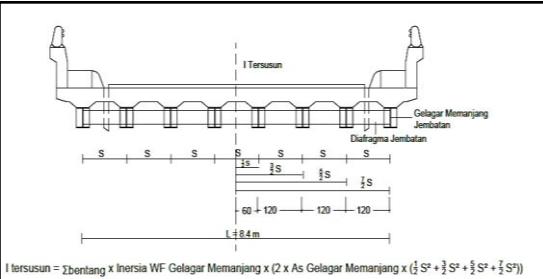
Nilai persentase perbandingan momen

$$\begin{aligned} \Delta &= (\text{Mu elastis Total} - \text{Mss Kap}) / \text{Mss.Kap} \\ &= -0,00738 = \approx 0 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$\text{Analisa perhitungan (2D)} = \approx 1 - 0 = 1$$

Diafragma pada jembatan sering diabaikan serta dianggap balok biasa yang berfungsi hanya sebagai batang pengaku gelagar memanjang dan seharusnya tidak memikul beban, oleh karena itu saat analisa 3D diafragma dianalisa agar tidak memikul beban serta nilai inersianya masih diperhitungkan terhadap gelagar memanjang.

$$\begin{aligned} I_{\text{tersusun}} &= 8 \times I + (2 \times A_s \times (1/2 s^2 + 3/2 s^2 + 5/2 s^2 + 7/2 s^2)) \\ &= 0.783324 \text{ m}^4 \end{aligned}$$



Gambar 1. Potongan Inersia Tersusun

$$\begin{aligned} I_{\text{idealasi}} &= I_{\text{tersusun}} / \Sigma_{\text{gelagar}} \\ &= 0.0979155 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai perbandingan } I &= I_{\text{idealisi}} / I_{\text{profil}} \\ &= 250.1034483 \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai I idealisasi direalisakan terhadap I profil pada analisa SAP2000, sehingga analisa 3D SAP2000 didapatkan nilai 0,213

Perbandingan analisa 2D – 3D

$$\begin{aligned} &= 1 - 0.213 \\ &= 0.787 = 79 \% \end{aligned}$$

1.3 Analisa Batang Tekan

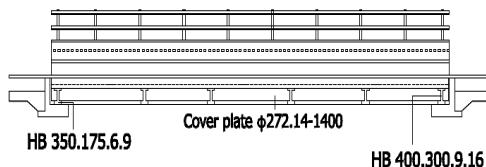
Batang tekan berupa pelat kopel yang membagi profil tersusun (PPBBI,1984) atas beberapa bagian yang sama panjang, berfungsi menggabungkan kedua profil agar dapat bekerja sama sehingga dapat mempertahankan bentuk tetap dari penampang. Dengan syarat kestabilan batang tersusun $\lambda_1 \leq 50$.

1. Bentang melintang 3 m

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= L_k / i_y \\ &= 3 / 0.0747 = 40.16 \leq 50 \end{aligned}$$

Kestabilan ... Ok

2. Analisa Struktur Jembatan Bentang 18 meter



Data Perencanaan:

- Gelagar Memanjang : Profil HB/ WF 450.300.9.16
- Gelagar melintang/ diafragma: Profil HB/ WF350.175.6.9
- Mutu Beton = K225,
- Kuat Tekan Beton ($f'c$) = 18 MPa
- Mutu Baja = BJ-21
- Mutu Baja_{UB} = BJ-41,
 f_y = 250 MPa
- Tebal pelat lantai = 20 cm
- Jarak antar gelagar= 120 cm
- Bentang Memanjang = 18 m
- Bentang Melintang = 8.4
- Kelas Jalan =Jalan Kelas A
- Lebar = 1m+7m+ 1m
- Reaksi Rerletakan per Kepala Jembatan (Ton)

Beban Mati (M)	Beban Hidup (H)	Beban Hidup + Kejut (K)	Beban Total (M+H+K)
94.163	72.273	80.294	174.457

Sumber : Standar Jembatan Komposit (Departemen PU,2009)

