

**EFISIENSI PERENCANAAN JEMBATAN *PILE SLAB*  
DENGAN BENTANG BERVARIASI  
(Studi Kasus: Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa)**

**Gede Arya Wibawa<sup>1</sup>, Made Sukrawa<sup>2</sup>, I Nyoman Sutarja<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Alumni Teknik Sipil, Universitas Udayana, Bali*

<sup>2</sup>*Dosen Teknik Sipil, Universitas Udayana, Bali*

*E-mail: bow\_bul9@yahoo.com*

**Abstrak:** Perbandingan efisiensi perencanaan jembatan *pile slab* pada jalan tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa telah dilakukan dengan membuat tiga model jembatan dengan panjang bentang 7,5, 10, dan 15 m. Pelat dimodel dengan *element shell* sedangkan *pile cap* dan tiang pancang dimodel dengan *element frame*. Interaksi tanah dengan tiang pancang dimodel sebagai spring dengan nilai konstanta bervariasi sesuai jenis tanahnya. Ketiga model dibebani sesuai RSNI T-02-2005 dan direncanakan dengan dimensi minimal yang memenuhi syarat kekuatan dan kelayakan. Kemudian ketiganya dibandingkan harga dan waktu pelaksanaan strukturnya. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa model jembatan dengan panjang bentang 10 m paling efisien di antara ketiga disain. Selain itu, disain dengan bentang 10 m membutuhkan waktu pelaksanaan lebih pendek dari disain dengan bentang 7,5 m.

**Kata kunci:** efisiensi, jembatan, bentang, volume, waktu

***EFFICIENCY OF PILE-SLAB BRIDGE DESIGN WITH VARIED SPAN LENGTH  
(A Case Study of Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa Toll Road)***

**Abstract:** Comparison of the efficiency of slab on pile bridge design on Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa toll road has been done by making three models with span length of 7.5, 10, and 15 m. The slab was modeled with shell element, while pile cap and piles were modeled with frame elements. Interaction between soil and pile was modeled as a spring with a constant value varies according to the type of soil. All three models were loaded in accordance with RSNI T-02-2005 and designed using minimum dimensions to satisfy strength and serviceability requirements. Then the three models structure were compared in term of cost and construction time. The results showed that the model bridge design with span length of 10 m is most efficient among the three designs. In addition, the design of the 10 m span requires a shorter construction time than that of 7.5 m span.

**Keywords:** efficiency, bridge, pile slab, construction time

## **PENDAHULUAN**

Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa telah dibangun dan telah beroperasi pada tanggal 24 September 2013 dengan panjang ± 8,122 km. Tujuan dibangunnya Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa adalah untuk mengurangi kepadatan lalu lintas kendaraan yang terjadi pada jalan eksisting Tohpati-Nusa Dua. Untuk mengurangi kepadatan dengan memperlebar jalan sangat tidak mungkin dilakukan mengingat pada kondisi eksisting tidak ada lahan untuk memperlebar jalan.

Namun pada masa konstruksi proyek Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa yang dimulai pada tanggal 1 Maret 2012 mengalami

keterlambatan di mana jalan tol direncanakan beroperasi pada tanggal 25 April 2013, tetapi mulai beroperasi pada tanggal 24 September 2013. Penyebab keterlambatan pada proyek ini salah satunya adalah proses pemancangan, hal ini dikarenakan konstruksinya menggunakan tiang pancang yang disebar sepanjang jalan tol dengan jarak antar portal 7,5 m dengan bantuan kapal ponton. Kapal ponton ini hanya dapat berpindah dengan menyesuaikan kondisi pasang surut air laut, sehingga jika air laut surut kapal tidak dapat melakukan perpindahan jika pekerjaan pemancangan pada satu baris portal telah selesai. Untuk mengatasi keterlambatan ini maka muncul suatu gagasan dengan memvariasikan panjang bentang awal yaitu 7,5 m menjadi bentang

10 m dan 15 m agar nantinya mempercepat proses pekerjaan pemancangan. Namun dalam memvariasikan bentang ini akan membuat dimensi struktur awal menjadi membesar.

Pada proyek pembangunan jalan tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa terdapat lebih dari 200 portal yang mengakibatkan kapal ponton harus melakukan perpindahan sebanyak 200 kali. Namun jika panjang bentang divariasikan dengan panjang bentang 10 m dan panjang panjang 15 m, maka kapal ponton hanya akan melakukan perpindahan kurang dari 200 kali. Hal ini akan mempercepat proses pemancangan.

Dari latar belakang tersebut, perlu dilakukan penelitian dengan menganalisis efisiensi waktu pemancangan dari jembatan *pile slab* dengan bentang yang bervariasi.

