

Tinjauan Perencanaan Super Struktur Jembatan Pelengkung pada Sungai Pute Kab. Maros

Andika Eka Putra¹, Hanafi Ashad², Toni Utina³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia

Jl. Urip Sumoharjo Km 05 Panaikang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231

Email: ¹andikaengineering031@gmail.com; ²hanafi.ashad@umi.ac.id; ³toni.utina@umi.ac.id

ABSTRAK

Tingginya kebutuhan pergerakan menggunakan transportasi darat mendorong pengembangan penyediaan prasarana transportasi khususnya di darat baik jalan maupun jembatan. Penggunaan beton bertulang sebagai material struktur jembatan khususnya jembatan lengkung sulit dilaksanakan. Struktur rangka baja merupakan material yang sering dipilih sebagai alternatif dalam pembangunan struktur jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan struktur jembatan eksisting dengan struktur jembatan hasil tinjauan, dilihat dari aspek gaya-gaya dalam, aspek kekuatan struktur, dan reaksi perletakan yang diterima oleh sub-struktur. Jembatan Pelengkung Sungai Pute terletak di Kecamatan Bontoa, Kab. Maros, tepatnya berada di ruas jalan nasional ruas Pangkajene-Maros yang terletak 37.80 km dari Kota Makassar. Jembatan ini melayani pergerakan lalu-lintas jalan nasional yang masuk, dan keluar kota Makassar melalui jalur utara. Data yang menjadi tinjauan adalah data bentang, dimensi eksisting, data pembebanan eksisting dan data material yang akan digunakan. Yang menjadi ciri khas pembeda dari jembatan pelengkung dengan jembatan tipe lain merupakan elemen lengkungnya. Pada elemen lengkung hanya terdapat gaya tekan, kemudian memiliki 2 pondasi yang menahan beban dari struktur. Peningkatan sudut kelengkungan menyebabkan semakin kecilnya gaya tekan, begitu pula dengan nilai bentang yang semakin berkurang. Selain itu, reaksi perletakan yang terjadi pada jembatan tinjauan lebih kecil dari pada jembatan eksisting, sehingga dimensi sub struktur yang direncanakan lebih kecil.

Kata Kunci: Jembatan, Pelengkung, Super struktur

ABSTRACT

The high need for movement using land transportation encourages the development of transportation infrastructure provision, especially on land, both roads and bridges. The use of reinforced concrete as a bridge structure material, especially arch bridges, is difficult. Steel frame structure is a material that is often chosen as an alternative in the construction of bridge structures. This study aims to compare the existing bridge structure with the bridge structure as a result of the review, seen from the aspects of internal forces, aspects of structural strength, and placement reaction received by the sub-structure. The Pute River Arch Bridge is located in Bontoa District, Kab. Maros, precisely located on the national road section of the Pangkajene-Maros section, which is 37.80 km from Makassar City. This bridge serves the movement of national road traffic entering and leaving Makassar through the northern route. The data to be reviewed are the span data, existing dimensions, existing loading data and material data to be used. What distinguishes the arch bridge from other types of bridges is its arch element. In the curved element there is only a compressive force, then it has 2 foundations that hold the load from the structure. The greater the angle of curvature, the smaller the effect of the compressive force, but the span becomes smaller. In addition, the placement reaction that occurs on the review bridge is smaller than that of the existing bridge, so that the dimensions of the planned sub-structure are smaller.

Keywords: Bridge, Curve, Super-structure

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Jembatan pelengkung saat ini dominan dipilih untuk pembangunan jembatan dengan bentangan panjang (Prasmoro et al., 2017). Mayoritas menggunakan material beton bertulang yang merupakan bahan yang kuat terhadap gaya tekan utamanya dengan perkembangan teknologi dalam perkuatan beton (Regina Deisi et al., 2017). Pembuatan bekisting & penulangan beton jembatan lengkung rumit dilaksanakan dengan durasi pelaksanaan yang lama, yang berdampak pada bertambahnya biaya. Beton memiliki umur yang panjang dan tidak perlu perawatan khusus dalam masa layannya. Dengan kondisi dan tipe jembatan yang ada saat ini, peneliti tertarik mengangkat penggunaan material baja dengan struktur rangka baja pada Jembatan pelengkung.

