

# OPTIMASI GEOMETRI BERDARASKAN GAYA-GAYA DALAM PADA JEMBATAN PELENGKUNG BETON

Almulianur<sup>1</sup>, Akhmad Aminullah<sup>2</sup>, Muslikh<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Emil : [almulianursipil@gmail.com](mailto:almulianursipil@gmail.com)

## ABSTRACT

*This study discusses geometric optimization based on internal forces that occur on concrete arch bridges. Geometric optimization is viewed from the use of the ratio between the height to the length of arch. Optimum ratio based on the internal forces that occur on concrete arch bridge. The ratio between the height and the length of arch are made on the concrete arch bridge with the span of 150 m, variation of the ratio performed 1: 2 to 1: 8 with interval of 0.25. Modeling of concrete arch bridge was made on software SAP 2000 with 25 models due to the difference of ratio interval variation. Based on the results of internal forces with variation of the ratio, the results for the most optimum geometry are 1: 4 to 1: 7,25.*

**Keywords:** concrete arch bridge, geometry, optimization, ratio

## ABSTRAK

Pada kajian ini membahas tentang optimasi geometri berdasarkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada jembatan pelengkung beton. Optimasi geometri dilihat dari penggunaan rasio antara tinggi pelengkung terhadap panjang pelengkung. Rasio yang paling optimum berdasarkan gaya-gaya yang terjadi pada jembatan pelengkung beton. Rasio antara tinggi pelengkung dan panjang pelengkung akan dilakukan pada jembatan pelengkung beton dengan bentang 150 m. variasi rasio dilakukan antara 1 : 2 sampai 1 : 8 dengan interval 0.25. Pemodelan jembatan pelengkung beton dilakukan pada software sap 2000 dengan 25 model akibat perbedaan variasi interval rasio. Berdasarkan hasil gaya-gaya dalam dengan variasi rasio didapatkan hasil untuk geometri yang paling optimum berada antara rasio 1 : 4 sampai 1 : 7,25.

**Kata kunci:** jembatan pelengkung beton geometri, optimasi, rasio

## PENDAHULUAN

Jembatan pelengkung adalah jembatan dengan struktur setengah lingkaran dimana pada kedua ujungnya bertumpu pada abutmen. Ketika menahan beban akibat berat sendiri dan beban lalu lintas, setiap bagian pelengkung menerima gaya tekan, karena alasan itulah jembatan pelengkung harus terdiri dari material yang tahan terhadap gaya tekan. Pada zaman dahulu pembangunan jembatan pelengkung menggunakan material batu atau material yang lain yang tidak mampu menahan gaya

tarik. Jembatan pelengkung juga cocok untuk struktur yang memiliki rasio beban mati dan hidup yang cukup besar (ACI, 1996).

Jembatan pelengkung merupakan pelengkung yang menjadi struktur utama dalam menahan beban yang disalurkan dari deck ke kolom. Untuk itu peran pelengkung harus diperhatikan tinggi pelengkung dengan panjang pelengkung agar mampu memikul beban yang akan disalurkan ke pondasi. Dalam penelitian ini akan berfokus pada *rise ratio* antara tinggi pelengkung dengan

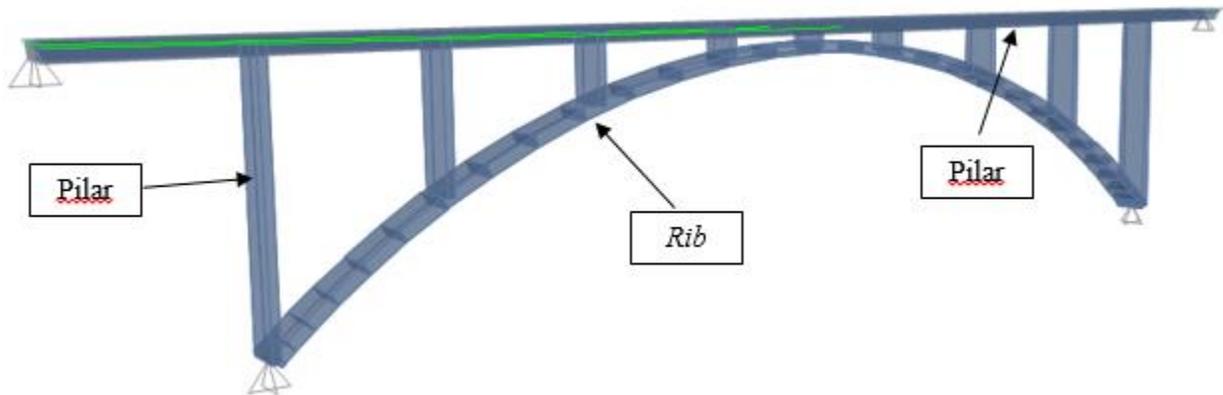
Optimasi Geometri berdasarkan ... (Almulianur/ hal 146-157)

