

## KEKAKUAN LATERAL STRUKTUR PELENGKUNG TEGAK DAN MIRING PADA JEMBATAN PELENGKUNG TERIKAT

Made Sukrawa<sup>1</sup>, I Nyoman Sugita<sup>1</sup>, dan Bobby Benniardi Hadi<sup>2</sup>

**Abstrak:** Untuk meneliti kekakuan lateral jembatan pelengkung, modifikasi terhadap bentuk geometris struktur pelengkung telah dilakukan dengan memiringkan secara perlahan-lahan pelengkung tegak dengan variasi kemiringan yang dinyatakan dengan perbandingan dimensi horisontal dan vertikal pelengkung. Tiga tipe kemiringan pelengkung ditinjau yakni: T1, 3/28,5; T2, 5/28,5; T3, 7/28,5. Data awal penampang dari struktur jembatan yang dianalisis dan didesain diambil dari gambar rencana Jembatan Tukad Unda.

Pemodelan, analisis dan desain struktur jembatan dengan pelengkung tegak dan miring mempergunakan software SAP2000 Versi 8.08. Sebelum jembatan pelengkung tegak dan miring dibandingkan, struktur dirancang untuk memenuhi syarat kekuatan yang diukur dengan rasio tulangan yang diperlukan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kemiringan pelengkung sangat berpengaruh terhadap kekakuan lateral struktur. Semakin miring struktur pelengkung, semakin besar kekakuan lateralnya. Komponen struktur yang paling dipengaruhi oleh miringnya pelengkung adalah ikatan angin dan balok induk. Semakin miring pelengkung, maka gaya-gaya dalam pada ikatan angin semakin mengecil. Hal sebaliknya terjadi pada balok induk dimana gaya-gaya dalam pada balok membesar dengan bertambahnya kemiringan pelengkung. Simpangan lateral pelengkung dengan kemiringan terbesar, T3 hanya 33% dari simpangan lateral pelengkung tegak.

Kata kunci: kekakuan lateral jembatan, pelengkung tegak, pelengkung miring, beton bertulang.

## LATERAL STIFFNESS OF VERTICAL AND SLANT ARCHES OF TIED ARCH BRIDGES

**Abstract:** To investigate lateral stiffness of reinforced concrete arch bridges, modification of arch geometry from vertical to slant is done by varying its slope with horizontal to vertical ratios of: T1, 3/28.5; T2, 5/28.5; T3, 7/28.5. Initial dimension for the arch is taken from the detail plan of Tukad Unda Bridge.

Modeling, analysis, and design of the bridge structure with vertical and slant arch is conducted using software SAP2000 version 8.08. All structures are designed to satisfy all strength requirements (measured by steel ratio) before comparing its lateral stiffness.

Results show that the slopes of the arches significantly affect the lateral stiffness of the structures. The bigger the slope, the higher the lateral stiffness of the structure. Structural component affected the most are wind braces and main beams. The internal forces in wind braces decrease as the arch slope increase. In contrary, the internal forces in main beams increase with bigger arch slope. Lateral displacement of slant arch is much less than that of vertical arch and the displacement of arch with biggest slope is about 33% of that of vertical arch.

Keywords: lateral stiffness of arch bridge, vertical arch, slant arch, reinforced concrete.

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

<sup>2</sup> Alumnus Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

## PENDAHULUAN

Jembatan merupakan elemen penting dalam transportasi dan juga berfungsi sebagai kontrol kapasitas. Kegagalan pada jembatan dapat menyebabkan kegagalan sistem transportasi dimana jembatan tersebut berada. Pembuatan dan perbaikan suatu jembatan membutuhkan biaya yang besar, sehingga unsur kekuatan dan stabilitas merupakan hal yang paling penting, disamping kemampuan pelaksanaan, kemudahan pelaksanaan, ekonomi dan nilai-nilai estetika jembatan tersebut.

Struktur jembatan tipe pelengkung telah banyak digunakan di berbagai negara karena, selain efektif memikul beban, juga mempunyai nilai estetika yang tinggi. Beberapa jembatan pelengkung mengalami perkembangan segi bentuk, material, dimensi, kemiringan, dan lain-lain

Rencana jembatan Tukad Unda merupakan salah satu jembatan pelengkung tegak beton bertulang yang direncanakan berlokasi di bekas galian C Gunaksa, Klungkung. Selain pelengkung tegak, banyak juga dibangun pelengkung miring di Jepang. Contoh jembatan pelengkung miring diantaranya Osaka Monorail Yodo River Bridge, 2<sup>nd</sup> Mameyaki Bridge, Kishiwada Bridge, Kirakira Bridge, Meiwa Bridge dan Shinhamadera Bridge.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kemiringan pelengkung pada jembatan pelengkung terhadap kekuatan dan kekakuan lateral struktur jembatan. Kekuatan struktur diukur dari dimensi dan luas tulangan yang dibutuhkan sedangkan kekakuan struktur dilihat dari nilai simpangan yang terjadi pada puncak pelengkung. Penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam perencanaan struktur jembatan pelengkung.

