

PENGARUH VARIASI *CAMBER* (LAWAN LENDUT) TERHADAP PERILAKU JEMBATAN BENTANG PANJANG (STUDI KASUS : JEMBATAN GANTUNG CIKITU, PACET)

Renaldi Faisal¹, Euneke Widyaningsih²

1. Mahasiswa Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)
2. Dosen Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)

Email : renaldifaisall12@gmail.com

ABSTRAK

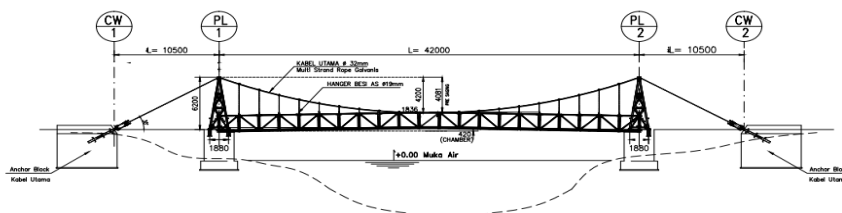
Jembatan Gantung (Suspension Bridge) merupakan sarana infrastruktur yang masih sangat dibutuhkan sebagai penghubung akses transportasi pada daerah terluar. Hal itu terlihat dari pembangunan jembatan gantung yang terus dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, pembangunan jembatan gantung dipilih karena memiliki berbagai kelebihan diantaranya adalah biaya yang murah dibandingkan dengan membangun jembatan konvensional dan waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apabila terjadi lendutan yang berlebih maka tidak akan melebihi lendutan izin 1/200 L sehingga pada saat jembatan diberikan beban, jembatan tersebut dapat menahan beban yang bekerja pada jembatan tersebut. Pada penelitian ini didapat dua variasi Camber yang diteliti yaitu Camber 0,5 % (eksisting) dan variasi Camber 2 %.

Kata Kunci : Jembatan Gantung, Camber, Jembatan Gantung Tipe Pengaku.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan Gantung Cikitu, Pacet merupakan salah satu contoh jembatan (*Suspension Bridge*) yang berada di Indonesia khususnya di Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Jembatan Gantung ini merupakan jembatan yang menghubungkan antara Desa Cikitu dengan Desa Sukarama, Kec. Pacet, Kab. Bandung. Jembatan Gantung ini memiliki beberapa komponen utama yang terdiri dari gelagar, kabel utama, dan pylon. Pada penelitian ini dilakukan peninjauan terhadap beberapa nilai variasi *Camber* yaitu 0,5 % (Eksisting) dan 2 %. Yang berdasarkan nilai *Camber* yang di perkenankan Serta untuk mengetahui bagaimana kinerja layan jembatan tersebut dan nilai *Camber* optimum yang dapat digunakan pada Jembatan Gantung tersebut yang ditinjau dari nilai tegangan pada elemen pylon, kabel utama dan gelagar serta lendutan maksimal akibat beban yang bekerja pada jembatan tersebut.



Gambar 1. 1 Kondisi *Camber* Eksisting

(Sumber : Manual Book Pembangunan Jembatan Gantung Bentang 42.000 mm)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Menurut SNI – 03-3428-1994, jembatan gantung adalah jembatan dimana seluruh beban lalu lintas dan gaya – gaya yang bekerja dipikul oleh sepasang kabel pemikul yang menumpu di atas 2 pasang

menara/pylon dan 2 pasang blok angkur. Jembatan gantung pejalan kaki adalah jembatan gantung yang hanya boleh dilewati oleh lalu lintas pejalan kaki dan roda dua.

Menurut Prayogi, A., Zacoeb, A., & Wibowo, A. (2014). *Camber* merupakan ruang terbuka yang terdapat pada bawah jembatan. *Camber* biasa disebut dengan anti lendutan karena *Camber* dibuat untuk melawan lendutan yang mungkin terjadi akibat beban yang bekerja. Jika terjadi lendutan maka tidak akan melebihi garis netral jembatan sehingga masih memungkinkan ruang kosong untuk kegiatan di bawah jembatan

2.2 Kriteria Perencanaan Teknis Jembatan

Standar perencanaan jembatan gantung khususnya untuk pejalan kaki harus menetapkan kriteria perencanaan yang perlu dipertimbangkan untuk memastikan bahwa jembatan pejalan kaki aman dan sesuai untuk peruntukannya.

