

# PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS JEMBATAN BACEM SUKOHARJO DENGAN BANTUAN PROGRAM SAP2000

Selo Adiyansunu<sup>1</sup>, Ir. M. Tontro Prastowo<sup>2</sup>, MT, Bambang Triguno, ST, MT<sup>3</sup>

Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna

Email : seloadiyansunuterus@gmail.com

---

## Abstrak

Jembatan Bacem merupakan prasarana lalu lintas penting penghubung wilayah Kota Solo dengan Sukoharjo yang dipisahkan Sungai Bengawan Solo. Perencanaan ini bertujuan untuk memberikan alternatif desain jembatan untuk pembangunan jembatan baru jika jembatan yang ada sudah melebihi batas umur rencana. Dalam proses perencanaan ulang jembatan ini, perencana menggunakan bantuan program SAP2000. Dalam perencanaan ini jembatan direncanakan menggunakan metode *LRFD* dengan pemilihan tipe jembatan *cable stayed*. Tatanan kabel menggunakan *fan system* dan *pylon* menggunakan *two vertical system*. Jembatan terdiri dari 3 bentangan dengan panjang bentang tengahnya adalah 149,508 meter, sementara bentang tepinya masing-masing 56,246 meter dan lebar 16,5 meter. Hasil dari perencanaan ini didapat dimensi struktur lantai kendaraan, gelagar, kabel dan dimensi *pylon* sesuai dengan acuan peraturan SNI-1725:2016, SNI-0076:2008, SNI-2833:2016, RSNI T-02- 2005, dan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor : 08/SE/M/2015.

**Kata kunci :** Perencanaan, Jembatan, Cable Stayed, SAP2000

## Abstract

The Bacem Bridge is an important traffic link connecting the Solo City area with Sukoharjo which is separated by the Bengawan Solo River. This design aims to provide an alternative bridge design for the construction of a new bridge if the existing bridge has exceeded the design life limit. In the process of re-design this bridge, the planner used the help of the SAP2000 program. In this design, the bridge is planned using the *LRFD* method with the selection of the type of bridge using cable-stayed with cable arrangements using a fan system and pylon using two vertical systems. The bridge consists of 3 spans with a middle span of 149,508 meters, while the edge span is 56,246 meters and 16,5 meters wide. The results of this design obtained the dimensions of the vehicle floor structure, girder, cable, and pylon dimensions in accordance with the reference regulations SNI-1725:2016, SNI-0076:2008, SNI- 2833:2016, RSNI T-02-2005, and Circular of the Minister of Works Public and Public Housing Number: 08/SE/M/2015.

**Keywords:** Design, Bridge, Cable Stayed, SAP2000

---

Copyright (c) 2022 Selo Adiyansunu, Tontro Prastowo, Bambang Triguno

✉ *Corresponding author :*

Email : seloadiyansunuterus@gmail.com

## PENDAHULUAN

Jembatan Bacem terdiri dari 2 jembatan, jembatan pertama (Jembatan Bacem I) adalah jembatan *Callendar-Hamilton* sementara jembatan satunya lagi (Jembatan Bacem II) menggunakan tipe jembatan rangka baja Australia. Jembatan Bacem memiliki panjang 262 meter dengan lebar 7 meter, jika dilihat dari panjangnya jembatan ini merupakan jembatan bentang panjang, akan tetapi jembatan ini dibangun dengan tipe rangka baja warren yang dibuat 5 bentang.

Untuk itu perencanaan ulang pada skripsi ini bertujuan untuk menyatukan kedua jembatan tersebut menjadi satu jembatan dengan pemilihan tipe jembatan yaitu jembatan *cable stayed* serta bertujuan untuk memberikan alternatif desain jembatan untuk pembangunan jembatan baru jika jembatan yang ada sudah melebihi batas umur rencana.. Dalam proses perencanaan ulang jembatan ini, perencanaan menggunakan bantuan program SAP2000.

