

DESAIN DAN METODE KONSTRUKSI JEMBATAN BENTANG 60 METER MENGGUNAKAN BETON BERTULANG DENGAN SISTIM PENYOKONG

Antonius¹⁾ dan Aref Widhianto²⁾

1) Dosen Jurusan Teknik Sipil – Universitas Islam Sultan Agung, Semarang
e-mail: antoni67a@yahoo.com

2) Asisten Jurusan Teknik Sipil – Universitas Islam Sultan Agung, Semarang
e-mail: aref_wdh@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penggunaan konstruksi jembatan yang mempunyai bentang panjang akan mengakibatkan timbulnya momen lapangan yang cukup besar terutama pada gelagar induk. Apabila jembatan tersebut menggunakan bahan beton bertulang konvensional, maka kekakuan struktur relatif kecil dan akan diperoleh dimensi gelagar induk yang relatif gemuk atau diperlukan tulangan utama dengan rasio yang cukup besar. Salah satu sistim konstruksi yang digunakan agar momen lapangan yang timbul dapat direduksi secara signifikan adalah dengan menerapkan penyokong pada gelagar induk. Pada sistim konstruksi tersebut dipasang elemen struktur tekan pada jarak tertentu (umumnya batang diagonal) dengan tujuan untuk mengurangi bentang jembatan yang terlalu panjang, sehingga momen yang terjadi pada gelagar induk dapat direduksi dan defleksi yang terjadi dapat dikontrol dengan baik. Di dalam paper ini diuraikan hasil desain jembatan "Greenwood" dengan bentang total 60 meter yang berada di kota Semarang dan menggunakan material beton bertulang dengan mutu K-300. Metode analisis dan desain berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jalan Raya (PPPJR) 1987, Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan dan SNI 03-2847-2002. Berdasarkan hasil desain struktur atas, diperoleh dimensi di setiap elemen struktur yang cukup moderat dan lendutan yang terjadi di tengah bentang relatif kecil. Di dalam desain juga diusulkan prinsip metode konstruksi dengan menggunakan sistim ereksi yang dilaksanakan bertahap, yang dimulai dari pembuatan struktur bawah yaitu pondasi sumuran hingga pelaksanaan ke struktur atas.

Kata-kata kunci: Konstruksi Sistim Penyokong, Metode konstruksi

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemerintah Kota Semarang dalam rangka meningkatkan aktivitas perekonomian masyarakat serta untuk menunjang kelancaran lalu lintas melakukan upaya dengan meningkatkan sarana dan prasarana transportasi, salah satunya adalah dengan mengadakan Pembangunan jembatan. Manfaat yang dapat diambil dengan kelancaran arus transportasi diantaranya adalah meningkatkan kesejahteraan warga setempat.

Jalan dan jembatan merupakan prasarana penghubung melalui darat yang digunakan untuk lalu lintas manusia maupun barang dari suatu tempat menuju tempat lainnya.

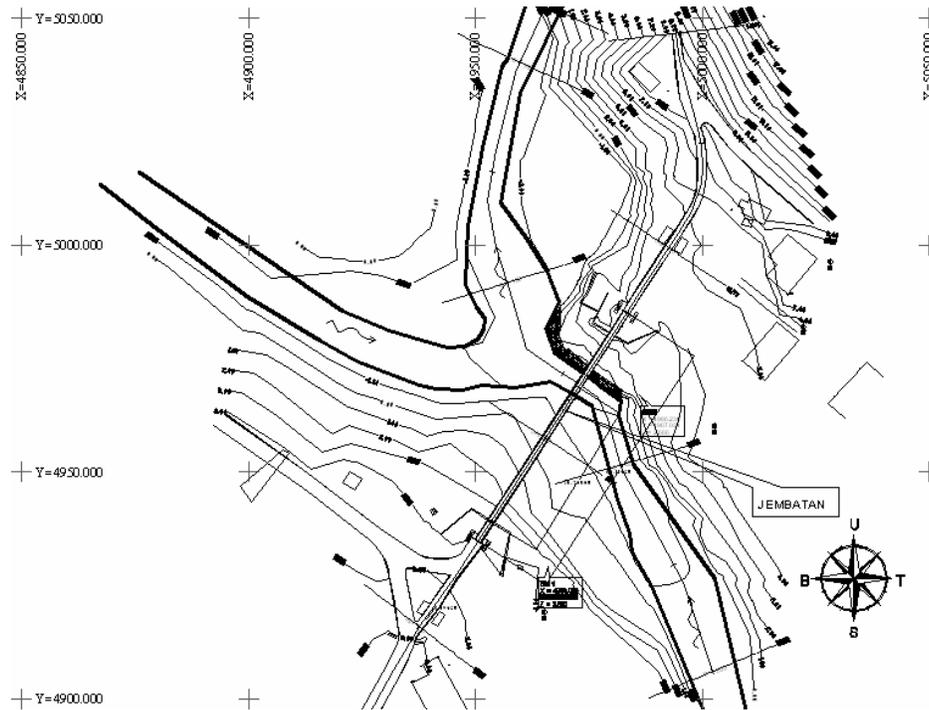
Langkah awal dalam pembangunan jembatan diperlukan suatu perencanaan teknik jembatan yang cermat hingga menghasilkan detail desain jembatan lengkap, tepat serta efisien yang memenuhi standar yang ditetapkan.

