

OPTIMASI DESAIN KOMPONEN LENTUR GELAGAR PERSEGI BAJA

Tria Octa Mutiara¹, Pratika Riris Putrianti^{2*} dan Agustinus Agus Setiawan³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Jaya, Jalan Cenderawasih Raya Blok B7/P, Sawah Baru, Kec. Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten

Email: tria.octamutiara@student.upj.ac.id

^{2*}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Jaya, Jalan Cenderawasih Raya Blok B7/P, Sawah Baru, Kec. Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten

Email: pratika.riris@upj.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Jaya, Jalan Cenderawasih Raya Blok B7/P, Sawah Baru, Kec. Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten

Email: agustinus@upj.ac.id

ABSTRACT

The traffic congestion in Indonesia's big city needs effective infrastructure developments within limited areas. The purpose of this study is to determine an optimum dimension of steel box girder to carry the load on every span length and yield strength of girder based on SNI 1725-2016 and SNI 1729-2015. This study is using the Microsoft Excel program and limited only the compact section of flange and web section. The analysis result shows that higher yield strength the more in weight saving. Within the weight section of the yield strength, 690 MPa has 30% in saving weight compared to 250 MPa. Than the optimal web thickness for the yield strength of 250 MPa is 15 mm and for the yield strength of 690 MPa is 13 mm. The optimum ratio for depth of the web to span length is $1/60 L$.

Keywords: Steel Box Girder, Optimum Dimension, Compact Section.

ABSTRAK

Kemacetan pada kota besar di Indonesia membutuhkan pembangunan infrastruktur yang efektif dengan daerah keterbatasan lahan. Tujuan dari kajian ini adalah untuk menentukan dimensi optimal gelagar persegi baja yang dapat digunakan dalam menahan beban pada setiap variasi panjang bentang dan mutu baja gelagar berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 1729-2015. Kajian ini menggunakan program Microsoft Excel dan dibatasi hanya penampang kompak dari sayap dan badan penampang. Hasil analisis menunjukkan bahwa mutu baja tertinggi memiliki penghematan berat paling besar. Ditinjau dari berat penampang, mutu baja 690 MPa memiliki penghematan sebesar 30% dibandingkan mutu baja 250 MPa. Tebal badan optimal mutu baja 250 MPa sebesar 15 mm dan mutu baja 690 MPa sebesar 13 mm. Adapun rasio optimal dari tinggi badan terhadap panjang bentang sebesar $1/60 L$.

Kata kunci: Gelagar Persegi Baja, Dimensi Optimum, Penampang Kompak

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini, mempengaruhi peningkatan penduduk yang berakibat pada pemenuhan kebutuhan setiap individu. Pembangunan menjadi salah satu tolak ukur dalam perkembangan suatu negara. Pembangunan tidak hanya terjadi pada sektor high rise building dan perumahan, melainkan pada sektor infrastruktur transportasi seperti jalan raya, jalan rel, terowongan, dan jembatan.

Berdasarkan Undang-Undang No. 38 Tahun 2004, Jalan sebagai bagian sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan dan dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah.

Peningkatan penduduk mengakibatkan naiknya jumlah kendaraan. Sehingga, kemacetan menjadi bagian dari permasalahan atau kendala yang harus ditangani. Salah satu penanganan atas kemacetan yang terjadi di kota-kota besar yaitu dengan penerapan sistem Transit Oriented Development (TOD) dengan pembangunan infrastruktur transportasi yaitu jembatan atau jalan layang (elevated).

Salah satu tujuan sistem TOD adalah agar penduduk beralih dari penggunaan kendaraan pribadi menjadi pengguna kendaraan umum dengan fasilitas transportasi dan infrastruktur yang baik.

Corresponding Author

E-mail Address : pratika.riris@upj.ac.id

Pembangunan infrastruktur dapat menyebabkan kendala terhadap keterbatasan lahan sehingga, jalan layang dipilih karena dapat dibangun diatas jalan yang sudah ada dimana keterbatasan lahan tidak lagi menjadi suatu kendala dalam pemenuhan kebutuhan infrastruktur transportasi. Jalan layang yang dimaksudkan dapat juga disebut jembatan gelagar.

Jembatan gelagar pada perkembangannya memiliki material gelagar yang berbeda. Material pertama yaitu beton atau disebut gelagar beton dan material kedua yaitu baja atau disebut gelagar baja. Penggunaan gelagar baja akan menjadi pilihan yang menjanjikan disamping berkurangnya berat gelagar jika dibandingkan dengan gelagar beton.

Berdasarkan perencanaan jembatan, optimasi jembatan sangat penting dilakukan untuk efisiensi jembatan yang akan dibangun. Penggunaan material gelagar beton memiliki dua perencanaan yaitu pengecoran di tempat (*on site girder*) dan fabrikasi gelagar (*precast girder*). Dua perencanaan tersebut memiliki keuntungan dan kerugiannya tersendiri. Sedangkan, material baja hanya menggunakan sistem fabrikasi gelagar. Penggunaan gelagar baja akan menjadi pilihan yang menjanjikan disamping berkurangnya berat gelagar jika dibandingkan dengan gelagar beton, gelagar baja tidak mudah patah apabila terkena gelagar lain pada saat penaikan atau pemasangan gelagar, serta penggunaan crane yang lebih efisien.

