

Kajian Perilaku Jembatan *Cable Stayed* terhadap Variasi Kemiringan Lantai Jembatan Studi Kasus: Jembatan Satu, Barelang

Dewi Safitri L.¹, Bernardinus Herbudiman²

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional

E-mail: safitridewi103@yahoo.com

ABSTRAK

Camber atau desain kemiringan dek yang terdapat pada jembatan cable stayed mempengaruhi perilaku struktur jembatan. Berdasarkan kondisi tersebut dalam penelitian ini dikaji dua desain camber yang dirancang berdasarkan variasi panjang kabel dan variasi sudut kabel. Tipe camber I adalah desain camber sebelum modifikasi dengan kemiringan sidespan sebesar 5% dan kemiringan mainspan sebesar 2%. Tipe camber II adalah desain camber setelah modifikasi dengan kemiringan sidespan sebesar 5% dan kemiringan mainspan sebesar 4% hingga 1%. Untuk mengetahui perubahan perilaku jembatan pada tipe camber I dan tipe camber II dilakukan pengujian pembebanan pada model struktur jembatan. Pembebanan yang diaplikasikan mengacu pada RSNI T-02-2005. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 14. Hasil analisis yang dikaji adalah nilai lendutan struktur pylon, nilai lendutan struktur dek, serta nilai tegangan kabel. Hasil analisis menunjukkan tidak terdapat perubahan pada nilai lendutan struktur pylon dan nilai lendutan struktur dek untuk kedua kasus camber. Perubahan ditemukan pada nilai tegangan kabel. Pada sidespan persentase perbedaan tegangan kabel maksimum adalah sebesar 17,43% dan persentase perbedaan tegangan kabel minimum adalah sebesar 0,14%. Pada mainspan persentase perbedaan tegangan kabel maksimum adalah sebesar 40,27% dan Persentase perbedaan tegangan kabel minimum adalah sebesar 0,85%.

Kata kunci: jembatan cable stayed, camber, panjang kabel, sudut kabel, tegangan kabel

ABSTRACT

Camber or curvature deck design on cable stayed bridge, give an influence to the bridge behaviour. Based on its condition, this study perform two type of camber. The camber design arranged by variation of cable length and cable angle. First type is camber I. This camber is a camber design before modification with deck curvature consist of 5% slope in the sidespan and 2% slope in the mainspan. Second type is camber II. This camber is a camber design after modification with deck curvature consist of 5% slope in the sidespan, and 4% to 1% slope in the sidespan. To discover the change of bridge behaviour on camber I and camber II loading test has given to the bridge models. Loading test that apply based on RSNI T-02-2005. Analysis was done by using SAP2000 version 14. Output from SAP2000 to be consider on this study are the value of pylon deformation, deck deformation, and cable strength. The result show there are no different value for pylon deformation and deck deformation in both camber type, but There is a difference on the value of cable strength. For sidespan the maximum different value of cable strength is 17,43% and the minimum different value of cable strength is 0,14%. For mainspan the maximum different value of cable strength is 40,27% and the minimum different value of cable strength is 0,85%.

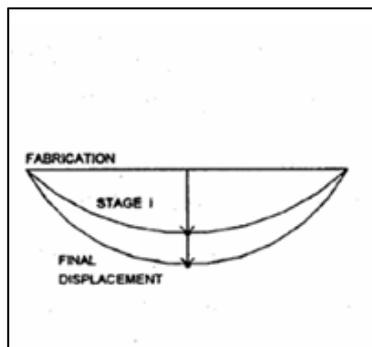
Keywords: *cable stayed bridge, camber, cable length, cable angle, cable strength*

1. LATAR BELAKANG

Terdapat dua contoh manfaat pada lantai jembatan *cable stayed* ketika menggunakan desain *camber*. Pertama, bila ditinjau terhadap aspek deformasi desain *camber* mengkondisikan lantai jembatan agar tidak mengalami lendutan ke bawah secara ekstrem. Kedua, khusus untuk jembatan *cable stayed* yang dibangun di atas suatu perairan seperti sungai, selat, atau laut desain *camber* bermanfaat untuk meninggikan ruang bebas vertikal di bawah lantai jembatan yang digunakan sebagai alur pelayaran bagi kapal yang melintasi perairan tersebut. Contoh manfaat di atas merupakan gambaran sederhana manfaat dari desain *camber*. Untuk lebih mengoptimalkan manfaat *camber* pada jembatan *cable stayed* dilakukan kajian lebih lanjut terhadap perilaku jembatan.