Pembahasan kekuatan dan kekakuan lateral struktur pelengkung yang ditinjau terbatas pada struktur beton bertulang dengan berbagai kemiringan pelengkung, tanpa meninjau segi ekonominya. Posisi pelengkung menerus mulai dari di bawah lantai kendaraan sampai di atas lantai

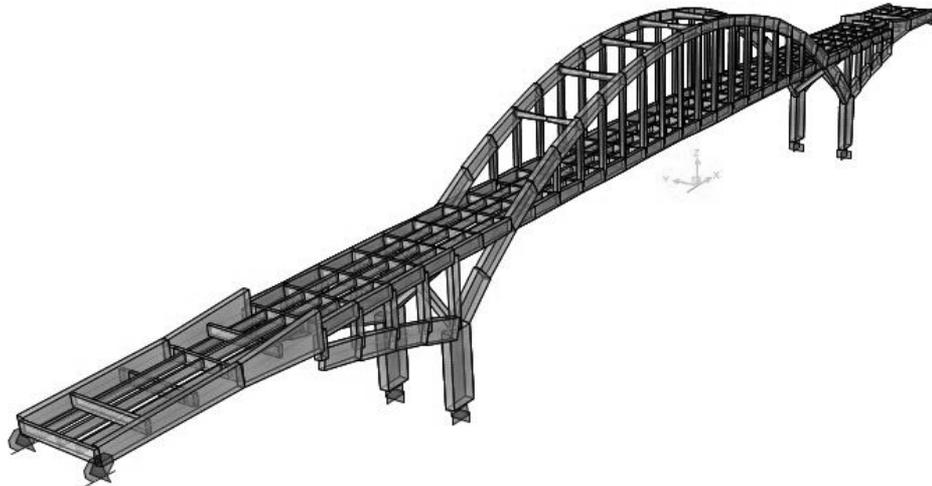
kendaraan seperti tampak pada Gambar 1. Pembahasan dibatasi pada perencanaan terhadap struktur utama, yaitu pelengkung, balok induk, kolom dan ikatan angin. Data awal penampang menggunakan gambar rencana jembatan Tukad Unda dimana, struktur pelengkungnya yang tegak secara bertahap dimiringkan dengan variasi kemiringan dinyatakan dengan rasio horizontal dan vertikal sebagai berikut: T1, 3/28,5; T2, 5/28,5; T3, 7/28,5

## MATERI DAN METODE

### Jembatan Tukad Unda

Perencanaan Jembatan Tukad Unda berupa jembatan pelengkung terikat (*tied arch*) dengan posisi jembatan yang tidak tegak lurus terhadap sungai (*skew*). Pembangunan jembatan ini terdiri dari 2 tahap. Untuk alasan tersebut, jembatan Tukad Unda dibangun dengan 3 buah pelengkung dengan jarak antar pelengkung 9,5m.

Lantai kendaraan jembatan dengan tebal pelat lantai 215 mm memiliki panjang total 200 m, sedangkan panjang dan tinggi pelengkung masing-masing adalah 110 m dan 23 m. Pelengkung yang satu dan yang lainnya dihubungkan oleh balok melintang dan balok diafragma. Jarak antara balok melintang adalah 5 m dan jarak antara balok diafragma adalah 10 m. Disamping balok melintang, terdapat pula balok memanjang dengan jarak antar balok adalah 2.2 m. Balok induk dan balok memanjang dibuat melengkung dengan kemiringan 2%. Pelengkung dan balok induk dihubungkan oleh kolom-kolom dengan jarak antar kolom adalah 5 m. Tipe abutment yang digunakan adalah konterfort sedangkan pondasi jembatan menggunakan tiang-tiang bor dengan diameter 1,5 m. Material struktur yang digunakan adalah beton bertulang, dengan mutu beton 35 MPa. Mutu baja untuk tulangan berdiameter 12 dan 16 mm adalah 320 MPa, sedangkan untuk diameter yang lebih besar dari 16 mm adalah 400 MPa.



**Gambar 1. Tampak Isometri Jembatan Pelengkung Tegak**

**Pembebanan Jembatan**

Pembebanan struktur menggunakan BMS (Bridge Management System) Bagian 2 yang meliputi beban mati, beban hidup dan beban akibat aksi lingkungan.

