

Pengaruh Variasi Mutu Baja dan Beton terhadap Lendutan dan Gaya dalam Struktur Jembatan Busur

AGIE SUGAMA¹, BERNARDINUS HERBUDIMAN², EUNEKE WIDYANINGSIH³

1. Mahasiswa Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
 2. Pengajar Fakultas Teknik, Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Email: sugamaagie@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan busur merupakan jembatan yang memiliki struktur utama setengah lingkaran di mana salah satu material pembentuknya menggunakan penampang komposit tabung baja diisi beton atau CFST (Concrete filled steel tube). Penambahan material beton ke dalam baja struktur dilakukan untuk menambah kekakuan jembatan, material baja berfungsi sebagai selimut dan bekisting yang keduanya dapat bersifat komposit. Ada 8 jenis model yang dianalisa dengan 4 model pertama memvariasikan mutu beton $f'_c = 20$ MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Sedangkan pada 4 model berikutnya memvariasikan mutu baja dengan BJ37, BJ41, BJ50, dan BJ55. Beban yang digunakan berdasarkan pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. Analisis lendutan menghasilkan nilai lendutan terbaik akibat variasi mutu beton terbesar sedangkan variasi mutu baja nilai lendutan tidak berubah. Analisis gaya dalam penampang menghasilkan nilai gaya dalam terbesar akibat variasi beton dengan mutu terbesar, sedangkan pada baja tidak berubah sehingga berdasarkan penambahan rasio terbesar gaya dalam terhadap kuat penampang pada mutu baja BJ55 memiliki penambahan 22,77818% untuk kuat aksial dan bertambah 25,8448% untuk kuat lentur dari variasi mutu baja BJ55 model 8 pada batang MA-15. Analisa perilaku jembatan terhadap gempa menghasilkan pertambahan mutu beton periode getar struktur akan mengecil tetapi tidak signifikan.

Kata Kunci: jembatan busur, CFST, variasi mutu.

ABSTRACT

Arc bridge is a bridge that has a main semicircular structure where one of the forming materials uses a composite cross-section of concrete filled steel tubes or CFST (Concrete filled steel tube). The addition of concrete material into the structure steel is done to increase the rigidity of the bridge, steel material serves as a blanket and formwork that can both be composite. There are 8 types of models analyzed with the first 4 models varying the grade of concrete $f'_c = 20$ MPa, 25 MPa, 30 MPa, and 35 MPa. While in the next 4 models vary the grade of steel with BJ37, BJ41, BJ50, and BJ55. The load used is based on SNI 1725:2016 on Loading for Bridges. Deflection analysis produces the best deflection value due to the largest variation in concrete grade while the variation in steel grade of deflection value is unchanged. The element force analysis in the cross-section resulted in the largest in force value due to the largest variation of concrete of the largest quality, while in steel it was unchanged so that based on the largest ratio of force in to cross-section strength on steel quality BJ55 had an addition of 22.77818% to the axial strength and increased by 25.8448% for the bending strength of the BJ55 model 8 steel grade variation on the MA-15 member. Analysis of bridge behavior to the earthquake resulted in an increase in the grade of concrete vibration period of the structure will be reduced but not insignificant.

Key word: arch bridge, CFST, grade variation.

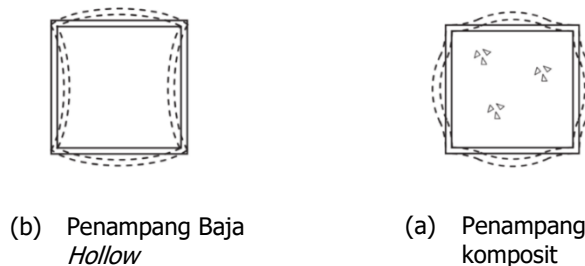
1. PENDAHULUAN

Jembatan busur merupakan jembatan unik dengan struktur setengah lingkaran yang setiap segmen bagian pada struktur pelengkung menerima gaya tekan dan menyalurkan beban-beban ke *abutment* pada kedua sisinya. Seiring berkembangnya teknologi dan perekonomian, pembangunan jembatan bentang panjang yang kuat membutuhkan teknologi baik dari aspek perencanaan, peralatan, dan material. Perkembangan jembatan tipe busur salah satunya pada aspek material dengan tabung/boks baja diisi beton atau *Concrete Filled Steel Tube (CFST)* yang bersifat komposit sehingga beton berperan penting dalam struktur komposit *CFST* dan dapat meningkatkan kekakuan yang direkomendasikan untuk jembatan yang memiliki bentang panjang.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Tabung Baja Diisi Beton (CFST)

