

## PROSIDING

Volume 1 : Geoteknik, Material, Struktur

# PERAN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN DALAM PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN

24 -26 Oktober 2013  
Kampus Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36 A, Surakarta



Editor:  
Yoyong Arfiadi  
Sholihin As'ad

Diselenggarakan atas kerjasama:



UNS



UAJY



UPH



Unud



Trisakti



UNSOED



ITENAS

# KoNTeKS 7

Konferensi Nasional Teknik Sipil

## PROSIDING

Volume I : Geoteknik, Material, Struktur

# PERAN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN DALAM PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN

24 -26 Oktober 2013  
Kampus Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36 A, Surakarta

Editor:  
Yoyong Arfiadi  
Sholihin As'ad

242S	<b>KAJIAN TEKUK LATERAL TORSI BALOK TINGGI BERPENGAKU VERTIKAL DENGAN MENGGUNAKAN CARA HUGHES DAN MA</b> .....	S-327
	Sri Tadjono	
244S	<b>STUDI SIMULASI NUMERIK KESEHATAN JEMBATAN RANGKA WARREN DENGAN UJI VIBRASI</b> .....	S-333
	Jack Widjajakusumadan Filly Wiliany Limbunan	
246S	<b>KAJIAN ANALITIK PENGARUH RAMBATAN ENERGI GEMPA TERHADAP PERILAKU BENTURAN GEDUNG</b> .....	S-339
	Halwan Alfisa S <sup>1</sup> dan Sigit Darmawan <sup>2</sup>	
254S	<b>STUDI EFECTIVE TORSIONAL CONSTANT UNTUK BERBAGAI PROFIL STUDI KASUS PROFIL GUNUNG GARUDA</b> .....	S-347
	Kamaludin	
266S	<b>PERILAKU BATANG LANGSING KOMPOSIT MENGGUNAKAN BAHAN CONCRETE-FILLED STEEL TUBE (CFT) PADA APLIKASI BEBAN TEKAN</b> .....	S-359
	Wibowo <sup>1</sup> , AP Rahmadi <sup>2</sup> , Purnawan Gunawan <sup>3</sup> , Dimas Ahmad AM <sup>4</sup> dan Sholicin <sup>5</sup>	



# STUDI EFEKTIF TORSIONAL CONSTANT UNTUK BERBAGAI PROFIL STUDI KASUS PROFIL GUNUNG GARUDA (254S)

Kamaludin

Program Studi Teknik Sipil, ITENAS - Bandung, Jl. P.H.H Mustofa 23 Bandung  
Email: kouldo@yahoo.com atau kamal@itenas.ac.id

## ABSTRAK

Torsi dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu torsi murni yang sering disebut Torsi Saint-Venant, dan torsi warping. Torsi murni diasumsikan bahwa sebuah bidang penampang berrotasi akibat adanya momen torsi, misalnya moment torsi pada penampang lingkaran akan hanya terjadi torsi murni. Warping merupakan terpilinya suatu penampang akibat moment torsi. Penelitian dilakukan dengan cara menerapkan konstanta torsi yang telah dimodifikasi oleh Elhelbawey dan C.Fu. untuk berbagai penampang, hal ini mempelajari apakah masih berlaku untuk profil khususnya profil yang dikeluarkan oleh PT Gunung Garuda. Struktur balok dan material disesuaikan dengan model yang telah turunkan oleh Elhelbawey dan C.Fu. Balok ditumpu kedua ujung merupakan jepit. Dan diberikan beban momen torsi. Profil yang akan dikaji adalah profil I, C, L, dan T. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa untuk profil I modifikasi konstanta torsi meningkat 155% s/d 255%. Sama halnya dengan Profil I produksi garuda terjadi peningkatan konstanta torsi, terutama mulai dari profil ukuran 250 mm keatas. Untuk profil I ukuran kecil dibawah 150 mm tidak terlalu besar pengaruhnya, yaitu kurang dari 5%. Terlihat bahwa konstanta efektif akan berpengaruh mulai dari kanal 125 ke atas. Profil kanal produksi garuda ini hanya terjadi peningkatan konstanta torsi mencapai maksimum 22,4%. Konstanta efektif pada profil kanal secara umum tidak terlalu berpengaruh terhadap konstanta yang ada. Sama halnya dengan profil siku untuk profil T ternyata konstanta torsi yang telah dimodifikasi tidak berlaku untuk profil siku T. Hal ini disebabkan bahwa bila tebal t terlalu tipis maka  $C_w$  mendekati 0, sehingga nilai lambda akan berpengaruh menjadi besar.