Berdasarkan parallel metaheuristic, prosedur optimasi menghasilkan sekitar 15% penurunan berat gelagar dibandingkan dengan desain konvensional tanpa optimasi(Kaveh et al., 2014).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan dimensi optimal gelagar persegi baja berdasarkan mutu baja, panjang bentang, dan berat penampang. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh tegangan leleh (F_y) baja terhadap panjang bentang (*span*) dan berat gelagar yang dihasilkan. Tegangan leleh (F_y) yang digunakan dalam penelitian yaitu 250 MPa, 345 MPa, 485 MPa, dan 690 MPa dengan panjang bentang 8 – 100 meter dengan interval 5 meter dimulai dari bentang 10 meter.

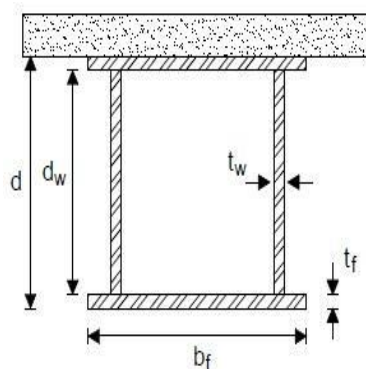
2. TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan Gelagar

Gelagar jembatan akan mendukung semua beban yang bekerja pada jembatan. Bahan gelagar berupa bahan kayu dan atau profil baja berupa profil kanal, profil H atau I. Bila menggunakan bahan baja, tentunya akan memberikan kekuatan struktur yang lebih baik dibandingkan bahan kayu(Supriyadi & Muntohar, 2007).

Gelagar kotak adalah anggota bentangan utama yang terbuat dari beton atau baja yang penampangnya berupa persegi atau trapesium berongga(Allen, 2005).

Jembatan gelagar kotak (*box girder*) tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab diatas dan dibawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak. Bentang sederhana sepanjang 40 ft (12 m) menggunakan tipe ini, tetapi biasanya bentang gelagar kotak lebih ekonomis antara 60-100 ft (18-30 m) dan biasanya didesain sebagai struktur menerus diatas pilar(Sahid & MM, 2017).



Gambar 1. Penampang persegi baja

Berdasarkan Gambar-1 didapatkan persamaan luas penampang persegi baja dan berat penampang yang dapat dilihat pada Persamaan 1 dan Persamaan 2.

$$A = 2(b_f \cdot t_f) + 2(d_w \cdot t_w) \quad (1)$$

$$\text{Berat} = A \cdot \gamma_{\text{baja}} \quad (2)$$

dengan,

- A : Luas penampang (m²),
- Berat : Berat penampang (kN/m),
- bf : Panjang flange atau sayap (m),
- tf : Tebal flange atau sayap (m),
- dw : Tinggi web atau badan (m),
- tw : Tebal web atau badan (m),
- γ_{baja} : Berat jenis baja (77 kN/m³).

Berdasarkan Gambar-1 didapatkan persamaan modulus elastis penampang yang dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$Z_x = b_f \cdot t_f (d_w + t_f) + \frac{1}{2} d_w^2 t_w \quad (3)$$

dengan,

- Z_x : Modulus elastis sumbu-x (mm³),
- bf : Panjang flange atau sayap (mm),
- tf : Tebal flange atau sayap (mm),
- dw : Tinggi web atau badan (mm),
- tw : Tebal web atau badan (mm).