panjang pelengkung yang paling optimal dalam menerima beban. Untuk mendapatkan *rise ratio* yang paling optimum dilihat dari gaya-gaya dalam yang dihasilkan oleh jemabatan pelengkung dengan berbagai vaiasi interval rasio.

Pada kajian ini diharapkan bisa memberikan penjelasan tentang pemakaian geometri dengan medapatkan rasio yang paling optimum dengan bentang 150 m sehingga pada bentang yang sama bisa dijadikan referensi dalam penentuan geomteri pada jembatan pelengkung beton.

## METODE

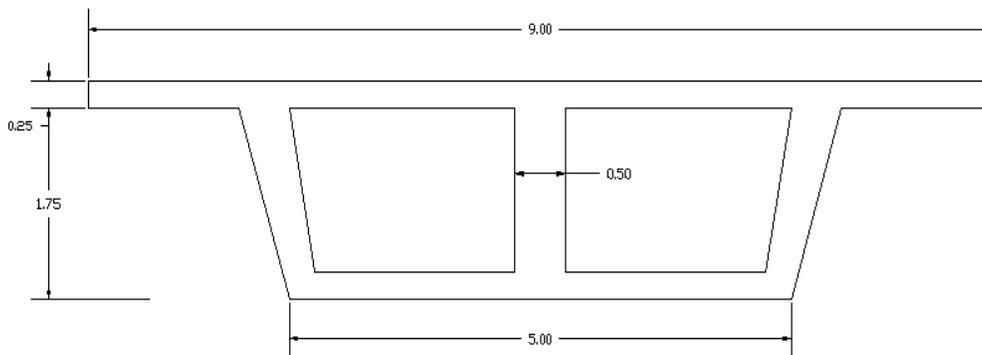
Optimasi geometri dilakukan dengan melihat gaya-gaya dalam yang terjadi pada pelengkung beton. Optimasi geometri dilakukan dengan memvariasikan rasio antara tinggi pelengkung dengan panjang pelengkung. Variasi rasio dilakukan antara 1 : 2 sampai 1 : 8 dengan interval perbedaan 0,25. Optimasi geometri pelengkung dilakukan di *softwere sap 2000* dengan mutu beton  $f_c$  35 MPa pada jembatan pelengkung beton dengan bentang 150 m.



Gambar 1. Pemodelan jembatan pelengkung beton di *sap 2000*

Gambar 1 merupakan pemodelan jembatan pelengkung beton pada *sap 2000* dengan dimensi penampang pilar tinggi 1 m dan lebar 5 m, dimensi penampang pelengkung

dengan tinggi 1.5 m dan lebar 5 m, serta dimensi penampang dek bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Detail dek pada jembatan pelengkung beton

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan untuk analisa struktur dan perancangan struktur mengacu pada SNI 1725 :2016 tentang analisa pembebanan pada jembatan jalan raya.

Beban mati meliputi berat sendiri struktur, berat sendiri deck beton jembatan dan beban mati akibat lapisan aspal beserta lapisan aspal tambahan akibat *overlay* diwaktu yang akan datang, ditambah genangan akibat air hujan jika sistem drainase tidak bekerja dengan baik

### a. Berat Sendiri Beton

Berat sendiri *deck* beton tergantung pada ketebalan beton yang digunakan. Ketebalan *deck* beton yang digunakan tergantung pada kebutuhan ketebalan berdasarkan analisis pembebanan terutama akibat beban lalu lintas khususnya beban truk.

$$\text{Berat volume beton} = 2320 \text{ kg/m}^3$$

### b. Berat Lapisan Aspal

Lapisan aspal pada jembatan ini merupakan lapisan permukaan pada *deck* jembatan.

$$\text{Berat volume aspal} = 2245 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 1. Beban mati pada jembatan

