

Modifikasi Jembatan Sembayat Baru II Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja

Rio Prasmoro, Hidayat Soegihardjo Masiran, dan Endah Wahyuni

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arif Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: hidayat@ce.its.ac.id, endah@ce.its.ac.id

Abstrak—Perencanaan struktur jembatan perlu mempertimbangkan desain yang tepat agar material yang digunakan menjadi efektif. Jembatan Sembayat Baru II di Kabupaten Gresik yang didesain menggunakan jembatan busur beton dengan bentang 93 m dimana terdapat pilar pada badan sungai, menjadi tidak efektif karena dapat mengurangi effective linear waterway sungai tersebut. Pertimbangan jembatan bentang panjang yang berupa busur merupakan keputusan yang tepat, hanya saja bentang yang didesain masih kurang maksimal. Dalam perencanaan ini, jembatan Sembayat Baru II didesain dengan tetap menggunakan jembatan busur namun material beton dirubah menjadi material baja, dimana dengan penggunaan material baja, bentang jembatan dapat lebih maksimal. Sehingga dari desain awal yang terdapat 5 bentang jembatan prategang dan 1 bentang jembatan busur, dirubah menjadi 4 bentang jembatan prategang dan 1 jembatan busur tipe a half through arch dengan bentang 144 m.

Dasar perencanaan jembatan mengacu pada peraturan BMS 1992 dan SNI 1729-2015. Analisis perhitungan struktur utama dan sekunder menggunakan bantuan software MIDAS Civil 2011. Dari hasil perencanaan, didapat profil struktur busur utama yaitu menggunakan profil Box 800x500x38x38 dan batang tarik menggunakan profil Box 800x600x45x45. Perhitungan accidental load yang berupa 1 batang penggantung putus menghasilkan kesimpulan bahwa jembatan masih mampu menahan beban layan selama masa perbaikan. Metode pelaksanaan yang ditinjau menggunakan sistem Full Cantilever.

Kata Kunci—accidental load, half through arch, jembatan busur, metode pelaksanaan

I. PENDAHULUAN

KONDISI saat ini di jembatan Sembayat, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur sedang dilakukan pembangunan jembatan sembayat II yang merupakan infrastruktur tambahan guna mengakomodasi pertumbuhan kendaraan yang semakin hari semakin padat di jalur alternatif pantura tersebut. Pembangunan jembatan sembayat II menggunakan konstruksi gabungan antara jembatan gelagar beton sepanjang 354 m dan jembatan busur beton dibentang terpanjangnya yaitu 93 m.

Pertimbangan menggunakan jembatan busur memang tepat, namun bentang maksimum yang dapat dijangkau oleh jembatan pelengkung dengan material beton tidaklah sejauh jembatan pelengkung dengan material baja, baik rangka ataupun *plate girder*. Jembatan pelengkung dari beton memiliki bentang maksimum 420 m, sedangkan jembatan pelengkung dari baja memiliki bentang maksimum 550 m.

Untuk itu, penelitian ini dibuat untuk me-modifikasi struktur jembatan sembayat Baru II yang mulanya menggunakan jembatan busur dari beton, dirubah menjadi jembatan busur dengan rangka baja.

- A. Rumusan Masalah
 - Permasalahan Utama
 - Bagaimana merencanakan jembatan busur yang ekonomis dan efisien?
- B. Tujuan Penelitian
 - Tujuan Utama
 - Dapat merencanakan jembatan busur yang ekonomis dan efisien
- C. Batasan Masalah
 1. Perencanaan jembatan ini hanya meninjau struktur saja (tidak menghitung analisis biaya dan manajemen konstruksi).
 2. Tidak merencanakan perkerasan jalan di jembatan
 3. Tidak merencanakan substruktur jembatan.
 4. Perumusan yang digunakan sesuai dengan literatur yang ada.
 5. Hanya meninjau 1 cara metode pelaksanaan.
 6. *Accidental load* yang ditinjau hanya 1 kabel penggantung yang terputus.
- D. Manfaat Penelitian
 1. Sebagai referensi dalam mendesain jembatan dengan menggunakan sistem jembatan busur.
 2. Sebagai bahan pertimbangan dalam mendesain jembatan bagi instansi terkait.