**MATERI DAN METODE**

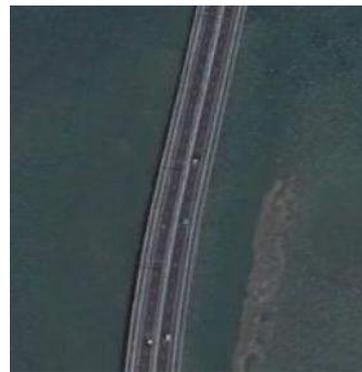
**Rancangan Perencanaan**

Analisis efisiensi waktu pemancangan dilakukan dengan bentang bervariasi pada struktur Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa yang merupakan struktur jembatan *pile slab* yang berada di atas air laut. Penelitian dilakukan khusus pada bagian jalan lurus yaitu pada segmen 2 dengan panjang sampel 60 m, Gambar 1-2. Analisis dilakukan dengan program SAP 2000 versi 14 .



- = Segmen 1
- = Segmen 2
- = Segmen 3
- = Segmen 4

Gambar 1. Lokasi proyek jalan tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa

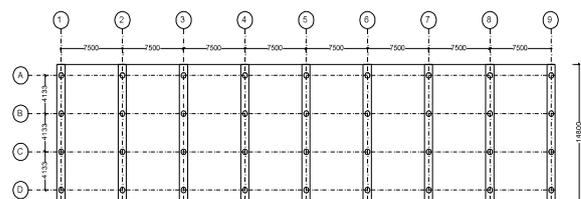


Gambar 2. Segmen 2 dengan panjang diambil 60 m

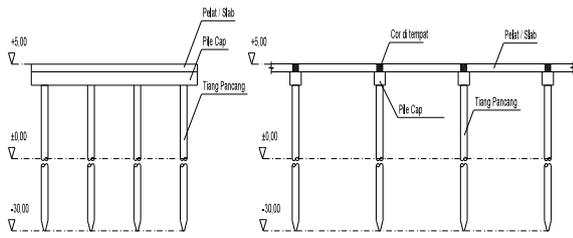
Direncanakan tiga variasi panjang bentang yang berbeda yaitu 7,5 m, 10 m, dan 15 m. Untuk panjang bentang 7,5 m merupakan panjang bentang eksisting, namun dilakukan analisis kembali dengan mengacu pada beberapa referensi yang nantinya akan dibandingkan dengan kondisi eksisting. Sedangkan untuk panjang bentang 10 m dan 15 m dilakukan analisis hingga mendapatkan struktur yang efisien dan aman.

Pada kondisi eksisting diketahui bahwa lebar jembatan satu lajur adalah 14,8 m, Gambar 3. Struktur jembatan jalan tol Nusa Dua-Ngurah Rai- Benoa merupakan struktur jembatan *pile slab* dengan pelat berada di atas *pile cap* dan tiang pancang. Jarak antara tiang pancang untuk panjang bentang 7,5 m adalah 4,13 m dengan jumlah titik tiang pancang adalah 4 titik. Jarak antara tiang pancang untuk panjang bentang 10 m adalah 3,1 m dengan jumlah titik tiang pancang adalah 5 titik, sedangkan jarak antara tiang pancang untuk panjang bentang 15 m adalah 2,48 m dengan jumlah titik tiang pancang adalah 6 titik.

Pada struktur jembatan *pile slab* jalan tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa direncanakan menggunakan pelat menerus dengan tulangan prategang. Namun sebelum pelat ini menerus, pelat merupakan beberapa segmen dengan nantinya dilakukan *cast in place* pada bagian penghubung, Gambar 4.



Gambar 3. Denah struktur satu lajur panjang 60 m



Gambar 4. Potongan melintang dan memanjang struktur jalan tol

Dalam merencanakan tulangan prategang pada pelat perlu dilakukan kontrol tegangan pada saat pelat belum menerus dengan memodelkannya sebagai pelat perletakan sederhana dengan hanya menerima beban berat sendiri.

$$f_{ss} = \frac{P}{A_c} \pm \frac{M_{pe}}{S} \pm \frac{M_{MS}}{S} \quad (1)$$

P adalah gaya efektif prategang setelah kehilangan tegangan 17,5%,  $A_c$  adalah luas dimensi beton,  $M_{pe}$  adalah momen akibat eksentrisitas gaya prategang, S adalah statis momen dan  $M_{MS}$  adalah momen akibat berat sendiri. Setelah itu pelat dimodelkan sebagai pelat menerus dengan menerima beban lalu lintas SL.

