

Modifikasi Perencanaan Jembatan Mahakam 4 Di Kota Samarinda Menggunakan Model Cable Stayed

Budi Nugroho¹⁾, Sujiati Jepriani²⁾, Salim Juniardi³⁾

E-Mail : budinugroho@polnes.ac.id¹⁾; sujiati_jepriani@polnes.ac.id²⁾; salimjuniardi99@gmail.com³⁾;

Jurusan Teknik Sipil/Rekayasa Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Kota Samarinda 75131,

Kalimantan Timur, Indonesia

Koresponden naskah : budinugroho@polnes.ac.id

SUBMITTED Mei 4, 2022 | REVISED Mei 15, 2022 | ACCEPTED Mei 25, 2022

ABSTRACT

The Mahakam IV Twin Bridge is an Arch type bridge or steel arch which is right next to the Mahakam I Bridge. The Mahakam IV Twin Bridge was built to break down the traffic jams that occur every day on the Mahakam I Bridge. This study aims to plan the shape of the Mahakam IV bridge structure with a construction model. cable-stayed, calculate the load on the cable-stayed bridge, and plan calculations on the bridge which includes Pylon and Cable. The research method begins with the planning stage, theory and standard reference used based on SNI 1725:2016 Loading for bridges and SNI 2833:2016 regarding bridge planning against earthquake loads. After modeling the bridge structure, inputting load and material data as well as loading analysis is calculated using the SAP2000 V.20 program. The results of this study are from the design of the superstructure of the bridge, the force at a maximum cable tension ratio of 13054,185 kN occurs in segment 5, a strong combination of 1 with a allowable stress of 0.45 fpu stated the requirements for cable pulling, pylon planning using the Troitsky formula obtained pylon height which is 70 meters and the largest borrowing force at the top of the full segment pylon is 0.085957 m < 0.088 at Strong Combination 1 on the X axis by lending the H/800 permit is declared to meet the requirements

Keywords: Bridge cable stayed, SAP200, Pylon Bridge, Pylon Peak.

ABSTRAK

Jembatan Kembar Mahakam IV adalah jembatan tipe Arch atau pelengkung baja yang berada tepat bersebelahan dengan Jembatan Mahakam I. Jembatan Kembar Mahakam IV dibangun untuk mengurai kemacetan yang terjadi setiap harinya di Jembatan Mahakam I. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan bentuk struktur jembatan Mahakam IV dengan model konstruksi *cable-stayed*, menghitung pembebanan pada jembatan *cable-stayed*, dan merencanakan perhitungan struktur atas jembatan yang meliputi *Pylon* dan *Cable*. Metode penelitian dimulai dengan tahapan perencanaan, teori dan standar rujukan yang digunakan berdasarkan SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan dan SNI 2833:2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa. Setelah itu pemodelan struktur jembatan, penginputan data beban dan material serta analisis pembebanan dihitung menggunakan program SAP2000 V.20. Hasil penelitian ini adalah dari perencanaan struktur atas jembatan di dapat gaya pada rasio tegangan kabel maksimum sebesar 13054.185 kN yang terjadi di segmen 5, kombinasi Kuat 1 dengan tegangan izin $\leq 0,45 fpu$ dinyatakan memenuhi persyaratan penarikan kabel, perencanaan pylon yang menggunakan rumus Troitsky didapat tinggi pylon yaitu 70 meter dan gaya lendutan terbesar pada puncak pylon full segmen sebesar 0.085957 m < 0.088 pada Kombinasi Kuat 1 di sumbu X dengan lendutan izin H/800 dinyatakan memenuhi persyaratan.

Kata Kunci: Jembatan *cable stayed*, SAP2000, pylon jembatan, Puncak pylon.

1. PENDAHULUAN

Jembatan Mahakam IV adalah jembatan tipe Arch atau pelengkung baja yang berada tepat bersebelahan dengan Jembatan Mahakam I dengan bentang utama (main span) sepanjang 220 M dan 2 buah bentang sisi (side span) masing-masing sepanjang 90 m dan total panjang jembatan Mahakam IV tipe Arch 400 m. Jembatan tersebut menghubungkan kawasan Samarinda Kota dengan wilayah kecamatan Samarinda Seberang. Jembatan Mahakam IV dibangun mulai tahun 2013 yang kemudian dalam proses pengerjaannya, sempat terhenti selama kurang lebih 3 tahun dan kembali dikerjakan pada tahun 2016. Tujuan dari pembangunan jembatan Mahakam IV ialah untuk mengurai kemacetan yang terjadi setiap harinya di Jembatan Mahakam I

Adapun pada pemilihan pemodelan perencanaan ini menggunakan jembatan tipe Cable Stayed dengan bentang utama (main span) sepanjang 220 M dan 2 buah bentang sisi (side span) masing-masing sepanjang 110 m dan total panjang jembatan Mahakam IV tipe Arch 440 m.