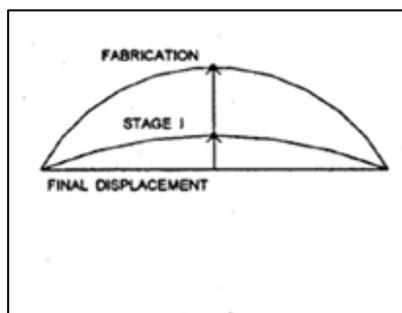
2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam Grabow, M (2004) disampaikan bahwa lantai jembatan memiliki tiga kondisi khusus akibat pembebanan. Kondisi pada saat lantai jembatan belum dibebani disebut dengan kondisi fabrikasi. Kondisi pada saat lantai jembatan mengalami lendutan akibat berat sendiri struktur disebut dengan kondisi lendutan *stage I*, dan kondisi pada saat lantai jembatan mengalami lendutan akibat beban hidup selama jembatan beroperasi disebut kondisi lendutan akhir atau *final displacement*. Ilustrasi posisi lantai jembatan berdasarkan penjelasan tiga kondisi tersebut seperti terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Ilustrasi posisi lantai jembatan tanpa *camber* pada tiga kondisi khusus (Grabow, M. (2004))

Tiga kondisi di atas kemudian mendasari diaplikasikannya desain *camber*. Mengaplikasikan desain *camber* berarti mengubah lantai jembatan yang semula berbentuk lurus menjadi lantai jembatan yang memiliki kelengkungan dengan ketinggian tertentu pada bagian tengah bentangnya. Tujuan dari dibuatnya kelengkungan tersebut adalah untuk memperkecil lendutan pada kondisi *stage I* dan kondisi *final displacement*. Ilustrasi posisi lantai jembatan dengan *camber* pada tiga kondisi khusus seperti terlihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Ilustrasi posisi lantai jembatan dengan *camber* pada tiga kondisi khusus (Grabow, M. (2004))

Hubungan antara *camber* dan lendutan pada uraian di atas menjadi teori untuk memahami dasar perencanaan desain *camber*. Jembatan I Bareleng merupakan objek pada penelitian ini, sehingga untuk keperluan modifikasi *camber* data penelitian di ambil dari Laporan Perencanaan Jembatan I Bareleng oleh **Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri (LAPI) Institut Teknologi Bandung (1992)**. Modifikasi pada penelitian ini dilakukan pada data panjang dan sudut kabel. Data panjang dan sudut kabel sebelum dilakukan modifikasi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Panjang dan Sudut Kabel Sebelum Modifikasi

No Kabel	Panjang Kabel [m]	Sudut Kabel [°]	No Kabel	Panjang Kabel [m]	Sudut Kabel [°]
BS2	176,49	31,80	M1	69,05	79,99
BS1	176,49	31,80	M2	70,38	71,08
S12	169,81	32,01	M3	76,01	63,43
S11	158,64	33,69	M4	84,92	57,03
S10	147,63	35,63	M5	94,10	51,71
S9	136,20	37,87	M6	103,68	47,29
S8	126,25	40,50	M7	113,44	43,60
S7	116,00	43,60	M8	124,58	40,50
S6	106,15	47,29	M9	135,2	37,87
S5	96,83	51,71	M10	146,05	35,63
S4	88,20	57,03	M11	157,12	33,69
S3	80,50	63,43	M12	168,31	32,01
S2	74,00	71,08	M13	180,03	30,53
S1	69,05	79,99	M14	191,59	29,23

sumber: LAPI ITB (1992)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan melakukan pengumpulan data mengenai perencanaan *camber* dan kondisi aktual *camber* jembatan I Barelang. Kondisi aktual *camber* jembatan I Barelang bersumber dari hasil survei yang ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



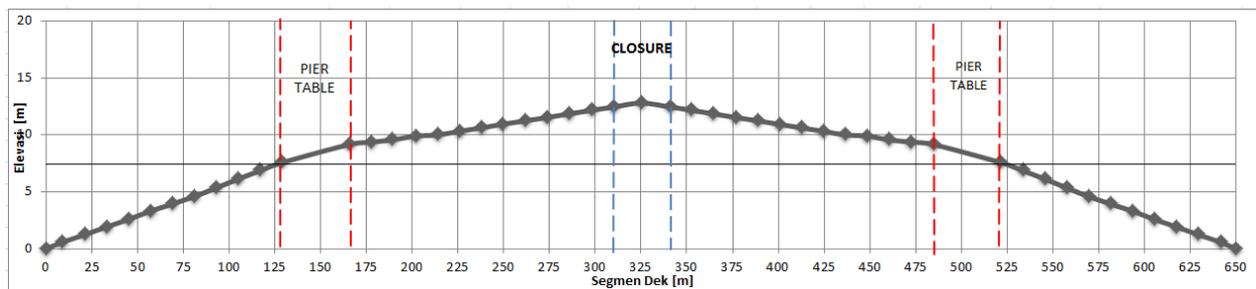
Gambar 3. Tampak samping jembatan I Barelang

