

Modifikasi Perencanaan Jembatan Cincin Lama Widang Menggunakan Sistem Extradosed

Muhammad Anhar Prakoso, Hidajat Sugihardjo, dan Data Iranata
 Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hidajat.sugihardjo@gmail.com

Abstrak—Jembatan Cincin lama merupakan jembatan penghubung antara kecamatan babat lamongan, dan kecamatan widang. Struktur utama jembatan merupakan rangka batang yang memiliki profil WF dengan bentang 260 m. Sistem Jembatan rangka batang umumnya diperuntukkan untuk jembatan dengan bentang 60 -100 m. Hal ini tidak sesuai pada jembatan cincin lama yang menggunakan struktur rangka batang dengan bentang 260 m. Oleh karena itu dilakukan modifikasi pada Jembatan Cincin Lama menggunakan sistem extradosed. Jembatan extradose merupakan modifikasi jembatan bentang panjang yang didapatkan dari kombinasi antara jembatan girder dan jembatan cable stay. Jembatan extradose memiliki tinggi tower yang lebih pendek serta sudut kabel antara pylon dan gelagar relatif lebih landai dibandingkan dengan jembatan cable stay pada umumnya. Perencanaan modifikasi ini mengacu pada SNI 1725-2016, SNI 2833-2016, dan Peraturan Kementerian PU mengenai Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel 2015. Dari hasil perencanaan digunakan lantai kendaraan berupa tapered box girder dengan lebar 16 m dan ketinggian 3 m hingga 4,5 m, dengan tinggi tower setinggi 14 m dari lantai kendaraan. Kabel jembatan menggunakan VSL dengan unit 6-127-115, 6-109-107, 6-85-84, 6-55-52, 6-19-16, 6-61-59, 6-73-64, 6-85-81, 6-109-103, 6-127-114.

Kata Kunci—Jembatan, Kabel, Gelagar, Extradosed.

I. PENDAHULUAN

PEMERATAAN pembangunan infrastruktur merupakan salah satu indikator perkembangan ekonomi dan majunya suatu daerah, hal ini tidak lepas dari kemudahan akses antar lokasi di wilayah tersebut. Jembatan merupakan salah satu alternatif infrastruktur yang dapat memudahkan akses antar lokasi. Jembatan merupakan konstruksi yang menghubungkan dua bagian jalan yang terputus karena adanya rintangan – rintangan, seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, maupun jalan raya yang melintang tidak sebidang (Jemmy,dkk. 2014) [1].

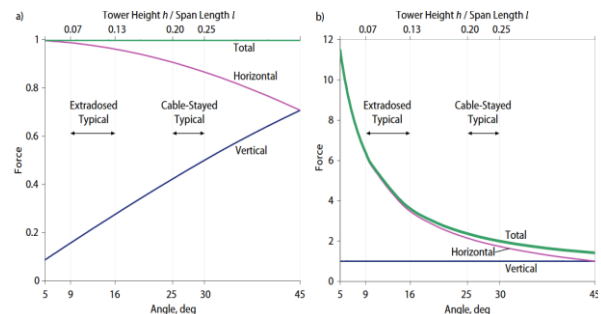
Jembatan Cincin lama merupakan jembatan penghubung antara kecamatan babat lamongan, dan kecamatan widang, tuban. Jembatan ini dibangun pada tahun 1978 dengan bentang bersih 260 m. jembatan cincin lama memiliki struktur utama berupa rangka batang dengan profil WF. Jembatan ini dibagi menjadi lima bagian dengan empat pilar (55 m + 55 m + 55 m + 55 m + 40 m), serta lebar lantai kendaraannya 9 m [2].

Sistem Jembatan rangka batang umumnya diperuntukkan untuk bentang 60-100m (Binamarga,1997). Hal ini tidak sesuai pada jembatan cincin lama yang memiliki bentang 260 m dan menggunakan struktur rangka batang. Hal ini menyebabkan penggunaan banyak pilar pada struktur bawah

Tabel 1.

Perbandingan tiga tipe jembatan

| | Jembatan Girder | Jembatan Extradosed | Jembatan Cable-Stayed |
|------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Tipe Layout | | | |
| Pengaturan Kabel | | | |
| Diagram geser | | | |
| Ketebalan Girder | $L/50 - L/15$ | $L/50 - L/30$ | $L/100 - L/50$ |
| Ketinggian Tower | NA | $L/15 - L/8$ | $L/5 - L/4$ |
| Prestress | Internal eksternal prestress | Eksternal prestress | Cable stays |
| Max cable stress | NA | 0,60 fpu | 0,45 fpu |