2.1 Tata Perencanaan

a. Menentukan Lebar Efektif Balok

$$\begin{aligned} b_{eff} &\leq L/4 \\ &\leq 1800/4 \\ &\leq 450 \text{ cm} \\ b_e &\leq b_o \\ &\leq 120 \text{ cm}; \text{ sehingga lebar balok efektif (be) } = 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

b. Menentukan Modulus Ratio (n)

- Modulus elastisitas (Ec) = $4700 \sqrt{f'c}$ = 19940.41123 Mpa
- Modulus baja (Es) = 200000 Mpa
Modulus ratio (n) = Es/Ec = 10.0299

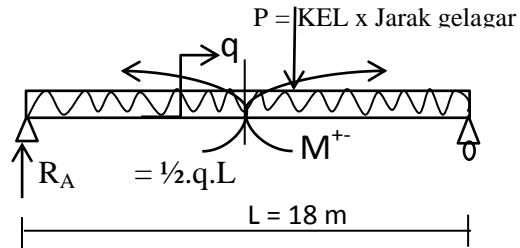
Sehingga Penampang Beton ditransformasikan terhadap penampang baja
 $Be/n = 120/ 10.0299 = 11.964 \text{ cm}$

c. Letak garis netral

Tabel 2. Penentuan garis netral dan momen inersia

Luas Transformasi	Lengah Momen	A.Y	$Io = 1/12.b.h^3$	d	$Io - Ad^2$
A (cm ²)	cm	Cm ³	(cm ⁴)	(cm)	(cm ⁴)
Pelat Beton	239.28	10	2392.85	7976.16	11.64
Profil WF	134	43	5695.00	50700	21.67
Total	373.28		8087.85		153984.28

d. Menentukan Momen



- Beban garis terpusat (P)
= KEL x Jarak gelagar
= $49 \times 1.2 = 58.8 \text{ KN}$
- Ra = $\frac{1}{2}.P + \frac{1}{2}.q.L$
 $(174.457/8) = \frac{1}{2}.(5.8) + \frac{1}{2}.q.18$
q = 2.1 t/m
- Momen = $1/8 q L^2$
- Momen = Ra x $\frac{1}{2}L$

Momen lentur merupakan momen max yang terjadi di tengah bentang MomenMax (Mu)

$$\begin{aligned} Mu \text{ total} &= 1/8 \times q \times L^2 + 1/4 \times PxL \\ &= 111.18206 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{total \text{ elatis}} &= Mu \text{ per bentang} / 1.8 \\ &= 61.7678 \text{ t.m} \end{aligned}$$

e. Menentukan Tegangan Ijin

$$\begin{aligned} \sigma_{Ijin} &= 250/ 1.5 = 166.67 \text{ MPa} \\ &= 1667 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Sesuai dengan ketentuan teknis).} \end{aligned}$$

$$M_{ssk} = \frac{\sigma \cdot I}{ysb}$$

$$\begin{aligned} M_{ssk} &= (1667 \times 153984.28)/ 43.33 \\ &= 5922475.494 \text{ kg.cm} \\ &= 59.2247 \text{ t.m} \end{aligned}$$

Sehingga syarat M_{ssk} Kap (59.2247 t.m) > M_{total} (61.7678 t.m) terpenuhi

e. Analisa Desain Penampang

- Kontrol Penampang (RSNI T-03-2005)
Dalam konstruksi ini digunakan profil HB/WF 450.300.9.16

$$\begin{aligned} \lambda &\longrightarrow \lambda_f = b/2tf = 9.375 \\ \lambda_w &= h/tw = 44.44 \end{aligned}$$

$$\lambda_p \longrightarrow \frac{170}{\sqrt{f_y}} = 10.75$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = 106.25$$

Penampang Kompak: : ($\lambda \leq \lambda_p$)

- Kontrol Lendutan (δ)