Kajian Perilaku Jembatan *Cable Stayed* terhadap Variasi Kemiringan Lantai Jembatan
 Studi Kasus: Jembatan Satu, Barelang

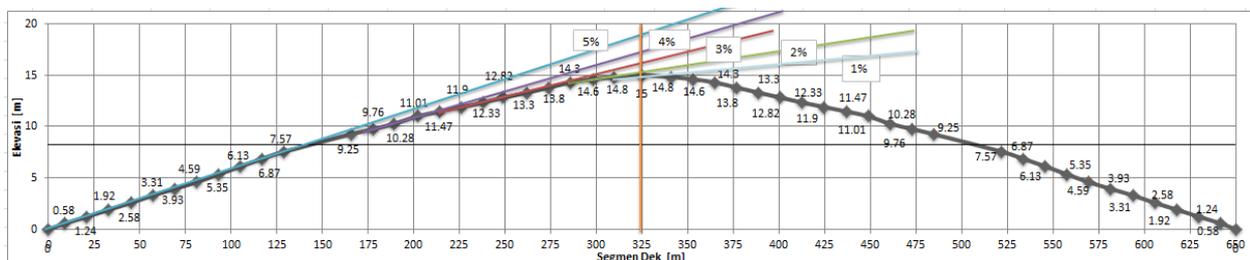


Gambar 4. Kelengkungan lantai jembatan

Langkah penelitian setelah pengumpulan data adalah penyusunan konsep modifikasi. Modifikasi yang dilakukan adalah mengubah kelengkungan pada *mainspan* yang semula memiliki kemiringan sebesar 2% menjadi kelengkungan dengan kemiringan sebesar 4% hingga 1%. Inkremen kemiringan 4% hingga 1% dilakukan berdasarkan koordinat *camber* pada lantai jembatan. Pada penelitian ini kondisi *camber* sebelum modifikasi disebut dengan kasus *camber I* dan kondisi *camber* sesudah modifikasi disebut dengan kasus *camber II*. Koordinat kelengkungan lantai jembatan untuk kasus *camber I* dan kasus *camber II* ditunjukkan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



Gambar 5. Koordinat *camber I* (sebelum modifikasi)



Gambar 6. Koordinat *camber II* (setelah modifikasi)

Modifikasi dilakukan pada data panjang kabel dan sudut kabel. Panjang kabel ke-1 adalah panjang kabel sebelum modifikasi dan disimbolkan dengan L_1 , sedangkan panjang kabel ke-2 adalah panjang kabel setelah modifikasi dan disimbolkan dengan L_2 . Persamaan yang digunakan untuk menghitung selisih panjang kabel adalah **Persamaan 1** berikut:

$$L_1 - L_2 \quad \dots (1)$$

halmana:

L_1 = panjang kabel sebelum modifikasi,

L_2 = panjang kabel setelah modifikasi,

sedangkan persamaan yang digunakan untuk menghitung persentase selisih panjang kabel adalah **Persamaan 2** berikut:

$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} * 100 \quad \dots (2)$$

Pada **Tabel 2** ditunjukkan bahwa tidak dilakukan modifikasi panjang kabel *camber*. Pada **Tabel 3** terlihat bahwa modifikasi panjang kabel *camber* pada *mainspan* mengakibatkan kabel yang terpasang pada *mainspan* mengalami pengurangan panjang atau pemendekan. Selisih panjang kabel maksimum adalah sebesar 3,50 m dan berlokasi pada kabel M14. Panjang kabel semula adalah 191,59 m dan setelah modifikasi menjadi 188,09 m. Persentase selisih panjang kabel tersebut adalah sebesar 1,83%. Selisih panjang kabel minimum adalah sebesar 0,92 m dan berlokasi pada kabel M1. Panjang kabel semula adalah 69,05 m dan setelah modifikasi menjadi 68,13 m. Persentase selisih panjang kabel tersebut adalah sebesar 1,33%.

