

PERANCANGAN JEMBATAN BETON BERTULANG T-GIRDER SUNGAI PINANG

Muhammad Nur Fauzan¹, Alamsyah²

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bengkalis, Jalan Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis, Riau

email: muhammadnurfauzan47@gmail.com¹, alamsyah@polbeng.ac.id²

Abstrak

Jembatan yang terletak pada ruas jalan Simpang Lago-Simpang Buatan Siak Mengkapan Buton tidak memiliki dimensi ideal karena ukurannya lebih kecil dari badan jalan. Kondisi ini menyebabkan lalu lintas macet terutama saat kendaraan besar yang bermuatan tanah atau sawit datang dari arah yang berlawanan. Untuk mengantisipasi masalah ini maka Pemerintah telah melakukan pembangunan jembatan baru menggunakan prategang I-girder. Surat edaran menteri pekerjaan umum menjelaskan bahwa jembatan dengan bentangan 16 meter lebih ekonomis menggunakan beton bertulang dari pada menggunakan tipe struktur lain sehingga dilakukan penelitian ini dengan tujuan mendapatkan struktur yang ekonomis. Pada perencanaan ini dilakukan perencanaan struktur atas dengan T-girder beton bertulang yang analisa beban mengacu pada standard pembebanan SNI T-02-2005 dan SNI T-12-2004 untuk perencanaan struktur beton bertulang. Hasilnya, jembatan memiliki ukuran lebar lalu lintas 7,6 m dan panjang 16 m. Tebal slab yang digunakan 200 mm, dimensi girder 500/1100 dan diafragma 300/500. Penulangan negative dan positif slab masing-masing D25-110 dan D22-100. Tulangan tarik girder 18D32 dan tulangan tekan 16D19 dengan sengkang D13-100. Biaya berdasarkan data proyek untuk struktur atas sebesar Rp. 1.622.061.000,00, sedangkan berdasarkan perhitungan menggunakan struktur T-Girder sebesar Rp. 1.182.228.000,00. Struktur atas jembatan dengan bentang 16 meter lebih ekonomis menggunakan T-girder dibandingkan prategang I-girder dengan tidak mempertimbangkan pengaruh metode pelaksanaan, kemudahan *quality control* dan kondisi geografis proyek.

Kata Kunci: Anggaran biaya struktur atas, Prategang I-girder, T-Girder beton bertulang.

Abstract

The bridge which is located on the Simpang Lago-Simpang Buatan Siak Mengkapan Buton does not have an ideal dimension because it was smaller than the road body. This condition causes traffic jams, particularly when large vehicles loaded with soil or oil come from the opposite direction. To anticipate this problem, the Government has built a new bridge using the prestress I-girder. The Minister of Public Works circular explained that bridges with a 16 meter length were more economical using reinforced concrete than using other types of structures so this research was conducted with the aim of obtaining economical structures. In this paper the upper structure planning has been carried out with reinforced concrete T-girders whose load analysis refers to SNI T-02-2005 and T-Girder reinforced concrete based on SNI T-12-2004. The results of bridge calculation have a size with a traffic width of 7.6 m and a length of 16 m. The thickness of the slab is 200 mm, the dimensions of the girder are 500/1100 and the diaphragm is 300/500. Reinforcement of negative and positive slabs respectively D25-110 and D22-100. The girder tension and compressive bars that have been obtained are 18D32 and 16D19 respectively with D13-100 stirrup. The costs based on project data for the upper structure of Rp. 1,622,061,000.00, while based on calculations using the T-Girder structure of Rp. 1,182,228,000.00. Finally, a 16 meter span bridge structure is more economical using a T-girder than the I-girder pre stress by not considering the effect of implementation methods, ease of quality control and project geographical conditions.

Keywords: Upper structure budget, Pre stress -I-girder, T-Girder reinforced concrete.