II. STUDI PUSTAKA

A. Umum

Jembatan busur banyak dipergunakan sebagai jembatan bentang panjang karena bentuk busur pada struktur pemikul utama mampu mengurangi nilai momen lapangan yang terjadi akibat beban luar. Sehingga dengan bentang yang sama, dimensi jembatan busur dapat lebih kecil daripada jembatan girder [1].

- Tinggi dari batang lengkung/tinggi busur (*focus*), dapat direncanakan sebesar:

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad (1)$$

- Perbandingan lebar jembatan dan panjang bentang, direncanakan:

$$\frac{b}{L} \geq \frac{1}{20} \tag{2}$$

- Perbandingan antara tinggi tampang busur dan panjang bentang busur, direncanakan:

$$\frac{1}{80} \leq \frac{t}{L} \leq \frac{1}{70} \tag{3}$$

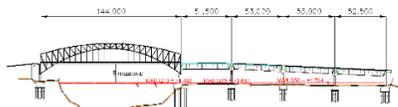
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahap Pengumpulan Data

Data Sungai:

- Lebar sungai: 133 m
- Elevasi dasar sungai: -15 m
- Elevasi M.A.T: +1.794
- Kondisi eksisting:
 - Bentang jembatan: 354 m
 - 93 meter jembatan busur beton
 - 261 meter jembatan beton pratekan
 - Lebar jembatan 12 m

B. Preliminary Design



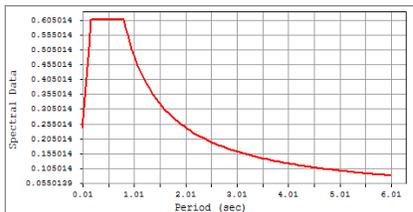
Gambar 1 Modifikasi Jembatan Sembayat Baru II

Bentang jembatan busur dirubah menjadi 144 m, menggunakan material baja.

C. Pembebanan Jembatan

Pembebanan jembatan disesuaikan dengan SNI 1725-2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan.

- Beban mati = 350,4 kN
- Beban hidup = 192,5 kN/m
- Beban angin berdasarkan ketinggian titik buhul.
- Beban angin kendaraan = 2,628 kN.m
- Beban temperatur = min = 15°C
max = 40°C
- Beban gempa (Respon spektrum)
 - $T_0 = 0,161$ detik
 - $T_s = 0,804$ detik



Gambar 2. Respon Spektrum Kota Gresik

- Base Shear total jembatan

$$V_{statik} = \frac{C_{sm}}{R} Wt$$

Base Shear arah X

$$V_{statik} (X) = \frac{C_{sm}}{R} Wt = 2.744,61 \text{ kN}$$

$$0,85 V_{statik} = 0,85 \times 2.744,61 \text{ kN} = 2.332,92 \text{ kN}$$

Base Shear arah Y

$$V_{statik} = \frac{C_{sm}}{R} Wt = 1.829,74 \text{ kN}$$

$$0,85 V_{statik} = 0,85 \times 1.829,74 \text{ kN} = 1.555,28 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} (X) = 7.773,96 \text{ kN}$$

$$V_{dinamik} (Y) = 7.697,83 \text{ kN}$$

Nilai R pada gempa arah x lebih besar karena tidak diperbolehkan adanya leleh pada elemen jembatan, namun pada arah y diperbolehkan yaitu pada bagian portal akhir. Kombinasi pembebanan [2], disesuaikan dengan beban yang bekerja pada jembatan.

Tabel 1
Kombinasi Pembebanan

Comb.	DL	LL	EW _s	EW _L	ET	EQ
1	1	2	-	-	0,5	-
2	1	-	1,4	-	0,5	-
3	1	-	0,4	1	0,5	-
4	1	0,5	-	-	-	1
5	1	1	0,3	1	1,2	-

D. Pemodelan Struktur

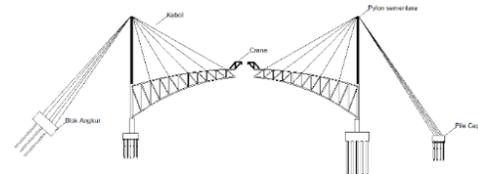
Pemodelan untuk jembatan ini menggunakan software Midas CIVIL 2011 secara 3 dimensi.