Beberapa alasan dalam memilih jembatan tipe *cable-stayed*, antara lain ialah defleksi yang terjadi pada jembatan tipe *cable-stayed* lebih kecil daripada jembatan dengan tipe Jembatan Gantung (*suspended bridge*), selain itu pada tipe *cable stayed* mempunyai kekakuan struktur lebih tinggi. Untuk panjang bentang jembatan tipe *cable stayed* dapat mencapai 110m – 480m tetapi bentang terpanjang untuk jembatan *cable stayed* memiliki bentang lebih dari 1100m yaitu pada jembatan Russky, Rusia. Jembatan tipe *cable stayed* mampu menopang bentang yang sangat panjang pada proses ereksinya dengan cara kantilever bebas sehingga tidak mengganggu aktifitas di bawahnya dan juga untuk mengurai kemacetan yang terjadi setiap harinya di Jembatan Mahakam I

Jembatan Cable Stayed merupakan jembatan yang terdiri dari elemen pylon, gelagar dan di dukung oleh kabel-kabel yang terhubung pada pylon dan gelagar. Keibel inilah yang akan menyalurkan gaya yang diperoleh dari gelagar atau lantai jembatan akibat beban mati dan beban lalu lintas yang bekerja untuk disalurkan ke pylon jembatan. Adapun bentuk struktur utama dari jembatan Cable Stayed ini merupakan rangkaian gabungan berbagai komponen struktural antara pylon atau menara, kabel, dan gelagar. Gelagar utama berfungsi sebagai lantai kendaraan yang menerima beban lalu lintas di atasnya. Beban tersebut kemudian diterima oleh struktur kabel yang kemudian akan disalurkan pada pylon untuk diteruskan ke pondasi jembatan. Gelagar utama dan pylon bekerja sebagai struktur tekan sedangkan kabel bekerja sebagai struktur tarik. Beberapa keuntungan dari konstruksi *cable-stayed* antara adalah tidak memerlukan blok angkur karena kabel dapat dipasang langsung pada gelagar atau

lantai kendaraan. defleksi yang terjadi lebih kecil dibandingkan tipe jembatan gantung, dan juga jembatan sistem *cable-stayed* memiliki kekakuan lebih tinggi. mampu menopang bentang yang sangat panjang dan proses ereksinya dengan cara kantilever bebas.

tujuan dari penelitian ini adalah 1. Merencanakan bentuk struktur jembatan Mahakam IV dengan model konstruksi *cable-stayed*. 2. Menghitung pembebanan pada jembatan *cable-stayed*. 3. Merencanakan perhitungan struktur atas jembatan yang meliputi *Pylon* dan *Cable*

2. TINJAUAN PUSAKA

Jembatan *cable stayed* sudah dikenal sejak lebih dari 200 tahun yang lalu yang pada awal era tersebut umumnya dibangun dengan menggunakan kabel vertikal dan miring seperti Dryburgh Abbey Footbridge di Skotlandia yang dibangun pada tahun 1817 (Walther, 1988). Jembatan seperti ini masih merupakan kombinasi dari jembatan *cable stayed* modern. Sejak saat itu jembatan *cable stayed* mengalami banyak perkembangan dan mempunyai bentuk yang bervariasi dari segi material yang digunakan maupun segi estetika. Jembatan *cable stayed* menjadi sangat terkenal sejak penyelesaian jembatan *modern cable-stayed* pertama, yaitu *Strömsund Bridge* di Swedia, pada 1955 (Chen & Duan, 2014)

Pada umumnya jembatan *cable-stayed* menggunakan gelagar baja, rangka, beton atau beton pratekan sebagai gelagar utama. Pemilihan bahan gelagar tergantung pada ketersediaan bahan, metode pelaksanaan dan harga konstruksi. Penilaian parameter tersebut tidak hanya tergantung pada perhitungan semata melainkan masalah ekonomi dan estetika lebih dominan. Kecenderungan sekarang adalah menggunakan gelagar beton, cast in site atau prefabricated (pre cast) (Nugraha, 2017)

Tergantung pada rintangannya yang akan diseberangi dan lokasi jembatan *cable-stayed*, bentang jembatan *cable-stayed* dapat di desain dalam *two-span*, *three-span* atau *multi-span* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Susunan *two-span* terdiri dari bentang utama dan bentang dengan sisi lebih pendek (juga disebut *back span*). Susunan *three-span* merupakan susunan yang paling umum, terdiri dari bentang utama dan dua bentang samping, dimana panjang setiap bentang samping sama dengan setengah panjang bentang utama atau kurang. Sedangkan *multi-span* memiliki beberapa bentang utama dan bentang sisi dikedua ujung jembatan.