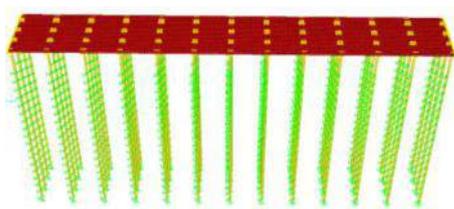
$$f_{cont} = \frac{P}{A_c} \pm \frac{M_{pe}}{S} \pm \frac{M_{SL}}{S} \quad (2)$$

Namun, sebelum merencanakan tulangan pada pelat perlu dilakukan kontrol tebal pelat yaitu dengan mengontrol gaya geser.

$$k_x = \frac{8}{2-\nu} G.r \quad (3)$$

Direncanakan bahwa hubungan antara tanah dan struktur dimodelkan sebagai *spring*, kondisi ini disebut dengan Interaksi Struktur-Tanah. Untuk memodelkan tanah sebagai *spring* diperlukan nilai kekakuan tanah (Tabel 1) dengan menggunakan rumus empiris (Stewart et al., 1999).

$$G = \frac{E_s}{2(1+\nu)} \quad (4)$$



Gambar 5. 3D model struktur jembatan

Tabel 1. Kekakuan *spring* pada tanah

Soil Type	Modulus Elastisitas Tanah, $E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson's rasio, $\nu$	Modulus Geser Tanah, G (kN/m <sup>2</sup> )	Kekakuan Spring, $k_x, k_y$ (kN/m)
Silty Sand Looses	8,400	0.25	3360	4608
Sand	10,500	0.25	4200	5760
Coral	350,000	0.25	140000	192000
Clay with Gravel	310,000	0.25	124000	170057,14
Coral	505,556	0.25	202222,4	277333,58

Pada pelat jembatan direncanakan tebal minimum menurut AASTHO LRFD (2012) diberikan  $t = 0.027 L$ . L adalah panjang bentang jembatan dan didapat tebal minimum pada bentang 7,5 m, 10 m, dan 15 m masing-masing sebesar 202, 270, dan 450 mm, dengan tebal pada bentang eksisting adalah 350 mm. Namun, tebal minimum pada masing-masing bentang tersebut telah dianalisis dan tidak memenuhi syarat, sehingga perlu dilakukan estimasi dimensi struktur pada masing-masing bentang. Berikut ini tabel estimasi dimensi struktur pada masing-masing bentang.

Tabel 2. Estimasi dimensi struktur

Bentang	7,5 m	10 m	15 m
<b>Pelat</b>			
Tebal (mm)	300	360	520
Lebar (mm)	1000	1000	1000
<b>Pile cap</b>			
Tinggi (mm)	600	600	600
Lebar (mm)	1000	1000	1000
<b>Tiang Pancang</b>			
Dia. (mm)	600	600	600

**Data Material**

Analisis dan perancangan akan digunakan mutu material yang didapat dari PT. Lapi Ganeshatama Consulting. Data materialnya sebagai berikut:

- Mutu Beton ( $f_c'$ )
  - Pelat : 41,5 MPa
  - Tiang Pancang : 50 MPa
  - Pile cap : 35 MPa
- Berat jenis beton bertulang ( $\rho_c$ ) : 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Mutu Tulangan
  - D < 10 mm : 240 MPa
  - D 10 mm : 400 MPa
- Jenis Kabel Strain : Multi-stand Post-tensioning System Super Strand 0,5"
  - Low Relaxation : 2,5% at 70% UTS.
  - Nominal Diameter : 12,7 mm

Nonimal Area	: 98,7 mm <sup>2</sup>
Tensile Strength	: 1860 MPa
Yield Strength	:- 1670 MPa
Modulus Elastisitas	: 195000 MPa

### Pembebanan

Analisis dan perencanaan pada jembatan *pile slab* ini digunakan pembebanan sesuai dengan RSNI T 02-2005, dengan beban sebagai berikut:

Tabel 3. Pembebanan untuk jembatan

Group	Beban	Keterangan
<b>Beban Tetap</b>	Berat Sendiri	Berat Jenis Beton
	Beban Tambahan	24kN/m <sup>3</sup>
	- Aspal	Asphalt unit weight
	- Railing	22.4 kN/m <sup>3</sup>
	Penyusutan & Rangkak	$\epsilon_{sh-u} = 0.0005$ , $\epsilon_{sh} = 0.0002$
<b>Beban Lalu Lintas</b>	Beban Lajur (D):	BTR, $q = 9.0$ kN/m <sup>2</sup> .
	BTR + BGT	BGT, $P = 49$ kN/m
	Gaya Rem	5% dari D
<b>Beban Aksi Lingkungan</b>	Gempa (Ex and Ey)	Respon spectrum wil.5 tanah sedang
	Angin	$\Delta T = 27 - 17 = 10^\circ$ C
	Temperature (Temp)	

