

ANALISIS JEMBATAN BUSUR PEJALAN KAKI BERDASARKAN VARIASI LETAK LANTAI KENDARAAN

M. Syukri Ardiansyah¹⁾, Ismeddiyanto²⁾, Reni Suryanita²⁾

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

²Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12.5 Pekanbaru 28293

Email : ms.ardiansyah@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Sturdy bridge construction has always been synonymous with large and impractical structures. New innovations are needed to create a bridge system that is practical but also robust in terms of strength. For this reason, pedestrian arc bridges are analyzed with deck variations. The purpose of this study is to obtain the optimum bridge model, in which the ratio of weight of bridge structure deflection is small. Three types of bridges were considered in this study e.g deck arch, through arch and a half through arch by comparing the stresses that occur as well as the weight ratio and bridge deflection. The most optimum bridge is that produced the smallest efficiency ratio value. The results of the analysis obtained are A Half-Through Arch which has the best performance in distributing internal forces evenly. The Deck Arch weight is 1,125.52 tons, A Half-Through Arch weighs 1,007.14 tons and the Through Arch weighs 975.61 tons. The maximum deflection on the Deck Arch is 243.41 mm, A Half-Through Arch is 309.95 mm and the Through Arch is 260.19 mm. Then, the efficiency ratio of Deck Arch is 4.62, A Half-Through Arch is 3.25 and Through Arch is 3.75. So, it can be concluded the most optimum bridge is A Half-Through Arch with the smallest efficiency ratio value of 3.25. A Half-Through Arch are more efficient 13.34% than Through Arch and 29.73% more efficient than Deck Arch.

Keywords : Analysis of Bridges, Arch Bridge, Steel Bridge, Bridge Loading, Deflection, SAP2000.

1. PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan dengan kondisi geografis yang dipenuhi oleh sungai, selat, jurang, dan pegunungan, infrastruktur jembatan menjadi satu hal yang sangat vital dibutuhkan dalam menunjang kemajuan perekonomian Indonesia. Konstruksi jembatan yang kokoh selama ini selalu identik dengan struktur yang besar dan tidak praktis. Untuk itu diperlukan inovasi-inovasi baru dalam terciptanya sistem jembatan yang tetap praktis dalam pelaksanaan konstruksinya, namun juga kokoh dalam hal kekuatannya.

Jembatan busur (*arch bridge*) adalah struktur setengah lingkaran dengan abutmen pada kedua sisinya. Beban yang diterima lantai kendaraan jembatan akan

dialihkan secara alami oleh pelengkung. Lalu beban ditujukan ke abutmen agar kedua sisi jembatan dapat terjaga dan tidak bergerak ke samping (Supriyadi & Muntohar, 2007). Dalam perencanaan jembatan lengkung terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan yaitu konfigurasi jembatan lengkung, material penyusun jembatan serta jenis sambungan yang digunakan. Selain itu juga dalam analisis dan desain jembatan busur, hal-hal yang harus diperhatikan yaitu dimensi penampang, variasi kelengkungan jembatan serta rasio antara berat jembatan terhadap lendutan yang terjadi agar diperoleh hasil yang optimum.

Saat ini, penggunaan baja sebagai material konstruksi telah banyak diminati

karena memiliki kelebihan dibandingkan material lainnya. Dari segi kekuatan, baja memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada beton. Kekuatan yang tinggi ini juga terdistribusi secara merata dan mengakibatkan struktur bangunan yang terbuat dari baja lebih ringan dibandingkan struktur dengan bahan lain. Selain itu, struktur dari baja dapat dibongkar untuk kemudian dipasang kembali sehingga elemen struktur baja dapat dipakai secara berulang-ulang dalam berbagai bentuk.

1.1 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian yang dibahas yaitu analisis jembatan busur (*arch bridge*) pejalan kaki berdasarkan variasi letak lantai kendaraan. Variasi letak lantai kendaraan terdiri dari tipe *Deck Arch*, *a half-through arch* dan tipe *through arch*. Setelah itu dibandingkan tegangan-tegangan yang terjadi serta rasio antara berat dan lendutan jembatan agar diperoleh model jembatan yang paling optimum dan efisien, yaitu jembatan yang menghasilkan nilai rasio efisiensi paling kecil.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

- 1) Menganalisis struktur jembatan busur (*Arch Bridge*) pejalan kaki berdasarkan variasi letak lantai kendaraan;
- 2) Membandingkan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur jembatan busur tipe *Deck Arch*, *Through Arch*, dan *A Half – Through Arch*;
- 3) Mengkaji rasio antara berat jembatan terhadap lendutan yang terjadi pada jembatan busur tipe *Deck Arch*, *Through Arch*, dan *A Half – Through Arch*.

1.3 Manfaat

Diharapkan dalam penelitian ini dapat bermanfaat untuk :

- 1) Menambah wawasan dan informasi para peneliti dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan struktur jembatan busur (*Arch Bridge*);
- 2) Menjadi referensi dalam menganalisis struktur jembatan busur (*Arch Bridge*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Jembatan

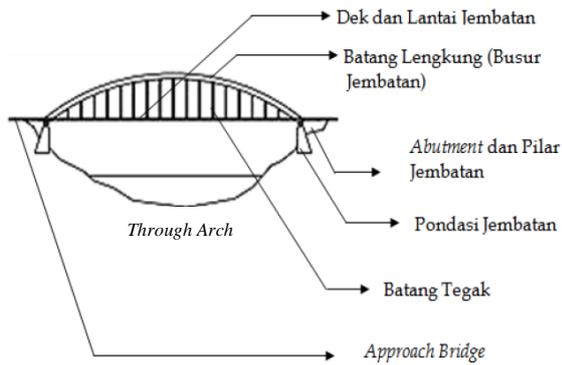
Menurut Struyk & Veen (1984), jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi sebagai penerusan jalan melewati suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan tersebut dapat berupa lembah, sungai, danau, jalan raya maupun rintangan lainnya.

Secara umum, jembatan difungsikan untuk melayani arus lalu lintas serta dalam perencanaan dan perancangan jembatan perlu dipertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan nilai-nilai estetika.