Kata kunci: Efektif Torsi, Torsi Saint-Venant, torsi warping, Konstanta Efektif Torsi,

## 1. LATAR BELAKANG

Torsi dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu torsi murni yang sering disebut Torsi Saint-Venant, dan torsi warping. Torsi murni diasumsikan bahwa sebuah bidang penampang berrotasi akibat adanya momen torsi. Misalnya moment torsi pada penampang lingkaran akan hanya terjadi torsi murni. Warping merupakan terpilinya suatu penampang akibat moment torsi.

Momen Torsi dibagi dengan parameter rigiditas  $GJ$  adalah torsi murni. Yang dapat dirumuskan  $\theta = M_t/GJ$ . Dimana  $M_t$  adalah momen torsi,  $G$  adalah modulus elastisitas, dan  $J$  adalah constanta torsi. Hampir semua penampang dapat didekati dengan persamaan  $J = \sum b^3/3$  untuk kasus fixed-fixed element, constanta torsi yang digunakan adalah constanta efektif<sup>[1]</sup>  $K_{t(eff)} = M_t/G\theta$ . Berdasarkan rumusan diatas konstanta torsi yang telah dimodifikasi pada kasus profil I terjadi lebih besar<sup>[2]</sup>. Oleh karena penulis mencoba mengkaji konstanta efektif digunakan pada profil lain khususnya profil yang dikeluarkan oleh PT Gunung Garuda.

## 2. MAKSUD DAN TUJUAN

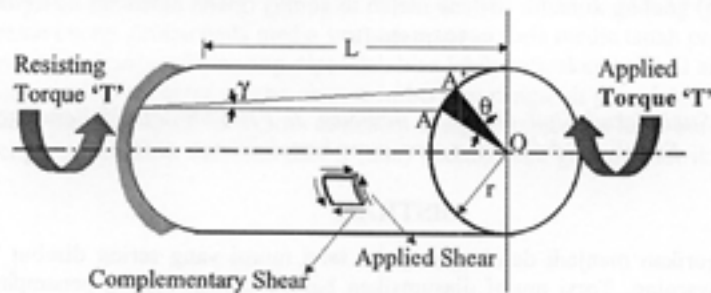
Maksud pada penulisan ini, menerapkan konstanta torsi yang telah dimodifikasi oleh Elhelbawey dan C.Fu. untuk berbagai penampang, dengan tujuan untuk mempelajari apakah masih berlaku untuk profil khususnya profil yang dikeluarkan oleh PT Gunung Garuda.

## 3. RUANG LINGKUP

Struktur balok dan material disesuaikan dengan model yang telah turunkan oleh Elhelbawey dan C.Fu. Balok ditumpu kedua ujung merupakan jepit. Dan diberikan beban momen torsi. Profil yang akan dikaji adalah profil I, C, L, dan T.

#### 4. TORSI MURNI PADA PENAMPANG BULAT

Ada tiga mode deformasi, yaitu akibat Beban Aksial, Bending, dan torsi. Torsi murni merupakan terjadinya putaran terhadap sumbu longitudinal akibat dari distribusi tegangan dari luar. Gambar 2.1 memperlihatkan deformasi akibat torsi.