Program prasarana transportasi yang akan diwujudkan adalah perencanaan pembangunan jembatan yang berlokasi di kawasan perumahan real estate Greenwood. Pembangunan jembatan Greenwood yang menghubungkan jalan Dewi Sartika dengan kawasan perumahan Greenwood merupakan salah satu upaya meningkatkan aktivitas perekonomian di Kota Semarang.

Oleh sebab itu pada tahun 2008 Pemerintah Kota Semarang dalam hal ini Dinas Pekerjaan Umum mengadakan kegiatan perencanaan pembangunan jembatan berupa penyusunan Detail Engineering Design atau DED Jembatan Greenwood. Dengan adanya kegiatan ini diharapkan lalu lintas menjadi lancar sehingga mendukung pertumbuhan pembangunan ekonomi di wilayah sekitar khususnya dan masyarakat di Kota Semarang pada umumnya.

1.2. Lokasi Jembatan

Jembatan Greenwood terletak di lokasi yang cukup kompleks karena berada di pertemuan aliran tiga sungai Kaligarang, yang satu sama lain tidak searah (gambar 1). Berdasarkan konsultasi dengan Dinas PSDA Kota Semarang, ditentukan bahwa aliran sungai di tengah bawah jembatan yang akan dibangun harus bebas tanpa halangan. Salah satu pertimbangannya adalah untuk menghindari gerusan air yang berlebihan atau terjadi *scoring* terhadap pier di tengah bentang yang diakibatkan adanya pertemuan tiga sungai di lokasi jembatan. Ketentuan ini membawa konsekuensi dalam perencanaan jembatan tersebut bahwa tidak dapat dipasang konstruksi pilar/pier di tengah bentang. Karena bentang total jembatan adalah 60 meter, maka panjang jembatan dibagi ke dalam 3 bentang, yang terdiri dari bentang utama di tengah-tengah, dan dua bentang di sisi kiri dan kanannya dengan panjang yang sama.



Gambar 1. Peta situasi lokasi jembatan

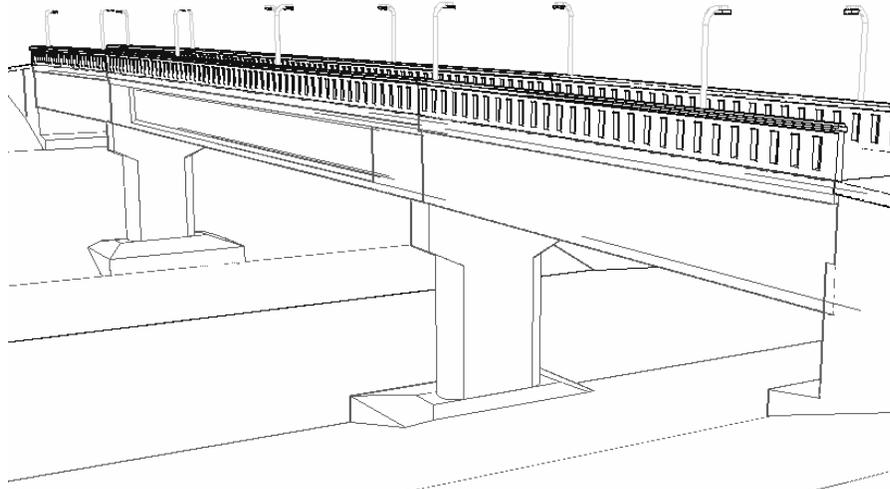
2. PERANCANGAN TIPE JEMBATAN

Mengingat lokasi jembatan yang kompleks maka perlu dilakukan perancangan dengan mempertimbangkan aspek pelaksanaan. Dalam tahap awal, diajukan 3 alternatif tipe jembatan yang diusulkan, yaitu jembatan Beton Prategang, Jembatan Pelengkung yang terbuat dari beton bertulang dan Jembatan Beton Bertulang dengan Sistem Penyokong.

2.1. Jembatan Beton Prategang

Jembatan beton prategang sudah merupakan hal yang biasa digunakan dalam konstruksi jembatan di Indonesia dan dunia, karena mempunyai beberapa kelebihan seperti efektif untuk bentang panjang dan momen yang terjadi relatif berkurang karena adanya gaya prategang yang diterapkan. Jembatan yang diusulkan mempunyai 3 bentang, yaitu di sisi kiri kanan masing-masing 15 meter dan di tengah bentang mempunyai panjang 30 meter (gambar 2).

