

KEKUATAN STRUKTUR JEMBATAN GANTUNG SEDERHANA UNTUK PEJALAN KAKI

N. Retno Setiati

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan,
Balitbang Pekerjaan Umum
Jln. A.H. Nasution No. 264
Bandung 40294
retno.setiati@pusjatan.pu.go.id

Almuhitsyah

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan,
Balitbang Pekerjaan Umum
Jln. A.H. Nasution No. 264
Bandung 40294
almuhitsyah@pusjatan.pu.go.id3

Panji Krisna Wardhana

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan,
Balitbang Pekerjaan Umum
Jln. A.H. Nasution No. 264
Bandung 40294
panji.krisna@pusjatan.pu.go.id

Halisa

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan,
Balitbang Pekerjaan Umum
Jln. A.H. Nasution No. 264
Bandung 40294

Abstract

The bridge is one of the transport infrastructure needed to support social and economic activities. The bridge is really needed in some parts of rural communities. One phenomenon that often happens in the community is the unavailability of the bridge that can connect one village to another so that economic activity becomes inhibited. This condition required a simple bridge which can be utilized by people. This study deals with the design process of a simple suspension bridge reserved for pedestrians. Loading used refers to the guideline standards, taking into account the wind load and the vibration frequency. The results obtained show that the design can be used by pedestrians and two-wheeled vehicles, although it required review of the effect of vibration due to two-wheeled vehicles on the bridge.

Keywords: suspension bridge, pedestrians, wind force, vibration frequency

Abstrak

Jembatan merupakan salah satu prasarana transportasi yang dibutuhkan dalam menunjang kegiatan sosial ekonomi. Jembatan sangat dibutuhkan masyarakat di beberapa pelosok perdesaan. Salah satu fenomena yang sering terjadi di masyarakat adalah tidak tersedianya jembatan yang dapat menghubungkan antara suatu desa dengan desa lainnya sehingga kegiatan perekonomian menjadi terhambat. Untuk itu diperlukan suatu jembatan sederhana yang dapat dimanfaatkan masyarakat. Pada studi ini dirancang suatu jembatan gantung sederhana yang diperuntukkan bagi pejalan kaki. Pembebanan yang digunakan mengacu kepada standar pedoman yang baku, dengan memperhatikan beban angin dan frekuensi getar beban yang bekerja. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa rancangan yang diperoleh dapat digunakan oleh pejalan kaki dan kendaraan beroda dua, walaupun diperlukan kajian terhadap pengaruh getaran akibat kendaraan beroda dua terhadap jembatan.

Kata-kata kunci: jembatan gantung, pejalan kaki, beban angin, frekuensi getar

PENDAHULUAN

Kondisi geografis wilayah Indonesia, dengan banyak sungai, jurang, maupun lembah, merupakan tantangan dalam menyediakan infrastruktur yang memadai. Kebutuhan infrastruktur jembatan merupakan hal yang mutlak diperlukan guna menunjang roda perekonomian dan sosial budaya demi kemajuan suatu daerah. Kondisi yang ada saat ini

sangat memprihatinkan, dengan warga di hampir setiap daerah harus bertaruh nyawa untuk dapat sampai ke suatu tempat tujuan karena minimnya infrastruktur jembatan yang tersedia. Kondisi tersebut tidak dapat dibiarkan dan diperlukan suatu solusi yang cepat, tepat, aman, dan ekonomis.

Salah satu jembatan yang saat ini telah banyak digunakan di berbagai negara adalah jembatan gantung sederhana untuk pejalan kaki. Jembatan ini sangat cocok dikembangkan untuk suatu wilayah dengan kondisi geografis seperti yang terdapat di Indonesia. Jembatan gantung sederhana ini praktis dalam pengerjaannya dan ekonomis sehingga diharapkan dapat dikerjakan secara swadaya (Dewobroto, 2005).

Jembatan gantung sederhana untuk pejalan kaki diperlukan untuk menunjang ketersediaan infrastruktur yang memadai, terutama untuk daerah terpencil. Jembatan gantung sederhana ini memiliki keunggulan lebih ekonomis serta kemudahan dalam pelaksanaan sehingga diharapkan bisa dilakukan secara swadaya oleh masyarakat. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan kajian perancangan jembatan gantung untuk pejalan kaki yang cocok digunakan di pelosok perdesaan.