1. Kekuatan
Struktur pada jembatan harus kuat dan mampu untuk menahan beban hidup, beban mati dan beban tidak terduga yang ditentukan pada spesifikasi teknis dan gambar.
2. Kekakuan
Jembatan gantung pejalan kaki tidak boleh melendut sehingga menyebabkan kecemasan atau rasa tidak nyaman untuk pengguna atau dapat menyebabkan batang – batang yang terpasang menjadi tidak rata.
3. Beban dinamik
Pada jembatan gantung pejalan kaki dapat terjadi getaran akibat angin atau orang yang berjalan di atasnya. Namun, beban ini dapat di atasi dengan ikatan angin dan pembatasan barisan pejalan kaki .
4. Beban Rencana
Jembatan gantung pejalan kaki harus kuat dan kaku (tidak boleh melebihi lendutan izin) untuk menahan beban berikut :
 - a. Beban Vertikal
Beban vertikal berupa beban mati dari berat sendiri jembatan, beban hidup dari pengguna jembatan. Beban vertikal rencana merupakan kombinasi dari beban mati dan beban hidup terbesar yang diperkirakan dari pengguna jembatan.
 - b. Beban Samping
Beban samping berupa tekanan angin, gempa, pengguna yang bersandar atau membentur railing, benturan ringan yang di akibatkan oleh batuan – batuan yang terbawa oleh sungai / arus. Beban samping yang harus dipertimbangkan dalam dasain adalah beban angin yang terjadi pada sisi depan yang terbuka dari batang – batang jembatan, standar perencanaan untuk jembatan pejalan kaki mempertimbangkan standar perencanaan kecepatan angin 35 m/detik.
5. Beban Hidup
Dalam merencanakan jembatan gantung pejalan kaki memerlukan pertimbangan seperti beban hidup merupakan beban yang bersifat dinamis dan bisa berubah seperti masyarakat dan kendaraan ringan yang melewati jembatan.
 - A. Beban terpusat pada lantai jembatan akibat langkah kaki manusia untuk memeriksa kekuatan lantai jembatan
 - B. Beban yang dipindahkan dari lantai jembatan ke batang struktur yang kemudian dipindahkan ke tumpuan jembatan. Aksi beban ini akan terdistribusi pendek atau menerus sepanjang batang – batang longitudinal yang menahan lantai jembatan.

Tabel 1. 1 Beban Hidup yang dapat dipikul dan lendutan izin jembatan gantung

(Sumber : Manual Book Pembangunan Jembatan Gantung Bentang 42.000 mm)

Kelas Pengguna	Lebar	Beban Terpusat	Beban Terdistribusi Merata	Lendutan Izin Δ
Jembatan Gantung Pejalan Kaki Kelas I (Beban hidup maksimum sampai dengan kendaraan ringan)	1.8 m	20 kN (hanya ada satu kendaraan bermotor ringan pada satu waktu tertentu)	5 kPa	1/200 L
Jembatan Gantung Pejalan Kaki Kelas II (Beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1.4 m		4 kPa	1/100 L
Keterangan : L adalah Bentang utama Jembatan				

2.3 Kelandaian Memanjang Jembatan

Jembatan dapat dibangun dengan kelandaian maksimum sebesar 1/20 bentang antara menara – menara. Untuk kelandaian sampai 1/100 bentang, tidak ada perubahan dalam pengukuran dan pemasangan jembatan. Penyesuaian dimensi untuk kelandaian n di atas 1/100 adalah :

- A. Bentang horizontal Eksisting antara menara – manara

$$L_a = L - \frac{n^2 L}{2} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

L_a : adalah bentang horizontal Eksisting antara menara – menara

n : adalah kelandaian memanjang jembatan

Pada kelandaian $n \leq 1/100$, L_a diambil sama dengan L pada kelandaian $n > 1/100$ bentang horizontal Eksisting dihitung dengan persamaan (1).

- B. Koreksi sudut kabel X^0 terhadap horizontal :

$$\tan X^0 = 0,63 n \dots \dots \dots (2)$$

Sudut kabel utama angkur untuk kondisi kelandaian n, adalah sudut kondisi horizontal yang dikoreksi dengan + X^0 untuk sisi tinggi dan – X^0 untuk sisi rendah.

