

KAJIAN PENGARUH *RISE-SPAN RATIO* PADA JEMBATAN *TIED ARCH*

Eko Felix Songbes¹, Made Suangga², dan Sunarjo Leman³

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
songbestmk@gmail.com

²Teknik Sipil, Binus University, Jl. K. H. Syahdan No. 9, Kemanggis, Palmerah, Indonesia
suangga@binus.edu

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
sunarjo@ft.untar.ac.id

Masuk: 14-02-2023, revisi: 18-05-2023, diterima untuk diterbitkan: 25-05-2023

ABSTRACT

The economic growth of a region in Indonesia is strongly influenced by road and bridge infrastructure. The problem is to design the optimal configuration of the rise-span ratio of the tied arch bridge. This problem must be studied further due to the maximum load combination according to SNI 1725:2016 and SNI 2833:2016. This study aims to understand the effect of rise-span ratio on deformation, natural frequency, magnitude of seismic forces, internal forces and optimum rise-span ratio on a tied arch bridge. This is based on previous research that neglecting the rise-span ratio affects the behavior of the structure as a whole, this needs to be studied according to the location where the bridge is built, because there is an influence from the seismic force response spectrum. The loading given is in accordance with SNI 1725:2016 and SNI 2833:2016. Modeling and structural analysis using Midas Civil software. The rise-span ratio (f/L) used is 1:10.00, 1:8.00, 1:5.71, 1:4.44, 1:3.64, 1:3.07, 1:2.67, 1:2.35, 1:2.09, 1:2.00, the length (L) of the tied arch bridge is 60 meters. The effect of the rise-span ratio on deformation is directly proportional, while the compressive axial force on the arch rib is inversely proportional.

Keywords: rise-span ratio; axial compressive force on arch rib; deformation; natural frequency; magnitude of seismic force

ABSTRAK

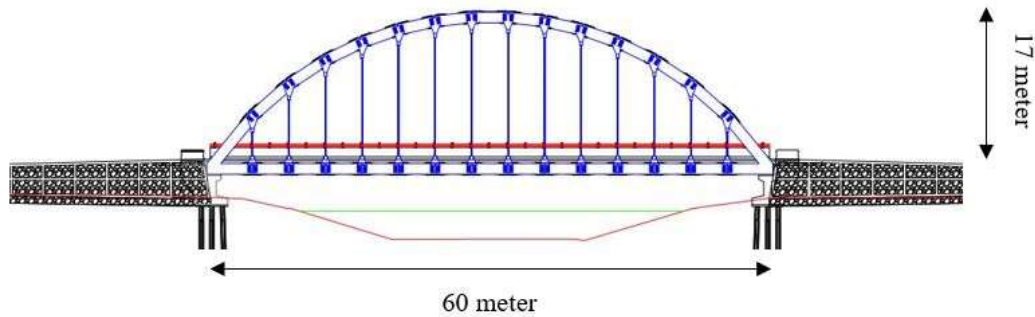
Pertumbuhan ekonomi suatu daerah di Indonesia sangat dipengaruhi oleh infrastruktur jalan dan jembatan. Adapun permasalahannya adalah merancang konfigurasi *rise-span ratio* jembatan *tied arch* optimum. Permasalahan ini harus dikaji lebih lanjut akibat kombinasi beban maksimum sesuai SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016. Studi ini bertujuan untuk memahami pengaruh *rise-span ratio* terhadap deformasi, frekuensi alami, besarnya gaya gempa, gaya-gaya dalam dan *rise-span ratio* optimum pada jembatan *tied arch*. Hal ini didasari pada penelitian terdahulu bahwa pengabaian *rise-span ratio* berpengaruh pada perilaku struktur secara keseluruhan, ini perlu dikaji sesuai dengan letak jembatan tersebut dibangun, karena ada pengaruh dari gaya gempa respons spektrum. Pembebanan yang diberikan sesuai dengan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016. Pemodelan dan analisis struktur menggunakan *software Midas Civil*. *Rise-span ratio* (f/L) digunakan adalah 1:10,00, 1:8,00, 1:5,71, 1:4,44, 1:3,64, 1:3,07, 1:2,67, 1:2,35, 1:2,09, 1:2,00, panjang (L) jembatan *tied arch* adalah 60 meter. Pengaruh *rise-span ratio* terhadap deformasi adalah berbanding lurus, sedangkan gaya aksial tekan pada *arch rib* adalah berbanding terbalik.