2.2 Jembatan Busur (*Arch Bridge*)

Jembatan busur adalah jembatan dengan struktur berbentuk setengah lingkaran dan abutmen yang terletak pada kedua sisinya. Penggunaan busur ini sebagai pengalihan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju ke abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak mengalami pergeseran (Supriyadi & Muntohar, 2007).

Menurut Victor (1980), pemberian bentuk busur dimaksudkan untuk mengurangi momen lentur pada jembatan sehingga penggunaan bahan menjadi lebih efisien dibandingkan gelagar paralel. Jembatan busur terdiri dari beberapa bagian yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.

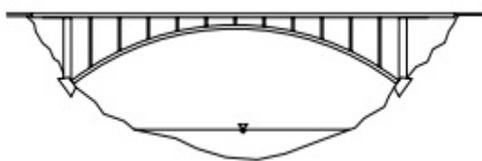


Gambar 1. Bagian-bagian Jembatan Lengkung (Widia, 2016)

2.3 Jenis Jembatan Busur Berdasarkan Letak Lantai

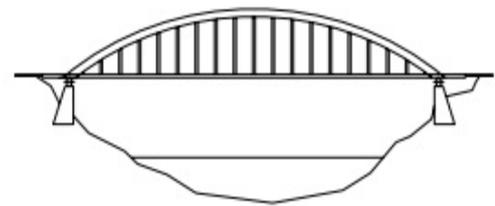
Berdasarkan letak lantai kendaraan, berikut jenis-jenis jembatan busur yang umum dipakai, yaitu :

- 1) *Deck Arch* adalah jenis jembatan busur dengan beban lalu-lintas yang ditopang secara langsung oleh lantai kendaraan dan berada dibagian paling atas busur. Jembatan busur jenis ini didesain untuk menahan kombinasi gaya aksial dan momen akibat lalu-lintas jembatan. Selain sebagai tempat lalu-lintas, bagian lantai kendaraan juga berfungsi sebagai pengaku bagi struktur jembatan.



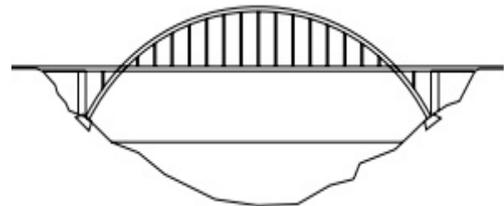
Gambar 2. Jembatan Busur *Deck Arch* (Qosim, 2005)

- 2) *Through Arch* adalah jenis jembatan busur dengan lantai kendaraan terletak tepat di *springline* busurnya. Pada jenis ini gaya dorong horizontal yang diterima didistribusikan oleh pelengkung menuju girder jembatan sehingga pondasi jembatan lebih kecil dibandingkan jenis jembatan busur lainnya.



Gambar 3. Jembatan Busur *Through Arch* (Qosim, 2005)

- 3) *A Half – Through Arch* adalah jenis jembatan busur dengan lantai jembatan terletak diantara *springline* dan bagian paling atas busur. Pada jenis ini beban akibat lalu-lintas ditahan oleh dek jembatan yang selanjutnya diteruskan ke bagian utama busur melalui kabel yang menghubungkan dek jembatan ke bagian busur utama.



Gambar 4. Jembatan Busur *A Half-Through Arch* (Qosim, 2005)

2.4 Pembebanan Pada Jembatan Busur Pejalan Kaki

Pada perencanaan jembatan yang perlu diperhatikan adalah beban-beban yang terjadi pada jembatan. Beban tersebut akan mempengaruhi besarnya dimensi dari struktur jembatan serta banyak rangka batang yang digunakan. Peraturan di Indonesia yang membahas beban rencana untuk jembatan pejalan kaki terdapat pada Pedoman Departemen Pekerjaan Umum (PU) tentang Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki (2007). Pedoman lain yang digunakan dalam perencanaan jembatan pejalan kaki yaitu mengacu pada *AASHTO LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridge* (2009).

2.4.1 Beban Mati

Beban mati atau berat sendiri adalah berat dari profil dan elemen struktural dan non-struktural yang direncanakan sejak awal dan tidak akan mengalami perubahan yang signifikan selama masa layan jembatan kecuali diadakan perubahan-perubahan terhadap struktural jembatan. Oleh karena itu, beban untuk berat sendiri ini nilainya dianggap selalu tetap. Berat isi berbagai macam bahan material dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Berat isi Material (RSNI T-02-2005)

No	Nama Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)
1	Lapisan Permukaan Beraspal	22,0
2	Aspal Beton	22,0
3	Beton	22,0 – 25,0
4	Beton bertulang	23,5 – 25,5
5	Baja	77,0

2.4.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan diasumsikan sebagai semua beban non-struktural yang ditahan oleh struktur jembatan dan bukan merupakan kesatuan bagian dari struktur itu sendiri sehingga beratnya dapat berubah pada suatu waktu selama masa layan jembatan. Perubahan tersebut bisa akibat penggantian elemennya ataupun juga dikarenakan perubahan dari kualitas material tersebut. Beban mati tambahan meliputi beban lapisan aspal, genangan air hujan dan *railing* jembatan.

2.4.3 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Pada penelitian ini, beban hidup mengacu pada Pedoman Departemen Pekerjaan Umum (PU) tentang Perencanaan dan Pelaksanaan

Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki (2007). Kelas pengguna termasuk jembatan kelas 1 dengan beban pejalan kaki terdistribusi merata sebesar 500 kg/m² dan dipertimbangkan beban kendaraan ringan/ternak sebesar 20 kN yang diaplikasikan sebagai beban berjalan. Pembebanan tersebut dinilai memberikan batas yang cukup untuk keselamatan semua pengguna biasa dari jembatan pejalan kaki.