Pipa baja diisi beton (*CFST*) terdiri dari bagian baja berongga melingkar atau persegi yang diisi oleh beton polos maupun beton bertulang, yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan yang lebih. Permasalahan tekuk baja dapat berkurang karena terdapat inti beton **Gambar 1**, sehingga dapat menangani gaya tekan yang lebih dibandingkan beton bertulang biasa.



**Gambar 1. Tekuk Pada Penampang Baja Komposit
(Sumber: G.Ranzy, 2013)**

2.2. Struktur Pelengkung

Struktur Pelengkung merupakan struktur utama yang hampir menahan seluruh beban sepanjang jembatan, tinggi fokus struktur pelengkung (f) telah disyaratkan terhadap panjang jembatan (L), yakni:

Syarat tinggi fokus :

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

Persamaan parabolik pelengkung :

$$Y_{n1} = \frac{4fX}{L^2} (L - X) \quad \dots(2)$$

dengan:

L = panjang total jembatan [m],

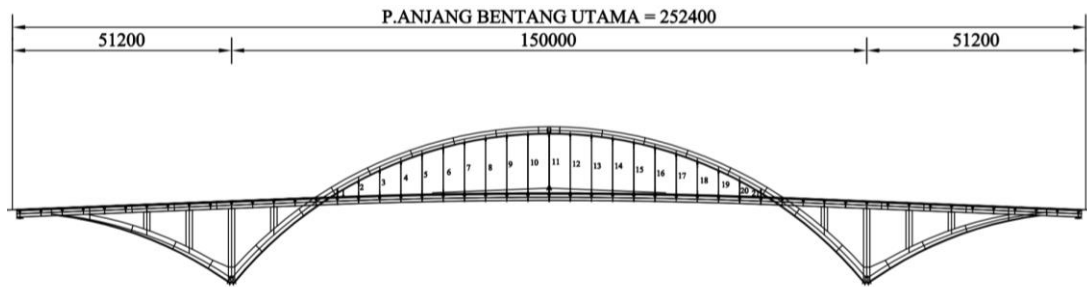
f = tinggi fokus [m],

Y_{n1} = ordinat tinggi fokus [m].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data jembatan

Data jembatan merupakan hasil DED (*Detail Engineering Design*) dengan bentuk jembatan tipe *a half through arch*



Gambar 2. Layout Jembatan Pelengkung

Analisa struktur jembatan busur dimodelkan 3 dimensi dengan *software CSI Bridge V21* dengan panjang jembatan 252,4 m; dengan 8 model variasi mutu beton dan baja dengan data sebagai berikut :

Tabel 1. Variasi Model

Model	Mutu		
	Baja		Beton
	f_y (MPa)	f_u (MPa)	f_c' (MPa)
I	210	340	20
II	210	340	25
III	210	340	30
IV	210	340	35
V	240	370	20
VI	250	410	20
VII	290	500	20
VIII	410	550	20

3.2. Analisis Data

Adapun analisis data yang dilakukan dengan *software CSI Bridge V21* sebagai berikut:

1. Lendutan (defleksi) struktur
2. Analisa Gaya dalam aksial dan lentur
3. Perilaku struktur terhadap beban gempa

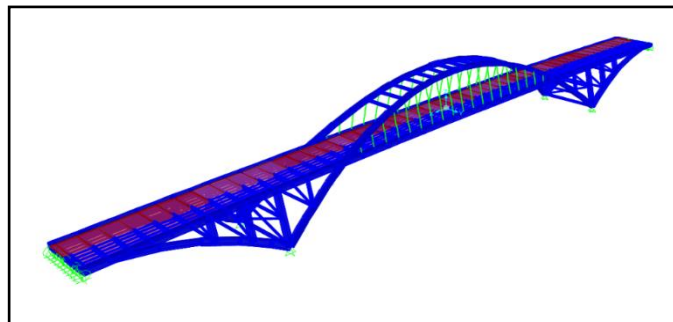
4. PEMODELAN STRUKTUR

4.1. Pembebanan

Pembebanan yang dilakukan dengan kombinasi pembebanan yang mengacu pada *SNI 1725 : 2016* yang terbagi menjadi Kuat I s/d Kuat V, Ekstrem I & Ekstrem II, Daya Layan I s/d Daya Layan IV.