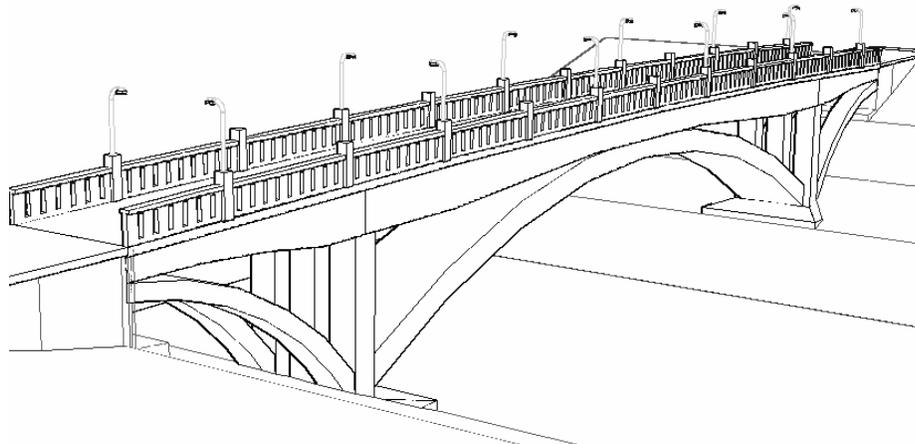
Untuk bentang jembatan yang relatif pendek (<15 meter) penggunaan beton prategang kurang efektif. Jembatan beton prategang juga relatif mudah dalam pelaksanaan, karena dapat dibuat secara segmental. Namun demikian di dalam pelaksanaannya jembatan ini di lokasi memerlukan peralatan khusus terutama pada saat penempatan girder utama yang berada di tengah bentang.



Gambar 2. Jembatan Beton Prategang (Alternatif 1)

2.2. Jembatan Pelengkung

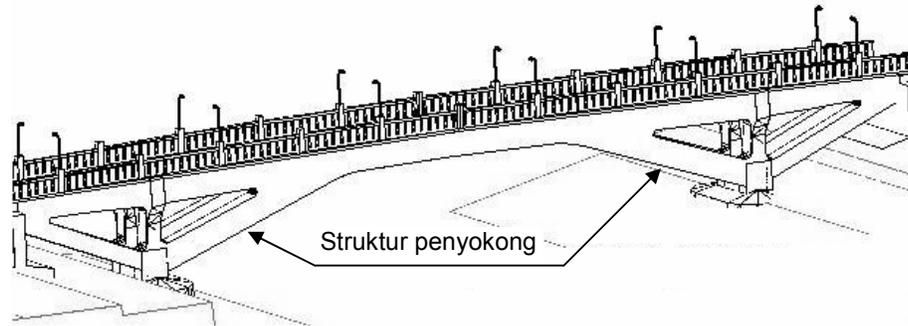
Jembatan pelengkung adalah alternatif kedua yang diusulkan dan termasuk tipe jembatan yang klasik dan sangat artistik (gambar 3). Penggunaan tipe pelengkung adalah konsekuensi dengan digunakannya material beton bertulang konvensional, karena momen yang timbul pada tengah gelagar akibat beban akan jauh lebih kecil. Timbulnya momen yang lebih kecil akan sangat menguntungkan karena beton tidak kuat dalam menerima tegangan tarik. Sebaliknya pada balok pelengkung akan timbul gaya normal tekan yang cukup besar. Hal ini akan diimbangi oleh kekuatan beton yang memang tahan terhadap tegangan tekan [Sutarja, 2007]. Di Indonesia model jembatan pelengkung telah banyak digunakan, bahkan beberapa model jembatan eksisting yang dibangun sejak jaman Belanda masih berfungsi dengan baik sampai sekarang.



Gambar 3. Jembatan Pelengkung (Alternatif 2)

2.3. Jembatan dengan Sistim Penyokong

Model jembatan dengan Sistim Penyokong adalah alternatif ketiga yang diusulkan. Tipe jembatan ini merupakan modifikasi dari sistim pelengkung. Dalam beberapa literatur model jembatan ini sering juga disebut dengan Sistim "Span Werk" (gambar 4). Pada tipe jembatan ini elemen struktur tekan berupa batang diagonal dipasang pada jarak tertentu, sehingga bentang jembatan dapat direduksi.

