

ANALISIS DEFORMASI DAN TEGANGAN PADA *BASCULE BRIDGE* AKIBAT PENGARUH SUDUT ANGKAT JEMBATAN

Dahniel¹ dan FX Supartono²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Dahniel.325160109@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
fxsupartono@gmail.com

Masuk: 03-07-2020, revisi: 08-07-2020, diterima untuk diterbitkan: 04-08-2020

ABSTRACT

The earth is facing a big problem of global warming that makes the polar ice melt and increase the water level, also reduce the land area. In overcoming this problem, we need an access that connects land transportation and also sea transportation, moving bridges are a solution to overcome these problems. Moving bridges have many types, one of which is the bascule bridge, the bascule bridge is a moving bridge that moves vertically and horizontally to provide access to sea and land vehicles. This bascule bridge uses truss which is usually used for railroad lines, but this time the bridge is for wheeled vehicles. The bascule bridge model was created using the Midas Civil program using steel wand truss that moves vertically with angles of 0°, 30°, 45°, 60°. The results of the analysis using the Midas Civil program show that for wheeled vehicle lines, the truss type bascule bridge can be used with the provisions as in this study by holding stress and deflection due to dead load and live load.

Keywords: bascule bridge; truss; stress; deflection; midas civil

ABSTRAK

Bumi sedang menghadapi masalah pemanasan global yang besar sehingga membuat es di kutub mencair dan menambah tinggi muka air, juga mengurangi luas daratan. Dalam mengatasi masalah tersebut dibutuhkan suatu akses yang menghubungkan transportasi darat dan juga transportasi laut, jembatan bergerak merupakan solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Jembatan bergerak memiliki banyak jenis, salah satunya adalah jembatan bascule, jembatan bascule adalah jembatan bergerak yang bergerak arah vertikal dan horizontal untuk memberikan akses kendaraan laut dan darat. Jembatan bascule ini menggunakan rangka batang yang biasanya digunakan untuk jalur kereta api, tetapi jembatan kali ini untuk jalur kendaraan beroda. Model Jembatan bascule dibuat dengan menggunakan program Midas Civil menggunakan wizard rangka batang yang bergerak vertikal dengan sudut 0°, 30°, 45°, 60°. Hasil dari analisis menggunakan program Midas Civil menunjukkan bahwa untuk jalur kendaraan beroda, jembatan bascule tipe rangka batang bisa digunakan dengan ketentuan seperti dalam penelitian ini dengan menahan tegangan dan defleksi akibat beban mati dan beban hidup.

Kata kunci: jembatan *bascule*; rangka batang; tegangan; defleksi; midas civil

1. PENDAHULUAN

Sejak dulu bumi kita selalu mengalami masalah, salah satunya adalah pemanasan global. Pemanasan global yang diakibatkan oleh manusia tentu memiliki dampak negatif, yaitu menyebabkan es di kutub utara dan selatan semakin lama mencair dan menyebabkan naiknya tinggi muka air dan berkurangnya lahan daratan. Hal tersebut tentu berdampak pada transportasi, maka dengan itu diperlukan suatu benda yang dapat membantu jalannya proses transportasi darat dan laut yaitu dengan jembatan bergerak. Jembatan bergerak memiliki banyak jenisnya, salah satunya adalah jembatan *bascule*.

Jembatan *bascule* adalah jembatan bergerak yang memiliki satu atau dua bentangan yang dapat membuka ke atas atau ke samping. Jembatan *bascule* merupakan sebuah jembatan gantung modern yang sudah ada dari abad pertengahan dan merupakan jembatan yang paling umum diterapkan saat ini, yaitu sekitar 60 persen dari semua jembatan yang dapat bergerak di seluruh dunia (Koglin, 2003). Jembatan *bascule* memiliki banyak jenis juga, salah satunya adalah jembatan *bascule* rangka batang. Jembatan *bascule* rangka batang biasanya digunakan untuk jalur kereta api, tetapi penelitian kali ini akan digunakan untuk lajur kendaraan beroda. Gambar 1 merupakan salah satu contoh dari jembatan *Bascule* yang ada di India dengan nama Pamban *Bridge*.



Gambar 1. Jembatan *Bascule* Pamban-India (Sumber: Nadu, 2020)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jembatan ini bisa digunakan sebagai jembatan *bascule* untuk kendaraan beroda dari segi deformasi dan tegangan yang terjadi pada jembatan dengan variasi sudut angkat 0° , 30° , 45° dan 60° .

Teori

Jembatan *bascule* adalah jembatan bergerak yang dapat bergerak ke arah vertikal dan horizontal. Jembatan *Bascule* adalah sebuah jembatan gantung modern yang sudah ada dari abad pertengahan dan merupakan jembatan yang paling umum diterapkan saat ini, yaitu sekitar 60 persen dari semua jembatan yang dapat bergerak di seluruh dunia (Koglin, 2003).

Dalam membuat penelitian ini tentu harus berpacu pada rumus-rumus yang sudah ada supaya jembatan menjadi kuat yaitu

Tegangan

Tegangan merupakan perbandingan antara gaya tarik yang bekerja terhadap luas penampang luas penampang benda (Segui, 2013). Tegangan pada sebuah batang dapat dicari dengan rumus:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Tegangan pada gabungan batang dengan tambahan pengaku atau penampang komposit adalah dengan rumus,

$$\sigma = \frac{Mxy}{I_{gab}} \quad (2)$$

Dengan σ = tegangan (N/mm^2), F = gaya tarik (N), A = luas penampang (mm^2), M = momen akibat gaya luar (Nmm), Y = ketinggian batas penampang (mm), I_{gab} = penampang gabungan (mm^4).

