

KAJIAN EFISIENSI PERENCANAAN *PC-I GIRDER* DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *STRAND 0,5"* DAN *0,6"* TERHADAP KEKUATAN DAN BIAYA

Jessen Richarlim¹ dan Edison Leo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Jessen.325160007@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Edisonleo41@gmail.com

Masuk: 17-01-2020, revisi: 13-02-2020, diterima untuk diterbitkan: 14-02-2020

ABSTRACT

Prestressed concrete can be defined as concrete that given internal compressive stress such that it can reduce the tensile stress caused by external load to a certain condition. Stressing applied by pulling the tendon that has been installed on the concrete. 0,5" strand system are usually used for medium span. While 0,6" strand system is used for long span bridge. The purpose of this study was to determine the efficiency of PC-I girder using 0,5" and 0,6" strands in terms of strength and cost. Strength analysis can be calculated by stress analysis, ultimate moment analysis and deflection analysis, while for cost analysis is a comparison of the cost composition between the 0,5" and 0,6" strand system for each structural model reviewed. Structural modeling with hinge-roll at both ends and working loadings are dead load, additional dead load and live load. Loss of prestress force that is calculated depend on SNI 1725:2016 about loading for the bridge. The analysis shows that the use of the 0,5" strand has a better cost efficiency compared to the 0,6" strand. This can be seen from the design costs of the 0,5" strand system structure model is smaller than the 0,6" strand system structure model.

Keywords: prestressed concrete; strand system; deflection; stress; ultimate moment; cost

ABSTRAK

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang diberikan tegangan tekan internal sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi tegangan tarik yang terjadi akibat beban eksternal sampai suatu batas tertentu. Pemberian tegangan dilakukan dengan cara penarikan tendon yang telah diinstalasi pada beton. Sistem *strand* ukuran 0,5" biasanya digunakan untuk konstruksi jembatan bentang menengah. Sedangkan sistem *strand* ukuran 0,6" digunakan untuk konstruksi jembatan bentang panjang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi perencanaan PC-I girder dengan menggunakan *strand* 0,5" dan 0,6" dalam segi kekuatan dan biayanya. Analisis segi kekuatan berupa analisis tegangan, analisis momen ultimit dan analisis lendutan sedangkan untuk analisis segi biaya berupa perbandingan komposisi biaya yang dihasilkan dengan sistem *strand* 0,5" dan 0,6" untuk setiap model struktur yang ditinjau. Pemodelan struktur dengan perletakan sendi-rol pada kedua ujungnya dan pembebanan yang bekerja berupa beban mati, beban mati tambahan dan beban hidup. Kehilangan gaya prategang yang diperhitungkan sesuai dengan peraturan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Untuk Jembatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan *strand* 0,5" memiliki efisiensi biaya yang lebih baik dibandingkan dengan *strand* 0,6". Hal ini dilihat dari biaya desain model struktur sistem *strand* 0,5" lebih kecil dibandingkan dengan model struktur sistem *strand* 0,6".

Kata kunci: beton prategang; sistem *strand*; lendutan; tegangan; momen ultimit; biaya

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan suatu struktur yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain (Manu, 1995). Fungsi lain dari jembatan yaitu memperpendek jarak tempuh dan melancarkan kegiatan berpindah sehingga waktu pelaksanaan dapat dilakukan dengan seminimal mungkin.

Akibat kemajuan teknologi tinggi di dalam ilmu bahan telah memungkinkan pelaksanaan dan perakitan sistem dengan bentang besar seperti jembatan, jembatan segmental, cerobong reaktor nuklir dan anjungan pengeboran minyak lepas pantai yang dengan mengkombinasikan beton mutu tinggi dan baja mutu tinggi secara aktif dengan

menarik baja dan menahannya ke beton sehingga beton dalam keadaan tertekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban sudah bekerja, tegangan tarik yang terjadi dapat direduksi oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum bekerja. Konsep inilah yang dinamakan sebagai beton prategang (Nawy, 2001).

Pemberian tegangan pada balok prategang dilakukan pada baja prategang (*tendon*). Baja prategang dapat terbentuk dari kawat-kawat tunggal atau *strand* yang terdiri dari beberapa kawat yang dipuntir membentuk elemen tunggal dan batang-batang bermutu tinggi (Raju, 1981).

