

Metropilar

Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Unhalu



VOLUME 8 NO. 3 JULI 2010

Kemiringan Dasar Saluran (Channel Bed Slope) Sebagai Parameter Dominan Angkutan Sedimen Dasar Fraksial Weka Ari Suryawan	286
Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa Pada Sumbu DQ Sempai Ju	278
Aspek Pengerukan Pada Pelabuhan Laut (Study Kasus Pelabuhan Sukarno Makassar) Sir Hamzah	285
Waktu Tunda Versus Loss Pada MIRA dan LMIR Dalam Menghadapi Kongesti Pada Jaringan MPLS Muhammad Sabi	290
Analisis Tampungannya Maksimum Sungai (Study Kasus Sungai Wanggu) Ahmad Syarif Sukri, Sir Hamzah	296
Pengaruh Peningkatan Kecepatan Pergerakan NODE Terhadap Nilai THROUGHPUT dan Paket Data Yang Sampai Pada Jaringan AD-HOC MOBILE Dengan Menggunakan Algoritma DSDV Azzah Khariz	303
Economic Dispatch Menggunakan Real Encoding Genetic Algorithm Umer	308
Analisis Kebutuhan dan Desain Interaksi Aplikasi Sistem Transaksi dan Pelayanan Perpustakaan Merggunakan Unified Modeling Language (UML) Studi Kasus : Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Haluoleo Statikawaty	314
Studi Kebutuhan dan Pola Sebaran Rumah di Kawasan Permukiman Kasupaten Buton Mastik Kani	324
Tinjauan Lama Perendaman (Water Damage) Terhadap Penggunaan Limbah Plastik Tipe Polyethylene Pada Kondisi Optimum Pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Suzani Dyanadi	332
Analisis Perbandingan Panas Pada Kolektor Surya Plat Datar Menggunakan Dua Kaca Penutup Sulwan Sula	345
Perilaku Beton Serat Bendrat Muslana	351
Perencanaan Kabel Jembatan Gantung Acha Kadi	359
Morphology Of Shophouse Facade In Kota Lama Kendari Asri Andris Hewan Balu	368
Kajian Hambatan Samping Pada Simpang Bersinyal Jalan MT. Haryono-Jalan Sao Sao Kota Kendari Aizer Karim La Welendo	379

Daftar Isi

Kemiringan Dasar Saluran (<i>Channel Bed Slope</i>) Sebagai Parameter Dominan Angkutan Sedimen Dasar Fraksial Weka Adi Suryawan	266
Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa Pada Sumbu DQ Samuel Jie	278
Aspek Pengerukan Pada Pelabuhan Laut (Study Kasus Pelabuhan Sukarno Makassar) Siti Fatimah	286
Waktu Tunda Versus Loss Pada MIRA dan LMIR Dalam Menghadapi Kongesti Pada Jaringan MPLS Muhammad Said.....	290
Analisis Tampang Maksimum Sungai (Study Kasus Sungai Wanggu) Ahmad Syarif Sukri, Siti Fatimah	296
Pengaruh Peningkatan Kecepatan Pergerakan <i>NODE</i> Terhadap Nilai <i>THROUGHPUT</i> dan Paket Data Yang Sampai Pada Jaringan AD-HOC MOBILE Dengan Penggunaan Algoritma DSDV Amal Khairan	303
Economic Dispatch Menggunakan Real Encoding Genetic Algorithm Umar	308
Analisis Kebutuhan dan Desain Interaksi Aplikasi Sistem Transaksi dan Pelayanan Perpustakaan Menggunakan <i>Unified Modeling Language</i> (UML) Studi Kasus : Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Haluoleo Statiswaty	314
Studi Kebutuhan dan Pola Sebaran Rumah di Kawasan Permukiman Kabupaten Buton Ishak Kadir	324
Tinjauan Lama Perendaman (<i>Water Damage</i>) Terhadap Penggunaan Limbah Plastic Tipe <i>Polyethyline</i> Pada Kondisi Optimum Pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> (SMA) Susanti Djalante	332

Analisis Perpindahan Panas Pada Kolektor Surya Plat Datar Menggunakan Dua Kaca Penutup Budiman Sudia.....	345
Perilaku Beton Serat Bendrat Masdiana.....	351
Perencanaan Kabel Jembatan Gantung Abdul Kadir	359
Morphology Of Shophouse Facade In Kota Lama Kendari Asri Andrias Herman Balo	369
Kajian Hambatan Samping Pada Simpang Bersinyal Jalan MT. Haryono-Jalan Sao Sao Kota Kendari Akbar Kurdin, La Welendo	379

PERENCANAAN KABEL JEMBATAN GANTUNG

Abdul Kadir¹⁾

ABSTRACT

A cable suspension bridge has been the trend in the last decade. Two important parameters in the planning of the type of deck and cables. This paper is intended to plan a cross-section cable suspension bridge with a deck on a steel frame. Cross section and span length is assumed. A result calculates on the basis of ultimate strength and deflection obtained compatibility requirement is 19, stands the main cable and hanger 1 strand.

Keywords: Jembatan Gantung, Struktur Kabel

PENDAHULUAN

Saat ini teknologi jembatan berkembang sedemikian pesatnya, baik dari segi tipe, variasi, metode desain, maupun teknologi pembuatannya, sehingga penerapan dilapangan sangat dipengaruhi mungkin atau tidak mungkin suatu konstruksi dapat dilaksanakan. Untuk jembatan bentang panjang, jembatan kabel maupun jembatan gantung menjadi salah satu jembatan yang penerapannya dalam dekade terakhir menunjukkan kecenderungan meningkat di beberapa negara.