1.2 Tujuan Penelitian

Mengetahui perbandingan antara struktur jembatan *existing* dengan struktur jembatan hasil tinjauan, dilihat dari aspek gaya-gaya dalam, aspek kekuatan struktur, dan reaksi perletakan yang diterima oleh sub-struktur.

2. Metode Penelitian

Peneliti membandingkan jembatan pelengkung dengan menggunakan data perencanaan *existing*, yaitu: data bentang, dimensi *existing*, dan data pembebanan *existing* juga data material yang akan digunakan. Kemudian dibuatlah model jembatan pelengkung dengan memasukkan data-data tersebut ke dalam program SAP 2000 (Rizqi, 2017). Jika dari hasil perencanaan cek kekuatan struktur tidak aman, maka data perencanaan diubah sampai hasil desain dinyatakan aman. Kemudian digambarkan hasil perencanaan.

Hasil perencanaan lalu dibandingkan dengan hasil desain *eksisting* dilihat dari luaran berupa gaya-gaya dalam, kekuatan struktur, juga reaksi

perletakannya. Terakhir ditarik kesimpulan dari perbandingan hasil perencanaan dengan hasil desain *existing*, dan saran dalam perencanaan jembatan lengkung.

2.1 Pembebanan Jembatan Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri komponen bangunan struktur merupakan berat dari komponen tersebut ditambah dengan elemen-elemen struktur tambahan yang dipikulnya. Komposisi beban ini meliputi berat material dan elemen struktur pada jembatan, juga ditambahkan dengan elemen non-struktural yang dianggap konstan (BSN, 2016).

Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat keseluruhan material pembentuk beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dengan besaran yang bisa mengalami perubahan seiring umur struktur jembatan tersebut (BSN, 2016).

Beban Lajur (TD)

Beban lajur disimbolkan D terbagi menjadi beban tersebar merata (BTR) beserta beban garis (BGT) (Prastowo et al., 2018).

Beban Truk (TT)

Pembebanan truk disimbolkan T merupakan kendaraan truk semi-trailer yang memiliki susunan dan berat as (Rachman, 2009).

Gaya Rem

Dengan adanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, yang ditimbulkan dari gaya rem dan traksi, maka perlu dilakukan peninjauan untuk kedua jalur lalu lintas. Pengaruh ini diestimasi sama dengan gaya rem yakni 5% terhadap beban lajur (D) yang diasumsikan ada pada seluruh jalur lalu lintas (Prastowo et al., 2018).

Beban pejalan kaki

Semua unsur dari trotoar maupun jembatan penyebaran yang berkontak langsung dengan beban pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa.

Temperatur

Suhu yang mengakibatkan bahan menjadi lendut.

Aliran air, benda hanyut, dan tumbukan dengan batang kayu

Tejadi pada pier, abutment, atau bagian super struktur yang bersentuhan dengan aliran air.

Beban angin

Angin diasumsikan berdampak secara merata untuk keseluruhan bangunan atas jembatan. Begitu pula pada kendaraan yang melintas pada jembatan tersebut.

Desain Respon Spektrum

Getaran yang terjadi ditanah pada saat gempa yang berakibat dengan kepada bangunan jembatan.

2.2 Pembebanan berdasarkan batas ultimit

Batas ultimit menjadi patokan dalam perencanaan seluruh komponen struktur

jembatan dimana setiap macam gaya dalam pada setiap komponen jembatan harus memenuhi kriteria keamanan yang diformulasikan sebagai berikut (Keraf, 2015)

$$\phi R_n \geq \sum y_i Q_i \dots\dots\dots (1)$$

Berikut adalah beberapa kondisi batas ultimit yang berpotensi terjadi (BSN, 2005):

- Salah satu atau sebagian dari komponen struktur jembatan mengalami keruntuhan lokal.
- Terjadinya keruntuhan atau kegagalan pada sebagian atau keseluruhan komponen struktur jembatan berdampak pada kehilangan keseimbangan statis.
- Kondisi purna-elastis atau purna-tekek yaitu sebuah kondisi dimana satu atau lebih elemen jembatan telah berada pada kondisi runtuh.
- Kehancuran yang disebabkan oleh kerusakan dari fatik dan korosi.
- Pergeseran yang berlebihan atau keruntuhan bagian utama dari jembatan yang disebabkan oleh kegagalan dari pondasi.