Kata kunci: *rise-span ratio*; gaya aksial tekan *arch rib*; deformasi; frekuensi alami; besarnya gaya gempa

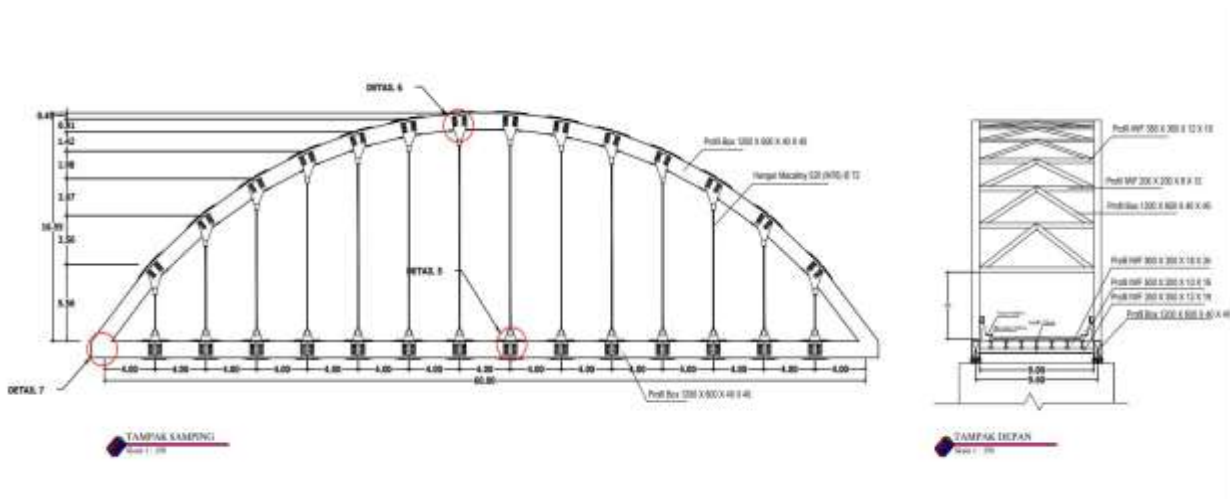
1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi suatu daerah sangat dipengaruhi oleh Infrastruktur jalan dan jembatan (Hewada et al., 2019). Kondisi yang sama perlu dikembangkan di Papua dalam hal ini Kabupaten Mimika, dengan memiliki topografi yang cukup kompleks karena terletak di daerah dataran tinggi, lembah, sungai, rawa, dataran rendah dan pesisir pantai. Dengan melihat kondisi topografi tersebut, maka pentingnya pengembangan infrastruktur jalan dan jembatan di Papua. Kesuksesan Pemerintah dalam membangun Jembatan Youtefa Jayapura (jembatan *tied arch*) (Rachmawati, 2019), mendorong minat peneliti untuk melakukan studi tentang jembatan lebih lanjut. Dalam hal ini akan dilakukan penelitian *rise-span ratio* terhadap jembatan *tied arch* (Jembatan Jalan Irigasi-SP5 Timika) dengan perencanaan awal menggunakan konfigurasi tipe vertikal *hanger* dengan rasio tinggi terhadap panjang jembatan (f/L) sebesar 0,28. Jembatan Jalan Irigasi -SP 5 Timika memiliki konfigurasi *hanger* vertikal dengan tinggi pelengkung 17 meter dan panjang jembatan 60 meter. Dengan mengubah *rise-span ratio* maka hasil analisis menggunakan Midas Civil di

harapkan mendapatkan gaya-gaya dalam, deformasi dan frekuensi alami dari model jembatan sebelumnya pada setiap komponen struktur yang ditinjau. Pada jembatan *tied arch* *rise-span ratio* jembatan umumnya berada di antara 1:4,5 sampai 1:6 (Chen et al., 2000) yang mana akan mempengaruhi perubahan gaya-gaya dalam, deformasi, frekuensi alami pada jembatan *tied arch*. Pada studi ini, analisis Jembatan Jalan Irigasi-SP 5 Timika akan menggunakan sepuluh (10) tipe ketinggian yang berbeda yaitu *rise-span ratio* 1:10,00, 1:8,00, 1:5,71, 1:4,44, 1:3,64, 1:3,07, 1:2,67, 1:2,35, 1:2,09, 1:2,00. Dengan cara mengubah *rise-span ratio*, sehingga dapat menghasilkan jembatan dengan respon dinamik yang lebih baik. Jembatan Jalan Irigasi-SP 5 Timika pada saat kajian ini dilakukan belum dilakukan tahap konstruksi atau pembangunan. Gambar 1 dan 2 memperlihatkan Jembatan Jalan Irigasi-SP 5 Timika.



Gambar 1. Tampak samping Jembatan Jl. Irigasi – SP 5 Timika (Pusat Pemerintahan Kabupaten Mimika, 2021)



Gambar 2. Gambar Perencanaan Jembatan Jl. Irigasi – SP 5 Timika (Pusat Pemerintahan Kabupaten Mimika, 2021)

Respon seismic kritis teramati pada komponen dekat titik ujung, tengah bentang dan seperempat bentang (Torkamani & Lee, 2002). Analisis jembatan *tied arch* perlu dilakukan dengan analisis respon spektrum. Perilaku komponen stuktur dapat dilihat dengan cermat akibat pengaruh gaya gempa. Jembatan *tied arch* dengan *hanger* vertikal dalam banyak kasus merupakan stuktur yang kompetitif (Järvenpää et al., 2019).