**Beban Mati**

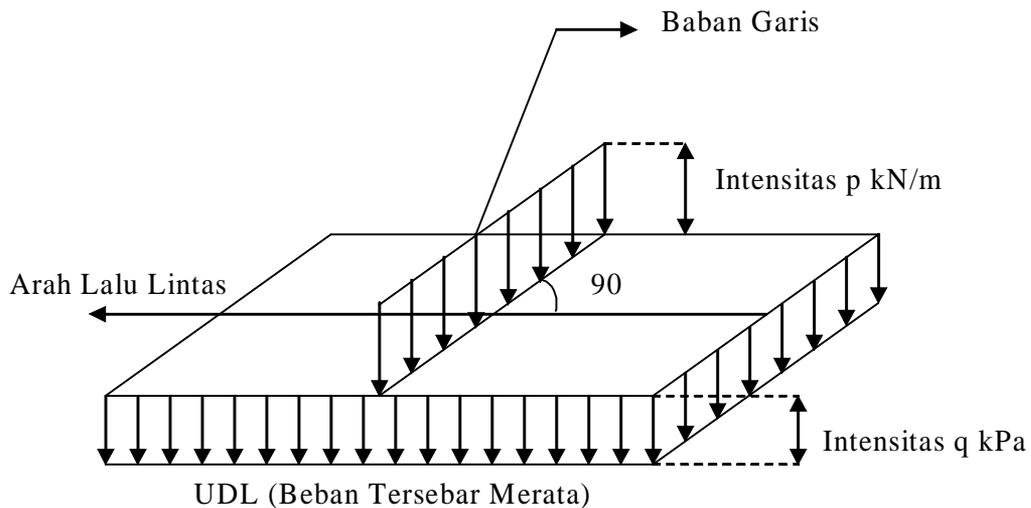
Beban mati jembatan meliputi berat masing-masing bagian struktur dan elemen-elemen non-struktur. Beban mati terdiri dari Berat sendiri dan Beban Mati Tambahan.

**Beban Hidup**

Beban hidup yang ditinjau berupa beban lalu-lintas yang terdiri dari Beban Lajur “D” dan Beban Truk “T”.

**Beban Lajur “D”**

Beban lajur “D” terdiri atas Uniform Distributed Load (UDL) dengan intensitas q, yang digabung dengan Knife Edge Load (KEL) dengan intensitas p, seperti terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2. Beban Lajur D**

Besarnya q untuk  $L > 30$  m:

$$q = 8 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$$

Susunan penempatan pembebanan UDL dapat dilihat pada Gambar 2.5 BMS 1992, Bagian 2, dengan besaran p 44 KN/m yang ditempatkan tegak lurus dari arah lalu lintas pada jembatan.

### Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as pada gambar 2.7 BMS1992 Bagian 2. Menurut BMS 1992 Bagian 2 menyatakan hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana, yang harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana. Untuk lebar jalur kendaraan berkisar antara 5,5 m sampai 8,25 m, jumlah lajur lalu lintas rencana adalah dua.

### Beban Dinamis (DLA)

Faktor beban dinamis (DLA) merupakan interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Berdasarkan Gambar 2.8 BMS 1992 Bagian 2, bila panjang bentang ekivalen ( $L_e$ ) lebih besar dari 90 m nilai DLA adalah 0,3. Untuk pembebanan truk, nilai DLA diambil 0,3.

### Gaya Rem

Tanpa melihat berapa besarnya lebar bangunan, gaya memanjang yang bekerja pada struktur yang panjangnya lebih dari 180 m adalah 500 kN. Ketentuan ini dapat dilihat pada Gambar 2.9 BMS 1992 Bagian 2.

### Beban pada Trotoar dan Sandaran

Besarnya intensitas beban (I) untuk trotoar ditentukan oleh BMS 1992 Bagian 2 pada gambar 2.10.

### Aksi Lingkungan

#### Beban Angin

Menurut BMS, besar gaya nominal ultimate dan daya layan jembatan akibat angin adalah sebagai berikut:

$$T_{ew} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ kN}$$

Dimana:

$V_w$  : kecepatan angin rencana (m/dt) untuk keadaan batas ultimate yang diambil sebesar 30 m/s untuk lokasi dengan jarak kurang dari 5 km dari pantai (tabel 2.10 BMS 1992 Bagian 2).

$C_w$  : koefisien seret, diambil sebesar 1,2 untuk tipe jembatan bangunan atas rangka (pada tabel 2.9 BMS 1992 Bagian 2)

$A_b$  : luas bagian samping jembatan ( $m^2$ ).

Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, beban garis merata tambahan harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{ew} = 0,0012 C_w (V_w)^2 \text{ (kN/m)}$$

dimana:  $C_w = 1,2$

#### Pengaruh Air

Menurut BMS1992 Bagian 2, gaya seret normal daya layan akibat aliran air yang terjadi adalah menurut persamaan:

$$T_{EF} = 0,5.C_D.(V_S)^2.A_D \text{ kN}$$

Dimana:

$C_D$  : Koefisien seret sebesar 1.4 (Gambar 2.12 BMS 1992 Bagian 2);

$V_S$  : Kecepatan air rata-rata (m/dt) untuk keadaan batas yang ditinjau. Kecepatan batas harus dikaitkan dengan periode ulang dalam Tabel 2.7 BMS 1992 Bagian 2.

$A_D$  : Luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran ( $m^2$ ), dengan ketinggian sama dengan kedalaman air.

Gaya yang terjadi akibat benda hanyutan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T_{EF} = 0,5.C_D.(V_S)^2.A_D \text{ kN}$$

Dimana:  $C_D = 1,04$ ;  $A_D$  = Luas proyeksi dari benda hanyutan tegak lurus arah aliran.

