

## Modifikasi Desain dan Metode Pelaksanaan Duplikasi Jembatan Sembayat Kabupaten Gresik pada STA 0+350 – STA 0+530 dengan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja

R. B. A. Affandhie<sup>1,\*</sup>, Chomaedhi<sup>1</sup>, E. Hardiyanto<sup>1</sup>

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, ITS, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [rba.affandhie@gmail.com](mailto:rba.affandhie@gmail.com)

Info Artikel	Abstract
<p>Diajukan 31 Agustus 2017 Diperbaiki 04 Desember 2017 Disetujui 28 Pebruari 2018</p> <p><i>Keywords:</i> arch bridge, steel trussed, Sembayat bridge, balanced cantilever.</p>	<p><i>To increase the capacity of Sembayat bridge, it is planned to build duplication of Sembayat bridge with 353,445 meters span length by using steel trussed bridge structure. The existing structure system of Sembayat bridge duplication is not suitable for long span bridges, because the addition of the substructure construction. In this paper will be submitted the modified of Sembayat bridge duplication design, the bridge span is planned 180 m length with 15 m width. The structure system is arc with a half-through type. The steel trussed arch has ability to sustain structures and notably has better aesthetic than another type. In this design, the calculated based on SNI 1725: 2016, RSNI T-03-2005, RSNI T-12-2004, RSNI 2833-2016 and AISC 2010. From the analysis, the main profile of lower chords was designed using steel box 1100.900.50 and 900.700.50 for upper chords. Balanced cantilever was planned as the construction method of Sembayat bridge.</i></p> <p><b>Abstrak</b> Untuk meningkatkan kapasitas Jembatan Sembayat, direncanakan pembangunan duplikasi Jembatan Sembayat dengan panjang bentang 353,445 meter menggunakan struktur jembatan rangka baja. Sistem struktur pada duplikasi Jembatan Sembayat tersebut tidak sesuai untuk jembatan tipe bentang panjang, karena berpengaruh pada penambahan konstruksi pilar jembatan. Pada tulisan ini disampaikan modifikasi perencanaan duplikasi Jembatan Sembayat, bentang jembatan direncanakan memiliki panjang total 180 m dengan lebar 15 m. Sistem struktur yang digunakan adalah sistem busur dengan rangka batang tipe <i>half-through</i>. Struktur busur rangka memiliki kemampuan untuk menopang struktur dengan bentang yang panjang dan memiliki nilai estetika lebih baik. Perencanaan struktur bangunan atas dan bawah jembatan dihitung berdasarkan peraturan jembatan yang berlaku, antara lain SNI 1725:2016, RSNI T-03-2005, RSNI T-12-2004, RSNI 2833-2016 dan AISC 2010. Dari hasil analisa didapat profil utama busur bawah menggunakan profil box 1100.900.50 dan busur atas menggunakan profil 900.700.50. Metode pelaksanaan pembangunan duplikasi Jembatan Sembayat direncanakan menggunakan Metode <i>Balanced Cantilever</i>.</p>

### 1. Pendahuluan

Kondisi Jembatan Sembayat di Kabupaten Gresik yang melintasi Sungai Bengawan Solo dan merupakan jalur vital pantura dengan bentang jembatan total 353,445 meter sudah saatnya untuk ditingkatkan dari segi kapasitas yang ada. Peningkatan kapasitas Jembatan Sembayat yang direncanakan berupa pembangunan jembatan baru di sisi timur jembatan yang sudah ada. Perencanaan duplikasi Jembatan Sembayat yang sudah ada terdiri dari 6 bentang jembatan rangka baja sebagai struktur bangunan atas dengan bentang terpanjang 80 meter yang ditunjang oleh struktur bangunan bawah yang terdiri dari 5 pilar dan 2 *abutment* didukung dengan pondasi tiang pancang. Untuk mendapatkan desain jembatan yang lebih efisien dan lebih

menarik dari segi estetikanya, penulis melakukan modifikasi desain duplikasi Jembatan Sembayat dengan tipe jembatan busur (*half-trough arch bridge*).

Kondisi topografi lokasi pembangunan jembatan merupakan bantaran sungai yang memiliki lereng cukup curam dengan dasar sungai berada di elevasi -13 m dan tinggi bebas -8 m dari permukaan jalan. Penggunaan jembatan tipe rangka baja sebagaimana pada jembatan eksisting dengan bentang panjang dinilai tidak sesuai karena harus menggunakan konstruksi pilar di tengah alur sungai. Berdasarkan kondisi Jembatan Sembayat eksisting tersebut, maka pada perencanaan duplikasi Jembatan Sembayat ini dilakukan modifikasi desain jembatan dengan menggunakan tipe *half-trough arch bridge*, karena pada tipe ini memiliki

beberapa kelebihan antara lain bentuk struktur yang ada dapat melawan momen lentur yang terjadi, bentuknya mempunyai nilai estetika yang cukup tinggi serta dapat mengurangi jumlah pilar yang ada di tengah alur sungai. Dilihat dari kondisi topografi Jembatan Sembayat eksisting, idealnya jembatan yang ada menggunakan jembatan busur dengan sistem rangka batang.

Perencanaan duplikasi Jembatan Sembayat ini menggunakan rangka busur baja dengan 1 bentang yang terdiri dari 4 lajur dan 2 arah (4/2 UD) pada STA 0+350 – STA 0+530. Lebar pada tiap lajurnya direncanakan 3.00 m ditambah dengan lebar trotoar di kanan dan kiri masing-masing 1,50 m, sehingga total lebar jembatan selebar 15 meter dengan panjang bentang 180 meter.

Dalam penulisan ini akan disampaikan perhitungan struktur bangunan atas jembatan busur (*half trough arch bridge*) rangka baja, dimana pada struktur baja jembatan ini digunakan penampang rangka yang memiliki nilai lebih pada kemampuan lentur dan kemudahan pelaksanaannya. Untuk struktur bangunan bawah menggunakan struktur beton dengan pondasi tiang pancang. Pembuatan struktur rangka baja bisa dilakukan terlebih dahulu melalui proses pabrikasi yang selanjutnya dipasang (*erection*) di lapangan dengan menggunakan metode *balanced cantilever*.

Mengingat permasalahan yang cukup luas, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Perencanaan struktur jembatan busur hanya dilakukan pada STA 0+350 – STA 0+530 sepanjang 180 meter.
2. Analisa struktur jembatan menggunakan metode Perencanaan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT) atau *Load and Resistance Factor Design* (LRFD)
3. Melakukan analisa plat lantai kendaraan, sistem rangka baja, sambungan yang dianggap mewakili secara keseluruhan, perletakan, pilar, *abutment* dan pondasi tiang pancang.
4. Perhitungan gaya dalam dan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan *software*.
5. Metode pelaksanaan jembatan hanya disampaikan secara umum tanpa membahas detail setiap segmennya

## 2. Metode

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang saluran air, lembah, atau menyalang jalan lainnya yang tidak sama tinggi permukaannya dan lalu-lintas jalan itu tidak terputus karenanya[1].

Jembatan sistem rangka adalah sistem struktur jembatan tersusun dari batang-batang profil yang dihubungkan satu sama lain. Batang-batang tersebut disusun sedemikian rupa sehingga akan terjadi gaya aksial tekan ataupun tarik[2].

Pada tahapan awal perencanaan jembatan dilakukan studi literatur. Tahapan kedua adalah pengumpulan data sekunder yang didapat dari Pemilik Pekerjaan, Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Kabupaten Gresik sebagai berikut:

- Nama : Jembatan Sembayat
- Lokasi : Kabupaten Gresik
- Panjang : 353,445 meter
- Lebar : 15 meter

Perencanaan struktur bangunan atas dimulai dengan perencanaan plat lantai jembatan sebagai struktur komposit dengan gelagar melintang serta perencanaan struktur utama busur yang menggunakan tipe *half trough arch* (gambar 1).



**Gambar 1.** Jembatan tipe half trough arch

Sumber: Soemargo [3]

Perencanaan struktur bangunan bawah yang disampaikan terdiri 1 struktur *abutment* dan 1 struktur pilar yang dianggap paling kritis yang ditunjang oleh pondasi tiang pancang. Standar acuan yang dipakai pada perencanaan bangunan atas adalah RSNI T-03-2005 [4], RSNI T-12-2004 [5], SNI 1725:2016 [6] yang digunakan dalam perhitungan tegangan-tegangan dalam konstruksi adalah beban primer, beban sekunder dan beban khusus.