Jembatan Gantung Sederhana untuk Pejalan Kaki

Pengguna jembatan dan tingkat lalu lintas harus diidentifikasi secara jelas karena akan menentukan lebar lantai jembatan yang diperlukan dan beban hidup pada jembatan yang akhirnya akan menentukan biaya konstruksi. Dua lebar standar yang dianjurkan pada studi ini adalah:

- a) 1 m sampai dengan 1,4 m untuk pejalan kaki, sepeda, hewan ternak, sekawanan hewan, gerobak dorong beroda satu dan beroda dua, dan motor (Jembatan Pejalan Kaki Kelas II);
- b) 1,4 m sampai dengan 1,8 m untuk kendaraan yang ditarik hewan dan kendaraan bermotor ringan dengan maksimum roda tiga (Jembatan Pejalan Kaki Kelas I).

Lebar ini hanya akan memberikan akses satu arah pada beberapa tipe lalu lintas dan peringatan yang sesuai harus diletakkan pada setiap ujung jembatan. Untuk jembatan kelas I dianjurkan agar lantai jembatan dibuat dengan lebar 1,8 m untuk memberikan akses kendaraan bermotor ringan dengan maksimum roda tiga, tetapi kendaraan yang lebih besar harus dicegah, misalnya dengan memasang tiang besi atau patok di ujung jembatan.

Standar perancangan jembatan menetapkan kriteria perancangan yang perlu dipertimbangkan untuk memastikan bahwa jembatan pejalan kaki aman dan sesuai untuk pengguna tertentu. Kriteria perancangan jembatan sederhana pejalan kaki terdiri atas:

- a) Kriteria kekuatan; batang-batang jembatan harus cukup kuat untuk menahan beban hidup dan beban mati dengan batas yang cukup untuk keselamatan dan mengizinkan beban yang tidak terduga, properti material, kualitas konstruksi, dan pemeliharaan.
- b) Kriteria lendutan; jembatan pejalan kaki tidak boleh melendut dengan batas yang mungkin menyebabkan kecemasan atau ketidaknyamanan pengguna atau menyebabkan batang-batang yang terpasang menjadi tidak rata. Batas maksimum untuk balok dan rangka batang jembatan pejalan kaki ditunjukkan pada Tabel 1. Batasan ini adalah

lendutan maksimum pada seperempat bentang jembatan pejalan kaki ketika dibebani oleh beban hidup asimetris di atasnya.

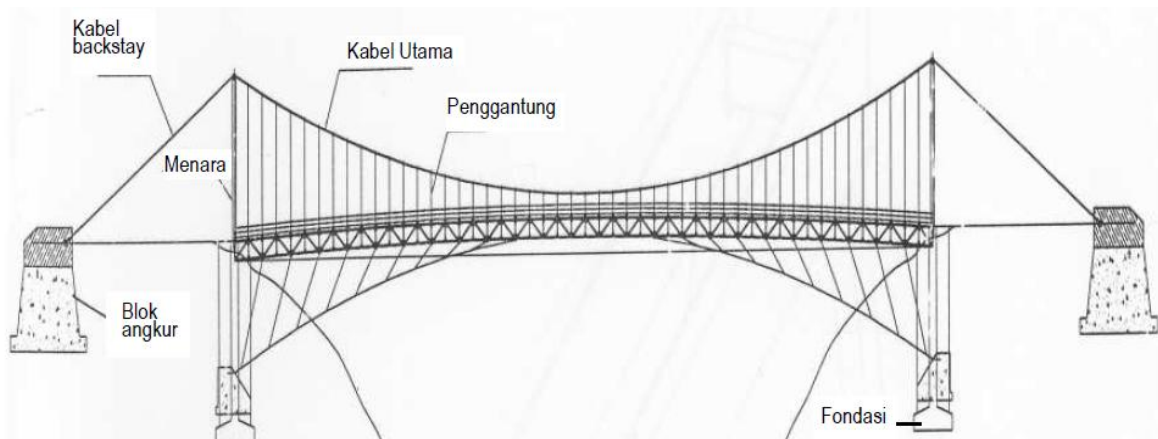
- c) Kriteria beban; beban untuk perancangan jembatan mengacu pada RSNI T02-2005 (Standar Pembebanan Jembatan). Pada jembatan pejalan kaki dapat saja terjadi getaran akibat angin atau orang yang berjalan di atasnya. Namun beban ini dapat diatasi dengan ikatan angin dan pembatasan barisan pejalan kaki.