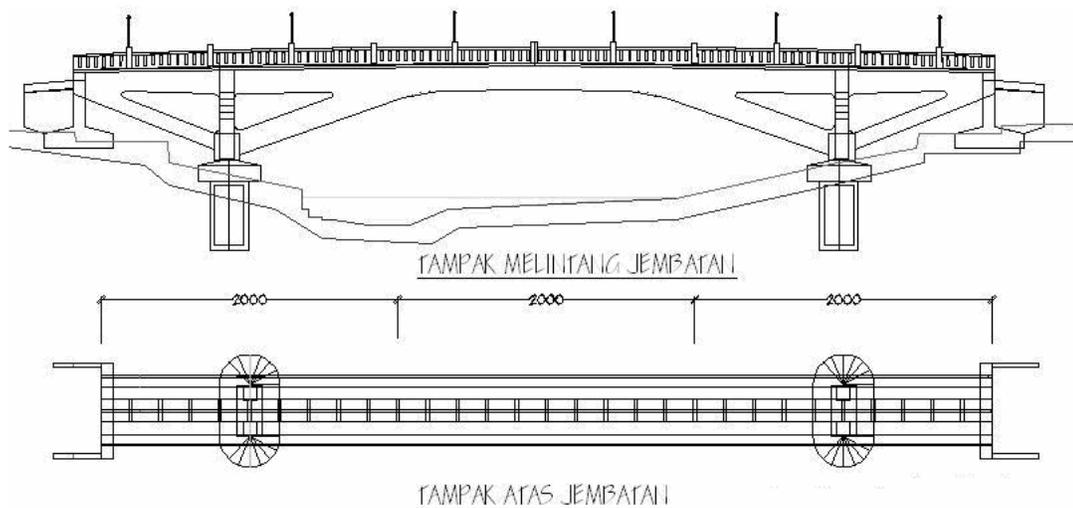


Gambar 4. Jembatan dengan Sistim Penyokong (Alternatif 3)

Contoh tipe jembatan yang menyerupai sistim struktur penyokong pada struktur diantaranya adalah jembatan Semanggi dan Maldonado Bridge di Uruguay.

Berdasarkan kondisi topografi, lapangan (daerah pertemuan tiga sungai), kebutuhan fungsional, ekonomi, pertimbangan pelaksanaan dan segi estetika/keindahan, maka dalam perencanaan jembatan Greenwood ini dipilih model jembatan dengan sistim penyokong (alternatif ke-3). Gambar 5 memperlihatkan tampak melintang dan atas jembatan yang akan didesain.

Desain struktur atas yang disajikan dalam paper ini hanyalah uraian pada struktur utama yaitu balok girder.

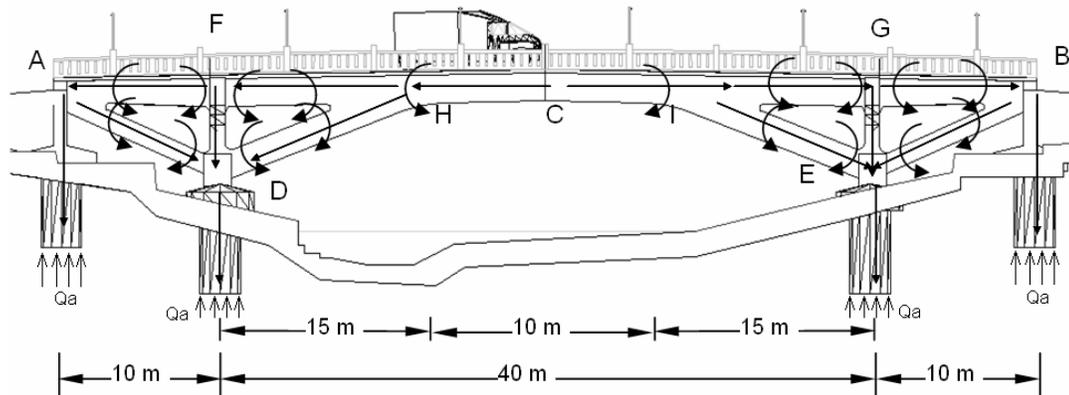


Gambar 5. Tampak melintang dan atas jembatan dengan Sistim Penyokong

3. MEKANISME GAYA DALAM PADA JEMBATAN DENGAN SISTIM PENYOKONG

Jembatan yang menggunakan struktur penyokong mempunyai beberapa keuntungan. Seperti diketahui pada konstruksi jembatan yang mempunyai bentang cukup besar, dan bahan yang digunakan relatif terbatas, maka apabila digunakan cara yang biasa yaitu sistem gelagar induk sepanjang bentang jembatan, maka akan diperoleh momen lapangan yang cukup besar. Dengan timbulnya momen yang cukup besar ini akan menuntut adanya gelagar induk (girder) yang cukup besar, dimana hal yang demikian sedapat mungkin dikurangi mengingat bahan maupun segi pembiayaan yang terbatas.

Secara skematis mekanisme gaya dalam yang terjadi di setiap pertemuan (*joint*) girder akibat pembebanan beban ditunjukkan dalam gambar 6. Dengan sistem penyokong yang digunakan (girder DH dan EI), maka bentang total jembatan 60 meter dapat dibagi menjadi 3 bentang utama yaitu 2x10 meter di setiap kanan dan kiri jembatan dan bentang tengah sepanjang 40 meter yang juga terbagi lagi menjadi 15 meter di sebelah kanan dan kiri dan menyisakan bentang 10 meter (girder HI).