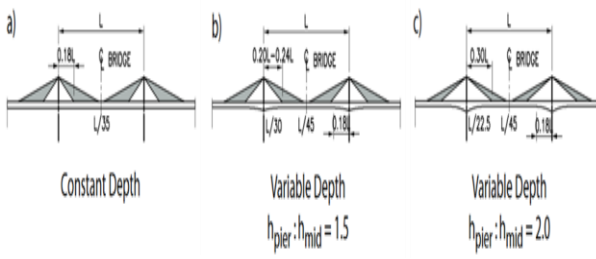


Gambar 1. Pengaruh kemiringan kabel terhadap gaya

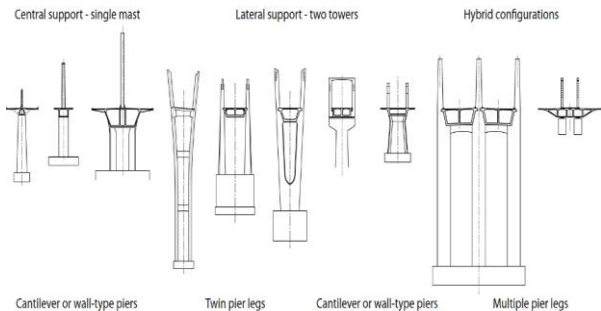
dari jembatan cincin lama. Penggunaan banyak pilar mengakibatkan sulitnya metode pelaksanaan dalam konstruksi jembatan dilapangan. Maka dibutuhkan adanya modifikasi jenis jembatan yang mampu meminimalisir penggunaan pilar. Jembatan yang sebelumnya menggunakan struktur utama rangka batang menjadi jembatan *extradosed*.

Jembatan extradose merupakan modifikasi jembatan bentang panjang yang didapatkan dari kombinasi antara jembatan girder dan jembatan cable stay. Jembatan extradose memiliki tinggi tower yang lebih pendek serta sudut kabel antara pylon dan gelagar relatif lebih landai dibandingkan dengan jembatan cable stay pada umumnya [3].

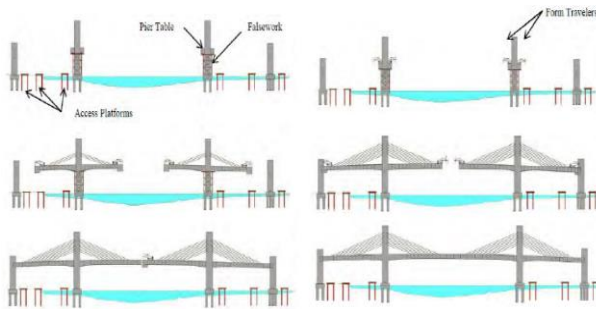
Metode pada Jembatan Extradose dinilai lebih efektif dan efisien bila dibandingkan dengan jembatan girder maupun jembatan cable stay. Hal ini dikarenakan pada jembatan tipe ini tinggi pylon yang digunakan pada jembatan lebih pendek di bandingkan dengan cable stay dan sudut kabel antara pylon



Gambar 2. Geometri jembatan extradosed.



Gambar 3. Tipe pylon atau pier pada jembatan extradosed.



Gambar 4. Metode free balanced cantilever.

dan gelagar relatif landai dibandingkan dengan cable stay sehingga memudahkan dalam pelaksanaan. Selain itu, nilai allowable stress ratio untuk jembatan extradosed diijinkan sampai 60%, angka ini lebih besar dari pada jembatan cable-stayed yang hanya memiliki allowable stress ratio sebesar 45%.

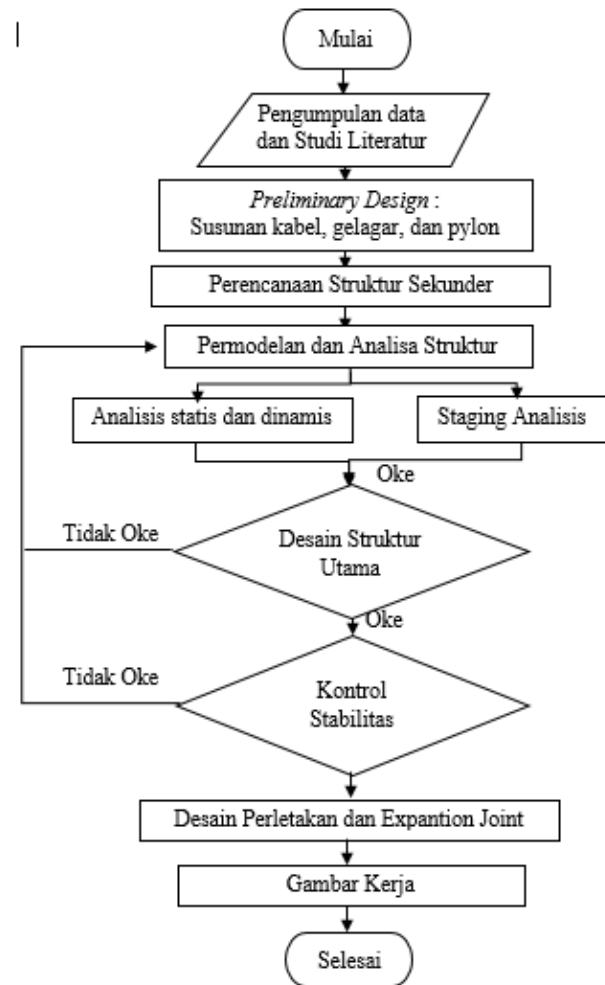
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jembatan Extradosed

Jembatan Extradosed merupakan peralihan antara jembatan dengan tipe gelagar dan cable stay. Perbandingan diantara ketiga jembatan pada Tabel 1 [4].

B. Kabel Jembatan Extradosed

Susuna kabel pada jembatan Extradosed tidak hanya berefek pada kekuatan struktur tetapi juga terhadap kemudahan metode pelaksanaan serta biaya. Dalam sebuah jembatan extradosed komponen vertical didukung dari gaya pada kabel yang mengangkat girder menerus, sementara komponen horizontal didukung prestresses gelagar. Konfigurasi kabel dan ketinggian menara adalah dua factor yang mempengaruhi kemiringan kabel, dan perilaku kabel di dek. Dua hal ini merupakan factor yang akan dibahas dalam kaitannya dengan jembatan extradosed. Jarak antar kabel untuk beton 5-10m dan untuk baja 15-25m (pedoman jembatan kabel 2015). Pada Gambar 1 adalah grafik pengaruh sudut kabel pada jembatan.