### 1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari dua jenis beban, yaitu:

#### a. Berat Sendiri (*Self Weight Dead*)

Berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

#### b. Beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*)

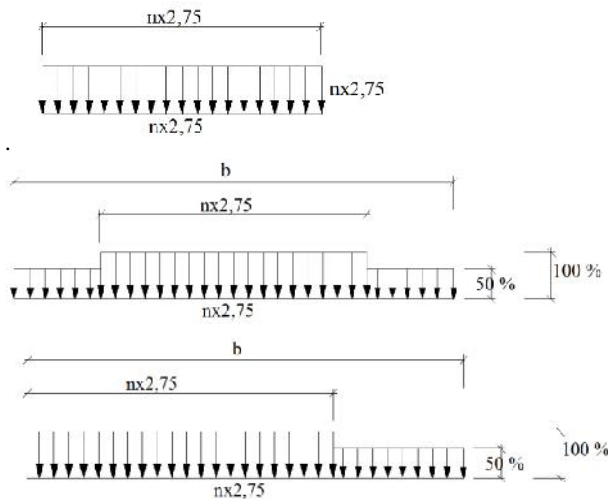
Beban Mati Tambahan adalah berat seluruh bahan, yang merupakan elemen non struktural serta merupakan beban pada jembatan berupa beban aspal dan beban air hujan.

### 2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup dalam hal ini adalah beban lalu lintas. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban "D" dan beban truk "T".

#### a. Beban lajur "D"

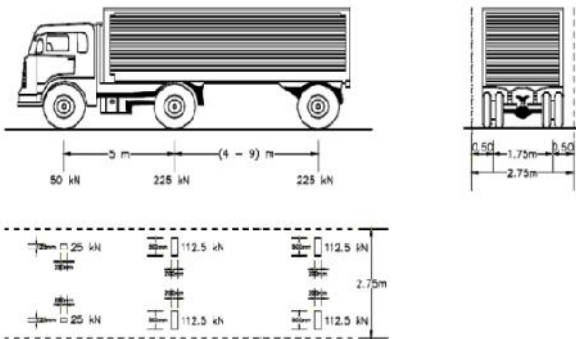
Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi rata *Uniformly Distributed Load* (UDL) yang digabung dengan beban garis *Knife Edge Load* (KEL) seperti pada gambar 2 [6].



**Gambar 2.** Beban Lajur “D”  
 Sumber: SNI 1725:2016 [6]

b. Pembebanan Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti yang terlihat pada gambar 3 [6].



**Gambar 3.** Beban Truk “T”  
 Sumber: SNI 1725:2016 [6]

3. Beban Kejut

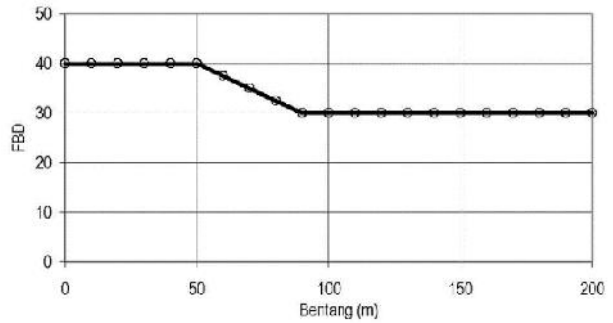
Faktor Beban Dinamis merupakan interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen LE diberikan pada rumus 1.[6]

$$L_E = \overline{L_{Ev} L_{max}} \quad (1)$$

dengan:

$L_{ev}$  = panjang bentang rata-rata

$L_{max}$  = panjang bentang maksimum



**Gambar 4.** Grafik Faktor Beban Dinamis untuk KEL pada Beban Lajur D  
 Sumber: SNI 1725:2016 [6]

4. Beban Angin

Gaya angin nominal ultimit pada jembatan tergantung pada kecepatan angin rencana dengan perumusan 2 dan 3. [6]

$$T_{ew} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ (kN)} \quad (2)$$

dengan :

$V_w$  = kecepatan angin rencana (m/det)

$C_w$  = koefisien seret

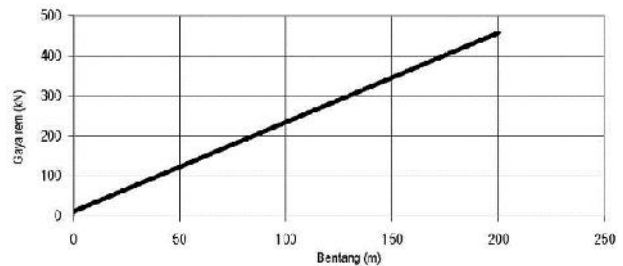
$A_b$  = luas ekuivalen bagian samping jembatan (m<sup>2</sup>)

$$T_{ew} = 0,0012 C_w (V_w)^2 \text{ (kN)} \quad (3)$$

dimana  $C_w = 1,2$ .

5. Gaya Rem

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan (gambar 5). [6]



**Gambar 5.** Grafik Gaya Rem  
 Sumber: SNI 1725:2016 [6]

Pembebanan Bangunan Bawah:

1. Beban Akibat Kombinasi Pembebanan

Beban total keseluruhan struktur bangunan atas yang diterima oleh perletakan pada pilar dan *abutment*, didapatkan dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan pembebanan untuk jembatan [6].

2. Beban Gempa Horizontal Statis

Perhitungan beban gempa bangunan bawah Jembatan Sembayat ini diperoleh dari rumus 4 [7].

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times Wt \tag{4}$$

dengan:

$EQ$  = Gaya Gempa Horizontal Statis (kN)

$CSM$  = Koefisien Respon Gempa Elastis

$R_d$  = Faktor Modifikasi Respon

$Wt$  = Berat Total Struktur

3. Beban Tekanan Tanah Aktif

Gaya yang diakibatkan oleh tekanan tanah dapat menimbulkan geser dan momen pada struktur bangunan bawah. Pada perencanaan ini, beban tekanan tanah aktif hanya diterima Nilai dari koefisien tanah dapat dicari menggunakan rumus 5.

$$Ka = \tan^2 45 - \frac{w}{2} \tag{5}$$

dengan:

$Ka$  = Tekanan Tanah Aktif

$w$  = Sudut Geser Tanah

Pada perencanaan Jembatan Sembayat ini digunakan pondasi dalam. Pondasi dalam sering juga dinamakan pondasi tak langsung, karena beban-beban yang terjadi akan diteruskan ke lapisan tanah yang mampu memikulnya. Letak dari lapisan tanah tersebut umumnya relatif dalam dari permukaan tanah setempat, sehingga beban yang terjadi terlebih dahulu harus disalurkan melewati suatu konstruksi penerus yang disebut pondasi tiang pancang.

3. Hasil dan Pembahasan

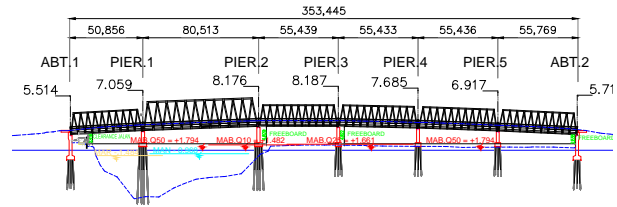
Preliminary Design

Perencanaan modifikasi duplikasi Jembatan Sembayat menggunakan konstruksi busur rangka baja dengan kedudukan lantai di tengah. Konstruksi jembatan juga menggunakan batang tarik yang berfungsi menahan beban lateral.