Perencanaan ulang jembatan hanya merencanakan struktur atas jembatan yang meliputi :

- i. Perencanaan pelat lantai kendaraan.
- ii. Perencanaan gelagar memanjang, gelagar melintang dan gelagar induk.
- iii. Perencanaan sambungan rangka.
- iv. Perencanaan perletakan.
- v. Perencanaan kabel
- vi. Perencanaan dimensi *pylon*

Metode pengumpulan data dilakukan dengan cara melakukan observasi langsung ke lapangan yang berlokasi di Jl. Solo-Sukoharjo, Dusun II, Langenharjo, Kecamatan Grogol, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah dan dengan mengakses website resmi milik Bina Marga dan Cipta Karya wilayah Jawa Tengah.

## TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan *cable stayed* merupakan jembatan yang menggunakan material kabel sebagai kabel eksternal dalam struktur komponen umum yang berkerja sebagai pemikul beban vertikal dari lantai kendaraan, kabel

tersebut diangkur pada kedua titik ujung-ujung jembatan.

Jembatan kabel merupakan jembatan yang terdiri dari beberapa komponen- komponen penting untuk melengkapi kekuatan dalam struktur jembatan. Dimana komponen tersebut terdiri dari lantai kendaraan (*deck*) yang berfungsi sebagai lantai kendaraan dengan struktur yang kuat serta kekakuan yang besar, kabel pengantung (*Stayed cable*) berfungsi sebagai struktur yang bersifat mudah lentur dan hanya dapat memikul tegangan tarik, dan menara pengantung (*Pylon*) yang berfungsi sebagai struktur berukuran tinggi yang merupakan tumpuan dari elemen kabel. Komponen dari jembatan ini mempunyai sistem kerja yang berbeda, namun secara umum komponen ini mempunyai komponen yang bekerja sama dalam fungsinya.

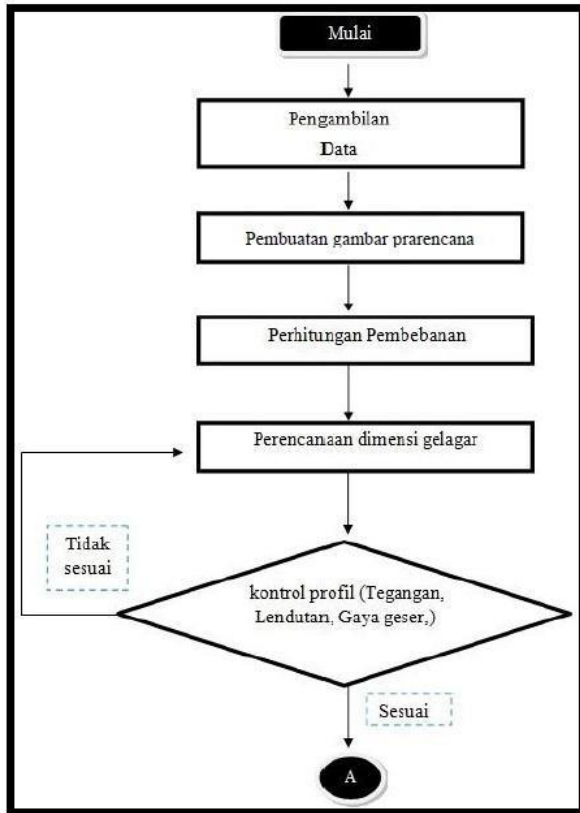
SAP (*Structural Analysis Program*) adalah program atau aplikasi yang digunakan untuk mendesain atau menganalisis suatu struktur bangunan atau objek. Program SAP2000 memiliki beberapa kelebihan, terutama pada struktur beton dan struktur baja. Analisis yang dilakukan oleh program ini cukup akurat, serta analisis gambar juga diberikan.