2.4.4 Beban Angin

Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Tekanan angin yang ditentukan pada SNI 1725:2016 diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_s) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (1)$$

Keterangan :

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana (km/jam);

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam);

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90 s/d 126 km/jam;

Z = Elevasi struktur dari permukaan tanah atau dari permukaan air (mm);

V_0 = Kecepatan gesekan angin (km/jam);

Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan, (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari :

- 1) Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang;
- 2) Survei angin pada lokasi jembatan;

- 3) Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 2. Nilai V_0 dan Z_0 (SNI 1725:2016)

Kondisi	Lahan	Sub	Kota
	Terbuka	Urban	
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (2)$$

Keterangan :

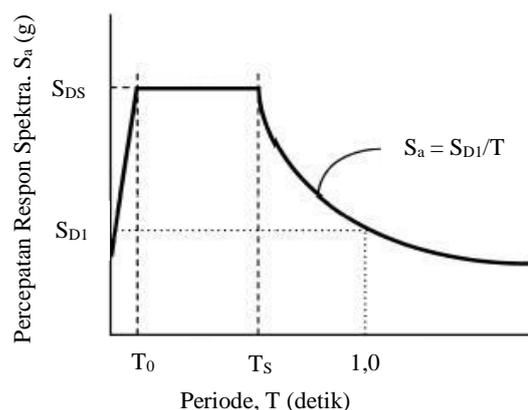
P_B = Tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 3 (MPa)

Tabel 3. Tekanan Angin Dasar (SNI 1725:2016)

Kompoen bangunan atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

2.4.5 Beban Gempa

Perencanaan beban gempa yang diperhitungkan pada penelitian ini mengacu pada SNI 1726:2012 dengan metode *response spectrum*. Wilayah yang ditinjau yaitu Kota Pekanbaru dengan zonasi gempa Wilayah 2 dan berada pada kondisi tanah sedang. Kurva desain *response spectrum* harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Kurva Desain *Response Spectrum* (SNI 1726:2012)

2.4.6 Kombinasi dan Faktor Beban

Kombinasi beban umumnya didasarkan pada beberapa aksi beban yang kemungkinan bekerja secara bersamaan dan berpotensi memberikan pengaruh maksimum bagi keseluruhan struktur. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Kombinasi dan Faktor Beban (SNI 1725:2016)

Keadaan Batas	MS	MA	TP	TD	EW	EQ
Layan I	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	-
Layan II	1,0	1,0	1,3	1,3	-	-
Layan III	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	-
Kuat I	1,1	2,0	1,8	1,8	-	-
Kuat II	1,1	2,0	1,4	1,4	-	-
Kuat III	1,1	2,0	-	-	1,4	-
Ekstrem	1,1	2,0	0,3	0,3	-	1,0

Keterangan :

MS = Beban mati atau berat sendiri struktur

MA = Beban mati tambahan

TP = Beban pejalan kaki

TD = Beban kendaraan ringan/ternak

EW = Beban angin

EQ = Beban gempa

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Preliminary Design

Merupakan data input awal dalam desain jembatan yang berisi informasi mengenai data struktur jembatan yang dianalisis, terdiri dari dimensi jembatan hingga material yang digunakan. Untuk selengkapnya yaitu sebagai berikut :

- 1) Kategori jembatan : Jembatan Busur (*Arch Bridge*) Pejalan Kaki
- 2) Variasi Tipe/model : *Through arch*, *a half-through arch* dan *deck arch*
- 3) Tipe kelengkungan : Parabola
- 4) Asumsi pemodelan : *Space Frame*
- 5) Tumpuan/perletakan : Sendi-rol
- 6) Dimensi Jembatan
 - (a) Panjang Bentang (L) : 132 m
 - (b) Lebar Jembatan (b) : 7 m
 - (c) Tinggi Jembatan (f) : 22 m
 - (d) Jarak Antar Gelagar
 - (1) Melintang : 6 m
 - (2) Memanjang : 1,75 m
- 7) Material
 - (a) Struktur Utama : Baja BJ 41
 - (b) Pelat : Beton K-350
 - (c) Tebal Pelat : 300 mm

3.2 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam analisis struktur jembatan busur pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

- 1) Penentuan topik dan rumusan masalah penelitian.
- 2) Perencanaan desain awal (*preliminary design*) yang meliputi data struktur jembatan, dimensi profil maupun *properties material*.
- 3) Penggambaran model jembatan yang dianalisis pada program SAP2000 berdasarkan variasi model dan konfigurasi jembatan yang telah direncanakan.

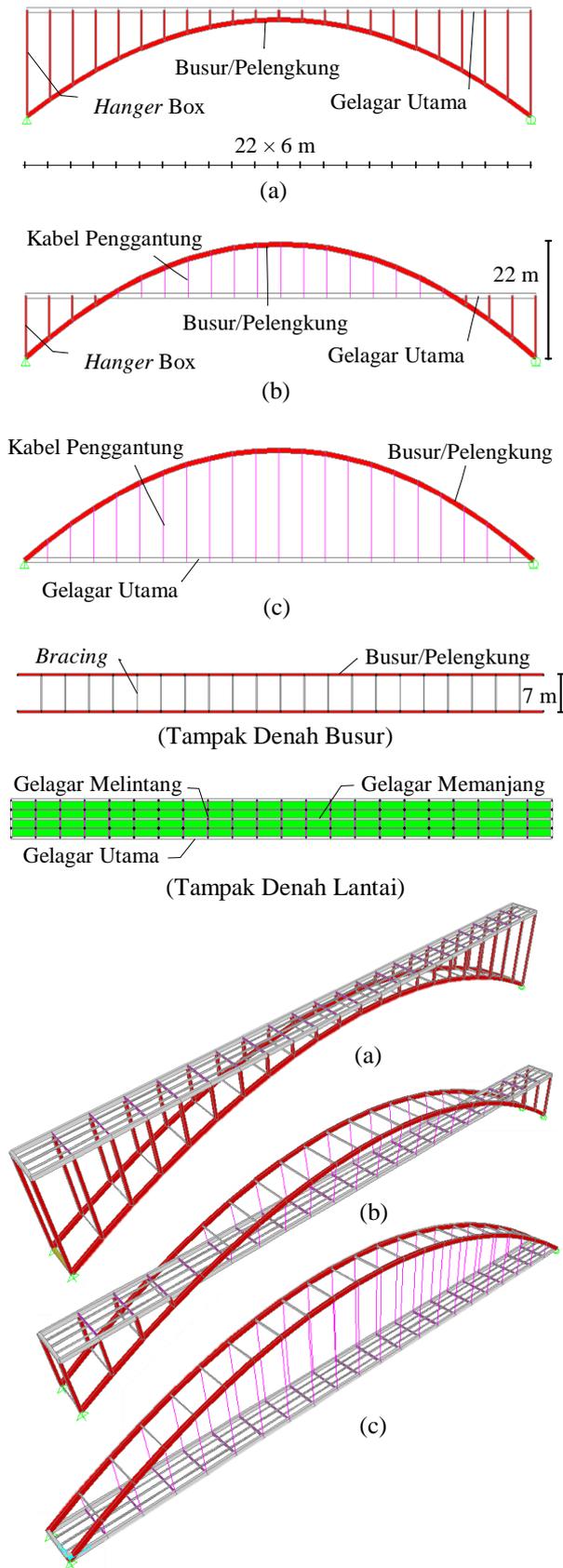
- 4) Pemberian beban pada masing-masing tipe/model jembatan serta membuat kombinasi beban.
- 5) Dilakukan *run analysis* ketiga model jembatan, sehingga diperoleh hasil berupa gaya-gaya dalam maupun deformasi pada struktur. Selain itu juga dilakukan *run steel frame design/check of structure* untuk mengetahui nilai rasio tegangan yang terjadi.
- 6) Pengecekan lendutan maksimum jembatan dan harus memenuhi syarat lendutan izin sebesar $L/360$ (L = Panjang bentang jembatan) yang mengacu pada *AASHTO LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridge* (2009).
- 7) Hasil analisis dari ketiga model jembatan tersebut dibandingkan agar didapatkan tipe/model jembatan yang paling optimum dan efisien.