Tabel 2. Modifikasi Panjang Kabel *Sidespan*

No. Kabel	Data <i>Camber</i>		Pemeriksaan Panjang Kabel				Jenis Perubahan Panjang
	<i>Camber</i> I [%]	<i>Camber</i> II [%]	Panjang ke-1 [m]	Panjang ke-2 [m]	Selisih Panjang [m]	Selisih Panjang [%]	
BS2	-	-	176,49	176,49	0,00	0,00	Tidak berubah
BS1	-	-	176,49	176,49	0,00	0,00	Tidak berubah
S12	5	5	169,81	169,81	0,00	0,00	Tidak berubah
S11	5	5	158,64	158,64	0,00	0,00	Tidak berubah
S10	5	5	147,63	147,63	0,00	0,00	Tidak berubah
S9	5	5	136,82	136,2	0,00	0,00	Tidak berubah
S8	5	5	126,25	126,25	0,00	0,00	Tidak berubah
S7	5	5	116,00	116,00	0,00	0,00	Tidak berubah
S6	5	5	106,15	106,15	0,00	0,00	Tidak berubah
S5	5	5	96,83	96,83	0,00	0,00	Tidak berubah
S4	5	5	88,20	88,20	0,00	0,00	Tidak berubah
S3	5	5	80,50	80,50	0,00	0,00	Tidak berubah
S2	5	5	74,00	74,00	0,00	0,00	Tidak berubah
S1	5	5	69,05	69,05	0,00	0,00	Tidak berubah

Tabel 3. Modifikasi Panjang Kabel *Mainspan*

No. Kabel	Data <i>Camber</i>		Pemeriksaan Panjang Kabel				Jenis Perubahan Panjang
	<i>Camber</i> I [%]	<i>Camber</i> II [%]	Panjang ke-1 [m]	Panjang ke-2 [m]	Selisih Panjang [m]	Selisih Panjang [%]	
M1	2	4	69,05	68,13	0,92	1,33	Pemendekan
M2	2	4	70,38	68,90	1,48	2,10	Pemendekan
M3	2	4	76,01	74,51	1,50	1,97	Pemendekan
M4	2	4	84,92	83,40	1,52	1,79	Pemendekan
M5	2	4	94,1	92,52	1,58	1,67	Pemendekan
M6	2	3	103,68	102,06	1,62	1,56	Pemendekan
M7	2	3	113,44	111,77	1,67	1,47	Pemendekan
M8	2	3	124,58	122,11	2,47	1,98	Pemendekan
M9	2	3	135,2	132,64	2,56	1,89	Pemendekan
M10	2	3	146,05	143,32	2,73	1,86	Pemendekan
M11	2	3	157,12	153,84	3,28	2,08	Pemendekan
M12	2	3	168,31	164,96	3,35	1,99	Pemendekan
M13	2	2	180,03	176,57	3,46	1,92	Pemendekan
M14	2	2	191,59	188,09	3,50	1,83	Pemendekan

Pada **Tabel 4** ditunjukkan bahwa tidak dilakukan modifikasi sudut kabel *camber sidespan*. Penyebab tidak dilakukannya modifikasi sudut kabel pada *sidespan* adalah untuk mempertahankan kemiringan 5% pada lantai jembatan. Kemiringan 5% adalah kemiringan aktual pada *sidespan* jembatan I Bareleng, sehingga untuk mengetahui perubahan perilaku jembatan yang terjadi pada awal analisis tidak dilakukan modifikasi pada kemiringan tersebut. Modifikasi sudut kabel dilakukan pada *camber mainspan*. Hasil modifikasi sudut kabel ditunjukkan pada **Tabel 5**. Sudut kabel pada kondisi sebelum modifikasi *camber* disebut dengan sudut ke-1 dan disimbolkan dengan α_1 , sedangkan sudut kabel pada kondisi setelah modifikasi *camber* disebut dengan sudut ke-2 dan disimbolkan dengan α_2 . Selisih antara sudut ke-1 dan sudut ke-2 dihitung menggunakan **Persamaan 3** berikut:

$$\alpha_1 - \alpha_2 \quad \dots (3)$$

halmana:

α_1 = sudut kabel sebelum modifikasi,

α_2 = sudut kabel setelah modifikasi,

sedangkan persentase selisih sudut tersebut dihitung menggunakan **Persamaan 4** berikut:

$$\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1} * 100 \quad \dots (4)$$

Tabel 4. Modifikasi Sudut Kabel pada *Sidespan*

No. Kabel	Data <i>Camber</i>		Pemeriksaan Sudut Kabel				Jenis Perubahan Sudut
	<i>Camber</i> I [%]	<i>Camber</i> II [%]	Sudut ke-1 [°]	Sudut ke-2 [°]	Selisih Sudut [°]	Selisih Sudut [%]	
BS2	-	-	31,80	31,80	0,00	0,00	Tidak berubah
BS1	-	-	31,80	31,80	0,00	0,00	Tidak berubah
S12	5	5	32,01	32,01	0,00	0,00	Tidak berubah
S11	5	5	33,69	33,69	0,00	0,00	Tidak berubah
S10	5	5	35,63	35,63	0,00	0,00	Tidak berubah
S9	5	5	37,87	37,87	0,00	0,00	Tidak berubah
S8	5	5	40,50	40,50	0,00	0,00	Tidak berubah
S7	5	5	43,60	43,60	0,00	0,00	Tidak berubah
S6	5	5	47,29	47,29	0,00	0,00	Tidak berubah
S5	5	5	51,71	51,71	0,00	0,00	Tidak berubah
S4	5	5	57,03	57,03	0,00	0,00	Tidak berubah
S3	5	5	63,43	63,43	0,00	0,00	Tidak berubah
S2	5	5	71,08	71,08	0,00	0,00	Tidak berubah
S1	5	5	79,99	79,99	0,00	0,00	Tidak berubah