2.2 Sistem Kabel

Sistem kabel merupakan salah satu hal mendasar dalam perencanaan jembatan *cable stayed*. Secara umum sistem kabel dapat dilihat sebagai tatanan kabel transversal dan tatanan kabel longitudinal. Pemilihan tatanan kabel tersebut

didasarkan atas berbagai hal, karena akan memberikan pengaruh yang berlainan terhadap perilaku struktur terutama pada bentuk menara dan tampak gelagar. Selain itu akan berpengaruh pula pada metode pelaksanaan, biaya dan arsitektur jembatan. Jembatan *cable stayed* menggunakan kabel-kabel berkekuatan tinggi yang menghubungkan *pylon* dengan gelagar.

Ada beberapa system tatanan kabel pada jembatan kabel stayed antara lain :

- Tipe *Radiating* atau *Converging Cable System*
Merupakan sebuah susunan dimana kabel dipusatkan pada ujung atas menara dan disebar sepanjang bentang gelagar. Kelebihan tipe ini adalah kemiringan rata-rata kabel cukup besar sehingga komponen gaya horizontal tidak terlalu besar, namun kabel yang terkumpul diatas kepala menara menyulitkan dalam perencanaan dan pendetailan sambungan.

- Tipe *Harp* atau *Parallel Cable System*
Terdiri dari atas kabel-kabel penggantung yang dipasang sejajar dan disambungkan ke manara dengan ketinggian yang berbeda-beda satu terhadap lainnya. Susunan kabel yang sejajar memberikan efek estetika yang sangat indah namun terjadi lentur yang besar pada menara

- Tipe *Fan* atau *Intermediate Cable System*
Merupakan solusi tengah antara *radiating* dan tipe *harp*. Kabel disebar pada bagian atas menara dan pada bagian dek sepanjang bentang, menghasilkan kabel tidak sejajar. Penyebaran kabel pada menara akan memudahkan pendetailan tulangan.

- Tipe *Star*
Memiliki bentuk berlawanan dengan tipe *radiating*, dimana kabel terpusat pada gelagar. Bentuk ini memberikan efek estetika yang baik namun menyulitkan pendetailan sambungan pada gelagar. Dukungan antara dua tumpuan tetap jembatan hanya ada pada pertemuan kabel, sehingga momen lentur akan menjadi lebih besar.

STAY SYSTEM	SINGLE	DOUBLE	TRIPLE	MULTIPLE	VARIABLE
	1	2	3	4	5
1 BUNDLE OR CONVERGING OR RADIAL					
2 HARP OR PARALLEL					
3 FAN					
4 STAR					

Gambar 2. 1 Tatanan sistem kabel. (Troitsky, 1988).

2.3 Posisi Kabel

Menurut (Haldania, 2007) terdapat dua perencanaan yang mendasar dari beberapa bidang (planes) yang menentukan antara lain : two-plane system dan single-plane systems. Two-plane

systems dapat dibagi menjadi dua tipe sebagai berikut :

1. *The Single Plane System / Central Cable Planes*
Tipe ini memiliki sistem satu kabel yang diletakkan di tengah gelagar dan segaris dengan *pylon*.

2. *The Two Planes System*

a) *Two Vertical Planes System*

Tipe ini memiliki sistem dua kabel paralel dan menara berada diatas masing-masing sisi jembatan, yang terletak di bidang vertikal yang sama. Berikut dua alternatif layout yang diadaptasi menggunakan sistem ini :

- Angkur kabel dapat terletak di luar struktur dek,
- Kabel dan tower terletak melintang

b) *Two Inclined Planes System*

- *Two Inclined Planes System, Inward*
- *Two Inclined Planes System, Outward*

2.2.1 Jumlah Strand

Jumlah *strand* yang terpasang pada tiap rangkaian kabel tergantung pada besarnya sudut yang terbentuk antara kabel dan lantai kendaraan, jarak pemasangan kabel, serta besarnya gaya pada angkur seperti dirumuskan (Gimsing, 1983) sebagai berikut:

$$Asc = \frac{(W \times \lambda + P) \cdot \cos \alpha}{\frac{0,8 \times fu \cdot \sin (2 \cdot \alpha)}{2} - (\gamma \times \alpha)}$$

Keterangan:

Asc : luas kabel yang diperlukan

W : beban mati dan hidup merata

λ : jarak pemasangan kabel

P : beban hidup terpusat dan gaya akibat angkur

α : sudut antara kabel dan lantai kendaraan

fu : tegangan batas kabel

γ : berat jenis kabel

A : jarak mendatar kabel terhadap pilon (m)

2.4 Pembebanan

Berdasarkan SNI 1725:2016 beban permanen dan transien berikut harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan :

1. beban Permanen

- berat sendiri
- beban mati tambahan

2. beban transien

- gaya rem
- beban lajur D
- beban truk
- beban pejalan kaki
- beban angin
- beban gempa

2.3.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai berikut:

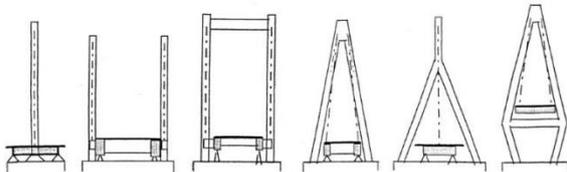
Tabel 2. 1 Kombinasi beban dan faktor beban