3.3 Profil dan Konfigurasi Jembatan

Konfigurasi jembatan yang dianalisis dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 tipe berdasarkan letak lantai kendaraan, yaitu tipe *deck arch*, *a half-through arch* dan *through arch*. Adapun profil dan konfigurasi jembatan busur yang dianalisis yaitu sebagai berikut.

Tabel 5. Profil yang digunakan

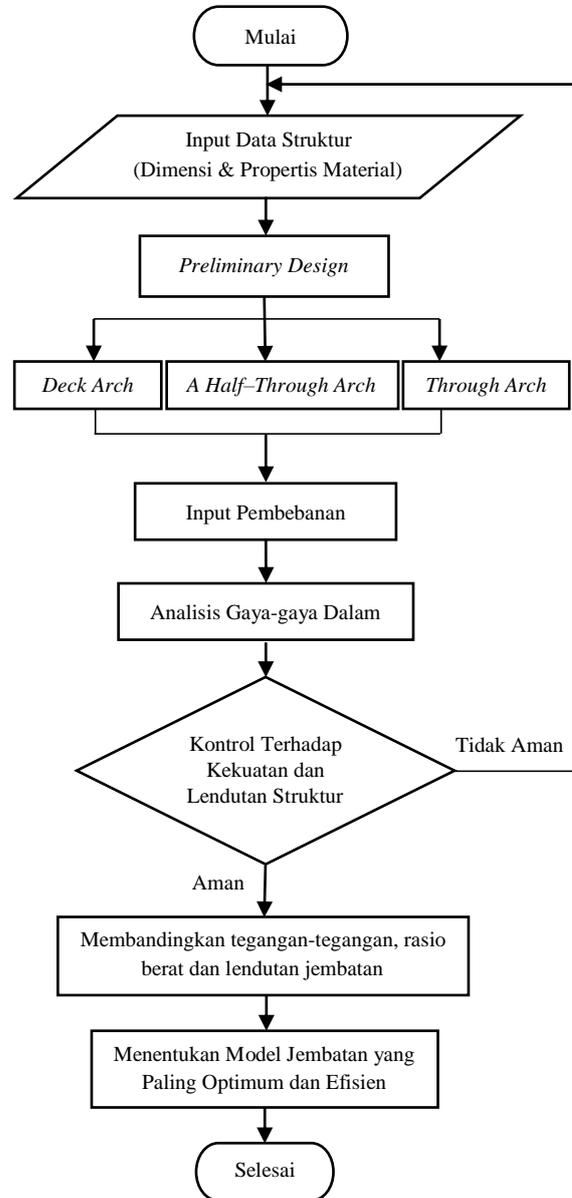
No.	Frame	Profil (mm)
1	Busur/Pelengkung	Box 1000.500.25.25
2	Gelagar Induk/Utama	Box 900.450.22.22
3	Gelagar Melintang	IWF 400.200.8.13
4	Gelagar Memanjang	IWF 300.150.6,5.9
5	<i>Bracing</i>	Box 300.150.7,5.7,5
6	<i>Hanger</i> /Batang Tegak	Box 500.500.25.25
7	Kabel Penggantung	<i>Macalloy</i> 460 (M56)



Gambar 6. Konfigurasi Jembatan Busur Tipe (a) *Deck Arch*, (b) *A Half-Through Arch*, (c) *Through Arch*

3.4 Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan memahami tahapan dalam penelitian ini, dapat dilihat bagan alir berikut :

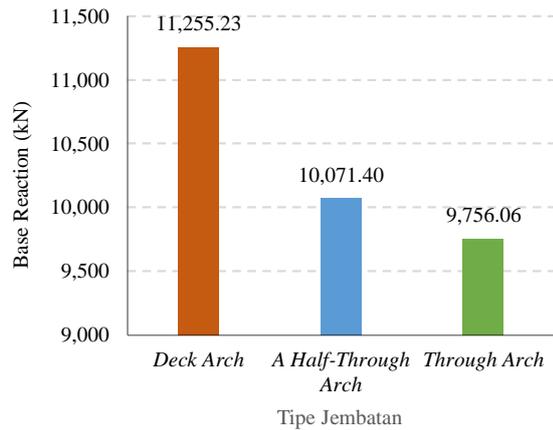


Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Reaksi Perletakan

Reaksi perletakan yang ditinjau yaitu akibat beban mati untuk mengetahui berat sendiri struktur jembatan. Berat struktur pada masing-masing tipe/model jembatan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Reaksi Perletakan

Dari ketiga tipe jembatan tersebut, *Through Arch* menghasilkan reaksi perletakan paling kecil atau memiliki bobot paling ringan. Bobot jembatan tipe *Through Arch* lebih ringan 3,13% dari tipe *a half-through arch* dan 13,32% lebih ringan dari tipe *deck arch*.