No	Jenis	Tebal (m)	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Beban/m <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )
1	Lap, Aspal + <i>overlay</i>	0,05	2245	112,25
2	Air hujan	0,05	1000	50,00
3	<i>Deck</i> beton	0,20	2320	464,00
Beban mati pada jembatan (kg/m <sup>2</sup> )			Q <sub>D</sub> =	626,25
Beban mati pada jembatan (kN/m <sup>2</sup> )			Q <sub>D</sub> =	6,14

Tabel 2. Beban mati tambahan pada jembatan

No	Jenis	Tebal (m)	Lebar (m)	Berat (kg/m <sup>3</sup> )	Beban/m (kg/m)
1	Spesi + pasangan	0,10	1,00	2320	232,00
2	Pasir urug	0,20	1,00	1755	351,00
3	Kerb	0,30	0,25	2320	174,00
4	Railing 3 @ <i>pipe</i> (73 x 5,156)	3	0,0011	7850	25,83
Beban mati tambahan pada jembatan (kg/m)				Q <sub>AD</sub> =	782,83
Beban mati tambahan pada jembatan (kN/m)				Q <sub>AD</sub> =	7,68

Lokasi untuk pembebanan gaya gempa ditinjau pada daerah sungai Kampar di kabupaten Kampar Provinsi Riau. Adapun respon spectrum gempa untuk lokasi sungai Kampar yang diambil dari [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektr](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektr)

[a\\_indonesia\\_2011/](#) bisa dilihat pada gambar 3.

Analisis beban gempa dilakukan berdasarkan SNI 2833: 2008 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan.

Dikarenakan lokasi pembangunan jembatan berdasarkan pemilihan kecepatan angin dasar diasumsikan di kabupaten Kampar provinsi Riau maka begitu juga dengan lokasi beban gempa sebagai dasar pembuatan fungsi spektrum respon.

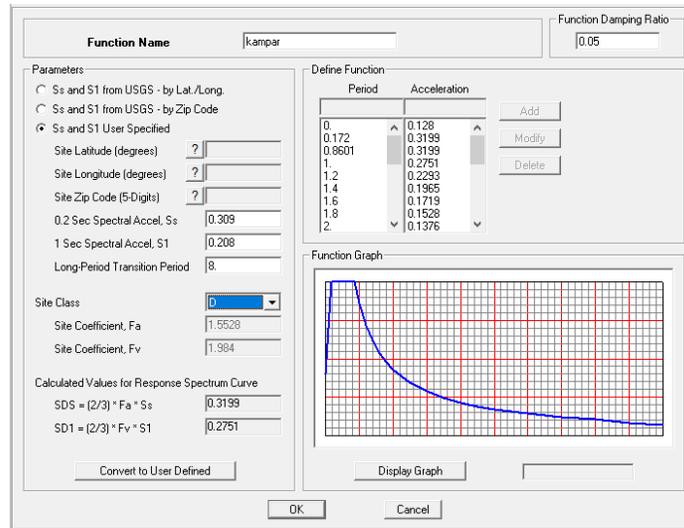
Beban gempa dianalisis dengan factor modifikasi respon (R) sebesar 2,5 dan faktor kepentingan 1,00. Variabel fungsi spektrum respon berdasarkan jenis tanah (*sitclass*) adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Variabel fungsi spektrum respon

Keterangan	Tanah Sedang
	D
PGA (g)	0.158
SS (g)	0.309
S1 (g)	0.208
CRS	0.971
CR1	0.948
FPGA	1.484
FA	1.553
FV	1.984
PSA (g)	0.235
SMS (g)	0.479
SM1 (g)	0.413
SDS (g)	0.32
SD1 (g)	0.275
T0 (detik)	0.172
TS (detik)	0.862

Setelah mendapatkan Variabel fungsi spektrum respon yang didapatkan dari puskim sesuai lokasi sungai Kampar kabupaten Kampar yang terletak di provinsi

Riau dengan mendapatkan Ss sebesar 0.309 dan S1 sebesar 0.208 dengan kondisi tanah sedang maka untuk membuat grafik respon spektrum bisa dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Respon spektrum Kampar

Beban angin dianalisis berdasarkan metode yang dipakai didalam ASCE 7-10, Data angin didapatkan dari <https://www.bps.go.id/statictable/2017/02/08/1960/kecepatan-angin-dan-kelembaban-di-stasiun-pengamatan-bmkg-2011-2015.html> sebagai kecepatan angin dasar. Berdasarkan data angin yang merujuk pada website resmi BPS tersebut didapatkan lokasi dengan kecepatan angin untuk daerah kabupaten kampar. Oleh karena itu, kecepatan angin dasar yang digunakan analisis adalah kecepatan angin di daerah kabupaten Kampar.