Tabel 1. Faktor beban berdasarkan batas ultimit normal

Aksi	Lama Waktu	Faktor Beban
P _{MS}	Tetap	*
P _{MA}	Tetap	2.0/1.4 (2)
P _{SR}	Tetap	1.0
P _{PL}	Tetap	1.25
T _{TD}	Transien	1.8
T _{TT}	Transien	1.8
T _{TB}	Transien	1.8
T _{TR}	Transien	1.8
T _{TP}	Transien	1.8
T _{TC}	Transien	*
T _{ET}	Transien	1.2
T _{EF}	Transien	*
T _{EW}	Transien	1.2
T _{EQ}	Transien	1.0
T _{CL}	Transien	*

Keterangan:

* = Penjelasan lebih lanjut

2.3 Struktur Baja

Komponen Struktur Tarik

Komponen struktur yang mengalami gaya tarik dapat mengalami 2 jenis kegagalan berupa leleh (*yield*) atau runtuh (*fracture*).

Komponen Struktur Tekan

Struktur yang mengalami gaya tekan adalah kemungkinan terjadinya tekuk (*buckling*) pada komponen tersebut.

Komponen Balok

Balok adalah komponen yang diberikan pembebanan yang tegak lurus pada arah sumbu batangnya, maka akan timbul momen lentur atau bending.

- Jika nilai $\lambda \leq \lambda_p$, maka komponen tersebut termasuk compact
- Jika nilai $\lambda_p \leq \lambda_r$, maka komponen tersebut termasuk non-compact
- Jika nilai $\lambda \leq \lambda_r$, maka komponen tersebut termasuk slender

Sambungan paku keeling

Sambungan paku keeling digunakan pada struktur baja dikarna getaran yang terjadi oleh kendaraan. Hal-hal yang perlu diperhitungkan adalah.

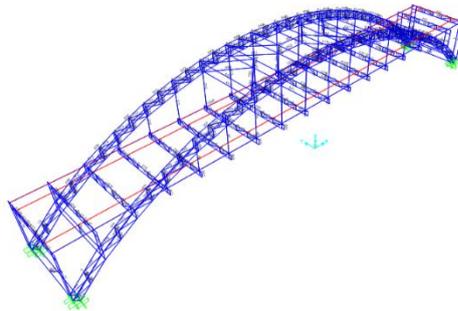
- Perhitungan jumlah paku keeling
- Kerusakan sambungan
- Kemampuan sambungan
- Menentukan kekuatan dukung paku keeling
- Daya guna

2.4 SAP 2000

Program SAP 2000 merupakan salah satu program analisis dan perancangan struktur. Sistem yang berbasis grafis membuat proses pembuatan model, pemeriksaan, dan penampilan hasil dapat dilakukan secara interaktif pada layar.

Mengambar Model Struktur

Adapun model struktur tergambar sebagai berikut



Gambar 1 Model struktur jembatan pelengkung

Definisi

Adapun parameter-parameter yang didefinisikan adalah Material, terdiri dari

- Beton 35 MPa untuk plat lantai kendaraan
- Beton 30 MPa untuk plat pejalan kaki
- Baja JIS G550, dan
- Besi Tulangan 300 MPa.

Section Properties

- Batang Melintang
- Batang Pelengkung
- Batang I25
- Kabel Tarik (*Joist*)

Pembebanan terdiri dari Berat Sendiri (1), Beban Mati Tambahan (0), Angin (0), Lajur (0), Truk (0), Pejalan kaki (0), Gaya Rem (0), Suhu (0), Aliran (0).