1. PENDAHULUAN

Jembatan berfungsi sebagai penghubung antara satu daerah dengan daerah lainnya. Fungsi lainnya yaitu mempersingkat waktu tempuh dan mengurangi biaya transportasi yang diakibatkan karena adanya rintangan seperti sungai, lembah yang dalam, saluran irigasi, jalan kereta api dan lain-lain. Pada saat ini, ruas jalan simpang Lago-Simpang Buatan

Siak banyak dilewati oleh kendaraan bertonase besar yang bermuatan tanah dan sawit. Jembatan eksisting di Sungai Pinang yang lebih kecil dari badan jalan dan kondisi kurang baik mengakibatkan kemacetan saat kendaraan berlawanan arah melewati jembatan tersebut. Tindak lanjut untuk memecahkan kondisi tidak ideal tersebut, pemerintah membangun jembatan pengganti dengan struktur prategang I-Girder.

Berdasarkan Surat Edaran Menteri PUPR No. 07/SE/M/2015 pada Tabel 1 menunjukkan bahwa jembatan dengan bentang demikian ini lebih ekonomis menggunakan beton bertulang T-Girder [1]. Dengan latar belakang tersebut dilakukan perancangan ulang jembatan T-Girder sebagai pengganti prategang I-Girder pada Sungai Pinang khususnya pada studi kasus Proyek Penggantian Jembatan Sei. Busuk CS.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Definisi Jembatan

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah, rintangan ini biasanya dalam bentuk jalan air atau lalu lintas biasa [2].

B. Pembebanan Jembatan

Standar acuan untuk pembebanan yang digunakan adalah RSNI T-02-2005 [3].

1) Beban Mati

Beban mati ini terdiri dari dua jenis beban, yaitu:

a. Berat sendiri

Berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan non structural yang dianggap tetap.

b. Beban mati tambahan

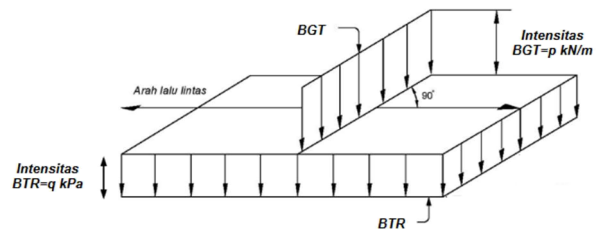
Berat seluruh bahan yang merupakan elemen non structural seperti aspal dan genangan air.

2) Beban hidup

Beban hidup yang dimaksud dalam hal ini adalah beban lalu lintas. Beban lalu lintas yang digunakan pada perencanaan ini terdiri dari beban "D" dan truk "T".

a. Beban lajur "D"

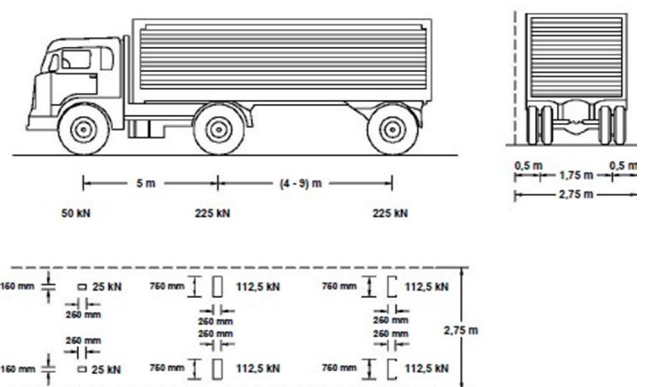
Beban ini terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis (BGT) seperti Gambar 1.



Gambar 1. Beban Lajur "D"

b. Beban Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Beban Truk "T"

3) Beban angin

Beban angin tergantung pada kecepatan angin seperti:

$$T_{EW} = 0,0006C_w(V_w)^2 A_b \quad (1)$$

Dengan :

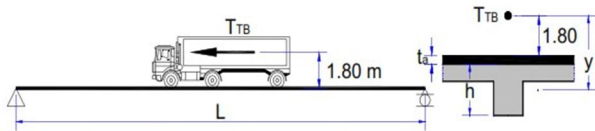
C_w = koefisien seret

V_w = kecepatan angin rencana (m/det)

A_b = luas koefisien bagian samping jembatan

4) Gaya rem

Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas), tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan sebagaimana pada Gambar 3.