Kombinasi beban dalam disain digunakan kombinasi akibat beban layan SL dan beban ultimit UL. SL adalah beban layan seperti berat sendiri, railing, aspal, penyusutan dan rangkak, beban lajur dan temperatur. UL adalah beban ultimit dengan kombinasi 1,2 (MS+Temp) + 1,8 Beban Lajur + Penyusutan dan Rangkak + 2 Railing. UL-Ex adalah beban ultimit dengan beban gempa arah X yaitu 1,2 (MS+Temp) + Penyusutan dan Rangkak + Lajur + Ex. UL-Ey adalah beban ultimit dengan beban gempa arah Y yaitu 1.2 (MS+Temp) + Penyusutan dan Rangkak + Beban Lajur + Ey.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari analisis gaya-gaya dalam yang terjadi pada masing-masing bentang disajikan pada Tabel 4 untuk pelat, Tabel 5 untuk *pile cap*, dan Tabel 6 untuk tiang pancang. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa peningkatan gaya-gaya yang terjadi jika bentang semakin panjang.

Tabel 4. Gaya momen dan geser pada pelat

Beban	Bentang 7,5 m (t = 300 mm)			Bentang 10 m (t = 360 mm)			Bentang 15 m (t = 520 mm)		
	M-Neg (kN-m)	M-Pos (kN-m)	Geser (kN)	M-Neg (kN-m)	M-Pos (kN-m)	Geser (kN)	M-Neg (kN-m)	M-Pos (kN-m)	Geser (kN)
<b>Berat Sendiri</b>	0	49,29	21,55	0	105,8	35,63	0	344,27	79,53
<b>Railing</b>	-16,17	14,20	23,39	-29,45	21,50	26,60	-76,99	44,50	42,40
<b>Susut &amp; Rangkak</b>	-17,21	0	14,95	-22,43	0	24,64	-32,56	0	26,08
<b>Aspal</b>	-4,47	4,81	6,28	-9,97	8,38	9,68	-43,23	26,36	23,58
<b>Lajur</b>	-61,41	87,61	80,48	-96,52	120,39	88,25	-275,19	220,00	175,35
<b>Temp.</b>	-5,64	0	4,54	-6,96	0	6,38	-7,21	0	7,78
<b>Ex (trans)</b>	17,12	4,61	25,29	25,55	4,95	76,37	55,08	5,69	122,87
<b>Ey (long)</b>	47,17	9,27	37,82	63,06	14,77	65,61	101,14	22,86	79,97
<b>SL</b>	-104,9	155,91	151,19	-165,33	256,07	191,18	-435,18	635,13	354,72
<b>UL</b>	-175,79	254,86	250,46	-283,36	403,42	306,46	-776,99	950,84	578,44
<b>UL-Ex</b>	-95,39	192,17	222,71	-161,67	316,49	331,91	-471,42	787,39	585,02
<b>UL-Ey</b>	-74,36	195,43	231,48	-135,42	323,36	324,38	-439,18	799,41	554,99
<b>Max. Value</b>	175,80	254,86	250,46	283,36	403,42	331,91	776,99	950,84	585,02

Tabel 5. Gaya momen dan geser pada *pile cap*

Beban Kombinasi	Bentang 7,5 m (1000x600)			Bentang 10 m (1000x600)			Bentang 15 m (1000x600)		
	M-Neg (kN-m)	M-Pos (kN-m)	Shear (kN)	M-Neg (kN-m)	M-Pos (kN-m)	Shear (kN)	M-Neg (kN-m)	M-Pos (kN-m)	Shear (kN)
<b>SL</b>	-211,05	186,11	538,65	-149,39	114,73	591,79	-148,64	74,60	652,05
<b>UL</b>	-344,75	306,71	903,8	-245,99	186,46	952,66	-231,81	117,00	1002,70
<b>UL-Ex</b>	-84,26	250,11	790,67	-15,17	162,97	916,01	0,54	117,62	1092,02
<b>UL-Ey</b>	-209,13	229,88	707,76	-139,65	139,44	799,93	-125,53	93,11	933,02
<b>Max Value</b>	344,75	306,71	903,80	245,99	186,46	952,66	231,81	117,62	1092,02