Pemilihan tipe gelagar sangat berpengaruh pada perilaku dinamis jembatan. Dek dengan *solid web* dari pengalaman para ahli dan uji *Wind-tunnel test* potensi terjadinya *Vortex shedding*, *flutter*, *buffeting* sangat mungkin terjadi. Sedangkan web dengan *stiffening truss* memiliki perilaku aerodinamis yang baik saat mendapat beban angin sehingga efek-efek tersebut dapat teredusir sampai pada pengaruh yang tidak signifikan. Pada makalah ini konfigurasi jembatan konfigurasi bentang dan bentuk web (rangka baja) ditentukan sedemikian

sehingga beban-beban bekerja didominasi oleh beban gravitasi (*gravity load dominated*). Tipe jembatan gantung yang direncanakan adalah tipe *two-hinged (side span suspended)*.

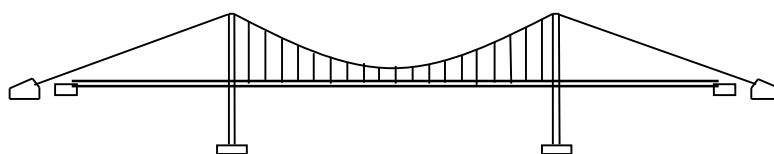
LANDASAN TEORI

1. Jenis Jembatan Gantung

Steinman (1953), membedakan jembatan gantung menjadi dua jenis yaitu :

a. Jembatan gantung tanpa pengaku

Jembatan gantung tanpa pengaku adalah tipe jembatan gantung dimana seluruh beban sendiri dan lalu-lintas didukung penuh oleh kabel. Hal ini dikarenakan tidak terdapatnya elemen struktur kaku pada jembatan. Dalam perhitungan struktur secara keseluruhan, struktur pendukung lalu-lintas ini kekakuannya (*EI*) dapat diabaikan, sehingga seluruh beban mati dan beban lalu-lintas akan didukung secara penuh oleh kabel baja melalui hanger.



Gambar 1. Jembatan gantung tanpa pengaku

b. Jembatan gantung dengan pengaku

Jembatan dengan pengaku adalah tipe jembatan gantung dimana pada salah satu bagian strukturnya mempunyai bagian yang lurus yang berfungsi untuk mendukung lantai lalu-lintas (dek). Dek pada jembatan gantung jenis ini biasanya berupa struktur rangka, yang mempunyai kekakuan (*EI*) tertentu.

Dalam perhitungan struktur secara keseluruhan, beban dari lantai jembatan didukung secara bersama-sama oleh kabel dan gelagar pengaku berdasarkan prinsip kompatibilitas lendutan (kerjasama antara kabel dengan dek dalam mendukung lendutan)

¹⁾ Dosen Tetap Pada Fakultas Teknik Universitas Haluoleo

Jembatan gantung dengan pengaku mempunyai dua dasar bentuk umum, yaitu :

a. Tipe rangka batang kaku (*stiffening truss*)

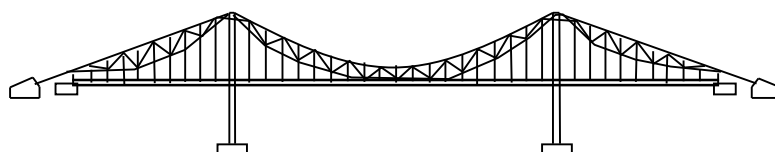
Pada tipe ini jembatan mempunyai bagian yang kaku atau diperkaku yaitu pada bagian lurus pendukung lantai jembatan (dek).



Gambar 2. Jembatan gantung dengan pengaku truss

b. Tipe rantai kaku (*braced chain*)

Pada tipe ini bagian yang kaku atau diperkaku adalah bagian yang berfungsi sebagai kabel utama.



Gambar 3 Jembatan gantung dengan rantai pengaku

2. Sistem dan Spesifikasi Kabel

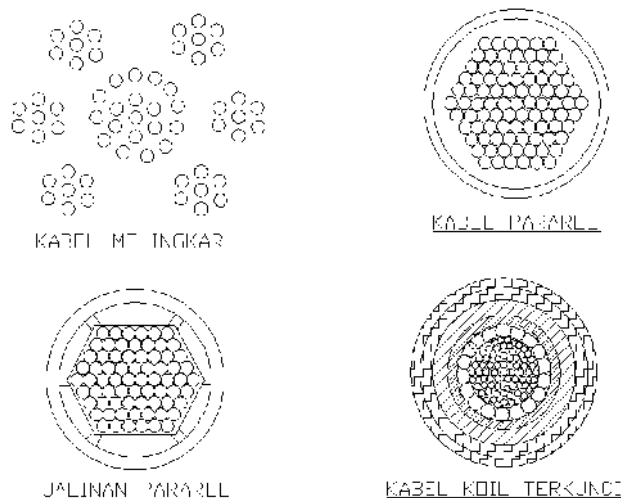
Menurut bentuknya kabel dapat kita bagi menjadi 2 bagian yaitu :

a. Wire Ropes

Kekuatan dari *twisted wire ropes* ini kurang dari pada kekuatan dari masing-masing kawatnya. Ini disebabkan karena tanganan kawat yang berbentuk spiral itu berbeda disebelah luar dengan yang tengah. Setiap *rope* terdiri dari 7 *strand*, dan tiap *strand* berisi 7,19, 37, atau 61 wires. Kawat-kawat tersebut dijalin (*twisted*) menjadi *strand* dalam arah yang berlawanan daripada arah jalinan *strand* menjadi *rope*.

b. *Parallel Wire*

Pada sistem ini, kira-kira 250-350 kawat yang sejajar satu sama lain merupakan sebuah *strand*. Sebuah kabel terdiri dari 7, 19, 37, atau 61 *strands* yang disatukan satu sama lain. Kawat yang dipakai biasanya berdiameter 4 mm – 5 mm untuk bentang-bentang yang lebih pendek. Untuk mencegah terjadinya karat pada kawat maka diberi coating (*galvanized*) yang membungkus kabel sebagai pelindung dari pengaruh luar.