Perhitungan beban angin adalah sebagai berikut,

Wind speed (m/s) 1.667

Wind speed (mph) 117.5

(ASCE 7-10 memberikan ketentuan kecepatan angin dasar harus dipakai nilai 85 mph s,d, 150 mph, sehingga dipakai nilai rata-rata sebesar 117,5 mph)

Exposuretype D

Tabel 4. Faktor topografi ( $K_{zt}$ ) pada jembatan

Span (m)	Geometri
	150
Ratio	5

Span (m)	Geometri
	150
Height (m)	30
Height (ft)	98.4
Topographicalfactor, $K_{zt}$	1,425

Gust factor 0,85

Directionally factor,  $K_d$  0,85

Tabel 5. Net force/shape factor ( $C_f$ ) pada jembatan

Span (m)	Geometri
	150
Ratio	5
Gross area (m <sup>2</sup> )	4,656,978
Soild area (m <sup>2</sup> )	8,647,198
Solid/Gross Area ratio	0,19
Net Force/Shape factor	1,80

Beban lalu lintas berda berdasarkan SNI 1725-2016 beban lajur lalu lintas terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT). Beban terbagi rata (BTR) untuk bentang lebih dari 30 m ( $L > 30$  m) adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Beban lalu lintas pada jembatan

Span (m)	150
BTR (kN/m <sup>2</sup> )	5,40
BGT (kN/m)	49,00

Tabel 7. Koefisien perpanjangan pada material struktur

Material	Koefisien Perpanjangan (/°C)
Baja	0,000012
Beton < 30 MPa	0,000010
Beton > 30 MPa	0,000011

Beban temperatur dalam analisis ini diterapkan pada elemen-elemen struktur yang terdiri dari material beton dan baja. Material beton dan baja mempunyai karakter untuk berpotensi menjadi beban akibat efek temperatur karena masing-masing material mempunyai koefisien perpanjangan. Suhu yang harus diperhitungkan menurut SNI 1725-2016 adalah 15°C s.d, 40°C. Koefisien perpanjangan untuk material beton dan baja adalah sebagai berikut.

Pada kajian ini merupakan mencari geomtri pelengkung dengan variasi rasio antara tinggi pelengkung dan panjang pelengkung maka dapat dilihat dari gaya-gaya dalam yang terjadi pada jembatan pelengkung beton. Berikut merupakan hasil rekap gaya-gaya dalam yang terjadi pada jembatan pelengkung beton.

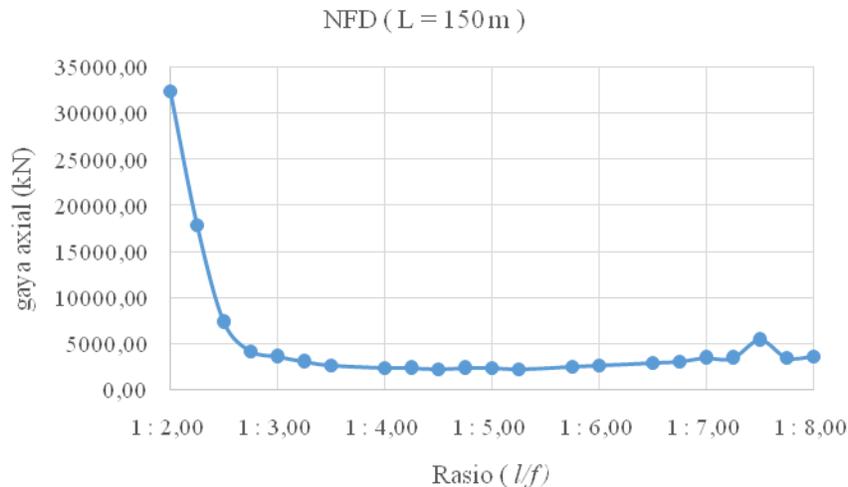
Tabel 8. Rekap NFD, SFD, BMD dan *Weight* bentang 150 m.