Batasan tegangan akibat beban layan yang digunakan untuk baja adalah $0,66 F_y$ (SNI 1729:2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, Lamp. 3).

Deformasi

Deformasi adalah suatu perubahan bentuk yang terjadi pada suatu batang. Deformasi mempunyai batasan yang digunakan (RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan) yaitu

- Geometrik dari penampang harus direncanakan untuk melawan lendutan akibat pengaruh tetap sehingga sisa lendutan (positif atau negative) masih dalam batas yang dapat diterima.
- Agar lendutan tidak mengganggu tampak dari struktur, lendutan akibat pengaruh tetap yang diberikan pada peraturan pembebanan untuk jembatan jalan raya harus sedemikian sehingga pada bagian tengah bentang tidak melebihi $1/300$ bentang dan tidak terjadi lendutan.
- Lendutan akibat beban rencana untuk daya layan pada peraturan pembebanan untuk jembatan jalan raya tidak melampaui $1/250$ bentang.
- Lendutan akibat beban hidup layan termasuk kejut harus dalam batas yang sesuai dengan struktur dan kegunaannya. Kecuali dilakukan penyelidikan lebih lanjut dan tidak melampaui $L/800$ untuk bentang dan $L/400$ untuk kantilever.

Pembebanan

Pembebanan yang terdapat pada jembatan ini beban gravitasi dan temperatur. Pembebanan dilakukan dengan kombinasi pembebanan yang berdasarkan SNI 1725:2016 Pembebanan Pada Jembatan.

- Beban Mati

Berat sendiri adalah berat dari elemen-elemen dan struktur lain yang harus dipikul, termasuk berat bahan, bagian jembatan elemen struktural dan elemen non-struktural. Nilai koefien faktor beban untuk berat sendiri dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Faktor beban untuk berat sendiri (Sumber: SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)		
	Bahan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

- Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang merupakan beban pada jembatan tetapi bukan merupakan elemen nonstructural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Umumnya beban mati tambahan dapat berupa kanstin, pagar pengaman, pembatas jalan, aspal, dan lain-lain. Semua alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus diperhitungkan seperti berat pipa untuk saluran air bersih, dan air kotor. Berikut ini adalah faktor beban untuk beban mati tambahan. Nilai koefien faktor beban untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel 2.

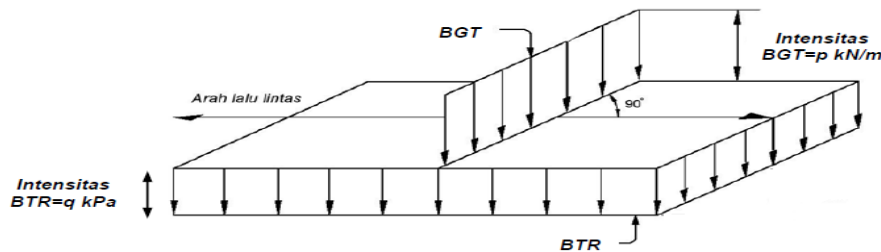
Tabel 2. Faktor beban untuk beban mati tambahan (Sumber: SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)		
	Keadaan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan ⁽¹⁾: Faktor beban layan sebesar 1.3 digunakan untuk berat utilitas

- Beban Lalu Lintas

- Beban lalu lintas terdiri dari beban lajur “D” yaitu beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) dan beban truk. Gambar 2 menunjukkan arah BTR dan BGT pada jembatan.



Gambar 2. Beban lajur “D” (Sumber: SNI 1725:2016)

Intensitas beban terbagi rata (BTR) adalah

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9.0 \text{ kPa} \tag{3}$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \tag{4}$$

Intensitas beban garis terpusat (BGT) p adalah 49 KN/m

Nilai koefisien faktor beban untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada tabel 3.

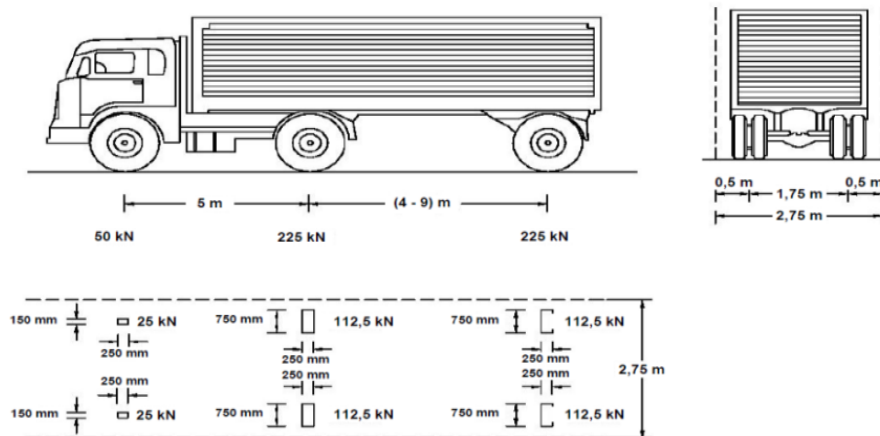
Tabel 3. Faktor beban lajur “D” (Sumber: SNI 1725:2016)

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

- o Beban truk tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban lajur “D”. Beban truk bisa dilakukan pada perhitungan struktur lantai. Berikut ini adalah faktor beban dan pembebanan gaya truk. Nilai koefisien faktor beban untuk beban truk bisa dilihat pada tabel 4. Gambar 3 menunjukkan jarak dan besar beban truk yang digunakan pada jembatan.