Gambar 4 Tipe berbeda dari kabel (Raju 1999)

Tabel 1. Standar spesifikasi kabel (Raju 1999)

No	Karakteristik	ASTM A 416-80	EURONORM 138-79	BS 5896:1980
1	Diameter nominal (mm)	15.24	15.70	15.70
2	Kuat tarik nominal (MPa)	1862	1770	1770
3	Luas baja nominal (mm ²)	140	150	150
4	Berat nominal (kg/m)	1.102	1.180	1.180
5	Beban putus karakteristik (kN)	260.7	265	265
6	Elongasi minimum beban 1% (kN)	221.5	233	233
7	Elongasi saat beban maksimum (%)	3.5	3.5	3.5

3. Pembebanan dan Kombinasinya

BMS 1992 menekankan perancangan dengan metode *limit state design*, sehingga pada pembebanan diberikan suatu faktor beban pengali beban bekerja. Beban terdiri dari;

- a. Muatan Mati terdiri dari berat sendiri yaitu berat bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap dan beban mati tambahan. Faktor beban untuk beban tetap sebesar 1,2 untuk berat sendiri dan 2 untuk beban mati tambahan.
- b. Beban Lalu Lintas
 - 1) Beban Lajur D

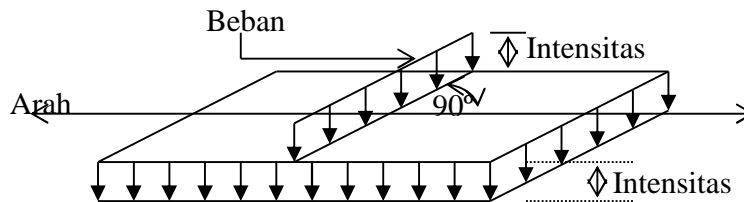
Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi

merata dan beban garis. Beban terbagi merata besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L sebagai berikut :

$$L \leq 30 \text{ m}; \quad q = 8,0 \text{ kPa};$$

$$L > 30 \text{ m}; \quad q = 8,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

Beban garis mempunyai intensitas P sebesar 44,0 kN/m, bekerja tegak lurus terhadap arah lalulintas. Bila lebar jalur lalu lintas lebih besar dari 5,5 m, beban D dibebankan dengan intensitas 100% pada lebar jalur 5,5 m sedangkan lebar selebihnya dibebani dengan intensitas 50%. Faktor beban untuk beban lajur D adalah 2



Gambar 5 Beban Lajur “D”

- 2) Beban dinamis

Interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan menghasilkan beban dinamis yang dalam perencanaan dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen. Untuk

mendapatkan simulasi kejut dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan digunakan faktor beban dinamis. Beban D dengan panjang bentang kurang dari 50 m maka faktor beban dinamisnya = 0,4.

Tabel.2. Kombinasi Beban (BMS: 2-60)

Aksi	Kombinasi Beban											
	Batas Daya Layan						Batas Ultimit					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Aksi Tetap : - Berat Sendiri - Beban Mati Tambahan - Penyusutan dan Rangkak	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
Aksi Komposit : - Beban Lajur D atau - Beban Truk T	x	o	o	o	o		x	o	o	o		
- Pejalan Kaki		x						x				
- Gesekan pada Peletakan	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		O
- Pengaruh Temperatur	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		O

4. Analisis Kabel

a. Kurva kabel, Panjang dan Tegangan Kabel

Persamaan umum kurva parabola adalah;

$$y = 4f (x/l^2)(l-x) \dots\dots\dots(1)$$

panjang kabel (L) dapat dihitung sebagai berikut:

$$L = 2 \int_0^{\frac{1}{2}} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} dx \dots\dots\dots (2a)$$

Substitusi harga dy/dx dari persamaan (1), didapat :

$$L = 2 \int_0^{\frac{1}{2}} \left[1 + \left(\frac{64f^2 x^2}{l^4} \right) \right]^{\frac{1}{2}} dx \dots\dots\dots (2b)$$

Persamaan (2b) di integralkan menjadi :

$$L = l \left(1 + \frac{8}{3}n^2 - \frac{32}{5}n^4 + \dots \right) = l \left(1 + \frac{8}{3}n^2 \right) \dots\dots\dots(2c)$$

Tegangan maksimum pada kabel yang terjadi pada kedua buah tumpuan menjadi :

$$T1 = \sqrt{H^2 + \left[\frac{w.l}{2} \right]^2} \dots\dots\dots(3a)$$

$$= \frac{w.l^2}{8f} \sqrt{1 + 16n^2} \dots\dots\dots (3b)$$

dengan : $n = f/l$

b. Lentutan Kabel

Perubahan panjang kabel diantara dua tumpuan (L) adalah sebagai hasil dari pemanjangan elastis, gelinciran sadel, atau perubahan suhu, sedangkan akibat dari lentutan pilar dan lentutan kabel, perubahan panjang bentang adalah L. Dan f adalah perubahan simpangan (sag) kabel.

