

PERENCANAAN GELAGAR BENTANG 30 METER JALAN LAYANG (*FLYOVER*) PADA PERSIMPANGAN GADANG KOTA MALANG

¹Achendri M. Kurniawan, ²Taufiq Rochman, ³Johanes Asdhi Poerwanto, ³Akhmalludin Rakhmad,

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Balitar

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

¹achendri.m.k@gmail.com, ²taufiqrochman@gmail.com, ³johanesapung99@gmail.com,

Abstract

The purpose of this thesis is to complements the feasibility study of flyover building which is otherwise feasible. The feasibility will be continued to flyover structure plan. The flyover located in the Intersection of Gadang Highway Malang City is planned to have a total length of 290 meters and a width of 8 meters with a bridge division of 20 meters and 30 meters.

The method used to plan is LRFD (Load Resistance Factors Design) and loading based on SNI 2016. For statics analysis STAAD Pro v8i program is used. In the 30-meter span bridge girder modeling in the STAAD Pro V8i program there are 2 ways of modeling that is by using a beam model and using a plate model. By making comparisons between the two methods.

The results are obtained: The girder with beam model uses 4D22 in compressive reinforcement, 14D25 in flexural reinforcement, 10D13 in side reinforcement and Ø10-200 in shear reinforcement. The girder with plate model uses 5D25 in compressive reinforcement, 16D29 in flexural reinforcement, 8D19 in side reinforcement and Ø10-200 in shear reinforcement.

Keywords: *flyover, inverted T-beam, STAAD Pro*

Pendahuluan

Menurut pengamatan masalah yang terlihat adalah berada di Simpang Jalan Raya Gadang yang terletak di Kecamatan Sukun Kota Malang, di persimpangan tersebut memiliki volume lalu lintas yang tinggi karena merupakan pasar induk Kota Malang. Menurut (Eza, 2018) permasalahan pada simpang berupa kemacetan saat ini belum dapat diatasi. Pada penelitiannya bertujuan untuk menganalisis kinerja simpang dan memberikan alternatif pemecahan masalah yang tepat pada simpang tersebut salah satunya dengan di bangunnya jalan layang (*flyover*).

Jalan layang (*fly over*) adalah jalan yang berfungsi menghindari kontra langsung antara kendaraan dan dibangun tidak sebidang. Dibandingkan dengan ruas jalan yang ada. Secara langsung ada persamaan mendasar antara jembatan dengan jalan layang (*flyover*) karena posisinya sama-sama melayang yang bertujuan menghubungkan dua daratan atau permukaan jalan yang terpisah satu dengan lainnya.

Setelah penelitian yang dilakukan oleh (Eza, 2018) pada judulnya yang membahas analisa kelayakan pembangunan jembatan layang

(*flyover*), maka pembangunan dikatakan layak. Oleh sebab itu perlu diadakan perencanaan struktur jalan layang pada persimpangan Jalan Raya Gadang Kota Malang. Selain itu pada penelitiannya menghasilkan desain geometrik *flyover*

Perencanaan struktur ini dimodelkan menggunakan program STAAD Pro V8i SS6. Dalam memodelkan gelagar bentang 30 meter terdapat 2 opsi cara pemodelan yaitu dengan menggunakan *plate* atau *beam*. Dilihat permasalahan tersebut maka tujuan pembahasan ini meliputi:

1. Bagaimana dimensi gelagar bentang 30 meter yang dimodelkan dengan *beam*?
2. Bagaimana dimensi gelagar bentang 30 meter yang dimodelkan dengan *plate*?

Dasar Pembebanan

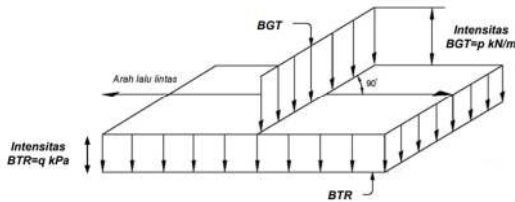
Beban Mati

1. Beton $\rho = 25 \text{ kN/m}^3$
2. Aspal $\rho = 22 \text{ kN/m}^3$
3. Air $\rho = 10 \text{ kN/m}^3$

Beban Hidup

1. Beban lajur "D"

Menurut SNI 1725:2016 beban lajur “D” terbagi atas muatan terbagi rata (BTR) dan muatan garis P (BGT) dengan nilai = 49kN/m. Gambar muatan garis dan muatan terbagi rata pada jalur jalan muatan “D” didistribusikan seperti **Gambar 1**.