2.4 Lendutan

Lendutan adalah perubahan bentuk pada jembatan akibat adanya beban hidup merata yang bekerja pada jembatan.

$$\Delta' = \frac{5(1 - \alpha)PL^4}{1228EI} \dots \dots \dots (7)$$

$$\Delta = \frac{\alpha \left(\frac{P}{8}\right)}{w + a \left(\frac{P}{2}\right)} d \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

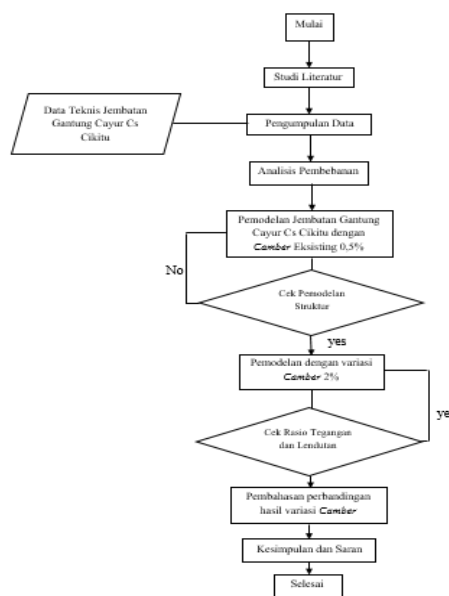
Δ' = adalah lendutan gelagar pengaku pada seperempat bentang (m)

Δ = adalah lendutan kabel pada seperempat bentang (m)

α = adalah fraksi beban yang menunjukkan proporsi beban hidup yang ditahan oleh kabel, yang besarnya diperoleh dari $\Delta' = \Delta$

3. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait berupa gambaran umum geometri jembatan, wilayah konstruksi jembatan, serta data lain yang terkait dengan penelitian ini. Dalam penelitian ini Jembatan Gantung yang digunakan adalah Jembatan Gantung tipe pengaku dengan panjang bentang 42.000 mm, panjang backstay 10.500 mm dengan *Camber* eksisting 0,5 % atau 210 mm dan tinggi menara 6.200 mm. Serta literatur yang terkait dalam penelitian ini merujuk pada Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No.02/SE/M/2010 tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan kaki. Setelah mengumpulkan data langkah selanjutnya adalah penyusunan konsep modifikasi pada jembatan yang dilakukan adalah mengubah kelengkungan pada kabel gelagar. Semula memiliki *Camber* sebesar 0,5 % di modifikasi dengan variasi *Camber* 2 %. Pemodelan struktur Jembatan Gantung ini menggunakan *software* SAP 2000 V14 dan bagian yang akan dibahas pada penelitian ini hanya struktur atas jembatan. Adapun *flow chart* pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Flow Chart Penelitian

4. PEMBAHASAN

4.1 Variasi *Camber*

Pada jembatan gantung ini dilakukan pemodelan berupa variasi *Camber* dengan bentang jembatan 42.000 mm dengan *Camber* Eksisting yaitu 0,5 % seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. 1 Variasi *Camber*

Variasi <i>Camber</i>	Persentase <i>Camber</i> (%)	Nilai <i>Camber</i> (mm)
Eksisting	0,5%	210
Alternatif 1	2%	840

4.2 Desain Material Jembatan

Dimensi material jembatan dilakukan pada masing – masing komponen jembatan, dimulai dari pylon, kabel utama, batang penggantung (hanger), gelagar melintang dan gelagar memanjang. Rincian spesifikasi material dapat dilihat pada **tabel 4.2** dibawah ini :

Tabel 4. 2 Spesifikasi Material Jembatan Gantung

Nama Elemen Jembatan	Material yang digunakan	Dimensi yang digunakan
Pylon	Baja BJ 41	H 150 x 150 x 7 x 10
Kabel Utama	Kabel Baja JIS G3525	Diameter 32 mm
Batang Penggantung (hanger)	Kabel Baja JIS G3526	Diameter 20 mm
Gelagar Melintang	Baja BJ 41	UNP 150 x 75 x 6
Gelagar Memanjang	Baja Bj 41	UNP 125 x 65

4.3 Kombinasi Pembebanan

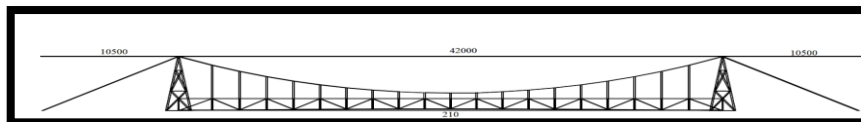
Pembebanan yang akan digunakan pada saat analisis struktur Jembatan Gantung ini meliputi dua kombinasi pembebanan yaitu, kombinasi beban mati dan beban hidup. Beban hidup yang diizinkan memasuki Jembatan Gantung ini meliputi pejalan kaki dan kendaraan ringan, sedangkan beban mati meliputi berat sendiri dari Jembatan Gantung tersebut.

