

STUDI PARAMETER DESAIN DIMENSI ELEMEN STRUKTUR JEMBATAN GANTUNG PEJALAN KAKI DENGAN BENTANG 120 M

Isyana Anggraeni

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional, Jln PHH. Mustofa 23 Bandung 40124. Telp: 0227272215.

Bernardinus Herbudiman

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional, Jln PHH. Mustofa 23 Bandung 40124. Telp: 0227272215.

Email : herbudiman@itenas.ac.id

Abstract

Suspension bridge is an effective and efficient fixed-link to cross rivers or gorges. The advantages of suspension bridge compared with other bridges are: aesthetic performance and longer span where continuous short support along rivers or gorges is not possible. In designing a safe but fairly economical bridge, suitable structure dimensional must be considered. The suspension bridge has several dominant structural elements, such as main cable, hanger rod, main girder, and pylon. This research has been done by manual calculation and program analysis. The suspension footbridge model has 120-meters span. Several structure element dimension variation is applied such as diameter of hanger rod, main cable, main girder profile inertia and pylon profile area. Service limit parameters such as: deflection, main girder maximum moment, backstay tensile load, main cable tensile load and pylon compression load have been considered. The influences of incremental dimensions on several service limit parameters have been summarized. An effort of enlarging structural element which provide significant influences on the service parameter is increase the dimension of main cable.

Keywords:

Deflection, main cable dimension, suspension footbridge.

PENDAHULUAN

Jembatan gantung merupakan pilihan yang efisien dan efektif sebagai sarana transportasi untuk menyeberangi sungai atau jurang. Keunggulan jembatan gantung dibandingkan dengan jembatan lainnya, antara lain: memiliki nilai estetika dan memiliki bentang relatif panjang untuk melewati sungai atau jurang dimana pemasangan tiang-tiang penyangga secara menerus dengan bentang pendek tidak dimungkinkan.

Jembatan gantung memiliki beberapa elemen struktur dominan, seperti kabel utama, batang penggantung, gelagar memanjang, dan menara. Di antara elemen struktur tersebut, perlu diteliti elemen mana yang memberi kontribusi dominan terhadap tingkat keamanan struktur, dan seberapa besar pengaruh perubahan kuantitas dimensi elemen struktur terhadap perubahan tingkat keamanan struktur. Dalam merancang jembatan yang aman namun cukup ekonomis, perlu ditentukan pilihan dimensi yang sesuai.

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.

Lebar untuk jalan masuk dan lintasan untuk tipe-tipe yang berbeda dan tingkat-tingkat lalu lintas terdiri dari dua lebar standar, yaitu:

- a) 1 m sampai dengan 1,4 m untuk pejalan kaki, sepeda, hewan ternak, sekawan 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).

METODE

Tahap desain dilakukan dengan melakukan pemodelan jembatan, perhitungan manual, dan klarifikasi analisis struktur.

Perhitungan manual dimulai dengan menentukan kelas jembatan, pembuatan model jembatan, menentukan beban rencana, menghitung gaya tarik kabel utama dan gaya tarik kabel *backstay*. Selanjutnya nilai lendutan yang terjadi di seperempat bentang, momen maksimum, dan gaya aksial pada menara diperiksa.

Klarifikasi analisis struktur diawali dengan memodelkan struktur yang akan dianalisis dengan menginput data-data pemodelan seperti yang telah direncanakan. Tahap-tahap selanjutnya adalah

mendefinisikan material dan penampang elemen, mendefinisikan beban, mendefinisikan kombinasi pembebanan, dan menganalisis program.

Parameter awal desain yang dijadikan syarat batas adalah lendutan maksimum yang terjadi pada seperempat bentang gelagar memanjang.

Setelah syarat batas lendutan terpenuhi maka keamanan struktur diperiksa terhadap parameter-parameter lain seperti: momen maksimum di seperempat bentang gelagar memanjang, gaya aksial di kabel backstay, gaya aksial kabel utama dan gaya aksial di menara.