Gambar 6. Mekanisme gaya dalam jembatan dengan sistem penyokong

4. STANDAR PERENCANAAN DAN METODE DESAIN

Desain jembatan Greenwood dilaksanakan dengan data-data struktur utama sebagai berikut:

- Struktur atas : beton bertulang
- Struktur bawah : pondasi sumuran
- Lebar jembatan : 4,75 m
- Bentang jembatan : 60 m
- Jumlah pilar : 2 abutmen dan 2 pilar
- Lebar jalan masuk : 4,0 m

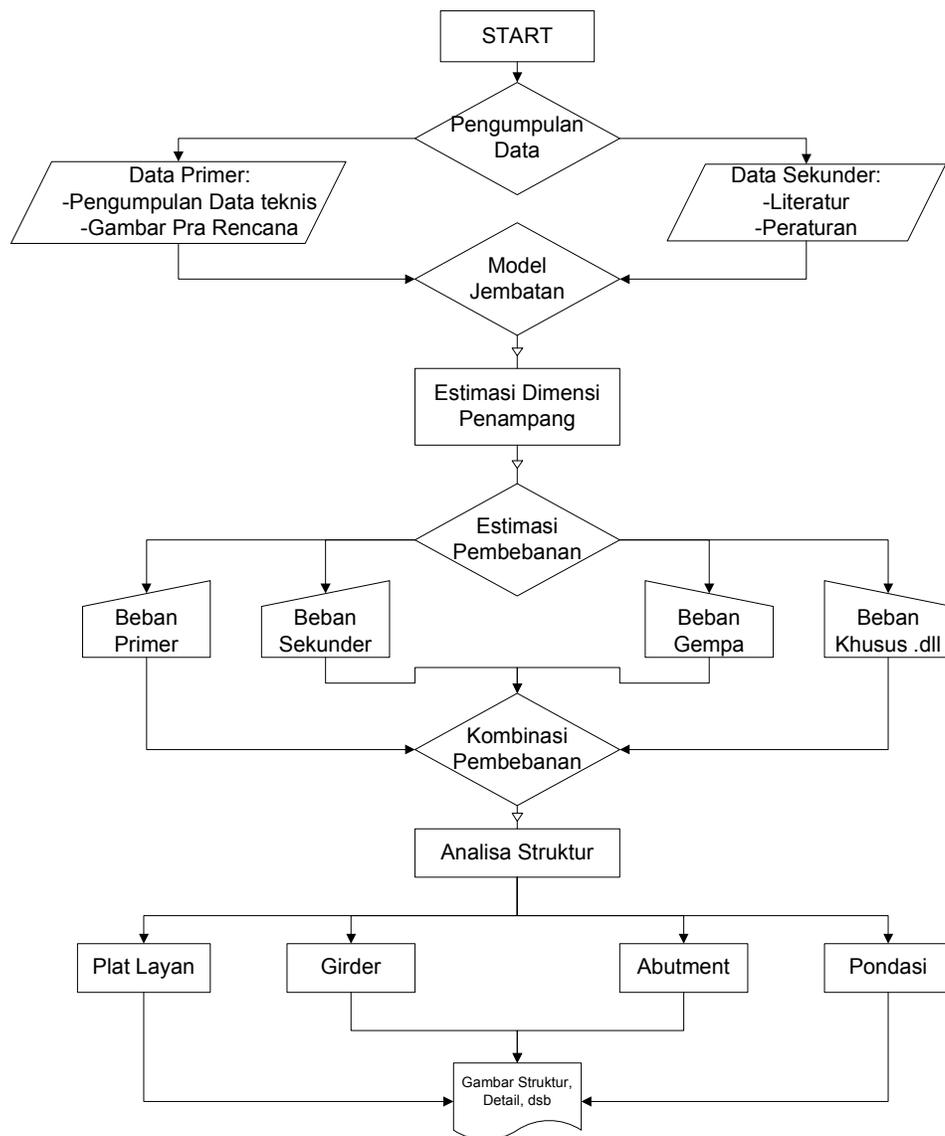
Pembebanan yang dilakukan beserta kombinasinya dan perencanaan penampang mengacu pada PPPJR 1987, Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (BMS 1992) oleh Bina Marga dan SNI Beton 03-2847-2002. Analisa struktur jembatan adalah secara elastis untuk mengetahui gaya-gaya dalam seperti gaya geser, momen lentur, gaya normal dan momen torsi. Perhitungan dimensi dan penulangan beton berdasarkan kekuatan batas (ultimit).

4.1. Bahan Struktur Atas

Bahan utama yang digunakan untuk konstruksi utama seperti gelagar, pile cap adalah beton bertulang, dimana material beton mempunyai mutu K-350. Tulangan utama menggunakan baja ulir D19, $f_y=400$ MPa, dan tulangan polos yang digunakan mempunyai tegangan leleh $f_y=240$ MPa.

4.2. Bahan Struktur bawah

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah, struktur bawah bagian Abutmen menggunakan Pondasi Sumuran berdiameter 2500 mm dan pada bagian Pier berdiameter 3000 mm. Pondasi sumuran tersebut diletakkan sedalam 4 meter dari muka tanah asli. Secara garis besar alur desain ditunjukkan pada gambar 7.