Kombinasi Pembebanan, terdiri dari:

- Kombinasi 1: 1,1 MS + 2,0 MA + 1,8 TD + 1,8 TT + 1,8 TB + 1,2 ET + 1,2 EW + 1,5 EF
- Kombinasi 2: 1,1 MS + 2,0 MA + 1,8 TD + 1,8 TT + 1,8 TP + 1,8 TB + 1,2 ET
- Kombinasi 3: 1,1 MS + 2,0 MA + 1,8 TD + 1,8 TT + 1,8 TB + 1,5 EF

- Kombinasi 4: 1,1 MS + 2,0 MA + 1,8 TD + 1,8 TT + 1,8 TB + 1,2 ET + 1,2 EW
- Kombinasi 5 : 1,1 MS + 2,0 MA + 1,8 TD + 1,0 EQ

material beton yang dimensi pelengkung tidak prismatis.

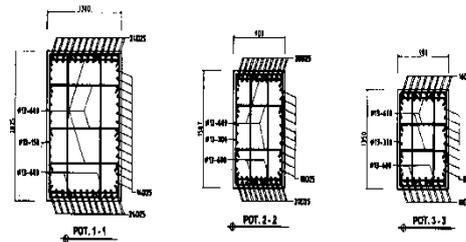
3. Hasil dan Pembahasan

Perbandingan Profil Jembatan

Desain Jembatan tinjauan menggunakan profil baja disusun menjadi rangka baja berbentuk pelengkung. Sedangkan, Desain Jembatan existing menggunakan

Elemen Pelengkung

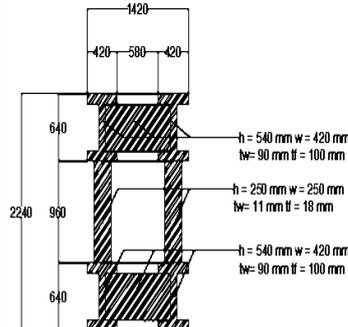
Desain existing Elemen pelengkung berbentuk non-prismatis. dimensi elemen pelengkung pada daerah tumpuan, yaitu: 2025 mm x 1300 mm (Potongan 1-1), dan semakin ketengah elemen pelengkung maka dimensi pelengkung semakin mengecil, yaitu: 1587 mm x 900 mm (Potongan 2-2), dan 1350 mm x 900 mm (Potongan 3-3).



Gambar 2 Dimensi elemen pelengkung existing

Desain tinjauan elemen pelengkung berbentuk prismatis. Dimensi elemen pelengkung tetap sama pada daerah

tumpuan, dan ditengah elemen pelengkung.

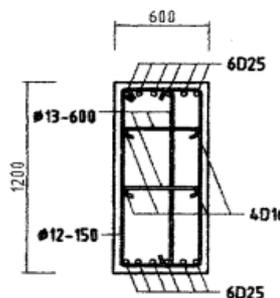


Gambar 3 Dimensi elemen pelengkung tinjauan

Elemen Melintang

Elemen Melintang merupakan elemen yang menerima langsung beban dari

kendaraan. Desain Existing menggunakan 1 (satu) balok.

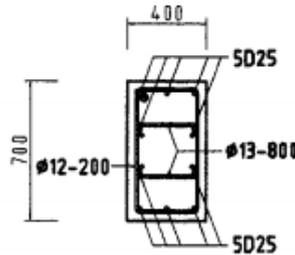


Gambar 4 Dimensi elemen melintang existing

Sedangkan desain Tinjauan menggunakan 2 (dua) balok, karna 1 profil melintang tidak mampu menerima

momen dari lantai kendaraan. Profil Melintang, yaitu: (h = 500 mm, w = 420 mm, tw = 80 mm, dan tf = 90 mm).

Kedua profil melintang ini dihubungkan dengan profil I25 ($h = 250$ mm, $w = 250$ mm, $tw = 11$ mm, dan $tf = 18$ mm).

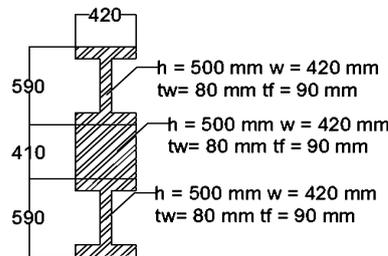


Gambar 5 Dimensi elemen melintang tinjauan

Elemen Kolom

Elemen kolom merupakan elemen yang menerima beban dari lantai kendaraan

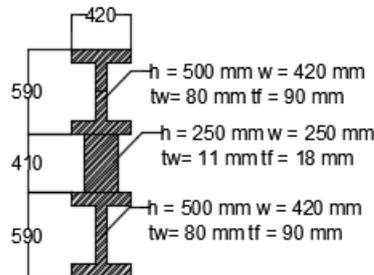
jembatan ke Elemen pelengkung, dan pondasi jembatan. Pada Elemen Kolom terjadi gaya tekan.