Gambar3. Gaya Rem

5) Pengaruh Temperatur (ET)

Momen (M_{ET}) pada girder akibat pengaruh temperature dibagi menjadi: a) variasi temperatur jembatan rata-rata yang digunakan dalam menghitung pergerakan pada sambungan pelat lantai. Hal ini juga digunakan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan temperature yang terjadi. Perencana harus menentukan besarnya temperatur jembatan rata-rata yang diperlukan untuk memasang sambungan siar muai, perletakan dan lain sebagainya serta memastikan bahwa pergerakan temperatur sudah tercantum dalam gambar rencana. b) variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan, yaitu perbedaan temperature yang disebabkan oleh pemanasan langsung sinar matahari diwaktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan diwaktu malam.

$$M_{ET} = F_{ET} \times e \tag{2}$$

Dengan :

F_{ET} = gaya akibat *temperature movement*

e = eksentrisitas

6) Beban Gempa (EQ)

Momen (M_{EQ}) dan gaya geser (V_{EQ}) akibat gempa vertikal dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 dan persamaan 4. Beban gempa dijadikan sebagai beban merata pada girder sebagaimana pada Gambar 4 berikut:

$$M_{EQ} = 1/8 \times Q_{EQ} \times L^2 \tag{3}$$

$$V_{EQ} = 1/2 \times Q_{EQ} \times L \tag{4}$$



Gambar4. Beban Gempa pada Girder

C. Analisa biaya pekerjaan

Analisis Harga Satuan Pekerjaan yang selanjutnya disingkat AHSP adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu [5]. Biaya yang dihitung pada penelitian ini hanya seputar struktur atas dan membandingkan besaran biaya antara prategang I-Girder dan beton bertulang T-Girder.

3. METODE

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sungai Pinang, ruas jalan Simpang Lago-Simpang Buatan Siak-Mengkapan (Buton) Kec. Mempura, Kabupaten Siak Sri Indrapura. Kondisi eksisting sungai dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Penampang Sungai Pinang

B. Tahapan Penelitian

Metode dan tahapan yang digunakan dalam perencanaan ini yaitu:

1) Studi Literatur

Aturan pembebanan jembatan dan struktur beton bertulang pada jembatan [4] harus dipelajari terlebih dahulu untuk memperoleh hasil desain yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

2) Tahapan proses perencanaan

Terdapat beberapa tahapan analisa, yaitu analisa pembebanan pada struktur atas berdasarkan RSNIT-02-2005, analisa struktur atas T-Girder berdasarkan SNT-12-2004 dan perencanaan perlengkapan seperti

trottoar dan tiang sandaran. Gambar detail hasil perencanaan dan analisa rencana anggaran biaya (RAB) sesuai dengan harga yang tercantum pada dokumen proyek jembatan serta membandingkan total biaya struktur atas dari dua type struktur yang berbeda.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Struktur

Berikut data struktur perencanaan jembatan beton bertulang T-Girder.

1. Panjang jembatan = 16 m
2. Lebar jembatan = 9,6 m
3. Lebar lalu lintas = 7,6
4. Tinggi Girder = 1,1 m
5. Tinggi diafragma = 0,5 m
6. Tebal slab = 0,2 m
7. Tinggi trotora = 0,2 m
8. Tinggi railing = 1,0 m
9. Mutu beton = 30 MPa
10. Mutu baja = 320 MPa

B. Lantai kendaraan

Penggunaan tebal slab harus memenuhi ketentuan yang ada dalam aturan yaitu $ts \geq 200$. Selain itu juga, tebal slab harus memenuhi $ts \geq 100 + 40 (s)$, dengan s adalah jarak antar girder. Pada perencanaan ini digunakan jarak antar girder, $s = 1,9$ m sehingga $ts \geq 100 + 40 (1,9) = 176$ mm. Ini menunjukkan bahwa penggunaan tebal slab 200 mm telah memenuhi syarat.