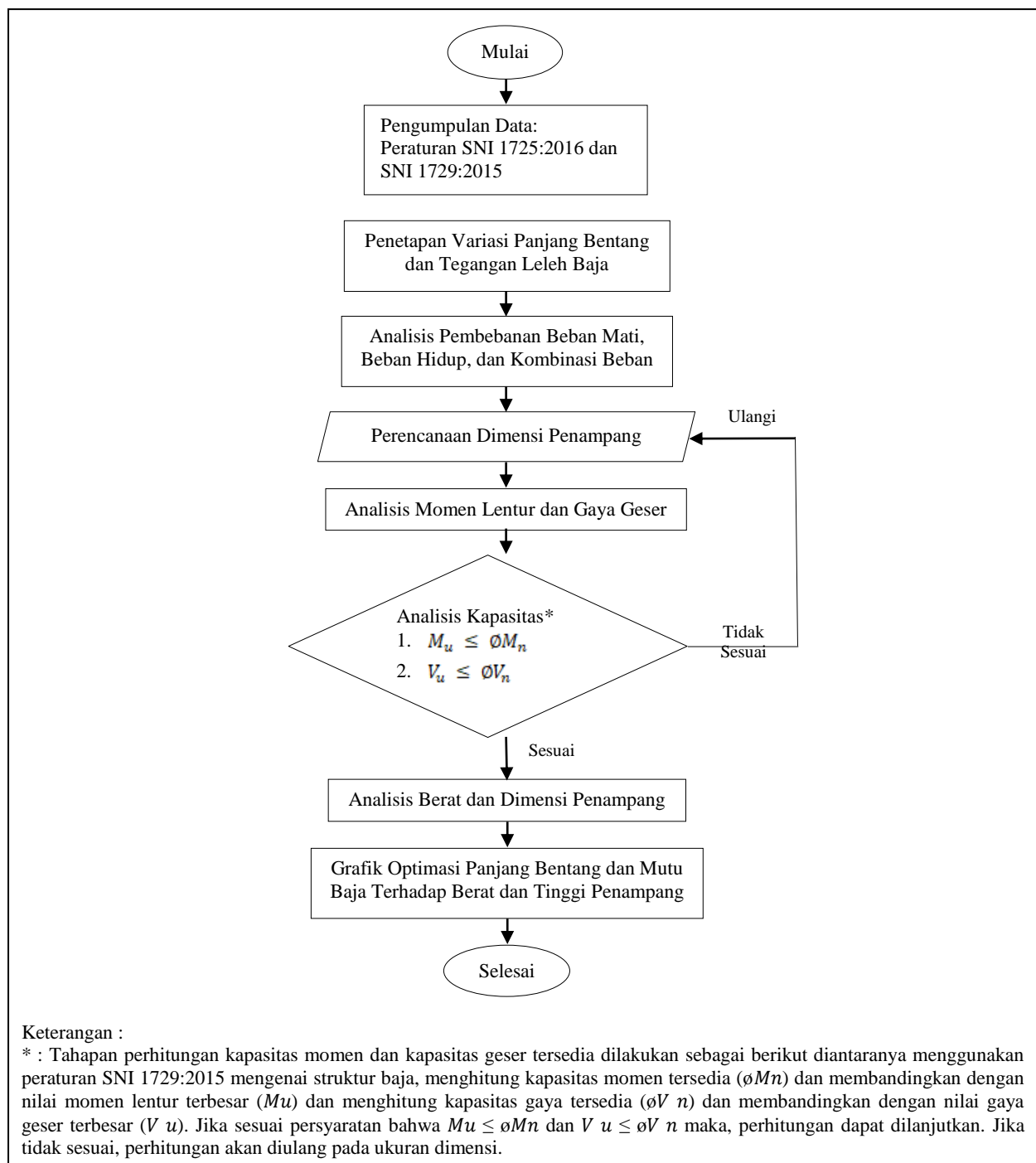
Desain Beban

- 1) Beban mati adalah berat suatu elemen struktur dan nonstruktur itu sendiri yang otomatis menjadi beban bagi elemen struktur dibawahnya (Priambodo, 2011).
 Beban mati pada penelitian ini terbagi menjadi:
 - a. Berat sendiri pelat
 - b. Berat aspal
 - c. Berat air hujan.
- 2) Beban hidup adalah beban pada elemen struktur yang bersifat tidak tetap dan dapat bergerak (Priambodo, 2011).
 Beban hidup yang ditinjau pada penelitian ini terbagi menjadi:
 - a. Beban terbagi rata (BTR)
 - b. Beban garis terpusat (BGT)
 - c. Beban truk.
- 3) Kombinasi beban penelitian menurut SNI 1725:2016 (Badan Standarisasi Nasional, 2016), termasuk kedalam keadaan batas kuat 1. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
 - a. Kombinasi beban 1 : $1,3M_U MS + 2M_U MA + 2M_U BTR + 2M_U BGT + 2M_U BT$
 - b. Kombinasi beban 2 : $1,3M_U MS + 2M_U MA + 2M_U BTR + 2M_U BGT + 1M_U BT$
 - c. Kombinasi beban 3 : $1,3M_U MS + 2M_U MA + 1M_U BTR + 1M_U BGT + 2M_U BT$
- 4) Penampang pada penelitian ini adalah penampang kompak. Ketentuan penampang terhadap perbandingan maksimum lebar terhadap tebal menurut SNI 1729:2015 (Badan Standardisasi Nasional, 2015) yang dapat dilihat pada Tabel-1.

Tabel 1. Perbandingan maksimum tebal terhadap lebar

Deskripsi elemen	Rasio ketebalan terhadap lebar	Batasan rasio tebal-lebar	
		λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Sayap dari PSB persegi dan boks ketebalan merata	b_f/t_f	$1,12\sqrt{E/F_y}$	$1,40\sqrt{E/F_y}$
Badan dari PSB persegi dan boks	d_w/t_w	$2,42\sqrt{E/F_y}$	$5,70\sqrt{E/F_y}$

3. METODE



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan studi kepustakaan.

Objek penelitian pada kajian ini antara lain panjang bentang (X_1), tegangan leleh (X_2), dimensi penampang (X_3), dan optimasi desain (Y), dengan acuan sebagai berikut:

- Panjang bentang yang menjadi acuan adalah 8 m – 100 m dengan interval 5 m dimulai dari 10 m.
- Tegangan leleh (F_y) atau mutu baja yang ditinjau dalam penelitian ini adalah 250 MPa, 345 MPa, 485 MPa, dan 690 MPa.

- c. Dimensi penampang yang ditargetkan dimulai pada ketebalan sayap (*flange*) 8 mm – 100 mm dengan panjang sayap (*flange*) 100 mm – 2000 mm, dan ketebalan badan (*web*) 8 mm – 20 mm dengan tinggi badan (*web*) 100 mm – 2000 mm.