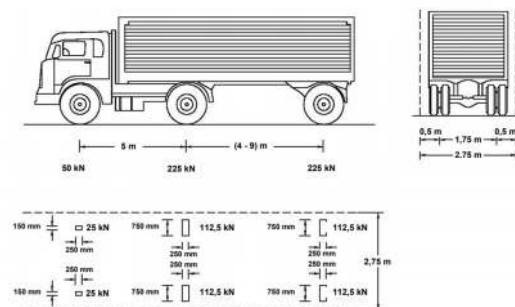


Gambar 1. Distribusi beban “D” yang bekerja pada jembatan
Sumber: SNI 1725:2016

Sedangkan beban q (BTR) ditentukan sebagai berikut:
 $q = 9,0 \text{ kPa}$, untuk $L < 30 \text{ m}$
 $q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa}$, untuk $L \geq 30 \text{ m}$

2. Beban truk “T”

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan seperti **Gambar 2**.



Gambar 2. Distribusi beban “T” (500 kN) yang bekerja pada jembatan
Sumber: SNI 1725:2016

3. Beban rem

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas akibat gaya rem dan traks, harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan dan harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas.

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- a. 25% dari berat gandar desain
- b. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata

4. Beban angin

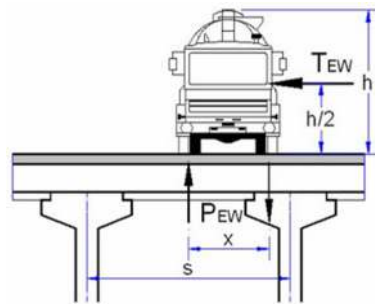
Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisa static dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Beban angin terbagi menjadi beban angin struktur dan beban angin kendaraan. Dimana beban angin struktur dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \quad (1)$$

Sedangkan untuk beban angin kendaraan dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2**.

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b \quad (2)$$

Yang kemudian didistribusikan seperti **Gambar 3**.



Gambar 3. Distribusi beban angin vertical
Sumber: tekniksip.wordpress.com

dengan pengertian :

V_w =kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau (**Tabel 1.**)

C_w =koefisien seret (**Tabel 2.**)

A_b =luas koefisien bagian samping jembatan (m^2)

Tabel 1. Kecepatan rencana V_w

Keadaan	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Sumber: RSNI T-02-2005

Tabel 2. Koefisien seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
b/d = 1,0	2,1
b/d = 2,0	1,5
b/d > 6,0	1,25

CATATAN b = lebar keseluruhan jembatan di hitung dari sisi luar sandaran
 d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran masif

Sumber: RSNI T-02-2005

5. Beban gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) dengan formulasi seperti **Persamaan 3**.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t$$

Dengan :

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respons elastik

R = faktor modifikasi respons

W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan hidup yang sesuai (kN)

Dimana apabila diambil sebuah letak titik pada daerah Kota Malang dengan kelas situs tanah sedang (SD) maka didapat:

$$PGA = 0,3 \text{ g}$$

$$S_s = 0,6 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,3 \text{ g}$$

Nilai F_{PGA} dan F_a didapat dari **Tabel 3**.

Tabel 3. Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik

Kelas situs	PGA≤0,1	PGA=0,2	PGA=0,3	PGA=0,4	PGA>0,5
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Batuan keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 2833:2016

Sedangkan nilai untuk F_v didapat dari **Tabel 4**.

Tabel 4. Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 4$	$S_1 \geq 5$
Batuan keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 2833:2016

Diperoleh:

$$F_{PGA} = 1,2$$

$$F_a = 1,3$$

$$F_v = 1,8$$

Dapat ditentukan:

$$A_s = F_{PGA} \cdot PGA = 0,3 \cdot 1,2 = 0,36$$

$$S_{DS} = F_a \cdot S_s = 0,6 \cdot 1,3 = 0,78$$

$$S_{D1} = F_v \cdot S_1 = 0,3 \cdot 1,8 = 0,54$$

$$(3) \quad T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,54}{0,78} = 0,69$$

$$T_0 = 0,2 \cdot T_s = 0,2 \cdot 0,69 = 0,14$$

C_{sm} dihitung berdasarkan pendekan nilai T

$$T < T_0 \rightarrow C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s$$

$$T_0 \leq T \leq T_s \rightarrow C_{sm} = S_{DS}$$

$$T > T_s \rightarrow C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

Dan **Persamaan 4**. Adalah untuk menghitung T

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \cdot K}} \quad (4)$$

Sedangkan faktor modifikasi respon (R) didapat dari **Tabel 5**.

Tabel 5. Faktor modifikasi respon (R)

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Sumber: SNI 2833:2016

6. Kombinasi beban

Kombinasi beban mengacu pada peraturan SNI-1725-2016 kombinasi beban seperti pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kombinasi beban dan faktor beban

Beban	MS	MA	TA	TLL	EWS	EWL	EQ
Kuat 1	1.3	2.0	1.4	1.8	-	-	-
Kuat 2	1.3	2.0	1.4	1.4	-	-	-
Kuat 3	1.3	2.0	1.4	-	1.4	-	-
Kuat 4	1.3	2.0	1.4	-	-	-	-
Kuat 5	1.3	2.0	1.4	-	0.4	1.0	-
Ekstrem 1	1.3	2.0	1.4	0.5	-	-	1.0
Ekstrem 2	1.3	2.0	1.4	0.5	-	-	-
Layan 1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0	-
Layan 2	1.0	1.0	1.0	1.3	-	-	-
Layan 3	1.0	1.0	1.0	0.8	-	-	-
Layan 4	1.0	1.0	1.0	-	0.7	-	-