Gambar 2.1 deformasi akibat torsi

Deformasi geometri adalah

$$AA' = L\gamma = r\theta$$

$$\gamma = r\theta/L$$

(2.1)

Equilibrium diperlihatkan pada gambar 2.2. Torsi akibat beban luar adalah sama dengan torsi yang ditahan oleh penampang. Sehingga

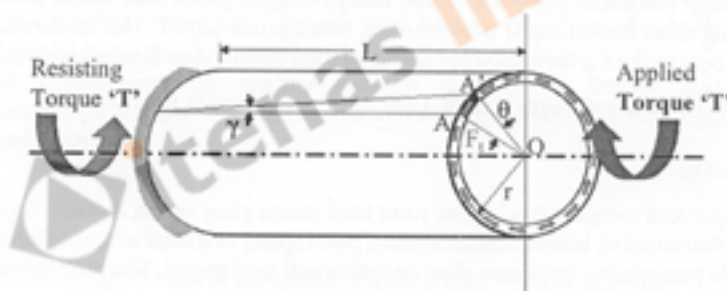
$$T = F_t \times r$$

$$F_t = \tau \times A$$

$$F_t = \tau \times 2\pi r t$$

$$\text{Jadi} \quad T = \tau \times 2\pi r^2 t$$

(2.2)



Gambar 2.2 equilibrium pada penampang bulat

Hubungan tegangan regangan adalah

$$\text{Modulus rigiditas} \quad G = \tau/\gamma$$

(2.3)

Dari persamaan 2.3 bisa ditulis menjadi

$$\tau = \gamma \cdot G$$

Substitusi  $\gamma$  dari persamaan 2.1 sehingga menjadi

$$\tau = r\theta \cdot G/L$$

dari persamaan 2.2

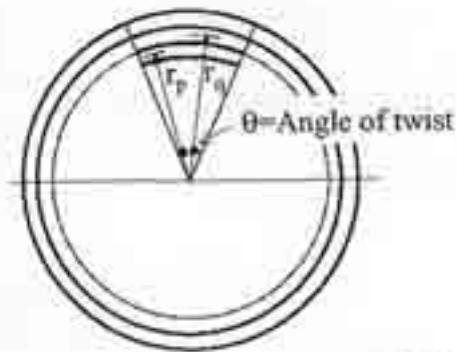
$$\tau = T/2\pi r^2 t$$

sehingga  $2\pi r^2 t = r\theta \cdot G/L$

atau  $\tau/r = T/2\pi r^3 t = \theta \cdot G/L$

(2.4)

Penurunan rumus diatas untuk penampang solid, untuk penampang pipa yang memiliki tebal  $t$  seperti pada gambar 2.3 adalah sebagai berikut.



Gambar 2.3 Penampang lingkaran yang memiliki tebal t.

Deformasi geometri

$$\gamma = r \cdot \theta / L$$

Kedua penampang untuk  $\theta$  dan  $L$  adalah konstan

$$\gamma_a = r_a \cdot \theta / L \quad \text{dan} \quad \gamma_b = r_b \cdot \theta / L$$

Hubungan tegangan regangan

$$\tau = \gamma \cdot G$$

dimana nilai  $G$  adalah konstan, distribusi tegangan geser  $\tau$  ditengah adalah nol dan di sisi luar adalah maksimum seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.4. Besarnya torsi yang diterima penampang bulat padat sebagai berikut : dari persamaan 2.2 dan tebal  $t = dr$  maka total torsi