Penelitian ini menggunakan *software Microsoft Excel* dengan beberapa rangkaian tahapan pengolahan data, sebagai berikut:

- Pengumpulan data yaitu SNI 1725:2016(Badan Standarisasi Nasional, 2016) dan SNI 1729:2015(Badan Standarisasi Nasional, 2015).
- Penetapan variasi panjang bentang dan tegangan leleh.
- Perhitungan beban dan kombinasi beban.
- Perencanaan dimensi penampang (penampang kompak).
- Perhitungan momen lentur dan gaya geser.
- Peninjauan kesesuaian antara beban dan kapasitas.
- Perhitungan berat dan dimensi penampang.

Adapun diagram alir penelitian, sebagaimana Gambar diatas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

- Tebal aspal : 0,05 m
- Tinggi air hujan : 0,05 m
- Berat jenis beton : 24 kN/m^3
- Berat jenis aspal : 22 kN/m^3
- Berat jenis air : $9,8 \text{ kN/m}^3$

- 1) Menurut SNI 12-2004 Pasal 5.5.2(Badan Standarisasi Nasional, 2004), tebal minimum pelat (t)

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 0,04 \cdot s) \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 0,04 \cdot (2.000)) \text{ mm} = 180 \text{ mm}$$

Berdasarkan ketentuan, nilai tebal minimum t , yang digunakan adalah 200 mm atau 0,2 m.

Berat sendiri pelat (q_{MS})

$$= 0,2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 = 9,60 \text{ kN/m}$$

- 2) Berat aspal (q_{as})

$$= 0,05 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 2,20 \text{ kN/m}$$

- 3) Berat air hujan (q_{ah})

$$= 0,05 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ kN/m}^3 = 0,98 \text{ kN/m}$$

- 4) Besaran intensitas (q)

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

Beban terbagi rata (q_{BTR})_{8 m}

$$= 9 \text{ kN/m}^2 \cdot 2 \text{ m} = 18 \text{ kN/m}$$

- 5) Faktor beban dinamis:

$$FBD \ L \leq 50 \text{ m} = 0,4$$

$$FBD \ 50 \text{ m} < L < 90 \text{ m} = 0,4 - 0,0025 \cdot (L-50)$$

$$FBD \ L \geq 90 \text{ m} = 0,3$$

$$\begin{aligned} &\text{Beban intensitas } p = 49 \text{ kN/m} \\ &\text{Beban garis terpusat } (q_{BGT})_8 \text{ m} \\ &= (1 + 0,4) \cdot 2 \text{ m} \cdot 49 \text{ kN/m} = 137,20 \text{ kN} \end{aligned}$$

6) Beban truk

Beban roda depan sebesar 50 kN

Beban roda tengah sebesar 225 kN

Beban roda belakang sebesar 225 kN

Penelitian terbaru yang dilakukan (Mohammed & Abdul-Razzaq, 2018) menggunakan program ANSYS mengenai Optimum Design of Steel Trapezoidal Box-Girder Using Finite Element Method menghasilkan kesimpulan bahwa, nilai optimum area penampang melintang untuk minimum energi regangan 6 % lebih besar dari nilai minimum volume yang disebabkan oleh tebal sayap atas, tebal sayap bawah, dan tinggi badan yang lebih besar; penampang melintang minimum adalah desain yang ekonomis karena volume minimum lebih relevan untuk optimasi gelagar baja; energi regangan berkurang 6 % dan pengurangan juga terjadi pada total volume yang didapatkan sekitar 5 %. Berdasarkan perhitungan beban terhadap momen lentur dan gaya geser. Ketiga kombinasi beban dengan nilai kombinasi terbesar yang dipilih adalah kombinasi beban 1, yang dapat dilihat pada Tabel-2.

Tabel 2. Kombinasi beban 1

L* (m)	Kombinasi 1	Kombinasi 1
	Mu (kN.m)	Vu (kN)
8	1.153,78	560,31
9	1.564,89	620,65
10	1.994,51	674,40
15	4.386,72	890,50
20	7.150,51	1.067,10
25	10.268,58	1.227,90
30	13.735,17	1.380,80
35	17.154,06	1.484,19
40	20.805,25	1.584,75
45	24.688,07	1.683,43
50	28.802,10	1.780,80
55	33.113,39	1.875,98
60	37.649,34	1.970,45
65	42.409,80	2.064,36
70	47.394,72	2.157,84
75	52.604,01	2.250,98
80	58.037,63	2.343,83
85	63.695,54	2.436,44
90	69.577,72	2.528,87
95	75.742,34	2.622,35
100	82.137,30	2.715,70

Keterangan :

* : L = panjang bentang

Berdasarkan Tabel-2, didapatkan nilai kombinasi beban terendah pada bentang 8 meter hingga tertinggi pada bentang 100 meter.

Nilai reaksi perletakkan, gaya geser, momen lentur, dan lendutan semakin meningkat seiring bertambahnya panjang bentang (Yudhistira, n.d.).

Dimensi sayap dan badan penampang dengan kriteria penampang kompak, dipilih berdasarkan nilai minimum kapasitas momen lentur dan gaya geser dalam memikul beban yang didapat dari Tabel-2.

Penampang melintang minimum adalah desain yang ekonomis karena volume minimum lebih relevan untuk optimasi gelagar baja (Mohammed & Abdul-Razzaq, 2018).