Data umum perencanaan modifikasi desain duplikasi jembatan Sembayat adalah sebagai berikut:

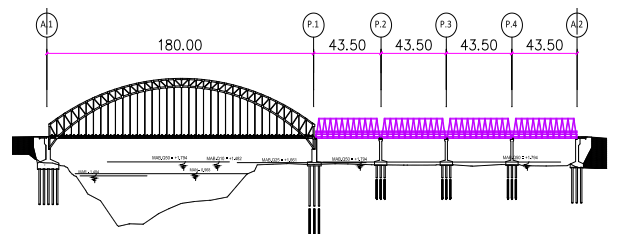
- Panjang jembatan : 180 meter
- Tinggi fokus busur : 35 meter
- Lebar lantai kendaraan ( ) : 12 meter (2 arah)
- Lebar trotoar : 1,5 meter
- Tebal aspal (d2) : 4 cm
- Tebal plat lantai kendaraan (d1) : 25 cm
- Jarak gelagar melintang (b1) : 200 cm

Perbedaan potongan memanjang desain awal [8] dengan potongan memanjang rencana modifikasi desain ditunjukkan pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Potongan Memanjang Desain Awal

Sumber: Prasmoro [8]



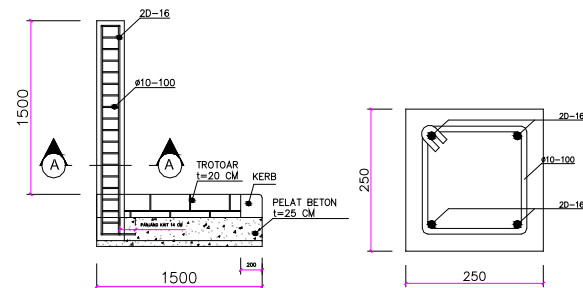
Gambar 7. Potongan Memanjang Rencana Modifikasi Desain

Sumber: Hasil Analisa

Perencanaan Struktur Sekunder

1. Tiang Sandaran dan Trotoar

Direncanakan tiang sandaran dengan dimensi 250×250×1500 mm, dengan dimensi pipa Ø76,3 mm (3 inchi) (gambar 8). Tulangan sandaran digunakan 2-D16 untuk tulangan lentur, dan Ø10 – 100 untuk tulangan geser.



Gambar 8. Detail Tiang Sandaran

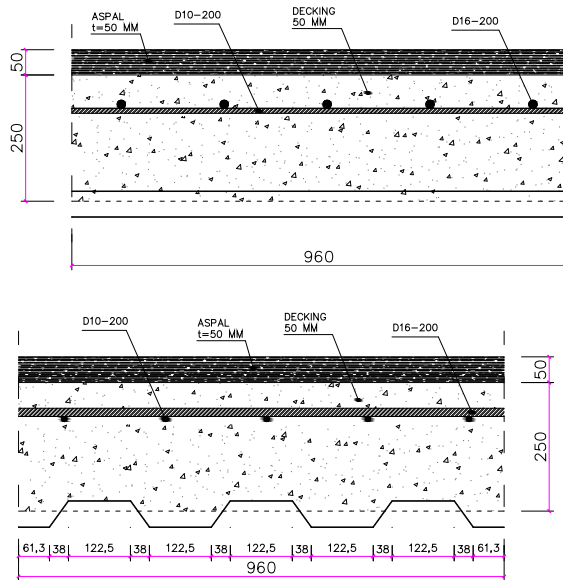
Sumber: Hasil Analisa

2. Plat Lantai Jembatan

Plat lantai jembatan merupakan struktur komposit antara beton bertulang dengan compodeck dengan perhitungan mengacu pada RSNI T-12-2004 [3]. Detail hasil perencanaan plat lantai kendaraan sebagai berikut (gambar 9):

- Tebal pelat = 250 mm
- Tinggi compodeck = 51 mm

Penulangan utama = D16 – 200  
 Penulangan sekunder = D10 – 200



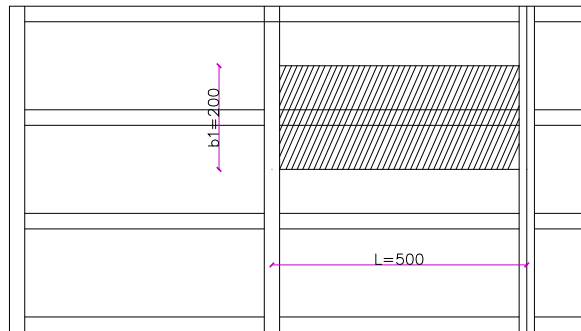
**Gambar 9.** Detail Plat Lantai Kendaraan  
 Sumber: Hasil Analisa

**Perencanaan Gelagar (Girder)**

Pada perencanaan gelagar menggunakan profil baja WF dengan mutu baja BJ 55, dengan  $f_y = 410$  MPa dan  $f_u = 550$  MPa.

1. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang diasumsikan sebagai *simple beam* dan menggunakan profil WF 488.300.18.11. Distribusi pembebanan pada gelagar memanjang bisa dilihat pada gambar 10 dan tabel 1.



**Gambar 10.** Distribusi Pembebanan Pada Gelagar Memanjang  
 Sumber: Hasil Analisa

**Tabel 1.** Pembebanan Pada Gelagar Memanjang

Jenis Beban	Beban Ultimite (N/m)
<b>Berat Sendiri (MS)</b>	
Beban Plat Lantai	14800.50
Berat Sendiri Profil	1411.85
Beban Compedeck	16.68
<b>Berat Tambahan (MA)</b>	
Beban Aspal	2860.00
Beban Hujan	1000.00
Beban Trotoar	8880.30
<b>Beban "T" (kN)</b>	
Beban Truk "T"	263.25
<b>Beban "D" (kN/m)</b>	
Beban BTR	21.00
Beban BGT	127.40

Dari perhitungan pembebanan diatas didapat nilai gaya dalam maksimum sebagai berikut:

- $M_u = 545,81$  kNm
- $V_u = 344,34$  kN

Berdasarkan analisa kuat nominal lentur, gelagar memanjang merupakan bentang menengah karena dengan  $L_p < L_b < L_r$ . Besarnya momen nominal yang terjadi dihitung seperti rumus 6.

$$M_n = C_b M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L_b)}{(L_r - L_p)} \quad (6)$$

$$M_n = 1,258 \cdot 989400 + (1,27 \cdot 10^9 - 989400) \frac{(6900,95 - 5000)}{(6900,95 - 2736,58)}$$

$$= 729,976 \text{ kNm}$$

Kontrol momen ultimate dengan momen nominal penampang dilakukan sebagai berikut:

$\phi M_{n\text{aktual}}$	$M_u$
$0,9 \times 729,976 \text{ kNm}$	545,81 kNm
656,978 kNm	545,81 kNm

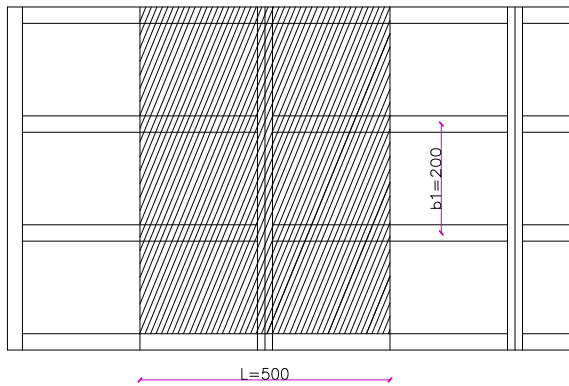
(Memenuhi)

Jadi, gelagar memanjang WF 488 300 18 11 bisa digunakan.

2. Gelagar Melintang

Gelagar melintang juga diasumsikan sebagai *simple beam* dengan menggunakan profil WF 900.300.28.16. Distribusi pembebanan pada gelagar melintang dilakukan sebagaimana pada gambar 11.





**Gambar 11.** Distribusi Pembebanan Pada Gelagar Melintang  
 Sumber: Hasil Analisa

Pada perencanaan pembebanan gelagar melintang dianalisa dalam dua kondisi, yaitu sebelum komposit dan setelah komposit. Pembebanan pada gelagar melintang disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Rekapitulasi Pembebanan Pada Gelagar Melintang

Jenis Beban	Beban Ultimate (N/m)
<b>Beban permanen sebelum komposit (MS)</b>	
Beban Plat Lantai	37001.25
Berat Sendiri Profil Melintang	2675.09
Beban Compodeck	41.69
Beban Bekisting	5460.00
<b>Beban permanen setelah komposit (MA)</b>	
Beban Aspal	7150.00
Beban Trotoar	29601.00
<b>Beban Lalu Lintas</b>	
Beban Truk "T"	263250
Beban BTR (100%)	52500.00
Beban BGT (100%)	127400.00

Analisa kapasitas penampang direncanakan setelah komposit yaitu setelah dipasang *shear connector* dengan distribusi tekan dan tarik bisa dilihat pada gambar 12.