4.2. Hasil dan Pembahasan

Pemodelan dimaksudkan untuk membandingkan antar model satu dengan model lainnya dari beberapa variasi untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari pemberian variasi-variasi mutu dari struktur pelengkung terhadap gaya dalam dan lendutan.



Gambar 3. Model Struktur

4.3. Defleksi Struktur

Nilai defleksi struktur terhadap beban yang telah disyaratkan pada *SNI 1725 : 2016* Pembebanan untuk jembatan. Lendutan yang terjadi merupakan akibat kombinasi beban Daya Layan 1 sampai Daya Layan 4 yang digunakan sebagai acuan yaitu Daya Layan 2 karena memberikan nilai lendutan terbesar untuk semua model

Tabel 2. Hasil Analisis Nilai Defleksi Struktur Terhadap Variasi Mutu Beton

Comb	Lendutan [mm]							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Lengkung	Girder	Lengkung	Girder	Lengkung	Girder	Lengkung	Girder
Layan II	70,65	114,211	68,48	112,079	66,66	110,294	65,10	108,759

Tabel 3. Hasil Analisis Nilai Defleksi Struktur Terhadap Variasi Mutu Baja

Comb	Lendutan [mm]							
	Model 5		Model 6		Model 7		Model 8	
	Lengkung	Girder	Lengkung	Girder	Lengkung	Girder	Lengkung	Girder
Layan II	70,65	114,211	70,65	114,211	70,65	114,211	70,65	114,211

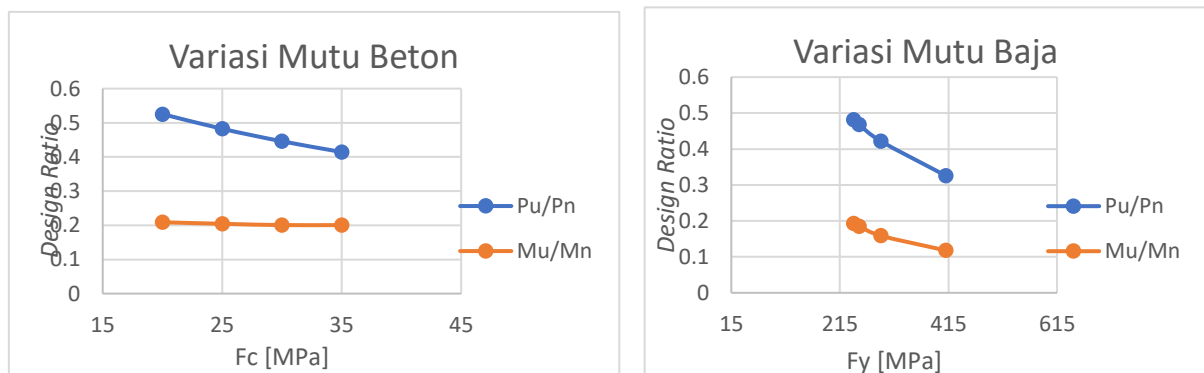
Lendutan yang terjadi pada seluruh model berada dalam batas aman yaitu lebih rendah dari defleksi maksimum yang diizinkan yakni 252,4 mm. Lendutan yang terjadi pada model 4 memiliki nilai yang terbesar pada model dengan mutu variasi beton, sementara pada pengaruh variasi baja defleksi yang terjadi konstan.