Keadaan Batas	JMS /JA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW ₁	EW ₂	BF	EU ₁	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TD}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TD}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TD}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TD}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{TQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	0	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	0	1,0
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TD}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TD}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Faktor (TD dan TE)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : γ_p dapat berupa γ_{TD} , γ_{TQ} , γ_{TR} , γ_{TP} , tergantung beban yang ditinjau
 γ_{TQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

2.4 Menara atau Pylon

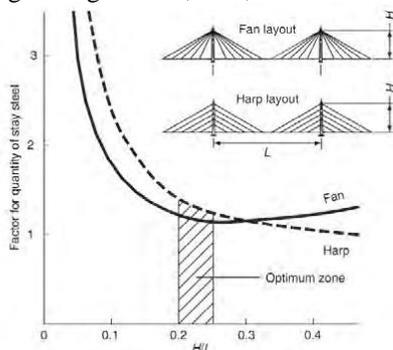
Pylon (menara) jembatan *cable stayed* berfungsi untuk menahan beban mati dan hidup yang bekerja pada struktur, menara dapat terbuat dari baja atau beton bertulang. Ada beberapa bentuk menara yang dapat diterapkan pada jembatan *cable stayed*, seperti *H-frame*, *Single*, *Double towers*, *Portal* dan *A-Shaped*.



Gambar 2. 2 Tipe-tipe menara jembatan cable-stayed (Chen & Duan, 2014)

2.4.1 Tinggi Pylon

Perencanaan untuk tinggi *pylon* dapat dilakukan dengan membandingkan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang deck (L) dengan range nilai 0,2 – 0,25



Gambar 2. 3 Tinggi optimum pylon

Menurut (Troitsky, 1988) tinggi *pylon* adalah : $H \geq L/6$

$H = n \cdot a \cdot \tan 25^\circ$

- Keterangan :
- L = bentang jembatan
 - n = jumlah kabel
 - a = jarak jabel antar gelagar
 - H = tinggi pylon

2.5 Persyaratan Kekakuan

Akibat beban lalu lintas jembatan, gelagar jembatan yang ditahan oleh ruji kabel akan mengalami lendutan dalam arah vertikal. Beban vertikal pada gelagar ditahan oleh kabel *stay* yang miring. Keseimbangan terjadi karena gaya kabel *stay* diterima oleh gelagar jembatan dalam bentuk gaya normal aksial tekan. Kombinasi gaya aksial tekan dan deformasi vertikal pada gelagar dapat menyebabkan momen dan deformasi tidak linier. Untuk menjaga agar kondisi dapat diasumsikan sebagai linier, maka lendutan akibat beban hidup tidak boleh melampaui batas sebagai berikut:

Lendutan yang terjadi pada puncak menara harus lebih kecil dari

- a. H/400 untuk penampang baja
- b. H/800 untuk penampang beton

2.6 Persyaratan Kekakuan

Setiap kondisi pelaksanaan dan pembebanan harus memenuhi keadaan batas lain sebagai berikut:

- a. Gaya akhir pada ruji kabel $\leq 0,45$ tegangan putus *strand* untuk keadaan batas layan
- b. Gaya akhir pada ruji kabel $\leq 0,60$ tegangan putus *strand* untuk keadaan batas ultimit, yang umumnya aman bila keadaan daya layan terpenuhi
- c. Gaya pada ruji kabel harus selalu berupa gaya tarik, tidak melepas/nol/tertekan.

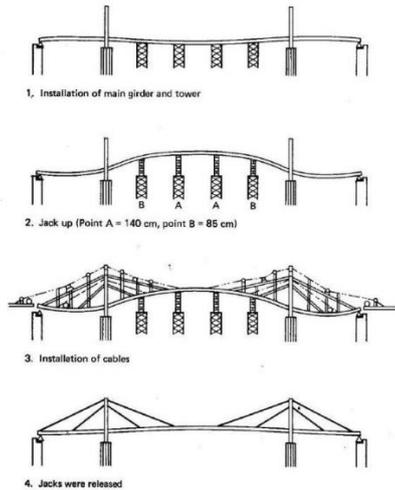
Keseimbangan Struktur dengan menjaga lendutan gelagar dan menara dalam batas izin

2.7 Metode Perencanaan

Ada tiga cara yang umum dipakai untuk *stiffening girder* (Alrasyidi, Tavio, dan Masiran, 2017), yaitu:

- a. *Staging method*,
Dipakai bila ruang bebas di bawah jembatan rendah dan pemasangan penyokongan sementara tidak akan mengganggu lalu lintas dibawah jembatan. Keuntungannya adalah :
 - ✓ teliti dalam mengikuti bentuk geometrik dan tahanan yang dipersyaratkan pada *erection*.
 - ✓ biaya rendah pada ruang bebas yang rendah.
- Urutan pelaksanaannya :
 - ✓ setelah tembok pangkal dan pilar selesai dibuat, mulai dibuat pilar penolong sementara.
 - ✓ gelagar dipasang dengan sistem *cantilevering*, sampai pada pilar penolong.
 - ✓ pada saat itu pilar penolong berikutnya sudah selesai dan gelagar dapat dipasang terus sampai

