

## OPTIMASI SISTEM STRUKTUR *CABLE-STAYED* AKIBAT BEBAN GEMPA

Murdini Mukhsin<sup>1)</sup>, Yusep Ramdani<sup>2)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi Tasikmalaya  
Email: [murdini@unsil.ac.id](mailto:murdini@unsil.ac.id)<sup>1)</sup>, [ramdani.yusep@yahoo.com](mailto:ramdani.yusep@yahoo.com)<sup>2)</sup>

### Abstrak

Struktur jembatan *cable stayed* merupakan salah satu struktur jembatan yang memiliki rasio bentang jembatan terhadap tinggi dek yang tinggi sehingga struktur jembatan jauh lebih ringan dibandingkan jembatan yang ditumpu oleh banyak pilar. Jembatan *cable stayed* merupakan pilihan utama untuk jembatan bentang panjang karena struktur jembatan *cable stayed* menghasilkan bentuk geometri dan elemen-elemen struktur yang relatif ringan dan ekonomis. Hasil analisis bentuk geometri pada jembatan *cable stayed* menunjukkan bentuk susunan kabel semi harp menengahi permasalahan dimensi pada susunan harp dan permasalahan pelaksanaan pemasangan pada susunan fan. Hasil analisis statik menunjukkan bahwa pada masa layan pengaruh beban lalu lintas menyebabkan kemungkinan terjadinya lendutan keatas dan kebawah pada dek sehingga terjadi pembalikan tegangan pada dek. Sedangkan beban tetap dan lalu lintas akan mempengaruhi perencanaan pylon dan kabel jembatan.

**Kata kunci:** Kabel, Jembatan, Geometri, Pylon

### Abstract

*The cable stayed bridge structure is one of the bridge structure which has bridge span ratio to high deck height so that the bridge structure is much lighter than the bridge which is supported by many pillars. Cable stayed bridges are the primary choice for long-span bridges because the cable stayed bridged structures produce geometrical shapes and relatively lightweight and economical structural elements. The result of geometric shape analysis on cable stayed bridge shows the form of semi harp cable arrangement mediate the dimension problem on the harp arrangement and the problem of installation implementation on the fan arrangement. The result of static analysis shows that in the service period, the traffic load causes the possibility of deflection up and down on the deck so that there is a reversal of stress on the deck. While the fixed load and traffic will affect the planning of pylons and bridge cables.*

**Keyword :** Cable, Bridge, Geometry, Pylon

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir jembatan *cable stayed* telah digunakan secara luas di seluruh dunia. Penggunaan secara luas struktur jembatan ini mulai setelah dikenal teori *high - strength - steel* , dek jembatan tipe *orthotropic* , berkembangnya teknik pengelasan dan kemajuan dalam bidang analisis struktur[1]. Berkembangnya bentuk dan tipe jembatan *cable stayed* memberikan tantangan kepada para insinyur untuk berinovasi karena struktur jembatan *cable stayed* banyak digunakan sebagai penghubung dua daratan, daerah, wilayah bahkan menghubungkan dua kepulauan yang terpisah dengan bentang yang panjang.

Indonesia adalah negara kepulauan dengan karakteristik wilayah gempa yang tersebar mulai Sabang sampai Merauke. Karakteristik gempa yang terjadi di wilayah Indonesia akan mempengaruhi proses perancangan struktur jembatan *cable-stayed* pada setiap wilayahnya[2]. Analisa beban gempa dalam perhitungan struktur jembatan *cable-stayed* sangat penting, karena sistem pylon jembatan *cable-stayed* bersentuhan langsung dengan tanah keras sebagai media pelepasan energi sesaat pada saat terjadi gempa bumi[3]. Secara otomatis besarnya gempa bumi akan mempengaruhi bentuk geometri kabel, type pylon, bentuk dek dan panjang bentang jembatan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Indonesia merupakan daerah pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo – Australia, Eurasia, dan lempeng Pasific[4]. Pertemuan lempeng ini memberikan akumulasi energi tabrakan sampai suatu titik dimana lapisan bumi tidak lagi sanggup menahan tumpukan energi sehingga lepas Pelepasan energi sesaat ini berupa percepatan gelombang seismik yang akan menimbulkan berbagai dampak terhadap bangunan-bangunan sipil diantaranya jembatan, struktur gedung, bendungan dan lain sebagainya. Berdasarkan permasalahan tersebut , penelitian ini dilakukan untuk mengkaji optimasi struktur jembatan  *cable stayed* akibat pengaruh beban gempa dengan perumusan masalah sebagai berikut :