Apabila sungai membawa benda-benda hanyutan yang cukup besar, seperti batang kayu, maka harus dihitung dengan menganggap bahwa batang dengan masa minimum sebesar 2 ton hanyut pada kecepatan aliran rencana, sebagai berikut

$$T_{EF} = \frac{M.(V_a)^2}{d} \text{ kN}$$

Dimana:

$M$  : massa batang kayu (2 ton);

$V_a$  : kecepatan air permukaan (m//dt);

$d$  : lendutan elastis ekivalen yang nilainya sebesar 0,15 m.

Gaya akibat tumbukan kayu dengan benda akibat hanyutan lainnya jangan

diambil secara bersamaan. Gaya akibat tumbukan kayu harus ditinjau secara bersamaan dengan gaya angkat dan gaya seret.

**Pengaruh Gempa**

Menurut BMS 1992 Bagian 2, beban rencana gempa minimum diperoleh dengan menggunakan persamaan gempa statik ekuivalen sebagai berikut:

$$T_{eq} = K_h \cdot I \cdot W_t$$

$$K_h = C \cdot S$$

Dimana:

$T_{eq}$  : gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau.

$K_h$  : koefisien beban gempa horisontal.

$C$  : koefisien geser dasar untuk daerah waktu dan kondisi setempat yang sesuai.

$I$  : faktor kepentingan.

$S$  : faktor tipe bangunan.

$W_t$  : berat bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan

**Faktor Beban dan Kombinasi Beban**

Faktor beban dan kombinasi beban yang digunakan mengacu pada BMS Bagian 2. Faktor beban dan kombinasi beban yang digunakan terdapat pada Tabel 1 dan 2.

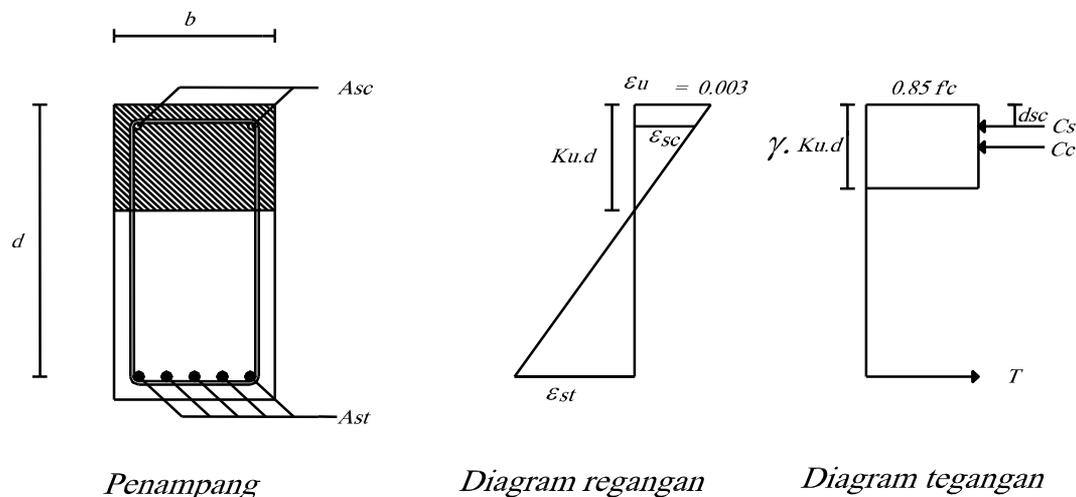
**Tabel 1. Faktor beban pada keadaan ultimate**

No	Aksi	Lamanya waktu	Faktor Beban (Ultimate)
1	Berat sendiri	Tetap	1,3
2	Beban mati tambahan	Tetap	2
3	Beban lajur " D "	Transien	2
4	Beban truk " T "	Transien	2
5	Gaya rem	Transien	2
6	Beban trotoar	Transien	2
7	Aliran/benda hanyutan	Transien	2
8	Angin	Transien	1,2
9	Gempa	Transien	1

**Tabel 2. Kombinasi Beban Ultimate**

	Aksi	Kombinasi Beban Ultimate					
		1	2	3	4	5	6
Aksi Tetap	Berat sendiri	x	x	x	x	x	x
	Beban mati tambahan						
Aksi Transien	Beban lajur " D " atau Beban truk " T "	x	o	o	o		
	Gaya rem	x	o	o	o		
	Beban pejalan kaki		x				
	Aliran/hanyutan	o		x	o		o
	Beban angin	o			x		o
Aksi lain	Gempa					x	
Catatan : x Memakai faktor beban dalam keadaan batas ultimate o Memakai faktor beban dalam keadaan batas daya layan yang besarnya 1 (satu)							

**Desain Penampang (Penulangan Lentur)**



**Gambar 3. Diagram tegangan dan regangan penampang balok**

Desain penampang beton mengacu pada tata cara dalam BMS Bagian 5, yaitu Perencanaan Komponen Beton. Momen ultimate penampang balok bertulangan rangkap, sebagai berikut:

$$M_u = K_c^R \cdot (C_s \cdot (d - d_{sc}) + C_c \cdot (d - 0,5 \cdot K_u \cdot d))$$

Dimana:

$$K_u = \frac{-U1 \pm \sqrt{U1^2 + 4 \cdot U2}}{2}$$

$$U1 = \frac{(A_{sc} \cdot E_s \cdot \epsilon_u - A_{st} \cdot f_{sy})}{(0,85 \cdot f'_c \cdot \gamma \cdot b \cdot d)}$$

$$U2 = \frac{(A_{sc} \cdot E_s \cdot \epsilon_u \cdot d_{sc})}{(0,85 \cdot f'_c \cdot \gamma \cdot b \cdot d^2)}$$

**Penulangan Geser**

Penulangan geser dari gelegar beton bertulang menggunakan BMS 1992 Bagian 5.