Penentuan diameter *strand* saat perencanaan suatu konstruksi mempertimbangkan banyak sekali faktor diantaranya faktor kekuatan dan biaya. Faktor kekuatan meliputi kemampuan struktur dalam menopang beban yang bekerja dan durabilitas struktur terhadap waktu. Faktor biaya meliputi komposisi bahan yang digunakan dalam proses konstruksi, waktu pelaksanaan dan berbagai faktor lainnya. Oleh karena itu, akan dilakukan kajian efisiensi perencanaan *PC-I girder* dengan membandingkan *strand* 0,5" dan 0,6" terhadap kekuatan dan biayanya.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas, maka rumusan masalah dalam kajian ini yaitu bagaimana pengaruh kekuatan yang dihasilkan *strand* yang berdiameter 0,5" dan 0,6" pada balok *prestress* dan bagaimana komposisi biaya yang dihasilkan dari penggunaan *strand* yang berdiameter 0,5" dan 0,6" dalam perencanaan balok *prestress*?

Dari rumusan masalah diatas, maka didapat tujuan dari penulisan kajian ini untuk mengetahui pengaruh kekuatan yang dihasilkan *strand* yang berdiameter 0,5" dan 0,6" pada balok *prestress* dan mengetahui komposisi biaya yang dihasilkan dari penggunaan *strand* yang berdiameter 0,5" dan 0,6" dalam perencanaan balok *prestress*.

Studi literatur yang dilakukan dalam pengerjaan kajian ini adalah dengan membaca jurnal-jurnal yang berkaitan dengan desain jembatan prategang. Selain itu, penulis juga mempelajari dasar perhitungan dengan bantuan beberapa contoh *output* perhitungan perencanaan jembatan yang telah selesai dibangun. Adapun peraturan-peraturan yang penulis gunakan sebagai referensi dalam kajian ini yaitu, *Bridge Management System (BMS) 92*, SNI 1725 - 2016 tentang Pembebanan Pada Jembatan, SNI T 12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, dan *National Association Of Australian State Road Authorities (NAASRA)*. Studi literatur yang dilakukan juga meliputi buku-buku yang ditulis oleh para ahli, khususnya yang mengenai jembatan prategang dan beton prategang.

Beton prategang pada dasarnya adalah beton di mana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu tingkat yang diinginkan.

Tiga dasar konsep untuk menganalisis sifat beton prategang (Lin, 2000) yaitu:

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan elastis.
2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi.
3. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban.

Dalam pemberian tegangan pada beton prategang dikenal dengan dua metode cara yang berbeda. Kedua metode tersebut membedakan sistem prategang yaitu pra-tarik (*pre-tension*) atau pascatarik (*post-tension*). Berikut penjelasan singkat tentang konsep dari setiap metode dalam pemberian gaya prategang.

1. Pratarik (*Pre-Tensioning*)

Pada metode pratarik, sebelum beton dicor, baja terlebih dahulu ditarik diantara dua dinding penahan dan diangkur pada ujung-ujung pelataran kerja. Kemudian beton dicor dan setelah beton mengeras, kabel-kabel diputuskan dari dinding penahan, sehingga gaya prategang mengalir pada beton.

2. Pascatarik (*Post-Tensioning*)

Pada metode pascatarik, beton terlebih dahulu dicor dengan memasukan saluran untuk menempatkan *tendon*. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat ditarik dengan menggunakan dongkrak pada permukaan ujung batang dan kawat diangkurkan dengan pasak atau mur.

Dalam pembuatan beton prategang, dibutuhkan material-material khusus yang harus memenuhi spesifikasi-spesifikasi tertentu, diantaranya:

1. Beton

Pada beton prategang, dibutuhkan mutu yang lebih tinggi dari kebutuhan beton bertulang pada umumnya. Beton yang digunakan dalam prategang adalah yang mempunyai kuat tekan dengan nilai f'_c antara 30-45 MPa.

2. Baja

Untuk sistem beton prategang, digunakan baja yang bermutu tinggi hingga 1862 MPa atau lebih tinggi. Baja yang bermutu tinggi akan memiliki kadar karbon yang cenderung lebih tinggi. Baja mutu tinggi diharapkan mampu menerima kekuatan tarik yang cukup tinggi untuk mampu menghasilkan gaya prategang yang cukup besar.