Gambar 5. Diagram Alir Perencanaan Jembatan.

C. Panjang Side Span

Chio Cho (2000) menemukan bahwa bentang sisi kurang dari setengah bentang utama dapat mengurangi momen lentur dalam bentang utama, tetapi direkomendasikan penggunaannya 0,60 dari bentang utama agar menghasilkan momen lentur positif dalam bentang sisi karena beban hidup yang relatif sama dengan bentang utama. Pada Gambar 2 adalah cara menentukan main span dan side span.

D. Tower dan Piers

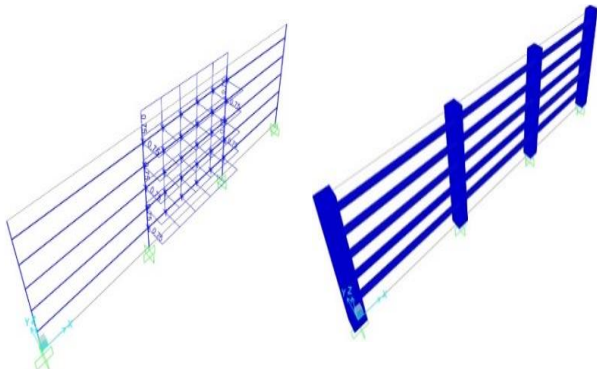
Desain menara memungkinkan untuk ekspresi dan kreativitas pada structural jembatan. Keputusan penting dalam desain menara adalah apakah menggunakan tiang tunggal atau dua penyangga lateral. Keputusan ini harus dibuat bersama Konfigurasi kabel harpa menyebabkan tekukan signifikan pada menara mengharuskan lebar minimum (Mermigas, 2008). Pada Gambar 3 tipe-tipe pylon atau pier pada jembatan extradosed.

E. Lantai Kendaraan

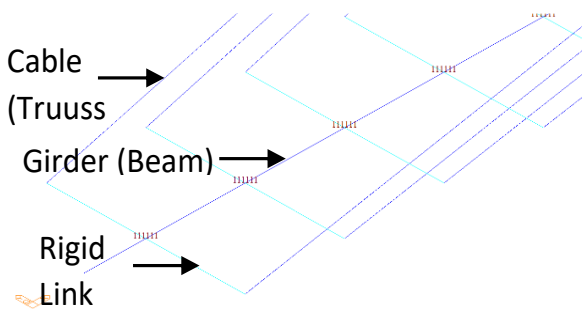
Lantai kendaraan dapat berupa beton, orthotropic, atau baja yang sebagian diisi dengan beton (komposit baja-beton). Pada sistem lantai juga terdapat pengaruh kembang susut yang dapat menyebabkan penambahan tegangan pada struktur dek itu sendiri. Untuk itu penggunaan expansion joint diberikan setiap 30-40 meter untuk mencegah kerusakan dek dan struktur utama [5].

Tabel 2.
Rekapitulasi gaya dalam railing

| | Gaya Dalam | | | | | |
|-------|------------|---------|---------|-----------|-----------|--------------|
| | P (Kg) | V2 (Kg) | V3 (Kg) | M2 (Kg.m) | M3 (Kg.m) | Torsi (Kg.m) |
| Pipa | 128,1 | 132,4 | 122,4 | 34,3 | 43,7 | 0 |
| Tiang | 812,8 | 104,4 | 540,8 | 617,3 | 2,6 | 163,7 |



Gambar 6. Permodelan railing jembatan.



Gambar 7. Permodelan elemen jembatan.

F. Perletakan Jembatan

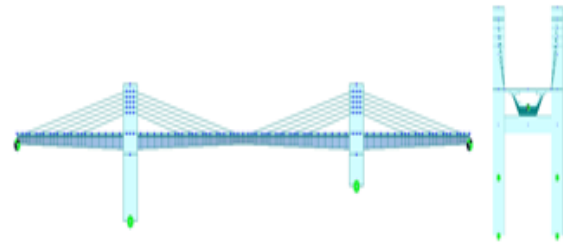
Pot bearing digunakan sebagai perletakan untuk konstruksi yang memiliki beban tinggi, pergeseran (Deflection) yang besar dan rotasi yang tinggi. Pot bearing pada dasarnya terdiri dari elastomer tertahan dari pot logam. Pad ini kemudian ditekan oleh piston dengan bantalan yang menahan geser atau rotasi, tergantung pada desain yang dibutuhkan. Kemampuan gerakan dari pot bearing dapat diberikan dalam satu atau dua arah. Pot bearing dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: Fixed (TF), Guided (TG), dan Free Sliding (TGA).

G. Expansion Joint

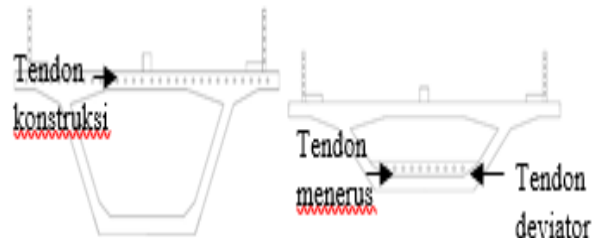
Expansion joint berfungsi untuk mengakomodasi gerakan yang terjadi pada bagian superstruktur jembatan. Gerakan ini berasal dari beban hidup, perubahan suhu, dan sifat fisik dari pembentuk jembatan). Terdapat 2 jenis expansion joint yaitu joint terbuka dan joint tertutup.