Hal tersebut dapat terjadi karena seluruh profil batang tegak pada jembatan tipe *Through Arch* menggunakan kabel sedangkan pada tipe *deck arch* menggunakan box baja serta tipe *A Half-Through Arch* menggunakan kabel dan box baja, sehingga berpengaruh terhadap berat struktur jembatan. Dari hasil tersebut juga dapat disimpulkan bahwa kenaikan posisi *deck/lantai* kendaraan berbanding lurus dengan bobot jembatan.

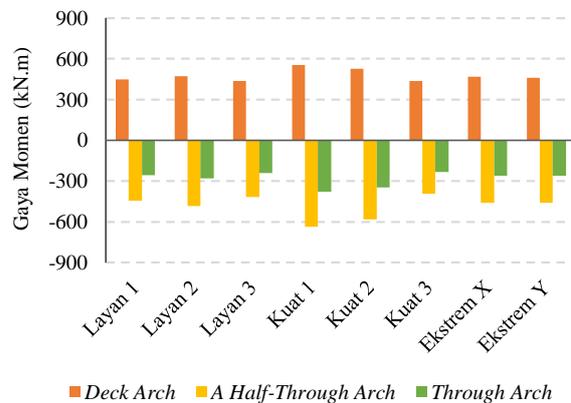
4.2 Gaya Dalam Momen

Gaya momen adalah gaya yang terjadi akibat adanya gaya lintang pada elemen struktur. Gaya momen yang ditinjau yaitu momen maksimum pada gelagar utama dan busur/pelengkung.

4.2.1 Gaya Momen Gelagar Utama

Pada gelagar utama, momen maksimum jembatan busur tipe *deck arch* bernilai positif terjadi pada seluruh kombinasi beban. Hal ini berbanding

terbalik dengan jembatan busur tipe *through arch* dan *a half-through arch*. Pada kedua tipe jembatan tersebut, momen maksimum bernilai negatif diseluruh kombinasi pembebanan. Perbedaannya terletak pada nilai momen dengan nilai terbesar dihasilkan oleh jembatan busur tipe *a half-through arch*. Diagram momen maksimum Gelagar Utama dapat dilihat pada Gambar 9.



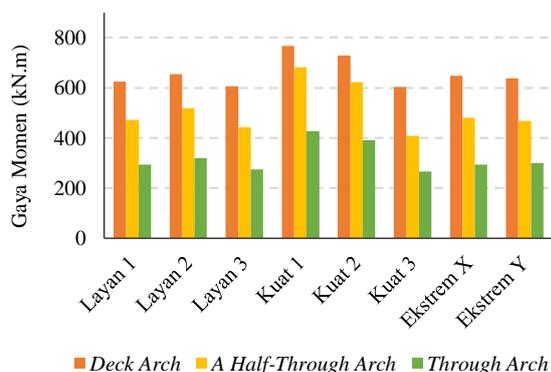
Gambar 9. Momen Maksimum Gelagar Utama

Momen maksimum yang dihasilkan oleh gelagar utama pada ketiga tipe jembatan terjadi akibat kombinasi beban kuat 1. Beban pejalan kaki dan beban kendaraan ringan memberikan dampak yang cukup besar terhadap peningkatan momen tersebut.

4.2.2 Gaya Momen Busur/Pelengkung

Momen maksimum busur/pelengkung bernilai positif pada ketiga tipe jembatan. Dari ketiga tipe jembatan tersebut, nilai momen terbesar dihasilkan oleh jembatan busur tipe *deck arch* yaitu 767,59 kN. Selisih nilai momen jembatan busur tipe *deck arch* dengan tipe lainnya yaitu 84,96 kN atau 11,07% lebih besar daripada *a half through arch* dan 339,74 kN atau 44,26% lebih besar dibandingkan dengan jembatan busur tipe *through arch*.

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan ketinggian *deck/lantai* kendaraan berbanding lurus terhadap peningkatan nilai momen pada busur. Diagram momen maksimum busur dapat dilihat pada Gambar 10.



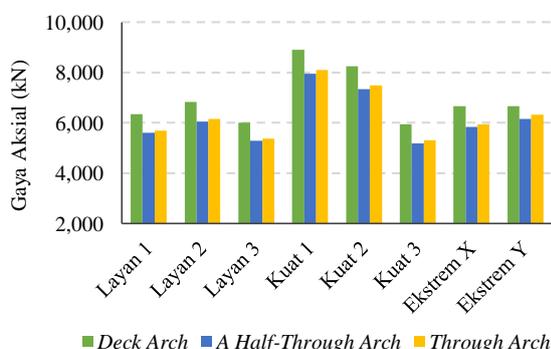
Gambar 10. Momen Maksimum Busur

4.3 Gaya Dalam Aksial

Gaya aksial yaitu gaya pada elemen struktur yang mempunyai arah sejajar sumbu elemen. Gaya aksial maksimum yang ditinjau yaitu pada Gelagar Utama, Busur/Pelengkung dan *Hanger/Batang* Tegak.

4.3.1 Gaya Aksial Gelagar Utama

Pada gelagar utama, gaya aksial yang dominan dihasilkan yaitu berupa gaya tarik. Gaya aksial maksimum terjadi akibat kombinasi beban kuat 1, seperti yang terlihat pada Gambar 11.