- Bagaimanakah pengaruh zonasi gempa di wilayah Indonesia dapat berpengaruh terhadap desain struktur jembatan  *cable-stayed*
- Ketika beban gempa statik dan beban gempa dinamik bekerja pada struktur jembatan  *cable-stayed*, apakah akan memberikan perilaku yang sama atau berbeda pada setiap elemen struktur jembatan  *cable-stayed*
- Apakah perbedaan dalam pemilihan bentuk geometri kabel, bentuk  *pylon*, bentuk dek dan panjang bentang jembatan dapat dioptimalkan dalam proses desain elemen struktur jembatan  *cable-stayed*

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1. Umum

Mengingat Indonesia adalah wilayah yang rawan terjadi gempa, maka salah satu cara untuk mengurangi kerusakan bangunan akibat gempa tersebut adalah dengan cara merencanakan bangunan tahan gempa berdasarkan peraturan-peraturan yang ada di Indonesia.

Implementasi dari peraturan-peraturan tersebut adalah dengan melakukan perencanaan struktur bangunan dengan pendekatan  *finite element method* (metode elemen hingga). Salah satu cara mengaplikasikan metode tersebut dapat dilakukan dengan bantuan penggunaan  *software* aplikasi. Khususnya untuk struktur jembatan  *cable-stayed* yang memiliki bentang panjang dengan penopang jembatan berupa  *pylon* yang cukup berperan dalam

mereduksi beban gempa, pemodelan dapat dilakukan dalam ruang 3 dimensi (3D).

### 2.2. Struktur Jembatan Cable-Stayed

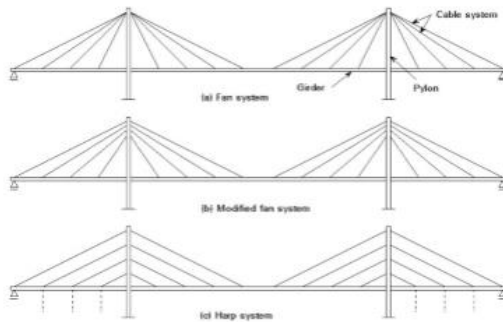
Jembatan  *cable stayed* adalah model jembatan yang memiliki struktur lantai kendaraan pada satu atau beberapa titik digantung secara elastik pada kabel . yang digunakan sebagai salah satu tumpuannya[5]. Jembatan ini semakin populer seiring kemampuannya mengatasi bentang yang panjang. Kekhususan jembatan ini ditandai dengan daya tarik estetika, penggunaan material struktur secara lebih efisien dan kecepatan cara kerja konstruksinya dan elemen struktural yang dimensinya relatif semakin kecil. Elemen struktur jembatan  *cable stayed* yang penting adalah kabel, angkur, menara dan dek.

### 2.3. Kabel

Kabel merupakan bagian jembatan  *cable-stayed* yang menahan gaya tarik, kabel ini harus terhindar dari  *fatigue* dan diproteksi terhadap korosi, terutama pada lingkungan yang agresif. Kabel yang biasa digunakan adalah kabel tipe ikatan  *wire* paralel atau  *strand* paralel yang panjang, karena memiliki modulus elastisitas yang tinggi dan konstan.

Pemilihan jumlah dan susunan kabel berpengaruh terhadap dimensi gelagar dan menara serta metode pelaksanaan struktur jembatan  *cable-stayed*. Sistem penataan kabel dapat berupa sistem  *harp* (harpa) dimana kabel dipasang sejajar dan disambungkan ke menara dengan ketinggian yang berbeda-beda satu sama lain, sistem  *radiating* dimana kabel dipusatkan pada ujung atas menara dan disebar sepanjang bentang pada gelagar, sistem  *fan* (kipas) dimana kabel disebar pada bagian atas menara dan pada dek sepanjang bentang yang menghasilkan kabel tidak sejajar dan sistem  *star* dimana kabel tersebar sepanjang gelagar.