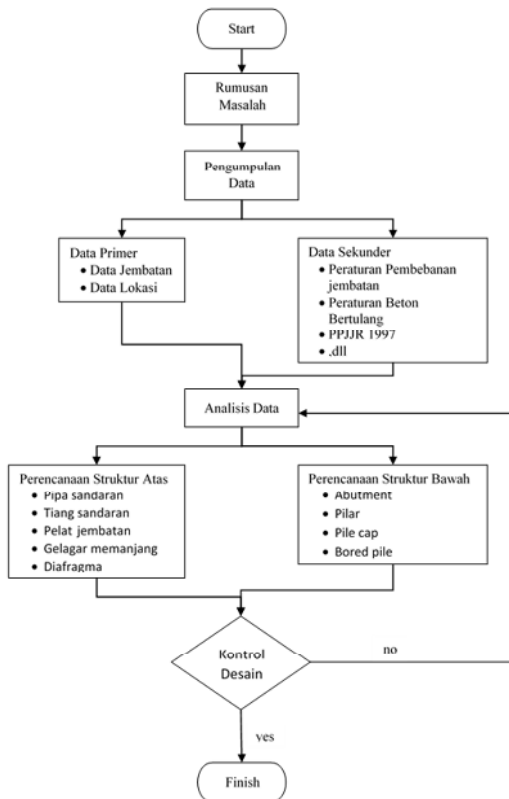
Sumber: SNI 1725:2016

Item dan Data Perencanaan

Item dan data perencanaan dari perencanaan terdiri dari dimensi, mutu dan tipe gelagar selain

itu juga bagan alir perencanaan seperti **Gambar 4**.

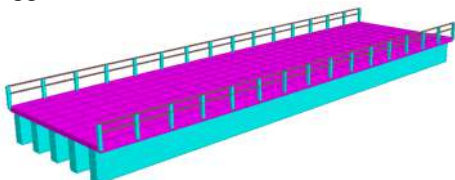
- Panjang jembatan : 30 meter
- Lebar jembatan : 8,4 meter
- Tinggi gelagar : 1600 mm
- Lebar gelagar : 550 mm
- Jarak antar gelagar : 1750 mm
- Mutu beton gelagar : 40 Mpa
- Tulangan utama : 400 Mpa
- Sengkang : 240 Mpa



Gambar 4. Bagan alir perencanaan jembatan layang (*flyover*)

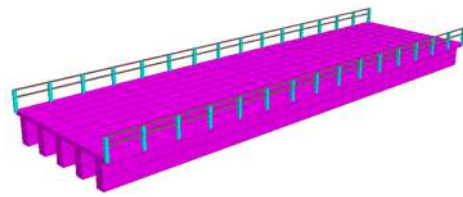
Pemodelan Struktur Jembatan

Perhitungan perbandingan struktur ini dimodelkan menggunakan STAAD Pro V8i yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. dengan dimodelkan menggunakan *beam*.



Gambar 5. Pemodelan struktur dengan menggunakan *beam*

Sedangkan dengan dimodelkan menggunakan *plate* ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Pemodelan struktur dengan menggunakan *plate*

Pembebanan Jembatan

1. Berat sendiri

Berat sendiri dari jembatan ini didapat dari berat masing-masing material penyusun struktur yang secara otomatis terhitung oleh STAAD Pro V8i seperti **Gambar 7**.



Gambar 7. Distribusi berat sendiri oleh STAAD Pro V8i

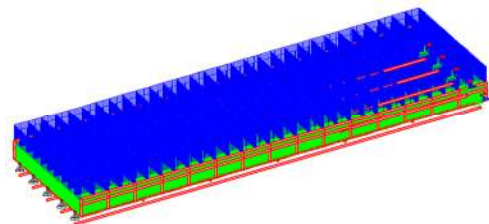
2. Beban mati tambahan

Beban mati tambahan berupa:

- Beban aspal 22 kN/m³ setebal 5cm maka:
Beban aspal = 0,05 . 22 = 1,1 kN/m²
- Beban air hujan 10 kN/m³ setebal 5cm maka:

Beban air = 0,05 . 10 = 0,5 kN/m²

Yang didistribusikan pada program STAAD Pro V8i seperti **Gambar 8**.