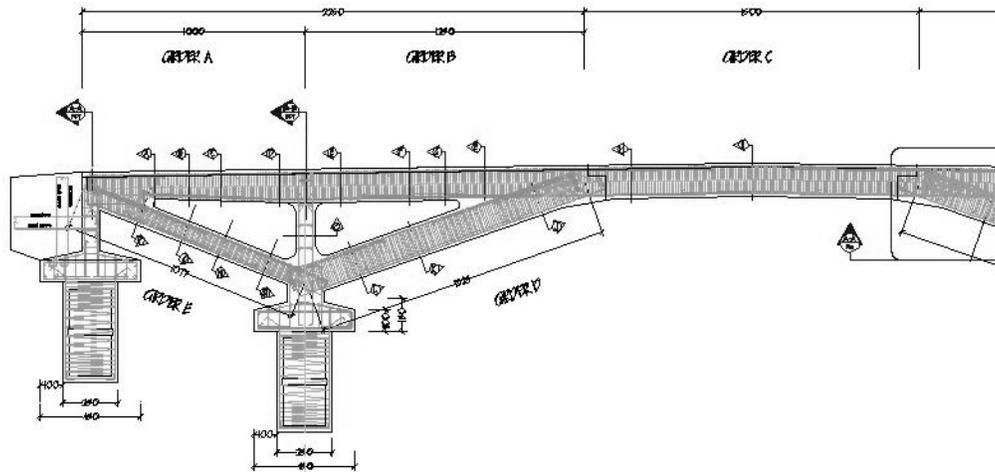


Gambar 7. Bagan alir desain

5. Hasil Desain dan Pembahasan

5.1. Struktur Atas

Hasil desain struktur atas tampak melintang untuk setengah bentang jembatan ditunjukkan pada gambar 8, yang terdiri dari girder A, B, C, D dan E. Detail penulangan terlihat pada gambar 9, 10 dan 11. Tulangan yang terpasang merupakan hasil desain terhadap lentur, gaya aksial, gaya normal maupun torsi, yang terlihat cukup moderat dan ekonomis.



Gambar 8. Penulangan jembatan tampak melintang

TABEL PENULANGAN BALOK GIRDER ATAS

TYPE POSISI	DETAIL BALOK GIRDER A				DETAIL BALOK GIRDER B, 85/150		
	UAP 080A	UAP 080B	UAP 080C	UAP 080D	UAP 080E	UAP 080F	UAP 080G
POTONGAN							
TUL. ATAS	18 D 19	14 D 19	10 D 19	22 D 19	22 D 19	16 D 19	18 D 19
TUL. BAWAH	14 D 19	18 D 19	18 D 19	16 D 19	16 D 19	26 D 19	26 D 19
SEKANGKANG	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100
SEK. TORSI	6 Ø 12	6 Ø 12	6 Ø 12	6 Ø 12	6 Ø 12	6 Ø 12	6 Ø 12

Gambar 9. Penulangan penampang girder A dan B

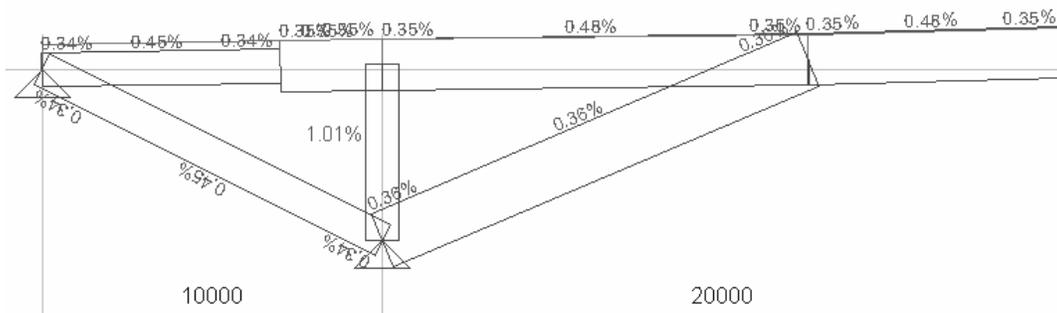
Tipe	DETAL BALOK GIRDER C, 85/180		DETAL BALOK GIRDER D, 85/180			DETAL BALOK GIRDER E, 85/100	
	Ump. D1019	Ump. D1018	Ump. D1019	Ump. D1018	Ump. D1018	Ump. D1018	Ump. D1018
POTONGAN							
TUL. ATAS	22 D19	16 D19	26 D19	20 D19	8 D19	20 D19	18 D19
TUL. BAWAH	16 D19	26 D19	20 D19	26 D19	20 D19	14 D19	18 D19
SEKANGKANG	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100
SPE. LOREI	6 Ø12	6 Ø12	6 D16	8 D16	8 D16	4 D16	4 D16

Gambar 10. Penulangan penampang girder C, D dan E

Tipe	DETAL BALOK GIRDER E, 85/100		DETAL BALOK DIAFRAGMA		TABEL PENLLANGAN PIER	
	Ump. D1018	Ump. D1018	Ump.	Ump.	Ump.	Ump.
POTONGAN						
TUL. ATAS	20 D19	8 D19	8 D19	6 D19	47 D19	47 D19
TUL. BAWAH	9 D19	18 D19	6 D19	8 D19	Ø12-100	Ø12-100
SEKANGKANG	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-100	Ø12-500	Ø12-500
SPE. LOREI	4 D16	4 D16	6 Ø12	6 Ø12	Ø12-500	Ø12-500