Tabel 1 Beban Hidup yang Dipikul dan Lendutan Izin Jembatan Gantung Pejalan Kaki (Departemen Pekerjaan Umum, 1994)

Kelas Pengguna	Lebar	Beban Terpusat	Beban Terdistribusi Merata	Lendutan Izin
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)	500 kg/m ²	$\frac{1}{200}L$
Jembatan gantung pejalan kaki kelas II (beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1,4 m	-	400 kg/m ²	$\frac{1}{100}L$

Keterangan: L adalah bentang utama jembatan

Tipe jembatan gantung yang lebih konvensional adalah jembatan gantung yang menggunakan kabel menerus yang ditahan oleh menara pada setiap ujung jembatan. Kabel tersebut digunakan untuk menahan batang penggantung rantai jembatan. Sketsa tipe jembatan ini dapat dilihat pada Gambar 1. Rantai jembatan dapat lentur atau kaku, tetapi harus cukup kuat menahan beban lalu lintas antara kabel dan juga untuk menahan beban angin. Bagian ujung menara harus cukup tinggi untuk memungkinkan kabel utama melengkung, dengan rasio antara 1 : 8 dan 1 : 11 (Supriyadi dan Muntohar, 2005).



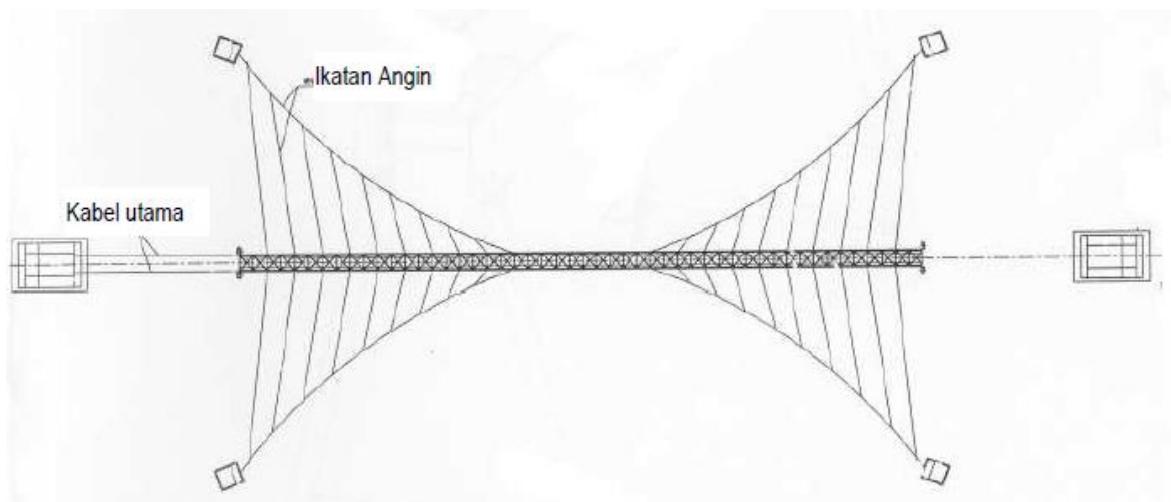
Gambar 1 Skema Jembatan Sederhana untuk Pejalan Kaki

Beberapa kegiatan yang dilakukan dalam perancangan jembatan gantung sederhana untuk pejalan kaki adalah sebagai berikut (Departemen Pekerjaan Umum, 1994):