Tabel 5. Modifikasi Sudut Kabel pada *Mainspan*

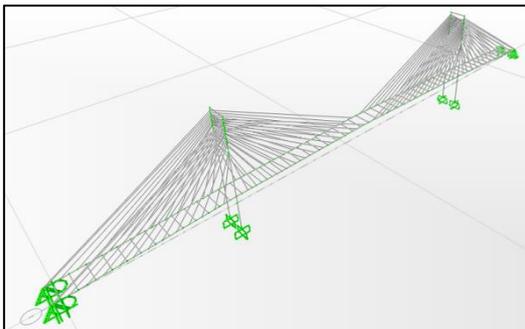
No. Kabel	Data <i>Camber</i>		Pemeriksaan Sudut Kabel				Jenis Perubahan Sudut
	<i>Camber</i> I [%]	<i>Camber</i> II [%]	Sudut ke-1 [°]	Sudut ke-2 [°]	Selisih Sudut [°]	Selisih Sudut [%]	
M1	2	4	79,99	79,34	0,65	0,81	Pengurangan
M2	2	4	71,08	69,00	2,08	2,93	Pengurangan
M3	2	4	63,43	62,00	1,43	2,25	Pengurangan
M4	2	4	57,03	56,00	1,03	1,81	Pengurangan
M5	2	4	51,71	50,00	1,71	3,31	Pengurangan
M6	2	3	47,29	45,00	2,29	4,84	Pengurangan
M7	2	3	43,60	42,00	1,60	3,67	Pengurangan
M8	2	3	40,50	39,00	1,50	3,70	Pengurangan
M9	2	3	37,87	35,00	2,87	7,58	Pengurangan
M10	2	3	35,63	35,00	0,63	1,77	Pengurangan
M11	2	3	33,69	32,00	1,69	5,02	Pengurangan
M12	2	3	32,01	29,00	3,01	9,40	Pengurangan
M13	2	2	30,53	27,00	3,53	11,56	Pengurangan
M14	2	2	29,23	25,00	4,23	14,47	Pengurangan

Berdasarkan **Tabel 5** diketahui selisih sudut maksimum adalah sebesar $4,23^\circ$ dan berlokasi pada kabel M14. Sudut kabel semula adalah sebesar $29,23^\circ$ dan setelah modifikasi menjadi $25,00^\circ$. Persentase selisih sudut tersebut adalah sebesar 14,47%. Selisih sudut minimum adalah sebesar $0,63^\circ$ dan berlokasi pada kabel M10. Sudut kabel semula adalah sebesar $35,63^\circ$ dan setelah modifikasi menjadi $35,00^\circ$. Persentase selisih sudut tersebut adalah sebesar 1,77%.

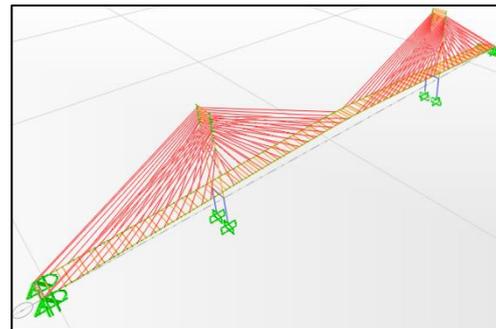
Langkah penelitian setelah penyusunan konsep modifikasi adalah pemodelan 3D struktur jembatan menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 14. Pemodelan struktur jembatan *cable stayed* pada penelitian ini terdiri dari empat tahapan utama. Keempat tahapan pemodelan tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Plotting* koordinat geometri jembatan.
2. Mendefinisikan material struktur yang digunakan pada struktur jembatan.
3. Mendefinisikan elemen struktur jembatan.
4. Mendefinisikan beban yang akan diaplikasikan pada model jembatan.

Tampilan 3D model jembatan pada kasus *camber I* dan kasus *camber II* dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8** di bawah ini.