Tabel 4. Faktor beban truk (Sumber: SNI 1725:2016)

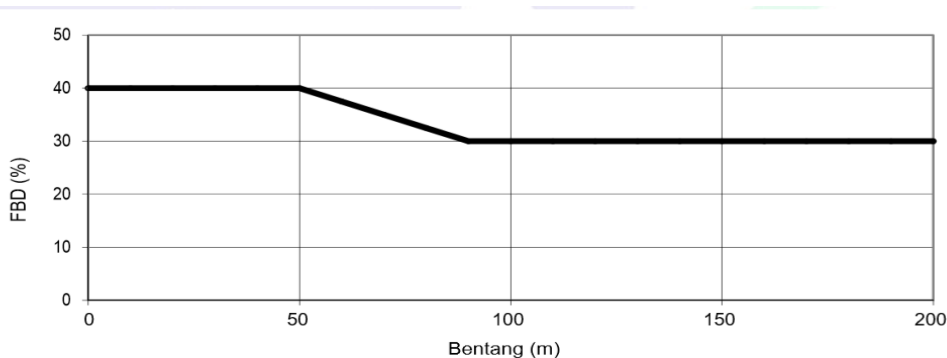
Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00



Gambar 3. Pembebanan untuk truk (Sumber: SNI 1725:2016)

- Faktor Beban Dinamis (FBD)

Faktor beban dinamis adalah hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Faktor beban dinamis yang berlaku pada beban lajur “D” adalah beban garis terpusat (BGT) saja. Faktor beban dinamis untuk beban truk adalah 30%. Gambar 4 menunjukkan besarnya nilai FBD beban BGT berdasarkan bentang jembatan.



Gambar 4. Faktor beban dinamis beban BGT (Sumber: SNI 1725:2016)

- Beban Temperatur

Beban temperatur akan mempengaruhi deformasi yang terjadi pada jembatan. Beban temperatur ini digunakan untuk lantai kendaraan. Beban temperatur dibagi menjadi dua yaitu beban temperatur merata (EUn) dan beban temperatur gradien (EG).

- Temperatur merata (EUn) bertujuan untuk menghitung beban akibat pengekangan dari pergerakan pada temperatur. Nilai temperatur jembatan rata-rata minimum dan maximum temperatur merata dapat dilihat pada Tabel 5.

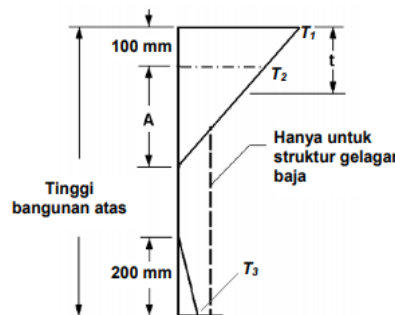
Tabel 5. Temperatur jembatan rata-rata nominal (Sumber: SNI 1725:2016)

Tipe Bangunan Atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai baja di atas gelagar atau rangka baja	15°C	45°C

Catatan (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.

- Temperatur Gradien (EG)

Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung oleh sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan pada malam hari. Gambar 5 menunjukkan jarak suhu yang digunakan untuk memasukkan beban gradien. Nilai suhu parameter T_1 , T_2 , dan T_3 yang terdapat pada gambar 5 dapat dilihat pada tabel 6.



Gambar 5. Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja (Sumber: SNI 1725:2016)

Tabel 6. Parameter T_1 , T_2 , dan T_3 (Sumber: SNI 1725:2016)

Lokasi Jembatan	T_1 (°C)	T_2 (°C)	T_3 (°C)
< 500 m di atas permukaan laut	12	8	$0 \leq T_3 < 5$
> 500 m di atas permukaan laut	17	11	

Nilai T_3 dapat diambil sebesar 0 kecuali bila dilakukan kajian spesifik situs, tetapi nilai $T_3 < 5$

Temperatur gradien melintang dapat dilihat dari gambar 5 dengan data sebagai berikut:

1. Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar sebesar 400 mm atau lebih nilai A sama dengan 200 mm.
2. Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar lebih rendah dari 400 mm nilai A diambil lebih kecil dari 100 mm dari tinggi actual.
3. Untuk bangunan atas terbuat dari baja, nilai A diambil sebesar 200 mm dan jarak t diambil sebagai ketebalan pelat lantai.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian adalah proses atau cara ilmiah untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk keperluan penelitian. Pada penelitian mengenai jembatan *bascule*, penulis melakukan studi literatur untuk memperoleh data-data yang diperlukan yang selanjutnya akan digunakan pada proses perancangan dan analisis.