3. Selubung tendon (*duct*)

Duct merupakan salah satu material untuk prategang pascatarik yang berfungsi untuk tempat meletakkan *strand*.

4. Angkur (*anchorages*)

Angkur adalah suatu alat yang berfungsi untuk menjangkarkan tendon ke komponen struktur beton dalam sistem pascatarik atau suatu alat yang berfungsi untuk menjangkarkan tendon selama proses pengerasan beton dalam sistem pratarik.

5. *Stressing Jack*

Stressing jack adalah suatu alat yang berfungsi untuk memberikan tegangan pada tendon. Tegangan yang dihasilkan merupakan gaya sementara yang diakibatkan terjadinya tarikan pada beton prategang.

6. *Grouting*

Grouting dibutuhkan sebagai pengisi selubung baja prategang untuk metode pascatarik. Selubung terbuat dari logam dan bahan *grouting* adalah pasta semen.

Kehilangan gaya prategang merupakan suatu kondisi dimana berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon akibat beberapa kondisi tertentu. Kehilangan gaya prategang dibagi menjadi 2 tipe yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1. *Short-Term Losses*

Kondisi *short-term losses* adalah kehilangan gaya prategang langsung atau segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang disebabkan oleh perpendekan elastis beton, kehilangan akibat friksi karena perubahan kelengkungan tendon dan kehilangan akibat friksi ankur.

2. *Long-Term Losses*

Kondisi *long-term losses* adalah kehilangan gaya prategang yang tidak terjadi secara langsung melainkan terjadi pada kurun waktu dan besarnya kehilangan prategang merupakan besaran dari fungsi waktu. Kondisi ini disebabkan oleh rangkakan dan susut pada beton serta relaksasi baja prategang.

2. METODE PENELITIAN

Model struktur yang dikaji dapat dilihat pada Gambar 1. Data struktur yang digunakan untuk mendesain jembatan adalah sebagai berikut :

- | | |
|-------------------------------|---------------|
| 1. Bentang jembatan | : 30 m - 35 m |
| 2. Tebal plat lantai jembatan | : 25 cm |
| 3. Tebal <i>deck slab</i> | : 7 cm |
| 4. Tebal aspal | : 5 cm |
| 5. Tebal <i>overlay</i> | : 5 cm |
| 6. Tebal <i>diafragma</i> | : 20 cm |



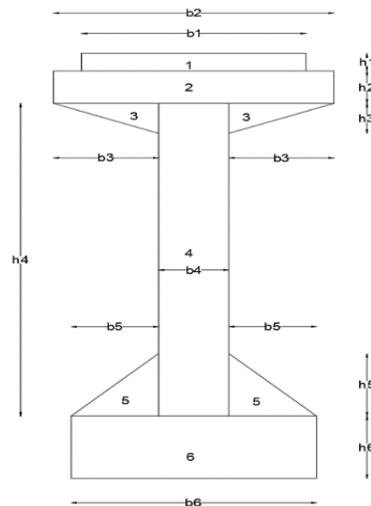
Gambar 1. Pemodelan struktur jembatan

Dimensi girder yang digunakan pada kajian ini dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 1. Spesifikasi *girder* dapat dilihat seperti dibawah ini:

1. Jenis *girder* : *PC-I Girder*
2. Bentang *girder* : 30 - 35 m
3. Jarak antara *girder* (ctc) : 1,85 m
4. Mutu *girder* : 600 kg/cm²

Tabel 1 Dimensi balok prategang

No	Dimensi	
	b (mm)	h (mm)
1	640	700
2	800	130
3	300	120
4	200	125
5	250	250
6	700	250



Gambar 2 Penampang balok prategang

Pembatasan suatu masalah digunakan untuk menghindari terjadinya penyimpangan atau pelebaran topik masalah. Untuk memudahkan analisis agar lebih terarah sehingga tujuan analisis tercapai, maka dilakukan pembatasan masalah pada ruang lingkup yaitu hanya dilakukan analisis pada *girder* beton prategang secara manual dengan bantuan program *Microsoft Excel*, digunakan profil *girder* berpenampang I, variasi bentang jembatan yang digunakan yaitu 30 m – 35 m, lebar jembatan konstan 14 m untuk segala variasi, sistem prategang yang digunakan adalah sistem pascatarik, diameter *strand* divariasikan dengan ukuran 0,5" dan 0,6", tendon prategang yang digunakan dalam perhitungan adalah jenis *Strand Uncoated 7 Wire Super Strand ASTM A 416 Grade 270*.