- a) Tahapan pemasangan jembatan gantung, terdiri atas:
- 1) Menetapkan lokasi jembatan dengan mempertimbangkan aspek teknik;
 - 2) Melakukan pengukuran dan pembuatan peta lokasi jembatan;
 - (a) Melakukan pengukuran bentang sungai atau jurang ditambah 50 m ke setiap sisi dengan koridor 15 m ke arah hulu dan hilir rencana lokasi jembatan;
 - (b) Melakukan identifikasi kondisi hidrolik, elevasi air banjir, tinggi tebing, serta kondisi geoteknik setempat.
 - 3) Membersihkan lapangan dan membuat lintasan kabel untuk mengangkut bahan-bahan ke setiap sisi jembatan;
 - 4) Melakukan pengukuran jembatan, yang meliputi menara, angkur, dan fondasi, penentuan ketinggian lantai jembatan, ketinggian blok angkur, fondasi menara, serta fondasi gelagar pengaku jembatan;
 - 5) Membuat blok angkur, fondasi menara, dan fondasi gelagar pengaku;
 - 6) Memberi tanda-tanda lokasi batang penggantung, sumbu pelana, dan angkur pada kabel utama sesuai hasil perhitungan dan pengukuran lapangan;
 - 7) Membuat menara, kabel, dan pelana;
 - 8) Memasang dan menyetel awal kabel utama;
 - 9) Menempatkan dan mengikat kabel-batang penggantung;
 - 10) Memasang gelagar melintang, memanjang, dan pengaku secara bertahap;
 - 11) Memasang lantai jembatan dan sandaran;
 - 12) Menyetel akhir kabel utama pada blok angkur;
 - 13) Memasang dan menyetel kabel angin; serta
 - 14) Membuat jalan masuk ke jembatan dan tembok pengaman.
- b) Pembuatan blok angkur, terdiri atas:
- 1) Membuat blok angkur pada lokasi dan ketinggian yang tepat terhadap menara;
 - 2) Menyesuaikan sumbu blok angkur dengan sumbu pen yang menjadi hubungan akhir antara baut angkur yang tertanam dalam blok dan kabel utama;
 - 3) Mempertahankan tanah asli pada waktu penggalian tanah untuk blok angkur;
 - 4) Membuat acuan untuk baut angkur dengan kedalaman minimum 30 cm pada waktu pengecoran blok angkur;
 - 5) Menyetel baut angkur sebelum mortar mulai mengeras dan mengisi acuan dengan mortar yang menggunakan campuran dengan perbandingan air : semen : pasir adalah 0,4 : 1 : 1, sampai penuh dan tidak terjadi kantong udara dalam mortar.
- c) Pembuatan fondasi menara, terdiri atas:
- 1) Memastikan dasar fondasi tertanam dalam tanah asli;
 - 2) Memeriksa kembali ketinggian perletakan kemudian mengisikan mortar kering dengan komposisi semen dan pasir dengan perbandingan 1 : 2 di bawah pelat;