Lendutan (δ)	$= \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times EI}$
	$= 93.24 \text{ mm}$
- Lendutan Izin $= L/180 = 100 \text{ mm}$
- Syarat: Lendutan < Lendutan Izin
93.24mm < 100 mm... OK

f. Analisa Struktur

- Analisa Pembebanan

1. Berat Sendiri (Qms)

- Lantai Jembatan	$= tc \times W_c$
0.2 x 25	$= 5 \text{ KN/m}$
- Profil	$= W_{profil}$
	$= 1.24 \text{ KN/m}$
Qms	$= 6.24 \text{ KN/m}$
2. Beban Mati Tambahan (Qma)

- Aspal = $t_{aspal} \times W_{aspal}$	$= 0.1 \times 22$
	$= 2.2 \text{ KN/m}$
- Air hujan = $t \times W$	$= 0.05 \times 10$
	$= 0.5 \text{ KN/m}$
Qma	$= 2.7 \text{ KN/m}$

3. Beban Lalu Lintas
 - a. Beban Truk "T" (tt)
Faktor dinamis (FBD) = 40 %

$$\begin{aligned} \text{Beban truk pada lantai jembatan} \\ = 112.5 \text{ KN} \\ \text{Beban truk (Ptt)} = (1 + FBD) \times T \\ = 157.5 \text{ KN} \end{aligned}$$

Beban "T" hanya diaplikasikan sebagai beban terpusat pada proses pembebangan

- b. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur terdiri dari BTR/ Beban Terbagi Rata (q) dan BGT/ Beban Garis Terpusat (p)

BTR (q)	$= 9 \text{ Kpa}$
BGT (p)	$= 49 \text{ KN/m}$

Beban yang dimasukkan atau diasumsikan adalah beban merata sehingga nilai dari BTR/BGT tidak perlu diperhitungkan atas jarak gelagar.

- Analisa Momen pada Jembatan
 1. Momen Akibat Berat Sendiri (Mms)

$$\begin{aligned} Mms &= 1/8 \times Qms \times L^2 \\ &= 252.72 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

5. Momen Akibat Berat Mati Tambahan (Mma)

$$\begin{aligned} Mma &= 1/8 \times Qma \times L^2 \\ &= 109.35 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

6. Momen Akibat Beban "T" (Mtt)

$$\begin{aligned} Mtt &= 1/4 \times Ptt \times L \\ &= 708.75 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

7. Momen Akibat Beban "D"

$$\begin{aligned} MTD &= (1/8 \times BTR \times L^2) + \\ &\quad (1/4 \times BGT \times L) \\ &= 585 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Total} &= Mms + Mma + Mtt + MTD \\ &= 1655.82 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

Kontrol Momen

$$\begin{aligned} M_{total} &< M_{total} (\mu_{elastis} \times \text{jumlah gelagar}) \\ 1655.82 \text{ KN.m} &< 7273 \text{ KN.m} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

2.2 Perbandingan Nilai Momen Analisa 2D dan 3D

$$\begin{aligned} \text{Nilai persentase perbandingan momen} \\ \Delta &= (M_{total} \text{ Elatis} - M_{total} \text{ Kap}) / M_{total} \text{ Kap} \\ &= 0.0429 \text{ KN.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Analisa perhitungan (2D)} &= \\ &\approx 1 - 0.0429 = 0.957 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{tersusun} &= 8 \times I + (2 \times A_s \times (1/2 s^2 + 3/2 s^2 + 5/2 s^2 + 7/2 s^2)) \\ &= 0.08144884 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{idealasi} &= I_{tersusun} / \Sigma \text{gelagar} \\ &= 0.101811 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai perbandingan } I &= I_{idealasi} / I_{profil} \\ &= 200.8106 \end{aligned}$$

Selanjutnya nilai I idealasi direalisasiakan terhadap I profil pada analisa SAP2000, sehingga analisa 3D SAP2000 didapatkan nilai 0.231

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan analisa 2D - 3D} \\ &= 0.957 - 0.231 \\ &= 0.726 = 73\% \end{aligned}$$

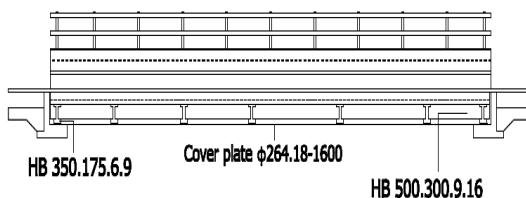
2.3 Analisa Batang Tekan

Batang tekan berupa pelat kopel yang membagi profil tersusun (PPBBI,1984) atas beberapa bagian yang sama panjang, berfungsi menggabungkan kedua profil agar dapat bekerja sama sehingga dapat mempertahankan bentuk tetap dari penampang. Dengan syarat kestabilan batang tersusun $\lambda_1 \leq 50$.