Dimensi penampang berdasarkan momen lentur dan gaya geser minimum dianalisis dengan dua persamaan. Persamaan polinomial digunakan pada tinggi penampang dan persamaan power digunakan pada berat penampang. Kedua persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel-3 dan Tabel-4.

Polynomial trendline berkerja dengan baik untuk data yang memiliki lebih dari satu (pola) naik dan turun (Cheuseva, 2019). Pola data dimensi tinggi penampang berdasarkan kriteria penampang polinomial dapat dilihat pada Gambar-3.

Tabel 3. Persamaan *polynomial* tinggi penampang

No	Mutu Baja	Persamaan <i>Polynomial</i> <i>Ordo 6</i>	R <i>Square</i>
1	250 MPa	$0,0000000288356x^6 -$ $0,0000048676299x^5 +$ $0,0003216587903x^4 -$ $0,0105176123316x^3 +$ $0,1766880602479x^2 -$ $1,4122669545004x +$ $4,4033112523084$	0,903
2	345 MPa	$0,0000000206399x^6 -$ $0,0000035652521x^5 +$ $0,0002424899907x^4 -$ $0,0082274417929x^3 +$ $0,145022695955x^2 -$ $1,2357170092713x +$ $4,1408888492706$	0,909
3	485 MPa	$-0,000000001008x^6 +$ $0,0000000110428x^5 +$ $0,0000001858823x^4 -$ $0,0000626061713x^3 +$ $0,0025271918092x^2 -$ $0,0282040403189x +$ $0,2112844506377$	0,874
4	690 MPa	$-0,0000000002814x^6 +$ $0,0000000739955x^5 -$ $0,0000075440566x^4 +$ $0,0003750653999x^3 -$ $0,0093905593252x^2 +$ $0,1134475650497x -$ $0,3839501462682$	0,884

Power trendline sangat mirip dengan kurva eksponensial, hanya saja *power* memiliki lengkungan yang lebih simetris. *Power* biasa digunakan untuk pengukuran yang meningkat pada waktu tertentu (Cheuseva, 2019). Pola data berat penampang yang meningkat berdasarkan kriteria persamaan *power* dapat dilihat pada Gambar-4.

Tabel 4. Persamaan *power* berat penampang

No	Mutu Baja	Persamaan <i>Power</i>	R <i>Square</i>
1	250 MPa	$0,3702x^{1,1322}$	0,969
2	345 MPa	$0,247x^{1,2351}$	0,941
3	485 MPa	$0,3145x^{1,1078}$	0,975
4	690 MPa	$0,2466x^{1,1349}$	0,975

Berdasarkan Tabel-3 dan Tabel-4, didapatkan dimensi penampang dengan panjang bentang dan variasi mutu baja, yang dapat dilihat pada Tabel-5, Tabel-6, Tabel-7, dan Tabel-8.

Tabel 5. Dimensi penampang F_y 250 MPa

L (m)	bf (m)	tf (m)	dw (m)	tw (m)	Berat (kN/m)
8	0,25	0,085	0,19	0,014	3,90
9	0,70	0,040	0,18	0,012	4,45
10	0,95	0,032	0,19	0,010	5,02
15	1,10	0,050	0,39	0,011	7,94
20	0,55	0,095	0,43	0,008	11,00
25	1,00	0,100	0,34	0,013	14,16
30	2,00	0,065	0,36	0,013	17,41
35	1,15	0,100	0,51	0,010	20,73
40	1,30	0,100	0,60	0,010	24,12
45	2,00	0,100	0,46	0,014	27,56
50	1,95	0,095	0,60	0,011	31,05

Tabel 6. Dimensi penampang F_y 345 MPa

L (m)	bf (m)	tf (m)	dw (m)	tw (m)	Berat (kN/m)
8	0,40	0,038	0,21	0,008	3,22
9	0,35	0,055	0,16	0,009	3,73
10	0,85	0,050	0,15	0,019	4,24
15	0,35	0,100	0,27	0,008	7,00
20	1,05	0,060	0,33	0,010	9,99
25	1,00	0,085	0,28	0,011	13,16
30	1,80	0,075	0,28	0,015	16,49
35	1,10	0,100	0,37	0,010	19,94
40	1,50	0,090	0,43	0,011	23,52
45	1,75	0,100	0,34	0,013	27,20
50	1,90	0,100	0,40	0,012	30,98

Tabel 7. Dimensi penampang F_y 485 MPa

L (m)	bf (m)	tf (m)	dw (m)	tw (m)	Berat (kN/m)
8	0,40	0,045	0,12	0,011	3,15
9	0,35	0,050	0,12	0,008	3,59
10	0,70	0,045	0,12	0,013	4,03
15	0,90	0,045	0,16	0,009	6,32
20	0,65	0,100	0,22	0,014	8,69
25	0,90	0,070	0,26	0,008	11,12
30	1,20	0,070	0,29	0,009	13,61
35	1,50	0,070	0,31	0,010	16,15
40	1,05	0,100	0,31	0,009	18,72
45	1,85	0,090	0,32	0,013	21,33