jika ΔL dan Δl diketahui. Untuk perubahan suhu t⁰ dan koefisien pemanjangan S, perubahan panjang kabel adalah :

$$\Delta L = \dot{S}.t.L$$

Untuk sembarang pembebanan yang menghasilkan tegangan horisontal H, rata-rata tegangan kabel dan perpanjangan hanger akan berkisar :

$$\frac{L}{l} xH \text{ dan } \Delta Ls = \sum \left(\frac{T}{H} \right)^2 \frac{Ls}{EA} \dots\dots\dots(4a)$$

dan pemanjangan elastis kabel adalah :

$$\Delta L = \frac{L}{l} \cdot \frac{HL}{EA} \dots\dots\dots(4b)$$

dengan : E = koefisien elastis kabel, dan A = luas penampang kabel

Bentuk lain dari pernyataan pemanjangan elastis kabel adalah :

$$\Delta L = \frac{HL}{EA} \int_0^1 \frac{ds^2}{dx} = \frac{HL}{EA} \left(1 + \frac{16}{3}n^2 \right) \dots\dots\dots(5)$$

Untuk perubahan kecil dari sag kabel Δf, hasil dari perubahan tegangan didapat dari pendiferensialan persamaan (1) :

$$\Delta H = -\frac{H}{f} \times \Delta f \dots\dots\dots(6)$$

5. Jembatan gantung dengan pengaku

a. Tegangan horisontal (H)

Tegangan horisontal H tak tentu secara statis dihitung berdasarkan lentutan elastis dari struktur. Pada analisis tegangan horisontal, ditinjau suatu potongan kabel sembarang yang dipotong dekat anker. Kemudian (dengan H=0), pada saat beban bekerja pada jembatan, dua ujung kabel akan terpisah berjarak horisontal sejauh Δ. Satu satuan

gaya horisontal ($H=1$) dipakai untuk menarik kembali, masing-masing berjarak u . Gaya horisontal H total yang dibutuhkan untuk membawa 2 ujung bersama lagi, adalah perbandingan dari 2 lendutan khayalan ini, seperti diberikan pada persamaan (7).

$$H = \frac{\Delta}{u} = \frac{\int \frac{M' \times m}{EI} dx}{\int \frac{m^2}{EI} dx + \int \frac{u^2}{EA} ds} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan, M' = momen lentur truss kaku, untuk $H=0$; m = momen lentur truss kaku, dengan pembebanan =0, untuk $H=1$; u = tegangan langsung kabel dengan pembebanan = 0, untuk $H=1$; I =: momen inersia truss kaku; A =: luas potongan kabel.

$$\left[n = \frac{f}{l} \text{ dan } n_1 = \frac{f_1}{l_1} \right]$$

Dengan mengurai persamaan 7. rumus dari H menjadi :

$$H = \frac{\frac{3}{f^2 l} \left[\int_0^1 M' y_i dx - \int M'_1 y_i dx_1 \right]}{\frac{8}{5} \left[1 + 2 \frac{f^2 l_1}{f l} \right] + \frac{3I}{A f^2} (1 + 8n^2) + \frac{6I l_1}{A_1 f^2 l} \sec^2 r_1 (1 + 8n^2)} \dots\dots(8)$$

dengan $r = \frac{l_1}{l}$; $v = \frac{f_1}{f}$; n ; dan n_1 adalah sag ratio pada bentang utama dan bentang luar

b. Harga H pada beberapa kasus pembebanan

1) Beban terpusat

Harga M' sebagai fungsi x tergantung pada kondisi pembebanan, dan dengan harga y dari persamaan (1), untuk beban terpusat P pada jarak kl dari tumpuan, didapatkan :

$$\int M' \cdot y_i dx = -\frac{1}{3} P f l^2 k (1 - 2k^2 + 3k^3) \dots\dots\dots(9)$$

dan dengan menyelesaikan suku kedua penyebut persamaan (7), harga H menjadi :

$$H = \frac{1}{nN} B(k)P \dots\dots\dots(10)$$

dengan N adalah pembilang persamaan (7), dan :

$$B(k) = k(1 - 2k^2 + 3k^3) \dots\dots\dots(11)$$

H maksimum terjadi pada saat beban P bekerja pada tengah bentang, $k = 1/2$, dan persamaan (10) menjadi :

$$H_{\max} = \frac{5P}{16nN} \dots\dots\dots(12)$$

2) Beban merata

Untuk beban merata, p (kg/m) memanjang bejaraj kl untuk setiap tumpuan dari bentang utama, dari pengintegralan fungsi $B(k)$ pada persamaan (11) didapatkan :

$$H = \frac{1}{5.nN} F(k)pl \dots\dots\dots(13)$$

c. Lendutan pada stiffening truss

Lendutan pada *stiffening truss* dihitung dari perbedaan antara lendutan ke bawah karena pembebanan dan lendutan ke atas karena gaya *suspenders*. Gaya *suspenders* sama dengan gaya ke atas beban terbagi merata sepanjang bentang dan sebesar :

$$s = \frac{8fH}{l^2} \dots\dots\dots(14)$$

jumlah lendutan menjadi :

$$d = \frac{5}{358} \left(1 - \frac{8}{5N} \right) \frac{pl^4}{EI} \dots\dots\dots(15)$$

dimana;

$$N = \frac{8}{5} \left(1 + 2 \frac{f^2 l_1}{f^2 l} \right) + \frac{3I}{A_1 f^2} (1 + 8n^2) + \frac{6I l_1}{A_1 f^2 l} \sec^2 r_1 (1 + 8n^2) \dots\dots\dots(16)$$