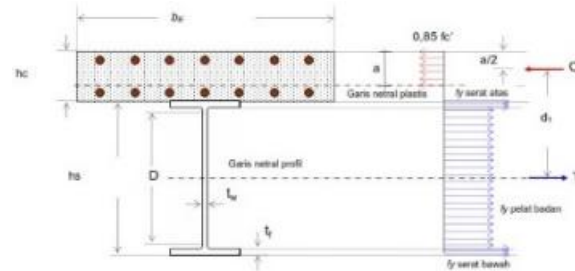
Hasil perhitungan diperoleh nilai kekutan tekan pada plat lantai kendaraan (C) = 7849842,857 N, kekuatan tarik pada gelagar (T) = 12701800 N dan garis netral plastis (a) = 175,192 mm. Nilai momen nominal komposit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 M_s &= T \times d_1 \\
 &= 7849842,857 \text{ N} \times 694 \text{ mm} \\
 &= 5447790,943 \text{ Nmm} \\
 &= 5447,791 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_1 &= h_s/2 + t_p - a/2 \\
 &= (900)/2 + 250 - (175,192)/2 \\
 &= 612,404 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

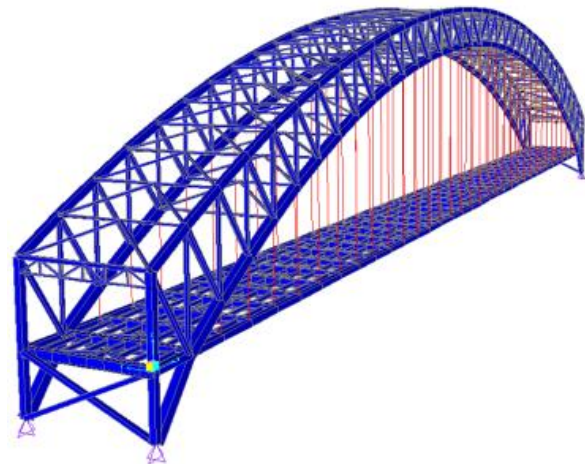
Kontrol:

$$\begin{aligned}
 \phi M_s & & \mu_u \\
 0,9 \times 5447,791 \text{ kNm} & & 4729,91 \text{ kNm} \\
 4903,012 \text{ kNm} & & 4729,91 \text{ kNm} \\
 & & \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$



**Gambar 12.** Diagram Tegangan Plastik  
 Sumber: Hasil Analisa

### 3. Perencanaan Komponen Busur



**Gambar 13.** Tampak Perspektif Jembatan Busur Rencana  
 Sumber: Hasil Analisa

Keseluruhan bagian pelengkung menerima tekan, kemudian gaya tekan ini ditransfer ke *abutment* dan ditahan oleh tegangan tanah dibawah pelengkung. Tanpa gaya tarik yang diterima oleh pelengkung memungkinkan jembatan pelengkung bisa dibuat lebih panjang dari jembatan balok dan bisa menggunakan material yang tidak mampu menerima tarik dengan baik seperti beton.

Perencanaan struktur utama menggunakan sistem busur rangka baja ditambah dengan menggunakan material *cabl*

sebagai batang tarik. Pada perencanaan awal dimensi busur menggunakan rumus parabola.

Direncanakan tinggi busur (f) = 35 m.

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

$$= 0,17 \leq \frac{35}{180} \leq 0,2$$

$$= 0,17 \leq 0,19 \leq 0,2$$

(Memenuhi)

Direncanakan tinggi busur (H) = 6 m.

$$H = \frac{1}{40} \leq \frac{H}{L} \leq \frac{1}{25}$$

$$= \frac{1}{40} \leq \frac{6}{180} \leq \frac{1}{25}$$

$$= 0,025 \leq \frac{6}{180} \leq 0,04$$

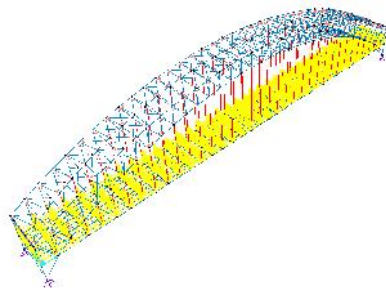
$$= 0,025 \leq 0,033 \leq 0,04$$

(Memenuhi)

**Permodelan Pembebanan**

Permodelan pembebanan dilakukan dengan bantuan *software* yang meliputi beban mati, beban lalu lintas dan beban aksi lingkungan sesuai dengan peraturan SNI 1725:2016.[6]

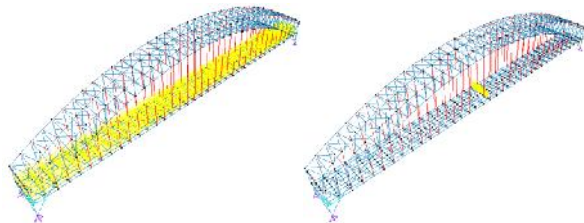
1. Beban mati



**Gambar 14.** Pembebanan Beban Mati

Sumber: Hasil Analisa

2. Beban Lalu Lintas



**Gambar 15.** Permodelan Beban Lalu Lintas BTR (kiri) dan BGT (kanan)

Sumber: Hasil Analisa

3. Beban Gempa

Beban gempa direncanakan berdasarkan RSNI 2833:2016[7] dengan menggunakan metode analisa gempa respon spectrum pada level gempa terlampaui 7% dalam 75 tahun

(1000 tahun). Data tanah yang digunakan sebagaimana disajikan pada tabel 3.

**Tabel 3.** Data Tanah (A1) Jembatan Sembayat

Lapisan	Tbl. Lapisan (di)	N-SPT (Ni)
1	1000	0
2	4000	10
3	12500	9.50
4	7500	36.50
5	2000	30
6	2000	24
7	7500	33.33
8	43500	30
TOTAL	80000	110

Dari data tanah diatas dan lokasi jembatan yang terletak di kabupaten Gresik, maka didapatkan nilai sebagai berikut:

PGA = 0,25

S<sub>s</sub> = 0,5

F<sub>PGA</sub> = 1,3

S<sub>1</sub> = 0,25

F<sub>v</sub> = 1,9

maka;

A<sub>s</sub> = F<sub>PGA</sub> × PGA = 1,3 × 0,25 = 0,325

S<sub>DS</sub> = F<sub>a</sub> × S<sub>s</sub> = 1,3 × 0,5 = 0,65

S<sub>D1</sub> = F<sub>v</sub> × S<sub>1</sub> = 1,9 × 0,25 = 0,475

T<sub>s</sub> =  $\frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,475}{0,65} = 0,73077$

T<sub>0</sub> = 0,2 T<sub>s</sub> = 0,2 . 0,7308 = 0,14615

Zona gempa 3 (0,3 < S<sub>D1</sub> < 0,5)

Dari perhitungan perioda di atas diperoleh grafik respon *spectrum* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 16. Nilai respon spektrum pada gambar 16 diinput pada SAP2000 dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

DL + 0,5 LL + EQ<sub>x</sub> + 0,3 EQ<sub>y</sub>

DL + 0,5 LL + 0,3 EQ<sub>x</sub> + EQ<sub>y</sub>

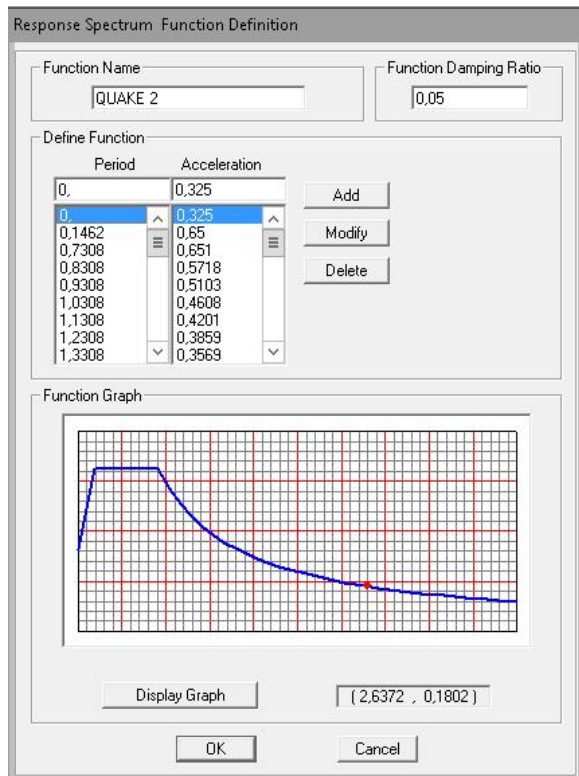
Perencanaan busur atas menggunakan profil box 900 × 700 × 50. Berdasarkan hasil analisa SAP2000 diambil *sampel frame* dengan tekan maksimum pada frame 223 sebagai berikut:

M<sub>x</sub> = 826,845 kNm

M<sub>y</sub> = -167.981 kNm

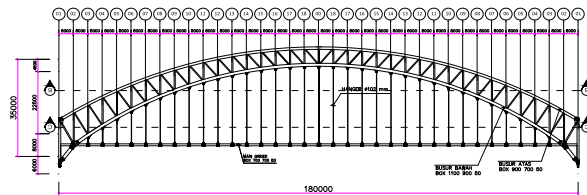
V = -34.742 kN

N = 25492,824 kN



**Gambar 16.** Respon Spektrum Gempa  
*Sumber: Hasil Analisa*

**Perencanaan Busur Atas**



**Gambar 17.** Elemen Struktur Utama  
*Sumber: Hasil Analisa*

Pada elemen busur atas menerima gaya tekan yang cukup besar pada bagian tengah bentang, dengan kuat nominal penampang tekan sebesar 61142.242 kN dan kuat nominal penampang lentur sebesar 19926 kNm, penampang mampu menahan gaya yang terjadi.