No	r	f m	NFD kN	SFD kN	BMD kNm	<i>Weight</i> kN
1	1 : 8.00	25.00	3626.84	7161.71	16196.33	64097.69
2	1 : 7.75	18.75	3444.48	7363.81	15837.05	64784.89
3	1 : 7.50	19.35	5333.41	7015.27	25023.55	82019.3
4	1 : 7.25	20.00	3380.85	7195.37	15698.99	64791.84
5	1 : 7.00	20.69	3380.85	7195.37	15698.99	64791.84
6	1 : 6.75	21.43	3037.62	7616.08	15058.76	65600.52
7	1 : 6.50	22.22	2882.13	6765.92	14748.33	66058.52
9	1 : 6.00	25.00	2612.77	7922.44	14155.87	67089.45
10	1 : 5.75	26.09	2499.45	8040.50	13869.45	67679.59
12	1 : 5.25	28.57	2193.31	6195.16	13294.40	69043.3
13	1 : 5.00	30.00	2329.26	6915.09	14556.15	69814.36
14	1 : 4.75	31.58	2298.08	7109.55	14863.73	70688.74
15	1 : 4.50	33.33	2234.82	7186.55	14953.64	71675.35
16	1 : 4.25	35.29	2269.00	7581.77	15852.89	72775.86
17	1 : 4.00	37.50	2349.89	8134.56	17235.77	74024.28
19	1 : 3.50	42.86	2644.98	9693.88	21159.70	77088.45
20	1 : 3.25	46.15	2982.58	11114.19	24820.90	78977.31
21	1 : 3.00	50.00	3502.32	13142.62	31480.06	81197.1
22	1 : 2.75	54.55	4144.58	15923.87	47732.29	95506.81
23	1 : 2.50	60.00	7238.30	25299.05	60998.05	106758.5
24	1 : 2.25	66.67	17845.46	35448.24	107996.28	130192.7

No	r	f m	NFD kN	SFD kN	BMD kNm	Weigth kN
25	1 : 2.00	75.00	32424.52	53250.77	299787.66	229845.9

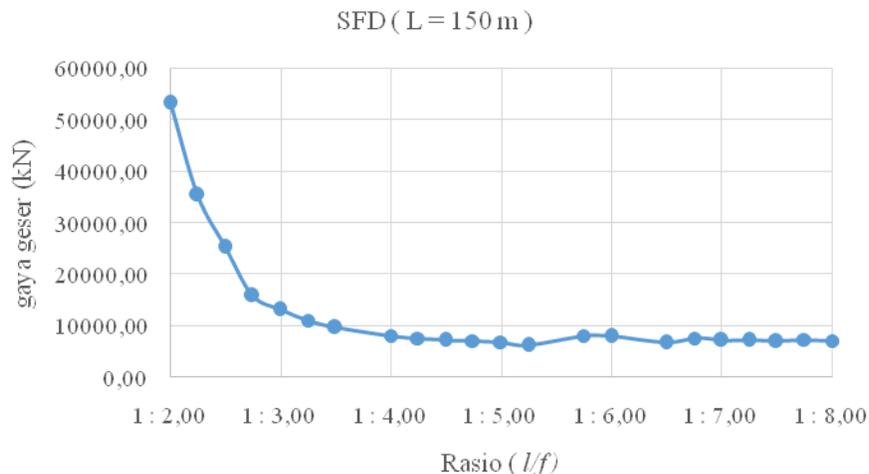
Dari tabel 8 didapatkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada jembatan pelengkung beton. Untuk memudahkan dalam melihat pola gaya-gaya dalam yang terjadi dari rasio perbandingan tinggi pelengkung dan

panjang jembatan antara 1 : 2 sampai 1 : 8 bisa dilihat pada gambar 4, gambar 5, gambar 6 gambar 7 dan gambar 8. Gambar 4 merupakan polagaya axial yang terjadi pada jembatan pelengkung beton.