Batas atas dari kekuatan geser ( $V_{u,max}$ ).

Batas ini bertujuan agar pelelehan sengkang geser akan terjadi sebelum kehancuran beton dalam daerah tekan, yang besarnya diberikan oleh persamaan:

$$V_{u,max} = 0,2 \cdot f'_c \cdot b_v \cdot d_o$$

Dimana:

$b_v$ : lebar badan gelegar

$d_o$ : jarak antara serat tekan terjauh dan titik berat tulangan tarik.

Bagian beton untuk kekuatan geser ultimate ( $V_{uc}$ ), dihitung pada potongan kritikal dengan rumus:

$$V_{uc} = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot b_v \cdot d_o \cdot \left( \frac{A_{st} \cdot f'_c}{b_v \cdot d_o} \right)^{0,5}$$

Dimana:

$$1 = 1,4 - (d_o/2000) \geq 1,1$$

$$2 = 1; \text{ atau}$$

$$= 1 - N^*/(3,5 \cdot A_g) \geq 0 \text{ untuk elemen dengan tarikan aksial besar, } N^*$$

$$= 1 + N^*/(14 \cdot A_g), \text{ untuk elemen dengan tekanan aksial besar, } N^*$$

$$3 = 1; \text{ atau dapat diambil sebesar:}$$

$$= 2 \cdot d_o/a_v \text{ tetapi tidak lebih dari 2,}$$

kecuali bila beban yang bekerja dan perletakan terkumpul sedemikian sehingga menyebabkan tekanan diagonal dengan panjang  $a_v$ .

$A_{st}$  : Luas penampang tulangan memanjang dalam daerah tarik dan terjangkar penuh pada potongan melintang yang ditinjau.

$b_v$  : Lebar badan gelegar.

$f'_c$  : kekuatan tekan karakteristik silinder pada 28 hari.

$d_o$  : jarak dari serat tekan terjauh dan titik berat tulangan tarik.

Kekuatan geser ultimate gelegar dengan tulangan geser minimum  $A_{sv,min}$ , harus diambil sebesar:

$$V_{u,min} = V_{uc} + 0,6 \cdot b_v \cdot d_o$$

Tulangan geser minimum.

Apabila gaya geser yang dipikul ( $V^*$ ), lebih kecil dari  $K_c^R \cdot V_{min}$ , namun lebih

besar dari  $K_C^R \cdot V_{UC}$ . maka dipasang luas tulangan geser minimum ( $A_{svmin}$ ), diberikan oleh persamaan:

$$A_{svmin} = 0,35 \cdot \left( \frac{b_v \cdot S}{f_{sy,f}} \right)$$

Tulangan geser tidak diperlukan apabila  $V^*$  lebih kecil dari  $K_C^R V_{UC}$ . Apabila gaya geser yang dipikul ( $V^*$ ), lebih besar dari  $K_C^R \cdot V_{u,min}$ , maka luas tulangan geser dihitung sebagai berikut:

$$A_{sv} = \frac{V_{us} \cdot S}{f_{sy}}$$

Dimana  $V_{us} = \frac{V^*}{K_C^R} - V_{uc}$

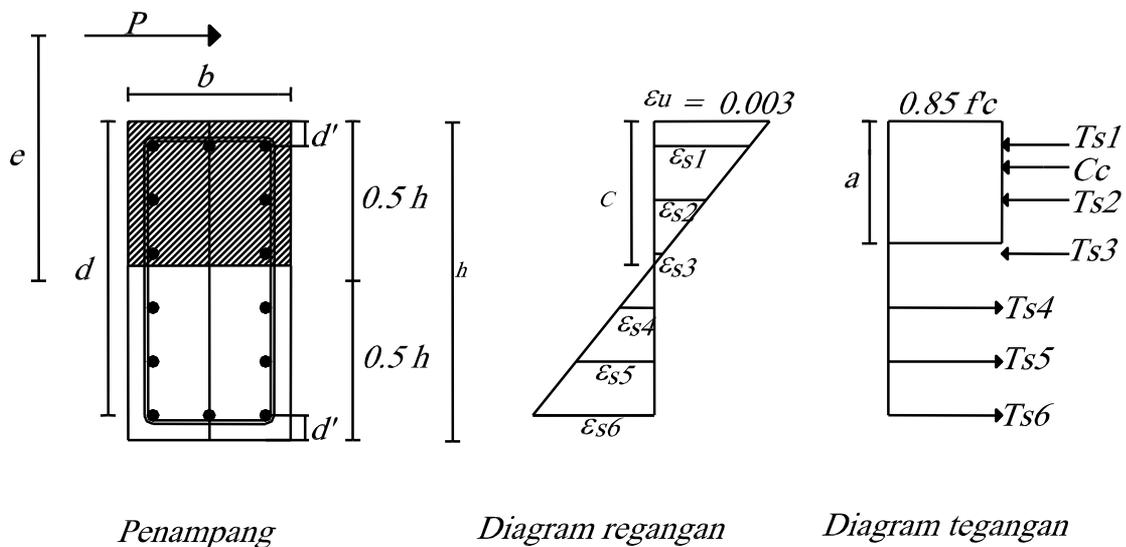
$K_C^R$  : faktor reduksi kekuatan untuk geser yang besarnya 0,7.  
 S : jarak sengkang yang dihitung dari pusat ke pusat tulangan.