Pengaruh terbesar dari beban yang ada pada slab adalah akibat kombinasi I sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1 Kombinasi beban maksimum pada slab

Jenis Beban	Faktor Beban	M.Tump (kNm)	M.Lap (kNm)	Mu. Tump (kNm)	Mu. Lap (kNm)
Beratsendiri	1,3	1,504	0,752	1,955	0,978
Bebanmatitambahan	2,0	1,012	0,506	2,023	1,012
Bebantruk"T"	1,8	82,494	74,245	148,489	133,641
Bebanangin	1,0	0,418	0,376	0,418	0,376
Pengaruh temperatur	1,0	0,009	0,045	0,009	0,045
				152,895	136,051

1) Penulangan lentur negative

$$M_u = 152,895 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = 191,12 \text{ kNm}$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$S = \frac{\pi}{4} x D^2 x \frac{b}{A_s}$$

$$= \frac{\pi}{4} x 25^2 x \frac{1000}{4333,93}$$

$$= 113,26 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan **D25 - 110**

Tulangan bagi/susut arah memanjang diambil 50% tulangan pokok ($A_s' = 50\% x A_s$) sehingga didapat **D19 - 120**.

2) Penulangan lentur positif

$$M_u = 136,051 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = 170,06 \text{ kNm}$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$S = \frac{\pi}{4} x D^2 x \frac{b}{A_s}$$

$$= \frac{\pi}{4} x 22^2 x \frac{1000}{3757,92}$$

$$= 101,15 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan **D22 - 100**.

Tulangan bagi/susut arah memanjang diambil 50% tulangan pokok ($A_s' = 50\% x A_s$) sehingga didapat **D16 - 100**.

C. Penulangan lentur T-Girder

Lendutan balok akibat beban layan harus dikontrol sebagai berikut [4] :

- 1) Geometrik dari penampang harus direncanakan untuk melawan lendutan akibat pengaruh tetap sehingga sisa lendutan (positif atau negatif) masih dalam batas yang dapat diterima.
- 2) Agar lendutan tidak mengganggu tampak dari struktur, lendutan akibat pengaruh tetap yang diberikan pada Peraturan Pembebanan untuk Jembatan

Jalan Raya tidak melebihi 1/300 bentang.

- 3) Lendutan akibat beban rencana untuk daya layan pada Peraturan Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya tidak melampaui 1/250 bentang.
- 4) Lendutan akibat beban hidup layan termasuk beban kejut harus dalam batas yang sesuai dengan struktur dan kegunaannya. Kecuali dilakukan penyelidikan lebih lanjut, dan tidak melampaui L/800 bentang sederhana dan L/400 untuk kantilever.

Tinggi T-girder beton bertulang untuk perencanaan jembatan dengan perletakan sederhana ini ditentukan dengan pendekatan, $h > 165 + 0,06 L$, sehingga digunakan girder dengan ukuran $b/h = 500/1100$ mm. Hitungan beban yang menghasilkan momen maksimum pada girder dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kombinasi momen maksimum pada girder

Jenis Beban	M (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)	Mu (kNm)
		Komb.1	Komb.2	Komb.3
Berat sendiri	698,20	907,66	907,66	907,66
Beban mati tambahan	163,55	327,10	327,10	327,10
B. Lalu-lintas (TD/TT)	1068,56	1923,41	1923,41	1923,41
Gaya rem	61,25	110,25	110,25	-
Beban angin	23,70	28,44	-	-
Pengaruh temperatur	16,50	-	19,8	-
Beban gempa	464,48	-	-	464,48
		3296,86	3288,22	3622,66

Momen maksimum girder ini diperoleh dari kombinasi beban 3 yaitu akibat beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas dan beban gempa. Penulangan lentur girder ini sebagai berikut:

$$M_u = 3622,66 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = 4528,3 \text{ kNm}$$

Luasan tulangan yang diperlukan dengan nilai $\rho_{\text{perlu}} = 0,007$ adalah:

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b_{\text{ef}} \times d \\ &= 0,007 \times 1900 \times 1054 \end{aligned}$$

$$= 14043,96 \text{ mm}^2$$

Dengan menggunakan tulangan ulir D32 diperoleh **18D32**. Sebagai syarat kekakuan struktur girder dan perlunya tulangan tekan, digunakan luasan tulangan 30% dari tulangan tarik dengan hasil penulangan **16D19**.

D. Penulangan Geser T-girder

Hal-hal yang harus dipenuhi dalam menentukan kuat geser antara lain [4]:

- 1) Untuk kuat geser V_n , harus memperhitungkan pengaruh setiap bukaan pada komponen struktur.
- 2) Untuk kuat geser V_c di mana berlakupengaruhregangan aksial tarik yang disebabkan oleh rangkai dan susut pada komponen struktur yang terkekang, maka harus diperhitungkan pengaruh tarik tersebut pada pengurangan kuat geser.