Pada tahapan kajian, data yang telah ditetapkan dan dikumpulkan akan dianalisis lebih detil untuk didapatkan hasil perencanaan yang mengacu pada peraturan Standar Nasional Indonesia. Perencanaan ini dilakukan dengan melakukan beberapa proses perhitungan. Berikut ini adalah tahapan-tahapan perhitungan yang akan dilakukan dalam kajian ini.

1. *Section Properties Girder*

Pada tahapan ini, balok prategang yang telah ditetapkan akan dianalisis pada 2 kondisi, yaitu kondisi *precast* dan komposit. Setiap kondisi akan dilakukan perhitungan untuk mencari nilai titik berat, inersia penampang dan *section modulus*.

2. Pembebanan

Pembebanan jembatan yang digunakan mengacu pada SNI 1725-2016 yang mengatur tentang Pembebanan Pada Jembatan. Pembebanan yang diperhitungkan dalam kajian ini hanya berdasarkan beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup berupa beban truck/ beban jalur.

3. Perhitungan Momen Maksimum

Perhitungan momen maksimum dilakukan pada tengah bentang dengan prinsip kesetimbangan.

4. Menentukan Jumlah *Strand*

Sebelum melakukan perencanaan letak posisi tendon, banyaknya *strand* yang digunakan harus diperhitungkan terlebih dahulu dengan persamaan 1 dibawah ini.

$$n = \frac{F_t}{\%losses-transfer \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}} \text{ atau } \frac{F_e}{\%losses-service \cdot f_{pu} \cdot A_{ps}} \quad (1)$$

5. Analisa Tegangan

Analisa tegangan dilakukan dengan memperhitungkan tegangan yang terjadi pada serat atas dan serat bawah saat kondisi *transfer* dan *service*. Besarnya tegangan yang terjadi pada masing-masing kondisi tidak boleh melebihi tegangan ijin yang diatur pada peraturan SNI T 12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Berikut uraian tentang peraturan SNI T 12-2004 yang dapat dilihat pada persamaan 2 hingga 5 dibawah ini.

1. Tegangan ijin beton pada kondisi *transfer*:

$$\text{Tegangan tekan (fci)} = 0,60 \cdot f'_{ci} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

$$\text{Tegangan tarik (fti)} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

2. Tegangan ijin beton pada kondisi *service*:

$$\text{Tegangan tekan (fc)} = 0,45 \cdot f'_{c} \text{ (MPa)} \quad (4)$$

$$\text{Tegangan tarik (ft)} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_{c}} \text{ (MPa)} \quad (5)$$

6. Analisa Lendutan

Analisa lendutan dilakukan dengan cara membandingkan lendutan yang terjadi pada kondisi *transfer* dan *service* dengan lendutan ijin sesuai peraturan SNI 12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Pada peraturan pasal 9.2.1 batasan lendutan ijin dapat dilihat seperti pada persamaan 6 dan 7.

$$\delta_{total} < \frac{L}{300} \quad (6)$$

$$\delta_{live-load} < \frac{L}{800} \quad (7)$$

7. Analisa Momen *Ultimate*

Analisa momen *ultimate* dilakukan dengan membandingkan momen yang terjadi pada struktur dikalikan dengan faktor amplifikasi sesuai jenis pembebanannya terhadap kemampuan penampang struktur dalam menahan momen yang bekerja akibat pembebanan. Besarnya faktor amplifikasi digunakan sesuai peraturan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan Jembatan. Batasan momen *ultimate* ijin dapat diperhitungkan sesuai dengan persamaan 8.

$$M_u\text{-Ijin} = \gamma_{MS} \times M_{MS} + \gamma_{MA} \times M_{MA} + \gamma_{LL} \times M_{LL} \quad (8)$$

8. Perhitungan Komposisi Biaya Balok Prategang

Komponen yang diperhitungkan dalam kajian ini yaitu *strand*, *ducting*, *angkur*, *wedges* dan *casting*. Dilakukan asumsi biaya satuan untuk memperhitungkan komposisi biaya pada balok prategang. Setelah didapat harga total dan masing-masing harga tiap komponen maka selanjutnya dapat dihitung besarnya persentase harga suatu komponen terhadap harga totalnya sehingga dapat dilihat besarnya kontribusi biaya setiap komponennya.