Gambar 8. Distribusi beban mati tambahan pada STAAD Pro V8i

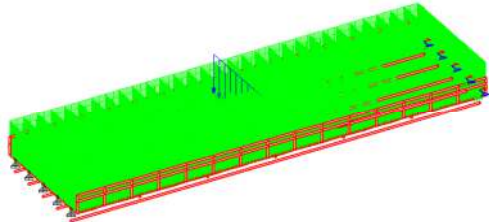
3. Beban lalu lintas

Untuk pembebanan gelagar jembatan beban lalu lintas berupa beban lajut “D” yang terbagi atas beban terbagi rata (BTR) dan beban garis (BGT)

- a. Beban terbagi rata (BTR)
Karena L = 30m, maka besarnya beban terbagi rata (BTR) = 9,0 kPa = 9kN/m²
- b. Beban garis (BGT)

Besarnya nilai dari beban garis (BGT) adalah 49kN/m yang terletak pada tengah bentang

Kedua beban diatas didistribusikan pada program STAAD Pro V8i seperti **Gambar 9**.



Gambar 9. Distribusi beban lalu lintas pada STAAD Pro V8i

4. Beban rem

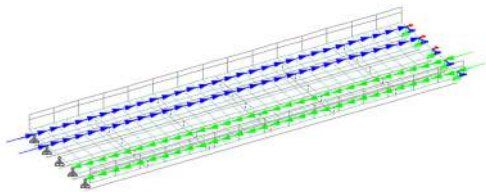
Besar beban rem dipilih yang terbesar antara:

- 25% 500 kN = 125 kN
 - 5% [500 + (9 × 30 × 8,4)] = 138,4 kN
- 125 kN < 138,4 kN , maka dipilih 138,4 kN**

Besar beban rem yang bekerja pada jembatan didistribusikan pada node pertemuan antara plat dengan gelagar. Dengan jumlah node sebanyak 124 maka beban rem tiap node dihitung dengan cara:

$$\text{Beban pernode} = \frac{\text{beban total}}{\text{node}} = \frac{138,4 \text{ kN}}{124} = 1,12 \text{ kN}$$

Yang didistribusikan pada program STAAD Pro V8i seperti **Gambar 10**.



Gambar 10. Distribusi beban rem pada STAAD Pro V8i

5. Beban angin

Beban angin yang dimasukan hanya beban angin kendaraan karena beban angin struktur tidak bekerja dominan pada stuktur atas. Besar beban angin dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_w = 1,25$$

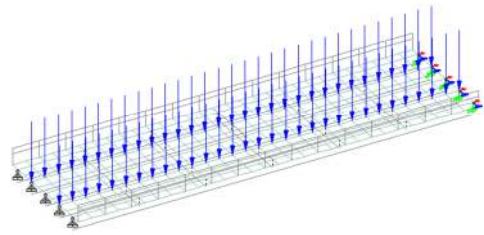
$$V_w = 30 \text{ m/s}$$

$$A_b = \frac{4}{2} \cdot 1,75 = 3,5 \text{ m}$$

Maka,

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b = 0,0012 \cdot 1,25 \cdot 30^2 \cdot 3,5 = 4,725 \text{ kN/m}$$

Yang didistribusikan pada program STAAD Pro V8i seperti **Gambar 11**.



Gambar 11. Distribusi beban angin pada STAAD Pro V8i

6. Beban gempa

Beban gempa bekerja secara horizontal pada node pertemuan antara gelagar dan plat dengan total node 155. Jika nilai K diasumsikan sebesar $2 \cdot 10^5$ kN/m, nilai R sebesar 0,8 dan total berat sendiri (W) didapat dari STAAD Pro sebesar 5185,16 kN. Maka nilai T dihitung sebesar:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g \cdot K}} = 2\pi \sqrt{\frac{5185,16}{9,81 \cdot 2 \cdot 10^5}} = 0,32$$

$$T_0 \leq T \leq T_s \rightarrow C_{sm} = S_{DS}$$

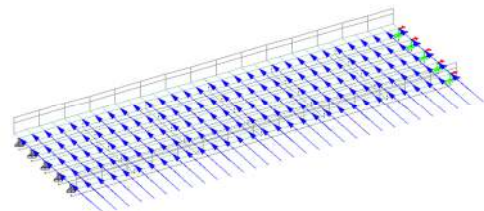
Maka, $C_{sm} = S_{DS} = 0,78$

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} W_t = \frac{0,78}{0,8} 5185,16 = 5055,53 \text{ kN}$$

Dengan jumlah node sebanyak 155 jadi besar E_Q pernode sebesar:

$$E_{Q \text{ pernode}} = \frac{E_Q}{\text{node}} = \frac{5055,53}{155} = 32,62 \text{ kN}$$

Yang didistribusikan pada program STAAD Pro V8i seperti **Gambar 12**.