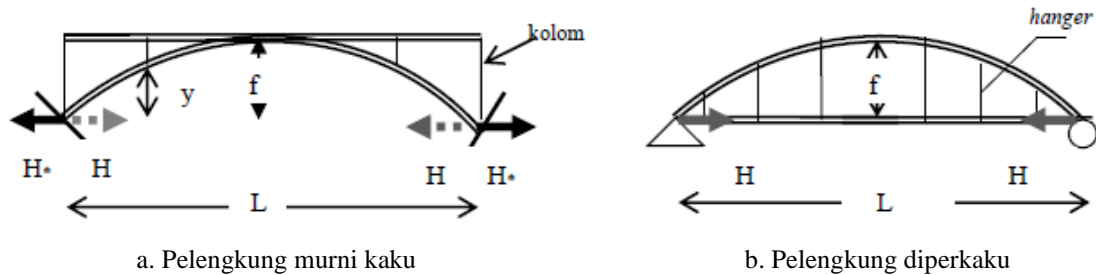
Penggantian *hanger* jembatan *tied arch* eksisting untuk melakukan pemeliharaan menimbulkan masalah bagaimana melepas *hanger* eksisting dan memasang *hanger* yang baru dan bagaimana melakukan stressing yang benar pada komponen baru untuk memulihkan tegangan dan deformasi sesuai keadaan semula (Granata, 2021). Pentingnya mengetahui perilaku masing-masing komponen struktur jembatan *tied arch* dalam melakukan pemeliharaan.

Sistem pelengkung

Perbedaan prinsip antara dua tipe pelengkung mendasar dijelaskan sebagai berikut :

- 1) Pada pelengkung murni/kaku gaya tekan H mereduksi momen struktural (Gambar 3a), dan reaksi tekan horizontal H^* di awal pelengkung dilimpahkan oleh blok fondasi telapak ke batuan dasar yang harus kuat menahan beban horizontal. Bangunan atas dan bangunan bawah merupakan kesatuan monolitik (Surat Edaran Menteri Nomor 02/SE/M/2018).

- 2) Pada pelengkung diperkaku (Gambar 3b) gaya tekan H mereduksi momen struktural dan dilimpahkan ke batang pengikat dari struktur pengaku sehingga tidak membebani fondasi ($H^* = 0$). Tipe ini digunakan bila letak batuan dasar dalam sehingga memerlukan fondasi tiang yang umumnya lemah dalam menahan beban horizontal. Bangunan atas merupakan gelagar struktur statis tertentu keluar yang terpisah dari bangunan bawah dengan perletakan. Tipe statis tertentu lebih kuat terhadap penurunan fondasi dan perbedaan temperatur (Surat Edaran Menteri Nomor 02/SE/M/2018).



Gambar 3. Perbedaan prinsip dasar gaya yang bekerja pada pelengkung yang menggunakan beton dan kabel (Surat Edaran Menteri Nomor 02/SE/M/2018).

Struktur pelengkung khususnya komponen *rib* merupakan unsur tekan sehingga momen pelengkung (M) tereduksi terhadap momen lentur gelagar lurus sederhana (M_0) yang dijelaskan dengan Persamaan 1 (Surat Edaran Menteri Nomor 02/SE/M/2018).

$$M = M_0 - (Hy) \quad (1)$$

dengan M = momen lentur *arch rib*, M_0 = momen lentur untuk gelagar lurus sederhana diatas dua tumpuan dengan bentang pelengkung L , H = gaya tekan horizontal di awal pelengkung, dan y = ordinat *arch rib*.

Penentuan gaya dalam maksimum dan minimum dalam pelengkung sebagai unsur utama yang menerima beban lewat kolom (tekan) atau *hanger* (tarik) tidak dapat diperoleh secara optimal dengan *running analysis* yang biasanya dilakukan untuk lantai kendaraan. Tetapi memerlukan pola bentuk garis pengaruh untuk menempatkan beban hidup yang untuk pelengkung murni memiliki pola bentuk sebagai berikut (Gambar 3a). Untuk pelengkung diperkaku pola bentuk garis pengaruh gaya H , M di seperempat, setengah bentang dan $M = 0$ untuk awal pelengkung, identik dengan pelengkung murni. Pola garis pengaruh yang konsisten tersebut membantu penempatan beban hidup di lantai kendaraan agar diperoleh gaya dalam maksimal dan demikian penurunan garis pengaruh tidak selalu diperlukan (Surat Edaran Menteri Nomor 02/SE/M/2018).