Untuk kasus umum, pembebanan akan menghasilkan lendutan pada jarak x sebesar :

$$d' = \frac{l-x}{l} \int_0^x \frac{M'}{EI} x dx + \frac{x}{l} \int_x^l \frac{M'}{EI} (l-x) dx \dots\dots(17)$$

Gaya *suspenders* akan memberikan lendutan keatas pada jarak x sebesar :

$$d'' = \frac{1}{3EI} x(l^3 + 2l^2 + x^3) \frac{f}{l^2} H \dots\dots\dots(18a)$$

persamaan-persamaan tersebut dapat ditulis menjadi :

$$d'' = \frac{f.l^2}{3EI} B\left(\frac{x}{l}\right) H \dots\dots\dots(18b)$$

Hasil lendutan *stiffening truss* pada sembarang titik didapat dari persamaan (17) dan (18), sebagai berikut :

$$d = d' - d'' \dots\dots\dots(18)$$

METODE PENELITIAN

a. Teknik Pengambilan Data

Pada pengumpulan dan penulisan studi ini, didukung oleh informasi-informasi dan data-data yang diperoleh berdasarkan metode penelitian kepustakaan (*library Research Method*) yakni penelitian yang dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data yang berhubungan dengan penulis, baik yang didapat dari perpustakaan maupun ditempat lain dengan menggunakan cara kutipan langsung maupun tidak langsung.

b. Prosedur Penelitian

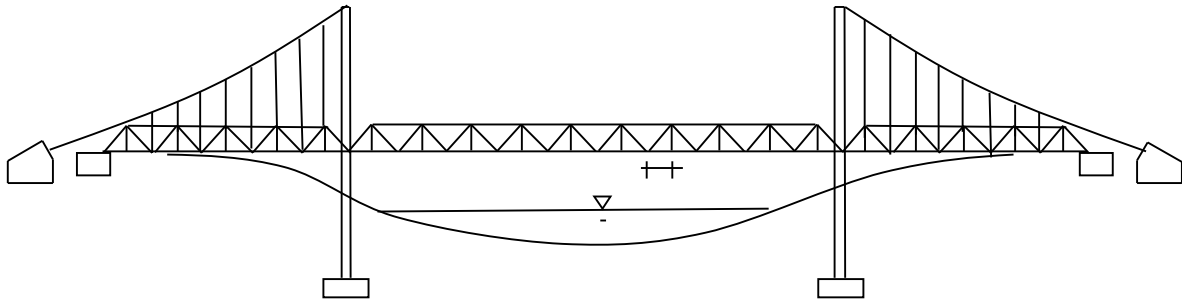
1. Mengkaji literatur-literatur yang relevan dengan penelitian

2. Membuat model jembatan gantung

- Mengasumsikan propertis bahan penampang lintang dan memanjang jembatan
- Menghitung beban-beban kerja pada lantai dan rangka jembatan,
- Mengasumsikan dimensi jembatan gantung berupa struktur kabel dan rangka.,
- Menghitung gaya horisontal pada kabel jembatan,
- Menghitung lendutan yang terjadi ditengah bentang akibat perpanjangan kabel dan penurunan rangka jembatan,
- Mengestimasi nilai lendutan pada kabel dan rangka dengan bantuan hingga mencapai prinsip kompatibilitas dengan lendutan yang diinginkan,

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemodelan dan data struktur

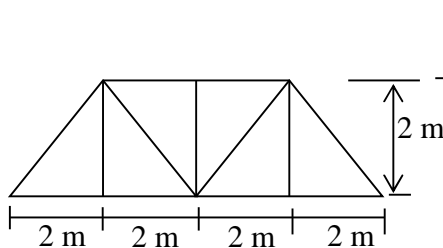


Gambar 6. Penampang memanjang jembatan

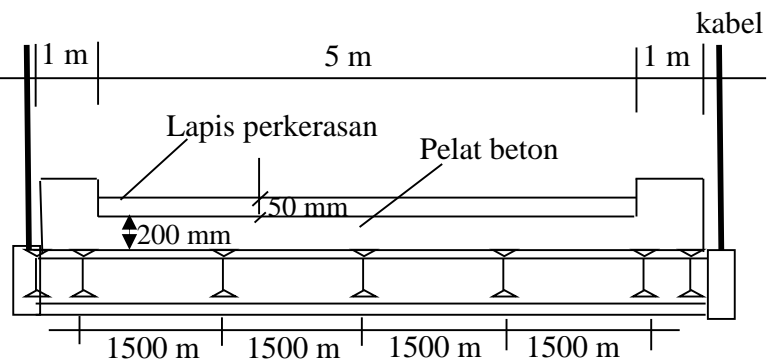
1. Data Bahan

- Baja (Bj) 41 : $f_y = 250$ MPa,
- Beton : $f_y = 370$ MPa, $f_c = 30$ MPa
- Kabel : $f_y = 1860$ MPa, $E_c = 200.000$ MPa
- beton = 24 kN/m³; aspal = 22 kN/m³