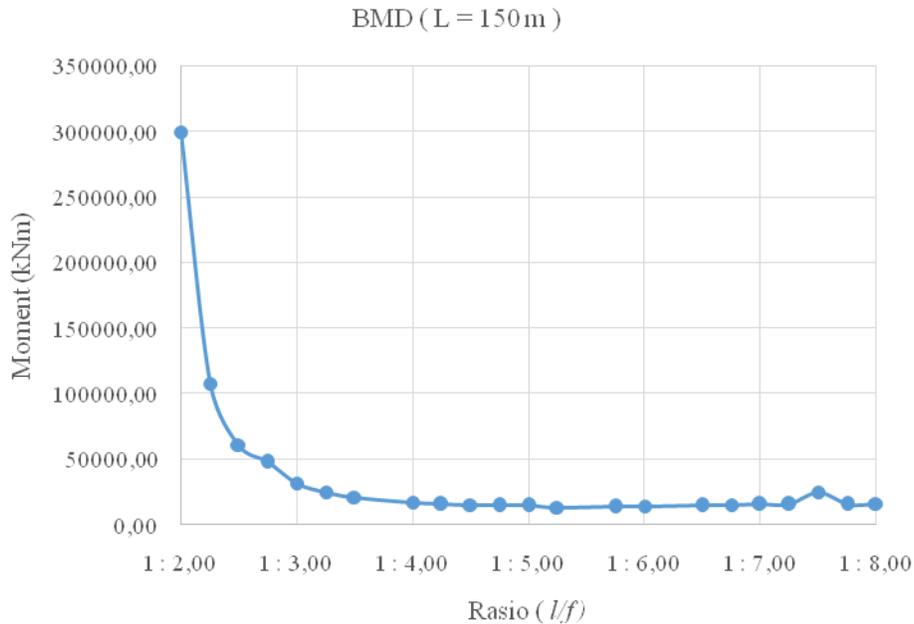
Gambar 4. Grafik NFD pada jembatan pelengkung beton bentang 150 m

Gambar 5 merupakan pola gaya geser yang terjadi pada jembatan pelengkung beton.



Gambar 5. SFD pada jembatan pelengkung beton bentang 150 m

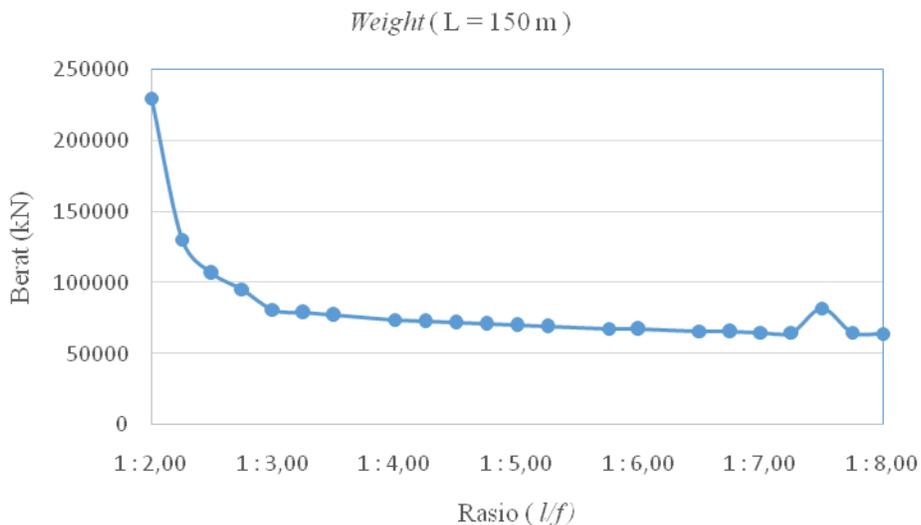
Untuk melihat pola *banding moment diagram* yang terjadi pada jembatan pelengkung jembatan pelengkung beton bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. BMD pada jembatan pelengkung beton bentang 150 m

Dikarenakan pada penelitian ini mencari optimasi geometri yang terjadi pada jembatan pelengkung beton berdasarkan gaya-gaya dalam akan tetapi perlu dilihat juga optimasi geomtri berdasarkan berat

yang terjadi pada jembatan pelengkung beton untuk mengetahui pola yang terjadiberdasarkan berat dengan memvariasi rasio, untuk itupola berdasarkan berat bisa dilihat pada gambar 7.

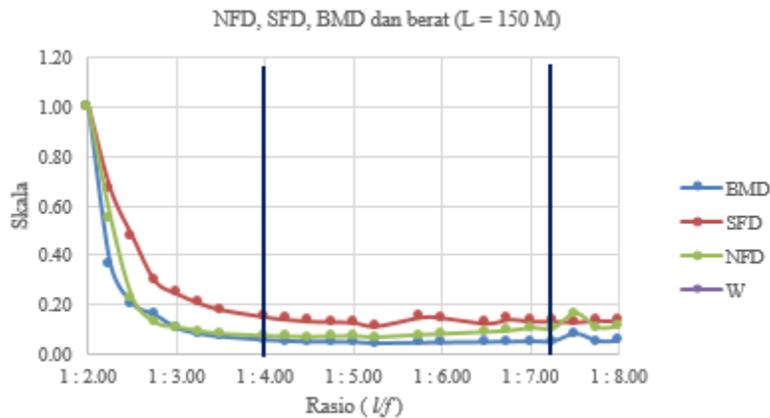


Gambar 7. Weight jembatan pelengkung beton bentang 150 m

Untuk melihat optimasi rasio yang terjadi pada jembatan pelengkung beton pada bentang 150 m maka pola yang terjadi pada

gambar 4, gambar 5 gambar 6, dan gambar 7 digabungkan seperti yang terlihat pada gambar 8. Penggabungan dari pola yang

terjadi pada NFD, SFD, BMD dan berat penyekalaan bisa dilihat pada gambar 8. dilakukan penyekalaan 0 sampai 1. Pola