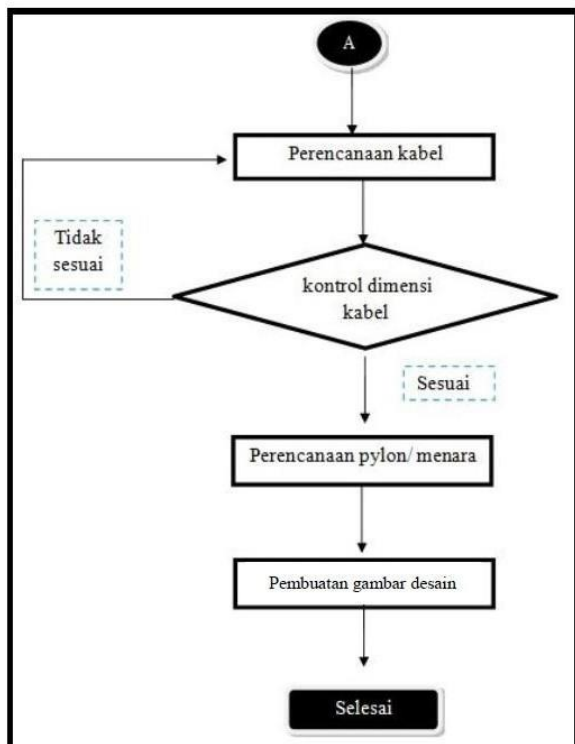
Gambar 1 : SAP2000 V11

## METODOLOGI PERENCANAAN

Diagram alir perencanaan jembatan *cable stayed* diuraikan pada gambar berikut :



Gambar 2 : Diagram Alir Perencanaan (1)



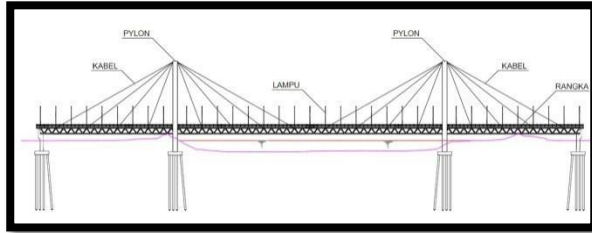
Gambar 3 : Diagram Alir Perencanaan (2)

Standar yang digunakan dalam perencanaan:

1. SNI-1725:2016 (Standar pembebanan untuk jembatan sebagai acuan dalam perencanaan pembebanan jembatan).
2. RSNI-T-12-2004 (Perencanaan struktur beton untuk jembatan).
3. SNI-2833:2016 (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan).
4. SNI-2052:2014 (Perencanaan baja tulangan beton sebagai acuan standar baja tulangan beton yang akan digunakan).
5. SNI-0076:2008 (Tali Kawat Baja) untuk perencanaan kabel ruji.
6. VSL – *Multistrand Systems* (Sebagai acuan merencanakan tendon pada jembatan cable stayed).
7. RSNI T-02- 2005 (Standar pembebanan beban angin pada jembatan).
8. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor : 08/SE/M/2015 tentang Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel.
9. Surat Edaran Direktorat Jendral Bina Marga No. 05/SE/Db/2017 tentang Kriteria Desain Jembatan.

Kriteria Desain Jembatan :

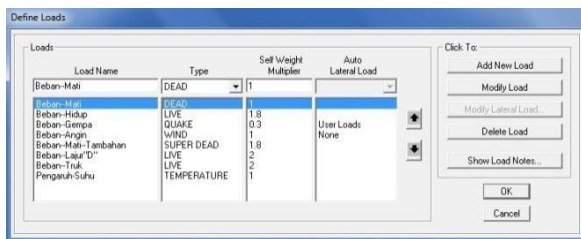
- a. Panjang total : 262 meter, terdiri dari 3 bentangan dengan panjang bentang tengahnya adalah 149,508 meter, sementara bentang tepinya masing-masing 56,246 meter.
- b. Lebar total : 16,5 meter
- c. Lebar perkerasan : 14,5 meter
- d. Lebar trotoar : 2 x 1 meter
- e. Jumlah jalur : 2
- f. Jumlah lajur : 2 per jalur
- g. Lebar lajur : 3,5 meter
- h. Tipe Jembatan : Jembatan Khusus
- i. Dek jembatan : Rangka Baja Kaku
- j. Bentuk dasar sistem kabel : sistem kipas (*fan*)



Gambar 4 : Design Jembatan (Tampak Samping)