2. METODE PENELITIAN

Studi ini menganalisis sepuluh model *rise-span ratio*, dimana model tersebut akan dianalisis menggunakan *software Midas Civil*. Berdasarkan analisis dari dapat dilihat pengaruh *rise-span ratio* pada jembatan *tied arch* yang ditinjau, model tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

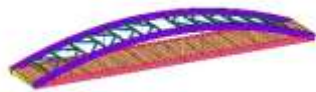
Pembebanan pada jembatan *tied arch*

Data pembebanan yang digunakan sesuai dengan yang didapat dari sumber data perencanaan, untuk melengkapi data yang ada digunakan sesuai dengan ketentuan dari SNI 1725:2016 pembebanan untuk jembatan (No. 1-7) dan SNI 2833:2016 perencanaan jembatan terhadap beban gempa (No. 8):

- 1) Beban Mati (MS)
Berat sendiri (*self weight*) yang digunakan adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan komponen struktural. Berat sendiri dihitung oleh *software Midas Civil* secara otomatis sesuai dengan definisi komponen struktural yang dimodelkan.
- 2) Beban Mati Tambahan (MA)
Beban mati tambahan (*superimposed dead load*) yang digunakan adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan komponen non-struktural dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan. Dengan faktor beban layan ($\gamma_{MA}^s = 1$), faktor beban ultimit ($\gamma_{MA}^u = 2$). Pada pemodelan pelat lantai kendaraan tidak dimodelkan, diasumsikan beban bekerja pada *stringer*. Selanjutnya rincian tentang beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Beban mati tambahan (MA)

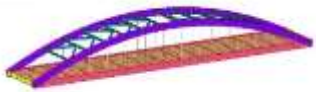
No	Beban	Nilai	Satuan	Distribusi Beban pada Komponen Struktur
1	<i>Slab</i> kendaraan	9	kN/m	<i>Stringer</i> ekterior
2	<i>Slab</i> kendaraan	6	kN/m	<i>Stringer</i> interior
3	Trotoar	4,8	kN/m	<i>Stringer</i> ekterior
4	Aspalt+Air hujan	3.47	kN/m	<i>Stringer</i>
5	Railing	0,3	kN	<i>Cross beam</i> bawah



(a) *Rise-span ratio* =1:10,00



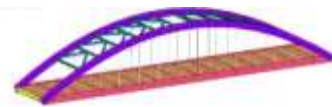
(f) *Rise-span ratio* = 1:3,07



(b) *Rise-span ratio* =1:8,00



(g) *Rise-span ratio* = 1:2,67



(c) *Rise-span ratio* = 1:5,71



(h) *Rise-span ratio* = 1:2,35



(d) *Rise-span ratio* = 1:4,44



(i) *Rise-span ratio* =1:2,09



(e) *Rise-span ratio* = 1:3,64



(j) *Rise-span ratio* = 1:2,00

Gambar 4. Model *rise-span ratio* jembatan *tied arch*

- 3) Beban Lajur “D” (TD)
Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi merata (BTR) dan beban garis (BGT). Dengan faktor beban layan $\gamma_{TD}^s = 1$ dan faktor beban ultimit $\gamma_{TD}^u = 2$. Selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 2.
- 4) Beban Truk “T” (TT)
Beban truk “T” (TT) adalah beban kendaraan maksimum yang digunakan sesuai dengan ketentuan kelas jalan Bina Marga, pada ruas jalan yang dihubungkan adalah kelas 1 (satu). Faktor beban yang digunakan faktor beban ultimit $\gamma_{TD}^u = 2$ dan faktor beban layan $\gamma_{TD}^s = 1$, seperti terlihat Tabel 3.

Tabel 2. Beban lajur “D” (TD) dan distribusi beban pada komponen struktur

No	Beban	Nilai	Satuan	Distribusi Beban pada Komponen Struktur
1	Beban merata (BTR)	60,75	kN/m	<i>Cross beam</i> bawah
2	Beban garis (BGT)	49	kN/m	Satu <i>Cross beam</i> bawah tengah bentang

Tabel 3. Beban truk “T” (TT) dan distribusi beban pada komponen struktur

No	Beban	Nilai	Satuan	Distribusi Beban pada Komponen Struktur
1	Gandar Depan	50	kN	<i>Moving Load</i> pada lajur
2	Gandar Tengah	225	kN	<i>Moving Load</i> pada lajur
3	Gandar Belakang	225	kN	<i>Moving Load</i> pada lajur

- 5) Gaya Rem (TB)
Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Gaya rem (TB) dan distribusi beban pada komponen struktur

No	Beban	Nilai	Satuan	Distribusi Beban pada Komponen Struktur
1	Gaya Rem	0,32	kN	Joint <i>Cross beam</i> bawah- <i>Stringer</i>
2	Momen pada Joint akibat asumsi gaya rem bekerja diatas horizontal pada jarak 1800 mm	0,57	kN.m	Joint <i>Cross beam</i> bawah- <i>Stringer</i>

- 6) Beban Pejalan Kaki (TP)
Beban pejalan kaki (TP) bekerja pada trotoar dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Beban pejalan kaki (TP) dan distribusi beban pada komponen struktur

No	Beban	Nilai	Satuan	Distribusi Beban pada Komponen Struktur
1	Beban pejalan kaki	1	kN/m	<i>Stringer</i> eksterior

- 7) Beban Angin (EW)
Beban angin bekerja pada struktur dan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 6.