Sumber acuan

Penelitian ini memiliki sumber acuan yang digunakan untuk proses perhitungan dan analisis, sumber-sumber tersebut adalah:

- SNI 1725 : 2016 Pembebanan Untuk Jembatan
- SNI 2847 : 2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
- SNI 1729 : 2015 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja
- RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan
- AASHTO LRFD 2016

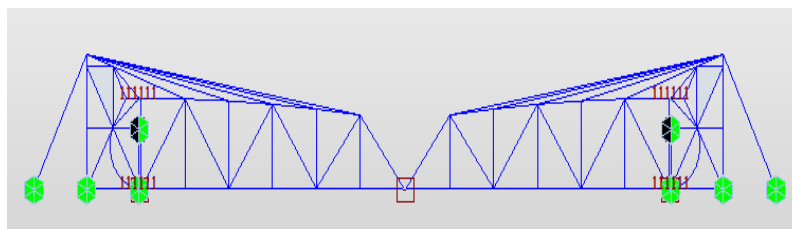
Penelitian ini berdasarkan pada jembatan *bascule* Pamban-India, tetapi ukuran dan pembebanannya yang diubah mengarah pada tujuan penelitian ini sendiri. Data-data jembatan tidak diambil dari jembatan *bascule* Pamban-India, tetapi diasumsikan sendiri yang mendekati pada jembatan yang sebenarnya.

Data penelitian

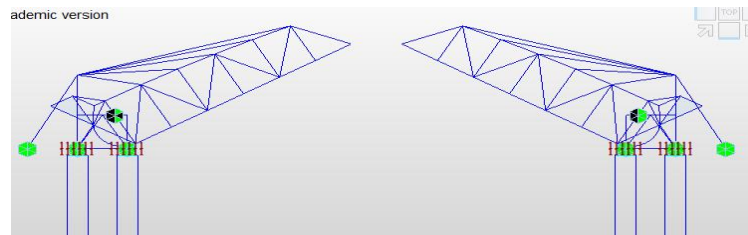
Data-data yang digunakan dalam penelitian, adalah

- Bahan jembatan : Struktur baja
- Panjang bentang : 60 m
- Lebar jembatan : 7,5 m
- Lebar lantai kendaraan : 2 x 2,75 m (2 arah)
- Lebar bahu jalan : 2 x 1 m
- Ketinggian jembatan dari muka air : 6 m
- Kedalaman air : 12 m
- Tanah keras dari muka air : 20 m
- Tebal pelat : 0,22 m ($F'c = 25 \text{ MPa}$)
- Jenis pondasi : Bor *pile*
- Diameter pondasi : 1 m
- Mutu pondasi : 35 MPa
- Panjang pondasi dari jembatan : 26 m
- Jenis *pile cap* depan : 4,5 x 4,5 m
- Tebal *pile cap* : 1 m

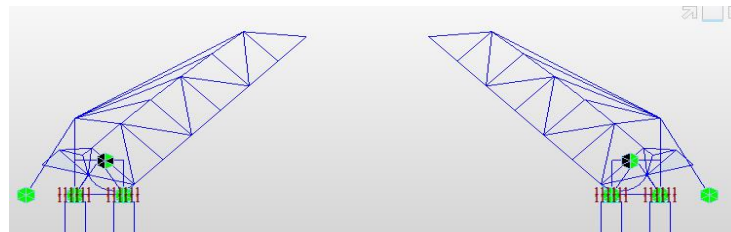
Permodelan dianalisis dalam 4 model yaitu ketika jembatan berada pada sudut 0° , 30° , 45° , dan 60° . Gambar 6, gambar 7, gambar 8, dan gambar 9 menunjukkan model 2D jembatan *bascule* sudut 0° , 30° , 45° , dan 60° . Gambar 10 menunjukkan model 3D jembatan *bascule* sudut 0° .



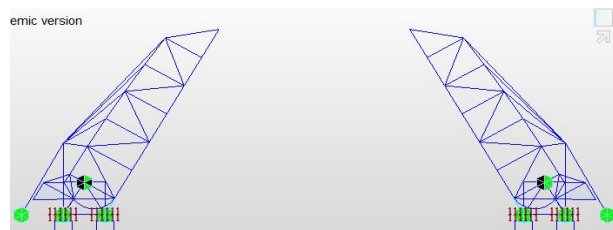
Gambar 6. Jembatan *Bascule* 0° (Sumber: Midasindo Teknik Utama, 2020)



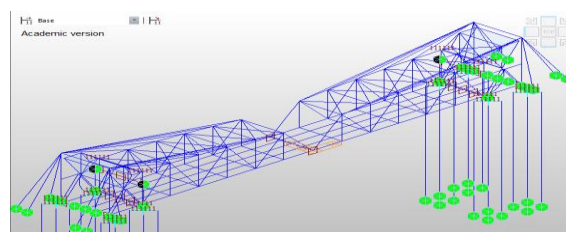
Gambar 7. Jembatan *Bascule* 30° (Sumber: Midasindo Teknik Utama, 2020)



Gambar 8. Jembatan *Bascule* 45° (Sumber: Midasindo Teknik Utama, 2020)



Gambar 9. Jembatan *Bascule* 60° (Sumber: Midasindo Teknik Utama, 2020)



Gambar 10. Jembatan *Bascule* 3D 0° (Sumber: Midasindo Teknik Utama, 2020)

Profil struktur

Profil struktur pertama kali digunakan adalah dengan mengasumsikan ukurannya. Untuk ukuran yang digunakan lebih jelasnya ada pada hasil dan pembahasan.