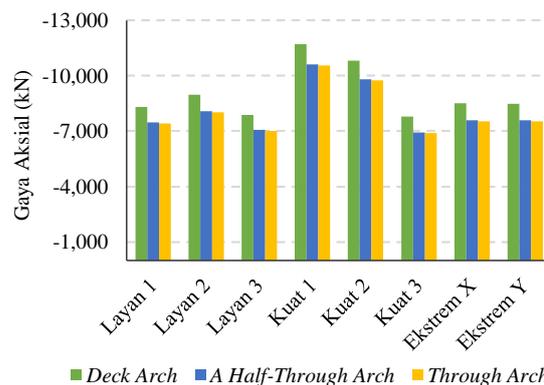


Gambar 11. Gaya Aksial Maksimum Gelagar Utama

Nilai gaya aksial terbesar dihasilkan oleh jembatan busur tipe *deck arch* yaitu 8913,77 kN. Gaya aksial tersebut 9,03% lebih besar daripada tipe *through arch* dan 10,76% lebih besar dibandingkan tipe *a half-through arch*. Berdasarkan hasil diatas, bahwa perubahan posisi *deck/lantai* kendaraan tidak berbanding lurus dengan peningkatan nilai gaya aksial pada gelagar utama.

4.3.2 Gaya Aksial Busur/Pelengkung

Busur/pelengkung adalah komponen utama sebagai penopang gaya-gaya dalam pada jembatan busur. Pada elemen busur/pelengkung, gaya aksial yang terjadi berupa gaya tekan. Diagram gaya aksial maksimum Busur dapat dilihat pada Gambar 12.



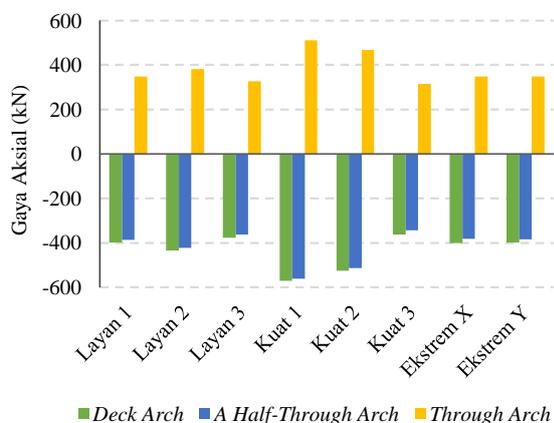
Gambar 12. Gaya Aksial Maksimum Busur/Pelengkung

Berbeda dengan gelagar utama, pada busur penambahan ketinggian *deck/lantai* kendaraan berbanding lurus dengan peningkatan nilai gaya aksial. Hal ini dibuktikan dengan nilai gaya aksial pada jembatan busur tipe *through arch* yaitu -10556,42 kN, menjadi -10621,60 kN atau mengalami peningkatan sebesar 0,61% pada tipe *a half-through arch*. Lalu meningkat cukup signifikan menjadi -11691,41 kN atau terjadi peningkatan sebesar 9,71% pada tipe *deck arch*.

4.3.3 Gaya Aksial *Hanger*/Batang Tegak

Dari ketiga tipe jembatan yang dianalisis terdapat variasi penggunaan *hanger* berupa profil box baja dan kabel. Hal ini dilakukan sesuai dengan gaya yang diterima oleh jembatan. Pada tipe *Deck Arch* dan *A Half-Through Arch*, gaya aksial yang dihasilkan berupa gaya tekan yaitu sebesar -570,75 kN dan -561,98 kN serta tipe *Arch Through Arch* gaya aksial maksimum sebesar 510.69 kN berupa gaya tarik.

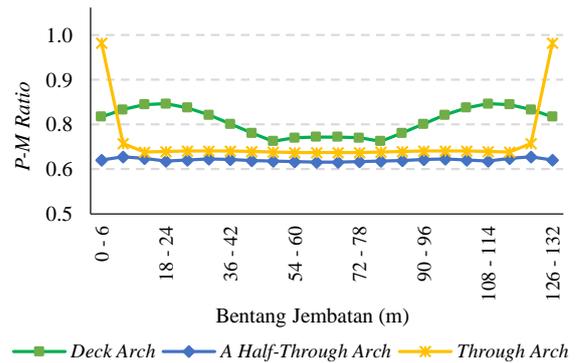
Gaya aksial yang dihasilkan oleh *hanger*/batang tegak sangat dipengaruhi oleh beban pejalan kaki dan beban kendaraan ringan, hal ini terlihat dari kombinasi beban kuat 1 dan 2 yang memiliki nilai gaya aksial tertinggi. Diagram gaya aksial maksimum pada *hanger*/batang tegak dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Gaya Aksial Maksimum *Hanger*/Batang Tegak

4.4 Rasio Tegangan dan Kapasitas Penampang (*P-M Ratio*)

Tujuan pengecekan *P-M Ratio* adalah sebagai dasar untuk memastikan bahwa profil aman digunakan dan dapat menahan beban pada kondisi ultimitnya. *P-M Ratio* yang ditinjau yaitu pada elemen gelagar utama sepanjang bentang untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi.



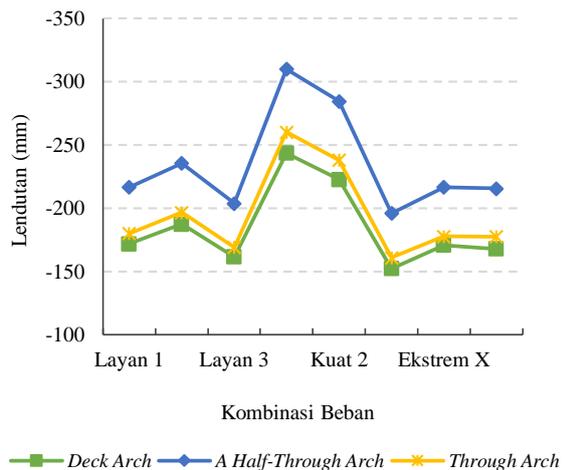
Gambar 14. Distribusi *P-M Ratio* Gelagar Utama

Dari Gambar 14 diatas dapat dilihat bahwa jembatan tipe *A Half-Through Arch* menunjukkan kinerja pendistribusian gaya dalam yang cenderung merata sepanjang bentang dengan nilai rasio rata-rata sebesar 0,657. Pada tipe *Through Arch* pendistribusian gaya dalam sepanjang bentang juga cenderung merata, namun terjadi kenaikan yang cukup besar di daerah tumpuan. Peningkatan nilai rasio tegangan menuju tumpuan tersebut terkait dengan fungsi dari tumpuan yaitu menahan aksi yang terjadi pada struktur. Sedangkan pada jembatan tipe *Deck arch* kinerja yang ditunjukkan lebih fluktuatif.