Tabel 4. 3 Kombinasi Pembebanan

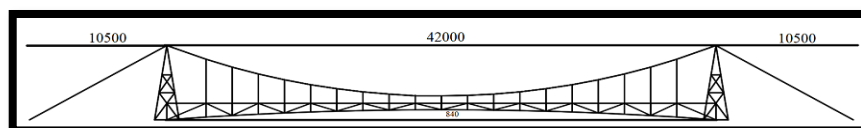
No	Kombinasi	Keterangan	Faktor Beban
1	ULS	Ultimate Limit State	1,3 DL + 1,8 LL
2	SLS	Serviceability Limit State	DL + LL

4.4 Dimensi *Camber* Eksisting dan 2 %

Dimensi *Camber* eksisting dan 2 % ini merupakan dimensi awal sebelum modifikasi sebesar 0,5 % dengan nilai *Camber* yaitu 210 mm dan setelah di modifikasi menjadi 2 % mendapatkan nilai *Camber* sebesar 840 mm.



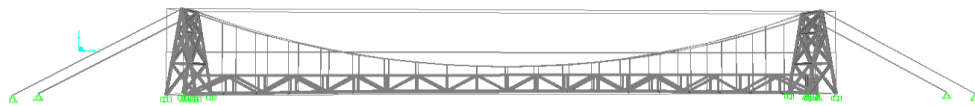
Gambar 4. 1 Dimensi *Camber* Eksisting



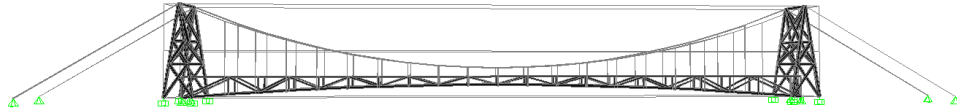
Gambar 4. 2 Dimensi *Camber* 2 %

4.5 Pemodelan *Camber* Eksisting dan 2 %

Pemodelan *Camber* Eksisting dan 2 % pada Jembatan Gantung Cikitu, Pacet ini menghasilkan nilai *Camber* sebesar 210 mm, 840 mm dan dapat di ukur dari panjang jembatan. Sehingga menghasilkan persentase *Camber* sebesar 0,5 %. Dan 2 % Berikut merupakan model dari *Camber* Eksisting dan 2 %.



Gambar 4. 3 Tampak Memanjang Dimensi Camber Eksisting



Gambar 4. 4 Tampak Memanjang Dimensi Camber 2 %

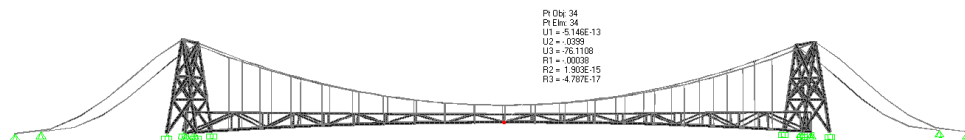
4.6 Hasil Analisis

Hasil analisis pada pemodelan menggunakan *software* SAP 2000 V14 setelah program di – run dengan kondisi *Camber* Eksisting dan kondisi *Camber* 2 % adalah sebagai berikut :



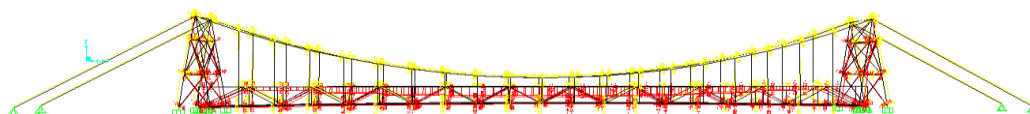
Gambar 4. 5 Deformasi Akibat Beban SLS *Camber* Eksisting

Hasil analisis penurunan untuk kasus *Camber* eksisting seperti yang terlihat pada **Gambar 4.5**. Nilai penurunan yang di hasilkan akibat beban SLS menghasilkan nilai penurunan sebesar 176,821 mm. Yang dimana artinya untuk *Camber* eksisting ini aman digunakan dan tidak melebihi lendutan izin sebesar 210 mm.

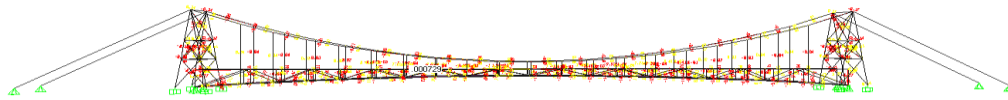


Gambar 4. 6 Deformasi Akibat Beban SLS *Camber* 2 %

Hasil analisis penurunan untuk kasus variasi *Camber* 2 % seperti yang terlihat pada **Gambar 4.6**. Nilai penurunan yang di hasilkan akibat beban SLS menghasilkan nilai penurunan sebesar 76,473 mm. Dimana artinya untuk variasi *Camber* 2 % ini aman digunakan dan tidak melebihi lendutan izin sebesar 210 mm. Tetapi untuk variasi *Camber* 2 % ini tidak nyaman digunakan terutama untuk pejalan kaki dikarenakan kondisi dari gelagar Jembatan Gantung tersebut menganjur ke atas dan memiliki nilai variasi *Camber* sebesar 840 mm.