Gambar 7. Tampilan 3D jembatan dengan kasus *camber I*



Gambar 8. Tampilan 3D jembatan dengan kasus *camber II*

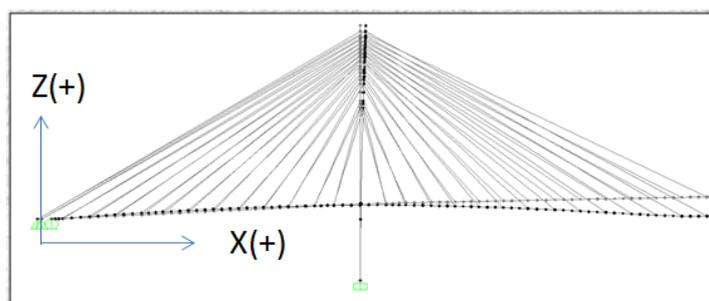
Langkah penelitian setelah memodelkan struktur jembatan adalah mengaplikasikan beban pada model struktur. Karakteristik beban seperti jenis beban, intensitas beban, dan posisi penempatan beban seluruhnya mengacu pada RSNI T-02-2005. Analisis kemudian dilakukan pada kedua model jembatan menggunakan perangkat lunak SAP2000 versi 14. Hasil analisis perilaku jembatan yang menjadi fokus penelitian ini adalah nilai lendutan struktur *pylon*, nilai lendutan struktur dek, dan nilai tegangan kabel.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Nilai lendutan pada struktur *pylon* jembatan ditunjukkan pada **Tabel 6**. Nilai lendutan untuk kasus *camber I* disebut dengan lendutan ke-1, sedangkan nilai lendutan untuk kasus *camber II* disebut dengan lendutan ke-2. Pada **Tabel 6** terlihat bahwa pada struktur *pylon* lendutan ke-1 dan lendutan ke-2 bernilai sama dan bekerja pada arah yang sama yaitu sebesar 0,18 m ke arah sumbu $X(+)$. Lendutan tersebut berlokasi pada puncak kepala *pylon*. Ilustrasi lendutan struktur *pylon* dapat dilihat pada **Gambar 9**.

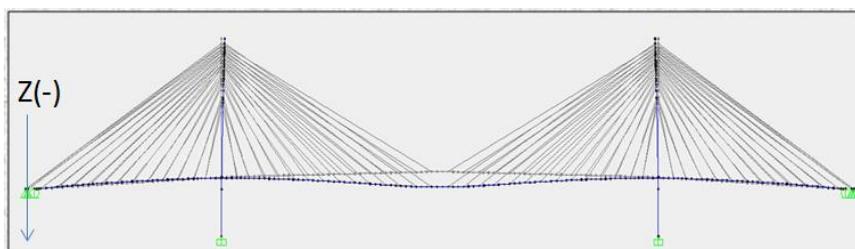
Tabel 6. Hasil Analisis Lendutan *Pylon* dan Dek

Elemen Struktur	Pemeriksaan Lendutan				Lokasi Lendutan	Jenis Perubahan Lendutan
	Lendutan ke-1 [m]	Lendutan ke-2 [m]	Selisih Lendutan [m]	Selisih Lendutan [%]		
<i>Pylon</i>	0,18	0,18	0	0	Puncak kepala <i>pylon</i>	Tidak berubah
Dek	0,70	0,70	0	0	Tengah bentang	Tidak berubah



Gambar 9. Lendutan pylon

Kondisi serupa ditemukan pada nilai lendutan dek. Pada struktur dek lendutan ke-1 dan lendutan ke-2 memiliki nilai yang sama dan bekerja pada arah yang sama yaitu sebesar 0,7 m ke arah sumbu Z(-). Lendutan tersebut berlokasi di tengah bentang jembatan. Ilustrasi lendutan struktur dek dapat dilihat pada **Gambar 10** di bawah ini.



Gambar 10. Lendutan dek

Hasil analisis tegangan kabel untuk kedua kasus *camber* ditunjukkan pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**. Nilai tegangan kabel sebelum modifikasi disebut dengan tegangan ke-1 dan disimbolkan dengan σ_1 , sedangkan nilai tegangan kabel setelah modifikasi disebut dengan tegangan ke-2 dan disimbolkan dengan σ_2 . Selisih nilai tegangan pada kedua kasus *camber* dihitung dengan **Persamaan 5** berikut:

$$\sigma_1 - \sigma_2 \quad \dots (5)$$

halmana:

σ_1 = tegangan kabel sebelum modifikasi,
 σ_2 = tegangan kabel setelah modifikasi,

sedangkan untuk menghitung persentase selisih nilai tegangan tersebut digunakan **Persamaan 6** berikut:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} * 100 \quad \dots (6)$$

Tabel 7 menunjukkan hasil analisis tegangan kabel pada *sidespan*, sedangkan **Tabel 8** menunjukkan hasil analisis tegangan kabel pada *mainspan*.

