

DESAIN JEMBATAN PELENGKUNG LAMARU-TRITIP MENGUNAKAN TIPE *TROUGH ARCH*

Nindya Fitrissari¹), Yudi Pranoto²), Sujati Jepriani³)

^{1,2,3}) Program Studi Rekayasa Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda.

Jl. Ciptomangunkusumo, Kampus Gunung Ipan, Samarinda, Indonesia

yudipranoto@polnes.ac.id²), sujatijepriani@polnes.ac.id³)

ABSTRAK

Di Kelurahan Teritip, Kecamatan Balikpapan Timur terdapat obyek pariwisata Pantai Teritip yang memiliki potensi di bidang pariwisata. Namun hingga saat ini daerah tersebut masih belum bisa diakses dikarenakan tidak adanya sarana untuk menuju daerah tersebut. Dalam rangka meningkatkan pembangunan daerah tersebut maka Yayasan Seniyur mengadakan pembangunan jembatan untuk menunjang sarana dan prasarana transportasi warga dan wisatawan yang berkunjung ke daerah Teritip. Mengingat pentingnya peran jembatan Lamaru-Teritip, maka pembangunannya harus ditinjau secara teknis, agar aman, nyaman dan juga menarik dari segi estetika agar menarik minat para wisatawan yang akan berkunjung ke Teritip. Dasar dasar perencanaan mengacu pada peraturan RSNI T 2005, sedangkan perencanaan struktur menggunakan peraturan AISC – LRFD. Pada tahap awal adalah perhitungan lantai kendaraan dan trotoar. Kemudian dilakukan perencanaan dimensi gelagar memanjang dan melintang, serta perhitungan shear connector. Analisis konstruksi pemikul utama dan konstruksi sekunder dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000. Setelah didapatkan gaya-gaya dalam yang bekerja dilakukan perhitungan kontrol tegangan dan perhitungan sambungan. Kemudian memasuki tahap akhir dari perencanaan struktur atas dilakukan perhitungan dimensi struktur. Dari hasil perencanaan didapatkan profil dan dimensi yang dipakai pada jembatan Dimensi gelagar memanjang I WF 700 300, gelagar melintang I WF 700 300, rangka busur B WF 550 x 550, konstruksi penggantung 355,6 X 19, ikatan angin atas $\varnothing 267,4 \times 15,1$, ikatan angin bawah IWF 250 x 125.

Kata-kata kunci: jembatan pelengkung, RSNI T 2005, AISC - LRFD

1. PENDAHULUAN

Balikpapan merupakan salah satu kota di Kalimantan Timur yang sedang berkembang terutama dari segi pembangunan infrastruktur. Di Kecamatan Balikpapan Timur terdapat beberapa obyek pariwisata yang banyak diminati dan sampai sekarang selalu mengalami peningkatan. Salah satunya pada daerah Kelurahan Teritip yang dapat dikembangkan potensi bidang wisatanya. Namun hingga saat ini daerah tersebut masih belum bisa diakses dikarenakan tidak adanya sarana yang menghubungkan Kelurahan Lamaru ke Teritip.

Dalam rangka meningkatkan pembangunan daerah tersebut maka Yayasan Seniyur mengadakan pembangunan jembatan untuk menunjang sarana dan prasarana transportasi warga dan wisatawan yang berkunjung ke daerah Teritip. Jembatan merupakan salah satu bagian yang sangat penting untuk menghubungkan suatu daerah yang terhalang oleh suatu rintangan seperti sungai, danau, lembah, saluran irigasi, rawa dan lain-lain. Jembatan ini nantinya akan menghubungkan kawasan wisata Lamaru dan Teritip. Jembatan ini direncanakan menggunakan jembatan pelengkung dengan bentang 35 meter dan ditopang oleh dua abutment.

Mengingat pentingnya peran jembatan Lamaru-Teritip, maka pembangunannya harus ditinjau secara teknis, baik dari segi kualitas, kuantitas yang memenuhi syarat-syarat perancangan dan sesuai standar yang ada. Selain itu jembatan ini juga harus menunjang dari segi estetika agar menarik minat para wisatawan yang akan berkunjung ke Teritip.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Definisi Jembatan

Jembatan secara umum adalah bangunan pelengkap jalan yang berfungsi sebagai penghubung dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain.