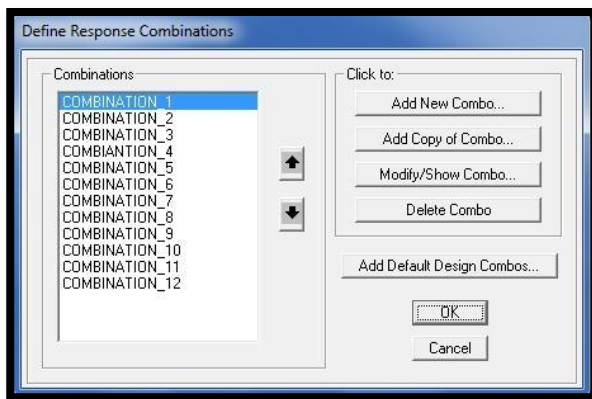
## PEMBEBANAN

Dalam pembebanan jembatan ini menggunakan metode *LRFD (Load And Resistance Factor Design)*. *LRFD* merupakan suatu perencanaan yang mengacu pada kondisi batas, atau limit state design, sehingga faktor beban yang digunakan untuk setiap beban sudah dipilih pada batas ultimit-nya berdasarkan SNI 1725:2016.



Gambar 5 : Define Loads

Kombinasi pembebanan digunakan untuk menghitung aksi nominal, definisi tipe aksi, serta faktor beban yang digunakan untuk menghitung besarnya aksi rencana. Ada 12 kombinasi pembebanan yang perencana gunakan pada pembebanan jembatan ini yang diuraikan pada gambar dibawah ini :



Gambar 6 : Loads Combinations SAP2000

No	Kombinasi Beban
1	1,4DL
2	1,2DL + 1,6LL
3	1,2DL+1LL+1EQX+0,3EQY
4	1,2DL+1LL+1EQX-0,3EQY
5	1,2DL+1LL-1EQX+0,3EQY
6	1,2DL+1LL-1EQX-0,3EQY
7	1,2DL+1LL+0,3EQX+1EQY
8	1,2DL+1LL+0,3EQX-1EQY
9	1,2DL+1LL-0,3EQX+1EQY
10	1,2DL+1LL-0,3EQX-1EQY
11	1,2DL+1LL+1,6WL
12	1,2DL+1LL-1,6WL

Gambar 7 : Penjabaran dari setiap beban kombinasi

## HASIL PERHITUNGAN STRUKTUR

### Plat Lantai dan Trotoar

Beban Mati (MS) = 12.533 kg/m

Beban Hidup (L) (SNI 1725:2016)

Beban roda kendaraan ( T ) = 500 kN  
= 51.000 kg

Beban garis (BGT) = 63,7 kN/m  
= 6497,4 kg/m

Beban merata (BTR) = 5,013 kPa  
= 501,3 kg/m<sup>2</sup>

Tabel 1 : Mutu dan Ketebalan Plat

- Mutu Baja (Fy)	= 410 MPa
- Mutu Beton (Fc')	= 30 MPa
- Tebal Aspal	= 10 cm
- Tebal Plat Beton	= 20 cm
- Tebal Trotoar	= 20 cm

Plat Beton : Arah memanjang (x)

Tulangan yang dipakai adalah D13 – 100

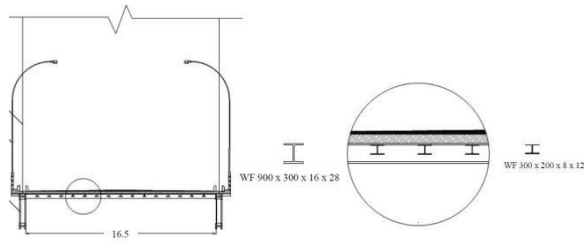
Arah melintang (y)

Tulangan yang dipakai adalah D10 – 100

Trottoar :

Tulangan yang dipakai adalah D10 – 100

### Gelagar Memanjang



Gambar 8 : Gelagar Memanjang dan Melintang

Momen total pada gelagar memanjang adalah :

$$M = 14682,4868 \text{ kgm}$$

Dipakai Profil Baja WF 300 x 200 x 8 x 12 ( $f_y = 410 \text{ Mpa}$ ).