Perhitungan Manual

Perhitungan manual dilakukan menurut panduan-panduan dan rumus-rumus yang termuat pada SK SNI T-29-1991-03. Pembebanan dilakukan dengan memberikan beban hidup simetris sebesar 2,7 kN/m dan beban hidup asimetris sebesar 3,6 kN/m, dilanjutkan dengan menentukan dimensi awal kabel yaitu diameter 100 mm untuk kabel utama sehingga didapat berat satuan kabel sebesar 0,62 kN/m. Profil gelagar memanjang menggunakan W33x118 dengan berat 1,719 kN/m, $W_x = 5882,956 \text{ cm}^3$ dan $I_x = 245576,5 \text{ cm}^4$. Sedangkan profil menara menggunakan W36x240. Beban mati total dihitung dengan menjumlahkan berat gelagar memanjang sebesar 1,719 kN/m, berat kabel baja sebesar 0,62 kN/m, berat lantai kayu jembatan sebesar 0,216 kN/m dan berat tambahan beban mati sebesar 0,33 kN/m. Beban total pada kabel didapat dengan menjumlahkan beban mati total sebesar 2,885 kN/m dengan beban hidup simetris sebesar 2,7 kN/m, menghasilkan beban desain sebesar 5,585 kN/m. Komponen horizontal pada ijin kabel utama dapat dilihat dari persamaan [1].

$$H_{\max} = w \cdot L^2 / 8d \dots\dots\dots [1]$$

dimana w = beban desain pada kabel (kN/m), L = bentang jembatan (m), d = jarak lengkung jembatan (m).

H_{\max} yang didapatkan adalah 1005,377 kN. Dari komponen horizontal ini dapat ditentukan besar gaya tarik maksimum kabel utama sebesar 1059,76 kN/m dengan sudut kabel utama (θ) = 18,43o dan gaya tarik maksimum kabel backstay sebesar 1245,564 kN dengan sudut backstay (ϕ) = 36,18 o.

Lendutan dan momen di seperempat bentang dihitung dengan memperhatikan besarnya proporsi beban yang ditahan oleh kabel (α) dan yang beban yang ditahan gelagar memanjang ($1 - \alpha$). Rumus

yang digunakan untuk mencari lendutan dapat dilihat dari persamaan [2].

$$\frac{5(1 - \alpha)pL^4}{12288EI} \cong \frac{\alpha p \cdot d/8}{\omega + \alpha p/2} \dots\dots\dots [2]$$

dimana p = beban hidup asimetris (kN/m), E = modulus elastisitas baja (kN/m), I = inersia arah x (m4). Dari perhitungan tersebut didapat lendutan di seperempat bentang sebesar 0,416 m.

Sedangkan momen di seperempat bentang didapat sebesar 550,8 kN.m dihitung dengan rumus pada persamaan [3].

$$M_{\max} \cong (1 - \alpha)pL^2/64 \dots\dots\dots [3]$$

Langkah terakhir adalah memeriksa tegangan pada menara dengan menjumlahkan komponen vertikal gaya tarik kabel *backstay* dan gaya tarik kabel utama, $N = 1070,41 \text{ kN}$. Angka kelangsingan menara dihitung dengan memperhatikan tinggi menara, inersia (I) dan luas penampang (A) menara. angka kelangsingan yang didapat sebesar 91,571, dan faktor tekuk sebesar 1,833. Dari data tersebut dapat dihitung tegangan pada menara yang terjadi sebesar 49,289 MPa lebih kecil dari tegangan izin 160 MPa.