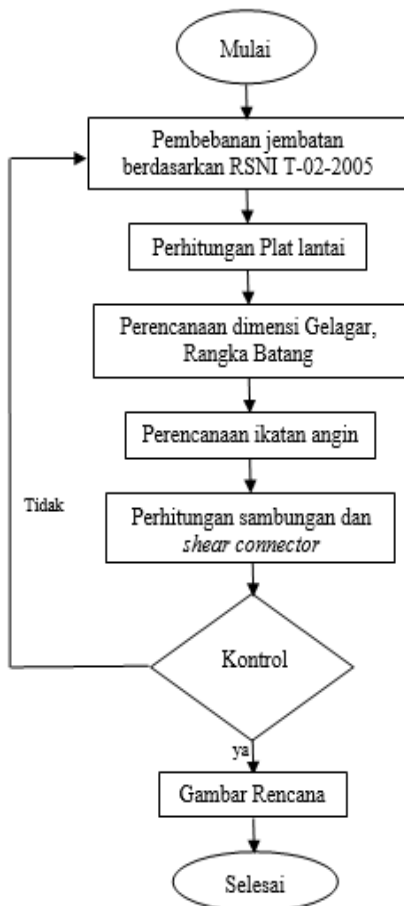
Jembatan pelengkung (*arch bridge*) adalah struktur setengah lingkaran dengan abutmen di kedua sisinya. Desain pelengkung (setengah lingkaran) secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergerak ke samping.

Pembebanan

Standar acuan yang dipakai pada perencanaan jembatan ini adalah RSNI T-02-2005, yaitu aksi dan beban tetap, beban lalu lintas, aksi lingkungan dan aksi-aksi lain. Aksi dan beban tetap terdiri dari berat sendiri struktur jembatan dan beban mati tambahan. Beban lalu lintas terdiri dari beban “D”, beban “T”, gaya rem, dan beban untuk pejalan kaki. Aksi lingkungan terdiri dari pengaruh temperatur, beban angin, dan pengaruh gempa. Aksi aksi lain terdiri dari gesekan pada perletakan dan pengaruh getaran.

Metode Perencanaan

Metode perencanaan yang dipergunakan sesuai dengan langkah langkah seperti pada gambar di bawah ini.



3. HASIL PERENCANAAN

Perhitungan Gelagar Memanjang

Dicoba profil IWF 700 x 300 x 13 x 24

Kontrol terhadap lendutan

Lendutan ijin : $L/800 = 0,875$ cm

Tabel 1. Kombinasi beban akibat lendutan pada gelagar memanjang

No	Jenis beban	Kom-1	Kom-2	Kom-3	Kom-4
		Lendutan (cm)	Lendutan (cm)	Lendutan (cm)	Lendutan (cm)
1	Berat sendiri (MS)	0,3702	0,3702	0,3702	-
2	Beban mati tambahan (MA)	0,0290	0,0290	0,0290	-
3	Beban lajur "D" (TD)	0,0749	0,0749	0,0749	-
4	Gaya rem (TB)	0,0015	0,0015	0,0015	-
5	Gesekan perletakan	-	0,0003	0,0003	-
6	Pengaruh temperatur (ET)	-	0,0074	0,0074	-
7	Beban angin (EW)	-	-	0,0052	-
8	Beban gempa (EQ)	-	-	-	0,0106
	Total	0,4756	0,4833	0,4886	0,0106

Dari tabel di atas terlihat bahwa lendutan yang terjadi lebih kecil dari lendutan ijin

Perhitungan Gelagar Melintang

Dicoba profil IWF 700 x 300 x 13 x 24

Kontrol terhadap lendutan

Lendutan ijin : $L/800 = 0,625$ cm

Tabel 2. Kombinasi beban akibat lendutan pada gelagar melintang

No	Jenis beban	Kom-1	Kom-2	Kom-3	Kom-4
		Lendutan (cm)	Lendutan (cm)	Lendutan (cm)	Lendutan (cm)
1	Berat sendiri (MS)	0,124	0,124	0,124	-
2	Beban mati tambahan (MA)	0,013	0,013	0,013	-
3	Beban lajur "D" (TD)	0,301	0,301	0,301	-
4	Gaya rem (TB)	0,011	0,011	0,011	-
5	Gesekan perletakan	-	0,00012	0,00012	-
6	Pengaruh temperatur (ET)	-	0,001	0,001	-
7	Beban angin (EW)	-	-	0,014	-
8	Beban gempa (EQ)	-	-	-	0,004
	Total	0,448	0,449	0,462	0,004

Dari tabel di atas terlihat bahwa lendutan yang terjadi lebih kecil dari lendutan ijin.