Perletakan

Berikut ini adalah asumsi-asumsi yang digunakan dalam memodelkan struktur jembatan *bascule* ini,

- Struktur bawah tidak diperhitungkan sehingga perletakan jepit di modelkan di *pile cap* dan permukaan tanah.
- Poros pada *abutment* jembatan itu sebenarnya adalah mesin yang dapat bergerak (rotasi dan horizontal) sehingga dimodelkan sebagai *elastic rigid link*.
- *Elastic Link* juga digunakan pada *abutment* ke rangka batang seolah-olah seperti kabel yang menarik itu sebagai pengganti dari tugas poros pada *abutment* yang bisa berotasi.
- Poros pada *abutment* juga yang menghubungkan rangka batang menuju ke tanah dasar, maka dengan itu diberikat perletakan sendi.

Pembebanan

Pembebanan yang digunakan dalam permodelan jembatan ini hanya beban gravitasi saja,

- Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri baja dan berat pelat beton.

$$\begin{aligned} Q \text{ Pelat} &= A \text{ beton} \times \text{berat jenis beton} \\ &= 0,22 \text{ m} \times 7,5 \text{ m} \times 24 \text{ KN/m}^3 \\ &= 39,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$Q \text{ Baja} = 51307,19697 \text{ kN}$$

- Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan terdiri dari aspal, *railing* dan *curb*.

$$\begin{aligned} Q \text{ Aspal} &= \text{berat aspal} \times \text{lebar aspal} \times \text{tinggi aspal} / \text{jumlah penopang} \\ &= 21 \text{ kN/m}^3 \times 5.5 \text{ m} \times 0.22 \text{ m} / 5 \\ &= 5,082 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ Railing} + \text{curb} &= 2 \times (\text{berat railing} + B_j \text{ beton} \times \text{tinggi curb} \times \text{lebar bahu jalan}) / \text{jumlah penopang} \\ &= 2 \times (0,5 \text{ kN/m} + 24 \text{ kN/m}^3 \times 0,25 \text{ m} \times 1 \text{ m}) / 5 \\ &= 2,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas dibagi menjadi dua yaitu beban garis dan truk. Beban garis dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu beban garis terpusat (BGT) dan beban terbagi rata (BTR)

$$Q \text{ BTR} = 9 \text{ kPa (Jika } L \leq 30 \text{ m)}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ BGT} &= 49 \text{ kN/m} + \text{Faktor Beban Dinamis} \\ &= 49 + 40\% \times 49 \\ &= 68,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban Temperatur

Beban temperatur dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu beban temperatur merata dan gradien.

Suhu beban temperatur merata yang digunakan adalah 20°C dan 45°C

Tabel 7 menunjukkan nilai temperatur gradien yang digunakan pada permodelan jembatan.

Tabel 7. Temperatur gradien

No.	Ref.	B	H1 (m)	H2 (m)	T1 (°C)	T2 (°C)
1	Top	<i>Section</i>	0	0,1	12	8
2	Top	<i>Section</i>	0,1	0,3	8	0
3	<i>Bottom</i>	<i>Section</i>	0	0,2	3	0

- Gaya *Pretention*
Kabel yang digunakan pada permodelan menggunakan gaya *pretention* dengan nilai 1 KN.
- Beban Kombinasi

Beban kombinasi yang digunakan dalam permodelan ini adalah beban layan untuk tegangan dan LRFD untuk kapasitas penampang yang berdasarkan pada AASHTO LRFD 2016. Tabel 8 menunjukkan variabel dari beban kombinasi yang digunakan pada jembatan.

Tabel 8. Beban kombinasi

Jenis	Self Weight	SDL	Live Load	Uniform Temp. Raise	Uniform Temp. Fall	Temp. Gradien	Pretension Load
Layan	1	1	1	1	1	1	1
Ultimate	1,1	2		1.2	1.2	1.2	1
Kuat 1	1,1	2	1,8	1.2	1.2	1.2	1
Ekstrim 2	1,1	2	0,5				1
Layan 2	1	1	1,3	1	1	1	1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada buku *Steel Design* dari William T. Segui yang berasal dari AASHTO LRFD 2012.

Profil struktur

Setelah struktur secara keseluruhan dijalankan dengan program *Midas Civil 2020*, ditemukan ketidakkuatan dari profil struktur baja maka dengan itu profil dicoba dengan metode *trial & error* untuk mendapat ukuran profil yang kuat. Tabel 9 menunjukkan profil-profil yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini.