Tabel 6. Gaya momen dan aksial pada tiang pancang

Beban Kombinasi	Bentang 7,5 m (4 D600)			Bentang 10 m (5 D600)			Bentang 15 m (6 D600)		
	Mx (kN-m)	My (kN-m)	Axial (kN)	Mx (kN-m)	My (kN-m)	Axial (kN)	Mx (kN-m)	My (kN-m)	Axial (kN)
SL	37,68	109,77	902,13	37,59	113,56	901,67	34,52	136,85	1434,70
UL	59,12	125,02	1476,13	63,07	127,13	1438,13	58,71	155,04	2117,34
UL-Ex	223,58	9,52	399,83	245,48	4,25	280,15	299,08	4,75	266,07
UL-Ey	14,54	178,93	441,25	19,44	190,88	351,31	20,77	255,66	372,94
Max Value	223,58	178,93	1476,13	245,48	190,88	1438,13	299,08	255,66	2117,34

Tabel 7. Hasil disain pada masing-masing jembatan

Bentang		7,5 m (existing)	7,5 m	10 m	15 m	Keterangan
<b>Pelat</b>						
Tebal (mm)			350	300	360	520
Lebar (mm)			1000	1000	1000	1000
Strand no/dia. (mm)			8/12,7	8/12,7	6/25,4	9/25,4 Per 1 meter
<b>Tulangan</b>		atas	d19-125	d19-100	d22-100	d22-60
		bawah	d13-200	d13-75	d16-125	d19-100
<b>Tegangan serat bawah</b>		bentang sederhana	-5,24	-5,53	-7,34	-7,03 Tekan
		bentang menerus	3,63	3,12	1,76	1,99 Tarik
<b>Kapasitas geser (kN)</b>			349,522	271,252	351,198	600,522
<b>Rasio kapasitas geser</b>			0,71	0,92	0,94	0,97 $V_u/\phi V_c$
<b>Pile cap</b>						
<b>Tinggi (mm)</b>			600	600	600	600
<b>Lebar (mm)</b>			1000	1000	1000	1000
<b>Tulangan lentur</b>		tumpuan	8d19	8 d19	7 d19	7 d19
		lapangan	7d19	7 d19	7 d19	7 d19
<b>Tulangan geser</b>		tumpuan	3d13-90	4d12-125	4d12-125	4d12-100
		lapangan	3d13-150	2d12-200	2d12-200	2d12-200
<b>Kapasitas geser (kN)</b>			1550,99	964,35	964,35	1107,73
<b>Rasio kapasitas geser</b>			0,53	0,85	0,89	0,98 $V_u/\phi V_n$
<b>Pile, No</b>						
<b>Kapasitas momen retak (kN-m)</b>			-	220	220	220
<b>Rasio kapasitas momen retak</b>			-	0,51	0,53	0,63 M-SL/Mcr
<b>Kapasitas ijin aksial (kN)</b>			-	2432	2432	2432
<b>Beban aksial layan</b>			-	902,13	901,67	1434,70
<b>Rasio beban aksial: layan ultimit</b>			-	0,37	0,38	0,60 Ps/P-allowable
			-	0,62	0,61	0,88 Pu/P-allowable
<b>Kapasitas momen (kN-m)</b>			-	330	330	330
<b>Ratio kapasitas momen</b>			-	0,69	0,76	0,92 $M_u/\phi M_n$

**Analisis Waktu Pekerjaan Konstruksi Jembatan**

Analisis waktu pekerjaan konstruksi jembatan terbagi menjadi tiga pekerjaan, yaitu pekerjaan pemancangan, pekerjaan *pile cap* dan pekerjaan pemasangan pelat. Analisis ini didapat berdasarkan pengamatan di lapangan dan beberapa informasi dari pengawas di lapangan (Wibawa, 2013).

**Data:**

- Bentang : 7,5 m
- Jumlah baris : 9 baris
- Jumlah titik 1 baris : 8 Titik tiang pancang (1 titik 3 bagian tiang pancang)
- Diameter Tiang : 600 mm

**Alat yang dipakai:**

*Single acting drop hammer*

**Waktu siklus pemancangan:**

- Tiang Bawah = 5 menit
- Pengangkatan tiang = 5 menit
- Pemasangan tiang = 5 menit
- Pemancangan = 5 menit
- Pelepasan = 5 menit
- Total = 20 menit

- Tiang Tengah = 5 menit
- Pengangkatan tiang = 5 menit
- Pemasangan tiang = 5 menit
- Pemancangan = 15 menit
- Pelepasan = 5 menit
- Total = 30 menit

- Tiang Atas = 5 menit
- Pengangkatan tiang = 5 menit
- Pemasangan tiang = 5 menit
- Pemancangan = 25 menit
- Kalendering = 5 menit
- Pelepasan = 5 menit
- Total = 45 menit