Gambar 11. Penulangan penampang girder E, Diafragma dan Kolom Pier

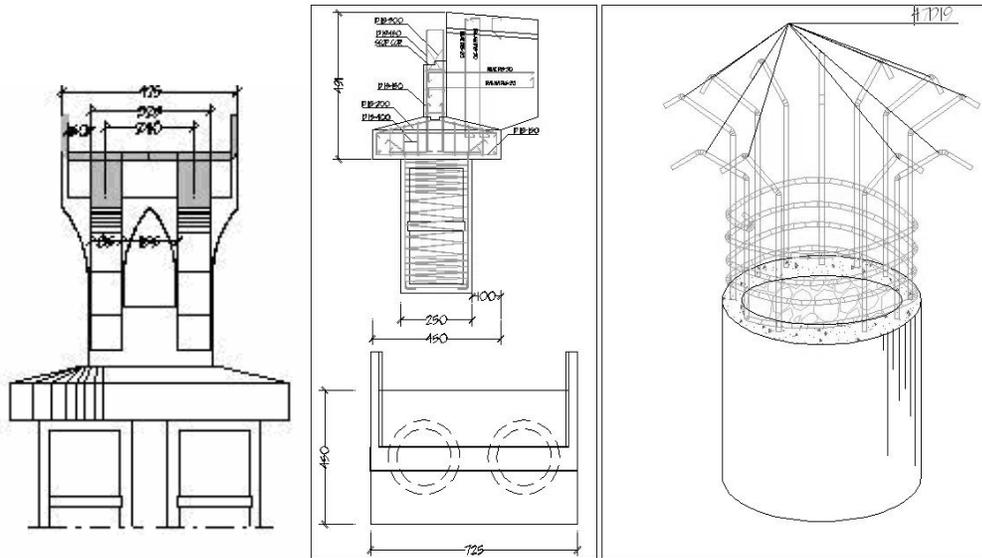
Gambar 12 menunjukkan rasio tulangan tarik setengah bentang yang terjadi di setiap girder. Berdasarkan penulangan lentur diketahui bahwa penulangan beton berada dalam kondisi *under-reinforced*, dimana rasio tulangan hasil desain pada seluruh girder utama tersebut berkisar antara 0,36% sampai 0,48% yang berarti rasio tulangan tersebut berada jauh di bawah $0,75\rho_b$ (2,35%). Rasio tulangan lentur tersebut berada tidak jauh di atas ketentuan rasio minimum berdasarkan SNI Beton ($\rho_{min}=0,34%$). Selain rasio tulangan, defleksi maksimum yang terjadi di tengah bentang akibat kombinasi pembebanan juga sangat kecil yaitu 0,5127 cm.



Gambar 12. Rasio tulangan lentur balok girder

5.2. Struktur Bawah

Sesuai hasil penyelidikan tanah, maka struktur pondasi menggunakan pondasi sumuran, yang diletakkan pada kedalaman 4 meter dari muka tanah asli (gambar 13).



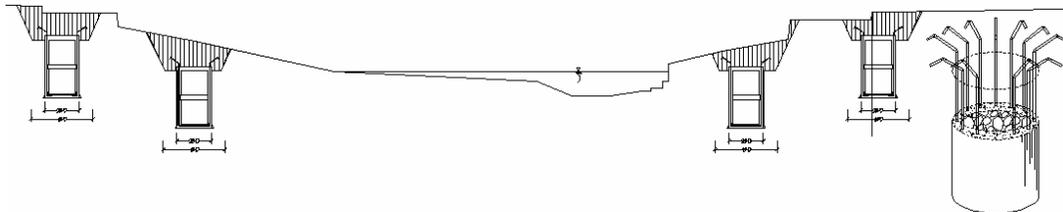
Gambar 13. Pondasi sumuran

6. METODE KONSTRUKSI

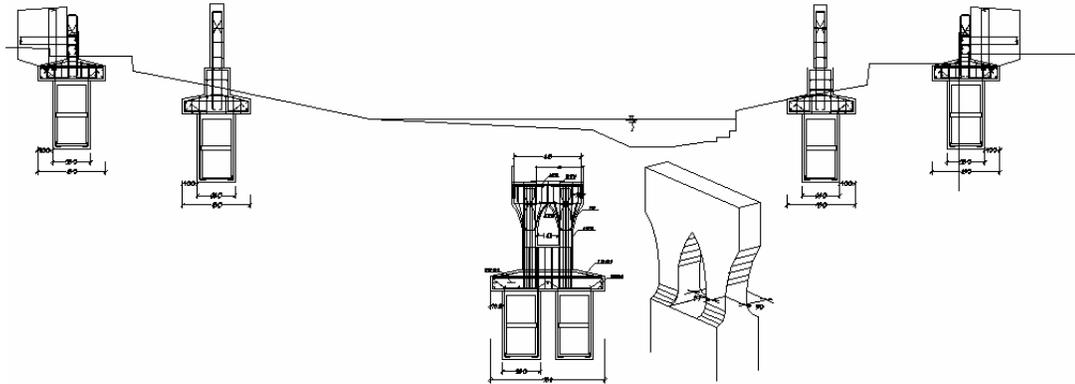
Mengingat lokasi jembatan yang berada di pertemuan tiga sungai, maka di dalam pelaksanaan diperlukan metode yang sistimatis sehingga di dalam pelaksanaan secara fisik nantinya tidak menemui hambatan yang berarti. Di dalam desain diusulkan metode konstruksi secara bertahap, yang dimulai dari pembuatan struktur bawah yaitu pondasi sumuran hingga pelaksanaan ke struktur atas. Secara garis besar metode konstruksi diilustrasikan pada gambar 14, yang terdiri dari 5 tahap seperti uraian di bawah ini.