E. Kontrol Stabilitas

Kontrol stabilitas berdasarkan pada [3] tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.

F. Staging Analysis

Metode pelaksanaan menggunakan sistem *Full Cantilever*. (Xiang, Zhongfu. et al. 2013)

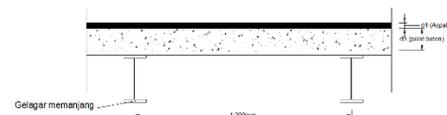


Gambar 3 Metode Pelaksanaan Segmental

Pelaksanaan jembatan dilaksanakan segmental dari portal akhir sampai lantai kendaraan terpasang pada jembatan.

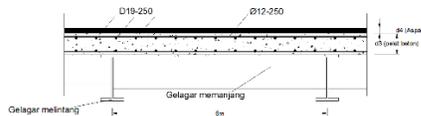
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Pelat Lantai



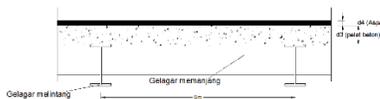
Gambar 4 Pelat Lantai Kendaraan

- Penulangan Pelat Lantai
 Tebal pelat = 200mm
 $f'c$ beton = 35 MPa
 f_y tulangan = 360 MPa
 Decking beton = 40 mm
 \emptyset tulangan = D19 mm (melintang)
 \emptyset tulangan = \emptyset 12 mm (memanjang)
 Tulangan melintang D19-250
 → As pakai = 1.031 mm²
 Tulangan memanjang \emptyset 12-250
 → As pakai = 452 mm²



Gambar 5 Penulangan Pelat Lantai

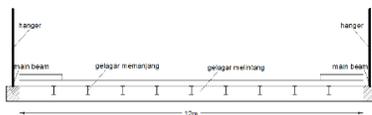
B. Gelagar Memanjang



Gambar 6 Gelagar Melintang

Data gelagar:
 WF 500 x 200 x 10 x 16
 $M_u < \emptyset M_n$
 488,38 kN.m < 610,65 kN.m → OK
 Lentutan
 Δ ijin = $\lambda/800 = 600/800 = 0,75$ cm
 Lentutan akibat truk = 0,65 cm
 Δ terjadi < Δ ijin → OK

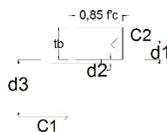
C. Gelagar Melintang



Gambar 7 Gelagar Memanjang

Data gelagar:
 WF 800 x 300 x 14 x 22

- Penampang komposit



Gambar 8 Diagram Komposit

$M_u < \emptyset M_n$
 3.477,42 kN.m < 3976,07 kN.m → OK

- Kontrol lendutan
 Δ ijin = $\lambda/800 = 1200/800 = 1,5$ cm
 Δ terjadi = 1,03 cm
 Δ terjadi < Δ ijin → OK

D. Rangka Utama

Data profil:
 Box 800x500x38x38

- Kontrol batang tekan
 $\emptyset N_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g = 33.304,44$ kN
 $N_u = 14.236,4$ kN
 $N_u < \emptyset N_n \rightarrow OK$
- Kontrol flexural buckling

$$\frac{h}{tw} < 1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 19,05 < 25,34$$

Penampang kompak → $M_n = M_p$
 $\emptyset M_n = 0,9 \times Z_x \times f_y = 9.017,37$ kN.m
 $M_u = 1.695,47$ kN.m
 $M_u < \emptyset M_n \rightarrow OK$

- Kontrol torsional buckling
 $\emptyset T_n = 0,9 \times F_{cr} \times C = 5.876,7$ kN.m
 $T_u = 237,27$ kN.m
 $T_u < \emptyset T_n \rightarrow OK$
- Kontrol geser
 $\emptyset V_n = 0,9 \times F_{cr} \times A_g/2 = 12.182,31$ kN.m
 $V_u = 340,09$ kN.m
 $V_u < \emptyset V_n \rightarrow OK$
- Kontrol interaksi gaya torsi, geser, lentur, dan aksial