Pada sistem  *harp* , untuk jarak kabel tetap pada dek dan berat gelagar tetap, terjadi pada kabel yang sama, sedangkan pada system  *fan* gaya kabel akan berkurang. Pada system kabel  *fan*, gaya tekan pada menara akan lebih besar dan pada dek akan lebih kecil, hal ini akan berlaku sebaliknya pada sistem  *harp* sehingga akan menimbulkan tekuk yang besar untuk jembatan bentang panjang.



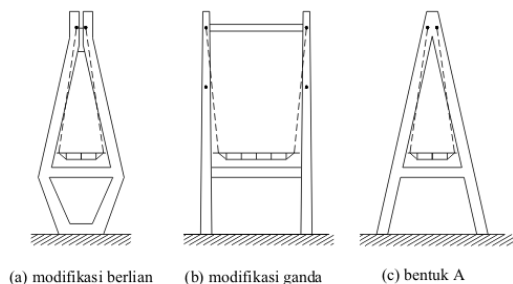
Gambar 1. Tipe susunan kabel

## 2.4. Angkur

Angkur adalah tempat ujung kabel yang dikaitkan ke penumpu. Angkur harus menyalurkan gaya kabel pada dek jembatan dan *pylon*. Pada *pylon* kabel dapat diangkur atau sebagai kabel menembus *pylon*[6].

## 2.5. Menara

Menara adalah komponen jembatan *cable-stayed* yang berfungsi sebagai tumpuan dan rangkaian kabel. Desain menara menunjukkan estetika dari jembatan *cable-stayed*, maka perancang harus memilih proporsi dan bentuk yang baik. Sebagian besar menara dibuat dari beton karena relatif lebih murah dan mudah dibentuk dibandingkan dengan baja[6].



Gambar 2. Tipe bentuk Menara[6]

## 2.6. Dek

Dek jembatan *cable-stayed* terdiri atas tipe rangka padat (*stiffening truss*) dan tipe profil padat (*solid web*). Tipe rangka batang memerlukan proses fabrikasi lebih kompleks, relatif sulit dalam perawatan dan mudah terpengaruh korosi sehingga jarang digunakan. Tipe profil padat terdiri atas gelagar pelat (*plate girder*) dan gelagar *box* (*box girder*), gelagar *box* memiliki kekakuan torsional lebih tinggi dibandingkan gelagar pelat sehingga cocok untuk jembatan yang mengalami torsi yang sangat besar[3].

## 2.7. Pemodelan Elemen Struktur

Perilaku dari komponen struktur yang dimodelkan harus dapat diwakili oleh elemen yang menjadi modelnya. Untuk itu dalam penelitian ini digunakan tiga jenis elemen hingga. Kabel dimodelkan sebagai elemen satu dimensi yang setiap titik nodalnya mempunyai satu derajat kebebasan diarah aksial, sementara menara dimodelkan sebagai elemen tiga dimensi yang setiap titik nodalnya mempunyai enam derajat kebebasan, tiga translasi arah sumbu XYZ dan tiga rotasi dalam arah vektorial XYZ dan dek dimodelkan sebagai sebagai elemen tiga dimensi yang setiap nodalnya mempunyai tiga derajat kebebasan translasi arah sumbu Z dan rotasi dalam arah vektorial sumbu XY[7].

## III. METODE PENELITIAN

### 3.1. Umum

Dalam Penelitian ini digunakan model struktur jembatan *cable stayed* dengan menggunakan kabel sebagai elemen *truss*, pylon sebagai elemen *frame* dan dek sebagai elemen *shell*.

Kemudian dimodelkan konfigurasi struktur kabel dengan tiga variasi bentuk. Konfigurasi kabel yang digunakan adalah *fan system*, *harp system*, dan *modified fan system*.