**Perencanaan Cable Rod**

Kabel penggantung menggunakan *Cable Rod* tipe M520 (M105) *carbon steel* dengan spesifikasi diameter  $(\phi) = 105$  mm, berat kabel  $(w) = 32$  kg/m, *minimum break load* = 5279 kN dengan kabel terpanjang = 30,5 m.



**Gambar 18.** Kabel Tipe M520 (M105)  
*Sumber: Maccalaoy Cable Rod*

Perencanaan kabel harus memenuhi syarat kelangsingan berdasarkan RSNI T-03-2005 [2] sebagai berikut:

$$\frac{l}{D} < 500$$

$$\frac{30500 \text{ mm}}{105 \text{ mm}} < 500$$

$$290,476 < 500$$

(Memenuhi)  
 Kontrol kekuatan kabel,  
 $P_u < \text{Minimum Break Load}$   
 $1720,389 \text{ kN} < 50279 \text{ kN}$   
 (Memenuhi)

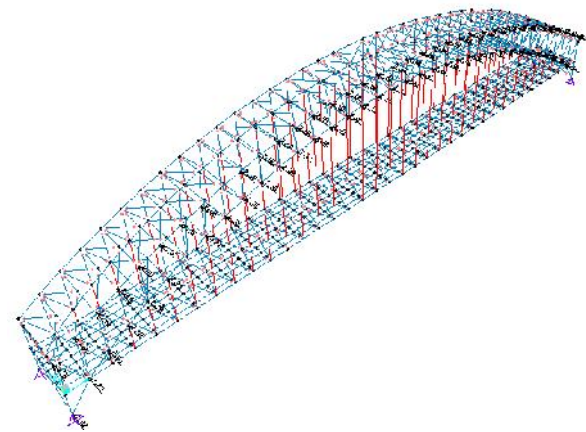
Jadi, *cable rod* tipe 520 (M105) *carbon steel* bisa digunakan.

**Perencanaan Komponen Sekunder Jembatan**

Perencanaan komponen sekunder jembatan busur terdiri perencanaan ikatan angin lantai kendaraan, ikatan angin rangka busur dan portal akhir.

1. Beban Angin

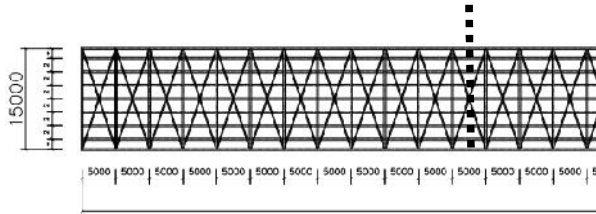
Perencanaan beban angin mengacu pada SNI 1725:2016 psl. 9.6. [4] Titik-titik yang dikenai beban angin tekan untuk rangka busur atas dan bawah ditunjukkan pada gambar 19.



**Gambar 19.** Beban Angin Pada Rangka Busur  
*Sumber: Hasil Analisa*



## 2. Ikatan Angin Lantai Kendaraan



**Gambar 20.** Ikatan Angin Bawah

Sumber: Hasil Analisa

Ikatan angin bawah (gambar 20) direncanakan menggunakan profil box  $250 \times 250 \times 12$ .

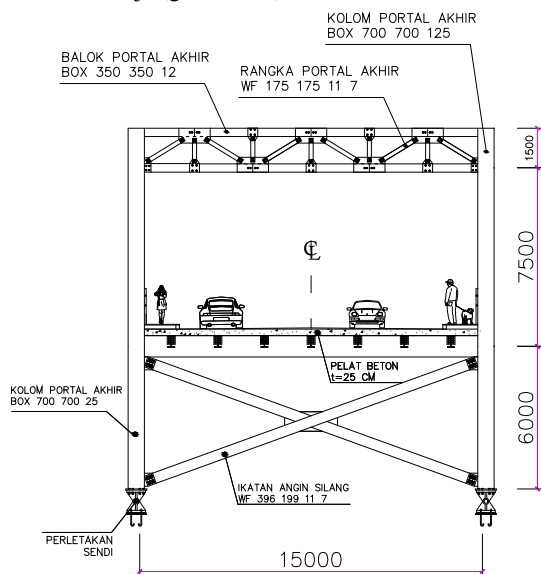
Berdasarkan hasil analisa SAP2000, diambil sampel frame dengan aksial maksimum pada frame 1294 sebagai berikut,

$$\begin{aligned} N \text{ tarik} &= 2476,976 \text{ kN} \\ N \text{ tekan} &= -2045,036 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ikatan angin bawah menerima gaya yang cukup besar pada daerah tumpuan, karena dikenai gaya gempa yang cukup besar. Profil ikatan angin bawah memiliki kuat nominal tekan sebesar  $3572,066 \text{ kN}$  dan kuat nominal tarik sebesar  $3874,406 \text{ kN}$ , sehingga penampang box ikatan angin bawah mampu menahan beban yang ada.

## 3. Portal Akhir

Portal akhir merupakan elemen struktur yang meneruskan gaya dari konstruksi busur ke tumpuan. Analisa struktur portal akhir dihitung sebagai hubungan balok kolom pada konstruksi baja (gambar 21).



**Gambar 21.** Portal Akhir Jembatan

Sumber: Hasil Analisa

Kolom portal akhir direncanakan menggunakan profil box  $700 \times 700 \times 25$ . Berdasarkan hasil analisa SAP2000 diambil

sampel frame dengan tekan maksimum pada frame 1822 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_x &= -58,864 \text{ kNm} \\ M_y &= -167,981 \text{ kNm} \\ V &= -7,442 \text{ kN} \\ N &= -732,897 \text{ kN} \end{aligned}$$

Penampang yang digunakan mampu menahan beban yang terjadi tanpa adanya penambahan momen, karena nilai  $\delta_{bx} = 0,85 < 1$ . Nilai kuat nominal tekan sebesar  $1202,556 \text{ kN}$  dengan kuat lentur nominal  $= 535185944,4 \text{ N}$ .

Untuk balok portal akhir yang menggunakan sistem rangka direncanakan menggunakan profil box  $350 \times 350 \times 12$  sebagai balok utama.

## Detail Sambungan

Spesifikasi yang digunakan mengacu pada *specification for structural steel building* AISC 2010 section J3 hal. 120-122. [9]

### 1. Sambungan Gelagar Memanjang

Pada sambungan gelagar memanjang (gambar 22) digunakan baut M30 dengan detail seperti tabel 4.