Perhitungan Shear Conector

Digunakan shear conector dengan data sebagai berikut :

Digunakan stud 19 × 127, L = 127 mm
 D = 19 mm
 Modulus elastisitas beton, Ec = 2533,21 kN/cm²
 Kuat tekan beton, fc' = 2,91 kN/cm²
 Mutu baja stud, BJ – 50 fu = 50 kN/cm²
 Kuat geser nominal stud,

$$Q_n = 0,5 \times A_s \times \sqrt{f_{c'} \times E_c}$$

$$= 121,61 \text{ kN}$$

$$A_s \times f_u = 141,76 \text{ kN}$$

Kontrol :

$$Q_n \leq A_s \times f_u \quad \dots \text{Aman}$$

Jumlah shear conector

$$n = \frac{1}{4} \times q_{max} \times \frac{L}{Q_n}$$

$$= 13,63 \text{ buah}$$

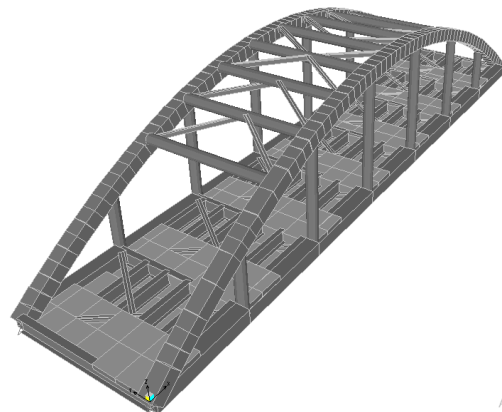
$$\approx 14 \text{ buah}$$

Jarak shear conector,

$$s = \frac{L}{4 \times n} = 125,00 \text{ m}$$

Diambil jarak = 100 mm

Perhitungan Konstruksi Pemikul Utama



Gambar 1. Pemodelan jembatan

Konstruksi pemikul utama merupakan bagian terakhir dari konstruksi bagian atas jembatan yang menerima seluruh beban yang ada pada lantai kendaraan kemudian diteruskan ke abutment.

Perencanaan Dimensi Konstruksi Pemikul Utama

- Tinggi Fokus

Syarat tinggi fokus jembatan pelengkung berdasarkan rumus Hool & Kinne :

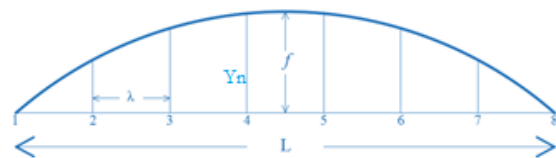
$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$$

$$\frac{f}{L} = \frac{7,00}{35} = 0,20 \text{ m}$$

Maka, $\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5}$

$$0,17 \text{ m} \leq 0,20 \text{ m} \leq 0,20 \text{ m}$$

..... OK



Gambar 2. Rencana konstruksi pemikul utama

Data perencanaan jembatan :

L = 35 m

F = 7 m (tinggi fokus penggantung terpanjang)

λ = 5 m

Batang penggantung = produk PT.GRP (JIS G 3454) pipe steel Ø355,6 × 19

Rangka busur

Digunakan profil produk PT GRP WF 550 × 550 × 25

Kontrol kekuatan desain

Kondisi leleh :

$$T_n = A_g \times f_y = 49600 \times 290 = 14384000 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,9 \times 14384000 = 12945600 \text{ N}$$

Kondisi fraktur:

$$T_n = A_e \times f_u = 44122,50 \times 500 = 22061250 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,9 \times 22061250 = 16545937,5 \text{ N}$$