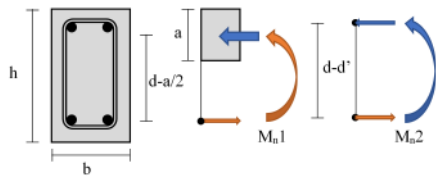


Gambar 12. Distribusi beban gempa pada STAAD Pro V8i

Perencanaan Gelagar

Gelagar jembatan direncanakan menggunakan balok beton dengan tulangan rangkap seperti **Gambar 13**. dan pembagian tulangan antara lain:

1. Tulangan tarik
2. Tulangan tekan
3. Tulangan geser
4. Tulangan bagi yang diambil dari 20% tulangan tarik

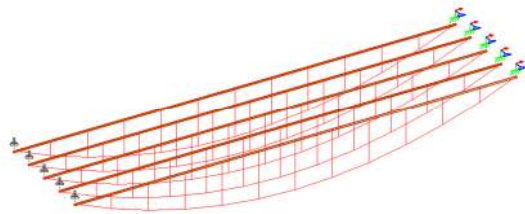


Gambar 13. Diagram tegangan-regangan pada balok rangkap

Perhitungan Tulangan dengan Model Beam

a. Tulangan utama

Perencanaan tulangan utama pada gelagar dengan model *beam* berdasarkan momen maksimum pada sumbu z (M_z) yang ditunjukkan pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Momen sumbu z akibat kombinasi beban KUAT 1

Dari hasil analisa STAAD Pro didapat momen maksimum pada sumbu z sebesar 2928,954 kN.m terletak di tengah bentang beam 8916 yang diakibatkan oleh kombinasi beban KUAT 1. Maka perencanaan tulangan utama:

1) Data perencanaan

$$M_u = 2.928,954 \text{ kNm} \\ = 2.928.954.000 \text{ Nmm} \\ f_y = 400 \text{ Nmm}^2 \quad f'_c = 40 \text{ Nmm}^2 \\ b = 550 \text{ mm} \quad h = 1600 \text{ mm} \\ d' = 60 \text{ mm} \quad d = 1540 \text{ mm}$$

2) Kuat tekan baja (f'_s)

$$C_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \cdot 1540}{600 + 400} = 924 \text{ mm} \\ \epsilon'_s = \frac{0,003}{C_b} (C_b - d') = \frac{0,003}{936} (936 - 60) \\ = 0,0028 \\ f'_s = \epsilon'_s \cdot E_{\text{baja}} = 0,0028 \cdot 200000 \\ = 560 \text{ Mpa} \\ 560 \text{ Mpa} > 400 \text{ Mpa} \\ f'_s > f_y, \text{ maka } f'_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$$

3) Asumsi tulangan

Tulangan tarik (A_s) diasumsikan sebesar:
 $A_s = 6500 \text{ mm}^2$
 Tulangan tekan (A'_s) diasumsikan sebesar 20% dari tulangan tarik:
 $A'_s = 20\% \cdot 6500 = 1300 \text{ mm}^2$

4) Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{6500}{550 \cdot 1540} = 0,0077$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left[\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right] \\ = 0,75 \left[\frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400} \right] = 0,0295$$

$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$, maka ok

5) Tinggi penampang beton tertekan (a_b)

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y) - (A'_s \cdot f'_s)}{(0,85 \cdot f'_c \cdot b)} \\ = \frac{(6500 \cdot 400) - (1300 \cdot 400)}{(0,85 \cdot 40 \cdot 550)} \\ = 111,23 \text{ mm}$$

Kontrol a_b

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'_c - 30) \\ = 0,85 - 0,008(40 - 30) = 0,77 \\ a_b = C_b \cdot \beta_1 = 924 \cdot 0,77 = 711,48 \text{ mm} \\ 711,48 \text{ mm} > 111,23 \text{ mm}$$

$a_b > a$, maka ok

6) Momen nominal (M_n)

$$\phi M_{n1} = \phi (0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ = 0,8(0,85 \cdot 40 \cdot 111,23 \cdot 550) \left(1540 - \frac{111,23}{2} \right) \\ = 2.470.016.684 \text{ Nmm} \\ \phi M_{n2} = \phi \cdot (A'_s \cdot f'_s) (d - d') \\ = 0,8 \cdot (1300 \cdot 400) \cdot (1540 - 60) \\ = 615.680.000 \text{ Nmm}$$

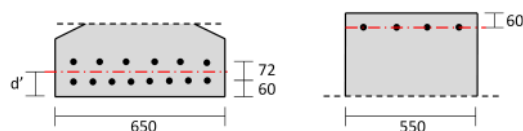
$$\phi M_{n \text{ total}} = \phi M_{n1} + \phi M_{n2} \\ = 2.470.016.684 + 615.680.000 \\ = 3.085.696.684 \text{ Nmm} \\ 3.085.696.684 \text{ Nmm} > 2.928.954.000 \text{ Nmm} \\ \phi M_n > M_u, \text{ maka ok}$$

7) Pemilihan tulangan

- Luas tulangan tarik (A_s) = 6500 mm², jika digunakan tulangan D25 maka,
 $n = \frac{A_s}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{6500}{0,25 \cdot \pi \cdot 25^2} = 13,24 \approx 14D25$
 - Luas tulangan tekan (A'_s) = 1300 mm², jika digunakan tulangan D22 maka,
 $n = \frac{A_s}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{1300}{0,25 \cdot \pi \cdot 22^2} = 3,42 \approx 4 D22$

Letak titik berat tulangan terdapat pada

Gambar 15.