Geser geser terfaktor maksimum V_u dekat tumpuan harus diambil sebagai gaya geser pada:

- 1) jarak d dari muka tumpuan, atau
- 2) muka tumpuan, jika mungkin terjadi retak diagonal dalam daerah tumpuan.

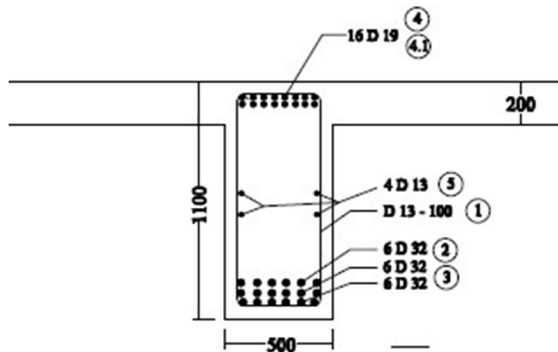
Adapun kombinasi beban yang menghasilkan geser maksimum dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Kombinasi geser maksimum pada girder

Jenis Beban	V (kN)	Vu (kN)	Vu (kN)	Vu (kN)
		Komb.1	Komb.2	Komb.3
Berat sendiri	174,55	226,92	226,92	226,92
Beban mati tambahan	40,89	81,78	81,78	81,78
B. Lalu-lintas (TD/TT)	271,93	489,48	489,48	489,48
Gaya rem	7,66	13,78	13,78	-
Beban angin	5,92	7,11	-	-
Pengaruh temperatur	1,03	-	1,2375	-
Beban gempa	116,12	-	-	116,12
		819,06	813,19	914,29

Geser maksimum sebagaimana pada Tabel 3 sebesar 914,29 kN. Kemampuan menahan gaya geser yang diperlukan dari baja tulangan, $V_s = 825,05$ kN dan dengan menggunakan tulangan ulir D13 diperoleh jarak tulangan

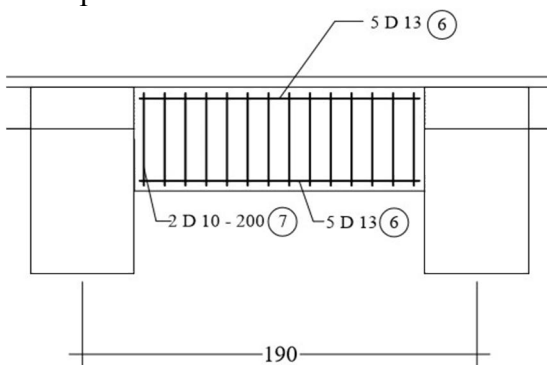
geser 100 mm. Penulangan badan menggunakan $\rho=0,001$ mendapatkan tulangan 4D13. Detail penampang girder dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Penampangmelintang T-girder

E. Penulangan diafragma

Diafragma pada jembatan adalah komponen struktur yang juga berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan sistem. Khusus pada jembatan, diafragma merupakan komponen transversal yang menghubungkan girder-girder pada arah memanjang. Pada jembatan ini ukuran diafragma yang digunakan adalah $b/h = 300/500$ mm. Hasil penulangan lentur dan geser diafragma dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diafragma jembatan

F. Bearing pad

Perletakan direncanakan menggunakan *elastomer* dengan properties produk VSL sebagai berikut [7]:

Kuat tekan *bearing pad* 150 kg/cm^2 ; kuat geser *bearing* 8,4 kN; lebar *elastomer* (L) = 30cm; panjang *elastomer* (P)=40cm; tebal *elastomer*

(t) = 7,4cm; luasan *bearing* (A) = 1200cm²; CPU *elastomer bearing* tebal 74 mm, 7 lapis baja 3 mm. Penampang elastomer ditunjukkan pada Gambar 8.

Beban vertikal yang bekerja pada tumpuan girder, $V_{max} = 914,293 \text{ kN}$ dan beban horizontal akibat gaya rem pada truk, $H_{max} = 50 \text{ kN}$.