Tabel 9. Profil struktur

Jenis	Profil (mm)
<i>Abutment</i>	WF 600 x 300
<i>Stiffener Belakang</i>	WF 498 x 432
<i>Cross Beam</i>	WF 900 x 300
Balok Tepi Bawah	WF 918 x 303
Balok Tepi Atas	WF 450 x 300
Rangka Batang	WF 428 x 407
Komposit	WF 498 x 432
<i>PanamaWheel</i>	WF 498 x 432
<i>Stiffener Atas</i>	WF 400 x 300
<i>Crossbeam Atas</i>	WF 300 x 200
<i>Bracing</i>	WF 250 x 175
<i>Stiffener Abutment</i>	WF 300 x 200
<i>Cable</i>	SR 160

Hasil analisis

Tabel 10 menunjukkan menunjukkan deformasi maximum yang terjadi dan batas lendutan pada jembatan dengan berbagai kombinasi beban dan sudut angkat jembatan,

Tabel 10. Deformasi pada jembatan

Deformasi (mm)	Deformasi Max (mm)	Lendutan Izin (mm)
Layan Sudut 0°	-77	+/- 120
<i>Live Load</i> Sudut 0°	-47,86	+/- 75
<i>Dead Load</i> + Temp Sudut 0°	-29	+/- 120
<i>Dead Load</i> + Temp Sudut 30°	-14	+/- 120
<i>Dead Load</i> + Temp Sudut 45°	-4	+/- 120
<i>Dead Load</i> + Temp Sudut 60°	-2	+/- 120

Keterangan: - adalah deformasi turun

+ adalah deformasi naik

Tegangan balok yang terjadi pada jembatan akibat beban mati dan temperatur diberbagai sudut angkat jembatan dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Tegangan pada balok

Tegangan Balok <i>Dead Load</i> + Temperatur (MPa)	Sudut 0°	Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 60°	MAX
<i>Cross Beam</i>	-40,4	-93,2	-115	-131	-131
	32,2	55,5	74,3	98,5	98,5
<i>Stiffener Belakang</i>	-37,4	-19,2	-11,2	-20,2	-37,4
	24,6	10,1	12	28,1	28,1
<i>Abutment</i>	-13,1	-19,2	-17,2	-27,9	-27,9
	1,55	17,7	27	14,1	27
<i>Panamawheel</i>	-10,2	-41,9	-52,1	-75	-75
	0,437	3,55	5,1	5,67	5,67
Komposit	-20,9	-14,5	-18,5	-21,6	-21,6
	2,48	0,98	0,753	0,59	2,48

Tegangan elemen *truss* yang terjadi pada jembatan akibat beban mati dan temperatur dengan berbagai sudut angkat jembatan dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Tegangan pada *truss*

Tegangan <i>Truss Dead Load</i> + Temperatur (MPa)	Sudut 0°	Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 60°	MAX
Rangka Batang	-19,19	-24,82	-20,11	-14,41	-24,82
	18,98	23,21	39,07	54,01	54,01
Tepi Bawah	-135,7	-32,11	-29,02	-23,94	-135,7
	115,7	12,13	18,37	25,11	115,7
Tepi Atas	-10,34	-0,4872	-2,921	-1,007	-10,34
	16,62	78,86	74,71	87,23	87,23
<i>Bracing</i>	-2,645	-0,7517	-0,1017	-0,1715	-2,645
	4,5	16,19	12,48	14,27	16,19
<i>Stiffener Atas</i>	0	-1,77	-41,26	-83,75	-83,75
	8,874	21,28	13,71	3,524	21,28
<i>Stiffener Abutment</i>	-6,624	-15,37	-12,98	-0,1925	-15,37
	6,116	18,17	29,91	53,27	53,27
<i>Cross Beam Atas</i>	-2,531	-13,43	-13,56	-12,41	-13,56
	1,184	0,1281	0,5399	0,1999	1,184

Besar gaya yang terjadi pada rangka batang dengan berbagai kombinasi beban dan sudut angkat jembatan dapat dilihat pada tabel 13. Penomoran gaya yang digunakan pada tabel 13 dan tabel 14 dapat dilihat gambar 11

Tabel 13. Gaya pada rangka batang

Gaya (kN)	Layan Sudut 0°	Live Load Sudut 0°	Dead Load + Temp. Sudut 0°	Dead Load + Temp. Sudut 30°	Dead Load + Temp. Sudut 45°	Dead Load + Temp. Sudut 60°
Horizontal Bawah						
a	-3954,4012	735,0382	-4689,4395	-62,2127	-59,905	-117,7229
b	-3743,2857	740,063	-4483,3488	-69,3594	-79,648	-140,3141
c	-4750,666	16,7619	-4767,4282	-469,044	-435,0986	-426,6371
d	-4601,885	27,2536	-4629,1386	-480,1787	-458,7862	-457,2822
e	-6028,3954	-770,8318	-5257,5636	-1219,3959	-1087,7895	-905,0083
f	-5949,6848	-765,5331	-5184,1517	-1243,7112	-1123,9768	-950,8599
Horizontal Atas						
g	320,4708	260,0071	60,4637	99,3747	104,0762	126,1314
h	-248,19	-89,0893	-159,1006	11,8014	44,9556	75,923
i	398,185	250,4964	147,6893	448,7611	395,0374	302,7419
j	-337,54	-190,4028	-147,1374	381,4173	329,0587	231,297
k	253,5825	-2,2137	255,7962	1202,0831	993,2517	634,9357
Diagonal dan tegak						
l	572,263	425,9091	146,354	100,2392	78,6338	168,2948
m	288,2995	166,6585	121,6409	112,3994	90,7263	-25,2071
n	-810,4767	-535,8182	-274,6585	-220,6713	-182,5668	-119,3067
o	36,5659	28,5462	8,0196	5,2892	-0,0514	-2,9229
p	1142,9247	667,1964	475,7282	401,6723	334,9901	268,6637
q	271,5264	132,6312	138,8952	131,5344	106,8173	19,8219
r	-1274,3216	-698,4614	-575,8602	-521,7106	-430,6151	-269,9953
s	135,2348	87,8312	47,4035	9,9529	13,9792	17,2598
t	1414,8716	709,81	705,0615	717,2848	582,6435	403,4243
u	129,1396	55,0352	74,1044	121,0302	99,5578	-12,0115
v	-1236,4133	-564,8487	-671,5646	-860,6882	-700,9391	-393,3753
Gaya Kabel						
aa	552,6964	346,0809	206,6154	94,8574	44,0315	34,1674
bb	607,4721	372,5714	234,9006	88,5069	51,1072	37,4238
cc	745,7096	447,9962	297,7133	77,4108	66,4762	53,2089
dd	797,1018	476,0169	321,0848	70,7484	66,635	66,7441
ee	914,0994	545,6966	368,4027	12,4752	17,8303	6,3699