Gambar 6 Dimensi elemen kolom exisitng

Desain Existing menggunakan material beton bertulangan dengan 1 (satu) balok. Sedangkan, Desain Tinjauan menggunakan 2 (dua) profil ($h = 250$

mm, $w = 250$ mm, $tw = 11$ mm, dan $tf = 18$ mm). Penggunaan 2 profil ini untuk menghindari dari bahaya tekuk akibat beban tekan.



Gambar 7 Dimensi elemen kolom tinjauan

Elemen Tarik

Elemen Tarik merupakan elemen yang menghubungkan elemen meleintang dengan elemen pelengkung. Pada elemen Tarik terjadi gaya Tarik akibat beban dari elemen melintang yang selanjutnya dipikul oleh elemen pelengkung. Pada Desain existing menggunakan tendon 12 Ø 0.5 inc. yang dilindungi dengan beton bertulang.

Untuk desain tinjauan juga menggunakan tendon 12 Ø 0.5 inc, yang dilindungi dengan plat dengan tebal 5 mm.

Elemen Ikatan Angin

Elemen Ikatan angin merupakan elemen yang berfungsi sebagai pengaku antara elemen pelengkung. Desain Existing menggunakan material beton

bertulangan dengan dimensi berbeda disesuaikan dengan dimensi elemen pelengkung dimana elemen ikatan angin terletak. Pada desain tinjauan menggunakan 2 (dua) profil I25.

$$\% P = \frac{GE}{GE + GT} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

% P = Persen Perbandingan

GE = Nilai gaya existing

GT = Nilai gaya tinjauan

3.2 Perbandingan Gaya-gaya Dalam

Persentase perbandingan gaya-gaya dalam adalah nilai gaya existing, atau gaya hasil tinjauan dibagi dengan jumlah gaya existing, dan gaya hasil tinjauan. Rumus Persen Perbandingan, yaitu:

Tabel 2. Perbandingan gaya dalam pada elemen pelengkung

No.	Frame	Nilai	Jembatan eksisting			Jembatan tinjauan		
			P %	V3 %	M3 %	P %	V3 %	M3 %
1	AB1	Maks.	51,72	8,27	2,64	48,28	91,73	97,36
		Min.	49,68	7,61	8,50	50,32	92,39	91,50
2	AB2	Maks.	49,08	37,39	65,68	50,92	62,61	34,32
		Min.	47,57	31,92	66,45	52,43	68,08	33,55
3	AB3	Maks.	49,05	75,30	80,65	50,95	24,70	19,35
		Min.	47,91	22,12	80,38	52,09	77,88	19,62
4	AB4	Maks.	48,80	55,58	79,09	51,20	44,42	20,91
		Min.	48,59	22,77	78,78	51,41	77,23	21,22
5	AB5	Maks.	65,84	0,31	85,93	34,16	99,69	14,07
		Min.	65,67	0,30	86,14	34,33	99,70	13,86
6	AB6	Maks.	48,61	39,91	74,35	51,39	60,09	25,65
		Min.	48,44	23,36	74,79	51,56	76,64	25,21
7	AB7	Maks.	48,57	9,99	72,91	51,43	90,01	27,09
		Min.	48,42	4,40	73,69	51,58	95,60	26,31
8	AB8	Maks.	48,67	7,79	59,59	51,33	92,21	40,41
		Min.	48,50	8,36	65,05	51,50	91,64	34,95
9	AB9	Maks.	48,48	0,39	14,44	51,52	99,61	85,56
		Min.	48,48	37,50	23,55	51,52	62,50	76,45

3.3 Reaksi Perletakan

Reaksi perletakan adalah beban yang diterima oleh pondasi, atau sub struktur dari aksi super struktur. Reaksi

perletakan akan menentukan jenis, dan dimensi sub struktur yang akan direncanakan.