- 3) Menanam baut angkur dalam blok sesuai dengan cara pada butir b) dengan menggunakan mortar dengan campuran air, semen, dan pasir dengan perbandingan 0,4 : 1 : 2.
- d) Pemasangan kabel utama dan pelana, terdiri atas:
- 1) Melindungi kabel utama terhadap korosi dengan galvanisasi atau bungkus selubung polietilena yang diberi pelumas;
 - 2) Membuat dan memasang pelana sehingga dudukan arah kabel ke blok angkur dapat membentuk sudut yang tepat sesuai rencana;
 - 3) Menggunakan kabel semu mendahului kabel utama untuk menarik kabel utama melintasi sungai;
 - 4) Memberi tanda pada kabel utama penempatan pada sumbu pelana (sumbu perletakan atas menara) dan posisi batang penggantung dan angkur pada kondisi kabel diletakkan lurus di atas tanah dan belum ditegangkan;
 - 5) Mengurangi panjang kabel dengan perpanjangan yang diperhitungkan sesuai dengan tegangan kabel akibat beban mati jembatan dan ditambah dengan lengkungan kabel di pelana;
 - 6) Memasang klem di belakang tanda-tanda (sesuai butir 2) yang berfungsi sebagai penahan selama pemasangan kabel;
 - 7) Memasang kabel utama pada satu sisi dan selanjutnya memasang pada sisi lainnya;
 - 8) Melaksanakan pemasangan kabel dengan bantuan kabel semu untuk menarik kabel perlahan-lahan ke kiri atau ke kanan agar berada pada titik pusat menara.
- e) Pemasangan batang penggantung; memasang batang penggantung dengan klem-klem agak longgar sehingga batang-batang tersebut mudah ditempatkan pada lokasi yang tepat.
- f) Pemasangan gelagar melintang dan memanjang; memasang gelagar melintang dan memanjang secara bersamaan kemudian dilanjutkan dengan pemasangan lantai papan dan sandaran.
- g) Penyetelan kabel-kabel utama pada blok angkur; pada akhir pemasangan, kedudukan jembatan mungkin dalam kondisi miring ke satu sisi, kondisi lurus, melendut, atau dengan lawan lendut. Penyetelannya adalah sebagai berikut:
- 1) Mengencangkan kabel pada blok angkur sehingga jembatan memperoleh lawan lendut;
 - 2) Mengendurkan kabel pada blok angkur sehingga jembatan memperoleh lendutan;
 - 3) Melaksanakan penyetelan kabel dengan mur pengencang pada blok angkur dengan $\frac{1}{2}$ sampai maksimum 2 putaran per tahap pada setiap kabel secara berurutan.

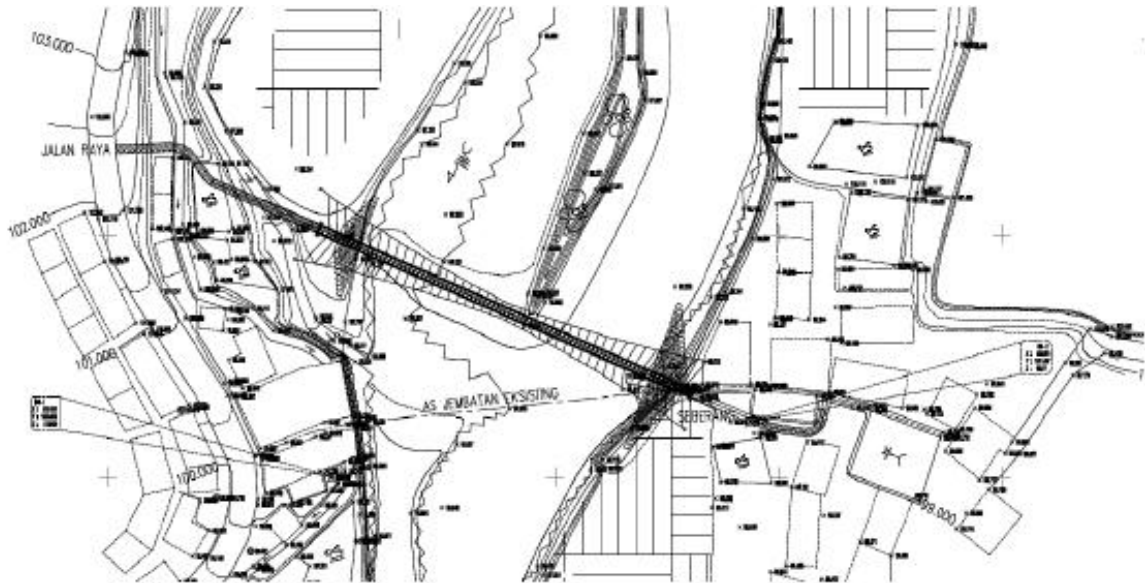
- h) Penyetelan tegangan kabel-kabel utama pada blok ankur, terdiri atas:
- 1) Meratakan tegangan kabel-kabel pada blok ankur dengan pengukuran frekuensi getaran;
 - 2) Memegang kabel dengan tangan sambil menaikturunkan sampai kabel bergetar dalam 1 gelombang dengan simpangan 20 cm. Kemudian kabel dilepas dan tangan ditahan dalam posisi sedemikian rupa sehingga terjadi pukulan setiap kali kabel bergetar;
 - 3) Mengukur frekuensi dengan arloji ukur dalam jangka waktu $\frac{1}{2}$ menit pertama sampai frekuensi kabel berkisar antara 100 sampai dengan 150 pukulan per menit;
 - 4) Melakukan pengecekan lendutan jembatan dan frekuensi kabel setelah tegangan kabel-kabel diratakan dengan menyetel mur pengencang ($\frac{1}{2}$ sampai maksimum 2 putaran).
- i) Hal-hal lain, terdiri atas:
- 1) Memasang ikatan angin untuk memperkuat gelagar-gelagar. Ilustrasi ikatan angin ditunjukkan pada Gambar 2;
 - 2) Memperkuat bangunan atas jembatan dengan kabel-kabel penahan yang diikatkan ke dalam tebing untuk mengurangi goyangan jembatan dalam arah horizontal;
 - 3) Melengkapi kabel penahan dengan mur pengencang untuk penyetelan, dengan sambungan profil dan baut harus memenuhi persyaratan kekuatan dan keawetan.