Gambar 15. Penampang tulangan tarik dan tekan

8) Kontrol kapasitas momen ultimit

Karena tulangan terbagi lebih dari 1 baris horizontal maka perlu dilakukan

pengontrolan pada kapasitas momen ultimit. Dengan berubahnya titik berat tulangan tarik d' dapat dihitung dengan cara seperti **Tabel 7**.

Tabel 7. Titik berat tulangan tarik

Baris ke	Jumlah tul.		y	n.y
	n		mm	mm
1	8		60	480
2	6		110	660
Σn = 14			Σn.y = 1120 mm	

$$\text{Maka, } d' = \frac{\sum n \cdot y}{\sum n} = \frac{1140}{14} = 81,43 \text{ mm}$$

$$d_{baru} = h - d'_{baru} = 1600 - 81,43 = 1518,57$$

9) Momen nominal koreksi

$$\begin{aligned} \phi M_{n1} &= \phi(0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,8(0,85 \cdot 40 \cdot 111,23 \cdot 550) \left(1518,57 - \frac{111,23}{2} \right) \\ &= 2.434.359.542 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{n2} &= \phi \cdot (A_s' \cdot f_s') (d - d') \\ &= 0,8 \cdot (1300 \cdot 400) \cdot (1518,57 - 81,43) \\ &= 606.765.714 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{n \text{ total}} &= \phi M_{n1} + \phi M_{n2} \\ &= 2.434.359.542 + 606.765.714 \\ &= 3.041.125.256 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

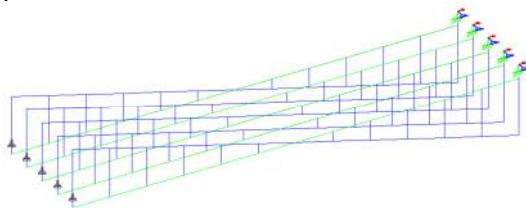
$$3.041.125.256 \text{ Nmm} > 2.928.954.000 \text{ Nmm}$$

φM_n > M_u, maka ok

Jadi pada tulangan tarik digunakan 14 D25 dan pada tulangan tekan digunakan 4 D22

b. Tulangan geser

Perencanaan tulangan geser pada gelagar dengan model *beam* berdasarkan gaya geser maksimum pada sumbu y (Sy) yang ditunjukkan pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Gaya geser sumbu y akibat kombinasi beban KUAT 1

Dari hasil analisa STAAD Pro didapat gaya geser maksimum pada sumbu y sebesar 397,730 kN terletak di tepi bentang beam 8914 yang diakibatkan oleh kombinasi beban KUAT 1. Maka perencanaan tulangan geser:

1) Data perencanaan

$$\begin{aligned} V_u &= 397,730 \text{ kN} = 397.730 \text{ N} \\ f_y &= 240 \text{ Nmm}^2 & f'_c &= 40 \text{ Nmm}^2 \\ b &= 550 \text{ mm} & h &= 1600 \text{ mm} \\ d' &= 60 \text{ mm} & d &= 1540 \text{ mm} \end{aligned}$$

2) Kuat geser beton (V_c)

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0,6 \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 550 \cdot 1540 \\ &= 535,689 \text{ N} > 397.730 \text{ N} \end{aligned}$$

φV_c > V_u, maka digunakan s_{min}

3) Perhitungan jarak sengkang minimal (s_{min})

Misal digunakan tulangan Ø10 maka,

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{min} &= \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3 \cdot 157,08 \cdot 240}{550} \\ &= 205,63 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi pada tulangan geser gelagar digunakan tulangan Ø10-200 karena A_s terpasang > A_s diperlukan

c. Tulangan bagi

Tulangan bagi diambil dari 20% dari luas tulangan tarik

$$A_s = 6500 \text{ mm}^2$$

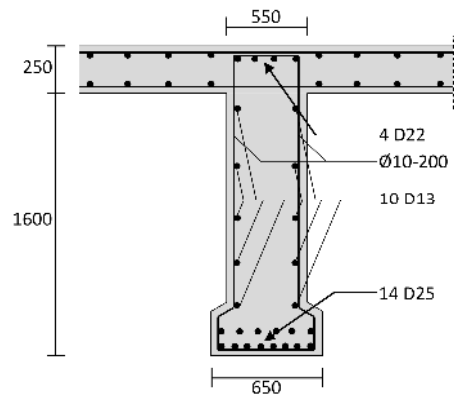
$$A_{s \text{ bagi}} = 20\% \cdot 6500 = 1300 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai D13 maka,

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s \text{ bagi}}}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{1300}{0,25 \cdot \pi \cdot 13^2} = 9,79 \\ &\approx 10 \end{aligned}$$

Jadi pada tulangan bagi gelagar digunakan tulangan 10 D13 karena A_s terpasang > A_s diperlukan.