- Bentang melintang 3.5 m

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= L_k / i_y \\ &= 3.5 / 0.0734 = 47.68 \leq 50 \\ \text{Kestabilan ... Ok} \end{aligned}$$

3. Analisa Struktur Jembatan Bentang 20 meter



Data Perencanaan:

- Gelagar Memanjang : Profil HB/ WF 500.300.9.16
- Gelagar melintang/ diafragma: Profil HB/ WF350.175.6.9
- Mutu Beton = K225,
- Kuat Tekan Beton ($f'c$) = 18 MPa
- Mutu Baja = BJ-21
- Mutu Baja_{UB} = BJ-41,
 f_y = 250 MPa
- Tebal pelat lantai = 20 cm
- Jarak antar gelagar= 120 cm
- Bentang Memanjang = 20 m
- Bentang Melintang = 8.4
- Kelas Jalan =Jalan Kelas A
- Lebar = 1m+7m+ 1m
- **Reaksi Rerletakan per Kepala Jembatan (Ton)**

Beban Mati (M)	Beban Hidup (H)	Beban Hidup + Kejut (K)	Beban Total (M+H+K)
105.959	77.273	85.065	191.024

Sumber : Standar Jembatan Komposit (Departemen PU,2009)

3.1 Tata Perencanaan

a. Menentukan Lebar Efektif Balok

$$\begin{aligned} b_{eff} &\leq L/4 \\ &\leq 2000/4 \\ &\leq 500 \text{ cm} \\ b_e &\leq b_o \\ &\leq 120 \text{ cm}; \text{ sehingga lebar balok efektif } (b_e) = 120 \text{ cm} \end{aligned}$$

b. Menentukan Modulus Ratio (n)

$$\begin{aligned} - \text{Modulus elastisitas } (E_c) &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 19940.41123 \text{ Mpa} \\ - \text{Modulus baja } (E_s) &= 200000 \text{ Mpa} \\ \text{Modulus ratio } (n) &= E_s/E_c \\ &= 10.0299 \end{aligned}$$

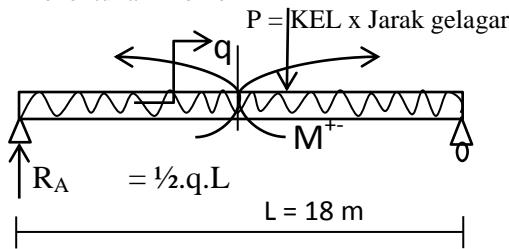
Sehingga Penampang Beton ditransformasikan terhadap penampang baja
 $B/e_n = 120 / 10.0299 = 11.964 \text{ cm}$

c. Letak garis netral

Tabel 3. Penentuan garis netral dan momen inersia

	Luas Transformasi	Lengan Momen	A.Y	$I_o = 1/12.b.h^3$	d	$I_o + A.d^2$
	A (cm ²)	cm	Cm ³	(cm ⁴)	(cm)	(cm ⁴)
Pelat						
Beton	239.28	10	2392.85	7976.16	12.78	47053.11
Profil WF	138.12	45	6215.40	63930	24.38	146039.12
Total	377.40		8608.25			193092.24

d. Menentukan Momen



- Beban garis terpusat (P)
 $= KEL \times \text{Jarak gelagar}$
 $= 49 \times 1.2 = 58.8 \text{ KN}$
- $R_a = \frac{1}{2}.P + \frac{1}{2}.q.L$
 $(191.024/8) = \frac{1}{2}.(5.8) + \frac{1}{2}.q.18$
 $q = 2.1 \text{ t/m}$
- Momen = $1/8 q \cdot L^2$
- Momen = $R_a \times \frac{1}{2}L$