$$T_t = \int_0^r 2\pi r^2 \tau \cdot dr$$

tetapi dari persamaan 2.4

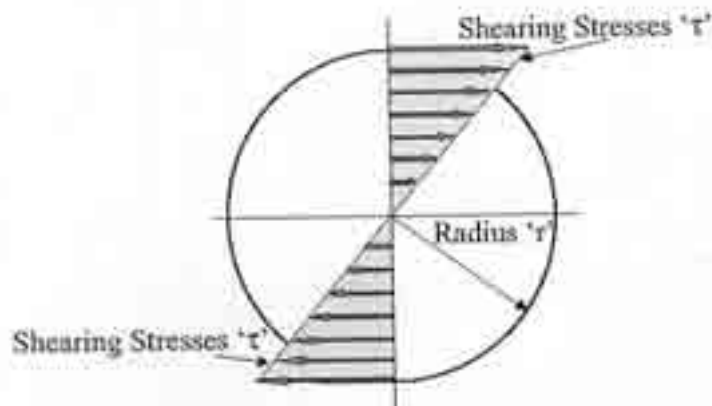
$$\tau = \frac{G\theta}{L} r$$

Jadi total torsi

$$T_t = \frac{G\theta}{L} \int_0^r 2\pi r^3 \cdot dr \quad (2.5)$$

$$\text{Dimana } J_p = \int_0^r 2\pi r^3 \cdot dr$$

$$\text{Sehingga } T_t = \frac{G\theta}{L} J_p$$

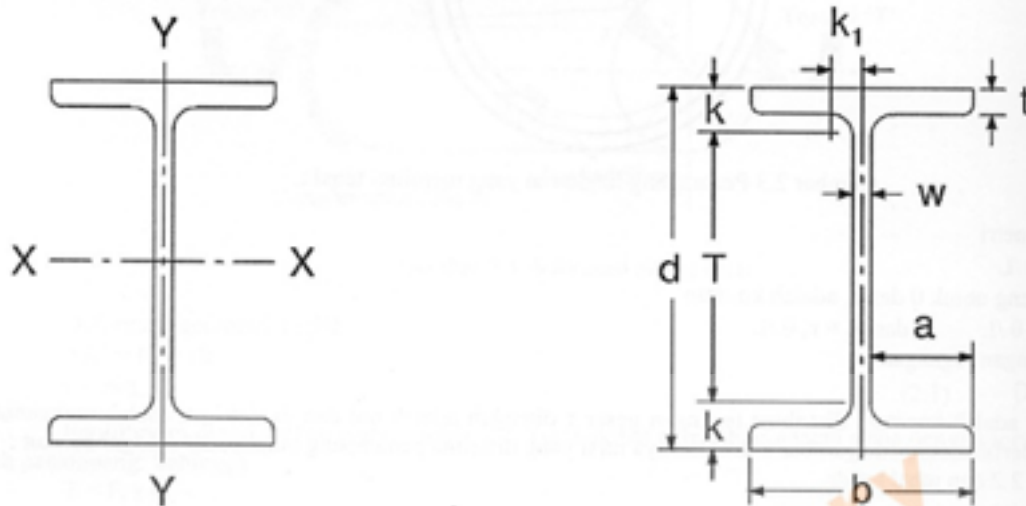


Gambar 2.4 distribusi tegangan geser akibat torsi.

## 5. KONSTANTA TORSI PADA PENAMPANG TERBUKA

### A. Profil I / Wide – Flange Shape

Gambar 2.5 memperlihatkan bentuk dan variabel ukuran untuk profil I.



Gambar 2.5 Bentuk dan Simbol untuk profil I

Propertis penampang torsi

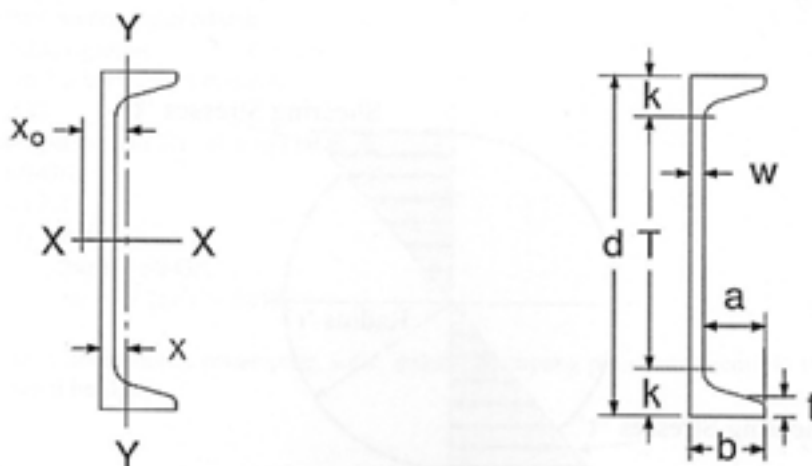
$$J = \frac{2 \cdot b \cdot t^3 + d^3 w^3}{3} \quad (2.6)$$

$$C_w = \frac{(d')^2 b^3 t}{24} \quad (2.7)$$

dimana  $d' = d - t$

### B. Profil Kanal (C)

Profil kanal diperlihatkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Bentuk dan Simbol untuk profil C