L (m)	bf (m)	tf (m)	dw (m)	tw (m)	Berat (kN/m)
50	1,55	0,095	0,33	0,010	23,97
55	1,60	0,095	0,36	0,009	26,64
60	1,95	0,100	0,39	0,011	29,34
65	1,95	0,100	0,39	0,010	32,06

Tabel 8. Dimensi penampang F_y 690 MPa

L (m)	bf (m)	tf (m)	dw (m)	tw (m)	Berat (kN/m)
8	0,35	0,038	0,09	0,008	2,61
9	0,45	0,040	0,10	0,009	2,99
10	0,65	0,036	0,12	0,010	3,36
15	0,30	0,095	0,14	0,008	5,33
20	0,75	0,070	0,14	0,010	7,39
25	0,90	0,080	0,15	0,011	9,52
30	1,10	0,085	0,18	0,013	11,71
35	0,90	0,090	0,21	0,008	13,94
40	1,50	0,080	0,24	0,011	16,22
45	1,05	0,095	0,27	0,008	18,54
50	1,25	0,095	0,27	0,008	20,90
55	1,80	0,100	0,27	0,013	23,29
60	1,65	0,095	0,27	0,009	25,70
65	1,70	0,100	0,28	0,010	28,15
70	1,90	0,100	0,32	0,010	30,62
75	1,90	0,100	0,35	0,009	33,11

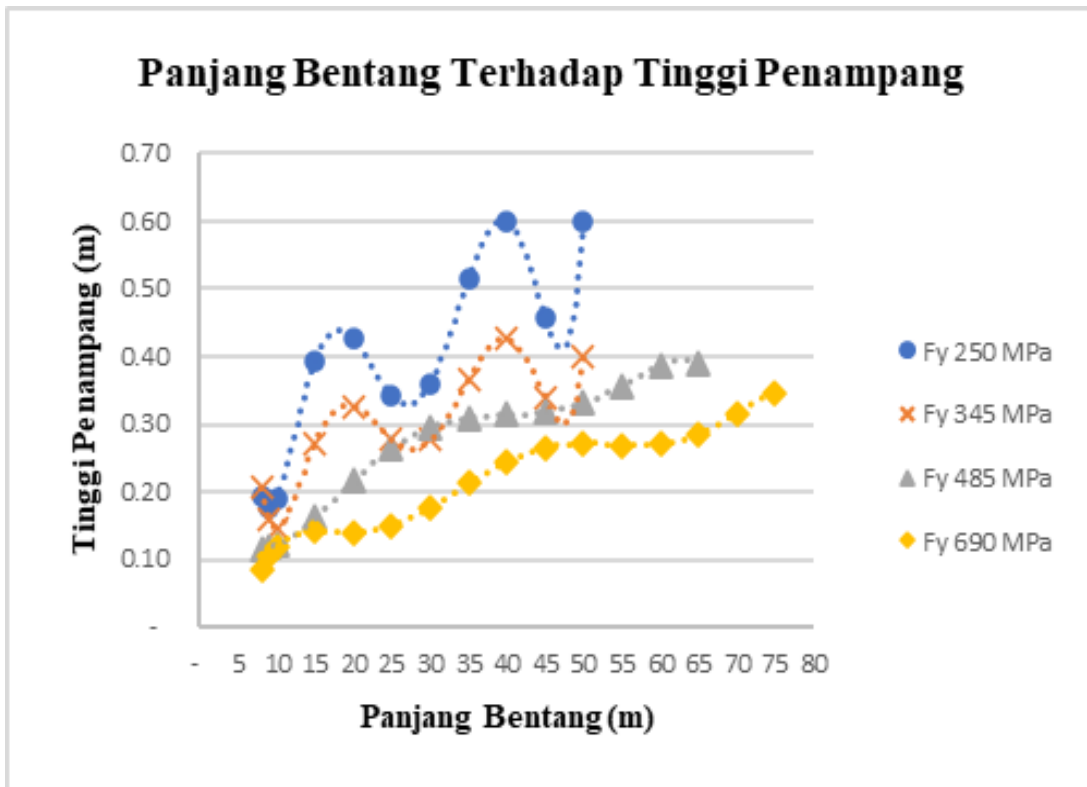
Berdasarkan dimensi tinggi penampang yang dapat dilihat pada Tabel-5, Tabel-6, Tabel-7, dan Tabel-8, didapatkan rasio tinggi terhadap panjang bentang dengan variasi mutu baja, yang dapat dilihat pada tabel Tabel-9.

Tabel 9. Rasio tinggi terhadap panjang bentang

F_y (Mpa)	Bentang 8-20 m	Bentang 25-50 m	Bentang 50-75 m
250	1/45	1/80	
345	1/60	1/115	
485	1/90	1/145	1/165 (65 meter)
690	1/140	1/180	1/215 (75 meter)

Rasio tinggi badan terhadap panjang bentang gelagar komposit, tinggi dari gelagar baja sedikitnya $1/30$ dari panjang bentang (Brockenbrough & Merritt, 2006).

Pola data dimensi tinggi penampang dilihat pada Tabel 9 dihubungkan dengan kurva yang didapatkan atas persamaan *polynomial*. Sehingga, menghasilkan grafik panjang bentang dengan variasi mutu baja terhadap tinggi penampang yang dapat dilihat pada Gambar-3. Batasan harga x disesuaikan dengan panjang bentang yang menjadi acuan adalah 8 m – 100 m dengan interval 5 m dimulai dari 10 m.