Tabel 7. Hasil Analisis Tegangan Kabel pada *Sidespan*

No. Kabel	Tegangan ke-1 [kN/m ²]	Tegangan ke-2 [kN/m ²]	Selisih Tegangan [kN/m ²]	Selisih Tegangan [%]	Tipe Perubahan Tegangan
BS2	162.585,9	158.361,7	4.224,168	2,60	penurunan
BS1	160.903,8	155.421,0	5.482,838	3,41	penurunan
S1	97.312,81	111.227,8	13.914,99	14,30	peningkatan
S2	83.584,84	102.150,3	18.565,46	22,21	peningkatan
S3	82.689,49	91.127,12	8.437,633	10,20	peningkatan
S4	91.388,71	101.266,7	9.878,008	10,81	peningkatan
S5	131.505,7	108.577,8	22.927,9	17,43	penurunan
S6	123.219,0	113.166,3	10.052,72	8,16	penurunan
S7	115.086,6	116.241,8	1.155,166	1,00	peningkatan
S8	108.031,7	123.091,6	15.059,98	13,94	peningkatan
S9	99.873,23	131.191,4	31.318,21	31,36	peningkatan
S10	142.714,4	142.915,7	201,2562	0,14	peningkatan
S11	152.827,0	154.225,1	1.398,178	0,91	peningkatan
S12	162.382,8	165.413,9	3.031,139	1,87	peningkatan

Berdasarkan **Tabel 7** diketahui bahwa modifikasi *camber* pada *sidespan* mengakibatkan perubahan nilai tegangan kabel. Selisih tegangan kabel maksimum adalah sebesar 22.927,9 kN/m² dan terjadi pada kabel S5. Pada kabel tersebut diketahui tegangan ke-1 adalah sebesar 131.505,7 kN/m² dan tegangan ke-2 adalah sebesar 108.577,8 kN/m². Hasil analisis tersebut menunjukkan terjadinya penurunan tegangan pada kabel S5. Persentase selisih kedua tegangan kabel tersebut adalah sebesar 17,43%.

Selisih perbedaan tegangan yang diizinkan adalah sebesar 200.000 kN/m². Selisih tegangan kabel adalah sebesar 22.927,9 kN/m² lebih kecil dari tegangan izin, sehingga modifikasi panjang dan sudut kabel pada kabel S5 dapat diaplikasikan.

Selisih tegangan kabel minimum adalah sebesar 201,2562 kN/m² dan terjadi pada kabel S10. Hasil analisis menunjukkan terjadi peningkatan tegangan pada kabel S10. Pada kabel tersebut diketahui tegangan ke-1 adalah sebesar 142.714,4 kN/m² dan tegangan ke-2 adalah sebesar 142.915,7 kN/m². Persentase selisih kedua tegangan kabel tersebut adalah sebesar 0,14%.

Selisih perbedaan tegangan yang diizinkan adalah sebesar 200.000 kN/m². Selisih tegangan kabel S10 adalah sebesar 201,2562 kN/m² lebih kecil dari tegangan izin. Tidak dilakukan modifikasi pada panjang kabel dan sudut kabel S10, sehingga panjang kabel dan sudut kabel aktual kabel S10 dapat diaplikasikan.

Tabel 8. Hasil Analisis Nilai Tegangan Kabel pada *Mainspan*

No. Kabel	Tegangan ke-1 [kN/m ²]	Tegangan ke-2 [kN/m ²]	Selisih Tegangan [kN/m ²]	Selisih Tegangan [%]	Tipe Perubahan Tegangan
M1	78.805,47	99.957,54	21.152,07	26,84	peningkatan
M2	84.819,89	77.572,36	7.247,523	8,54	penurunan
M3	101.748,7	72.077,49	29.671,18	29,16	penurunan
M4	124.984,2	79.105,27	45.878,89	36,71	penurunan
M5	148.020,0	88.414,10	59.605,89	40,27	penurunan
M6	156.750,5	99.484,78	57.265,75	36,53	penurunan
M7	142.197,8	113.296,1	28.901,72	20,33	penurunan
M8	79.563,61	126.030,3	46.466,74	58,40	peningkatan
M9	84.881,10	137.114,7	52.233,63	61,54	peningkatan
M10	102.668,4	147.936,1	45.267,69	44,09	peningkatan
M11	125.291,5	157.331,9	32.040,43	25,57	peningkatan
M12	145.784,8	162.355,2	16.570,42	11,37	peningkatan
M13	160.425,6	159.054,3	1.371,285	0,85	penurunan
M14	141.959,2	145.389,3	3.430,113	2,42	peningkatan

Berdasarkan **Tabel 8** diketahui bahwa modifikasi *camber* pada *mainspan* mengakibatkan perubahan nilai tegangan kabel. Selisih tegangan kabel maksimum adalah sebesar 59.605,89 kN/m² dan terjadi pada kabel M5. Hasil analisis menunjukkan terjadi penurunan tegangan pada kabel M5. Pada kabel tersebut diketahui tegangan ke-1 adalah sebesar 148.020,0 kN/m² dan tegangan ke-2 adalah sebesar 88.414,10 kN/m². Persentase selisih kedua tegangan kabel tersebut adalah sebesar 40,27%.