Propertis penampang torsi

$$J = \frac{2 \cdot b^3 t^3 + d^3 w^3}{3} \quad (2.8)$$

$$C_w = \frac{t \cdot b^3 d^2 (3bt + 2d'w)}{12 (6bt + d'w)} \quad (2.9)$$

dimana  $d' = d - t$

### C. Profil Siku (L)

Profil siku diperlihatkan pada gambar 2.7

Propertis penampang torsi

$$J = \frac{b^3 t^3 + d^3 t^3}{3} \quad (2.10)$$

$$C_w = \frac{t^3}{36} (b^3 + d^3) \quad (2.11)$$

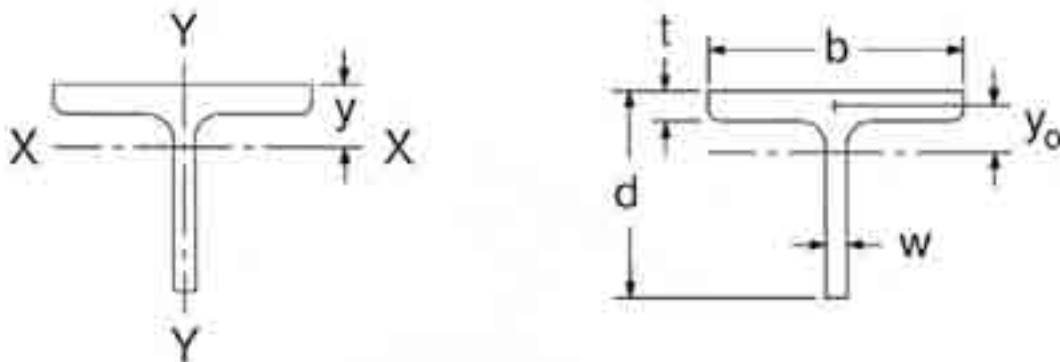
dimana  $d' = d - t/2$   $b' = b - t/2$



Gambar 2.7 Bentuk dan Simbol untuk profil Siku (L)

### D. Profil T

Profil T diperlihatkan pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Bentuk dan Simbol untuk profil T

Propertis penampang torsi

$$J = \frac{b \cdot t^3 + d^3 w}{3} \quad (2.12)$$



$$C_w = \frac{I^3 b^3}{144} + \frac{w^3 d^3}{36} \quad (2.13)$$

dimana  $d' = d - t/2$

### 6. SOLUSI TORSI PADA BALOK KEDUA UJUNG JEPIT<sup>[1]</sup>

Sudah dibahas bahwa torsi merupakan momen torsi dibagi dengan rigiditas torsi GJ,