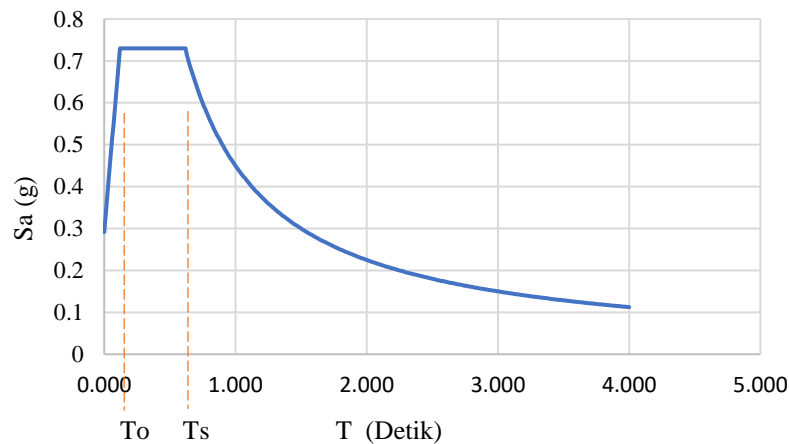
Tabel 6 Beban angin (EW) dan distribusi beban pada komponen struktur

No	Beban	Nilai	Satuan	Distribusi Beban pada Komponen Struktur
1	Beban angin pada struktur (horizontal)	1,6	kN/m	<i>Arch rib</i> dan <i>tied beam</i>
2	Beban angin pada struktur (vertikal)	9,22	kN/m	<i>Arch rib</i> dan <i>tied beam</i>
3	Beban angin pada kendaraan (horizontal)	1,46	kN/m	<i>Arch rib</i> dan <i>tied beam</i>

- 8) Beban Gempa (EQ)
Data mengenai respon spektrum diambil dari *website* rsa.ciptakarya.pu.go.id yang diakses pada 20 Agustus 2022. Parameter gempa respon spektrum dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 5.

Tabel 7. Parameter seismik respon spektrum di Timika

No	Variabel	Nilai	SNI 2833:2016 (Pasal, Tabel, Hal)	Keterangan
1	PGA	0,4313	5.2.1, 1, 10	Percepatan puncak batuan dasar
2	S_s (g)	0,984	5.2.1, 1, 10	Respons spektrum percepatan $T=0,2$ detik
3	S_1 (g)	0,3482	5.2.1, 1, 10	Respons spektrum percepatan $T=1$ detik
4	F_{PGA}/F_a	1,1	5.3.2, 3, 16	Faktor Amplifikasi
5	F_v	1,8	5.3.2, 3, 16	Faktor Amplifikasi 1 detik
6	S_{Ds} (g)	0,73	5.4.1, -, 17	Nilai spektrum permukaan tanah $T=0,2$ detik
7	S_{D1} (g)	045	5.4.1, -, 17	Nilai spektrum permukaan tanah $T=1$ detik
8	T_0 (detik)	0,12	5.4.1, -, 17	Periode $T = 0,2T_s$
9	T_s (detik)	0,62	5.4.1, -, 17	Periode pendek
10	T_L (detik)	20	5.4.1, -, 17	Periode panjang



Gambar 5. Respon spektrum Timika (Jenis Tanah Sedang, Zona Gempa 3)

Pemodelan jembatan tied arch

Pada tahap ini dilakukan pemodelan struktur jembatan dengan beberapa *rise-span ratio* 1:10,00, 1:8,00, 1:5,71, 1:4,44, 1:3,64, 1:3,07, 1:2,67, 1:2,35, 1:2,09, 1:2,00, sehingga didapatkan *rise-span ratio* optimum. Dengan cara melakukan komparasi dari konfigurasi 1 (*rise-span ratio* 1:10,00) sampai konfigurasi 10 (*rise-span ratio* 1:2,00). Nilai gaya-gaya dalam, deformasi dan frekuensi alami dari komponen struktur jembatan *tied arch* disajikan dalam bentuk grafik. Hasil pemodelan jembatan *tied arch* dapat dilihat pada Gambar 4.

3. HASIL ANALISIS

Berdasarkan hasil penelitian, maka didapatkan beberapa nilai parameter yang dapat digunakan dalam pemodelan program komputer. Parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 8-9. Hanger menggunakan Macalloy 520M76 berdiameter 72 mm dengan tegangan leleh sebesar 520 MPa dan tegangan ultimit sebesar 660 MPa.

Parameter yang ditinjau dari model jembatan di atas adalah gaya aksial tekan dan momen lentur pada *arch rib*, gaya aksial tarik dan momen lentur pada *tie beam*, gaya aksial tarik pada *hanger*, frekuensi alami dan deformasi pada jembatan *tied arch*.