Digunakan nilai $\phi T_n = 12945600 \text{ N} = 12945,6 \text{ kN}$

Cek kekuatan profil

$$T_u \leq \phi T_n$$

$$3909,546 \text{ kN} \leq 12945,6 \text{ kN} \quad (\text{terpenuhi})$$

Jadi profil yang digunakan pada rangka busur vertikal WFB 550 × 550 × 25

Ikatan angin atas = profil produk PT.GRP (JIS G 3454) *pipe steel* Ø267,4 × 15,1

Batang diagonal = PT.GRP (JIS G 3454) *pipe steel* Ø267,4 × 15,1

Ikatan angin bawah = profil produk PT.GRP (JIS G 3192) IWF 250 × 125

Batang Diagonal

Menghitung faktor kelangsingan

Untuk batang bulat syarat kelangsingan :

$$\frac{b}{t} \leq \frac{625}{\sqrt{f_y}}$$

$$\text{Lebar penampang profil, } b = 550 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal profil, } t = 25 \text{ mm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{550}{25} = 22$$

$$\frac{625}{\sqrt{f_y}} = \frac{625}{\sqrt{290}} = 36,70$$

$$\text{Kontrol kelangsingan, } 22 \leq 36,70 \text{ Terpenuhi}$$

Menghitung arah sumbu kuat (sumbu X)

Panjang batang, $L_x = 6100 \text{ mm}$

Kondisi tumpuan, jepit-jepit $k = 0,5$

$$\lambda_x = \frac{k \times L_x}{r_x} = \frac{0,5 \times 6100}{75} = 40,67$$

$$\lambda_{cx} = \frac{\lambda_x}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0,49$$

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$,

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_{cx}} = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,46)} = 1,13$$

Tegangan kritis,

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} = \frac{290}{1,12} = 257,50 \text{ N/mm}^2$$

Kuat tekan nominal, $\phi = 0,85$

$$N_n = A_g \times f_{cr} = 49600 \times 257,5 = 12772051 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 0,85 \times 12772051 = 10856243 \text{ N} = 10856,24 \text{ kN}$$

Cek kekuatan profil

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$6587,67 \text{ kN} \leq 10856,24 \text{ kN} \quad (\text{terpenuhi})$$

Menghitung arah sumbu lemah (sumbu Y)

Panjang batang, $L_y = 6100 \text{ mm}$

Kondisi tumpuan, jepit-jepit $k = 0,5$

$$\lambda_y = \frac{k \times L_y}{r_y} = \frac{0,5 \times 6100}{75} = 40,67$$

$$\lambda_{cy} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0,49$$

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$,

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_{cy}} = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \times 0,46)} = 1,13$$

Tegangan kritis,

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega}$$

$$= \frac{290}{1,12}$$

$$= 257,50 \text{ N/mm}^2$$

Kuat tekan nominal, $\phi = 0,85$

$$N_n = A_g \times f_{cr}$$

$$= 49600 \times 257,50$$

$$= 12772051 \text{ N}$$

$$\phi N_n = 0,85 \times 12772051$$

$$= 10856243 \text{ N} = 10856,24 \text{ kN}$$

Cek kekuatan profil

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$6587,67 \text{ kN} \leq 10856,24 \text{ kN}$$

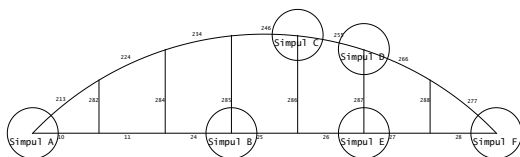
(terpenuhi)

Jadi profil yang digunakan pada rangka busur pelengkung WFB 550 \times 550 \times 25

Perencanaan Sambungan Konstruksi Pemikul Utama

Rencana baut

- Digunakan baut tipe = A325
- Diameter baut, $d = 21 \text{ mm}$
- Diameter lubang baut, $d_1 = 23 \text{ mm}$
- Kuat tarik minimum baut, $f_u = 825 \text{ Mpa}$
- Tahanan nominal baut diambil berdasarkan daya tahan baut yang ditinjau dalam kondisi geser baut, tarik baut, dan tumpu, didapat tahanan nominal baut $\phi R_n = 1929806,66 \text{ N} = 192,81 \text{ kN}$.