$$M_z = GJ \{d\theta/dz\} \quad (2.14)$$

Dimana

$M_z$  = Momen Torsi

$G$  = Modulus Geser =  $E/(2(1+\mu))$

$E$  = Modulus Elastisitas

$\mu$  = Rasio Poison

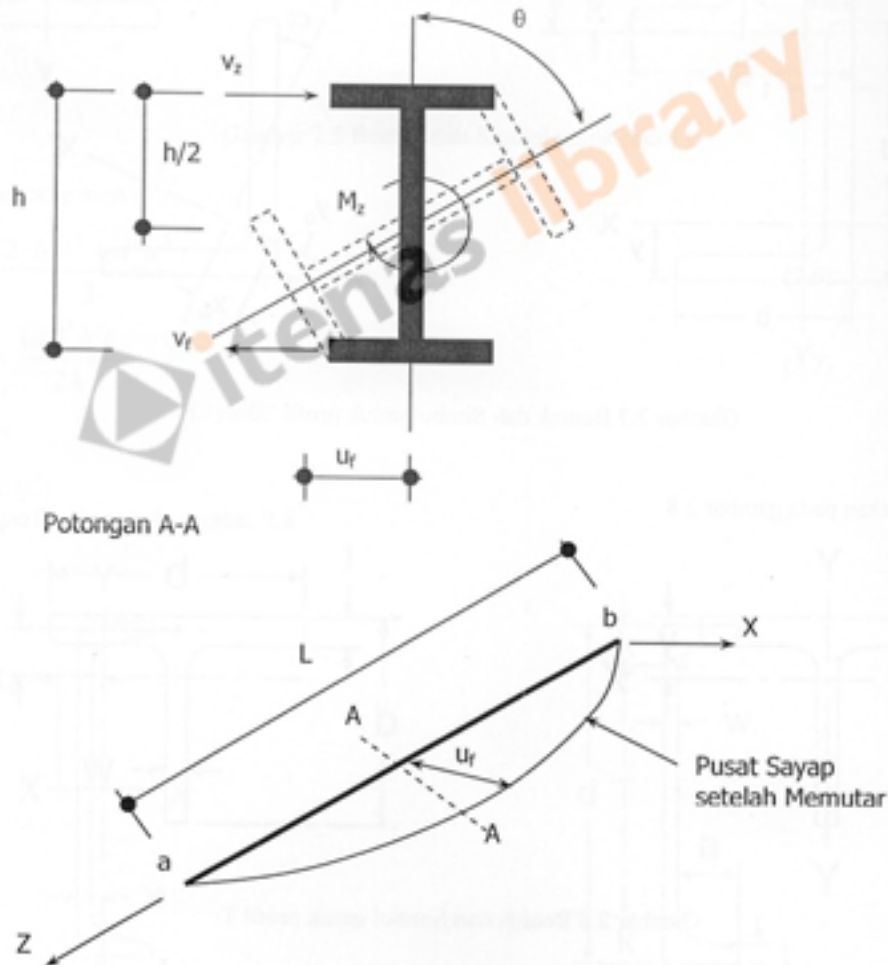
$J$  = Konstanta Torsi

Konstanta Torsi dapat didekati dengan persamaan 2.15

$$J = \sum b t^3 / 3 \quad (2.15)$$

Dimana  $b$  dan  $t$  adalah lebar dan tebal persegi yang membentuknya.

Tinjau Sebuah balok yang diberi beban  $M_z$  seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Torsi dan Warping untuk Penampang balok I

Dari gambar 2.9, asumsi terjadi perpindahan sebesar

$$u_r = \theta h/2 \quad (2.16)$$

Persamaan 2.16 diturunkan 3 kali menjadi

$$\frac{d^3 u_f}{dz^3} = \frac{h}{2} \frac{d^3 \theta}{dz^3} \quad (2.17)$$

Dari hubungan kurvature adalah

$$\frac{d^2 u_f}{dz^2} = -\frac{M_f}{EI_f} \quad (2.18)$$

dimana  $M_f$  = Momen lateral pada satu sayap

$I_f$  = momen inersia sayap terhadap sumbu y pada balok.

Kita tahu bahwa

$$V = \frac{dM}{dz}$$

sehingga

$$\frac{d^3 u_f}{dz^3} = -\frac{V_f}{EI_f} \quad (2.19)$$

Gunakan persamaan 2.18 dan 2.19 diperoleh

$$V_f = -EI_f \frac{h}{2} \frac{d^3 \theta}{dz^3} \quad (2.20)$$

lalu

$$M_w = V_f h = -EI_f \frac{h^2}{2} \frac{d^3 \theta}{dz^3} = -EC_w \frac{d^3 \theta}{dz^3} \quad (2.21)$$

dimana  $M_w$  = Momen torsi yang menyebabkan bending lateral pada sayap

$C_w$  = Konstanta Warping =  $I_f h^2/2$

Momen Torsi merupakan gabungan dari rotasi akibat  $M_s$  dan bending laterus  $M_w$ , dimana gabungan dari persamaan 2.1 dan 2.21 adalah

$$M_f = M_s + M_w = GJ \frac{d\theta}{dz} - EC_w \frac{d^3 \theta}{dz^3} \quad (2.22)$$