**Penulangan Lentur dan Aksial**

Kolom yang terbebani dengan gaya aksial P dan momen M, gaya aksial dan momen ini dapat digantikan oleh gaya P yang bekerja dengan eksentrisitas  $e = M/P$ .

Gambar 4 memperlihatkan diagram penampang kolom beton bertulang yang memikul beban aksial dan lentur. Pada regangan beton pada serat tekan terluar sebesar  $\epsilon_u$  dan kedalaman garis netral c maka regangan baja  $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_{s3} \dots$  dapat ditentukan dengan persamaan segitiga dari diagram regangan. Secara umum regangan baja ke i didapat dengan persamaan:

$$\epsilon_{si} = \epsilon_u \cdot \frac{Ku \cdot d - di}{Ku \cdot d}$$



**Gambar 4. Diagram tegangan – regangan kolom**

Tegangan  $f_{s1}, f_{s2}, f_{s3} \dots$  dapat ditentukan berdasarkan regangan  $\epsilon_{s1}, \epsilon_{s2}, \epsilon_{s3} \dots$  dengan memperhatikan kurva tegangan regangan baja. Gaya – gaya batang baja dan gaya tekan beton dapat ditentukan dengan persamaan:

$T_{si} = f_{si} \cdot A_{si}$

$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b$

Persamaan kesetimbangan statis gaya – gaya dalam dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_n = C_c \pm \sum_{i=1}^n T_{si} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \pm \sum_{i=1}^n A_{si} \cdot f_{si}$$

$$P_n \cdot e = C_c \cdot (c - 0,5 \cdot a) \pm \sum_{i=1}^n A_{si} \cdot f_{si} \cdot (c - di)$$

(24)

**Metode**

Hal pertama yang dilakukan adalah menganalisis dan merencanakan jembatan dengan pelengkung tegak yang data-datanya mengacu kepada gambar rencana Jembatan Tukad Unda. Apabila elemen-elemen struktur utama pelengkung tegak telah memenuhi syarat kekuatan, maka tahap berikutnya adalah melakukan analisis dan desain terhadap struktur jembatan pelengkung miring tipe 1, tipe 2 dan tipe 3 yang data-datanya mengacu kepada pelengkung tegak.

Kemiringan pelengkung dinyatakan dengan perbandingan horisontal dan vertikal, dimana kemiringan pelengkung untuk jembatan pelengkung tipe 1, tipe 2 dan tipe 3 masing masing adalah 1,5/14,24; 2,5/14,24 dan 3,5/14,24. Setelah pelengkung miring memenuhi syarat kekuatan, maka kekuatan dan simpangan lateral pelengkung tegak dan miring tersebut dibandingkan.

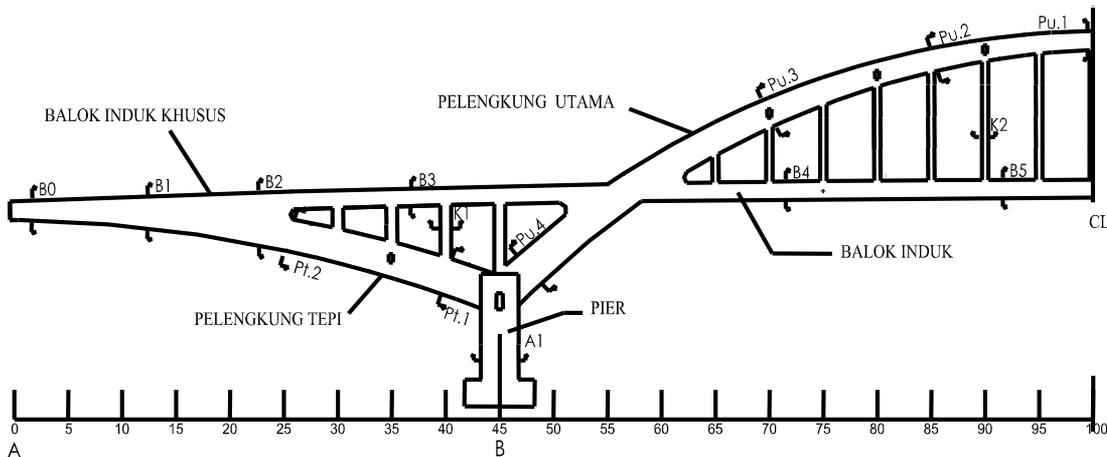
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Desain Jembatan Tukad Unda**