Pengelasan Join Tiang Pancang = 40 menit  
 Waktu Pemindahan *Mobile Crane* = 5 menit  
 Waktu yang dibutuhkan untuk pemancangan tiang satu titik (T1)

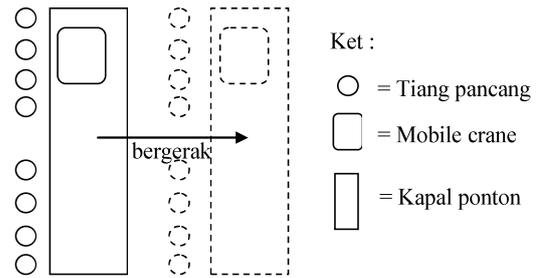
Tiang bawah + pengelasan + tiang tengah + pengelasan + tiang atas

$$T_1 = \frac{20 + 40 + 30 + 40 + 45}{60} = 2,91 \text{ jam} \approx 3 \text{ jam}$$

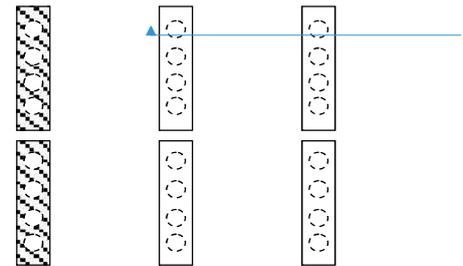
Dalam melakukan perhitungan waktu lamanya pemancangan digunakan waktu siklus pemancangan dengan memperhatikan waktu pasang surut air laut. Perhitungan waktu pemancangan mengacu pada waktu kerja normal yaitu mulai pukul 08.00 hingga 16.00 (8 Jam).

Pergerakan *mobile crane* dilakukan setelah pemancangan dua titik, sedangkan pergerakan dari kapal ponton dilakukan pada saat air laut mengalami pasang dengan waktu tunggu air pasang rata-rata 8 jam per hari. Setelah kapal ponton bergerak menuju baris lainnya, maka dilakukan proses pemancangan.

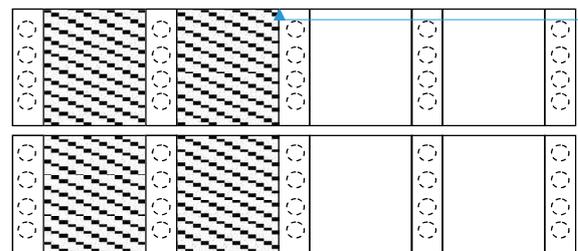
Pekerjaan pemasangan *pile cap* diketahui bahwa kecepatan waktu pengerjaan adalah 2 *pile cap* per hari, sedangkan untuk pekerjaan pemasangan pelat diketahui bahwa kecepatan waktu pengerjaan adalah 4 bentang per hari.



Gambar 6. Pergerakan proses pemancangan



Gambar 7. Proses pekerjaan *pile cap*



Gambar 8. Proses pekerjaan pemasangan pelat

Tabel 8. Analisis waktu pemancangan satu baris

Bentang	Waktu Analisis (menit)			Ket.
	7,5 m	10 m	15 m	
Jumlah titik tiang per baris	8	10	12	buah
Pemancangan tiang per baris	1440	1800	2160	
Pergerakan mobile crane per baris	20	25	30	
<b>Total waktu pemancangan</b>	1460	1825	2190	
<b>Total waktu pemancangan (hari)</b>	3,04	3,80	4,56	1 hari = 8 jam

Tabel 9. Analisis waktu konstruksi untuk 60 m

Bentang	Waktu Analisis (hari)			Ket.
	7,5 m	10 m	15 m	
Jumlah baris per 60 m	9	7	5	buah
Pemancangan pada 60 m	27,36	26,6	22,8	
Jumlah pergerakan kapal ponton	8	6	4	kali
Waktu pergerakan kapal ponton	8	6	4	
Waktu pekerjaan <i>pile cap</i>	9	7	5	
Waktu pekerjaan pelat	4	3	2	
<b>Total waktu pekerjaan</b>	48,36	42,6	33,8	
Efisien waktu terhadap 7,5 m	-	5,76	14,56	