### Gelagar Melintang

Jarak antara gelagar melintang = 4,153 m

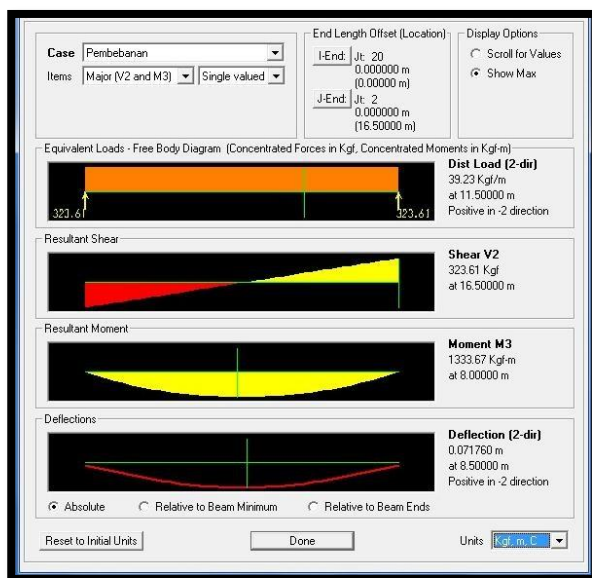
Panjang gelagar melintang = 16,5 m

Momen total pada gelagar melintang adalah :

$$M = 348308,5379 \text{ kgm}$$

Maka dipakai profil WF 900 x 300 x 16 x 28 dengan  $f_y = 410 \text{ Mpa}$

### Penghubung Geser (Shear Connector)



Gambar 9 : Resultan gaya geser dan momen maksimum

Menggunakan stud dengan diameter 10 mm.

Tinggi stud (H) = 100 mm.

Jumlah stud dalam arah tegak lurus sumbu gelagar melintang sebanyak 2 buah dengan jarak 150 mm.

### Sambungan Gelagar Melintang dan Gelagar Memanjang

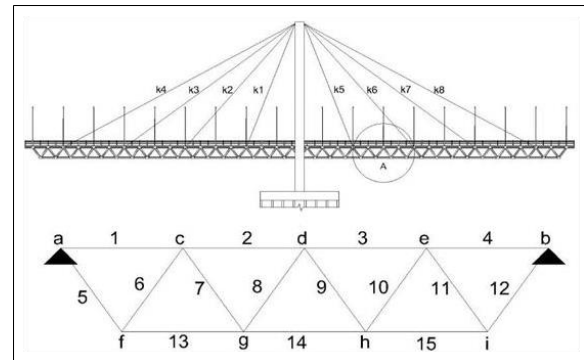
Untuk penyambungan antara gelagar melintang dan memanjang digunakan pelat penyambung profil L.

Dipakai profil L 150 x 150 x 10 ( $f_y = 410 \text{ Mpa}$ )

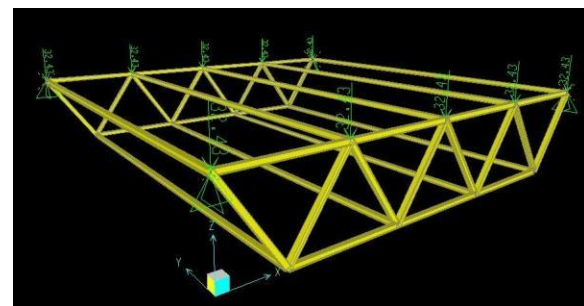
Menggunakan baut dengan diameter 2,54 cm.

Jumlah baut yang dipakai sebanyak 6 buah dengan jarak antar baut 100 mm dan jarak baut ke tepi sambungan 60 mm.