**Tabel 4.** Baut M30

Baut	M30	$\varnothing$	33	mm <sup>2</sup>
		Ab	856	mm <sup>2</sup>
		Tb	408	kN
		Fnt	780	MPa
		Fnv	579	MPa

Pelat siku penyambung = L 410 410 10

$$f_y = 290 \text{ MPa}$$

$$f_u = 500 \text{ MPa}$$

$$\text{Bidang geser (n)} = 2$$

Besarnya gaya dalam hasil *output* program SAP adalah sebagai berikut:

$$M_x = 509,681 \text{ kNm}$$

$$V = 344,343 \text{ kN}$$

$$N = 1198,308 \text{ kN}$$

Baut yang digunakan merupakan tipe baut yang mengalami tarik dimana kuat ijin satu baut diambil dari nilai terkecil dari perhitungan kuat nominal baut [7]. Diambil nilai kuat nominal baut paling kecil,  $R_n = 408,498 \text{ kN}$ , sehingga jumlah baut yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n &= \frac{1198,308 \text{ kN}}{0,75 \times 408,498 \text{ kN}} \\ &= 3,911 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

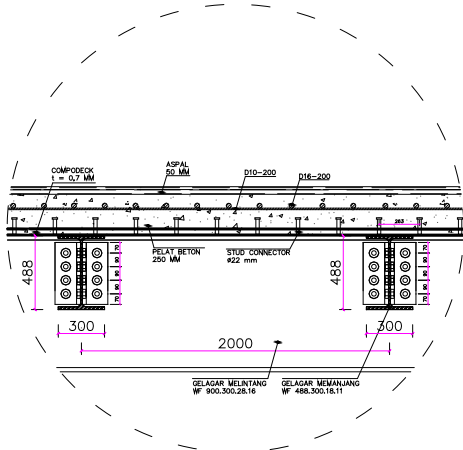
Susunan baut dan jarak antar lubang baut didasarkan pada batasan berikut:

$$S_{min} < S < S_{max}$$

$$2.2/3 \text{ db} < S < 12 \text{ tp}$$

$$2.2/3 \times 33 \text{ mm} < 90 \text{ mm} < 12 \times 10 \text{ mm}$$

$$44 \text{ mm} < 90 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$



**Gambar 22.** Detail Sambungan Gelagar Memanjang  
Sumber: Hasil Analisa

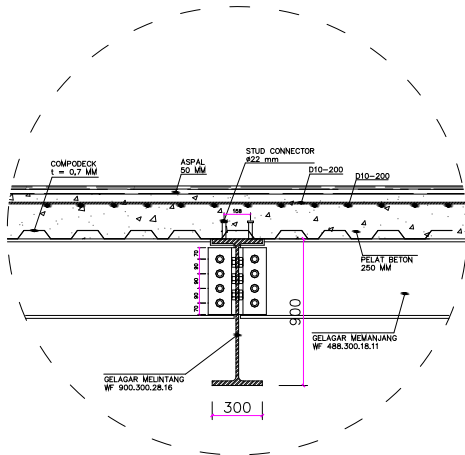
2. Sambungan Gelagar Melintang

Untuk sambunga pada gelagar melintang digunakan spesifikasi baut yang sama dengan sambungan gelagar memanjang (gambar 23). Output gaya dalam dari output program SAP adalah sebagai berikut:

$$M_x = 4716,508 \text{ kNm}$$

$$V = 1524,287 \text{ kN}$$

$$N = -805,249 \text{ kN}$$



**Gambar 23.** Detail Sambungan Gelagar Melintang  
Sumber: Hasil Analisa

Jumlah baut yang digunakan adalah,

$$n = \frac{1524,287 \text{ kN}}{0,75 \times 461,04 \text{ kN}}$$

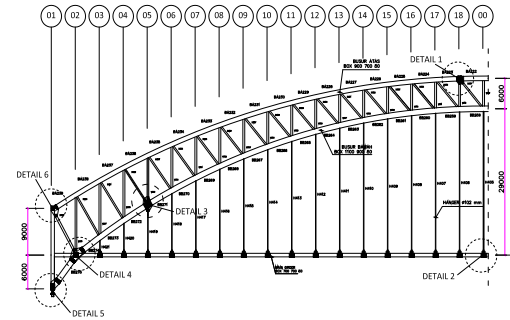
$$= 2,329 = 3 \text{ buah}$$

Susunan dan jarak baut sebagai berikut:

$$S_{min} < S < S_{max}$$

$$44 \text{ mm} < 90 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$

3. Sambungan Busur



**Gambar 24.** Perencanaan Sambungan Busur

Sumber: Hasil Analisa

Data yang digunakan untuk perencanaan sambungan busur atas adalah seperti tabel 5.

**Tabel 5.** Baut M30

Baut	M30	Ø	33	mm <sup>2</sup>
		Ab	856	mm <sup>2</sup>
		Tb	408	kN
		Fnt	780	MPa
		Fnv	579	MPa

Pelat penyambung

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$f_u = 550 \text{ MPa}$$

Bidang geser (n) = 2

Desain sambungan busur atas mengambil sampel pada detail 1 pada gambar 26, yang dianggap mewakili keseluruhan kondisi busur atas dengan nilai gaya dalam yang diambil dari SAP2000 sebagai berikut:

$$M_x = 826,446 \text{ kNm}$$

$$M_y = 207,157 \text{ kNm}$$

$$V = 114,359 \text{ kN}$$

$$N = -25492,824 \text{ kN}$$

Kuat ijin satu baut diambil dari nilai terkecil dari perhitungan kuat nominal baut berikut, section J.3 [9],  $R_n = 461,04 \text{ kN}$

Jumlah baut direncanakan sebagai berikut:

Beban yang bekerja searah x ( $R_x$ )

$$\frac{M_x}{H} = \frac{826,446 \text{ kNm}}{0,9} = 918,273 \text{ kN}$$

$$\frac{My}{B} = \frac{207,157 \text{ kNm}}{0,7} = 295,938 \text{ kN}$$

$$R_x \text{ tot} = 918,273 + 295,938 + 25492,824 = 26707,036 \text{ kN}$$

Pada *web*

$$R_{web} = \frac{H}{H+B} \times \frac{1}{2} \times R_x$$

$$= \frac{0,9}{0,9+0,7} \times \frac{1}{2} \times 26707,036 \text{ kN}$$

$$= 7511,354 \text{ kN}$$

$$n = \frac{7511,354 \text{ kN}}{0,75 \times 461,04 \text{ kN}} = 21,723 = 22 \text{ buah}$$

Pada *flens*

$$R_{web} = \frac{B}{H+B} \times \frac{1}{2} \times R_x$$

$$= \frac{0,7}{0,9+0,7} \times \frac{1}{2} \times 26707,036 \text{ kN}$$

$$= 5842,164 \text{ kN}$$

$$n = \frac{5842,164 \text{ kN}}{0,75 \times 461,04 \text{ kN}} = 16,896 = 17 \text{ buah}$$

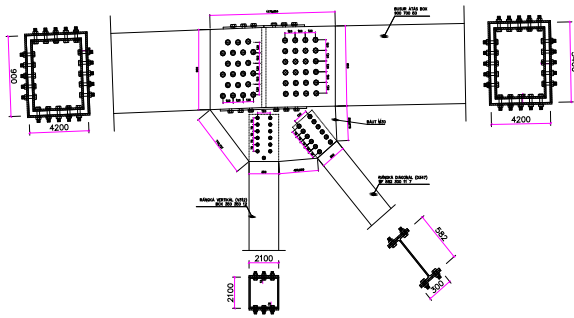
Susunan baut dan jarak antar lubang baut direncanakan sebagai berikut:

$$S_{min} < S < S_{max}$$

$$2.2/3 \text{ db} < S < 12 \text{ tp}$$

$$2.2/3 \times 33 \text{ mm} < 90 \text{ mm} < 12 \times 10 \text{ mm}$$

$$44 \text{ mm} < 100 \text{ mm} < 120 \text{ mm}$$



Gambar 25. Detail Sambungan Busur Atas

Sumber: Hasil Analisa

Untuk sambungan busur vertikal direncanakan menggunakan baut M30 juga, jumlah baut disajikan pada tabel 6. Sambungan busur vertikal menggunakan baut M30, jumlah baut disajikan pada tabel 7.

**Perletakan Jembatan**

Pada perencanaan bentang utama jembatan direncanakan menggunakan perletakan rol pada *abutment* dan perletakan sendi pada pilar [3].