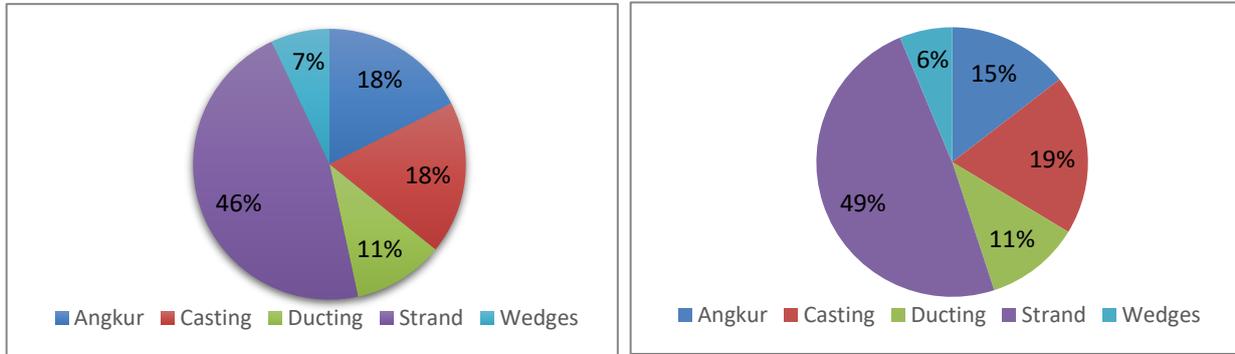
9. Perbandingan Model Struktur

Perbandingan model struktur dilakukan dengan membandingkan desain dengan sistem *strand* 0,5” terhadap 0,6” dalam segi biayanya. Hal ini bertujuan agar dapat dilihat fluktuasi efisiensi perbandingan biaya dengan sistem *strand* 0,5” terhadap 0,6” pada desain struktur jembatan dengan bentang 30 m – 35 m.

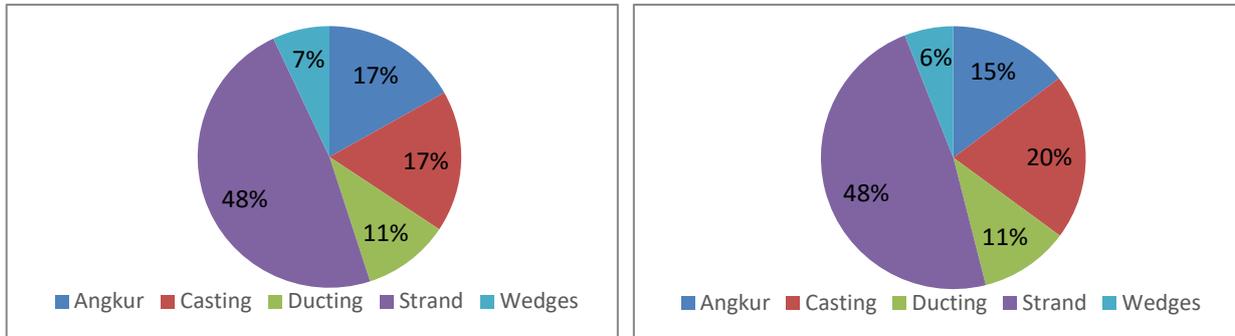
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi biaya setiap model jembatan