Berdasarkan hasil tersebut, jembatan busur tipe *a half-through arch* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan 2 tipe jembatan lainnya dan yang paling efisien dalam mendistribusikan gaya-gaya dalam pada gelagar utama.

4.5 Lendutan Maksimum

Seperti halnya *P-M Ratio*, lendutan maksimum juga harus dipertimbangkan, sebagai salah satu parameter dalam memastikan keamanan jembatan yang didesain. Lendutan yang diizinkan sebesar $\frac{L}{360} = 367$ mm dan lendutan maksimum yang ditinjau yaitu elemen gelagar utama.

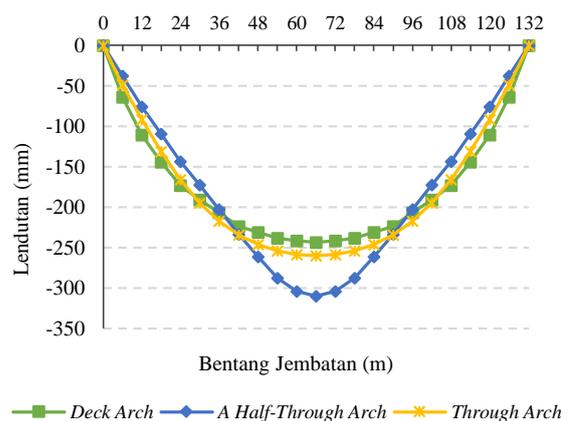


Gambar 15. Lendutan Maksimum Pada Gelagar Utama

Berdasarkan Gambar 15 diatas, lendutan maksimum pada ketiga tipe jembatan terjadi akibat kombinasi beban kuat 1. Besaran lendutan untuk masing-masing tipe jembatan *Deck Arch*, *A Half-Through Arch* dan *Through Arch* secara berurutan yaitu -243,41 mm, -309,95 mm dan -260,19 mm. Diantara ketiga tipe jembatan, *Deck Arch* menghasilkan lendutan yang paling kecil. Lendutan tersebut lebih kecil 6,45% dari tipe *Through Arch* dan 21,47% lebih kecil dibandingkan dengan jembatan tipe *A Half-Through Arch*.

4.6 Distribusi Lendutan

Distribusi lendutan yang ditampilkan yaitu pada gelagar utama akibat kombinasi beban kuat 1. Pola distribusi lendutan antara ketiga tipe jembatan cenderung sama dengan lendutan maksimum terjadi pada tengah jembatan. Perbedaan terletak pada besaran nilai dan peningkatan lendutan menuju tengah bentang. Peningkatan lendutan paling besar terjadi pada $\frac{1}{4}$ bentang jembatan dan peningkatannya semakin kecil mendekati tengah bentang, seperti yang terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Distribusi Lendutan Pada Gelagar Utama

Dari ketiga model jembatan, peningkatan lendutan terbesar dihasilkan oleh jembatan busur tipe *deck arch* sebesar 64,05 mm dari *joint* 0 m ke 6 m. Sedangkan pada jembatan busur tipe *through arch* dengan tinjauan *joint* yang sama mengalami peningkatan sebesar 48,59 mm dan tipe *deck arch* sebesar 37,62 mm.

4.7 Rasio Berat dan Lendutan Jembatan

Untuk menentukan tipe jembatan busur yang paling optimum dan efisien, maka perlu memperhitungkan rasio berat dan lendutan jembatan. Hasil perhitungan rasio berat dan lendutan jembatan dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Rasio Efisiensi Jembatan

Tipe Jembatan	Berat Jembatan (ton)	Lendutan Maksimum (mm)	Rasio Efisiensi (ton/mm)
1	1.125,52	-243,41	4,62
2	1.007,14	-309,95	3,52
3	975,61	-260,19	3,75

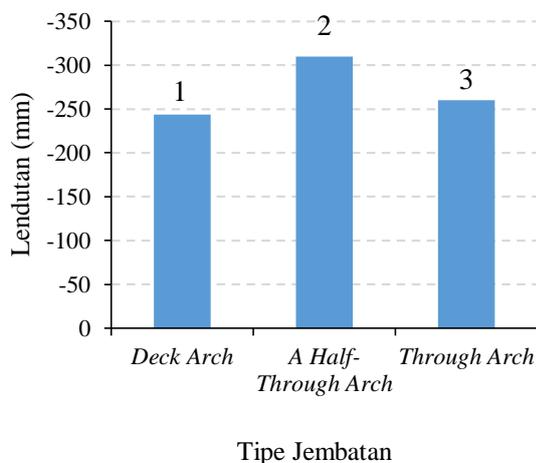
Keterangan :

Tipe 1 = *Deck Arch*

Tipe 2 = *A Half-Through Arch*

Tipe 3 = *Through Arch*

Berdasarkan Tabel 6 diatas, jembatan busur tipe *Deck Arch* menghasilkan rasio efisiensi paling besar yaitu 4,62, lalu tipe *Through Arch* dengan nilai rasio 3,75 dan rasio terkecil dihasilkan oleh jembatan busur tipe *A Half-Through Arch* sebesar 3,52. Jembatan busur yang paling efisien adalah jembatan dengan nilai rasio efisiensi paling kecil, yaitu jembatan busur tipe *A Half-Through Arch*.