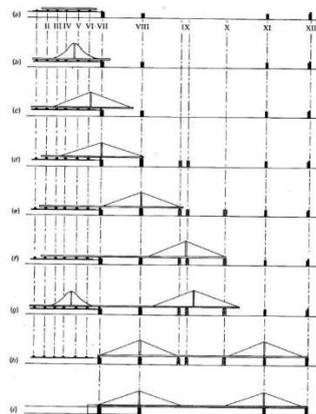
- ✓ pada pilar penolong kedua.
 - ✓ dan seterusnya, sampai keseberang.
 - ✓ berat tiap bagian gelagar dapat mencapai : 27,5 ton ; dengan panjang : 20m.
 - ✓ *pylon* diselesaikan pemasangannya.
 - ✓ kabel – kabel dipasang .
- pada pilar penolong dapat dipasang *jack*, untuk memberi bentuk geometrik yang ditentukan, pada tahap *erection*.



Gambar 2. 4 Prosedur pelaksanaan Staging Method (Alrasyidi, Tavio, dan Masiran, 2017)

b. Push out method,

Pada metode ini, bagian-bagian bangunan atas dirangkai di tepian sungai, kemudian secara bertahap didorong maju melintas bentangan-bentangan antara pilar-pilar yang telah dibuat lebih dahulu, termasuk rol atau perletakan geser teflon di atasnya. Gelagar ini dapat didorong dari dua sisi, masing-masing tepian, atau hanya dari satu tepian saja.

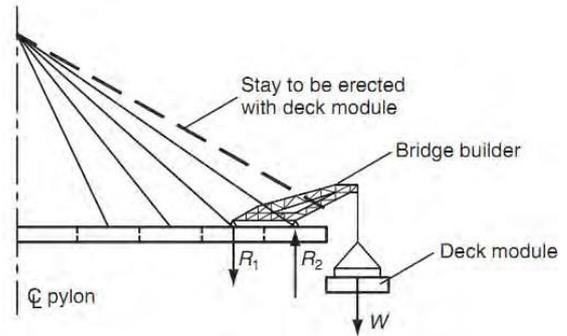


Gambar 2. 5 Prosedur pelaksanaan teknik Push-Out (Alrasyidi, Tavio, dan Masiran, 2017)

c. Cantilever method

Dipakai pada *cable stayed*, dimana mungkin dipasang penyokong sementara. Bedanya dengan *staging method* adalah : bila pada *staging method* yang memikul beban saat *erection* bangunan atasnya

adalah pilar dan penyokong sementara; maka pada *cantilever method*, pilar, *pylon* dan kabelnya sudah dimanfaatkan untuk memikul beban saat *erection*.



Gambar 2. 6 Metode pelaksanaan kantilever (Alrasyidi, Tavio, dan Masiran, 2017)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam perencanaan ini, objek kajian adalah jembatan Mahakam IV yang menghubungkan Kota Samarinda dan Kota Samarinda Seberang dengan tipe jembatan *cable stayed*. Metode perencanaan ialah untuk menyusun langkah-langkah yang sistematis dalam menyelesaikan suatu permasalahan sehingga tujuan yang ingin dicapai dapat terselesaikan. Metode perencanaan ini meliputi pengumpulan data struktur atas, metode perencanaan dan diagram alir perencanaan.

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pada perencanaan pembangunan Jembatan Mahakam IV terletak di sungai Mahakam diantara Kecamatan Samarinda Seberang dan Sungai Kunjang, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur.