Momen lentur merupakan momen max yang terjadi di tengah bentang

MomenMax (M_u)

$$\begin{aligned} M_u \text{ total} &= 1/8 \times q \times L^2 + 1/4 \times P \times L \\ &= 133.89 \text{ t.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{total elatis}} &= M_u \text{ per bentang} / 1.8 \\ &= 74.38 \text{ t.m} \end{aligned}$$

- Menentukan Tegangan Ijin
 $\sigma_{Ijin} = 250 / 1.5 = 166.67 \text{ MPa}$
 $= 1667 \text{ kg/cm}^2$ (Sesuai dengan ketentuan teknis).

$$M_{ssk} = \frac{\sigma \cdot I}{ysb}$$

$$\begin{aligned} M_{ssk} &= (1667 \times 193091.84) / 47.2 \\ &= 6819536.772 \text{ kg.cm} \\ &= 68.19536 \text{ t.m} \end{aligned}$$

Sehingga syarat M_{ssk} Kap (68.1953 t.m) > M_{total} (74.38 t.m) tidak terpenuhi

e. Analisa Desain Penampang

- Kontrol Penampang (RSNI T-03-2005)
Dalam konstruksi ini digunakan profil HB/WF 500.300.9.16

$$\begin{aligned}\lambda \longrightarrow \lambda_f &= b/2tf = 9.375 \\ \lambda_w &= h/tw = 55.56\end{aligned}$$

$$= 314 \text{ KN.m}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p \longrightarrow \frac{170}{\sqrt{f_y}} &= 10.75 \\ \frac{1680}{\sqrt{f_y}} &= 106.25\end{aligned}$$

2. Momen Akibat Berat Mati Tambahan (Mma)

$$\begin{aligned}M_{ma} &= 1/8 \times Q_{ma} \times L^2 \\ &= 135 \text{ KN.m}\end{aligned}$$

3. Momen Akibat Beban "T" (Mtt)

$$\begin{aligned}M_{tt} &= 1/4 \times P_{tt} \times L \\ &= 787.5 \text{ KN.m}\end{aligned}$$

4. Momen Akibat Beban "D"

$$\begin{aligned}M_{TD} &= (1/8 \times BTR \times L^2) + \\ &\quad (1/4 \times BGT \times L) \\ &= 695 \text{ KN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen Total} &= M_{ms} + M_{ma} + M_{tt} + M_{TD} \\ &= 1931.5 \text{ KN.m}\end{aligned}$$

Penampang Kompak: : $(\lambda \leq \lambda_p)$

- Kontrol Lendutan (δ)

$$\begin{aligned}\text{Lendutan } (\delta) &= \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times EI} \\ &= 113.169 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lendutan Izin} &= L/180 \\ &= 111.1 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Syarat: Lendutan} &< \text{Lendutan Izin} \\ 113.169 \text{ mm} &< 111.1 \text{ mm... OK}\end{aligned}$$

f. Analisa Struktur

- Analisa Pembebanan

1. Berat Sendiri (Qms)

$$\begin{aligned}- \text{Lantai Jembatan} &= t_c \times W_c \\ 0.2 \times 25 &= 5 \text{ KN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}- \text{Profil} &= W_{profil} \\ &= 1.28 \text{ KN/m}\end{aligned}$$

$$Q_{ms} = 6.28 \text{ KN/m}$$

2. Beban Mati Tambahan (Qma)

$$\begin{aligned}- \text{Aspal} &= t_{aspal} \times W_{aspal} = 0.1 \times 22 \\ &= 2.2 \text{ KN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}- \text{Air hujan} &= t \times W = 0.05 \times 10 \\ &= 0.5 \text{ KN/m} \\ Q_{ma} &= 2.7 \text{ KN/m}\end{aligned}$$

3. Beban Lalu Lintas

a. Beban Truk "T" (tt)

$$\begin{aligned}\text{Faktor dinamis (FBD)} &= 40 \% \\ \text{Beban truk pada lantai jembatan} &= 112.5 \text{ KN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban truk (Ptt)} &= (1 + FBD) \times T \\ &= 157.5 \text{ KN}\end{aligned}$$