Gambar 2 Kabel-kabel Ikatan Angin

JEMBATAN GANTUNG SEDERHANA UNTUK PEJALAN KAKI

Sebagai studi kasus dibuat suatu *Detail Engineering Design* (DED) jembatan gantung di Kabupaten Garut. Berdasarkan hasil survei topografi diperoleh peta lokasi jembatan gantung yang akan dibuat, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil Pengukuran Topografi

Berdasarkan data teknis diperoleh panjang jembatan 90 m, lebar jembatan 1,2 m, dan tinggi sag adalah 2 m. Besarnya beban mati dapat dilihat pada Tabel 2.

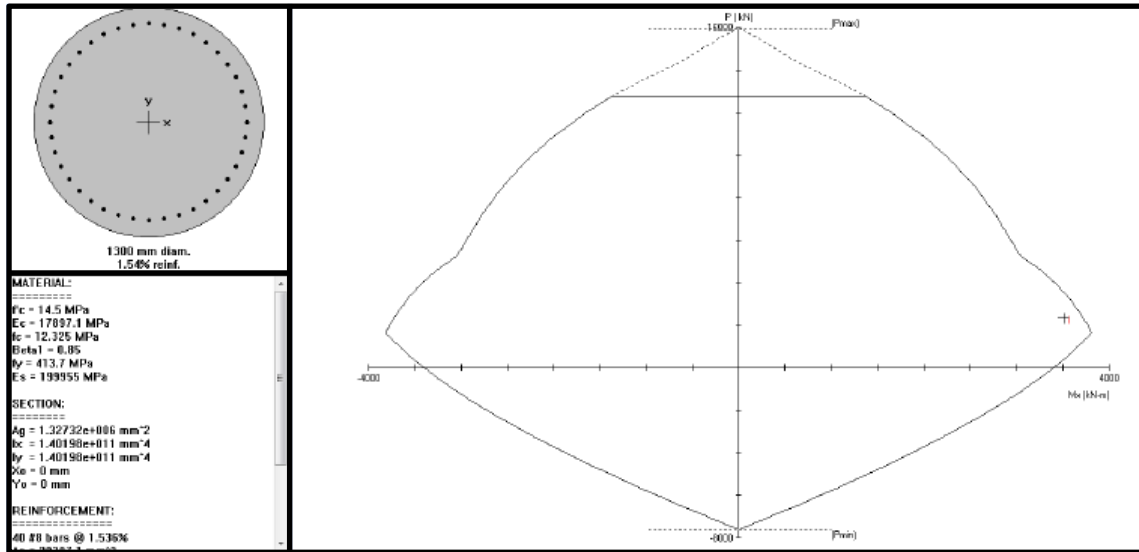
Tabel 2 Beban Mati pada Jembatan Gantung Pejalan Kaki