Analisis Struktur

Data geometri jembatan gantung mengacu pada data yang sudah diperiksa keamanannya dengan perhitungan manual. Data geometri jembatan adalah sebagai berikut:

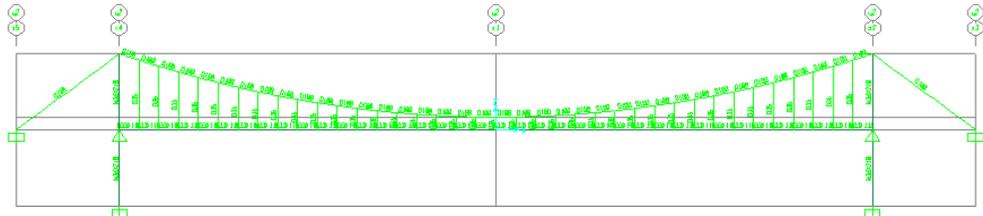
Jenis Model: Jembatan gantung; panjang bentang kiri, $L1: 16,4 \text{ m}$; panjang bentang tengah, $L2: 120 \text{ m}$; panjang bentang kanan, $L3 : 16,4 \text{ m}$; lebar lantai jembatan, $w : 2 \text{ m}$; tinggi menara, $H1: 12 \text{ m}$; jumlah segmen tengah, $N2: 38$; ukuran minimum sag tengah: 2 m ; mutu baja (f_y): 400 MPa ; dimensi menara: $W36x210$; dimensi gelagar memanjang: $W33x118$; diameter kabel utama: 100 mm ; diameter batang penggantung: 35 mm .

Hasil pemodelan struktur jembatan gantung tampak pada Gambar 1. Setelah pemodelan dilakukan, pembebanan pada struktur terdiri dari beban mati sebesar 2,885 kN/m, beban hidup simetris sebesar 2,7 kN/m seperti tampak pada Gambar 2, dan beban hidup asimetris 3,6 kN/m seperti tampak pada Gambar 3. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan adalah kombinasi 1 yaitu beban mati dan beban hidup asimetris, dan kombinasi 2 yaitu beban mati dan beban hidup simetris. Dari pembebanan tersebut didapat gaya aksial

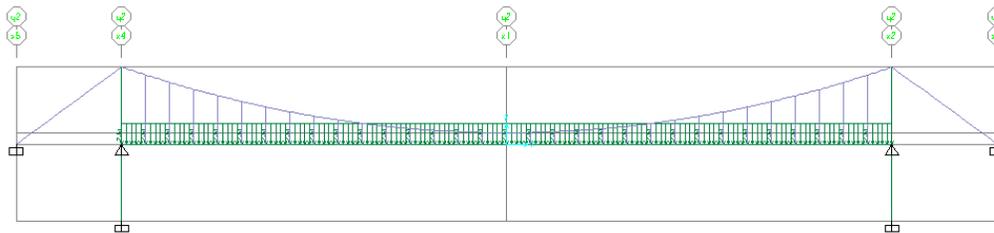
maksimum pada kabel *backstay* sebesar 1126,3 kN, sedangkan pada kabel utama sebesar 976,97 kN. Gaya-gaya dalam pada $\frac{1}{4}$ bentang akibat kombinasi 2, ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan momen yang terjadi pada seperempat bentang sebesar

819,840 kN.m, akibat kombinasi 1, ditunjukkan pada Gambar 5.

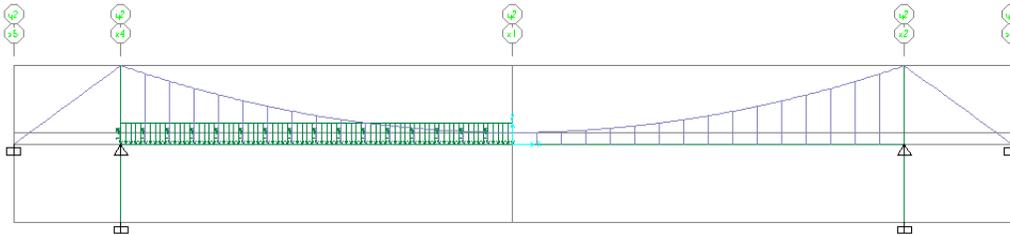
Hasil klarifikasi desain manual dengan program analisis struktur dibandingkan juga dalam Tabel 1.