Gambar 8. NFD, SFD, BMD dan berat pada jembatan bentang 150 m

Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 8 bisa dilihat garis yang mulai menunjukkan garis lurus dimulai dari 1 : 4,00 sampai 1 : 7,25. Sehingga untuk bentang 150 m rasio yang paling optimum berada diantara 1 : 4,00 sampai 1 : 7,25.

Untuk melihat gaya-gaya dalam yang terjadi pada jembatan pelengkung beton yang dibahas seperti diatas bisa dipakai untuk geometri jembatan pelengkung beton maka perlu dilakukan tinjauan terhadap jembatan

yang sudah dibangun di dunia, sehingga bisa memberikan penjelasan antara hasil gaya-gaya dan geometri *existing* bisa dipakai untuk geometri jembatan pelengkung beton. Jembatan yang sudah ada dibangun diduniaakan dilihat rasio antara tinggi pelengkung dengan panjang pelengkung yang dipakai. Tabel 9 merupakan hasil rekap jembatan pelengkung yang ada di dunia yang bisa menjadi validasi untuk analisa optimasi geometri berdasarkan gaya-gaya dalam.

Tabel 9. Rekap jembatan *existing* di dunia ( Jason Salonga : 2013 )

No	Nama Jembatan	Tahun	Negara	Span	Rise	Ratio
1	Bronte Creek	1934	Canada	39.8	17.1	2.3
2	Big Creek	1937	USA	54.1	23	2.4
3	Matsesta	1938	Russia	63.6	23.6	2.7
4	Bixby Creek	1932	USA	100.6	36.6	2.7
5	Dodan Nalah	1995	India	40	14.5	2.8
6	Russian Gulch	1939	USA	73.2	25.9	2.8
7	Maslenica	1997	Croatia	200	65	3.1
8	Gmundertobel	1909	Switzerland	80	26	3.1
9	Neckarburg	1978	Germany	154	49.5	3.1
10	Niesenback		Germany	120	37.5	3.2
11	Stampfgraben	2003	Austria	70	21	3.3
12	Hundwiler	1991	Switzerland	138.4	35.8	3.9
13	Broadway	1932	Canada	54.7	13.9	3.9

No	Nama Jembatan	Tahun	Negara	Span	Rise	Ratio
14	Wirrbachtal	2002	Germany	100	25.3	4.0
15	Noslach	1968	Austria	180	45	4.0
16	Lianlao	?	Taiwan	50	12.5	4.0
17	Rocky Creek	1932	USA	68.6	17.1	4.0
18	Nanin	1967	Switzerland	100.6	24.5	4.1
19	Maling	1999	Taiwan	138	33	4.2
20	Ziggenbach	1924	Switzerland	20	4.7	4.3
21	bloukrans	1983	South Aafrica	272	62	4.4
22	Wertechtal		Germany	156	34	4.6
23	Caracas	1953	Venezuela	151.8	32	4.7
24	Rhein	1963	Switzerland	100	20.9	4.8
25	Siggenthal	2000	Switzerland	117	24.4	4.8
26	Gelana Creek	2011	USA	210	42.5	4.9
27	Wanxian - Yangtze	1997	China	425	85	5.0
28	Houffalize	1979	Belgium	162	32.4	5.0
29	Mazzocco	2007	Italy	70	14	5.0
30	Fulton Road	1932	USA	64	12.7	5.0
31	Argentobel	1986	Germany	150	29	5.2
32	krk II	1980	Croatia	244	47	5.2
33	Crooked River	2000	USA	125	24	5.2
34	Bohlbach	1932	Switzerland	14.4	2.7	5.3
35	rio parana	1965	Brazil	290	53	5.5
36	Big Qualicum	1996	Canada	132	24	5.5
37	Guiers	2000	France	73.8	12.5	5.9
38	Modong Hangshui	1999	China	180	30	6.0
39	Tiefetal	1952	Germany	77.7	12.6	6.2
40	Schwandbach	1933	Switzerland	37.4	6	6.2
41	Wunshuei	?	Taiwan	85	13.5	6.3
42	Hokowazu	1974	Japan	170	26.5	6.4
43	Krk I	1980	Croatia	390	60	6.5
44	sando	1943	Sweden	264	40	6.6
45	Cetina	2007	Croatia	140.3	20.6	6.8
46	Pag	1968	Croatia	193	28	6.9
47	Salginatobel	1930	Switzerland	90	13	6.9
48	Pitan	1993	Taiwan	160	21.7	7.4
49	Nan Ke	?	Taiwan	25	3.3	7.6
50	Gladesville	1964	Australia	309	39	7.9
51	sibenik	1966	Croatia	246	31	7.9
52	tensho	2000	Japan	260	32.5	8.0
53	Wölkau	?	Germany	47.5	5.1	9.3
54	Elche de la Sierra	1927	Spain	40	4	10.0