2. Penampang jembatan



Gambar 7. Potongan rangka

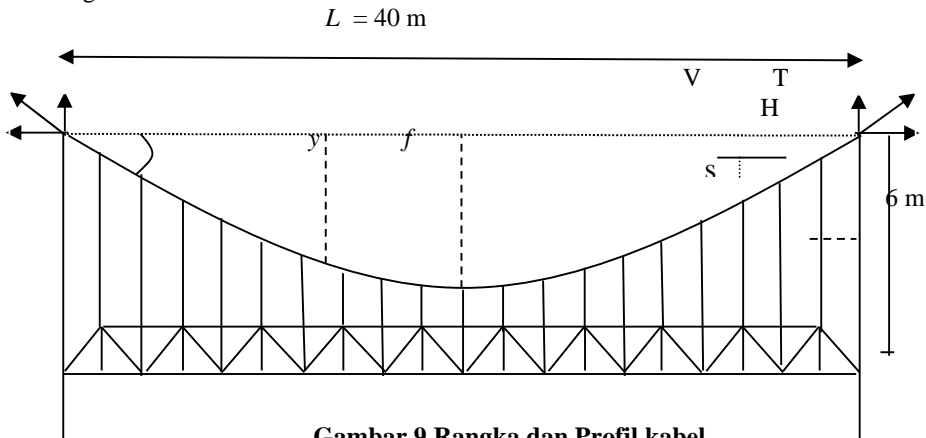


Gambar 8. Potongan melintang jembatan

B. Perencanaan Kabel

1. Konfigurasi dan Panjang Kabel

- Bentang utama



Gambar 9 Rangka dan Profil kabel

Tinggi parabola :

$$f = \frac{L}{8} = \frac{40}{8} = 5 \text{ m}$$

Persamaan lengkung parabola; $y = \frac{4 \cdot f \cdot x(L-x)}{L^2}$

Panjang kabel bentang utama;

$$L_k = 40 \cdot \left(1 + \frac{8}{3} \left(\frac{5}{40} \right)^2 \right) = 41,67 \text{ m}$$

2. Pembebanan Jembatan Gantung

a. Beban mati :

- Berat pelat lantai + lapis aus + trotoar + genangan. air
- Berat rangka (B.S sendiri + g. memanjang dan melintang)
- Stud + plat + alat sambung dll.
- Kabel utama (asumsi)
Dipakai kabel strand-7 kawat , $d = 12,7 \text{ mm}$,
 $W = 0,00774 \text{ kN/m}$
Untuk 19 strand : $\frac{(2 \times 41,67 \times 19 \times 0,00774)}{40}$
- Penggantung (asumsi)
Dipakai kabel strand-7 kawat , $d = 15,24 \text{ mm}$,
 $W = 0,011 \text{ kN/m}$: $\frac{(2 \times 60,50 \times 0,011)}{40}$
 $= 0,03 \text{ kN/m}$
Total (q_D) = **65,14 kN/m**
- Beban hidup (D)
Beban garis untuk lebar lantai kendaraan 5,0m adalah sebagai berikut :
Akibat KEL = 44 kN/m
DLA = 30 %

$$q_{L1} = \frac{5,0 \times 44(1+0.3)}{40} = 7,15 \text{ kN/m}$$

- Beban garis untuk lebar lantai kendaraan 5,0 m adalah sebagai berikut :

Akibat UDL; untuk $L > 30 \text{ m}$; $UDL = 8 (0.5 + 15 / 40) = 7.0 \text{ kN/m}^2$

$$q_{L2} = 5,0 \times 7,0 = 35 \text{ kN/m}$$

Total beban hidup :

$$q_L = 7,15 + 35 = \mathbf{42,15 \text{ kN/m}}$$

b. kombinasi pembebanan:

$$q_{uD} = 1.3 q_D = 1,3 \times \left(\frac{65,14}{2} \right) = 42,34 \text{ N/m}$$

$$q_{uL} = 2,0 q_L = 2,0 \times \left(\frac{42,15}{2} \right) = 42,15 \text{ kN/m}$$

3. Hitungan Beban Horizontal

Dipakai profil rangka; 2 L 150 x 150 x 15

$$I_x = I_x = 1776 \text{ cm}^4, E_s = 200.000 \text{ MPa}$$

Tipe kabel utama

Diameter kabel (d) = 12,7 mm; dipakai 19 strand

$$A_c = 19 \times \left(\frac{3,14 \times 12,7^2}{4} \right) = 2406 \text{ mm}^2;$$

$$E_c = 200.000 \text{ MPa}$$

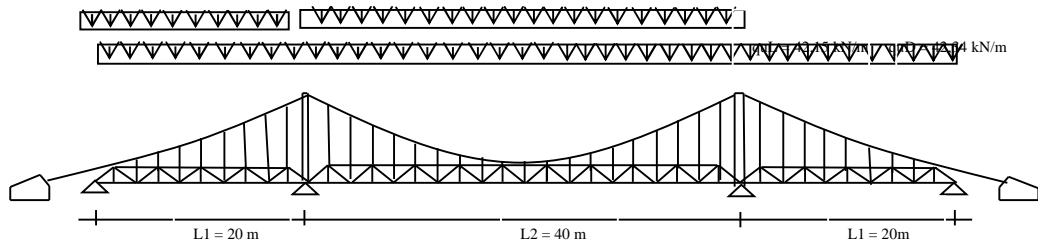
$$n = 0.125; r = \frac{L_1}{L} = 0,5; v = \frac{f_1}{f} = 0,25$$