Tabel 6. Rekapitulasi Jumlah Baut Rangka Busur Vertikal

Frame	Nu (kN)	Rn (kN)	Jumlah Baut (n)
V 296	-1543.45	230.52	9
V 297	-2250.18	230.52	14
V 298	-2794.26	230.52	17
V 299	-3213.51	230.52	19
V 300	-3409.94	230.52	20
V 301	-3520.6	230.52	21
V 302	-3511.32	230.52	21
V 303	-3404.67	230.52	20
V 304	-3218.68	230.52	19
V 305	-2962.42	230.52	18
V 306	-2642.95	230.52	16
V 307	-2270.05	230.52	14
V 308	-1847.41	230.52	11
V 309	-1505.67	230.52	9
V 310	-1158.41	230.52	7
V 311	-749.997	230.52	5
V 312	794.429	230.52	5
V 313	736.963	230.52	5

Tabel 7. Rekapitulasi jumlah baut rangka busur diagonal

Frame	Nu (kN)	Rn (kN)	Jumlah Baut (n)
D 347	2202.83	230.52	13
D 348	2663.14	230.52	16
D 349	-5269.71	230.52	31
D 350	-5394.38	230.52	32
D 351	1818.97	230.52	11
D 352	2398.86	230.52	14
D 353	2835.87	230.52	17
D 354	3195.19	230.52	19
D 355	3627.58	230.52	21
D 356	3989.78	230.52	24
D 357	4228.28	230.52	25
D 358	4336.88	230.52	26
D 359	4284.24	230.52	25
D 360	4082.56	230.52	24
D 361	3823.7	230.52	23
D 362	3550.89	230.52	21
D 363	3324.14	230.52	20
D 364	3207.03	230.52	19

1. Perletakan Rol

Dari hasil analisa dengan program SAP2000, reaksi perletakan pada rol adalah sebagai berikut,

$$V = 22338,1804 \text{ kN}$$

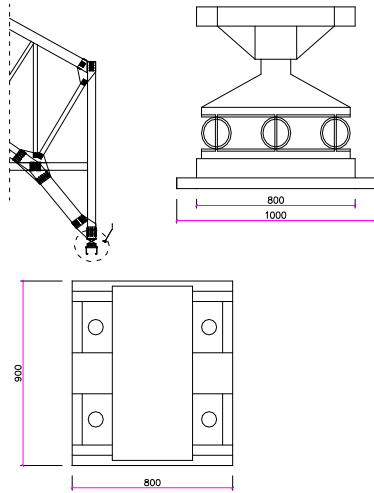
$$H_x = 0$$

$$H_y = 1910,770 \text{ kN}$$

$$R = \sqrt{22338,1804^2 + 1910,770^2}$$

$$= 22419,753 \text{ kN}$$

Detail perencanaan perletakan rol sesuai dengan reaksi diatas ditunjukkan pada detail gambar 26.



**Gambar 26.** Detail Perencanaan Perletakan Rol  
Sumber: Hasil Analisa

2. Perletakan Sendi

Untuk reaksi perletakan pada sendi, hasil analisa dengan program SAP2000 adalah sebagai berikut:

$$V = 27157.384 \text{ kN}$$

$$H_x = 29754.115 \text{ kN}$$

$$R = \sqrt{27157.384^2 + 29754.115^2}$$

$$= 3258.67 \text{ kN}$$

Desain preletakan sendi ditunjukkan pada gambar 277. Lendutan maksimum berdasarkan analisa program SAP2000 terjadi pada kombinasi 2 di tengah bentang sebesar 21,08 cm.

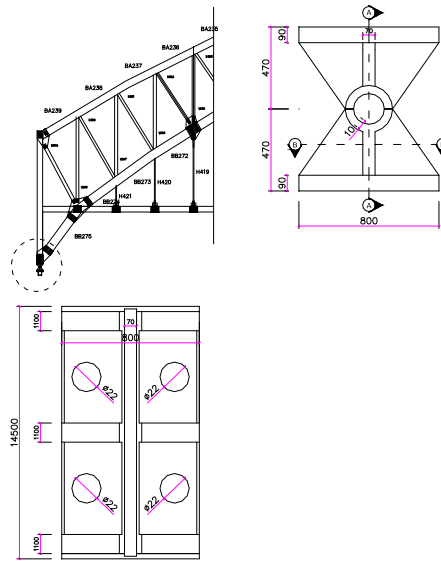
Kontrol;

$$21,08 \text{ cm} < \frac{l}{800}$$

$$21,08 \text{ cm} < \frac{18000 \text{ cm}}{800}$$

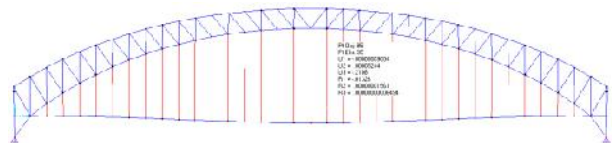
$$21,08 \text{ cm} < 22,5 \text{ cm}$$

(Memenuhi) (gambar 28)



**Gambar 27.** Detail Perencanaan Perletakan Sendi  
Sumber: Hasil Analisa

Kontrol Lendutan Jembatan

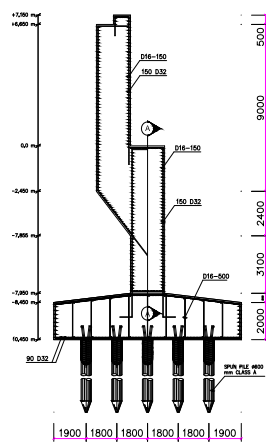


**Gambar 28.** Lendutan yang terjadi  
Sumber: Hasil Analisa

Perencanaan Bangunan Bawah

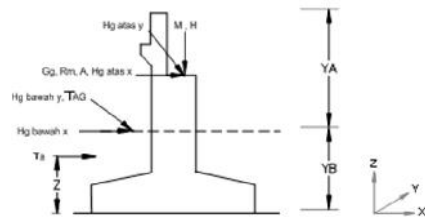
1. Abutment

- Data perencanaan abutment (gambar 29)



**Gambar 29.** Preliminary Design Abutment  
Sumber: Hasil Analisa

- Tinggi total rencana (h) = 15 m
- Tebal dinding abutment (b) = 2 m
- Mutu beton (fc') = 30 Mpa
- Mutu tulangan (fy) = 400Mpa
- Diameter tul. lentur = 32 mm
- Diameter tul. *confinement* = 16 mm
- Pembebanan pada *abutment I* (gambar 30)



**Gambar 30.** Sketsa Pembebanan pada *Abutment*  
 Sumber: Hasil Analisa

**Tabel 8.** Rekapitulasi pembebanan *abutment*

No.	Uraian	V (kN)	Hx (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
1	Beban permanen				
	Struktur atas	21482		4048	
	Abutment	22804			16675
	Tekanan tanah		14590		-78183
	Tekanan tanah akbt gempa		12300		58979
2	Beban Lalu Lintas				
	Beban "D"	6997		1704	
	Beban Rem		592		6186
	Gaya gesek		4271		40797
3	Aksi Lingkungan				
	EQ struktur atass	643	3879	29094	3252
	EQ abutment		2607	12503	12503
	Beban Angin	20	37	239	395

Dari tabel 8 perhitungan pembebanan, diperoleh nilai stabilitas *abutment* sebagai berikut,

M guling = 78183.849 kNm

M penahan = 142240.653 kNm

Dimana, stabilitas penahan *abutment* harus memenuhi persyaratan berikut;

$$SF = \frac{\sum M_{penahan}}{\sum M_{Guling}} > 1,5$$

$$= \frac{78183.849 \text{ kNm}}{142240.653 \text{ kNm}} > 1,5$$

$$= 1.819 > 1,5$$

Kontrol selanjutnya adalah kontrol geser *abutment*, yang harus memenuhi syarat berikut:

$$SF = \frac{\sum Rh}{\sum P} \geq 1,5$$

$$= \frac{7,745 \times 165 + 44286.415 \times 0.510}{33377.539} > 1,5$$

$$= 0,7 < 1,5$$

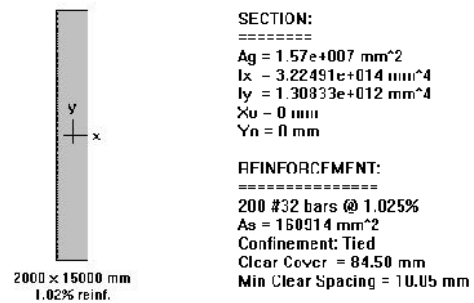
(Tidak Memenuhi)

Karena *abutment* tidak dapat menahan gaya geser yang terjadi, maka diperlukan pondasi tiang pancang untuk menambah ketahanan terhadap geser yang terjadi.

- Penulangan dinding *abutment* (gambar 31)

Penulangan menggunakan SP-Coloumn.

Untuk ps. 5.7.8.1 bahwa rasio dari tulangan memanjang kurang dari 0,01 Ag dan > 0,08 Ag.[5]



**Gambar 31.** Desain Penulangan Dinding Abutment

Sumber: Hasil Analisa

- Perhitungan daya dukung tiang

Perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang meliputi kapasitas aksial dari kekuatan daya dukung tanah yang ada dengan menggunakan metode *Luciano Decourt*. Menggunakan tiang pancang produksi PT. Wika Beton (gambar 32).