Gambar 3. 1 Lokasi Jembatan Mahakam IV

3.2 Data Awal Struktur Atas Jembatan

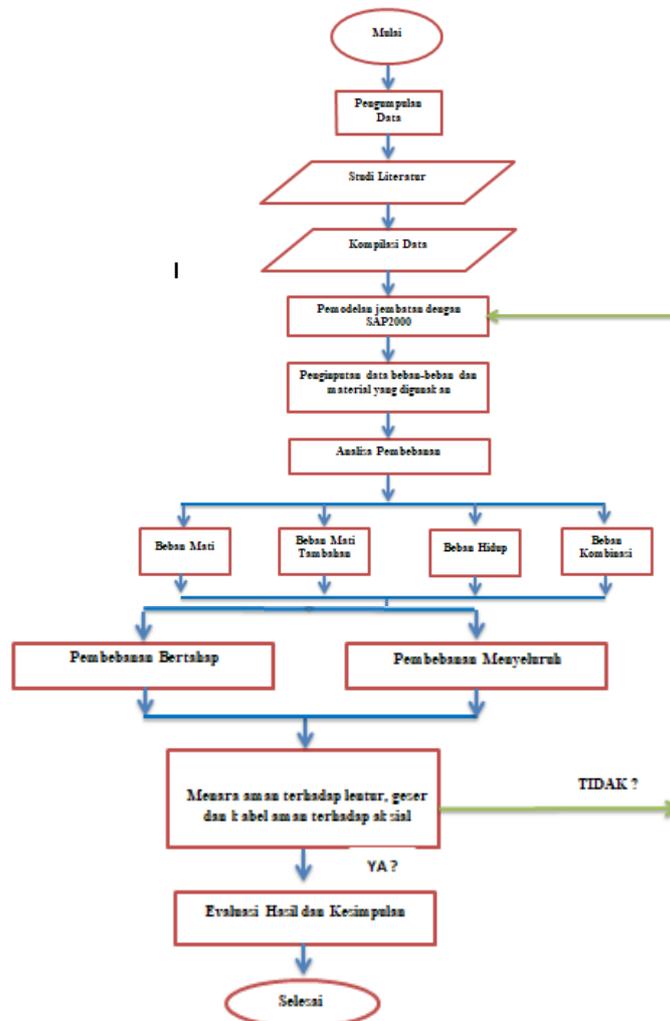
Tabel 3. 1 Data awal struktur atas jembatan

No	Data Umum Jembatan	Keterangan
1	Jembatan Mahakam IV	Kelas A
2	Bentang Total	400 m
3	Bentang Utama	220 m
4	Bentang Pendekat	90 m
5	Tinggi Jembatan	57 m

6	Clearens To Low Water Level	26 m
7	Jebar Jembatan	17,02 m
8	Lebar Jalur Lalu Lintas (b1)	7 m
9	Lebar Trotoar Lalu Lintas (b2)	1 m
10	Jarak Antar Gelagar Memanjang	1,4 m
11	Jaral Antar Gelagar Melintang	5 m
12	Tebal Slab Lantai	0,3 m
13	Tebal Lapis Aspal	0,05 m

14	Tebal Trotoar	0,3 m
15	Kuat Tekan Beton (f_c')	30 Mpa
16	Modulus Elastis (E_c)	33234 Mpa
17	Angka Poison	0,2
18	Modulus Geser (G)	10726,23 Mpa
19	Berat Jenis Beton	2400kg/m ³
20	Berat jenis aspal	2200 kg/m ³
21	Berat jenis air	980 kg/m ³

3.3 Bagan Alir Perencanaan



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

4. HASIL PERENCANAAN

perencanaan struktur jembatan mahakam IV dilakukan menggunakan software SAP2000. aplikasi ini digunakan dalam analisis statik untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan tegangan yang terjadi pada komponen struktur jembatan *cabl stayed*,

Setelah di lakukan pemodelan jembatan pada aplikasi *SAP2000* maka di dapat bentuk struktur jembatan yang di gunakan yaitu

- Menggunakan Pylon type Portal
- Menggunakan PC-U Girder
- Susunan kabel yang di pakai adalah Tipe *Harp* atau *Parallel Cable System*

4.2 Pembebanan

berdasarkan sni 1725:2016 standar pembebanan untuk jembatan

4.2.1 Beban Mati

A) Berat Sendiri

Berat sendiri elemen struktur seperti box girder (dek), pylon, kabel penggantung, dan dihitung secara otomatis oleh program SAP2000 dengan memasukan nilai self weight = 1 sesuai berat jenis bahan serta dimensi penampang masing-masing elemen struktur.

B) Beban mati tambahan

Beban mati tambahan terdiri dari parapet, tiang sandaran, median jalan, dan genangan air hujan. Analisis pembebanan beban mati tambahan sebagai berikut

- 1) Parapet dan tiang sandaran = 8.0287 kN/m
- 2) Genangan Air Hujan = 0,49 kN/m²
- 3) Lapisan aspal = 1,15 kN/m²

C) Beban Transien

1) Pengaruh Susut dan rangkak

Pengaruh susut dan rangkak dipertimbangkan pada perencanaan jembatan yang menggunakan material beton. Perhitungan pengaruh penyusutan (*shrinkage*) dan rangkak (*creep*) pada beton mempergunakan peraturan CEB-FIP tahun 1990 dengan parameter sebagai berikut:

Kuat tekan beton pada umur 28 hari : 45 MPa

Kelembaban relatif udara setempat : 70%

Ukuran notational penampang (h) :Tergantung

penampang beton (dihitung otomatis oleh aplikasi)

Tipe semen : Pengerasan normal

Umur beton mulai penyusutan : 3 hari

2) Beban Lajur D

Beban garis "p" sesuai dengan SNI 1725:2106 sebesar = 49 kN/m

3) Beban Truk "T"

Menggunakan beban Truk 500 Kn dan di imput pada SAP2000

4) Beban Rem

dimodelkan sebagai beban terpusat, jumlah joint 178 joint = 28,125 / 178 = 0.158 Kn