Gambar 1 Model jembatan gantung



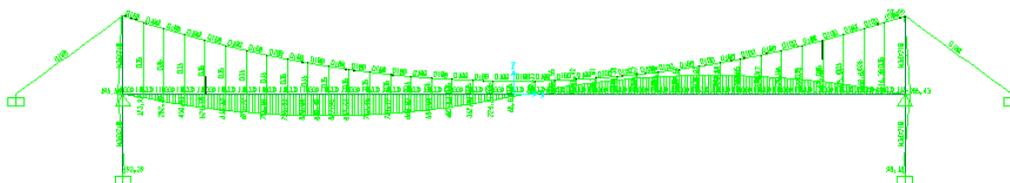
Gambar 2 Letak pembebanan untuk beban mati



Gambar 3 Letak pembebanan untuk beban hidup asimetris



Gambar 4 Gaya aksial akibat kombinasi 2



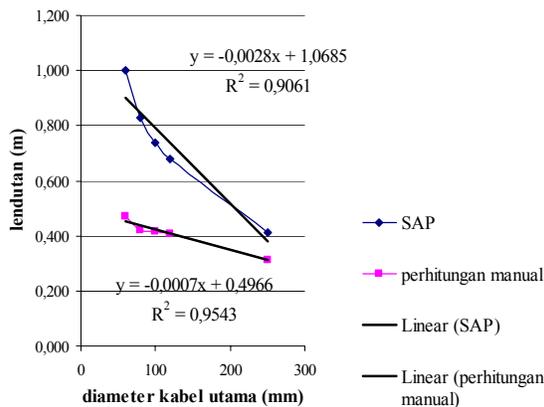
Gambar 5 Momen pada struktur

Tabel 1 Perbandingan analisis struktur

Hal	Perhitungan manual	Perhitungan Program analisis struktur	%Δ
T <i>backstay</i> (kN)	1245,564	1126,3	9,6
T kabel utama (kN)	1059,76	976,97	7,8
Δ (m)	0,41	0,74	-80,5
Momen (kN.m)	550,8	819,84	-48,8
Aksial menara (kN)	1070,41	968,002	9,6

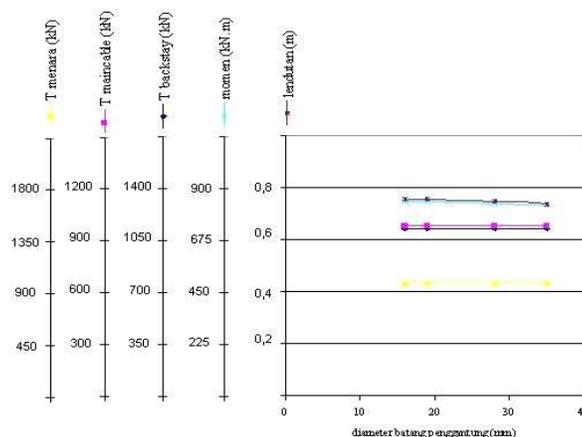
Pemilihan dimensi untuk bentang 120 meter

Hubungan lendutan dengan diameter kabel utama ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6 Hubungan lendutan dengan diameter kabel utama

Dari Gambar 6 tampak bahwa perhitungan manual dan analisis struktur akan menghasilkan lendutan yang sama sekitar 0,3 m pada diameter kabel utama sebesar 270 mm.