### Dek Rangka Baja



Gambar 10 : Konfigurasi Rangka



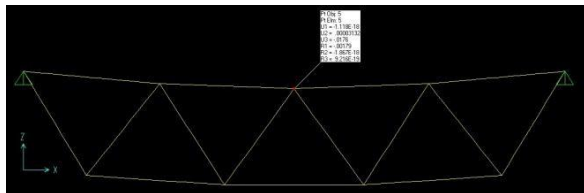
Gambar 11 : Pembebanan pada Rangka

Dari perhitungan SAP2000 didapat gaya-gaya rangka batang sebagai berikut :

Tabel 2 : Gaya Batang

Nomer Batang	Gaya Batang (ton)	
	Tarik	Tekan
1	23,1789	-
2	-	23,1789
3	-	23,1789
4	23,1789	-
5	61,6716	-
6	-	60,5364
7	20,7561	-
8	-	20,0059
9	-	19,8882
10	20,6384	-
11	-	60,4188
12	61,5539	-
13	69,6431	-
14	92,8961	-
15	69,6431	-

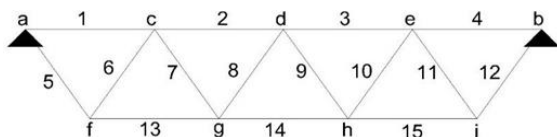
Digunakan profil WF 175 x 175 x 7,5 x 11 (fy = 410 MPa)



Gambar 12 : Lendutan

$$\begin{aligned}
 \text{Lendutan} &= L/300 > \text{Lendutan} \\
 &= 16,612/300 > 0,0176 \\
 &= 0,0553734 \text{ m} > 0,0176 \text{ m} \dots\dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

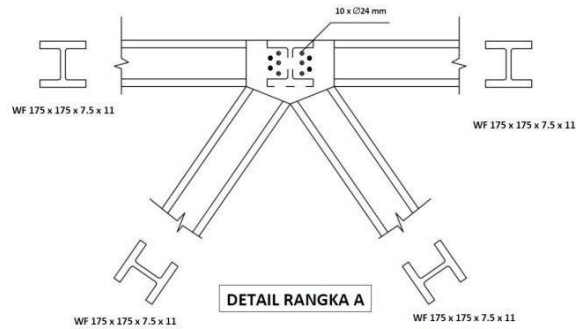
**Sambungan pada Rangka**



Gambar 13 : Penomoran Sambungan

Dengan bantuan program SAP2000 didapatkan momen, gaya geser, dan gaya aksial maksimum

Momen Maksimum = 606.061 kNm  
 Gaya Geser Maksimum = 606.061 kN  
 Gaya Aksial Maksimum = 914.156 kN  
 Dipakai baut A-325 dengan diameter 24 mm sebanyak 10 buah.

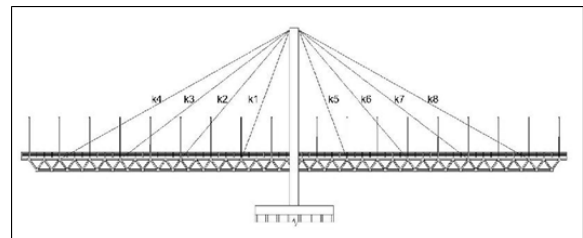


Gambar 14 : Detail Sambungan A

**Kabel**

Menggunakan Kabel ASTM 416-74 (Ø = 15,2 mm ; As = 140 mm²)

Jarak kabel antar gelagar diambil 4 x 4,153 = 16,612 m , dengan jumlah kabel 4 buah.



dari setiap sambungan sebagai berikut :

Gambar 15 : Konfigurasi Kabel

Beban total yang bekerja pada kabel  
= 27272,7543 kN

No. Kabel	$\theta$ (°)	a (m)	P (kN)	Asco	n Kabel	n Kabel (Used)	Asc (mm <sup>2</sup> )
K1	70	16.612	27272.7543	27121.26	193.72	194	27160
K2	50	33.224	27272.7543	79526.87	568.05	569	79660
K3	37	49.836	27272.7543	32484.67	232.03	233	32620
K4	29	66.448	27272.7543	31626.40	225.90	226	31640
K5	70	16.612	27272.7543	27121.26	193.72	194	27160
K6	50	33.224	27272.7543	79526.87	568.05	569	79660
K7	37	49.836	27272.7543	32484.67	232.03	233	32620
K8	29	66.448	27272.7543	31626.40	225.90	226	31640

Gambar 16 : Kebutuhan Banyaknya Kabel

### Pylon

Struktur pylon direncanakan dengan menggunakan tipe *two vertical*, dan menggunakan material beton bertulang dengan  $f_c' = 55 \text{ Mpa}$ ;  $f_y = 410 \text{ Mpa}$ .