Cek: $\frac{T_u}{\phi T_n} = 0,04 < 0,2$

Maka gaya torsi diabaikan

Cek: $\frac{N_u}{\phi N_n} = 0,42 > 0,2$

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

0,64 < 1 → OK

Dengan kontrol yang sama, didapat rasio elemen pada batang jembatan yang lain yaitu:

Tabel 2.
 Rasio Elemen Jembatan

Elemen	Rasio
Busur atas	0,64
Busur bawah	0,81
Diagonal*	0,84
Vertikal*	0,86
Main Girder	0,88

Untuk elemen diagonal dan vertikal, kontrol batang hanya berupa kontrol tekan dan tarik saja.

E. Perencanaan Batang Penggantung



Gambar 9 Batang Penggantung

Digunakan batang penggantung fabrikasi dari Macalloy jenis Macalloy 520 (M72), Carbon steel.

Data hanger:
 \emptyset batang = 72 mm
 W kabel = 32 kg/m

Minimum Break Load = 2.635 kN

Kontrol kekuatan hanger

$$P_u = 1.252,95 \text{ kN}$$

$P_u < \text{Minimum Break Load} \rightarrow \text{OK}$

- Sambungan hanger

Data pin:

$$\varnothing \text{ pin} = 78,5 \text{ mm}$$

- F. Sambungan busur atas

Data sambungan:

$$\varnothing \text{ baut} = 32 \text{ mm (ASTM A325)}$$

$$\text{Pelat} = 19 \text{ mm}$$

- Beban yang bekerja arah x (Rx)

$$P = 14.236,4 \text{ kN}$$

$$\frac{M_y}{H} = \frac{1.695,47 \text{ kN.m}}{0,8 \text{ m}} = 2.119,33 \text{ kN}$$

$$\frac{M_z}{B} = \frac{444,06 \text{ kN.m}}{0,5 \text{ m}} = 888,12 \text{ kN}$$

$$\text{Total Rx} = 17.243,85 \text{ kN}$$

Rx1 pada sayap=

$$\left(\frac{B}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} \text{ Rx} = 3.316,12 \text{ kN}$$

Rx2 pada badan=

$$\left(\frac{H}{B+H} \right) \times \frac{1}{2} \text{ Rx} = 5.305,8 \text{ kN}$$

- Beban yang bekerja arah y (Ry)

$$V_y = 82,58 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{B}{B+H} \right) \times T}{H} = 114,07 \text{ kN}$$

$$\text{Total Ry} = 196,65 \text{ kN}$$

- Beban yang bekerja arah z (Rz)

$$V_z = 340,09 \text{ kN}$$

$$\frac{\left(\frac{H}{B+H} \right) \times T}{B} = 292,02 \text{ kN}$$

$$\text{Total Rz} = 632,11 \text{ kN}$$

Resultan gaya pada sayap:

$$R_1 = \sqrt{R_{x1}^2 + R_y^2} = 3.321,94 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada sayap} = \frac{R_1}{V_d}$$

$$n = \frac{3.321,94 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 11,9 \approx 12 \text{ baut}$$

Resultan gaya pada badan

$$R_2 = \sqrt{R_{x2}^2 + R_z^2} = 5.343,32 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut (n) pada badan} = \frac{R_2}{V_d}$$

$$n = \frac{5.343,32 \text{ kN}}{279,11 \text{ kN}} = 19,14 \approx 20 \text{ baut}$$

G. Kontrol Accidental Load

Kontrol accidental load merupakan kontrol jembatan dimana terdapat kondisi 1 hanger putus, kontrol ini diperlukan agar jembatan masih mampu menahan beban layan selama proses maintenance dilakukan.