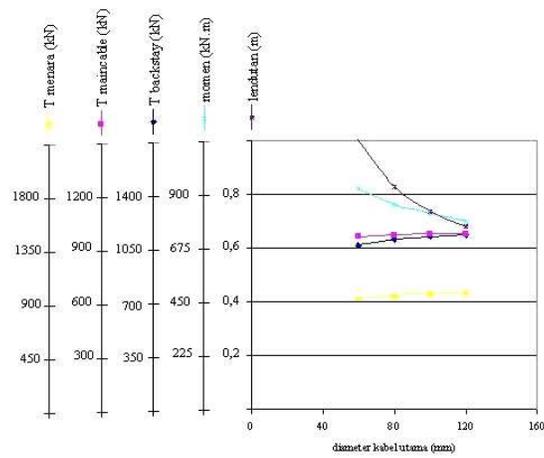
Gambar 7 Hubungan diameter batang penggantung dan parameter layan

Hubungan besarnya perubahan dimensi elemen struktur diameter batang penggantung (mm), diameter kabel utama (mm), inersia profil gelagar memanjang (mm⁴) dan luas profil menara (mm²) akibat dari lendutan (m), momen di seperempat bentang (kN.m), gaya tarik kabel *backstay* (kN), gaya tarik kabel utama (kN), dan gaya aksial pada menara (kN) ditunjukkan pada Gambar 7, 8, 9, 10, dan 11.

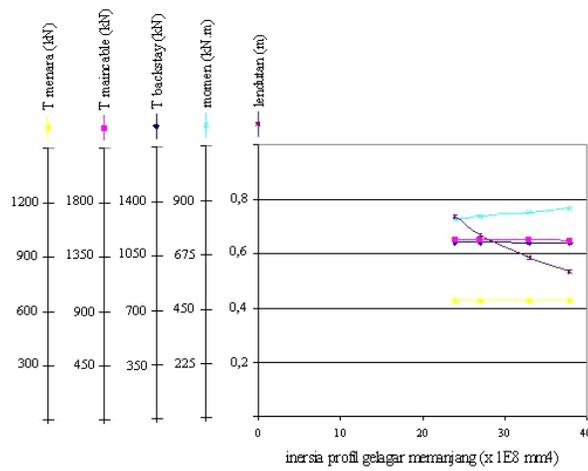
Sedangkan besarnya lendutan (m), momen di seperempat bentang (kN.m), gaya tarik kabel *backstay* (kN), gaya tarik kabel utama (kN), dan gaya aksial pada menara (kN) akibat perubahan dimensi elemen struktur diameter batang penggantung (mm), diameter kabel utama (mm), inersia profil gelagar memanjang (mm⁴) dan luas profil menara (mm²) ditunjukkan pada Gambar 12, 13, 14, dan 15.

Dari Gambar 7 terlihat bahwa perubahan dari diameter batang penggantung tidak banyak berpengaruh pada setiap parameter pengujian.

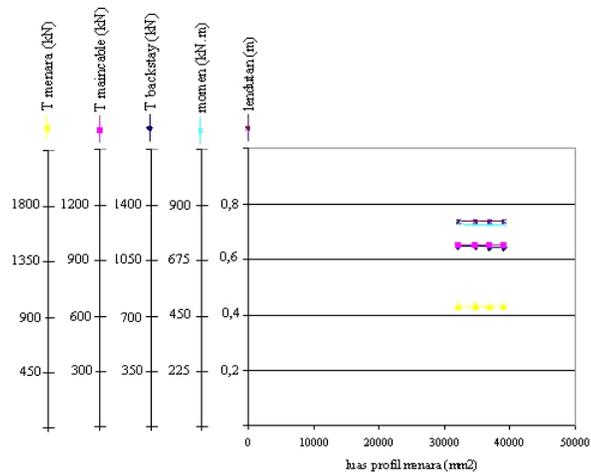
Dari Gambar 8 terlihat bahwa perubahan dari diameter kabel utama dapat berpengaruh pada setiap parameter pengujian dengan sifat yang berbeda. Pada lendutan perubahan diameter ini sangat berpengaruh hingga 7,99%-14,45%, semakin besar diameter kabel utama yang digunakan maka lendutan yang dihasilkan akan semakin kecil. Begitu pula yang terjadi pada momen di seperempat bentang, momen mengecil 4%-7,5% bila diameter kabel utama diperbesar. Namun hal ini tidak terjadi pada gaya aksial yang terjadi pada struktur, karena pembesaran diameter kabel utama akan menghasilkan gaya aksial pada bagian *backstay*, *main cable* dan menara jembatan menjadi lebih besar sampai 3%.