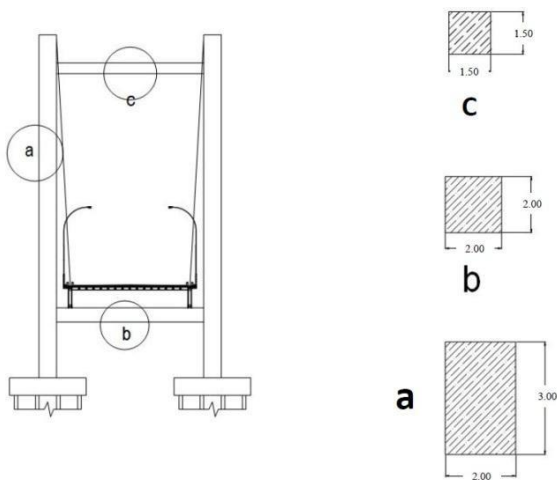
Tabel 3 : Gaya Aksial pada Pylon

No. Kabel	P (kN)	T (kN)
K1	27272.7543	27272.7543
K2	27272.7543	27272.7543
K3	27272.7543	27272.7543
K4	27272.7543	27272.7543
K5	27272.7543	27272.7543
K6	27272.7543	27272.7543
K7	27272.7543	27272.7543
K8	27272.7543	27272.7543
Total		218182.034

Tinggi pylon = 45 m

Tinggi penampang = 300 cm

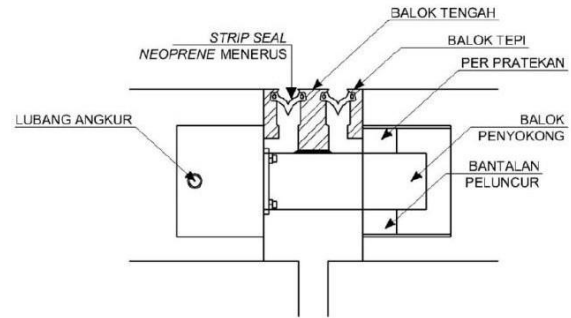
Lebar penampang = 200 cm



Gambar 17 : Dimensi Pylon

### Expansion Joint (Sambungan Siar Muai)

Dalam jembatan ini digunakan jenis sambungan siar muai *Modular Joint*.

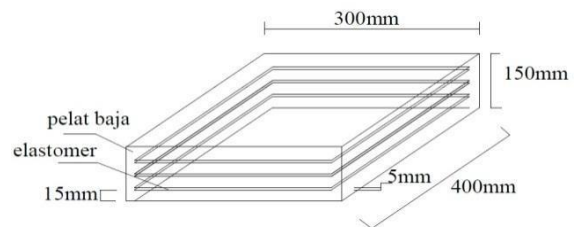


Gambar 18 : Detail sambungan siar muai tipe modular joint

### Bearing Pet (Elastomer)

Tabel 4 : Spesifikasi Elastomer

* Durometer hardness	=	70
IRHD	=	70
* Shear modulus, G	=	1,2 Mpa
* Bulk modulus, B	=	2000 Mpa
* Panjang perletak a	=	400 mm
* Lebar perletakan, b	=	300 mm
* Tebal selimut, tc	=	30 mm
* Tebal lapisan dalam, t1	=	30 mm
* Tebal pelat baja, ts	=	10 mm
* Side cover thickness, tsc	=	10 mm
* Luas daerah total karet,	=	106400 mm <sup>2</sup>
Ar	=	106400 mm <sup>2</sup>



Gambar 19 : Elastomer

## KESIMPULAN

Proses perencanaan ulang Jembatan Bacem dengan bantuan program SAP2000 menjadi lebih mudah dan cepat. Karena kemudahan serta lebih singkatnya waktu yang diperlukan maka perencanaan dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

Dengan adanya perencanaan ulang Jembatan Bacem ini diharapkan dapat memberikan alternatif desain jembatan untuk pembangunan jembatan baru jika jembatan yang ada sudah melebihi batas umur rencana.