Dari hasil analisis, didapat rasio kontrol interaksi gaya untuk masing-masing elemen yaitu sebagai berikut:

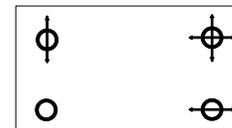
Tabel 3
Rasio Elemen Akibat Accidental Load

Elemen	Rasio	Kontrol < 1
Busur atas	0,96	OK
Busur bawah	0,9	OK
Diagonal	0,8	OK
Vertikal	0,98	OK
Main girder	0,94	OK

Dari tabel diatas, didapat rasio mendekati 1, yang artinya elemen busur hampir mencapai tegangan maksimum. Untuk itu diperlukan perbaikan segera.

H. Design Perletakan

Perletakan yang digunakan dalam perencanaan ini yaitu tipe pot bearing fabrikasi Technoslides, dengan asumsi sebagai berikut:



Gambar 10 Perletakan Jembatan

Dimana terdapat 3 jenis perletakan tipe pot bearing.

- = Jenis perletakan tipe fixed, dimana tidak ada pergerakan arah horisontal
- ⊖ = Jenis perletakan tipe unidirection, dimana dimungkinkan pergerakan arah horisontal pada 1 arah saja
- ⊕ = Jenis perletakan tipe multidirection, dimana dimungkinkan pergerakan arah horisontal pada semua arah.

- Perletakan fixed

Gaya yang bekerja pada perletakan:

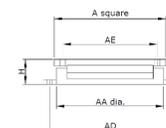
$$F_x = 886,81 \text{ kN}$$

$$F_y = 69,23 \text{ kN}$$

$$F_z = 9.849,37 \text{ kN}$$

$$\text{Resultan } F_x \text{ dan } F_y = 889,5 \text{ kN}$$

Digunakan perletakan tipe BTF 1000/20



Gambar 11 Perletakan Tipe Fixed

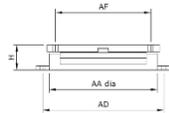
- Perletakan unidirection x

Gaya yang bekerja:

$$F_y = 30,49 \text{ kN}$$

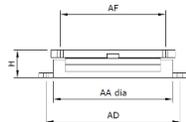
$$F_z = 9.689,08 \text{ kN}$$

Digunakan perletakan tipe BTU 1000/20/*



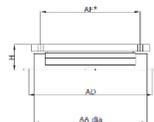
Gambar 12 Perletakan Tipe Unidirection

- Perletakan unidirection y
Gaya yang bekerja:
 $F_x = 870,65 \text{ kN}$
 $F_z = 9.859,9 \text{ kN}$
Digunakan perletakan tipe BTU 1000/20/*



Gambar 13 Perletakan Tipe Unidirection

- Perletakan multidirection
Gaya yang bekerja:
 $F_z = 9.716,25 \text{ kN}$
Digunakan perletakan tipe BTA 1000/20/*/*

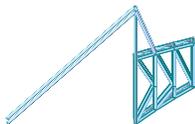


Gambar 14 Perletakan Tipe Multidirection

I. STAGING ANALYSIS

- Metode Pelaksanaan
Metode pelaksanaan yang digunakan yaitu sistem Full Cantilever, dimana digunakan pilar bantuan untuk tempat menggantung kabel selama menopang jembatan saat proses pelaksanaan.

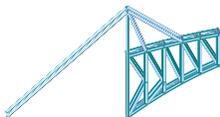
- Stage 1



Gambar 15 Stage 1

Segmen pertama dipasang bersamaan 3 segmen dimana kabel penggantung (1) diberi tension sebesar 350 kN dan kabel backstay diberi tension sebesar 400 kN.

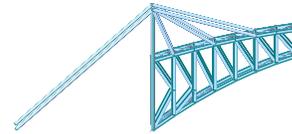
- Stage 2



Gambar 16 Stage 2

Segmen berikutnya dipasang 2 segmen dengan tambahan kabel penggantung (2) yang diberi tension sebesar 500 kN.

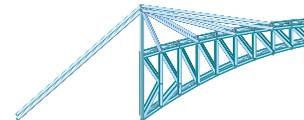
- Stage 3



Gambar 17 Stage 3

Segmen berikutnya dipasang kembali 2 segmen dengan kabel penggantung (3) yang diberi tension sebesar 500 kN, dan kabel backstay diberi tension hingga 550 kN.