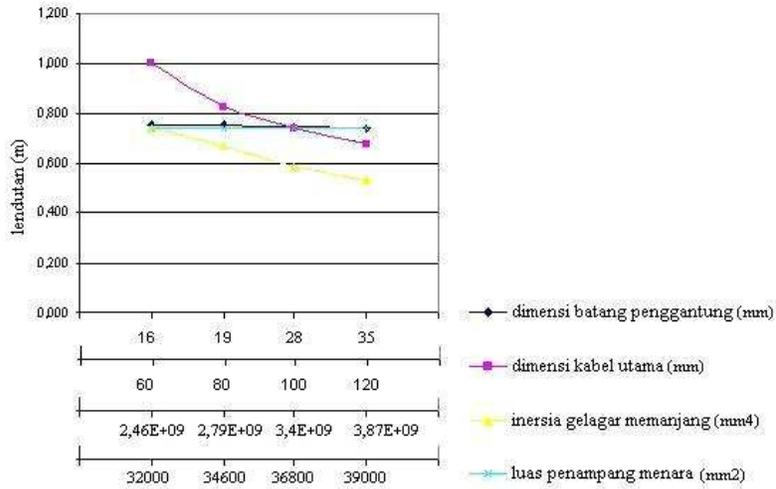
Gambar 8 Hubungan diameter kabel utama dan parameter layan



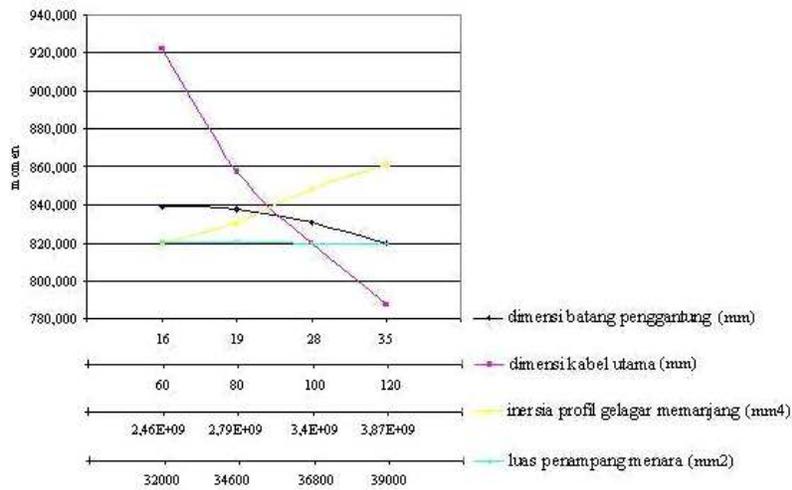
Gambar 9 Hubungan inersia profil gelagar memanjang dan parameter layan



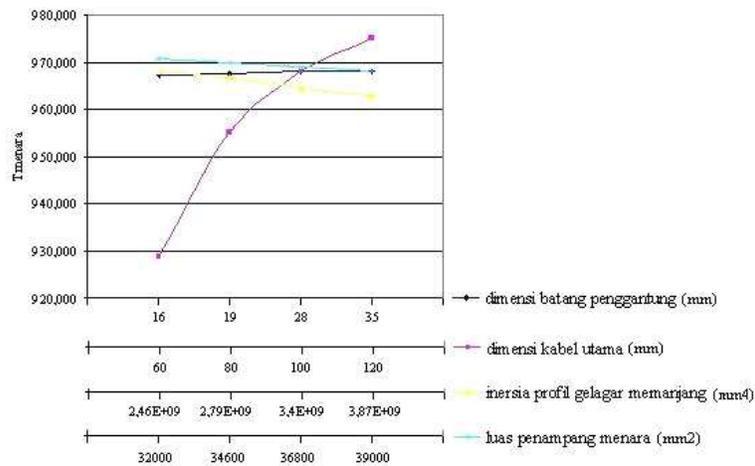
Gambar 10 Hubungan luas profil menara dan parameter layan