Beban "T" hanya diaplikasikan sebagai beban terpusat pada proses pembebanan

b. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur terdiri dari BTR/ Beban Terbagi Rata (q) dan BGT/ Beban Garis Terpusat (p)

$$BTR (q) = 9 \text{ Kpa}$$

$$BGT (p) = 49 \text{ KN/m}$$

Beban yang dimasukkan atau diasumsikan adalah beban merata sehingga nilai dari BTR/BGT tidak perlu diperhitungkan atas jarak gelagar.

- Analisa Momen pada Jembatan

1. Momen Akibat Berat Sendiri (Mms)

$$M_{ms} = 1/8 \times Q_{ms} \times L^2$$

Kontrol Momen

$$\begin{aligned}M_{total} &< M_{u} (M_{u} \text{ elastis} \times \text{jumlah gelagar}) \\ 1931.5 \text{ KN.m} &< 10711.2 \text{ KN.m ... OK}\end{aligned}$$

3.2 Perbandingan Nilai Momen Analisa 2D dan 3D

Nilai persentase perbandingan momen

$$\Delta = (M_{total \text{ Elatis}} - M_{ss \text{ Kap}})/M_{ss \text{ Kap}} \\ = 0.0907 \text{ KN.m}$$

$$\begin{aligned}\text{Analisa perhitungan (2D)} &= \\ &\approx 1 - 0.0907 = 0.999\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{tersusun} &= 8 \times I + (2 \times A_s \times (1/2 s^2 + 3/2 s^2 + 5/2 s^2 + 7/2 s^2)) \\ &= 0.84046 \text{ m}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I_{idealasi} &= I_{tersusun}/\Sigma \text{gelagar} \\ &= 0.105058 \text{ m}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai perbandingan } I &= I_{idealasi} / I_{profil} \\ &= 164.3328\end{aligned}$$

Selanjutnya nilai $I_{idealasi}$ direalisakan terhadap I_{profil} pada analisa SAP2000, sehingga analisa 3D SAP2000 didapatkan nilai 0.473

Perbandingan analisa 2D – 3D

$$= 0.999 - 0.473$$

$$= 0.526 = 53\%$$

3.3 Analisa Batang Tekan

Batang tekan berupa pelat kopel yang membagi profil tersusun (PPBBI,1984) atas beberapa bagian yang sama panjang, berfungsi menggabungkan kedua profil agar dapat bekerja sama sehingga dapat mempertahankan bentuk tetap dari penampang. Dengan syarat kestabilan batang tersusun $\lambda_l \leq 50$.

- Bentang melintang 3 m

$$\lambda_l = L_k / i_y$$

$$= 3 / 0.0722 = 41.55 \leq 50 \dots \text{OK}$$

- Bentang melintang 3.35 m
 $\lambda_1 = L_k / i_y$
 $= 3.35 / 0.0722 = 46.39 \leq 50 \dots \text{OK}$
- Kestabilan ... Ok

4. Analisa Struktur dengan SAP2000

Hasil perhitungan SAP2000 pada bentang 16 meter, 18 meter, dan 20 meter dengan memasukkan beban layan mempengaruhi bentang memanjang dan melintang gelagar jembatan yang mana hasil reaksinya berwarna orange hingga merah, sehingga dilakukan idealisasi Inersia agar gelagar melintang dapat dikopel dengan gelagar memanjang didapatkan hasil yang baik terhadap bentang memanjang gelagar serta nilai total ratio saat gelagar melintang dianalisa tersendiri memberikan nilai yang cukup besar dibandingkan dengan hasil analisa perhitungan sehingga dianalisa menjadi kesatuan memberikan nilai yang lebih kecil.