Berikut rangkuman hasil perencanaan yang dibahas pada bab sebelumnya :

1. Pada perencanaan plat lantai kendaraan :
  - i. Tebal plat beton: 20 cm
  - ii. Dipakai tulangan :  
D13 – 100 (arah memanjang)  
(x))D10 – 100 (arah melintang)  
(y))
2. Pada perencanaan gelagar memanjang :
  - i. Dipakai profil : WF 300 x 200 x 8 x 12 ( $f_y = 410$  Mpa)
3. Pada perencanaan gelagar melintang :
  - i. Dipakai profil : WF 900 x 300 x 16 x 28 ( $f_y = 410$  Mpa)
4. Pada perencanaan sambungan pada gelagar :
  - i. Dipakai profil : L 150 x 150 x 10 ( $f_y = 410$  Mpa)
  - ii. Dipakai baut :  $\varnothing 2,54$  cm
5. Pada perencanaan *shear connector* :
  - i. Dipakasi stud :  $\varnothing 10$  mm
6. Pada perencanaan profil dek rangka baja :
  - i. Dipakai profil : WF 175 x 175 x 7,5 x 11 ( $f_y = 410$  Mpa)
7. Pada perencanaan sambungan rangka :
  - i. Dipakai baut : Tipe A-325
  - ii. Jumlah baut : 10 buah

8. Pada perencanaan kabel :
  - i. Jenis kabel : Kabel ASTM 416-74( $\varnothing 15,2$  mm)
9. Pada perencanaan *pylon* :
  - i. Tinggi *pylon* : 45 meter
10. Pada perencanaan elastomer :
  - i. Ketebalan total : 150 mm
11. Pada perencanaan *expansion joint* :
  - i. Jenis sambungan : *Modular Joint*

## SARAN

Sebelum melakukan sebuah perencanaan harus dibekali dengan pemahaman yang baik mengenai seluruh materi dan ilmu yang berkaitan tentang perencanaan tersebut.

Diharapkan akan ada banyak perencanaan ulang seperti ini lagi, supaya semakin banyak pula alternatif desain bagi pemerintah untuk pembangunan jembatan baru. Sehingga pemerintah dapat membandingkan desain manakah yang paling efektif, efisien, dan layak untuk direalisasikan menjadi Jembatan Bacem yang baru di masa yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gimsing, Niels J. 2012. *Cable Supported Bridges, Concept and Design*.
- Irawan, Redrik dan Tristanto, Lanneke. 2011. *Perencanaan Teknis Jembatan Cable Stayed*. Bandung.
- Irvine, Max. 1992. *Cable Structures*. Dover Publications New York.
- Reynold, Monang S. dan Vaza, Herry. 2006. *Optimalisasi Desain Kabel Jembatan Cable-Stayed*
- RSNI T-02- 2005, *Pembebanan Beban Angin pada Jembatan*
- RSNI-T-12-2004, *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*
- SNI-0076:2008, *Tali Kawat Baja*
- SNI-1725:2016, *Standar Pembebanan untuk Jembatan*
- SNI-2833:2016, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan Surat Edaran Direktorat Jendral Bina Marga No. 05/SE/Db/2017, Kriteria Desain Jembatan*
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor : 08/SE/M/2015, *Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel*.
- Suryadi, Bambang dan Muntohar, Agus Setyo. 2007. *Jembatan*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Beta Offset.
- Troitsky, M. S. 1977. *Cable-Stayed Bridges, Theory and Design*. Crosby Lockwood Staples, London (United Kingdom).
- Walther, R., B. Houriet, P. Isler, dan J.P. Klein, 1999. *Cable Stayed Bridges*, 2nd edition. London: Thomas Telford