Gambar 3. Grafik panjang bentang terhadap tinggi penampang

Hasil analisis Gambar-3 didapatkan bahwa panjang bentang yang semakin bertambah dengan mutu baja tinggi didapatkan tinggi penampang yang semakin rendah.

Tabel 10. Berat *Fy* 250 MPa terhadap *Fy* 345 MPa

L (m)	Berat <i>Fy</i> 250 (kN/m)	Berat <i>Fy</i> 345 (kN/m)	Perbedaan Berat (kN/m)	Penghematan Berat (%)
8	3,90	3,22	0,68	17,36
9	4,45	3,73	0,73	16,35
10	5,02	4,24	0,78	15,44
15	7,94	7,00	0,94	11,84
20	11,00	9,99	1,01	9,19
25	14,16	13,16	1,00	7,08
30	17,41	16,49	0,93	5,32
35	20,73	19,94	0,79	3,81
40	24,12	23,52	0,60	2,48
45	27,56	27,20	0,35	1,29
50	31,05	30,98	0,07	0,21

Tabel 11. Berat *Fy* 250 MPa terhadap *Fy* 485 MPa

L (m)	Berat <i>Fy</i> 250 (kN/m)	Berat <i>Fy</i> 485 (kN/m)	Perbedaan Berat (kN/m)	Penghematan Berat (%)
8	3,90	3,15	0,75	19,25
9	4,45	3,59	0,87	19,48

L (m)	Berat Fy 250 (kN/m)	Berat Fy 485 (kN/m)	Perbedaan Berat (kN/m)	Penghematan Berat (%)
10	5,02	4,03	0,99	19,69
15	7,94	6,32	1,63	20,48
20	11,00	8,69	2,31	21,03
25	14,16	11,12	3,04	21,46
30	17,41	13,61	3,80	21,81
35	20,73	16,15	4,58	22,11
40	24,12	18,72	5,39	22,36
45	27,56	21,33	6,22	22,58
50	31,05	23,97	7,07	22,78
55		26,64		
60		29,34		
65		32,06		

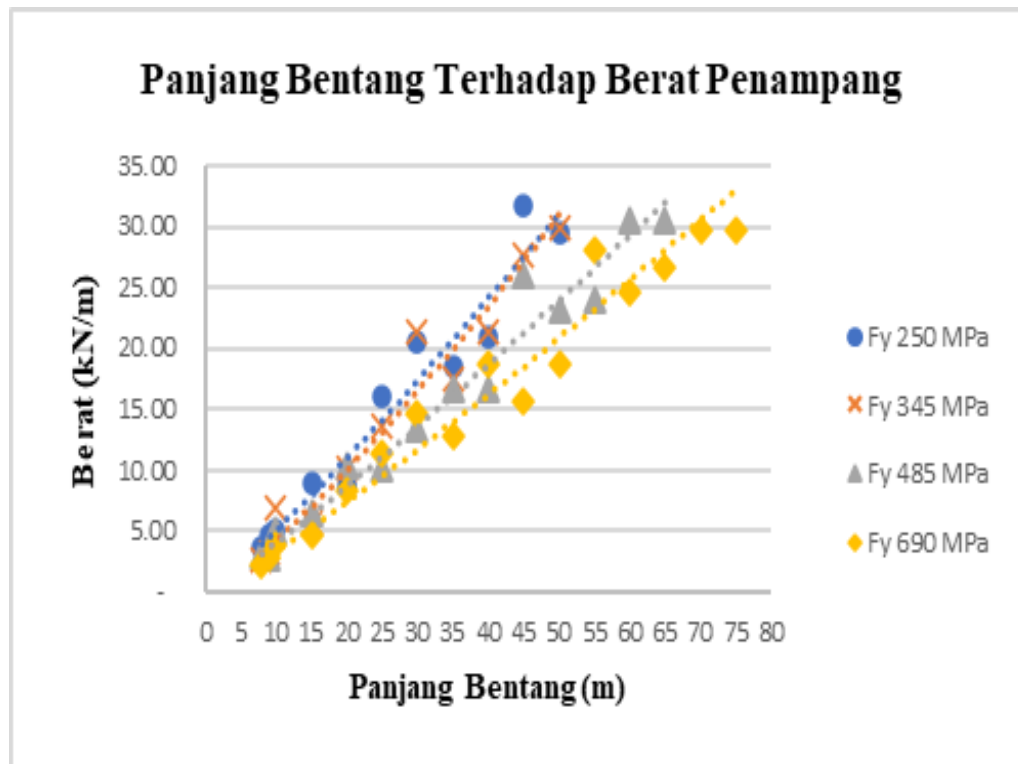
Berat penampang berdasarkan pada Tabel-5, Tabel-6, Tabel-7, dan Tabel-8, penghematan berat dengan acuan mutu baja terendah dapat dilihat pada Tabel-10, Tabel-11, dan Tabel-12.