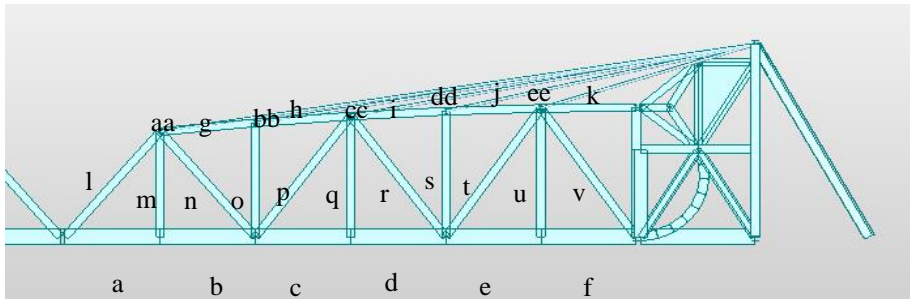
Besar tegangan yang terjadi pada jembatan dengan berbagai kombinasi beban dan sudut angkat jembatan dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14. Tegangan pada rangka batang

Tegangan (MPa)	Layan Sudut 0°	Live Load Sudut 0°	Dead Load + Temp. Sudut 0°	Dead Load + Temp. Sudut 30°	Dead Load + Temp. Sudut 45°	Dead Load + Temp. Sudut 60°
Horizontal Bawah						
a	-102,075	18,9736	-121,049	-1,6059	-1,54633	-3,03879
b	-96,6259	19,1033	-115,729	-1,79038	-2,05596	-3,62194
c	-122,629	0,4326	-123,062	-12,1075	-11,2312	-11,0128
d	-118,789	0,7035	-119,492	-12,3949	-11,8427	-11,8039
e	-155,612	-19,8975	-135,714	-31,4764	-28,0792	-23,3611
f	-153,58	-19,7607	-133,819	-32,1041	-29,0133	-24,5447
Horizontal Atas						
g	20,82331	16,8945	3,928765	6,457096	6,762586	8,195673
h	-16,1267	-5,7887	-10,3379	0,766823	2,921092	4,933268
i	25,87297	16,2765	9,596446	29,15927	25,66845	19,67134
j	-21,9324	-12,3718	-9,56058	24,78345	21,38133	15,02904
k	16,4771	-0,1438	16,62094	78,10806	64,53877	41,25638
Diagonal dan tegak						
l	10,82601	8,0573	2,76871	1,896315	1,487586	3,183784
m	5,45402	3,1528	2,30119	2,12636	1,716351	-0,47687
n	-15,3325	-10,1365	-5,19596	-4,17464	-3,45378	-2,25703
o	0,69175	0,54	0,151714	0,100061	-0,00097	-0,0553
p	21,62173	12,6219	8,999777	7,598795	6,337308	5,082552
q	5,136708	2,5091	2,627605	2,488354	2,020759	0,374989
r	-24,1075	-13,2134	-10,8941	-9,86967	-8,14633	-5,10774
s	2,558358	1,6615	0,896774	0,188288	0,264457	0,326519
t	26,76639	13,4281	13,33828	13,56952	11,02239	7,631939
u	2,44305	1,0411	1,401899	2,289637	1,883424	-0,22723
v	-23,3903	-10,6857	-12,7046	-16,2824	-13,2603	-7,44183
Tegangan Kabel						
aa	27,4778	17,2057	10,27207	4,715922	2,189066	1,698663
bb	30,20103	18,5227	11,6783	4,400201	2,540841	1,860558
cc	37,07363	22,2725	14,80109	3,848548	3,304925	2,645329
dd	39,62864	23,6656	15,96302	3,517321	3,31282	3,318244
ee	45,44528	27,1298	18,31548	0,620216	0,88645	0,316685

Keterangan: - adalah tekan

+ adalah tarik



Gambar 11. Penomoran urutan gaya rangka batang (Sumber: Midasindo Teknik Utama, 2020)

Pembahasan

Perhitungan kapasitas dan tegangan mengacu kepada AASHTO LRFD 2016,

- Perhitungan Deformasi Jembatan

Lendutan izin akibat beban layan = $L/250 = 30000/250 = 120$ mm

Lendutan izin akibat beban hidup = $L/800 = 30000/400 = 75$ mm

Lendutan sebenarnya \leq Lendutan izin

-77 mm < 120 mm (Deformasi layan tidak melewati deformasi izin)