Berdasarkan parameter di atas didapat hasil analisis sebagai berikut:

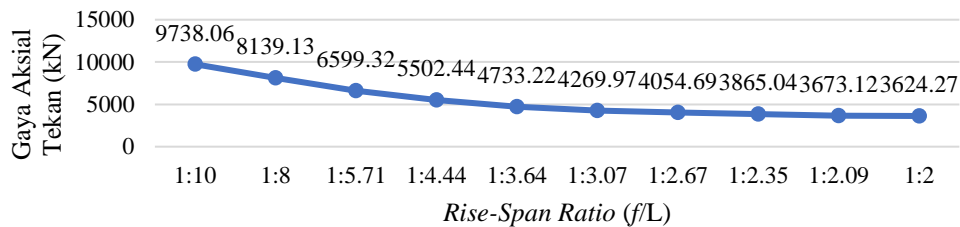
- 1) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial dan momen lentur di *arch rib*
Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial dan momen lentur di *arch rib* disajikan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Berdasarkan gambar terlihat bahwa semakin besar *rise-span ratio* semakin kecil gaya aksial tekan atau berbanding terbalik, sedangkan momen lentur berbanding lurus dengan *rise-span ratio* yaitu semakin besar *rise-span ratio* semakin besar pula momen lentur.

Tabel 8. Spesifikasi komponen jembatan *tied arch*

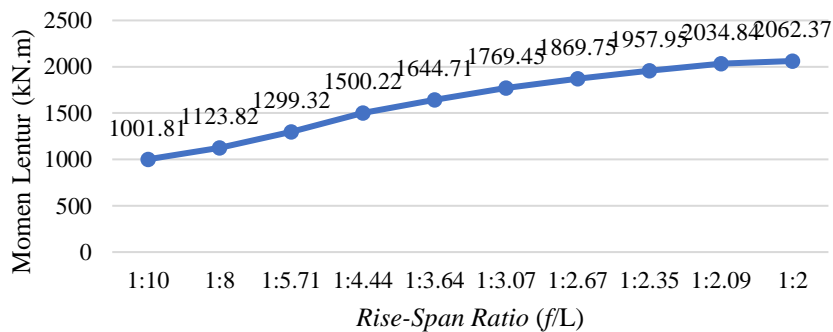
No	Properti	Profil								Mutu Baja		
		Boks				WF				Lingkaran	F _y	F _u
		h (mm)	b (mm)	t _w (mm)	t _r (mm)	h (mm)	b (mm)	t _w (mm)	t _r (mm)	D (mm)	(MPa)	(MPa)
1	<i>Arch rib</i>	1200	600	40	40						410	550
2	<i>Tied beam</i>	1200	600	40	40						410	550
3	<i>Cross beam atas</i>					900	300	18	34		410	550
4	<i>Cross beam bawah</i>					350	350	12	19		410	550
5	<i>Stringer</i>					500	200	10	16		410	550
6	<i>Hanger</i>									72	520	660
7	<i>Bracing atas</i>					200	200	8	12		410	550
8	<i>Bracing bawah</i>					350	350	12	19		410	550

Tabel 9. Model jembatan *tied arch* dengan 10 *rise-span ratio* panjang bentang (L) 60 meter

Model	Rise-span ratio (f/L)	Tinggi (f) (m)
1	1:10,00	6,00
2	1:8,00	7,50
3	1:5,71	10,51
4	1:4,44	13,51
5	1:3,64	16,48
6	1:3,07	19,54
7	1:2,67	22,47
8	1:2,35	25,53
9	1:2,09	28,71
10	1:2,00	30,00



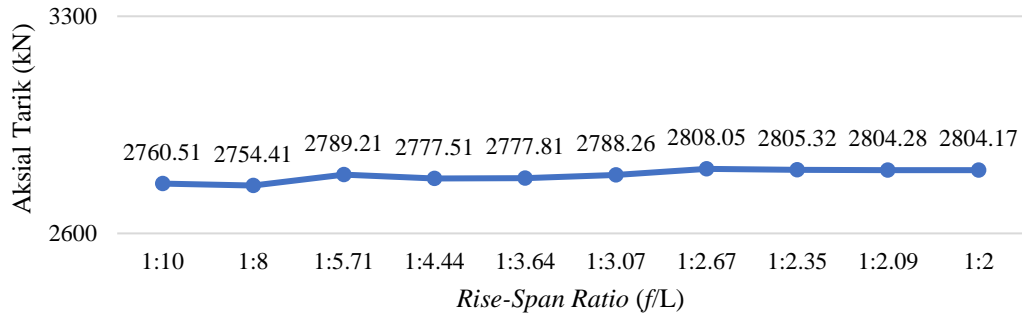
Gambar 6. Gaya aksial tekan pada *arch rib* akibat kombinasi beban maksimum



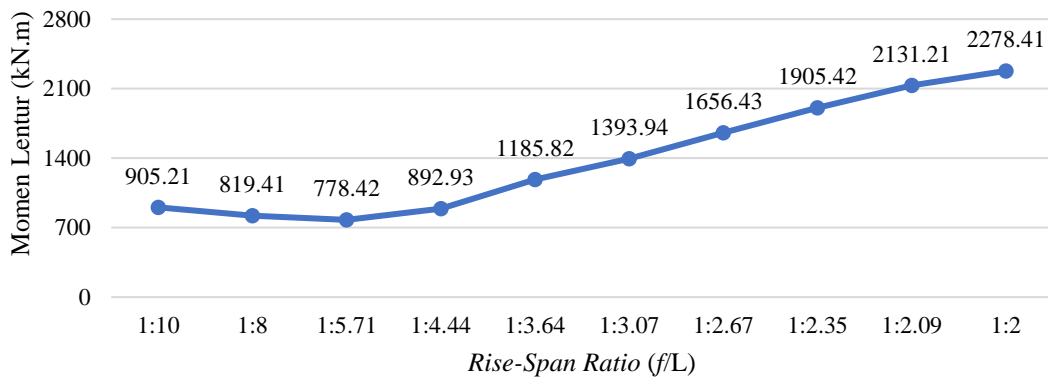
Gambar 7. Momen lentur pada *arch rib* akibat kombinasi beban maksimum

2) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial tarik dan momen lentur di *tie beam*

Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial tarik dan momen lentur di *tie beam* disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Berdasarkan gambar terlihat bahwa pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial tarik di *tied beam* cukup konstan dengan perbedaan antara gaya aksial tarik terbesar dan terkecil adalah 2%, sedangkan momen lentur terjadi sedikit fluktuasi dengan perbedaan antara momen lentur terbesar dan terkecil adalah 43%.



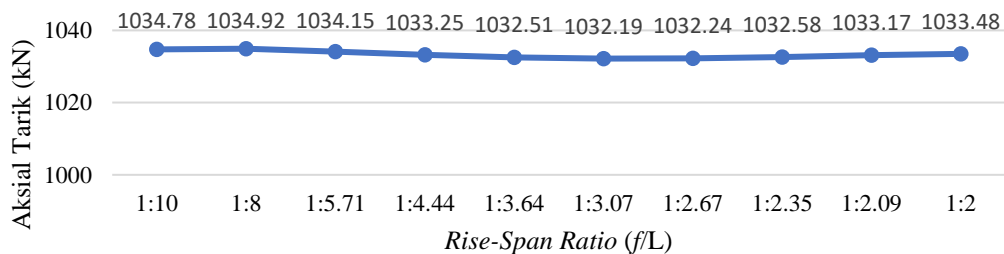
Gambar 8. Gaya aksial tarik pada *tie beam* kombinasi maksimum



Gambar 9. Momen lentur pada *tied beam* akibat kombinasi maksimum

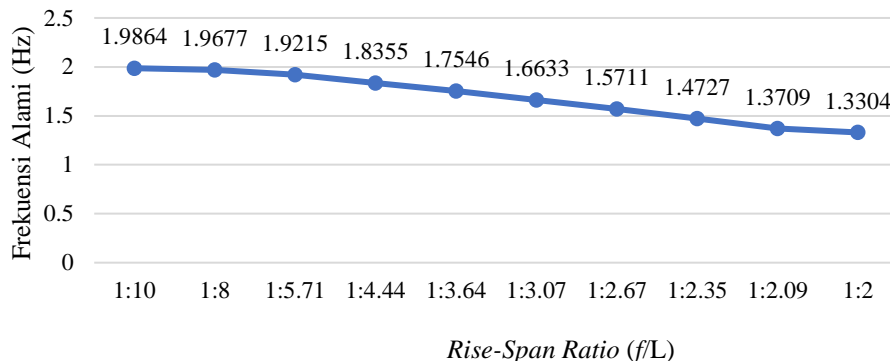
3) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial tarik di *hanger*

Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial di *hanger* disajikan pada Gambar 10. Berdasarkan gambar terlihat bahwa pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial tarik di *hanger* relatif konstan.



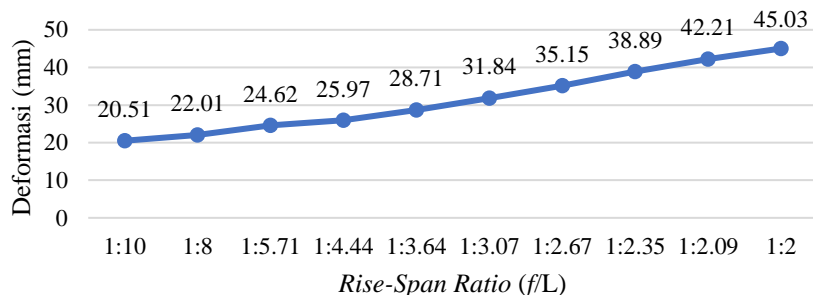
Gambar 10. Gaya aksial tarik pada *hanger* akibat kombinasi beban maksimum

- 4) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap frekuensi alami
 Pengaruh *rise-span ratio* terhadap frekuensi alami disajikan pada Gambar 11. Berdasarkan gambar terlihat bahwa semakin besar *rise-span ratio* semakin kecil frekuensi alami struktur atau hubungan antara *rise-span ratio* dan frekuensi alami adalah berbanding terbalik.



Gambar 11. Frekuensi alami jembatan *tied arch mode 1*

- 5) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap deformasi
 Pengaruh *rise-span ratio* terhadap deformasi disajikan pada Gambar 12. Berdasarkan gambar terlihat bahwa *rise-span ratio* berbanding lurus dengan deformasi. Semakin besar *rise-span ratio* semakin besar deformasi. Jika diketahui lendutan izin adalah $\frac{L}{800} = 75$ mm, maka deformasi yang terjadi tidak melebihi yang diizinkan.