Susunan penulangan gelagar dengan model *beam* dapat dilihat pada **Gambar 17**.

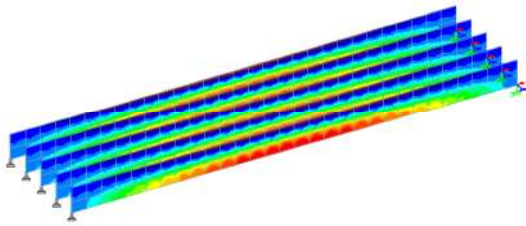


Gambar 17. Penulangan gelagar dengan model *beam*

Perhitungan Tulangan dengan Model Plate

a. Tulangan utama

Perencanaan tulangan utama pada gelagar dengan model *plate* berdasarkan gaya aksial maksimum pada sumbu x (S_x) yang ditunjukkan pada **Gambar 18**.



Gambar 18. Tegangan sumbu x akibat kombinasi beban KUAT 1

Dari hasil analisa STAAD Pro didapat tegangan sumbu x maksimum sebesar 17,645 N/mm² terletak di *plate* 9347 yang diakibatkan oleh kombinasi beban KUAT 1. Maka perencanaan tulangan utama:

1) Data perencanaan

$$T_s = 17,645 = 17,645 \cdot \frac{676 \cdot 550}{2} = 3.280.205 \text{ N}$$

$$f_y = 400 \text{ Nmm}^2 \quad f'_c = 40 \text{ Nmm}^2$$

$$b = 550 \text{ mm} \quad h = 1600 \text{ mm}$$

$$d' = 60 \text{ mm} \quad d = 1540 \text{ mm}$$

2) Luas tulangan

$$A_s = \frac{T_s}{\phi f_y} = \frac{3.280.205}{0,8 \cdot 400} = 10.251 \text{ mm}^2$$

A_a' diambil dari 20% tulangan tekan

$$A'_s = 20\% 10251 = 2050 \text{ mm}^2$$

3) Rasio tulangan (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{10251}{550 \cdot 1540} = 0,0121$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left[\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \right]$$

$$= 0,75 \left[\frac{0,85 \cdot 40 \cdot 0,77}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400} \right] = 0,0295$$

$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min}$, maka ok

4) Kuat tekan baja (f'_s)

$$C_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \cdot 1540}{600 + 400} = 924 \text{ mm}$$

$$\epsilon'_s = \frac{0,003}{C_b} (C_b - d') = \frac{0,003}{936} (936 - 60)$$

$$= 0,0028$$

$$f'_s = \epsilon'_s \cdot E_{\text{baja}} = 0,0028 \cdot 200000$$

$$= 560 \text{ Mpa}$$

$$560 \text{ Mpa} > 400 \text{ Mpa}$$

$$f'_s > f_y, \text{ maka } f'_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$$

5) Tinggi penampang beton tertekan (a_b)

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y) - (A'_s \cdot f'_s)}{(0,85 \cdot f'_c \cdot b)}$$

$$= \frac{(10.251 \cdot 400) - (2050 \cdot 400)}{(0,85 \cdot 40 \cdot 550)}$$

$$= 175,42 \text{ mm}$$

Kontrol a_b

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 \cdot (f'_c - 30)$$

$$= 0,85 - 0,008(40 - 30) = 0,77$$

$$a_b = C_b \cdot \beta_1 = 924 \cdot 0,77 = 711,48 \text{ mm}$$

$$711,48 \text{ mm} > 175,42 \text{ mm}$$

$a_b > a$, maka ok

6) Pemilihan tulangan

- Luas tulangan tarik (A_s) = 10251 mm², jika digunakan tulangan D29 maka,

$$n = \frac{A_s}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{10251}{0,25 \cdot \pi \cdot 29^2} = 15,52 \approx 16D29$$

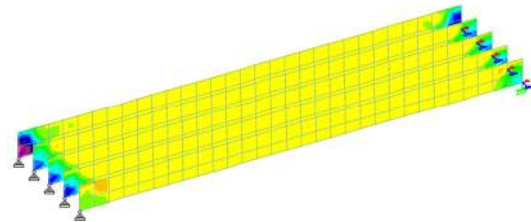
- Luas tulangan tekan (A'_s) = 2050 mm², jika digunakan tulangan D25 maka,

$$n = \frac{A'_s}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{2050}{0,25 \cdot \pi \cdot 25^2} = 4,18 \approx 5D25$$

Jadi pada tulangan tarik digunakan 16 D29 dan pada tulangan tekan digunakan 5 D25

b. Tulangan geser

Perencanaan tulangan geser pada gelagar dengan model *plate* berdasarkan gaya tarik maksimum pada sumbu y (S_y) diasumsikan bekerja pada jarak sengkang 200mm yang ditunjukkan pada **Gambar 19**.