### 3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian jembatan *cable stayed* ini tidak terikat tempat, bias dilakukan dimana saja.

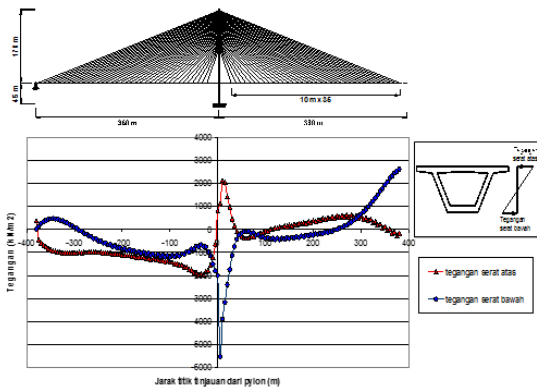
### 3.3. Teknik Pengumpulan Data dan Analisis

Proses penelitian dilakukan dengan cara menjabarkan peraturan SNI terkini mengenai pembebanan gempa sesuai zonasi kegempaan di wilayah Indonesia, standar peraturan struktur baja dan beton bertulang.

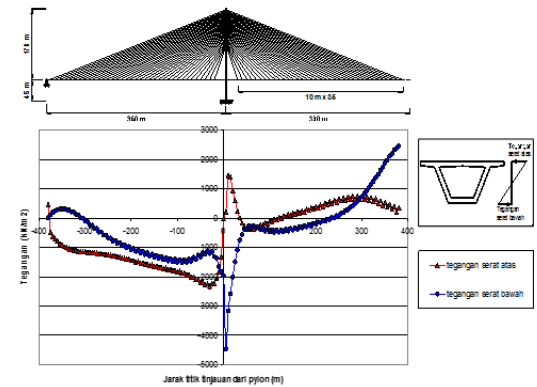
Kemudian dilakukan analisis struktur dengan pemodelan 3 dimensi (3D) menggunakan *software* aplikasi SAP 2000. Data-data hasil analisis struktur berupa gaya-gaya dalam dianalisa sebagai data perencanaan struktur.

## IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Analisis Penampang Dek



Gambar 3. Grafik tegangan dek akibat kombinasi beban SLS 3



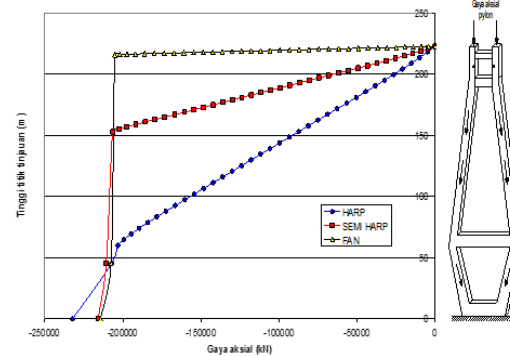
Gambar 4. Grafik tegangan dek akibat kombinasi beban SLS 5

## 2. Pemilihan Susunan Kabel

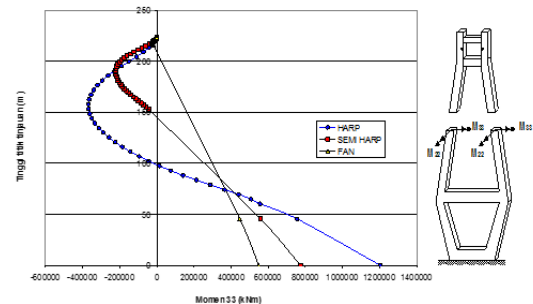
Pengaruh susunan kabel memberikan perilaku struktur jembatan *cabl stayed*, yang antara lain :

1. Urutan gaya aksial semakin besar untuk formasi kabel fan-semiharp-harp
2. Urutan gaya geser pilar (V22) semakin kecil untuk formasi kabel fan-semiharp-harp
3. Urutan gaya geser pilar (V33) semakin besar untuk formasi kabel fan-semiharp-harp
4. Urutan momen lentur pilar (M22) semakin besar untuk formasi kabel fan-semiharp-harp
5. Urutan momen lentur pilar (M33) semakin besar untuk formasi kabel fan-semiharp-harp
6. Urutan tegangan pada dek atas (S11) semakin besar untuk formasi kabel fan-semiharp-harp
7. Urutan tegangan pada bawah atas (S11) semakin besar untuk formasi kabel fan-semiharp-harp