Elemen Struktur Jembatan	Asumsi	Beban (kN/m)
Kabel	6 x 19 IWRC <i>galvanized steel cable</i> 34.9 mm dan kabel (1 3/8") : 3,5 lb/ft 19 mm. Asumsi 6 kabel (6 di bawah, 2 di atas)	0,0113 0,0011
Deck plat bordes	4,5 mm x 4 mm x 1,2 m	0,6650
Balok melintang	100 x 100 x 4 x 4 mm x 1,7 m	0,1350
Penggantung	8 mm x 1,3 m	0,2450
Total		1,0470

Beban angin berdasarkan standar perancangan jembatan pejalan kaki mempertimbangkan kecepatan angin sebesar 35 m/detik, yang mengakibatkan tekanan seragam pada sisi depan yang terbuka batang-batang jembatan sebesar 130 kg/m². Gaya ultimit akibat angin adalah 4,494 kN/m.

Dimensi profil yang digunakan adalah H 100 x 100 x 6 x 6 mm, dengan besarnya tegangan yang bekerja pada gelagar baja adalah 19767 kN/m² (< 260 MPa). Kabel penggantung mentransfer beban dari deck ke kabel dan balok melintang dengan interval 1 meter. Diameter minimum penggantung adalah 8 mm dan untuk kabel utama adalah 35 mm.

Fondasi sumuran untuk blok angkur direncanakan menggunakan tulangan berdiameter 25 mm dengan spasi 61 mm. Setelah dilakukan analisis, konfigurasi tulangan yang digunakan dapat memikul gaya yang bekerja ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Penulangan Fondasi Sumuran

Besarnya faktor keselamatan (*safety factor*) fondasi sumuran berdasarkan Gambar 4 tersebut adalah 2,74 (5249,01 kN/1913,64 kN). Untuk mengetahui kapasitas jembatan dalam memikul beban roda dua dilakukan pengukuran beban roda dua. Dari hasil pengukuran diperoleh beban untuk roda depan sebesar 1 kN dan roda belakang sebesar 2,5 kN. Panjang kendaraan roda dua 1,35 m. Beban hidup yang mampu dipikul jembatan adalah 3,24 kN/m. Dengan demikian beban yang mampu dipikul jembatan sepanjang 1,35 m adalah 4.617 kg, sehingga beban yang terjadi akibat kendaraan roda dua yang dikendari dua orang sepanjang 1,35 m masih mampu dipikul oleh jembatan.

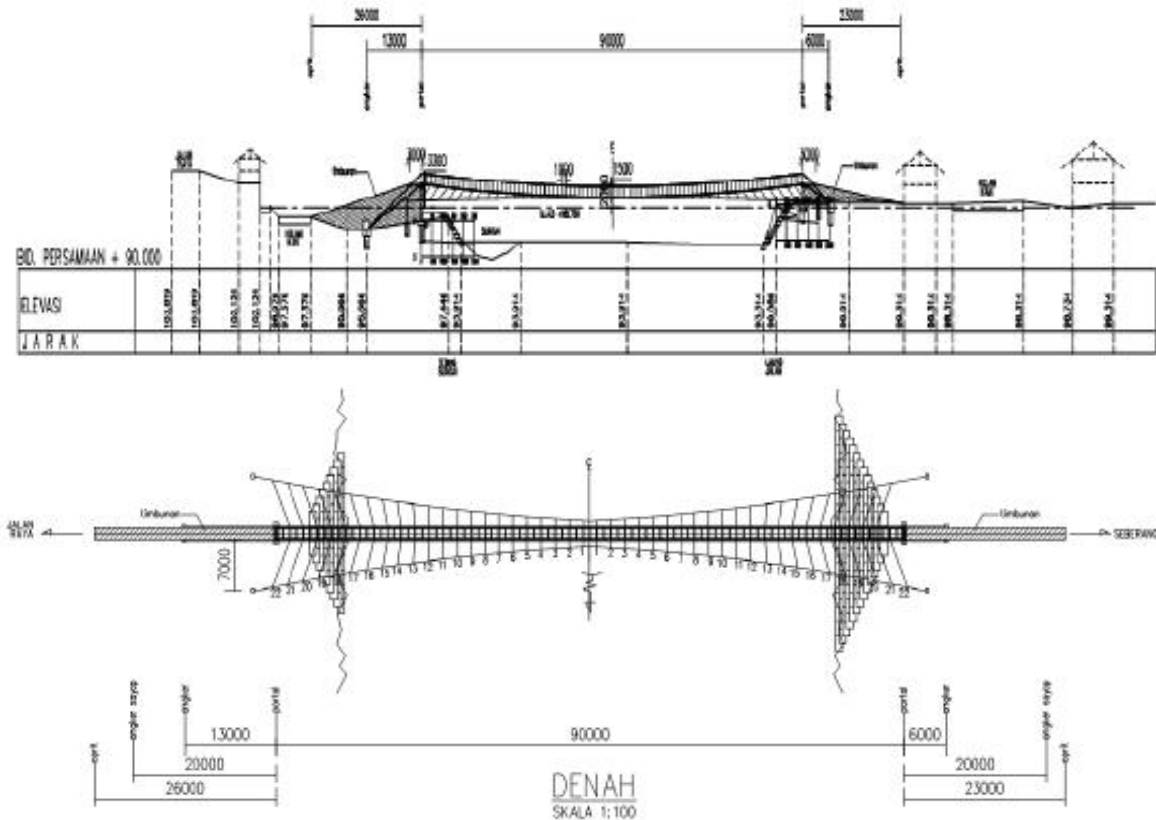
Frekuensi kabel sederhana dinyatakan dalam rumus semi empiris sebagai berikut (Edifrizal, 2012):