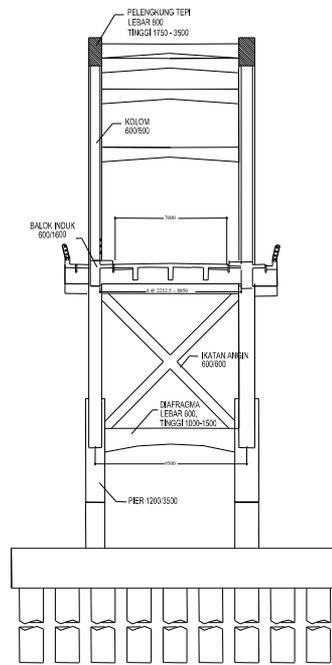
Hasil desain terhadap penampang Jembatan Tukad Unda dapat dilihat pada Tabel 3. Potongan melintang dan memanjang Jembatan Tukad Unda dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

**Tabel 3. Hasil Desain Jembatan Tukad Unda**

Elemen Struktur	Dimensi awal		Dimensi baru	
	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)
<b>Pelengkung utama</b>				
Penampang Pu.1	0,8	1,75	0,8	1,3125
Penampang Pu.2	0,8	2,146	0,8	1,6095
Penampang Pu.3	0,8	2,612	0,8	1,9589
Penampang Pu.4	0,8	3,56	0,8	2,67
<b>Pelengkung tepi</b>				
Penampang Pt.1	0,8	3,3696	0,8	2,5272
Penampang Pt.2	0,8	2,922	0,8	2,1915
<b>Balok Induk</b>				
Penampang B3	0,6	1,6	0,6	1,6
Penampang B4	0,6	1,6	0,6	1,6
Penampang B5	0,6	1,6	0,6	1,6
<b>Balok Induk Khusus</b>				
Penampang B1	0,8	1,875	0,8	1,875
Penampang B2	0,8	2,4	0,8	2,4
Penampang B3	0,8	4,3201	0,8	4,3201
K1	0,6	1	0,8	1
K2	0,6	0,6	0,6	0,6
<b>Pier (A1)</b>	1,2	3,5	1,2	3,5



**Gambar 5. Potongan Memanjang Jembatan Tukad Unda**



**Gambar 6. Potongan Melintang Jembatan Tukad Unda**

**Hasil Desain Pelengkung Tegak Dan Miring**

Hasil perencanaan terhadap penampang pelengkung tegak dan pelengkung miring dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5. Model struktur pelengkung miring dengan dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7. Model Pelengkung Miring**

**Tabel 4. Rasio tulangan penampang kritis pelengkung tegak dan miring**

Elemen Struktur	Tegak	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3	Comb Beban
Ikatan Angin	5,198	4,175	3,650	3,002	5
K1	4,100	3,989	3,975	3,951	1
K2	3,667	3,641	3,664	3,712	1
Pelengkung Utama	2,540	2,530	2,647	2,68	1
Balok Induk	4,006	4,220	4,345	4,500	5
Balok Induk Khusus	3,379	3,397	3,427	3,469	1

Pada Tabel 5 terlihat bahwa K1, K2, Pelengkung Utama dan Balok Induk Khusus memiliki gaya-gaya dalam yang hampir sama. Hal ini berarti bahwa elemen-elemen struktur tersebut memiliki kekuatan yang hampir sama. Semakin miring pelengkung, maka gaya-gaya dalam yang terjadi pada Ikatan Angin semakin kecil, sebaliknya pada Balok Induk semakin besar. Pertambahan rasio tulangan Balok Induk akibat beban gempa pada setiap pertambahan kemiringan disebabkan oleh meningkatnya gaya aksial dan momen ( $Mu3$ ). Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

**Tabel 5. Persentase rasio tulangan penampang kritis**

Elemen Struktur	% terhadap pelengkung tegak		
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
Ikatan Angin	80,32	70,22	57,75
K1	97,29	96,95	96,37
K2	99,29	99,92	101,23
Pelengkung Utama	99,61	104,21	105,51
Balok Induk	105,34	108,46	112,33
Balok Induk Khusus	100,53	101,42	102,66

**Tabel 6 Gaya-gaya dalam balok induk**

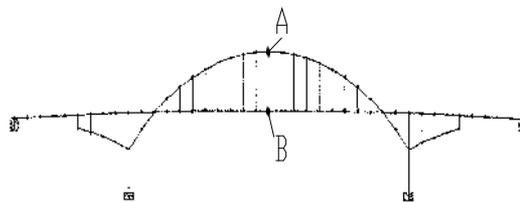
Jenis	Gaya Dalam Akibat Kombinasi 5		
	P (t)	$Mu2$ (tm)	$Mu3$ (tm)
Tegak	550,12	-33,77	-389,06
Tipe 1	559,22	-31,39	-409,06
Tipe 2	620,59	-29,42	-426,27
Tipe 3	635,50	-27,09	-446,11