Gambar 3. Penomoran sambungan pada konstruksi pemikul

Gaya reaksi pada frame 284, $R_u = 1227,60 \text{ kN}$

Gaya reaksi pada frame 25, $R_u = 1313,49 \text{ kN}$

Tahanan nominal baut, $\phi R_n = 192,81 \text{ kN}$

Jumlah baut frame 284,

$$n_{284} = \frac{R_u}{\phi R_n}$$

$$= 6,37 \text{ buah} \approx 10 \text{ buah}$$

Jumlah baut frame 25,

$$n_{25} = \frac{R_u}{\phi R_n}$$

$$= 6,81 \text{ buah} \approx 10 \text{ buah}$$

Kontrol kekuatan desain

Baut (frame 284)

Tahanan nominal baut, $\phi R_n = 192,81 \text{ kN}$

Jumlah baut, $n = 10 \text{ buah}$

$$R_{u \text{ baut}} = \frac{\phi R_n}{n}$$

$$= 1928,07 \text{ kN}$$

$$\geq 1127,60 \text{ kN} \dots \text{Aman}$$

Baut (frame 25)

Tahanan nominal baut, $\phi R_n = 192,81 \text{ kN}$

Jumlah baut, $n = 10 \text{ buah}$

$$R_{u \text{ baut}} = \frac{\phi R_n}{n}$$

$$= 1928,07 \text{ kN}$$

$$\geq 1227,60 \text{ kN} \dots \text{Aman}$$

Pelat (frame 284)

Luas pelat, $A_g = 20080 \text{ mm}^2$

Jumlah baut, $n = 10 \text{ buah}$

Tebal pelat, $t_p = 19 \text{ mm}$

Luas netto pelat,

$$A_n = A_g - (n \times d \times t)$$

$$= 16090 \text{ mm}^2$$

Luas nominal pelat, $A_e = A_n = 16090 \text{ mm}^2$

Kuat tarik pelat, $f_u = 290 \text{ Mpa}$

Kuat leleh pelat, $f_y = 500 \text{ Mpa}$

Kondisi leleh : $\phi = 0,9$

$$\phi T_n = \phi \times A_g \times f_y$$

$$= 0,9 \times 20080 \times 290$$

$$= 9036000 \text{ N}$$

Kondisi fraktur: $\phi = 0,75$

$$\phi T_n = \phi \times A_e \times f_u$$

$$= 0,9 \times 16090 \times 500$$

$$= 3499575 \text{ N}$$

Digunakan nilai $\phi T_n = 3499575 \text{ N} = 3499,58 \text{ kN}$

$$1227,60 \text{ kN} \leq 3499,58 \text{ kN}$$

(terpenuhi)

Pelat (frame 25)

Luas pelat, $A_g = 49600 \text{ mm}^2$

Jumlah baut, $n = 10 \text{ buah}$

Tebal pelat, $t_p = 25 \text{ mm}$

Luas netto pelat,

$$A_n = A_g - (n \times d \times t)$$

$$= 44350 \text{ mm}^2$$

Luas nominal pelat, $A_e = A_n = 44350 \text{ mm}^2$

Kuat tarik pelat, $f_u = 290 \text{ Mpa}$

Kuat leleh pelat, $f_y = 500 \text{ Mpa}$

Kondisi leleh : $\phi = 0,9$

$$\phi T_n = \phi \times A_g \times f_y$$

$$= 0,9 \times 49600 \times 290$$

$$= 22320000 \text{ N}$$

Kondisi fraktur: $\phi = 0,75$

$$\phi T_n = \phi \times A_e \times f_u$$

$$= 0,9 \times 44350 \times 500$$

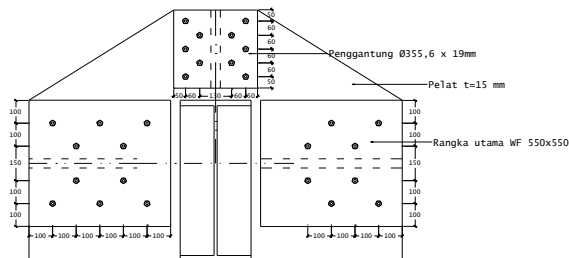
$= 9646125 \text{ N}$
Digunakan nilai $\phi T_n = 9646125 \text{ N} = 9646,13 \text{ kN}$