$$\text{Frekuensi natural pertama} : f_1 = \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{g}{d}} \left(1 - 3 \frac{d^2}{L^2}\right)$$

$$\text{Frekuensi natural kedua} : f_2 = \frac{1,4}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{g}{d}} \left(1 - 1,5 \frac{d^2}{L^2}\right)$$

$$\text{Frekuensi natural ketiga} : f_3 = \frac{2}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{g}{d}} \left(1 - 0,7 \frac{d^2}{L^2}\right)$$

Berdasarkan rumus tersebut frekuensi alami yang terjadi pada jembatan gantung sederhana untuk pejalan kaki dengan panjang bentang 90 m dan lebar 1,2 m, frekuensi natural pertama, kedua dan ketiga adalah 0,782 Hz, 1,095 Hz, dan 3,131 Hz. Dari seluruh analisis yang sudah dilakukan diperoleh desain gambar rencana jembatan gantung sederhana untuk pejalan kaki seperti yang terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5 Desain Jembatan Gantung Sederhana untuk Pejalan Kaki

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada studi ini dilakukan perancangan suatu jembatan gantung sederhana untuk pejalan kaki, dengan panjang bentang 90 m dan lebar jalan 1,2 m. Kabel utama yang digunakan berjumlah 6 buah dengan diameter 35 mm dengan mutu 1.860 MPa. Jembatan digunakan ini dirancang untuk pejalan kaki dan kendaraan beroda dua, dan hasil analisis menunjukkan bahwa beban yang bekerja masih lebih kecil dibandingkan dengan beban standar. Walaupun jembatan ini dapat dilewat oleh kendaraan beroda dua, perlu dilakukan kajian terhadap pengaruh getaran akibat kendaraan beroda dua terhadap jembatan.

Untuk bangunan bawah digunakan abutmen, dengan dimensi tertinggi adalah 5 meter di sisi jalan utama dan 3 meter di sisi seberang. Hal ini disebabkan tingginya muka air banjir dan kelengkungan jembatan. Pada studi ini, karena tingginya oprit, digunakan timbunan ringan dan jenis fondasi yang digunakan adalah fondasi sumuran.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum. SNI 03-3428-1994. *Tata Cara Perencanaan Teknik Jembatan Gantung Pejalan Kaki*. Jakarta.

- Dewobroto, W. 2005. *Perkembangan Jembatan di Indonesia*. Karawaci: Universitas Pelita Harapan.
- Edifrizal, D. 2012. *Perencanaan Struktur Jembatan*. Pusat Pengembangan Bahan Ajar. Jakarta: Universitas Mercubuana.
- Supriyadi, B dan Muntohar, A.S. 2005. *Analisis Struktur Jembatan*. Yogyakarta.