H. Metode Pelaksanaan

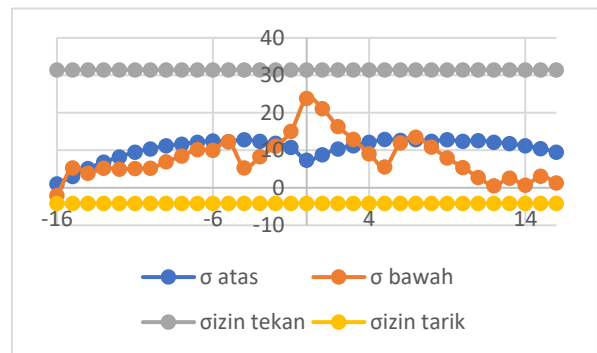
Sebagian besar jembatan extradosed menggunakan metode konstruksi yang sama, yaitu free balanced cantilever (Stroh 2012). Metode ini sering digunakan untuk jembatan dengan bentang menengah atau panjang (200 hingga 500 feet). Free balanced cantilever terdiri dari pembagian struktur jembatan menjadi beberapa bagian bentang segmen jembatan. Biasanya menggunakan cast in-situ dengan panjang 10 hingga 15 feet per bagian.



Gambar 8. Tampak memanjang dan melintang jembatan.



Gambar 9. Potongan box girder.



Gambar 10. Tegangan box girder saat closure.

III. METODOLOGI

Metodologi dalam perencanaan modifikasi disusun dengan tahapan pada diagram alir dapat dilihat pada Gambar 5. Pada perencanaan ini, dilakukan dengan menggunakan dengan data – data sebagai berikut:

1. Nama dan lokasi : Jembatan Cincin Lama
2. Bentang pada rencana :
 - 130 m pada main span
 - 65 m pada side span
3. Lebar pada kondisi rencana : 14 m
4. Trotoar : 1+1 m
5. Muka air banjir : 7,4 m
6. Jumlah pilar rencana : 2 buah
7. Material utama perencanaan :
 - Struktur atas berupa beton (Box girder)
 - Pylon menggunakan sistem H plane
 - Sistem kabel semi harp pattern

IV. HASIL PERENCANAAN

A. Preliminary Desain

1) Kabel

Konfigurasi susunan kabel pada arah melintang berupa Double Planes System, sedangkan untuk arah memanjang menggunakan Semi Harp Pattern. Dengan jarak anatar kabel

Tabel 3.
Kebutuhan tendon

| Box | Tendon atas 6-31-31 | Tendon bawah 6-55-55 |
|-----|------------------------|-------------------------|
| S16 | 2 | 4 |
| S15 | 4 | 4 |
| S14 | 4 | 4 |
| S13 | 6 | 5 |
| S12 | 8 | 5 |
| S11 | 10 | 5 |
| S10 | 12 | 5 |
| S9 | 14 | 5 |
| S8 | 16 | 5 |
| S7 | 18 | 5 |
| S6 | 20 | 4 |
| S5 | 22 | 4 |
| S4 | 24 | |
| S3 | 26 | |
| S2 | 28 | |
| S1 | 30 | |
| S0 | 30 | |
| S1 | 30 | |
| S2 | 28 | |
| S3 | 26 | |
| S4 | 24 | |
| S5 | 22 | |
| S6 | 20 | 4 |
| S7 | 18 | 6 |
| S8 | 16 | 6 |
| S9 | 14 | 6 |
| S10 | 12 | 6 |
| S11 | 10 | 6 |
| S12 | 8 | 6 |
| S13 | 6 | 8 |
| S14 | 4 | 8 |
| S15 | 2 | 10 |
| S16 | | 10 |

sebesar 8 m. Dengan offset kabel pertama berkisar 0,18 hingga 0,30 menurut Chio cho (2000).

$$\begin{aligned} \text{Direncanakan } (0,22 L) &= 0,22 \times 130 \\ &= 28,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Digunakan} = 28 \text{ m}$$

2) Pylon

Tinggi pylon (H) berbanding dengan bentang (L) dengan range nilai L/8 - L/15 menurut Kris Mermigas (2008).

$$\text{Direncanakan } (H/L) = 1/10$$

$$\text{Bentang jembatan } L = 130 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka diperoleh } H &= 130 \text{ m} \times 1/10 \\ &= 13 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Lantai kendaraan

Tinggi lantai kendaraan dapat direncanakan dengan membandingkan tinggi rencana (h) dengan bentang (L) dengan range nilai L/30 - L/50 menurut Kris Mermigas (2008).