Gambar 4. 7 Tegangan Pada Pylon *Camber* Eksisting



Gambar 4. 8 Tegangan Pada Pylon *Camber* 2 %

Hasil analisis nilai tegangan dari *Camber* eksisting dan variasi *Camber* 2 % yang ditinjau dari elemen pylon, kabel, hanger dan gelagar menghasilkan nilai tegangan untuk *Camber* eksisting sebesar 243,043 N/mm² pylon, 229,05 N/mm² kabel, 33,989 N/mm² hanger dan 367,701 N/mm² gelagar. Sedangkan untuk variasi *Camber* 2 % menghasilkan nilai tegangan 91,152 N/mm² pylon, 92,862 N/mm² kabel, 8,779 N/mm² hanger dan 348,423 N/mm² gelagar. Sehingga untuk nilai tegangan pada kedua variasi *Camber* ini sudah memenuhi kinerja kekuatan struktur dan tidak melebihi kapasitas izin.

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Perbandingan Variasi *Camber*

Elemen yang ditinjau	Tipe Variasi <i>Camber</i>		Kapasitas Izin
	Hasil Analisis Struktur SAP Eksisting	2%	
Lendutan (mm)	176,821	76,473	210
Tegangan Pylon (N/mm ²)	243,043	91,152	410
Tegangan Kabel (N/mm ²)	229,05	93,862	250
Tegangan Hanger (N/mm ²)	33,989	8,779	250
Tegangan Gelagar (N/mm ²)	367,701	348,423	410

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pemodelan mengenai variasi *Camber* terhadap struktur Jembatan Gantung Cikitu, Pacet dengan variasi *Camber* 0,5 % eksisting dan variasi *Camber* 2 % diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis penurunan dari variasi *Camber* eksisting dan 2 % sudah memenuhi kapasitas izin yang menghasilkan nilai penurunan untuk *Camber* eksisting sebesar 176,821 mm < 210 mm *kapasitas izin*. Sedangkan untuk variasi *Camber* 2 % menghasilkan penurunan sebesar 76,473 mm < 210 mm *kapasitas izin*.
2. Hasil analisis menunjukan bahwa perilaku dari *Camber* eksisting dengan persentase *Camber* 0,5 % menghasilkan nilai penurunan sebesar 176,821 mm < 210 mm *Kapasitas Izin* . Yang dimana untuk *Camber* eksisting ini sudah memenuhi aspek kekuatan dan kenyamanan ketika Jembatan Gantung tersebut di berikan beban.
3. Berdasarkan hasil penelitian pada tugas akhir ini, ketinggian *Camber* yang direkomendasikan untuk digunakan pada Jembatan Gantung Cikitu, Pacet yaitu ada dua variasi *Camber* eksisting sebesar 0,5 % yang menghasilkan nilai sebesar 176,821 mm dan variasi *Camber* 2 % yang menghasilkan nilai *Camber* sebesar 76,473 mm tetapi untuk variasi *Camber* 2 % ini tidak memenuhi aspek kenyamanan dikarenakan dari gelagar *Camber* tersebut menunjukan kondisi yang menganjur ke atas. Sehingga tidak nyaman apabila digunakan oleh pejalan kaki.

DAFTAR PUSTAKA

Pedoman Pemasangan Jembatan Gantung Produksi PT. Amarta Karya Tipe 42m.Bekasi

Prayogi, Arie, Achfas Zacoeb, and Ari Wibowo. "Pengaruh variasi *Camber* terhada perilaku jembatan rangka baja." *Universitas Jember* (2014).

Menteri Pekerjaan Umum, Surat Edaran No, 02/SE/M 2010, "Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki

- Safitri, D., & Herbudiman, B. (2015). Kajian Perilaku Jembatan Cable Stayed terhadap Variasi Kemiringan Lantai Jembatan Studi Kasus: Jembatan Satu, Bareleng. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 1(1), 73*
- Mering, G. K., & IIK, A. D. (2020). Perancangan Jembatan Gantung menggunakan Konstruksi Kabel di Sungai Boyong Kabupaten Sleman, Yogyakarta. In Prosiding Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (pp. 200-200).*
- Badan Standar Nasional. (2016). SNI 1725 2016 : Standar Pembebanan Untuk Jembatan., Jakarta.*