5) Beban Pejalan Kaki

distribusi beban pejalan kaki sebesar 10 kN/m diinput sebagai beban garis pada gelagar induk di sisi kanan dan kiri

6) Beban Angin

a) Beban Angin Struktur

Beban yang bekerja pada Struktur Jembatan = 18,837 kN/m

b) Beban Angin Kendaraan

Maka beban angin tambahan akibat beban hidup (pada kendaraan) sebesar 2,628 kN

7) Beban gempa metode analisis dinamis *time history*

Analisis dinamis non-linier riwayat waktu (*time history*) sangat cocok digunakan untuk analisis struktur yang tidak beraturan terhadap pengaruh gempa rencana. Mengingat gerakan tanah akibat gempa di suatu lokasi sulit diperkirakan dengan tepat, maka sebagai input gempa dapat didekati dengan gerakan tanah yang disimulasikan. Dalam perencanaan ini menggunakan data Design Spektra Indonesia sebagai input data percepatan gerakan tanah akibat gempa.

D) Pilon

Menurut Troitsky (1977), tinggi pylon adalah

$$H \geq L/6$$

$$H = n \cdot a \cdot \tan 25^\circ$$

$$H = 21 \cdot 5 \cdot \tan 25^\circ = 51,29 = 52 \text{ m}$$

Dengan : L = bentang jembatan

n = jumlah kabel

a = jarak kabel antar gelagar

H = tinggi pylon

Tinggi pylon dari lantai jembatan (H1) : 52 m

Tinggi pylon dari muka pilecap (H) : 70 m

setelah di lakukan beberapa kali pemodelan pada SAP2000 maka didapat diameter perencanaan pylon adalah 5,3 x 5

E) Jumlah Strand Kabel dan Luas Kabel

No	Jumlah Strand Kabel	luas kabel (m2)
1	40	0.056
2	83	0.1162
3	103	0.1442
4	109	0.1526
5	114	0.1596
6	112	0.1568
7	111	0.1554
8	107	0.1498
9	107	0.1442
10	103	0.1442
11	103	0.1442
12	103	0.1442

13	103	0.1442
14	103	0.1442
15	103	0.1442
16	103	0.1442
17	103	0.1442
18	103	0.1442
19	103	0.1442
20	103	0.1442
21	103	0.1442
22	103	0.1442

F) Izin Lendutan Pada Puncak Pilon

$$H \leq L/800$$

$$= 70/800$$

$$= 0.0875$$

Maka displacement yang diizinkan tidak lebih dari 0,0875 m.

G) Kombinasi Pembebanan Pada Puncak Pilon Full Segmen

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1725:2016 sebagai berikut:

Kuat I	=	0.085957
Kuat II	=	0.085544
Kuat IIIa	=	0.082256
Kuat IIIb	=	0.082207
Kuat IV	=	0.082199
Kuat Va	=	0.082225
Kuat Vb	=	0.082249
Ekstrem Ia	=	0.084096
Ekstrem Ib	=	0.085364
Ekstrem II	=	0.083393
Daya Layan Ia	=	0.061512
Daya Layan Ib	=	0.061541
Daya Layan II	=	0.062208
Daya Layan III	=	0.061013
Daya Layan IVa	=	0.059134
Daya Layan IVb	=	0.059106
Fatik	=	0.001792

H) Segmen Besar Gaya dan rasio Tegangan pada kabel

Nilai untuk *ultimate cable*:

$$F_{pu} = 1860 \text{ MPa} = 1860 \text{ N/mm}^2$$

$$= F_{pu} \times \text{Kabel 1}$$

$$= 1860 \text{ N/mm}^2 \times 5600 \text{ mm}^2$$

$$= 10416000 \text{ N} = 10416 \text{ kN}$$

$$= \text{Besar gaya/Ultimate Cable} = (\leq 0.45) \text{ aman}$$

$$= 11435.523 \text{ kN}/26821.2 \text{ Kn} = 0.43 \leq 0,45$$

I) Kombinasi Pembebanan Pada Rasio Tegangan Kabel Full Segmen

kuat 1	=	11435.523	0.43	(OK)
kuat 2	=	11383.047	0.42	(OK)
Kuat 3.1	=	10984.317	0.41	(OK)
kuat 3.2	=	10982.194	0.41	(OK)
kuat 4	=	10981.829	0.41	(OK)
kuat 5.1	=	10982.962	0.41	(OK)
kuat 5.2	=	10984.024	0.41	(OK)
daya layan 1.1	=	8176.073	0.30	(OK)
daya layan 1.2	=	8177.311	0.30	(OK)
daya layan 2	=	8261.122	0.31	(OK)
daya layan 3	=	8117.83	0.30	(OK)
daya layan 4.1	=	7890.014	0.29	(OK)
daya layan 4.2	=	7888.775	0.29	(OK)
Ekstrem 1.1	=	11131.038	0.42	(OK)
Ekstrem 1.2	=	11141.71	0.42	(OK)
Ekstrem 2	=	11125.121	0.41	(OK)
Fatik	=	214.938	0.01	(OK)