Dari beberapa pertimbangan diatas maka dalam penelitian ini digunakan susunan kabel tipe *semiharp* karena kabel tipe ini selain menggunakan panjang kabel yang relatif lebih pendek juga gaya-gaya dalam yang terjadi di struktur tidak begitu besar.



Gambar 5. Kurva gaya aksial pylon berbagai tipe susunan *cabl*



Gambar 6. Kurva momen lentur pylon arah 33 pada berbagai tipe susunan *cabl*

Hasil analisis struktur diperoleh gaya aksial tekan terbesar yang terjadi adalah akibat kombinasi beban ULS 2 yaitu sebesar 1717181 kN, gaya geser maksimum arah 22 terjadi akibat kombinasi pembebanan ULS 1C sebesar 30353,5 kN, gaya geser arah 33 maksimum sebesar 88589,67 kN akibat kombinasi beban ULS 2, momen lentur arah 22 terbesar dialami pylon adalah akibat kombinasi pembebanan ULS 2 sebesar 1457555 kNm dan momen lentur arah 33 terbesar yang dialami pylon adalah akibat kombinasi beban ULS 1 sebesar 2952086.

## IV. KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Gaya-gaya dalam yang timbul akibat gempa pada kabel dan panjang kabel semakin membesar dengan urutan formasi kabel tipe *fan*, *semiharp*, *harp*, sedangkan pekerjaan tipe *fan* memerlukan

perletakkan kabel pada *pylon* yang lebih rumit dari pada tipe *semiharp*.

2. Gaya-gaya dalam maksimum yang terjadi pada *pylon* tidak tergantung pada satu jenis pembebanan, untuk momen lentur arah memanjang dek maksimum terjadi akibat beban yang diletakkan ditengah bentang jembatan cable stayed.
3. Penggunaan formasi tipe *semiharp* merupakan pilihan utama pada jembatan cable stayed karena masih lebih ekonomis. Adapun tegangan yang terjadi pada kabel selama masa layanan adalah sebesar 385,52 Mpa, nilai ini lebih kecil dari tegangan ijin sebesar 1395 Mpa.

## **5.2. Saran**

1. Melakukan analisis untuk bentuk *pylon* yang beragam pada struktur jembatan cable stayed.
2. Melakukan analisis untuk beban dinamik akibat beban gempa pada struktur jembatan cable stayed dengan keragaman tanah keras.
3. Melakukan perancangan struktur jembatan cable stayed dengan panjang jembatan yang beragam.
4. Melakukan analisis penggunaan material yang beragam pada struktur jembatan cable stayed

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Karoumi R., "Modeling of Cable Stayed Bridger For Analysis of Traffic Induced Vibrations",
- [2]. Firmansyah, J. (2003), " Tantangan Alam dan Tipe Struktur Jembatan Lintas Selat Sunda ", Prosiding Semiloka Infrastruktur Lintas Selat Sunda, Institute Teknologi Bandung.
- [3]. Troitsky, M.S.,(1977), " Theory and Design Cable Stayed Bridges ", Crosby Lockwood Staples, London
- [4]. Wangsadinata W., (2003), " Beberapa Catatan Mengenai Penyeberangan Selat Sunda ", Prosiding Semiloka Infrastruktur Lintas Selat Sunda, Institute Teknologi Bandung
- [5]. Podolny, W. , Scalzi, J.B.(1976), " Construction and Design of Cable Stayed Bridges ", John Wiley and Sons
- [6]. Walther, R. (1988), " Cable Stayed Bridges ", Thomas Telford, London.
- [7]. Karoumi R., "Dynamic Response of Cable-Stayed Bridges Subjected to Moving Vehicles", IABSE 15th Congress, Denmark, pp. 87-92, 1996.