$$N = \frac{8}{5} \left(1 + 2 \frac{f_1^2 l_1}{f^2 l} \right) + \frac{3I}{A_c f^2} (1 + 8n^2) + \frac{6I l_1}{A_c f^2 L} \sec^2 r_1 (1 + 8n^2) + \frac{6(2 \times 1776 \cdot 10^{-8}) \cdot 20}{2406 \cdot 10^{-6} \times 5^2 \times 40} \sec^2 25,4 (1 + 8 \times 0,125^2) = 1,705$$

$$= \frac{8}{5} \left(1 + 2 \frac{(1,25)^2 \cdot 20}{(5)^2 \cdot 40} \right) + \frac{3 \cdot (2 \times 1776 \cdot 10^{-8})}{2406 \cdot 10^{-6} \times 5^2} (1 + 8 \times 0,125^2)$$

a. Gaya Horisontal Akibat Beban Mati + hidup

Beban disepanjang bentang utama



Gambar 10. Pola pembebanan

$$H_{1D} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ud} \cdot L}{N \cdot n} = \frac{1}{5} \times \frac{42,34 \times 40}{1,705 \times 0,125} = 1589,30 \text{ kN}$$

Beban disepanjang bentang ujung

$$H_{2D} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ud} \cdot L}{N \cdot n} \times r^3 \times v$$

$$= \frac{1}{5} \times \frac{42,34 \times 40}{1,705 \times 0,125} \times (0,5)^3 \times 0,25 = 49,67 \text{ kN}$$

$$H_{TD} = H_{1D} + (2 \times H_{2D})$$

$$= 1593,1 + (2 \times 49,79) = 1688,63 \text{ kN}$$

Gaya suspender

$$s_D = \frac{8 \cdot f \cdot H_{TD}}{L^2} = \frac{8 \times 5 \times 1688,63}{40^2} = 42,22 \text{ kN/m}$$

b. Gaya Horisontal Akibat Beban Hidup

Beban disepanjang bentang utama

$$H_{1L} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ul} \cdot L}{N \cdot n} = \frac{1}{5} \times \frac{42,15 \times 40}{1,705 \times 0,125} = 1582,17 \text{ kN}$$

Beban disepanjang bentang ujung

$$H_{2L} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ul} \cdot L}{N \cdot n} \times r^3 \times v$$

$$= \frac{1}{5} \times \frac{42,15 \times 40}{1,701 \times 0,125} \times (0,5)^3 \times 0,25 = 49,44 \text{ kN}$$

$$H_{TL} = H_{1L} + (2 \times H_{2L}) = 1586 + (2 \times 49,56)$$

$$= 1681,06 \text{ kN}$$

Gaya-gaya suspenders

$$s_L = \frac{8 \cdot f \cdot H_{Total}}{L^2} = \frac{8 \times 5 \times 1681,06}{40^2} = 42,03 \text{ kN/m}$$

$$q'_{uL} = q_{uL} - s_L = 42,15 - 42,03 = 0,124 \text{ kN/m}$$

4. Desain Penampang Kabel dan Hanger

a. Desain penampang kabel utama

Gaya horisontal dengan beban kritis (mati dan hidup sepanjang bentang)

Bentang utama

$$H_{1D} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ud} \cdot L}{N \cdot n} = \frac{1}{5} \times \frac{42,34 \times 40}{1,705 \times 0,125} = 1589,30 \text{ kN}$$

$$H_{1L} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ul} \cdot L}{N \cdot n} = \frac{1}{5} \times \frac{42,15 \times 40}{1,705 \times 0,125} = 1582,17 \text{ kN}$$

$$H_{1DL} = H_{1D} + H_{1L}$$

$$= 1589,30 + 1582,17 = 3171,47 \text{ kN}$$

Bentang ujung

$$H_{2L} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ul} \cdot L}{N \cdot n} \times r^3 \times v$$

$$= \frac{1}{5} \times \frac{42,15 \times 40}{1,701 \times 0,125} \times (0,5)^3 \times 0,25 = 49,44 \text{ kN}$$

$$H_{2D} = \frac{1}{5} \times \frac{q_{ud} \cdot L}{N \cdot n} \times r^3 \times v$$

$$= \frac{1}{5} \times \frac{42,34 \times 40}{1,705 \times 0,125} \times (0,5)^3 \times 0,25 = 49,67 \text{ kN}$$

$$H_{2DL} = H_{2D} + H_{2L} = 49,67 + 49,44 = 99,11 \text{ kN}$$

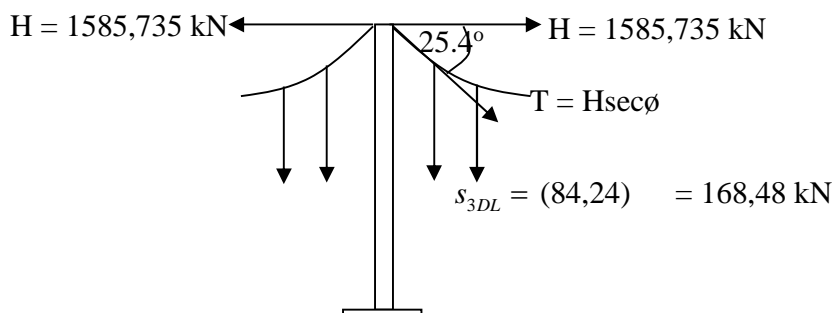
$$H_{T3DL} = H_{1DL} + H_{2DL} = 3171,47 + (2 \times 99,11) = 3369,69 \text{ kN}$$

$$T_{T3DL} = H_{T3DL} \sec 25,4^\circ = 3369,69 \sec 25,4^\circ = 3730,276 \text{ kN}$$