a. Lantai kendaraan dekat pylon

$$h/L = 1/30$$

$$L = 130 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} h &= 130 \text{ m} \times 1/30 \\ &= 4,33 \text{ m} \end{aligned}$$

$$h \text{ digunakan} = 4,5 \text{ m}$$

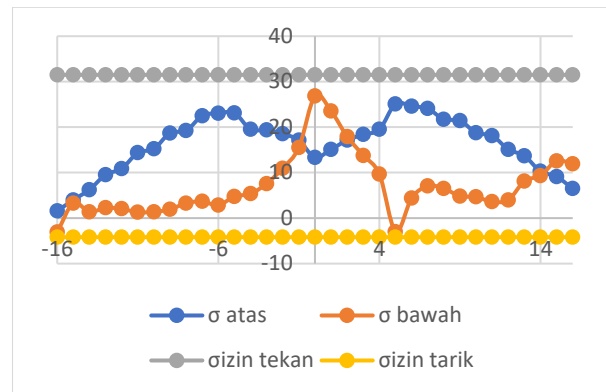
b. Lantai kendaraan pada tengah bentang

$$h/L = 1/45$$

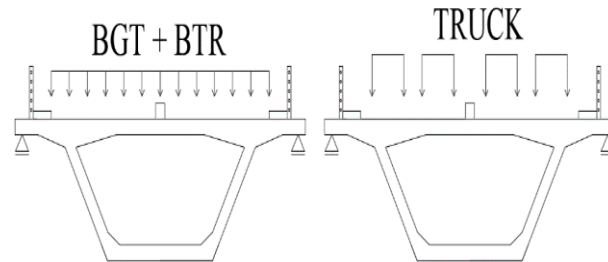
$$L = 130 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} h &= 130 \text{ m} \times 1/45 \\ &= 2,88 \text{ m} \end{aligned}$$

$$h \text{ digunakan} = 3 \text{ m}$$



Gambar 11. Tegangan box girder saat envelope.



Gambar 12. Permodelan box girder.

Tabel 4.
Gaya dalam box girder

| | Mu+ (kN.m) | Mu- (kN.m) | Vu (kN) |
|-------------|------------|------------|----------|
| Flens atas | 2061,85 | -700,65 | 1115,156 |
| Web | 1958,56 | -429,3 | 700,87 |
| Flens bawah | 0 | -429,3 | 44,36 |

B. Perencanaan Struktur Sekunder

Struktur sekunder sendiri tidak melalui tahap analisa bersama dengan struktur utama. Karena struktur sekunder tidak mempengaruhi perilaku terhadap struktur utama, sehingga dapat dilakukan analisa secara terpisah. Pada perencanaan railing jembatan ini menggunakan profil baja. Dengan peraturan yang mengacu kepada SNI 1725-2016. Sedangkan untuk perencanaan beban mengacu kepada RSNI T-02-2005. Metode free balanced cantilever dapat dilihat pada Gambar 4.

1) Spesifikasi Railing

Railing jembatan ini menggunakan baja dengan mutu BJ 41, dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

$$F_u = 410 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

2) Dimensi Railing

a. Tiang sandaran

Profil menggunakan *rectangular hollow* 200x200x8 setinggi 1,7 m dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$b = 200 \text{ mm} \quad A = 61,44 \text{ cm}^2$$

$$h = 200 \text{ mm} \quad I_x = 3781,4 \text{ cm}^4$$

$$t = 8 \text{ mm} \quad I_y = 3781,4 \text{ cm}^4$$

$$w = 46,57 \text{ kg/m}$$

b. Pipa horizontal

Profil menggunakan *circular hollow* Ø3,5" sepanjang 2 m, Gaya dalam dapat dilihat pada Gambar 3, dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$D = 88,9 \text{ mm} \quad I = 96,3 \text{ cm}^4$$

Tabel 5.
Kebutuhan tulangan box girder

| | Tul + | Tul - |
|-------------|------------|-----------|
| Flens atas | 2D32 - 100 | D32 - 150 |
| Web | 2D32 - 100 | D32 - 150 |
| Flens bawah | D32 - 300 | D32 - 150 |

Tabel 6.
Iterasi gaya tarik kabel

| Kabel | Prestress (kN) | Kabel | Prestress (kN) |
|-------|----------------|-------|----------------|
| 1 | 10831,04 | 6 | 7318,119 |
| 2 | 11019,66 | 7 | 8028,552 |
| 3 | 9206,389 | 8 | 8972,431 |
| 4 | 5413,625 | 9 | 9658,078 |
| 5 | 273,358 | 10 | 9755,877 |

Tabel 7.
Kontrol kemampuan kabel aktual

| n | Load | Force (kN) | n | A (mm ²) | Fijin (kN/mm ²) | Pn (kN) | Ce k |
|---|-----------|------------|-----|----------------------|-----------------------------|---------|------|
| 1 | Ekstrem 1 | 14045 | 115 | 16100 | 1,116 | 17967,6 | OK |
| 2 | Ekstrem 1 | 1315 | 107 | 14980 | 1,116 | 16717,6 | OK |
| 3 | Ekstrem 1 | 10487 | 84 | 11760 | 1,116 | 13124,1 | OK |
| 4 | Ekstrem 1 | 6051 | 52 | 7280 | 1,116 | 8124,48 | OK |
| 5 | Ekstrem 1 | 441,8 | 16 | 2240 | 1,116 | 2499,84 | OK |
| 6 | Ekstrem 1 | 8028 | 59 | 8260 | 1,116 | 9218,16 | OK |
| 7 | Ekstrem 1 | 8972 | 64 | 8960 | 1,116 | 9999,36 | OK |
| 8 | Ekstrem 1 | 10452 | 81 | 11340 | 1,116 | 12655,4 | OK |
| 9 | Ekstrem 1 | 12059 | 103 | 14420 | 1,116 | 16092,7 | OK |
| 0 | Ekstrem 1 | 13295 | 114 | 15960 | 1,116 | 17811,3 | OK |

$$ts = 4 \text{ mm} \quad Z = 28,9 \text{ cm}^3$$

$$w = 8,38 \text{ kg/m} \quad r = 3 \text{ cm}$$

$$A = 10,7 \text{ cm}^2$$

Permodelan struktur menggunakan SAP2000 dilakukan menggunakan 3 segmen pada *railing*, dengan tiap-tiap segmen sepanjang 2 meter. Permodelan struktur dan beban dapat dilihat pada Tabel 2 dan gambar 6. Berikut rekapitulasi gaya dalam yang terjadi akibat beban tumbukan kendaraan pada *railing* pada tabel 2.