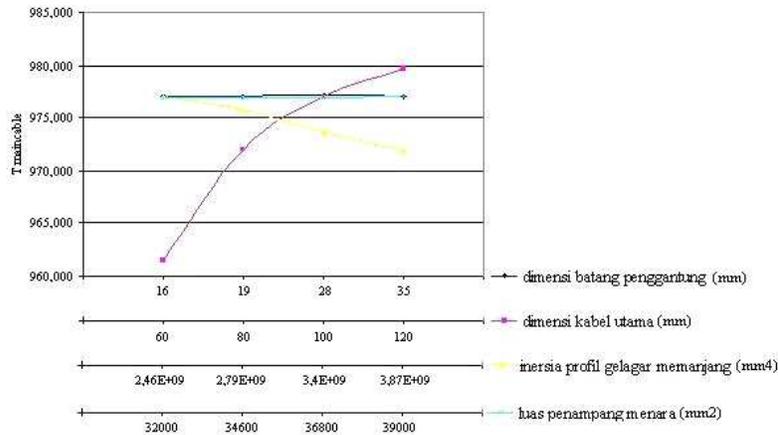
Gambar 11 Hubungan lendutan dan perubahan dimensi elemen struktur



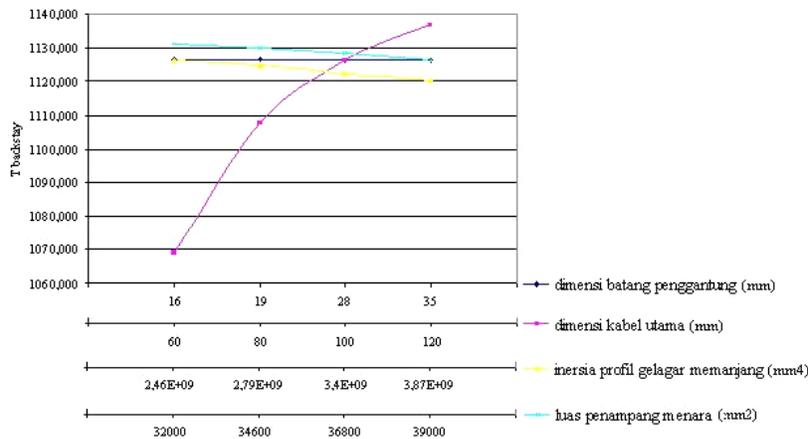
Gambar 12 Hubungan momen dan perubahan dimensi elemen struktur



Gambar 13 Hubungan T menara dan perubahan dimensi elemen struktur



Gambar 14 Hubungan T_{maincable} dan perubahan dimensi elemen struktur



Gambar 15 Hubungan T_{backstay} dan perubahan dimensi elemen struktur

Dari Gambar 9 terlihat bahwa perubahan dari inersia profil gelagar memanjang sebesar 20% tidak begitu berpengaruh pada gaya yang terjadi, seperti pada gaya aksial pada kabel backstay, kabel utama dan menara. Perubahan inersia gelagar memanjang berpengaruh pada penurunan lendutan sebesar 8,87%-12,5%, sedangkan pada momen terjadi peningkatan sebesar 1,2%-2,1%.

Gambar 10 menggambarkan perubahan gaya dan lendutan yang terjadi pada struktur jembatan akibat perubahan luas profil menara yang diperbesar sebanyak 10%. Luas profil menara tidak memberi pengaruh berarti pada semua parameter layan.