Tabel 12. Berat Fy 250 MPa terhadap Fy 690 MPa

L (m)	Berat Fy 250 (kN/m)	Berat Fy 690 (kN/m)	Perbedaan Berat (kN/m)	Penghematan Berat (%)
8	3,90	2,61	1,29	33,01
9	4,45	2,99	1,47	32,99
10	5,02	3,36	1,65	32,97
15	7,94	5,33	2,61	32,90
20	11,00	7,39	3,61	32,85
25	14,16	9,52	4,65	32,81
30	17,41	11,71	5,71	32,77
35	20,73	13,94	6,79	32,74
40	24,12	16,22	7,89	32,72
45	27,56	18,54	9,01	32,70
50	31,05	20,90	10,15	32,68
55		23,29		
60		25,70		
65		28,15		
70		30,62		
75		33,11		

Hasil analisis penghematan berat penampang didapatkan bahwa, nilai berat penampang 690 MPa terhadap berat penampang 250 MPa memiliki penghematan berat terbesar sebanyak 32.68% hingga bentang 50 meter.

Reduksi berat sekitar 20-30% dapat diperoleh dengan memanfaatkan perilaku sistem komposit penuh. Dengan adanya reduksi berat ini maka secara langsung juga dapat mengurangi tinggi profil baja yang dipakai (Setiawan, 2008)



Gambar 4. Grafik panjang bentang terhadap berat penampang

Berdasarkan Gambar-4 menunjukkan bahwa panjang bentang yang semakin bertambah dengan mutu baja tinggi didapatkan berat penampang yang semakin kecil.

Efisiensi dari penggunaan mutu baja tinggi lebih signifikan untuk bentang yang panjang (Musa & Diaz, 2007).

Mutu baja 345 MPa dengan mutu baja 485 MPa tidak memiliki perbedaan berat yang cukup tinggi hingga panjang bentang 20 meter. Baja struktural A709 mutu 345 MPa akan mempengaruhi nilai kuat momen nominal (Sungkono, 2016).

Pola data berat penampang dihubungkan dengan kurva yang didapatkan berdasarkan persamaan *power*. Hubungan tersebut menghasilkan grafik panjang bentang dengan variasi mutu baja terhadap berat penampang yang dapat dilihat pada Gambar-4.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan

- Mutu baja 345 MPa merupakan mutu baja optimal yang dapat digunakan untuk gelagar baja.
- Panjang bentang 8 – 20 meter dapat digunakan sebagai panjang bentang optimal dengan rasio tinggi penampang terhadap panjang bentang sebesar $1/60 L$.
- Berat penampang optimal berada pada mutu baja 345 MPa sebesar 9,99 kN/m.
- Tinggi penampang maksimum yang dapat digunakan sebesar $1/45 L$.
- Mutu baja 690 MPa lebih optimal digunakan dalam penghematan dimensi penampang dimana akan mempengaruhi terhadap berat penampang yang dihasilkan.

Saran

- Menggunakan beban lingkungan berdasarkan SNI 1725-2016.
- Melakukan penghitungan beban truk berdasarkan SNI T-02-2005.
- Menggunakan kombinasi dengan kondisi berbeda yang ditentukan pada setiap keadaan batas.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, E. (2005). *Dasar-dasar Konstruksi Bangunan (Jilid 1)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Brockenbrough, R. L., & Merritt, F. S. (2006). *Structural Steel Designer's Handbook: AISC, AASHTO, AISI, ASTM, AREMA, and ASCE-07 Design Standards*. McGraw-Hill Education.
- Cheuseva, S. (2019). *Excel Trendline Types, Equations, and Formulas*. <https://www.ablebits.com/office-addins-blog/2019/01/16/excel-trendline-types-equations-formulas/>
- Kaveh, A., Bakhshpoori, T., & Barkhori, M. (2014). Optimum design of multi-span composite box girder bridges using Cuckoo Search algorithm. *Steel and Composite Structures*, 17(5), 705–719. <https://doi.org/10.12989/scs.2014.17.5.705>
- Mohammed, A. H., & Abdul-Razzaq, K. S. (2018). Optimum Design of Steel Trapezoidal Box-Girders Using Finite Element Method. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.20), 325–328.
- Musa, Y. I., & Diaz, M. A. (2007). Design optimization of composite steel box girder in flexure. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 12(3), 146–152.
- Nasional, Badan Standardisasi. (2015). SNI 1729-2015: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 289.
- Nasional, Badan Standardisasi. (2004). RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 97.
- Nasional, Badan Standardisasi. (2016). SNI 1725: 2016 Pembebanan untuk jembatan. Jakarta: BSN.
- Priambodo, T. (2011). Struktur & Konstruksi Rumah Menengah. *Panduan Perencanaan Struktur Dan Konstruksi Rumah 2 Lantai Dengan Luas Bangunan 120-225 M2*.
- Sahid, I. H. N., & MM, M. T. (2017). *Teknik Pelaksanaan Konstruksi Bangunan*. Muhammadiyah University Press.
- Setiawan, A. (2008). *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*.
- Sungkono, S. (2016). Kekuatan Momen Penampang Komposit Girder I. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 14(1), 31–42.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan*.
- Yudhistira, D. D. (n.d.). *Analisis Pengaruh Penggunaan Balok-T dan Balok Persegi pada Gelagar Jembatan Deck Girder Sederhana*.