b. Kontrol kapasitas pipa railing

Kontrol interaksi lentur aksial [6].

$$\frac{Pu}{\phi Pn} = \frac{128,11}{19457,6} = 0,0066 < 0,2 \text{ (Rumus 2)}$$

Jadi

$$\frac{Pu}{2\phi Pn} + \frac{Mux}{\phi Mn} + \frac{Muy}{\phi Mny} = 0,123 < 1 \text{ (Memenuhi)}$$

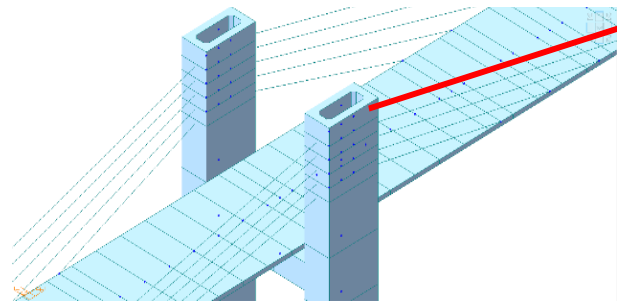
c. Kontrol kapasitas tiang sandaran

Kontrol interaksi dilakukan dengan menambahkan rasio aksial, momen, geser, dan torsi dalam perhitungan sebagai berikut:

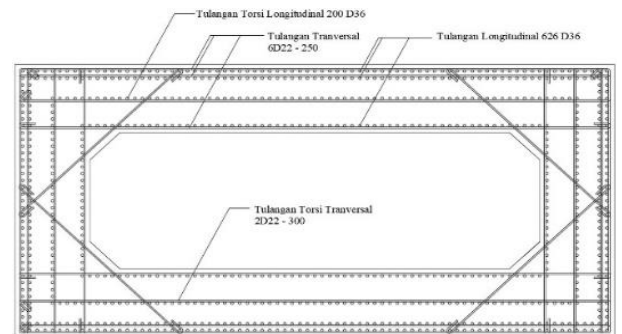
$$\frac{Pu}{\phi Pn} + \frac{Mu}{\phi Mn} + \frac{Vu}{\phi Vu} + \frac{Tu}{\phi Tu} = 0,1044 < 1 \text{ (Memenuhi)}$$

C. Permodelan dan Analisa Struktur

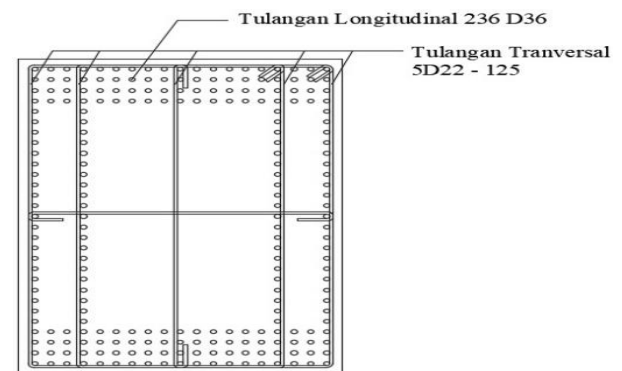
Permodelan dilakukan dengan program bantu MIDAS CIVIL dalam 3D model. Dimana elemen kabel dimodelkan sebagai elemen *truss* yang dihubungkan dengan *rigid link support*, sedangkan *main girder* dimodelkan sebagai elemen



Gambar 13. Jembatan bila putus 1 kabel.



Gambar 14. Penulangan pylon



Gambar 15. Penulangan balok.

beam dengan *fishbone* model (*one frame*). Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar 7 dan gambar 8.

Beban yang termasuk beban statik antara lain adalah beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin. Untuk beban dinamik sendiri berupa beban gempa dengan analisa respon spectrum. Sedangkan untuk analisis staging dimodelkan sesuai dengan metode pelaksanaan pendirian jembatan *extradosed*.

D. Perencanaan Box Girder

Mengacu pada tabel VSL tipe ASTM A 416-06 Grade 270, berikut adalah jenis dan karakteristik tendon yang digunakan:

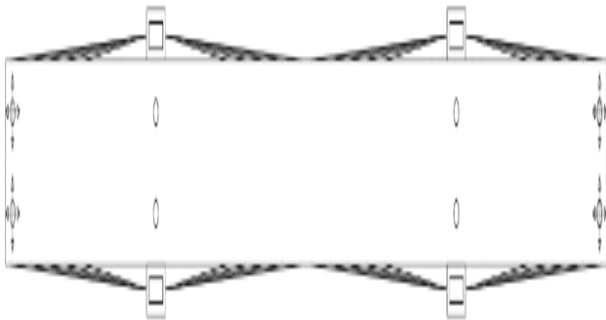
- Diameter : 15,24 mm
- Luas nominal (A_p) : 140 mm²
- Kuat nominal tarik : 1860 MPa
- Min. breaking load : 260,7 kN
- Modulus elastisitas : 200 GPa

Unit tendon yang digunakan sebagai *construction tendon* berupa 6-31-31 sedangkan untuk tendon menerus berupa 6-55-55. Potongan box girder dapat dilihat pada Gambar 9. Berikut adalah jumlah kebutuhan tendon konstruksi dan tendon menerus pada tiap-tiap segmen yang tertera pada tabel 3. Berikut adalah gambar tegangan efektif pada tiap-tiap segmen yang tertera pada gambar 10 dan 11. Untuk penulangan box girder momen di ambil dari output SAP2000 dengan pembebanan dan permodelan pada Gambar 12.