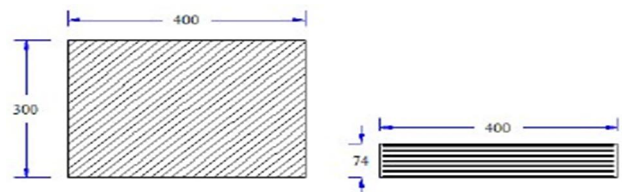
Kontrol terhadap beban vertikal (F)

$$\frac{V_{max}}{A} = \frac{91429,3}{1200} = 76,19 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol terhadap beban horizontal (Pn)

$$P_n = H_{max} = 5 \text{ ton}$$

$$P_n = H_{max} < \text{Kuat geser bearing pad}$$



Gambar8.UkuranElastomer Bearing

G. Anggaran biaya struktur atas

Rekapitulasi harga pekerjaan jembatan prategang I-girder yang dibahas berupa:

- 1) Divisi 1: Umum, meliputi lingkup pekerjaan berupa mobilisasi; manajemen dan keselamatan lalu lintas dan pengamanan lingkungan hidup.
- 2) Divisi 7: Struktur, meliputi lingkup pekerjaan beton $f_c' 30 \text{ MPa}$ pada slab, tiang sandaran, trotoar, diafragma, baja tulangan polos dan ulir serta *bearing pad*.

Untuk dua divisi di atas dengan struktur prategang I-girder membutuhkan anggaran Rp. 1.622.061.000 (termasuk PPN). Penggunaan analisa hargasatuan pekerjaan tahun 2016 dan spesifikasi umum tahun 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan [6], khususnya pada divisi yang sama pada perencanaan T-girder beton bertulang jembatan Sungai Pinang membutuhkan anggaran Rp. 1.182.228.000 sebagaimana pada Tabel 4.

Tabel 4 Rekapitulasi biaya T-girder

No. Divisi	Uraian	Jumlah Harga (Rp)
1	Divisi 1: Umum	382.260.000,00
7	Divisi 7: Struktur	692.492.803,00
	Jumlah	1.074.752.803,00
	PPN 10%	107.475.280,30
	Total	1.182.228.083,30

5. KESIMPULAN

Adapun hasil dari perencanaan ini adalah:

1. Jembatan yang direncanakan memiliki ukuran dengan lebar lalu lintas 7,6 m dan panjang 16 m.
2. Tebal slab yang digunakan 200 mm, dimensi girder 500/1100 dan diafragma 300/500.
3. Penulangan negative dan positif slab masing-masing D25-110 dan D22-100.
4. Tulangan tarik girder 18D32 dan tulangan tekan 16D19 dengan sengkang D13-100.
5. Rencana anggaran biaya berdasarkan data proyek, untuk pekerjaan struktur atas sebesar Rp. 1.622.061.000,00. Sedangkan berdasarkan perhitungan menggunakan struktur balok T-Girder sebesar Rp. 1.182.228.000,00.
6. Struktur atas jembatan dengan bentang 16 meter lebih ekonomis menggunakan T-girder dibandingkan prategang I-girder dengan tidak mempertimbangkan pengaruh metode pelaksanaan, kemudahan quality kontrol dan kondisi geografis proyek.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih diucapkan kepada rekan-rekan yang turut serta membantu sehingga Perancangan Jembatan Struktur Beton Bertulang T-Girder Sungai Pinang ini terselesaikan. Ucapan terimakasih juga kepada *Jurnal Teknik Sipil dan Aplikasi (Tekla)* yang telah memberikan kesempatan untuk karya tulis ini dipublikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SE Menteri PUPR No.07/SE/M/2015, *Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan*.
- [2] Struyk, J.H., Van Der Veen, W.C.H.K., 1984, alih bahasa Soemargono, *Jembatan*, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3] RSNI T-02-2005, *Pembebanan untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional
- [4] SNI-T-12-2004, *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional
- [5] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2016) *Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*, Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat.
- [6] Surat Edaran Dirjen Bina Marga, *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*, Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat.
- [7] <http://www.motec.org/Portals/0/Nor%20Rubber-astomeric%20Bearing%20Pads.pdf>