Gambar 17. Rasio Berat dan Lendutan

Seperti yang terlihat pada Gambar 17, jembatan busur tipe *A Half-Through Arch* membentuk grafik batang paling tinggi dengan bobot 1.007,14 ton dan lendutan 309,95 mm, sehingga dari gambar diatas menunjukkan bahwa jembatan busur tipe *A Half-Through Arch* merupakan tipe jembatan yang paling optimum. Jembatan busur tipe *A Half-Through Arch* lebih efisien 13,34% daripada tipe *Through Arch* dan 29,73% lebih efisien dibandingkan dengan jembatan busur tipe *Deck Arch*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada struktur jembatan busur, gaya dominan dan yang paling besar dihasilkan yaitu berupa gaya aksial tekan pada busur/pelengkung.
2. Gaya aksial terbesar dihasilkan oleh jembatan busur tipe *Deck Arch* sebesar -11.691,41 kN. Gaya aksial tersebut lebih besar 9,15% dari tipe *A Half-Through Arch* dan 9,71% lebih besar dibandingkan tipe *Through Arch*, sehingga penurunan letak lantai kendaraan berbanding lurus dengan nilai gaya aksial busur/pelengkung.
3. Berdasarkan distribusi rasio tegangan dan kapasitas penampang, jembatan busur tipe *A Half-Through Arch* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan 2 tipe jembatan lainnya yaitu *Deck Arch* dan *Through arch*. Hal tersebut terlihat dari pendistribusian gaya-gaya dalam yang lebih merata disepanjang bentang baik pada elemen gelagar maupun busur.
4. Berat jembatan busur tipe *Deck Arch* yaitu 1.125,52 ton, *A Half-Through Arch* 1.007,14 ton dan *Through Arch* 975,61 ton. Dari hasil tersebut, jembatan busur tipe *Through Arch* memiliki bobot yang paling ringan, yaitu 3,13% lebih ringan dari jembatan busur tipe *A Half-Through Arch* dan 13,32% lebih ringan dibandingkan dengan tipe *Deck Arch*.
5. Lendutan maksimum yang dihasilkan oleh jembatan busur tipe *Deck Arch* sebesar 243,41 mm, *A Half-Through Arch* sebesar 309,95 mm dan *Through Arch* sebesar 260,19 mm. Lendutan terkecil dihasilkan oleh jembatan busur tipe *Deck Arch* dengan selisih 6,45% lebih kecil daripada tipe *Through Arch* dan 21,47% lebih kecil dibandingkan tipe *A Half-Through Arch*.

6. Dari poin no.3 dan no.4 diatas menunjukkan bahwa peningkatan bobot jembatan tidak berbanding lurus dengan penurunan lendutan. Hal tersebut dapat dilihat dari jembatan busur tipe *Deck Arch* memiliki bobot yang paling berat dan menghasilkan lendutan paling kecil. Sedangkan jembatan busur tipe *Through Arch* yang memiliki bobot paling ringan, tetapi tidak menghasilkan lendutan paling besar.
7. Berdasarkan rasio berat dan lendutan, jembatan busur tipe *Deck Arch* menghasilkan nilai rasio sebesar 4,62, tipe *A Half-Through Arch* sebesar 3,25 dan tipe *Through Arch* sebesar 3,75.
8. Jembatan busur yang paling efisien dihasilkan oleh jembatan busur tipe *A Half-Through Arch* dengan nilai rasio efisiensi terkecil yaitu 3,25. Jembatan tersebut lebih efisien 13,34% dari tipe *Through Arch* dan 29,73% lebih efisien dibandingkan tipe *Deck Arch*.
9. Dari grafik rasio berat dan lendutan jembatan menunjukkan bahwa jembatan busur yang paling optimum diperoleh jembatan busur tipe *A Half-Through Arch*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini, terdapat beberapa saran yang bisa dilakukan untuk penelitian serupa kedepannya, yaitu :

1. Dalam analisis struktur menggunakan program komputer, pemahaman, definisi maupun asumsi saat memasukkan parameter ke dalam program tersebut sangat penting agar dihasilkan model struktur yang akurat dan mendekati kondisi yang

sebenarnya dengan perilaku yang diharapkan.

2. Dalam analisis jembatan busur bentang panjang, perlu diperhatikan mengenai efek beban angin yang bekerja secara dinamis.
3. Beban gempa sangat mempengaruhi struktur bagian bawah, sehingga untuk peneliti selanjutnya juga perlu menganalisis struktur bagian bawah tersebut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway And Transportation Officials (AASHTO). 2009. *LRFD Guide Specification For Design Of Pedestrian Bridge*. Washington, DC.
- Arditya Widia, I. M. (2016). *Optimalisasi Desain Jembatan Lengkung Terhadap Berat Dan Lendutan*. Jurnal Teknik Sipil, 211-221.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2005). RSNI T-02-2005. *Pembebanan Untuk Jembatan: Badan Penelitian dan Pengembangan*.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2005). RSNI T-03-2005. *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan: Badan Penelitian dan Pengembangan*.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2012). SNI 1726:2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung: Badan Penelitian dan Pengembangan*.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2015). SNI 1729:2015. *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural: Badan Penelitian dan Pengembangan*.

- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2016). SNI 1725:2016. *Pembebanan Untuk Jembatan: Badan Penelitian dan Pengembangan.*
- Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil. (2007). *Perencanaan dan Pelaksanaan Kontruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki: Departemen Pekerjaan Umum.*
- Qosim, M. (2005). *Perencanaan Struktur Atas Jembatan Jalan Raya Dengan Kontruksi Lengkung Di Sungai Disanah Desa Marparan Kecamatan Sreseh Kabupaten Sampang.* Jurnal Teknik Sipil, 46-55.
- Riki. (2012). *Pengaruh Persamaan Kelengkungan Arch Terhadap Perilaku Tied-Arch Bridge.* Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia: Depok .
- Riyono, M. A. (2012). *Studi Variasi Penampang Nonprismatis Baja Terhadap Perilaku dan Kekuatan Tied Arch Bridge.* Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia: Depok.
- SM, R. R. (2012). *Studi Pengaruh Persamaan Kurva Kelengkungan Jembatan Inverted Arch Bridge Terhadap Perilaku Jembatan.* Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia: Depok.
- Struyk, H., & Veen, K. (1984). *Jembatan.* Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Supriyadi, B., & Muntohar, A. S. (2007). *Jembatan.* Yogyakarta: Beta Offset.
- Victor, D. (1980). *Essentials of Bridge Engineering.* New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co, Third Edition.