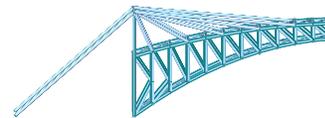
- Stage 4



Gambar 18 Stage 4

Segmen berikutnya dipasang 2 segmen dengan kabel penggantung (4) yang diberi tension 500 kN.

- Stage 5



Gambar 19 Stage 5

Segmen puncak busur dipasang dan diberi kabel penggantung (5) yang diberi tension 500 kN, dan kabel backstay diberi tension tambahan hingga 900 kN.

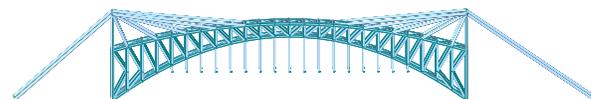
- Stage 6



Gambar 20 Stage 6

Segmen puncak (Closure) dipasang, pada tahap ini segmen kritis diperhitungkan dimana busur sudah terpasang namun masih belum mampu menahan gaya horizontal yang terjadi akibat berat sendiri.

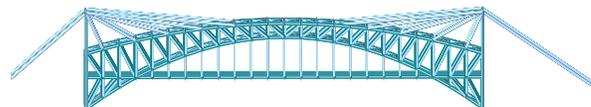
- Stage 7



Gambar 21 Stage 7

Pemasangan batang penggantung pada setiap titik buhul.

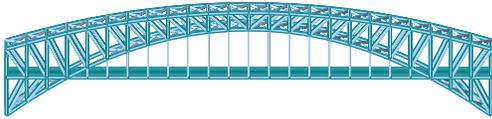
- Stage 8



Gambar 22 Stage 8

Pemasangan tie beam, gelagar melintang, gelagar memanjang dan pekerjaan lantai kendaraan serta aksesoris jembatan.

- Stage 9



Gambar 23 Stage 9

Penghilangan gaya kabel dan pembongkaran tower pembantu.

- Kontrol segmen kritis

Segmen kritis yang ditinjau yaitu pada saat stage 6, dimana struktur busur sudah tersambung. Perhitungan berdasarkan kombinasi 2 dimana beban angin pada struktur bekerja.

Dari hasil perhitungan kontrol interaksi gaya torsi, geser, lentur dan aksial, didapat:

$$\frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}} \right) < 1,0$$

$$0,96 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

1. Dimensi melintang jembatan yaitu 9 m lantai kendaraan dan 2x1,5m trotoar.
2. Lantai kendaraan memiliki ketebalan 20 cm dengan mutu $f'c$ 30 MPa dan perkerasan aspal 5 cm. Tulangan arah melintang pada pelat beton yaitu D19-250 dan arah memanjang \emptyset 12-250.
3. Profil gelagar memanjang: WF 500x200x10x16, gelagar melintang: WF 800x300x14x22, main girder: Box 800x600x45x45, busur atas dan bawah: Box 800x500x38x38, diagonal dan vertikal: WF 500x500x16x25, ikatan angin atas: \emptyset 16", ikatan angin bawah: \emptyset 24" dan Box 500x300x16x25, ikatan silang: \emptyset 14", balok portal akhir: \emptyset 10", dan kolom portal akhir: Box 800x500x38x38.
4. Hanger menggunakan fabrikasi dari Macalloy dengan tipe Macalloy 520 (M72) dengan diameter 72 mm.
5. Perletakan menggunakan pot bearing dengan tipe:
 - Tipe fixed = BTF 1000/20
 - Tipe unilateral x = BTU 1000/20/*
 - Tipe unilateral y = BTU 1600/20/*
 - Tipe multilateral = BTA 1000/20/*/*
6. Profil yang didapat, masih mampu menahan beban layan saat terjadi kondisi kegagalan hanger.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soegihardjo, Hidayat. **Diktat Kuliah Bentang Panjang**. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [2] SNI 1725-2016. **Pembebanan Untuk Jembatan**.
- [3] SNI 1729-2015. **Spesifikasi Baja Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural**.
- [4] Xiang, Zhongfu., Xu, Wei., Wang, Cunshu., and Dong, Ying., 2010. "The Construction Technology of Chongqing Chiaotianmen Bridge". **International Conference on Arch Bridge**.