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pemodelan design rencana struktur jembatan Mahakam IV, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Bentuk struktur jembatan Mahakam IV menggunakan model cable-stayed. Konfigurasi kabel yang digunakan pada perencanaan Jembatan Sungai Mahakam IV ini adalah *two vertical plane* untuk arah melintang dan konstruksi *semi-harp* pada arah memanjang.
2. Dengan perencanaan pembebanan yang sesuai dengan SNI 1725:2016 maka didapat hasil pembebanan yaitu :

Pembebanan Sesuai dengan SNI 1725:2016		
No	Keterangan Beban	Berat
1	Perapet dan railing kendaraan	8.0287 kN/m ²
2	Beban Air Hujan	1.64 kN/m ²
3	Beban lajur "D"	
	beban lajur "D" UDL	4,807 kN/m ²
	beban lajur "D" KEL	49 kN/m ²
4	Beban Truk "T"	500 kN
5	Beban Rem (TB)	0.051 kN

6	Beban Pejalan Kaki (TP)	10 kN/m
7	Beban angin pada struktur	18,837 kN
8	Beban angin akibat kendaraan	2.628 kN

3. Pada perencanaan struktur atas jembatan di dapat gaya kabel maksimum pada perencanaan jembatan sebesar 13054.185 kN yang terjadi di segmen 5 di kabel 5.4 pada kombinasi Kuat 1 dengan tegangan izin $\leq 0,45 f_{pu}$ dinyatakan memenuhi persyaratan penarikan kabel. dan juga pada perencanaan pylon yang menggunakan rumus Troitsky maka didapat tinggi pylon yaitu 70 meter dan gaya lendutan terbesar pada puncak pylon full segmen sebesar $0.085957 \text{ m} < 0.088$ pada Kombinasi Kuat 1 di sumbu X dengan lendutan izin H/800 dinyatakan memenuhi persyaratan dikarenakan pada saat mendesign lantai jembatan.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya sampaikan kepada PT. PP yang telah menyediakan data struktur atas jembatan Mahakam IV, kemudian ucapan terima kasih sebesar-besarnya juga saya berikan kepada para dosen dari jurusan Teknik Sipil.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alrasyidi, Tavio, dan Masiran. (2017). Desain Modifikasi Struktur Jembatan Kalipepe dengan Asymmetric Cable Stayed System dan Prestressed Concrete Segmental Box Girder. *Jurnal Teknik ITS*.
- [2] A.M.S. Freire, J.H.O. Negro, A.V. Lopes. (2006). Geometrical nonlinearities on the static analysis of highly flexible steel cable-stayed bridges. Elsevier.
- [3] Alfianur, Purwanto dan Syahrul. (2018). Perencanaan Struktur Jembatan Cable Stayed Dengan Two Vertical Planes System Tipe Fan (Study Kasus Jembatan Kembar Mahakam IV).
- [4] Anggraeny, S. (2017, Januari). Modifikasi Perencanaan Jembatan Sungai Brantas Pada Ruas Jalan Tol Solo-Kertosono Menggunakan Sistem Cable Stayed Dengan Single Vertical Plane Semi-Harp. Surabaya, Jawa Timur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Budiono, B. (2012). *SI 6122 Rekayasa Jembatan*. Bandung, Jawa Barat, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung: ITB Press.
- [6] Chen & Duan. (2014). *Superstructure Design*. y Taylor & Francis Group.
- [7] Fajar, A. (2016). Perencanaan Struktur Jembatan Asymmetrical Cable-Stayed Ngrame II Mojokerto Dengan Two Vertical Planes System. *ITS*, 1-18.
- [8] Gimsing, N. J. (1983). *Cable Supported Bridges Concept and Design*. Awiley - Interscience Publication.
- [9] Haldania, R. (2007). *Cable Stayed Bridges*. Mumbai: Hindustan Construction Company.
- [10] Ilmi, L. Z. (2016, Mei). Studi Perencanaan Struktur Atas Jembatan Grobogan Lumajang (Km Surabaya 132+240) Dengan Sistem Cable Stayed. Jember, Jawa Timur, Universitas Jember.
- [11] Juvani & Lipponen. (2012). *Cable Stayed Bridge*. Espoo, Finlandia: Aalto University.
- [12] Karyamarga, P. A. (2002). *Jembatan Mahkota II*. Samarinda: PT. Agrabudi Karyamarga.
- [13] Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. (2015). *Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- [14] Nasional, B. S. (2016). *Standar Pembebanan Untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional.
- [15] Neils J. Gimsing, Christos T. Georgakis. (2012). *Cable Supported Bridges*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [16] Nugraha, R. (2017, Januari). Desai Alternatif Jembatan Musi III Menggunakan Sistem Multi-Span Cable-Stayed Dengan Fishbone Model. Surabaya, Jawa Timur, Institut Teknologi Sepuluh Nopember