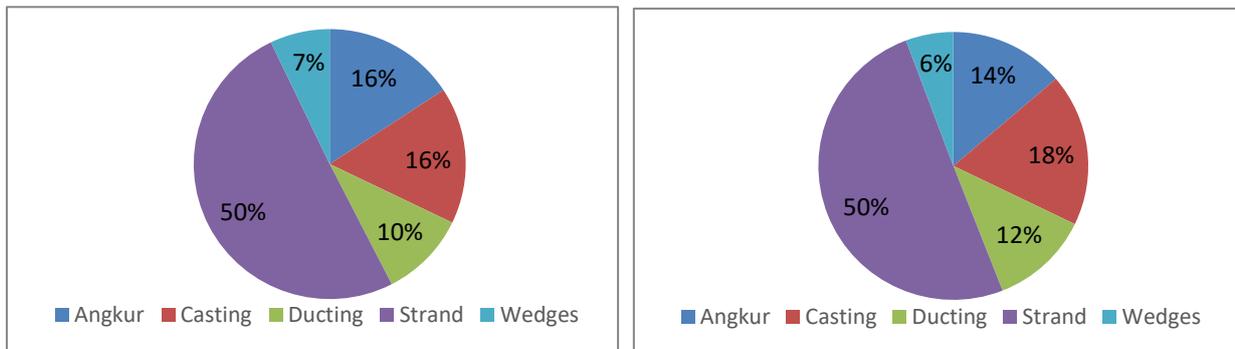
Berikut disajikan komposisi biaya pada balok *prestress* untuk setiap model yang dikaji pada Gambar 3 hingga Gambar 8.



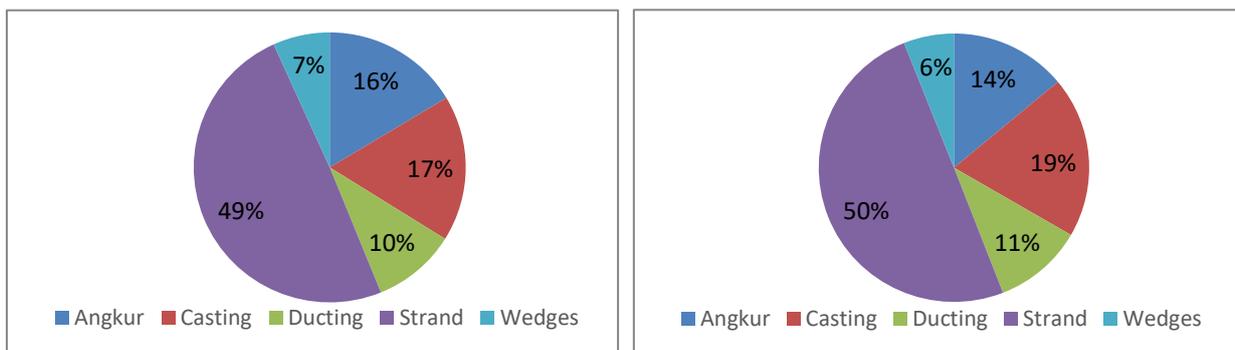
Gambar 3 Grafik komposisi biaya model jembatan bentang 30 m sistem *strand 0,5"* dan *0,6"*



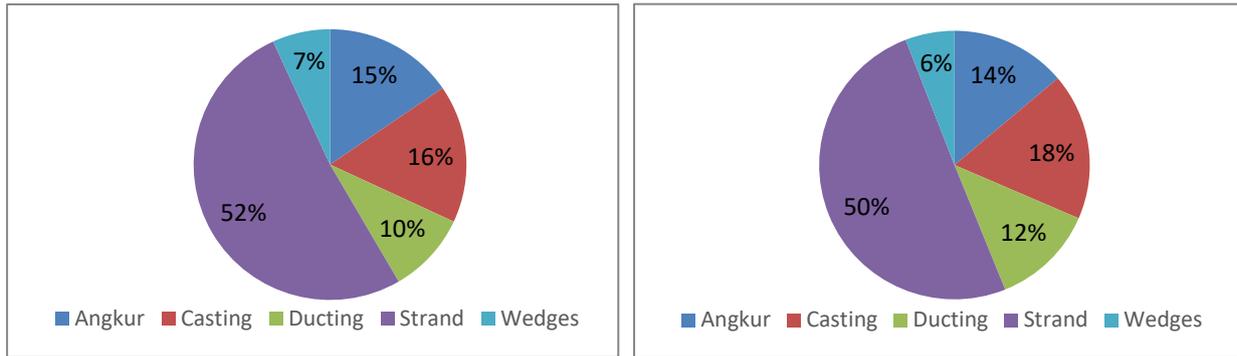
Gambar 4 Grafik komposisi biaya model jembatan bentang 31 m sistem *strand 0,5"* dan *0,6"*