Ketebalan plat penyambung yang digunakan

$$t \geq \frac{R_u/n}{\phi \times f_u \times L}$$

$$= \frac{1313,49 \cdot 10^3 / 10}{0,75 \times 290 \times 50}$$

$$= 12,08 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$



Gambar 4. Sambungan simpul B

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kompilasi analisis data perancangan dan perhitungan struktur dapat disimpulkan bahwa :

Dimensi gelagar memanjang I WF 700 × 300, gelagar melintang I WF 700 × 300, rangka busur B WF 550 x 550, kontruksi penggantung Ø355,6 X 19, ikatan angin atas Ø267,4 × 15,1 , ikatan angin bawah IWF 250 x 125.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada yayasan senyiu utomo yang telah memberikan ijin dan suport baik moril maupun material.

REFERENSI

- [1]. Anonimus, Pengertian jembatan. Diambil dari : <https://id.wikipedia.org/wiki/Jembatan> diakses tanggal 7 Februari 2017.
- [2]. Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan. (2017). *Balikpapan Dalam Angka 2015*. Februari 20, 2017. <https://balikpapankota.bps.go.id/>
- [3]. Badan Standarisasi Nasional. (1989). *SK SNI M 18-1989-F Standar Metode Perhitungan Debit Banjir*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [4]. Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 07-2025-2002 Baja Tulangan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [5]. Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [6]. Badan Standarisasi Nasional. (2004). *RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

$1313,49 \text{ kN} \leq 9646,13 \text{ kN}$
(terpenuhi)

- [7]. Badan Standarisasi Nasional. (2005). *RSNI T-02-2005 Pedoman Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [8]. Badan Standarisasi Nasional. (2005). *RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [9]. Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [10]. Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 3967-2008 Spesifikasi Bantalan Elastomer Tipe Polos dan Tipe Berlapis Untuk Perletakan Jembatan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [11]. Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- [12]. Bowles, J.E (1996) : *Foundation Analysis and Design*. McGraw Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japan.
- [13]. Broms, B. B (1964) : *The Lateral Resistance of Piles in cohesionless Soils*. Journal of the Soil Mechanics, ASCE, Vol.90, No.SM2, pp.123-156
- [14]. Departemen Pekerjaan Umum. (1992). *Bridge Management System volume 1*. Jakarta.
- [15]. Departemen Pekerjaan Umum. (1992). *Bridge Management System volume 2*. Jakarta. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *Pd T-04-2004-B Perencanaan Beban Gempa Untuk Jembatan*. Jakarta
- [16]. Hardiyatmo, H.C. (2010) : *Analisis dan Perancangan I (3rd ed)*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- [17]. Hardiyatmo, H.C. (2015) : *Analisis dan Perancangan II (3rd ed)*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- [18]. Hool, G.A., & Kinne, W.S. (1943) : *Moveable and Long-Span Steel Bridges (2nd ed)*. New York & London : McGraw-Hill Book Company, Inc.
- [19]. Karyoto, A. (2017) : *Analisis Perencanaan Struktur Atas Jembatan Pelengkung Baja* : Jurnal Fakultas Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya.
- [20]. Lacey, G. (1930) : *Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations*. ASCE Journal of Geotechnical Eng. Div. Vol. 102, No. GT3, pp. 197-228.
- [21]. Mayerhoff, G.G. (1956) : *Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils*. JSMFD, ASCE, Vol.82 SM 1. Pp. 1-19.
- [22]. Poulos, H.G. & Davis, E.H. (1980) : *Pile Foundation Analysis and Design*. New York : John Wiley and Sons.
- [23]. Septiawan, H.G. & Irawan, D. (2013) : *Desain Jembatan Baru Pengganti Jembatan Kutai*

- Kartanegara Dengan Sistem Busur* : Jurnal Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [24]. Setiawan, A. (2008) : *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD sesuai SNI 03-1729-2002*. Jakarta
- [25]. Terzaghi, K. (1943) : *Theoretical Soil Mechanics*. New York : John Wiley and Sons.
- [26]. U.S. Army Corp of Engineers (1992) : *Engineering and Design Bearing Capacity of Soils*. Engineers Manual No. 1110-1-1905, Washington DC., 20314-1000