Outer Diameter of Piles D (mm)	Wall Thickness T (mm)	Spiral Wire Diameter (mm)	Pitch	
			Zone L1 (mm)	Zone L2 (mm)
300	80	3.2	50	100
350	70	3.2	50	100
400	75	3.2	50	100
450	80	4.0	50	100
500	90	4.0	50	100
600	100	4.0	50	100

**Gambar 32.** Spesifikasi Tiang Pancangan

Penambahan pondasi tiang pancang pada *abutment* direncanakan sebagai berikut,

Allowable axial = 223 t

Jarak tiang pancang = 3D

= 3 x 0,6 = 1,8 m

n (jumlah pile) = 45 buah

Kedalaman rencana = 58 m

QL = 214,071 t

Kontrol,



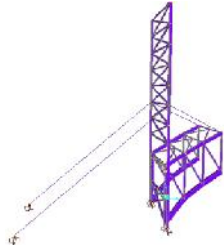


Metode pelaksanaan pembangunan duplikasi jembatan Sembayat ini direncanakan menggunakan metode *balanced cantilever* dengan dibantu tarikan kabel dan *temporary tower* yang dipasang pada tepi jembatan rencana. Analisa perhitungan metode dan tahapan pelaksanaan (*staging analysis*) menggunakan bantuan *software* SAP2000.

Perencanaan kabel penggantung (*hanger*) menggunakan *cable* tipe *tension rods*, yang dengan tipe M520, sedangkan pada pelaksanaan *balanced cantilever*, dalam setengah bentang dibagi menjadi 6 segmen, dimana setiap segmen sepanjang  $3 = 3 \times 5 \text{ m} = 15 \text{ meter}$ .

**Stage 1**

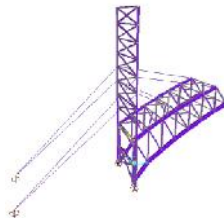
Panjang tarikan main span =  $3 = 3 \times 5 \text{ m} = 15 \text{ meter}$  dengan panjang tarikan side span = 38 meter. (gambar 36)



**Gambar 36.** Stage 1 Balanced Cantilever

**Stage 2**

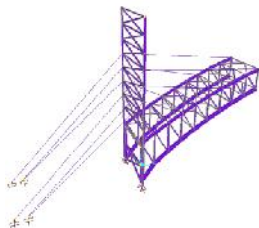
Panjang tarikan main span =  $6 = 6 \times 5 \text{ m} = 30 \text{ meter}$  dengan panjang tarikan side span = 38 meter. (gambar 37)



**Gambar 37.** Stage 2 Balanced Cantilever

**Stage 3**

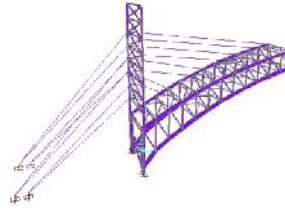
Panjang tarikan main span =  $9 = 9 \times 5 \text{ m} = 45 \text{ meter}$  dengan panjang tarikan side span = 42 meter. (gambar 38)



**Gambar 38.** Stage 3 Balanced Cantilever

**Stage 4**

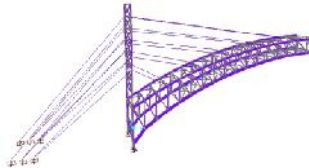
Panjang tarikan main span =  $12 = 12 \times 5 \text{ m} = 60 \text{ meter}$  dengan panjang tarikan side span = 42 meter. (gambar 39)



**Gambar 39.** Stage 4 Balanced Cantilever

**Stage 5**

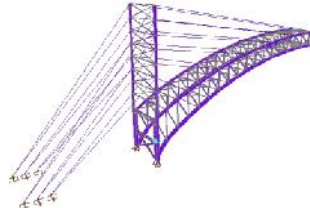
Panjang tarikan main span =  $15 = 15 \times 5 \text{ m} = 75 \text{ meter}$  dengan panjang tarikan side span = 46 meter. (gambar 40)



**Gambar 40.** Stage 5 Balanced Cantilever

**Stage 6**

Panjang tarikan main span =  $18 = 18 \times 5 \text{ m} = 90 \text{ meter}$  dengan panjang tarikan side span = 46 meter. (gambar 41)



**Gambar 41.** Stage 6 balanced cantilever

Kontrol kapasitas kabel ditinjau dari kondisi maksimal yaitu pada *stage* 6. (tabel 10)

**Tabel 10.** Gaya tarikan kabel stage 6

Elemen	Gaya Tarikan Kabel (kN)	Min. Break Load (kN)	Keterangan
Main Span	2172.304	5279	OK
Side Span	1876.541	5279	OK

**4. Simpulan**

Dari hasil modifikasi desain duplikasi Jembatan Sembayat dengan struktur busur rangka baja maka diperoleh data – data perencanaan sebagai berikut:

1. Dimensi jembatan dengan panjang bentang 180 meter, lebar jalan (4/2 UD) 12 meter dengan 2 lajur ke arah

- Tuban dan 2 lajur ke arah Gresik ditambah 1,5 meter lebar trotoar di masing-masing sisi jembatan,
2. Untuk dimensi busur sendiri, memiliki tinggi fokus busur 35 meter dan tinggi penampang 6 meter,
  3. Tebal plat lantai jembatan 25 cm dengan mutu beton  $f_c'$  35 MPa,
  4. Mutu baja profil yang digunakan adalah BJ 55,
  5. Profil gelagar memanjang WF 488 x 300 x 18 x 11, sedangkan untuk profil gelagar melintang WF 900 x 300 x 28 x 16 dengan ikatan angin pada lantai kendaraan berupa box 250 x 250 x 18,
  6. *Cable rod* yang digunakan adalah tipe kabel M520 *carbon steel* dengan ukuran M105 (diameter 102 mm),
  7. Elemen busur atas menggunakan box 900 x 700 x 50, sedangkan elemen busur bawah menggunakan box 1100 x 900 x 50,
  8. Kolom portal akhir menggunakan 700 x 700 x 25, sedangkan balok portal akhir menggunakan box 350 x 350 x 12,
  9. Perletakan menggunakan jembatan menggunakan sistem perletakan rol dan sendi,
  10. *Abutment* jembatan direncanakan dengan tinggi dinding 6 meter dan lebar 15 meter. Untuk lebar *pile cap* pada *abutment* direncanakan 17,2 meter dengan tebal 2 meter. Mutu beton yang digunakan adalah  $f_c'$  30 MPa.
  11. Pilar jembatan direncanakan dengan tinggi kolom 6 meter dan lebar 15 meter. Untuk lebar *pile cap* pada pilar direncanakan 17,2 meter dengan tebal 1,5 meter. Mutu beton yang digunakan adalah  $f_c'$  30 MPa.
  12. Pondasi pada struktur *abutment* dan pilar menggunakan tiang pancang beton (*spun pile*) dengan diameter 60 cm.
  13. Metode pelaksanaan struktur bangunan atas direncanakan menggunakan metode *balanced cantilever* dengan menggunakan *tension cable* yang dihubungkan ke *temporary tower*.

#### Daftar Pustaka

- [1] I. Subarkah, *Jembatan Baja*. Bandung: Idea Dharma, 1979.
- [2] A. N. Refani, D. P. Dibiantara, M. Suluch, and A. F. Muqoddam, "Studi Alternatif Bentuk Rangka Jembatan Canai Dingin Untuk Pejalan Kaki Bentang Kecil Terhadap Rasio Berat dan Lendutan," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 25–30, Nov. 2017.
- [3] Soemargono dari Naskah Ir.H.J.Struyk dan Prof.Ir.K.H.C.W.Van Der Veen, *Djembatan*. Jakarta: Buku Tehnik H.Stam, 1953.
- [4] BSN (Badan Standarisasi Nasional), *RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. Jakarta: BSN, 2005.
- [5] BSN (Badan Standarisasi Nasional), *RSNI T-12-2004 Perencanaan struktur beton untuk jembatan*. Jakarta: BSN, 2004.
- [6] BSN (Badan Standarisasi Nasional), *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan*. Jakarta: BSN, 2016.
- [7] BSN (Badan Standarisasi Nasional), *SNI 2833:2016 Perancangan jembatan terhadap beban gempa*. Jakarta: BSN, 2016.
- [8] R. Prasmoro, R. Prasmoro, H. S. Masiran, and E. Wahyuni, "Modifikasi Jembatan Sembayat Baru II Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 13–18, Mar. 2017.
- [9] AISC (American Institute Of Steel Construction), *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago: AISC, 2016.