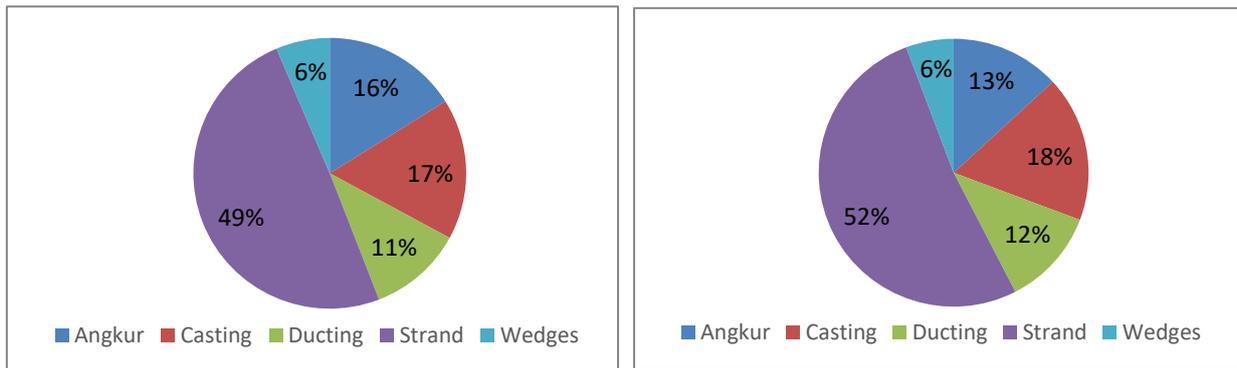
Gambar 5 Grafik komposisi biaya model jembatan bentang 32 m sistem *strand 0,5"* dan *0,6"*



Gambar 6 Grafik komposisi biaya model jembatan bentang 33 m sistem *strand 0,5"* dan *0,6"*



Gambar 7 Grafik komposisi biaya model jembatan bentang 34 m sistem *strand* 0,5" dan 0,6"

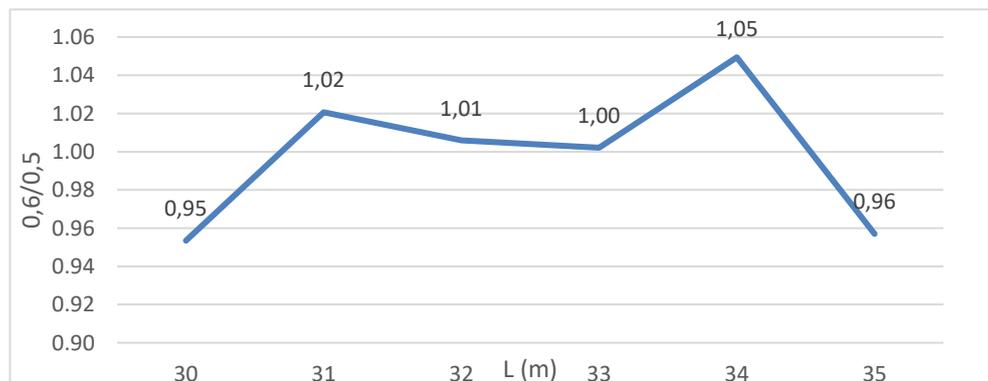


Gambar 8 Grafik komposisi biaya model jembatan bentang 35 m sistem *strand* 0,5" dan 0,6"

Berdasarkan hasil analisis biaya yang telah dituangkan dalam grafik diatas, dapat terlihat bahwa *strand* memiliki komposisi biaya sebesar 46% - 52% dari total biaya. *Casting* sebesar 16% - 20%, *angkur* sebesar 13% - 17%, *ducting* sebesar 10% - 12% dan *wedges* sebesar 6% - 7%. Maka, dapat disimpulkan bahwa komponen *strand* merupakan bahan yang menyumbangkan kontribusi biaya terbesar terhadap perencanaan *PC-I Girder* sedangkan *wedges* menyumbangkan kontribusi biaya terkecil terhadap perencanaan *PC-I Girder*.