Gambar 12. Deformasi arah-z jembatan *tied arch* akibat kombinasi beban hidup maksimum

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pengaruh *Rise-span Ratio* pada Jembatan *Tied Arch*:

- 1) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial dan momen lentur di *arch rib* adalah bahwa semakin besar *rise-span ratio* semakin kecil gaya aksial tekan atau berbanding terbalik, sedangkan momen lentur berbanding lurus dengan *rise-span ratio* yaitu semakin besar *rise-span ratio* semakin besar pula momen lentur.
- 2) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial tarik dan momen lentur di *tied beam* adalah pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial tarik di *tied beam* relatif konstan, sedangkan momen lentur terjadi sedikit fluktuasi dengan perbedaan antara momen lentur terbesar dan terkecil adalah 43%.
- 3) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap gaya aksial di *hanger* adalah besarnya gaya aksial relatif konstan pada tiap *rise-span ratio*.
- 4) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap frekuensi alami adalah semakin besar *rise-span ratio* semakin kecil frekuensi alami struktur atau hubungan antara *rise-span ratio* dan frekuensi alami adalah berbanding terbalik.
- 5) Pengaruh *rise-span ratio* terhadap deformasi adalah berbanding lurus, semakin besar *rise-span ratio* semakin besar deformasi.
- 6) *Rise-span ratio* optimum yang dapat digunakan dalam merancang jembatan *tied arch* dengan bentang 60 meter adalah 1:8 hingga 1:2.

Berdasarkan hasil penelitian berupa kesimpulan diatas, maka terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan jembatan *tied arch*.

- 1) Pada saat penentuan gaya gempa untuk analisis struktur jembatan *tied arch* penting untuk dikaji dari gaya gempa arah-x (EQX) dan gaya gempa arah-y (EQY) agar analisis dapat berdasarkan gaya gempa yang optimum.
- 2) Gaya aksial tekan *arch rib* merupakan gaya dalam yang signifikan pengaruhnya terhadap perilaku struktur jembatan *tied arch*, sehingga perlu diperhatikan penentuan konfigurasi optimum juga dapat mempertimbangkan efisiensi dalam biaya pekerjaan. Maka dapat dilakukan kajian lebih lanjut mengenai hubungan efisien konfigurasi optimum dan biaya pekerjaan.
- 3) Perlu dilakukan kajian pada tipe jembatan *tied arch* yang lainnya, sebab hasil kesimpulan pada kasus ini tidak dapat digunakan secara keseluruhan pada tipe jembatan pelengkung lainnya. Perbedaan asumsi tumpuan dan tipe struktur jembatan sangat berpengaruh pada perilaku struktur jembatan dalam merespon beban atau gaya yang bekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan* (SNI 1725:2016).
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa* (SNI 2833:2016).
- Chen, W-F. & Duan, L. (2000). *Bridge Engineering Handbook* (edisi kedua). CRC Press.
- Pusat Pemerintahan Kabupaten Mimika. (2021). *Perencanaan Jembatan Jalan Irigasi – SP5* (Arsip PUPR Kabupaten Mimika). <https://mimikakab.go.id>
- Granata, M. F. (2022). Stressing sequence for hanger replacement of tied-arch bridges with rigid bars. *Journal of Bridge Engineering*, 27(1), 04021099. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001811](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001811)
- Hewada M. R., Iek, M., & Kreuta, B. (2019). Pengembangan Infrastruktur Jalan dan Pertumbuhan Ekonomi di Kabupaten Jayawijaya Provinsi Papua Tahun 2013-2017. *Jurnal Kajian Ekonomi dan Studi Pembangunan*, 6(1). <https://pdfs.semanticscholar.org/72d4/1179ff1a3c868d8323c7eb53f1247917bc00.pdf>
- Järvenpää, E., Heikkilä, R., & Järvenpää, M. E. (2020). Geometric Non-linear Form-Finding Design for Optimal Tied Arch Bridge. *Proceedings of ARCH 2019: 9th International Conference on Arch Bridges, Structural Integrity*, 11, 230-237. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29227-0_22
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Pemberlakuan 4 (Empat) Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan* (Surat Edaran Menteri Nomor 02/SE/M/2018).
- Rachmawati. (2019, 28 Oktober). Fakta Jembatan Youtefa, Tonggak Sejarah di Papua di Hari Sumpah Pemuda. *Kompas.com*. <https://regional.kompas.com/read/2019/10/29/08480081/fakta-jembatan-youtefa-tonggak-sejarah-di-papua-di-hari-sumpah-pemuda?page=all>
- Torkamani, M. & Lee, H. E. (2002). Dynamic Behavior of Steel Deck Tension-Tied Arch Bridges to Seismic Excitation. *Journal of Bridge Engineering*, 7(1), 57-67.