Tabel 3 Perbandingan reaksi perletakan dalam persen

Reaksi Satuan		Jembatan Existing				Jembatan Tinjauan			
		A	B	C	D	A	B	C	D
F1	%	60,22	60,24	60,22	60,24	39,78	39,76	39,78	39,76
F2	%	94,85	95,08	95,14	94,67	5,15	4,92	4,86	5,33
F3	%	64,14	64,16	64,13	64,17	35,86	35,84	35,87	35,83
M1	%	99,73	99,39	99,30	99,99	0,27	0,61	0,70	0,01
M2	%	27,29	27,21	27,29	27,19	72,71	72,79	72,71	72,81
M3	%	96,17	96,34	96,39	96,03	3,83	3,66	3,61	3,97

4. Penutup

Dari hasil analisis, desain, dan perbandingan antara jembatan existing dengan jembatan tinjauan, maka dapat disimpulkan bahwa.

- 1) Pada elemen pelengkung terjadi gaya tekan, dimana gaya tekan terbesar terjadi pada elemen pelengkung dekat tumpuan, dan semakin mengecil ditengah struktur pelengkung. Gaya normal pada desain existing lebih besar dari pada desain tinjauan. Sehingga, dimensi elemen pelengkung untuk desain tinjauan lebih kecil, dan berongga yang merupakan rangka batang.
- 2) Pada elemen melintang dari perbandingan momen pada desain tinjauan lebih kecil dari Desain Existing yang berarti lendutan yang terjadi lebih kecil. Sehingga, desain hasil tinjauan dapat lebih kecil dari pada desain existing. Namun, pada desain hasil tinjauan merupakan rangka baja dimana lebih tinggi dari pada desain existing.
- 3) Pada elemen kolom perbandingan gaya tekan pada desain tinjauan lebih kecil dari Desain Existing untuk K1, dan K3. Namun, gaya tekan pada desain tinjauan lebih besar dari Desain Existing untuk K2. Pada desain hasil tinjauan menggunakan 2 batang, karena bahaya tekuk disebabkan gaya disentris.
- 4) Reaksi perletakan yang terjadi pada jembatan tinjauan lebih kecil dari pada jembatan existing, sehingga dimensi sub struktur yang direncanakan lebih kecil. Momen arah sumbu Y (M2) pada reaksi perletakan berbeda, dimana jembatan existing serong ke arah gunung, dan jembatan hasil tinjauan serong ke arah pantai pada lokasi jembatan.

Daftar Pustaka

BSN. (2005). Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. In *RSNI T-03-*

2005.

<https://docs.google.com/file/d/0B-pXeGdiQqo2YjA4ODAzMDctZjY0Yy00Zjg0LTgyMzEtZmQ1ZWYwN2Q2MTNh/edit>

- BSN. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan: Vol. SNI 1725*.
- Keraf, P. P. S. (2015). *Studi Alternatif Perencanaan Struktur Atas Jembatan Type Pelengkung (Lowerdeck) Pada Jembatan Sukarno-Hatta Kota Malang*.
- Prasmoro, R., Masiran, H. S., & Wahyuni, E. (2017). Modifikasi Jembatan Sembayat Baru II Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21505>
- Prastowo, A. W., Novianti, N. W., & CES, S. (2018). *Modifikasi Desain Struktur Jembatan Kedung Galeng Sta.28+200 Divisi Iv Proyek Pembangunan Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo, Jawa Timur*.
- Rachman, F. (2009). Analisa Perencanaan Jembatan Kali Wulan Desa Bungo Kecamatan Wedung Kabupaten Demak Untuk Bangunan Atas. *Jurnal Teknik Unisfat*, 5(1), 31–41.
- Regina Deisi, P., Sumajouw, M. D. J., & Pandaleke, R. (2017). Perbandingan Kuat Tarik Lentur Beton Bertulang Balok Utuh Dengan Balok Yang Diperkuat Menggunakan Chemical Anchor. *Jurnal Sipil Statik*, 5(7), 393–399.
- Rizqi, M. R. N. (2017). *Pengaruh Gempa Terhadap Perilaku Jembatan Pelengkung Sultan Muhammad Ali Abdul Jalil Muazzamyah Riau Dengan Time History Analysis*.