**Tabel 7. Persentase gaya dalam balok induk**

Gaya Dalam	Persentase (%) terhadap pelengkung tegak		
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
P	108,92	112,81	115,52
$Mu2$	92,93	87,11	80,21
$Mu3$	105,14	109,56	114,67

**Simpangan Lateral**

Simpangan lateral yang ditinjau adalah simpangan pada titik A dan B (Gambar 8) akibat beban gempa. Titik A mengalami simpangan lateral terbesar yang disebabkan oleh beban lateral akibat gempa. Lendutan (deformasi) yang ditinjau adalah lendutan pada titik B akibat beban hidup.



**Gambar 8. Lokasi penampang yang ditinjau**

**Tabel 8. Simpangan lateral titik A dan B**

Tipe	Simpangan Lateral (mm)		% terhadap Pelengkung Tegak	
	Titik A	Titik B	Titik A	Titik B
Tegak	121,21	93,02	100	100
Tipe 1	81,34	77,06	67,11	82,84
Tipe 2	59,78	67,29	49,32	72,34
Tipe 3	40,40	56,29	33,33	60,51

**Tabel 9. Lendutan titik B**

Tipe	Lendutan pada titik B (mm)	% terhadap Pelengkung Tegak
Tegak	23,16	100
Tipe 1	23,41	101,11
Tipe 2	23,86	103,03
Tipe 3	24,54	105,99

Batas lendutan akibat beban hidup layan, termasuk kejutan menurut BMS 1992 tidak boleh melebihi  $L/800$  (250 mm). Hal ini berarti lendutan Titik B untuk pelengkung tegak, tipe 1, tipe 2 dan tipe 3 hanya 10% dari lendutan izin. Tabel 8 menunjukkan bahwa simpangan lateral Titik A untuk pelengkung tipe 3 hanya 33,33% dari simpangan lateral pelengkung tegak. Tabel 9 menunjukkan bahwa pelengkung tegak, Tipe 1, Tipe 2 dan Tipe 3 memiliki lendutan yang hampir sama. Hal tersebut berarti pelengkung tegak, Tipe 1, Tipe 2 dan Tipe 3 memiliki kekakuan vertikal yang hampir sama, namun pelengkung Tipe 3 memberikan kekakuan lateral yang lebih besar.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Kemiringan pelengkung sangat berpengaruh terhadap kekakuan lateral struktur. Struktur dengan kemiringan terbesar (T3) memiliki kekakuan lateral terbesar. Tetapi dari segi kekuatan hanya ikatan angin dan balok induk yang terpengaruh oleh kemiringan pelengkung, sedangkan beberapa elemen struktur lain tidak terpengaruh. Semakin miring pelengkung, maka gaya-gaya dalam pada ikatan angin semakin kecil, sebaliknya, gaya-gaya dalam pada Balok Induk semakin besar dengan bertambahnya kemiringan pelengkung. Pelengkung tegak dan pelengkung miring memiliki kekakuan vertikal yang hampir sama, namun kekakuan lateral pelengkung miring jauh lebih besar. Simpangan lateral pelengkung dengan kemiringan terbesar hanya 33 % dari simpangan lateral pelengkung tegak.

### Saran

Berbagai penyederhanaan dalam pemodelan struktur jembatan telah dilakukan sehingga hasil yang diperoleh masih perlu diuji ketelitiannya. Alternatif pemodelan menggunakan elemen solid perlu dilakukan sebagai pembandingan. Tinjauan ekono-

mi pelengkung miring perlu dilakukan mengingat tingkat kesulitan pelaksanaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelengkung tegak.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada saudara De Tu atas bantuannya menyiapkan gambar rencana dalam mendukung tulisan ini serta semua pihak atas bantuannya sehingga tulisan ini berhasil terangkum dengan segala kekurangannya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System), Bagian 2, Beban Jembatan*. Dep. Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Program Jalan.
- Anonim. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System), Bagian 3, Analisis Struktural*. Dep. Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Program Jalan.
- Anonim. 1992. *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (Bridge Management System), Bagian 5, Perencanaan Komponen Beton*. Dep. Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Program Jalan.
- Barker, R.M and Puckett J.A. 1997. *Design of Highway Bridges, Based on AASHTO LRFD, Bridge Design Specification*.
- Hadi B.B. 2004. *Pengaruh Kemiringan Pelengkung Terhadap Kekuatan dan Kekakuan Lateral Struktur Jembatan Pelengkung*, Program Studi Teknik Sipil Universitas Udayana.
- Schodeck, D.L. 1998. *Struktur*, PT. Refika Aditama Bandung.
- Sukrawa, M. dkk. 2005. *Laporan Perencanaan Detail Jembatan Tukad Unda*. Dinas PU Provinsi Bali.