Gambar 11 menggambarkan pengaruh yang diberikan dari perubahan elemen-elemen struktur jembatan. Dapat disimpulkan bahwa elemen yang sangat berpengaruh pada lendutan adalah perubahan profil gelagar memanjang yang mengalami perubahan pada inersianya sebesar 20% dan memberikan perubahan lendutan sebesar 8%-12%.

Gambar 12 menggambarkan pengaruh perubahan dimensi elemen struktur jembatan terhadap momen yang terjadi di seperempat bentang. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan dimensi kabel utama sangat berpengaruh pada momen yang terjadi. Semakin besar dimensi kabel utama yang digunakan, maka momen yang dihasilkan semakin kecil sebesar 4%-7%.

Gambar 13 menggambarkan pengaruh perubahan dimensi elemen struktur jembatan pada gaya aksial yang terjadi pada menara. Dari grafik tersebut terlihat bahwa perubahan dimensi kabel utama dapat membawa konsekuensi meningkatnya gaya aksial pada menara hingga mencapai 2,8%.

Gambar 14 menggambarkan pengaruh perubahan dimensi elemen struktur jembatan pada gaya aksial yang terjadi pada kabel utama. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan dimensi kabel utama sangat berpengaruh besar terhadap gaya aksial pada kabel utama.

Gambar 15 menunjukkan perubahan gaya tarik pada kabel *backstay* lebih dipengaruhi oleh perubahan dimensi kabel utama.

SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini diantaranya mengetahui bahwa usaha memperbesar elemen struktur yang paling banyak memberikan pengaruh terhadap berkurangnya lendutan pada gelagar memanjang adalah memperbesar diameter dimensi kabel utama. Jika dimensi kabel utama diperbesar 20 mm (16%-25%) dapat mengurangi lendutan hingga 0,059 m – 0,175 m (7,99%-17,45%). Sedangkan jika dimensi kabel utama diperbesar 20 mm (16%-25%) dapat mengurangi momen maksimum pada seperempat bentang hingga 33,03 kN.m – 64,57 kN.m (4,03%-7,00%). Hal lain yang dapat disimpulkan adalah Gaya aksial pada kabel *backstay* lebih dipengaruhi oleh perubahan kabel utama. Gaya tarik kabel *backstay* meningkat sebesar 3,17%-4,47% dengan memperbesar dimensi kabel utama. Peningkatan ini disebabkan oleh berat sendiri kabel.

Gaya aksial pada menara tidak banyak dipengaruhi oleh usaha memperbesar dimensi elemen struktur. Dalam hal penambahan dimensi elemen struktur jembatan justru akan berakibat pada gaya tarik pada kabel utama yang meningkat, kecuali pada penambahan dimensi batang penggantung dan luas penampang menara yang tidak banyak memberikan pengaruh pada gaya tarik kabel utama.

Perhitungan manual memiliki kesamaan hasil dengan program analisis SAP 2000 hanya pada

dimensi elemen struktur tertentu, misalnya pada dimensi kabel utama 270 mm untuk menghasilkan lendutan yang sama.

REFERENSI

- Departemen Pekerjaan Umum, "Pd X-XX-XXXX-B, Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Jembatan Gantung Pejalan Kaki, 2008".
- Departemen Pekerjaan Umum, "SK SNI T-29-1991-03, Tata Cara Perencanaan Teknis Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki, 1991".
- Standar Nasional Indonesia, "SNI-03-1725-1989, Tata Cara Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, 1989".
- Standar Nasional Indonesia, "SNI-07-0722-1989, Baja Canai Panas Untuk Konstruksi Umum, 1989".
- Standar Nasional Indonesia, "SNI-03-1974-1990, Metode Pengujian Kuat Tekan Beton, 1990".
- Standar Nasional Indonesia, "SNI-07-2529-1991, Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton, 1991".
- Standar Nasional Indonesia, "SNI-03-3428-1994, Tata Cara Perencanaan Teknik Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki, 1994".
- Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, "Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia", Bandung, 1984.