No	Nama Jembatan	Tahun	Negara	Span	Rise	Ratio
55	infant henrique	2003	Portugal	280	25	11.2
56	Jembatan Bajulmati	2007	Indonesia	60	15	
57	Jembatan Jendral Sudirman	1958	Indonesia, Yogyakarta	67.6	13.6	
58	Bunder Bridge	2008	Indonesia, Yogyakarta	50	7	
59	Irung Petruk Bridge	2005	Indonesia, Yogyakarta	110	9	
60	Kelok 9 Bridge	2012	Sumtra Barat	90		

Dari tabel 9 dapat dilihat rasio antara tinggi pelengkung dan bentang jembatan pada jembatan pelengkung beton yang sudah ada di dunia akan di rekap pada Tabel 10 untuk melihat jumlah rasio perbandingan tinggi pelengkung dan bentang jembatan yang dipakai di dunia.

Tabel 10. Rekap jumlah *rise ratio*

Interval rasio	Jumlah
2.0 - 2.5	2
2.6 - 3.0	4
3.1 - 3.5	5
3.6 - 4.0	6
4.1 - 4.5	4
4.6 - 5.0	9
5.1 - 5.5	6
5.6 - 6.0	4
6.1 - 6.5	5
6.6 - 7.0	4
7.1 - 7.5	1
7.6 - 8.0	4
8.1 - 8.5	0
8.6 - 9.0	0
9.1 - 9.5	1
9.6 - 1.0	1

Dari tabel 10 setelah dilakukan rekap terhadap rasio pelengkung yang sering digunakan berada pada 1 : 2,6 sampai 1 : 8.

## SIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas dapat di ambil kesimpulan seperti berikut: 1) optimasi geometri pada jembatan pelengkung

berdasarkan gaya-gaya dalam yang terjadi berada pada rasio 1 : 4 sampai 1 : 7,25; 2) Untuk bisa memberikan perbandingan hasil antara gaya-gaya dalam yang terjadi pada jembatan pelengkung beton dengan jembatan *existing* yang ada di dunia untuk rasio yang paling banyak dipakai tetap berada di interval rasio 1 : 4 sampai 1 : 7,25 sehingga untuk mendapatkan optimasi geometri bisa menggunakan gaya-gaya dalam serta berat yang terjadi pada pelengkung beton karena rasio gaya-gaya dalam dengan rasio *existing* jembatan di dunia masih dalam range yang sama.

## DAFTAR RUJUKAN

American Concrete Institute, 1996, *Analysis and Design of Reinforced Concrete Structures, Farmington: ACI Committee 343R-95.*

Badan Standarisasi Nasional, 2008, SNI 2833:2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional, 2016, SNI 1725-2016 Standar Pembebanan untuk Jembatan, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Prihadi, W. R., & Pratama, G. N. I. P. Konfigurasi Batang Pada Perancangan Rangka Atap Bambu. *INERSIA*, 12(2), 173-183.

Optimasi Geometri berdasarkan ... (Almulianur/ hal 146-157)

Salonga, Jason. 2013. *Comparative Study of the Proportions, Form, and Efficiency of Concrete Arch Bridge*. kroasia : jurnal ASCE.

[http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/)

<https://www.bps.go.id/statictable/2017/02/08/1960/kecepatan-angin-dan-kelembaban-di-stasiun-pengamatan-bmkg-2011-2015.html>