Dari Tabel 9 terlihat bahwa waktu pemancangan dalam dua lajur untuk masing-masing bentang adalah 27,36, 26,6, dan 22,8 hari, dengan waktu pergerakan kapal ponton pada masing-masing bentang adalah 8, 6, dan 4 hari. Dengan asumsi awal bahwa waktu tunggu pasang terjadi setiap 8 jam per hari. Waktu pekerjaan *pile cap* pada masing-masing adalah 9, 7, dan 5 hari. Penjelasan adalah: kecepatan pekerjaan *pile cap* adalah 2 *pile cap* per hari dengan jumlah *pile cap* untuk 2 jalur pada masing-masing bentang adalah 18, 14, dan 10 buah. Sedangkan untuk pekerjaan pemasangan pelat pada bentang 7,5 m, 10 m dan 15 m adalah 4, 3, dan 2 hari. Penjelasan adalah kecepatan *pile* adalah 4 bentang per hari dengan jumlah bentang untuk 2 jalur pada masing-masing bentang adalah 16, 12, 8 buah.

**Analisis Efisiensi Jembatan**

Analisis efisiensi pada masing-masing jembatan dilakukan perbandingan antara waktu pekerjaan konstruksi jembatan, volume dan biaya struktur pada masing-masing jembatan.

Tabel 10. Volume struktur masing-masing jembatan

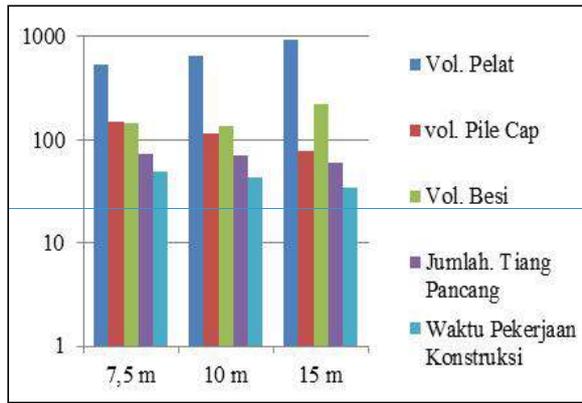
Bentang	Volume Struktur (m <sup>3</sup> )		
	7,5 m	10 m	15 m
<b>Pelat</b>	540	648	936
<b>Pile cap</b>	150	114	77
<b>Besi Tulangan</b>	1,5	1,6	2,5
<b>Tiang Pancang (buah)</b>	72	70	60

Tabel 11. Asumsi harga struktur

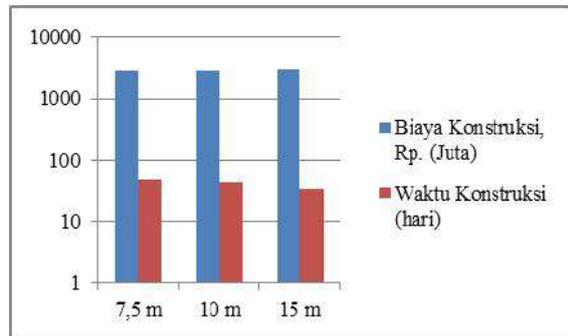
Material	Harga/ m <sup>3</sup> (Rp.)	Ket.
<b>Beton Mutu 41,5 MPa</b>	1.200.000	
<b>Beton Mutu 35 MPa</b>	980.000	
<b>Besi Tulangan</b>	9.600	Per kilo gram
<b>Tiang Pancang (buah)</b>	750.000	Per meter

Tabel 12. Biaya struktur jembatan

Struktur	Biaya Struktur (Rp.)		
	7,5 m	10 m	15 m
<b>Pelat</b>	648.000.000	777.600.000	1.123.200.000
<b>Pile cap</b>	147.000.000	111.720.000	75.460.000
<b>Tulangan</b>	126.000.000	134.400.000	210.000.000
<b>Tiang</b>	1.890.000.000	1.837.500.000	1.575.000.000
<b>Total</b>	2.811.000.000	2.861.220.000	2.983.660.000

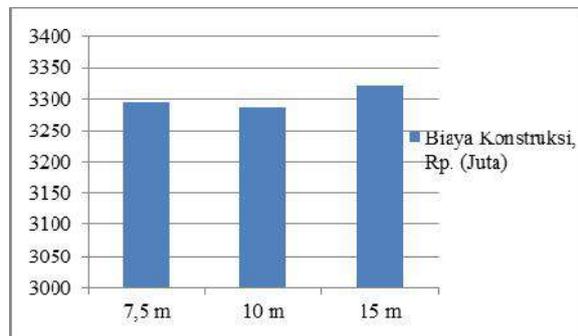


Gambar 8. Perbandingan waktu dan volume



Gambar 9. Perbandingan biaya dan waktu konstruksi

Biaya waktu konstruksi diasumsikan bahwa satu hari pekerjaan biaya yang dihabiskan adalah Rp.10.000.000,00.-. Waktu konstruksi pada masing-masing bentang adalah 48,36, 42,6 dan 33,8 hari, sehingga biaya waktu konstruksi pada masing-masing bentang adalah Rp.483.600.000,00.-, Rp.426.000.000,00.- dan Rp.338.000.000,00.-.