Gambar 19. Gaya tarik sumbu y akibat kombinasi beban EKSTREM 1

Dari hasil analisa STAAD Pro didapat tegangan sumbu y maksimum sebesar 2,286 N/mm² terletak di *plate* 9332 yang diakibatkan oleh kombinasi beban EKSTREM 1. Maka perencanaan tulangan geser:

1) Data perencanaan

$$V_u = 2,286 \text{ N/mm}^2$$

$$= 2,286 \cdot 550 \cdot 200 = 251.460 \text{ N}$$

$$f_y = 240 \text{ Nmm}^2 \quad f'_c = 40 \text{ Nmm}^2$$

$$b = 550 \text{ mm} \quad h = 1600 \text{ mm}$$

$$d' = 60 \text{ mm} \quad d = 1540 \text{ mm}$$

2) Kuat geser beton (V_c)

$$\phi V_c = 0,6 \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = 0,6 \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 550 \cdot 1540$$

$$= 535,689 \text{ N} > 251.460 \text{ N}$$

$\phi V_c > V_u$, maka digunakan s_{\min}

3) Perhitungan jarak sengkang minimal (s_{\min})

Misal digunakan tulangan $\phi 10$ maka,

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s_{\min} = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{3 \cdot 157,08 \cdot 240}{550}$$

$$= 205,63 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Jadi pada tulangan geser gelagar digunakan tulangan Ø10-200 karena A_s terpasang > A_s diperlukan

c. Tulangan bagi

Tulangan bagi diambil dari 20% dari luas tulangan tarik

$$A_s = 10251 \text{ mm}^2$$

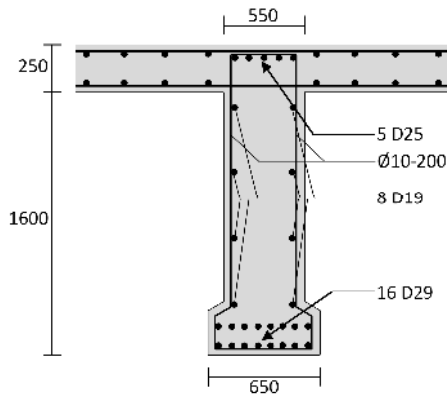
$$A_{s \text{ bagi}} = 20\% 10251 = 2050 \text{ mm}^2$$

Jika dipakai D19 maka,

$$n = \frac{A_{s \text{ bagi}}}{0,25 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{2050}{0,25 \cdot \pi \cdot 19^2} = 7,23 \approx 8$$

Jadi pada tulangan bagi gelagar digunakan tulangan 8 D19 karena A_s terpasang > A_s diperlukan

Susunan penulangan gelagar dengan model plate dapat dilihat pada **Gambar 20**.



Gambar 20. Penulangan gelagar dengan model plate

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan, dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa perbedaan dari hasil perencanaan gelagar dengan model *beam* dan *plate*

1. Pada tulangan utama model *beam* menggunakan momen sebagai pembanding gaya dalam dan gaya luar. Sedangkan model *plate* menggunakan tegangan sebagai pembanding gaya dalam dan gaya luar. Dengan nilai tulangan **Tabel 8**.
2. Pada tulangan geser model *beam* dan model *plate* sama-sama menggunakan tegangan geser sebagai pembanding gaya dalam dan gaya luar. Dengan nilai tulangan **Tabel 8**.
3. Pada tulangan bagi model *beam* dan model *plate* sama-sama menggunakan persentase dari tulangan utama. Dengan nilai tulangan **Tabel 8**.

Tabel 8. Perbandingan model *beam* dan *plate*

Keterangan		Model <i>Beam</i>	Model <i>Plate</i>
Tulangan tarik	Luas tulangan	6500 mm ²	10251 mm ²
	Tulangan	14 D25	16 D29
Tulangan tekan	Luas tulangan	1300 mm ²	2050 mm ²
	Tulangan	4 D22	5 D25
Tulangan geser	Nilai tegangan	397.730 N	251.460 N
	Tulangan	Ø10-200	Ø10-200
Tulangan bagi	Luas tulangan	1300 mm ²	2050 mm ²
	Tulangan	10 D13	8 D19

Daftar Rujukan

- Agriansyah, E. 2018. Study Kelayakan Pembangunan Jalan Layang (*flyover*) di Jalan Raya Gadang Kota Malang [skripsi]. Malang (ID): Politeknik Negeri Malang
- Indonesia, S. N. (2016). Pembebanan untuk jembatan. *Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*.
- Umum, D. P. (1987). Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya. *Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta*.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Bina Jenderal Bina Marga. (2008). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Jembatan, Jakarta*
- Nasional, B. S. (2016). Pembebanan untuk Jembatan, SNI 1725-2016. *Jakarta: Standar Nasional Indonesia, Jakarta*
- Nasional, B. S. (2005). RSNI T-02-2005 Standar pembebanan untuk jembatan. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*
- Indonesia, S. N. (2004). Perencanaan struktur beton untuk jembatan. *Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*.