Tahapan Metode Konstruksi

Tahap 1: Pembuatan pondasi sumuran dan pile cap.



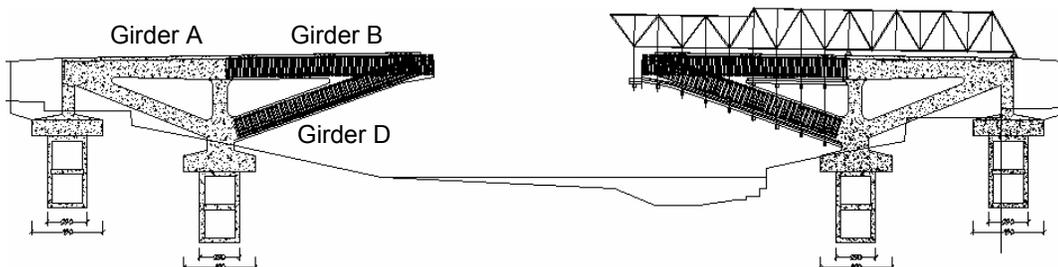
Tahap 2: Pembuatan abutmen dan pier jembatan



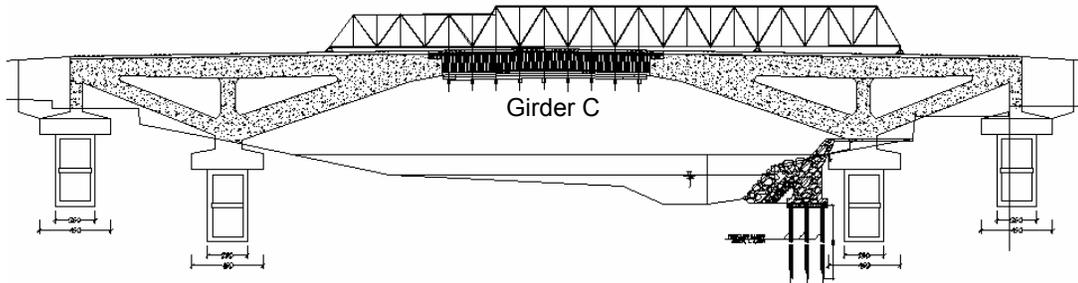
Tahap 3: Pembuatan girder A dan E pada sisi kanan dan kiri dan juga pengurangan untuk oprit jembatan



Tahap 4: Sebelum tahap selanjutnya dimulai, terlebih dahulu dibuat rangka baja kantilever dengan penggantung kabel sebagai pengait bekisting. Selanjutnya hadala pembuatan girder B dengan menggunakan bekisting dari kantilever rangka baja tersebut pada sisi kanan dan kiri.



Tahap 5: Untuk pengecoran bentang tengah, bekisting yang sebelumnya digeser sehingga rangka baja memperoleh tiga penumpu baru kemudian pembesian dirakit dan pengecoran dapat dilakukan.



Gambar 14. Tahapan metode pelaksanaan konstruksi

7. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil desain struktur jembatan Greenwood yang menggunakan bahan struktur beton bertulang konvensional di atas, maka beberapa kesimpulan yang dapat ditarik adalah bahwa secara estetika sangat artistik. Selain itu secara struktur hasil desain dapat diperoleh tulangan yang moderat dan ekonomis disamping lendutan maksimum di tengah bentang yang sangat kecil. Metode pelaksanaan konstruksi yang diusulkan setidaknya dapat meminimalkan resiko pelaksanaan konstruksi yang disebabkan kondisi lapangan termasuk topografi yang kompleks.

8. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (1988), "*Standar Beban Gandar (SBG)*", Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2002), "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*", SNI 03-2847-2002.
- Ditjen Bina Marga (1992), "*Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*", Bridge Manajemen System bagian 1 s/d 6.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987), "*Peraturan Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*", PPPJJR 1987.
- Sutarja, I.N. (2007), "*Perencanaan Jembatan Balok Pelengkung Beton Bertulang Tukad Yeh Penet, di Sangeh*", Prosiding Konf. Nas. T. Sipil I, Univ. Atma Jaya Yogyakarta, pp.419-425.