-47,86 mm < 75 mm (Deformasi *live load* tidak melewati deformasi izin)

- Perhitungan Tegangan

Tegangan izin untuk baja BJ 37 = $0,66 F_y = 0,66 \times 240 = 158,4$ MPa

Tegangan balok maximum = 131 MPa

Tegangan *truss* maksimum = 155,6 MPa

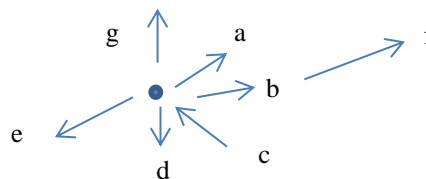
Tegangan dibutuhkan \leq Tegangan izin

131 MPa < 158,4 MPa (Tegangan balok mencukupi kebutuhan)

155,6 MPa < 158,4 MPa (Tegangan *truss* tidak melewati tegangan izin)

- Gaya Pada Rangka Batang

Gaya pada rangka batang didapat dari struktur rangka batang, *bracing*, dan juga kabel. Pengecekan dilakukan pada titik atas di rangka batang ujung tengah bentang jembatan sudut 0 derajat dengan beban layan.



Gambar 12. Gaya pada rangka batang

Gaya kabel (a) = 552,6964 kN (sudut 9,1281°)

Gaya *truss* (b) = 320,4708 kN (sudut 5,7015°)

Gaya *truss* (c) = 810,4767 kN (sudut 50,2848°)

Gaya *truss* (d) = 288,2995 kN

Gaya *truss* (e) = 572,263 kN (sudut 50,2848°)

Gaya *bracing* (f) = 18,2944 kN (sudut 5,7015°)

Gaya *bracing* (g) = 2,6962 kN

*sudut mengacu pada arah sudut horizontal

$$\sum H = 0$$

$$545,6971 + 318,8854 + 18,2038 - 517,8718 - 365,6599 = 0$$

-0,7454 = 0 (Lebih gaya adalah faktor kesalahan dari sudut)

$$\sum V = 0$$

$$1,8174 + 31,8374 + 87,681 + 623,443 - 288,2995 - 440,2019 + 2,6962 = 0$$

18,9736 = 0 (Lebih gaya adalah faktor kesalahan dari sudut)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Jembatan dengan spesifikasi seperti penelitian ini kuat digunakan sebagai jembatan *bascule* dengan beban kendaraan beroda untuk sudut 0° dan sudut 30°, 45°, 60° kuat untuk diangkat.
2. Proses pengangkatan tidak menimbulkan gaya yang berlebihan.
3. Deformasi jembatan yang terjadi semakin diangkat akan semakin mengecil (akibat beban hidup, 0° adalah -47,86 mm, akibat beban layan, 0° adalah -77 mm dan akibat beban mati + temperatur, 0° adalah -29 mm, 30° adalah -14 mm, 45° adalah -4 mm dan 60° adalah -2 mm).
4. Tegangan jembatan yang terjadi semakin diangkat akan semakin mengecil (akibat beban layan pada batang tepi bawah maksimum, 0° adalah -155,612 MPa, 30° adalah -31,4764 MPa, 45° adalah -28,0792 MPa dan 60° adalah -23,3611 MPa).

Saran

Jembatan ini masih membutuhkan penyempurnaan bila diperhitungkan secara detail. Berdasarkan proses pengerjaan analisis ini ditemukan beberapa kesulitan dan rasa penasaran maka dari itu dapat diberikan saran untuk studi selanjutnya sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dihitung lebih lanjut apakah ukuran profil jembatan ini mampu menahan beban gempa dan angin ketika jembatan berada di berbagai sudut angkat.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba untuk memperbesar bentang dan menambah lebar jembatan untuk mengecek apakah bisa dan sampai dimana jembatan bisa diangkat.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba untuk mencari pengaruh jumlah kabel terhadap jembatan *bascule*.
4. Dalam penelitian ini banyak asumsi yang digunakan sehingga kurang mendekati sebenarnya, untuk penelitian selanjutnya jika peneliti berada di daerah yang terdapat contoh asli jembatan *bascule* nya dapat dilihat dan diikuti apa saja yang digunakan pada jembatan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. "RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan." Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2004. 97.
- Badan Standardisasi Nasional. "SNI 1725: 2016 Pembebanan Untuk Jembatan." Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016. 7-51.
- Badan Standardisasi Nasional. "SNI 1729:2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural." Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2015. 15-53.
- Koglin, Terry L. *Movable Bridge Engineering*. Canada: John Wiley & Sons, 2003.
- Midasindo Teknik Utama. *Analisis Tahap Konstruksi Akhir dan Forward Untuk Jembatan PC Cable-Stayed*. 2020. 7 Juli 2020. <<http://www.midasindo.com/tutorial/2>>.
- Midasindo Teknik Utama. *Analisis Tahap Konstruksi Jembatan Menggunakan Penampang Komposit*. 2020. 7 Juli 2020. <<http://www.midasindo.com/tutorial/2>>.
- Nadu, Tamil. *newindianexpress*. 18 Februari 2020. <<https://www.newindianexpress.com/states/tamil-nadu/2018/dec/07/pamban-bridge-repairs-force-45-day-shutdown-1908296.html>>.
- Segui, William T. *Steel Design*. USA: Chris Carson, 2013.