Tabel 8.

Kontrol kemampuan kabel putus 1

| n | Load | Force (kN) | n | A (mm ²) | Fijin (kN/mm ²) | Pn (kN) | Cek |
|----|-----------|------------|-----|----------------------|-----------------------------|----------|-----|
| 1 | Ekstrem 1 | 14088 | 115 | 16100 | 1,116 | 17967,6 | OK |
| 2 | Ekstrem 1 | 13194 | 107 | 14980 | 1,116 | 16717,68 | OK |
| 3 | Ekstrem 1 | 10517 | 84 | 11760 | 1,116 | 13124,16 | OK |
| 4 | Ekstrem 1 | 6071 | 52 | 7280 | 1,116 | 8124,48 | OK |
| 5 | Ekstrem 1 | 448,3 | 16 | 2240 | 1,116 | 2499,84 | OK |
| 6 | Ekstrem 1 | 8085 | 59 | 8260 | 1,116 | 9218,16 | OK |
| 7 | Ekstrem 1 | 9044 | 64 | 8960 | 1,116 | 9999,36 | OK |
| 8 | Ekstrem 1 | 10539 | 81 | 11340 | 1,116 | 12655,44 | OK |
| 9 | Ekstrem 1 | 12173 | 103 | 14420 | 1,116 | 16092,72 | OK |
| 10 | Ekstrem 1 | 13428 | 114 | 15960 | 1,116 | 17811,36 | OK |



Gambar 16. Layout perletakan jembatan.

Berdasarkan hasil analisa SAP2000 didapatkan gaya dalam sebagai berikut yang ditabelkan pada tabel 4.

1) *Penulangan flens arah melintang* [7].

Digunakan 2D32 – 100

$$Mu = \phi \left(T \left(d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$= 2199,07 \text{ kN} > Mu \text{ (Memenuhi)}$$

Berikut tabel 5 kebutuhan tulangan box girder arah melintang:

2) *Penulangan flens arah memanjang*

Dikarenakan momen arah longitudinal dipikul seluruhnya oleh tendon dan untuk mengantisipasi susut dan suhu, maka digunakan tulangan minimum susut D22 – 300.

E. *Analisa Kabel*

Dalam pelaksanaannya masing-masing kabel diberi gaya tarik (*pretension*) terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk mengatur posisi gelagar agar berada pada posisi *center line* sebelum menerima beban hidup. Yang besarnya dapat dilihat pada tabel 6.

Dilakukan kontrol gaya kabel akibat beban-beban lain yang bekerja. Untuk lebih jelasnya dapat melihat tabel 7. Selain harus mampu menahan beban-beban yang terjadi, suatu jembatan betipe kabel harus juga mampu menahan gaya yang terjadi bila terjadi 1 kabel putus pada jembatan seperti yang tertera pada gambar 13. Sedangkan untuk kontrol kemampuan kabel jembatan bila 1 kabel putus dapat melihat tabel 8.

F. *Perencanaan Pylon*

Berikut adalah propertis dari penampang kolom yang digunakan.:

- Mutu beton ($f'c$) = 50 MPa
- Mutu tulangan (fy) = 400 Mpa
- Luas = 20,32 m²
- b = 8 m

$$h = 4 \text{ m}$$

$$\text{dinding} = 1 \text{ m}$$

Hasil analisa pylon pada program bantu spColumn dengan jumlah tulangan 626 D36 (3,14%) dengan $As = 637190 \text{ mm}^2$. Dengan jarak tulangan sebesar 100 mm.

G. *Perencanaan Balok Penumpu*

Berikut adalah propertis dari penampang balok yang digunakan.:

- Mutu beton ($f'c$) = 50 MPa
- Mutu tulangan (fy) = 400 Mpa
- Luas = 6 m²
- b = 2 m
- h = 3 m

Hasil analisa balok pada program bantu spColumn dengan jumlah tulangan 236 D36 (4%) dengan $As = 240219 \text{ mm}^2$. Dengan jarak tulangan sebesar 100 mm. Penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 15.

H. *Kontrol Aerodinamis*

Perhitungan frekuensi lentur balok (f_B) dan frekuensi torsi (f_T) menggunakan program bantu MIDAS CIVIL dengan hasil berikut:

$$f_B = 0,987018$$

$$f_T = 2,524294$$

$$\frac{f_T}{f_B} = 2,557 \cong 2,5 \text{ (Mathivat)}$$

Klasifikasi efek psikologis baik berdasarkan amplitudo maupun percepatan getaran masuk dalam kategori *acceptable*. Efek flutter menghasilkan $V_{kritis. aktual} 6^\circ = 132,89 \text{ m/s}$ sedangkan untuk kecepatan angin rencana pada jembatan *extradosed* ini sebesar 108,723 km/jam atau setara 30,2 m/s.