Selisih perbedaan tegangan yang diizinkan adalah sebesar 200.000 kN/m². Selisih tegangan kabel M5 adalah sebesar 59.605,89 kN/m² lebih kecil dari tegangan izin, sehingga modifikasi panjang dan sudut kabel pada kabel M5 dapat diaplikasikan.

Selisih tegangan kabel minimum adalah sebesar 1.371,285 kN/m² dan terjadi pada kabel M13. Hasil analisis menunjukkan terjadi penurunan tegangan pada kabel M13. Pada kabel tersebut diketahui tegangan ke-1 adalah sebesar 160.425,6 kN/m² dan tegangan ke-2 adalah sebesar 159.054,3 kN/m². Persentase selisih kedua tegangan kabel tersebut adalah sebesar 0,85%.

Selisih perbedaan tegangan yang diizinkan adalah sebesar 200.000 kN/m². Selisih tegangan kabel M13 adalah sebesar 1.371,285 kN/m² lebih kecil dari tegangan izin, sehingga modifikasi panjang dan sudut kabel pada kabel M13 dapat diaplikasikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian perilaku jembatan pada kasus *camber* I dan kasus *camber* II diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil analisis menunjukkan dengan memodifikasi data panjang kabel *camber mainspan* mengakibatkan kabel yang terpasang mengalami pengurangan panjang atau pemendekan. Selisih panjang kabel maksimum adalah sebesar 3,50 m dan berlokasi pada kabel M14. Panjang kabel semula adalah 191,59 m dan setelah modifikasi menjadi 188,09 m. Persentase selisih panjang kabel tersebut adalah sebesar 1,83%. Selisih panjang kabel minimum adalah sebesar 0,92 m dan berlokasi pada kabel M1. Panjang kabel semula adalah 69,05 m dan setelah modifikasi menjadi 68,13 m. Persentase selisih panjang kabel tersebut adalah sebesar 1,33%.

2. Hasil analisis menunjukkan dengan memodifikasi data sudut kabel *camber mainspan* mengakibatkan sudut kabel pada *mainspan* berubah menjadi lebih kecil. Selisih sudut maksimum adalah sebesar $4,23^\circ$ dan berlokasi pada kabel M14. Sudut kabel semula adalah sebesar $29,23^\circ$ dan setelah modifikasi menjadi $25,00^\circ$. Persentase selisih sudut tersebut adalah sebesar 14,47%. Selisih sudut minimum adalah sebesar $0,63^\circ$ dan berlokasi pada kabel M10. Sudut kabel semula adalah sebesar $35,63^\circ$ dan setelah modifikasi menjadi $35,00^\circ$. Persentase selisih sudut tersebut adalah sebesar 1,77%.
3. Analisis tegangan kabel dilakukan pada dua lokasi yaitu *sidespan* dan *mainspan*. Hasil analisis menunjukkan terjadi perubahan nilai tegangan kabel pada kedua kasus *camber*. Selisih nilai maksimum dan minimum tegangan kabel tidak melebihi nilai tegangan kabel yang diizinkan.
Pada kabel S5 *sidespan* selisih tegangan kabel maksimum adalah sebesar 22.927,9 kN/m² dan pada kabel M5 *mainspan* selisih tegangan kabel maksimum adalah sebesar 59.605,89 kN/m². Dengan demikian desain modifikasi ini dapat diaplikasikan.
4. Peningkatan terbesar tegangan kabel terjadi pada kabel S10 *sidespan* dan kabel M9 *mainspan* dengan modifikasi berupa pengurangan panjang kabel dan memperkecil sudut kabel.
5. Penurunan terbesar tegangan kabel terjadi pada kabel S5 *sidespan* dan kabel M5 *mainspan* dengan modifikasi berupa pengurangan panjang kabel dan memperkecil sudut kabel. Penurunan tegangan ini menunjukkan modifikasi *camber* dapat mengoptimalkan fungsi kelengkungan lantai jembatan.

DAFTAR RUJUKAN

- Grabow, M. (2004). *Stage Construction Analysis of Cable Stayed Bridge*. Hamburg: Thesis Faculty of the Technical University of Hamburg Harburg
- Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan. (2005). *Peraturan Pembebanan Jembatan Beton RSNI T-02-2005*. Jakarta: Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Lembaga Afiliasi Penelitian dan Industri (LAPI) (1992). *Survei dan Detail Engineering Pembangunan Jalan dan Jembatan antar Pulau Barelang*. Batam: Otorita Pengembangan Daerah Industri Pulau Batam