4.4. Gaya Aksial dan Lentur

Hasil-hasil analisis pemodelan berdasarkan gaya dalam aksial dan momen disajikan dalam bentuk tabelaris, dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 4. Gaya Dalam Aksial Elemen MA-15

Model	Kombinasi	Gaya Dalam	
		Aksial [kN]	Momen [kNm]
1	Kuat 1	-44.328,627	-12.390,507
2		-44.334,425	-12.477,133
3		-44.339,099	-12.553,449
4		-44.342,976	-12.622,021
5		-44.328,627	-12.390,507
6		-44.328,627	-12.390,507
7		-44.328,627	-12.390,507
8		-44.328,627	-12.390,507



Gambar 4. Pengaruh Mutu Terhadap *Design Ratio* Elemen MA-15

Tabel 5. Periode Getar Struktur

Model	Periode (detik)	T_0	T_s
1	2,520847	0,183625	0,918123
2	2,502204		
3	2,486011		
4	2,471635		
5	2,520847		
6	2,520847		
7	2,520847		
8	2,520847		

Penampang bagian lengkung pada batang MA-15 mengalami gaya dalam aksial dan momen terbesar. Terjadi akibat kombinasi kuat 1. Gaya dalam yang terjadi dengan nilai terbesar terdapat pada model 4 mutu variasi beton yang terjadi pada elemen lengkung MA-15. Berdasarkan grafik pengaruh mutu baja terhadap *design ratio* elemen MA-15 **Gambar 8** menunjukkan perubahan nilai antara aksial dan lenturnya terjadi perubahan rasio yang ekstrim dibandingkan grafik dari model variasi mutu beton. Sementara pada perilaku struktur periode getar alami struktur tidak terdapat perbedaan yang terlalu jauh.

5. KESIMPULAN

1. Nilai defleksi terbesar terjadi pada model 1 dengan $f_c' = 20$ MPa dan BJ34 dengan besar defleksi 114,2113 mm, dan nilai terkecil terjadi pada model 4 dengan $f_c' = 35$ MPa dan BJ34, pada model dengan variasi mutu baja nilai lendutan tidak berubah, sehingga penambahan mutu beton disarankan karena dapat memperkecil nilai defleksi disebabkan kekakuan material yang meningkat.
2. Tinjauan lendutan terbesar pada model 1 masih berada dalam batas aman, dimana lendutan yang terjadi bernilai 114,2113 mm lebih kecil dari batas lendutan ijin 252,4 mm.
3. Model 8 nilai aksial -160020 kN dan momen 123647,9 kNm merupakan nilai tertinggi dari keseluruhan model. Besar kuat penampang gaya aksial dan momen seiring bertambahnya mutu pada model-model variasi akan meningkat, dimana pada peningkatan gaya aksial dan momen terbesar terjadi pada model variasi mutu baja sehingga peningkatan mutu baja lebih disarankan karena peningkatan kuat lentur yang signifikan terlihat dalam grafik pengaruh mutu terhadap *design ratio*.
4. Dari grafik interaksi P-M penampang biaksial *ratio design* terbesar terjadi pada model 1 dengan nilai 0,525399 untuk gaya aksial dan 0,208895 untuk gaya momen, *ratio design* terkecil terdapat pada model 8 dengan nilai 0,325905 untuk gaya aksial dan 0,117892 untuk gaya momen yang menunjukkan bahwa pertambahan rasio desain lebih dipengaruhi oleh peningkatan mutu baja.
5. Periode struktur dari model variasi tidak terjadi perbedaan yang signifikan, dimana pada model peningkatan mutu beton mendapatkan periode alami struktur terkecil 2,471635 detik pada model 4, sedangkan pada peningkatan mutu baja tidak memberikan pengaruh terhadap perilaku dinamis struktur.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2016). *Standar Nasional Indonesia tentang Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725 : 2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (2005). *RSNI 03-T:2005 Standar Nasional Indonesia Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muntohar (2007). *Jembatan*, Yogyakarta. Beta Offset.
- Tristanto, Lanneke dan R. Irawan (2010). *Kajian Dasar Perencanaan dan Pelaksanaan Jembatan Pelengkung Beton*. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Ranzi, G., Leoni, G., & Zandonini, R. (2013). *State of the art on the time-dependent behaviour of composite steel-concrete structures*. Australia: University of Sydney, 255.