I. *Perencanaan Perletakan*

Berikut adalah layout perletakan jembatan dapat dilihat pada Gambar 16.

dimana:

- ⊕ = pot bearing tipe multidirectional
- ⊙ = pot bearing tipe unidirectional
- = pot bearing tipe fixed

J. *Perencanaan Expantion Joint*

Pada perencanaan expantion joint ini direncanakan pada gelagar box girder untuk menahan gaya aksial vertikal, horizontal x dan y. Tipe expantion joint adalah modular expantion joint. Dengan besaran movement sebagai berikut :

- Deformasi X = 33 mm
- Deformasi Y = 2,93 mm

Dari data spesifikasi maka expantion joint yang digunakan adalah tipe DS160.

V. PENUTUP

A. *Kesimpulan*

Dari hasil perencanaan, analisa, dan perhitungan struktur yang telah dilakukan pada jembatan *Extradosed* ini, maka didapatkan kesimplan sebagai berikut; (1) Panjang total dari desain jembatan ini sebesar 260 m yang meliputi 130 m bentang utama dan bentang tepi 2@65 m. dengan lebar jembatan sebesar 16 m; (2)Tiang sandaran jembatan terbuat dari profil baja rectangular hollow 200x200x8 setinggi 1,7 m.

Dan pipa horizontal menggunakan profil circular hollow Ø3,5” sepanjang 2 m; (3) Pelat lantai kendaraan berupa tapered box girder dengan ketinggian pada pylon sebesar 4,5 m dan pada tengah bentang sebesar 3 m; (4) Tendon konstruksi pada box menggunakan VSL 6-31-31, sedangkan tendon menerus menggunakan VSL 6-55-55; (5) Tulangan susut memanjang pada box menggunakan D22-300, sedangkan arah melintang menggunakan 2D32 – 100; (6) Stabilitas aerodinamis struktur jembatan setelah dihitung menggunakan rumus empiris untuk efek vortex-shedding dan pada cek psikologis masih dominan berada pada zona aman. Sedangkan untuk efek ayunan (flutter) juga berada pada zona aman. Untuk kecepatan angin kritis memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan kecepatan angin desain yaitu 132,89 m/s dibanding 30,2 m/s; (7) Struktur pylon menggunakan box berdimensi 4m x 8m dengan tebal dinding 1m menggunakan struktur beton bertulang. Dengan tulangan longitudinal terpasang 62D36, tulangan torsi 200D36, tulangan transversal melintang 6D22-250, tulangan transversal memanjang 6D22-250; (8) Balok penumpu berdimensi 2m x 3m berupa beton bertulang. Dengan tulangan longitudinal 236D36, tulangan transversal arah vertikal 5D22-125, tulangan transversal arah horizontal 3D22-300; (9) Perletakan menggunakan pot bearing; (10) Menggunakan tipe expansion joint tipe modular joint dengan spesifikasi DS160.

B. Saran

Hasil perencanaan jembatan masih terdapat kekurangan, maka dari itu untuk hasil yang lebih baik perlu adanya beberapa hal yang diperhatikan dalam melakukan desain sejenis untuk kedepannya, antara lain sebagai berikut; (1) Untuk desain yang sebenarnya dalam analisa dinamis akibat beban angin selain dilakukan kontrol menggunakan

rumus empiris perlu juga dimodelkan penuh menggunakan terowongan angin. Hal ini dimaksudkan agar ketelitian dalam desain lebih akurat; (2) Permodelan perletakan dan expansion joint pada jembatan ini sebaiknya dimodelkan pada desain sebenarnya agar memperoleh desain yang lebih aman; (3) Dalam kasus jembatan kali ini, alangkah lebih baiknya di tinjau kembali untuk layout jembatan pada daerah sungai. Dengan cara menggeser pylon jembatan ke arah kiri agar kaki pylon satu dengan yang lain memiliki ketinggian yang sama. Dan juga bila hal itu terjadi, dipertimbangkan juga biaya jembatan pendekat pada arah kanan jembatan dan pembongkaran sisi kiri jembatan (apa masih memungkinkan) dibandingkan dengan biaya letak pylon tetap; (4) Bila menggunakan box penuh pada pylon jembatan, perlu ditinjau perlemahan dinding pylon akibat adanya balok penumpu yang cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. E. E. Tumimomor, H. Manalip, and R. J. . Mandagi, “Analisis resiko pada konstruksi jembatan di sulawesi utara,” *Jur. Arsit.*, vol. 6, no. 2, pp. 235–241, 2014.
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum, *Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, 2015.
- [3] J. Benjumea, G. Chio, and E. Maldonado, “Structural behavior and design criteria of extradosed bridge: general insight and state of the art,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 25, no. 3, pp. 383–398, 2010, doi: 10.4067/s0718-50732010000300004.
- [4] J. Hu, Y. J. Kim, and Soon-Jae Lee, *Syntheses on cost-effectiveness of extradosed bridge*, vol. 7, no. 2. San Marcos, Texas: Texas State University-San Marcos, 2016.
- [5] M. S. Troitsky, *Cabel-Stayed Bridge Theory And Design*, 2nd ed. London: BSP Professional Books, 1988.
- [6] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 1729:2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural,” Jakarta, 2015.
- [7] SNI-2847-2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2013.