Gaya suspenders

$$s_{3DL} = \frac{8 \cdot f \cdot H_{T3DL}}{L^2} = \frac{8 \times 5 \times 3369,69}{40^2} = 84,24 \text{ kN/m}$$

$$q'_{u3DL} = q_{uDL} - s_{3DL} = (42,34 + 42,15) - 84,24 = 0,2477 \text{ kN/m}$$



Gambar 11. Gaya pada Pilon dan Kabel

Dipakai kabel tipe *Parallel Wires*

1) Kabel Utama

Dipakai kabel strand -7 kawat

$$W = 0,85; f_{Pu} = 1862 \text{ MPa}$$

$$f_y = 0,9 f_{Pu} = 0,9 \times 862 = 1675,8 \text{ MPa}$$

Diameter kabel (d) = 15,24 mm

$$A_c = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15,24^2 = 182,322 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan luas penampang kabel

$$A_{cc} = \frac{T}{w \times f_y} = \frac{1585,735 \sec 25,4^\circ \times 10^3}{0,85 \times 1675,8} = 1232,368 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah strand} = \frac{A_{sc}}{A_s} = \frac{1232,68}{182,322} = 6,76$$

Guna mendukung lendutan akibat lendutan rangka yang kemungkinan cukup besar maka dipakai 19 strand.

b. Desain Hanger

Dipakai kabel strand -7 kawat

$$W = 0,85; f_{Pu} = 1862 \text{ MPa}$$

$$f_y = 0,9 f_{Pu} = 0,9 \times 1862 = 1675,8 \text{ MPa}$$

Diameter kabel (d) = 15,24 mm

$$A_c = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15,24^2 = 182,32 \text{ mm}^2$$

Kebutuhan luas penampang kabel

$$A_{cc} = \frac{T}{w \times f_y} = \frac{168,48 \times 10^3}{0,85 \times 1675,8} = 118,279 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah strand} = \frac{A_{sc}}{A_s} = \frac{118,279}{182,32} = 0,65$$

(dipakai 1 strand)

5. Lendutan Kabel dan Rangka

a. Lendutan Kabel

Perubahan panjang kabel

$$\Delta L = \frac{L}{l} \times \frac{HL}{EA} = \frac{41,67}{40} \times \frac{0,5 \times 3369,69 \times 41,67}{2 \times 10^8 \times 2406 \times 10^{-6}} \times 0,5 = 0,076 \text{ m}$$

Perubahan simpangan (sag) kabel total

$$\Delta f = \frac{\Delta L}{\frac{16}{15} n (5 - 24n^2)} = \frac{0,076}{\frac{16}{15} \times 0,125 (5 - 24(0,125)^2)} = 0,114 \text{ m}$$

Lendutan ditengah bentang

$$d_1 = \frac{\Delta L + \Delta f}{2} = \frac{0,076 + 0,114}{2} = 0,095 \text{ m}$$

Perubahan panjang hanger

$$\Delta L_s = \sum \left(\frac{T}{H} \right)^2 \frac{L_s}{EA}$$

$$= \left(\frac{3730,276}{3369,69} \right)^2 \frac{121}{2 \times 10^8 \times 139 \times 10^{-6}} = 0,0053$$

b. Lendutan rangka

$$p'_{uL} = q'_{u1DL} \times 2 = 0,2477 \times 2 = 0,4955 \text{ kN / join}$$

Dari hasil analisa ETABS diperoleh lendutan sebesar:

Bentang utama $d_2 = 0$

Lendutan totol ditengah bentang akibat kabel

$$d_T = d_1 + L_s + d_2$$

$$= 0,095 + 0,0053 + 0 = 0,1003 \text{ m}$$

Lendutan izin

$$\Delta = \frac{L}{360} = \frac{4000}{360} = 11,1 \text{ cm} > d_T \text{ ...ok}$$

KESIMPULAN

Dari hasil hitung diperoleh kabel utama diperoleh strand 7-kawat diameter 12.70 mm dengan jumlah 19 strand dalam satu kabel utama dan hanger strand 7-kawat diameter 15,24 mm Lendutan yang dihasilkan adalah sebesar 0.0896 mm lebih kecil daripada lendutan yang di izinkan yaitu sebesar 0.11 mm

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1992, Bridge Management System, Bagian 2, Dep PU RI, Jakarta

Troisky, M.S., 1994, *Planing and Design of Bridges*, John Wiley & Sons Inc. New York, USA

Supriadi, B., dan Muntohar, A.S., 2000, *Jembatan*, Edisi III, Yogyakarta

Steiveman, D.B., 1953, *Practical Treatise on Suspension Bridges*, John Wiley & Sons Inc. New York, USA .

Wollmann, G.P., 2001, *Preliminary Analysis of Suspension Bridges*, *Journal of Bridges Enginnering*, July/August, 227-233pp

Heins, C.P., dan Firmage, 1979, *Design of Modern Steel Highway Bridges*, John Wiley and Sons Inc. New York, USA.

Raju, N.K., 1999, *Design of Bridges, Third edition*, Oxford & Ibh Publishing Co. Pvt. Ltd. Calcutta, New Delhi, India