Perbandingan komposisi biaya sistem *strand* 0,6" terhadap 0,5"

Berikut dapat dilihat perbandingan efisiensi *strand* berdasarkan biaya yang digunakan untuk setiap model yang dikaji dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik perbandingan komposisi biaya sistem *strand* 0,6" terhadap 0,5"

Dari grafik diatas, didapatkan hasil analisis berupa model jembatan 30 m memiliki perbandingan komposisi biaya sistem *strand* 0,6" terhadap 0,5" sebesar 0,95, model jembatan 31 m sebesar 1,02, model jembatan 32 m sebesar 1,01, model jembatan 33 m sebesar 1,00, model jembatan 34 m sebesar 1,05 dan model jembatan 35 m sebesar 0,96. Maka, dapat disimpulkan bahwa efisiensi sistem *strand* 0,5" dan 0,6" bersifat fluktuatif bergantung dari

model jembatan yang ditinjau. Tetapi jika dilihat dari Gambar 10, sistem *strand* 0,5” memiliki efisiensi biaya yang lebih baik sebanyak 4 model yaitu jembatan yang memiliki bentang 31 m, 32 m, 33 m dan 34 m. Sedangkan sistem *strand* 0,6” memiliki efisiensi biaya yang lebih baik pada 2 model jembatan yang memiliki bentang 30 m dan 35 m.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil kajian yang dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari hasil perbandingan komposisi biaya dapat dilihat bahwa komponen yang paling berpengaruh pada perencanaan struktur *prestress* berdasarkan biayanya dari tinggi ke rendah yaitu *strand*, *casting*, angkur, *ducting* dan *wedges*.
2. Dari hasil perbandingan efisiensi *strand* 0,5” dan 0,6” terhadap setiap model struktur menghasilkan hasil yang fluktuatif. Namun dari grafik komposisi biaya dapat dilihat bahwa kenaikan biaya yang signifikan terjadi karena adanya penambahan tendon. Karena adanya penambahan tendon maka menyebabkan tambahan bahan seperti angkur, *casting* dan *ducting* sehingga biaya akan meningkat.
3. Dari hasil perhitungan, desain struktur jembatan bentang 31 m, 32 m, 33 m dan 34 m dengan menggunakan sistem *strand* 0,5” lebih efisien dibandingkan dengan sistem *strand* 0,6” dari segi biaya. Namun pada struktur jembatan bentang 30 m dan 35 m, sistem *strand* 0,6” memiliki efisiensi biaya yang lebih baik dibandingkan sistem *strand* 0,5”.
4. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa banyaknya *strand* yang terisi dalam setiap jenis angkur mempengaruhi efisiensi sistem *strand*. Semakin banyak jumlah *strand* yang mengisi angkur, maka semakin efisien juga hasil yang didapatkan. Hal ini dapat dilihat pada Grafik 4.24 model jembatan bentang jembatan 30 m. Pada grafik menunjukkan efisiensi sistem *strand* 0,6” lebih baik dibanding 0,5”, hal ini terjadi karena pada sistem *strand* 0,6” semua angkur terisi penuh dengan *strand* sedangkan pada sistem *strand* 0,5” terdapat angkur yang tidak terisi penuh dengan *strand*.

Saran

Beberapa hal yang dapat dipertimbangkan untuk kajian lebih lanjut antara lain:

1. Pembebanan yang diberikan dapat lebih bervariasi, dapat ditambah seperti beban angin, beban gempa dan beban lainnya sehingga perencanaan dapat lebih mendekati kondisi yang terjadi di lingkungan tertentu.
2. Dapat dilakukan kajian dengan model serupa dengan kondisi struktur statis tak tentu.
3. Komposisi biaya dapat lebih diperluas dengan melihat aspek pelaksanaan, penggunaan alat, waktu yang diperlukan, kondisi lingkungan, keterampilan pekerja dan aspek lainnya yang mempengaruhi biaya perencanaan.
4. Dapat dilakukan kajian dengan model serupa dengan metode *stressing pre-tension* sehingga dapat dilihat perbandingannya.
5. Balok *PC-I girder* dapat diperbesar agar web *girder* semakin lebar sehingga analisis sistem *strand* dengan konfigurasi jumlah *strand* yang digunakan dapat lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Lin, T. Y and Burns, Ned. H. *Desain Struktur Beton Prategang*. 3rd ed, BinarupaAksara, 2000.
Manu, Agus Iqbal. *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. 1st ed, DPU, Mediatama Sapyakarya, 1995.
Nawy, Edward G., and H. Wibi. Hardani. *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar*, 1st ed, Erlangga, 2001.
Raju, N. Khrisna. *Beton Prategang*. 2nd ed, Erlangga, 2001.