Kesimpulan dan Saran

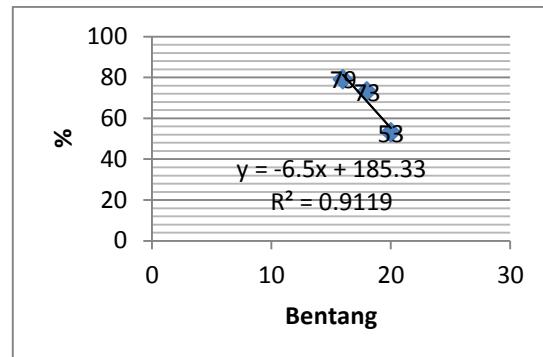
Kesimpulan

- Nilai lendutan pada jembatan bentang 16 m, 18m, dan 20m yang terjadi melebihi lendutan ijin tetapi dalam batas aman tidak lebih dari 10mm, serta diketahui perbandingan hasil analisa pengaruh diafragma 2D dan 3D jembatan komposit

a. Hasil Analisa

Hasil Analisa			
	Bentang 16	Bentang 18	Bentang 20
Profil HB/ I WF 400.300.9.16	0.783324 m ⁴	0.814488 m ⁴	0.84046416 m ⁴
I tersusun	0.0979155 m ⁴	0.101811 m ⁴	0.10505802 m ⁴
Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2005. <i>Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005)</i> . Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.	Perbandingan Inersia	250.1034483	200.8106509
Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2005. <i>Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan (RSNI T-03-2005)</i> . Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.	2D	1	0.957
Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2016. <i>Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016)</i> . Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.	3D	0.213	0.31
Imran, Iswandi. <i>Diafragma Pada Jembatan</i> . https://martinyunianto.files.wordpress.com . Diakses pada tanggal 15 Januari 2018.	Persentase	79%	73%
Jamal, Arfan Jamal. 2007. <i>Analisi Pengaruh Diafragma Terhadap Tekuk Lateral Pada Gelagar Memanjang Jembatan</i> . Medan: Universitas Sumatera Utara.			53%

- Hasil analisa beban layan yang mana gelagar melintang diabaikan dan dihitung terpisah ternyata tetap memikul beban, akan tetapi saat gelagar melintang dijadikan satu kesatuan dengan gelagar memanjang serta nilai inersia dijadikan satu kesatuan didapat persentase keefektifan kurang lebih 68 % (79%, 73 %, dan 53%)



Gambar 4. Grafik Regresi

Saran

- Pada perencanaan jembatan perlu adanya kontrol terhadap lendutan permanen agar tidak terjadi kerusakan pada elemen yang terdefleksi.
- Dalam perencanaan ataupun perhitungan perlu kontrol terhadap nilai momen kapasitas dan momen total.

Daftar Pustaka

- Afriyadi ,Her dan Torang Sitorus. 2015. *Perencanaaa Jembatan Komposit Metode LRFD (Load Resistance Factor Design)*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Anonim. 2009. *Standar Jembatan Gelagar Komposit Bentang 8-20 Meter*. Jakarta: DirektoratBintekDirJenBinaMargaKementerianPekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2005. *Standar Pembelahan Untuk Jembatan (RSNI T-02-2005)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2005. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan (RSNI T-03-2005)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2016. *Pembelahan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Imran, Iswandi. *Diafragma Pada Jembatan*. <https://martinyunianto.files.wordpress.com>. Diakses pada tanggal 15 Januari 2018.
- Jamal, Arfan Jamal. 2007. *Analisi Pengaruh Diafragma Terhadap Tekuk Lateral Pada Gelagar Memanjang Jembatan*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Moeljono. 2009. *Struktur Baja Jembatan*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Pujianto, As'at, Ir. Mt. 2011. *Struktur Komposit Dengan Metode Lrfd*. <https://Ekhalmussaad.Files.Wordpress.Com/2011/03/7-Komposit.Doc>. Diakses pada tanggal 15 Januari 2018

- Setiawa, Agus. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua.* Jakarta: PT.Gramedia.
- Supriyadi, Agung. 2009. *Analisis Struktur Jembatan Baja Komposit Beton.* Jakarta: Universitas Mercubuana
- Supriyadi, B., dan Muntohar, A.S..2007.*Jembatan.* Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.
- Zainuddin. 2010. *Diktat Struktur Jembatan*.Bojonegoro: Universitas Bojonegoro.