Gambar 10. Perbandingan biaya konstruksi pada masing-masing bentang

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Efisiensi perencanaan jembatan dengan bentang bervariasi telah dilakukan dengan variasi bentang 7,5 m (existing), 10 m dan 15 m. Dari hasil analisis masing-masing bentang diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Dari dimensi struktur, diperoleh bahwa tebal pelat pada bentang 7,5 m, 10 m, dan 15 m adalah 300 mm, 360 mm, 520 mm. Sedangkan untuk *pile cap* pada bentang 7,5 m, 10 m dan 15 m adalah sama yaitu 1000x600 mm dengan jumlah tiang pancang untuk satu *pile cap* pada bentang 7,5 m, 10 m, dan 15 m adalah 4, 5, dan 6 buah.
2. Pada kondisi di proyek diketahui bahwa tebal pelat adalah 350 mm, sedangkan dari hasil analisis didapatkan tebal pelat adalah 300 mm. Disimpulkan bahwa tebal pelat kurang efisien dari segi volume pelat.
3. Volume pelat pada ketiga bentang bahwa pada bentang 7,5 m memiliki volume pelat lebih efisien dibandingkan bentang 10 m dan 15 m, yaitu 540, 648 dan 936 m<sup>3</sup>.
4. Volume *pile cap* pada ketiga bentang bahwa bentang 15 m memiliki volume *pile cap* lebih efisien dibandingkan bentang 7,5 m dan 10 m, yaitu 77, 150, dan 114 m<sup>3</sup>.
5. Jumlah tiang pancang pada ketiga bentang bahwa bentang 15 memiliki jumlah tiang lebih efisien dibandingkan bentang 7,5 m dan 10 m yaitu 60, 72 dan 70 buah.
6. Jumlah waktu pekerjaan konstruksi pada ketiga bentang bahwa bentang 15 m waktu pekerjaannya lebih cepat dibandingkan bentang 7,5 dan 10 m.
7. Efisien waktu terhadap bentang 7,5 m pada bentang 10 m dan 15 m memiliki selisih waktu adalah 5,76 dan 14,56 hari, sehingga bentang 15 m memiliki saving time lebih banyak.
8. Biaya konstruksi pada masing-masing bentang adalah Rp.2.811.000.000,00.-, Rp.2.861.220.000,00.- dan Rp.2.983.660.000,00.-.
9. Jika dilihat dari total biaya, bentang yang paling efisien adalah bentang 10 m dengan biaya seluruh konstruksi adalah Rp.3.287.220.000,00.-. Penghematan biaya

seluruh konstruksi terhadap bentang 7,5 m dan 15 m adalah Rp.7.380.000,00.- dan Rp.34.440.000,00.-

### Saran

Perlu adanya studi analisis terhadap biaya waktu konstruksi dan studi analisis terhadap perilaku dan kinerja struktur jembatan pada masing-masing bentang.

### DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO LRFD. 2012. Bridge Design Specification 6th. American Association of State Highway and Transportation Official, Washington, D.C.
- PT. Lapi Ganeshatama Consulting. Laporan Disain Struktur Pembangunan Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa. Bandung.
- Badan Standar Nasional. 2005. Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T 02-2005). Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2008. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan (SNI 2833:2008). Jakarta.
- Badan Standar Nasional. 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002). Jakarta.
- Computer and Structures, Inc. 2011. CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSi Bridge. Berkeley, California, USA. Badan Standar Nasional. 2004. Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan (RSNI T-12-2004). Jakarta.
- Computer and Structures, Inc. 2011. CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSi Bridge. Berkeley, California, USA.
- Lin, T.Y. and Burns, N.H. 1981. Disain of Prestressed Concrete Structures. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York
- Nilson, A.H. 1987. Design of Prestressed Concrete Second Editions. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York
- Stewart, J.P., Fenves, G.L., and Seed, R.B. (1999). "Seismic soil-structure interaction in buildings: I Analytical Methods." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, P26-27.

- Supriyadi, B. & Muntohar, A.S. (2000), Jembatan, Beta Offset, Yogyakarta.
- Wibawa, G.A. (2013). Laporan Kerja Praktek Proyek Pembangunan Jalan Tol Nusa Dua-Ngurah Rai-Benoa Paket 2. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Bali.