Persamaan 2.22 dibagi dengan  $EC_w$

$$\frac{d^3 \theta}{dz^3} - \frac{GJ}{EC_w} \frac{d\theta}{dz} = \frac{M_f}{EC_w} \quad (2.23)$$

Berikan

$$\lambda^2 = GJ/EC_w$$

Solusi untuk *homogeneous* pada persamaan 19, dan  $\theta_1 = Ae^{mz}$

$$\frac{d^3 \theta}{dz^3} - \lambda^2 \frac{d\theta}{dz} = 0 \quad (2.24)$$

Persamaan 2.24 digunakan untuk torsi luas dan dalam,  $M_f$ . Untuk torsi persatuan panjang misalnya untuk kasus balok jembatan, hubungan antara  $M_f$  dan  $m_f$  adalah  $mz = dM_f/dz$ . Persamaan 2.23 menjadi

$$\frac{d^3 \theta}{dz^3} - \frac{GJ}{EC_w} \frac{d^2 \theta}{dz^2} = \frac{m_f}{EC_w} \quad (2.25)$$

untuk bagian *homogeneous* adalah

$$\frac{d^3 \theta}{dz^3} - \lambda^2 \frac{d^2 \theta}{dz^2} = 0 \quad (2.26)$$

substitusi solusi *homogeneous*, diberikan

$$Ae^{mz}(m^3 - \lambda^2 m^2) = 0 \quad (2.27)$$

Dimana akan dipenuhi apabila

$$M^2(m^2 - \lambda^2) = 0; \text{ jadi, } m = 0, 0, -\lambda, +\lambda$$

Sehingga

$$\theta_b = A_1 + A_2Z + A_3e^{\lambda z} + A_4e^{-\lambda z} \tag{2.28}$$

bisa ditulis

$$\theta_b = A + Bz + C \sinh \lambda z + D \cosh \lambda z \tag{2.29}$$

dibuatkan fungsi z secara umum, berikan  $\theta_p = f_1(z)$  dan disubstitusikan ke persamaan 2.25, adalah

$$\theta_p = A_1 + A_2z + A_3z^2 + A_4z^3 + A_5z^4 \tag{2.30}$$

Persamaan 2.30 diturunkan 4 kali, menjadi

$$24A_5 - \lambda^2 (2A_3 + 6A_4z + 12A_5z^2) = m_z/EC_w \tag{2.31}$$

Bentuk sebelah kiri harus sama dengan sebelah kanan, sehingga

$$A_3 = -(m_z/2\lambda^2 EC_w) \tag{2.32}$$

Substitusikan ke persamaan 2.30

$$\theta_p = -(m_z/2\lambda^2 EC_w)z^2 \tag{2.33}$$

Persamaan 2.33 digabung dengan persamaan 2.29, menjadi

$$\theta_1 = \theta_b + \theta_p \tag{2.34}$$

$$\theta_1 = A + Bz + C \sinh \lambda z + D \cosh \lambda z - (m_z/2\lambda^2 EC_w)z^2 \tag{2.35}$$

Persamaan 2.35, bisa diselesaikan dengan memasukan *boundary condition*.

Untuk struktur batang ujung jepit, maka pada ujung tersebut harus memenuhi

$$\theta = 0 \text{ (tidak ada puntir)}$$

$$\theta' = 0 \text{ (tidak ada peralihan)}$$

untuk persamaan 2.35 diterapkan pada balok kedua ujung jepit :

$$\theta = (m_z L / 2\lambda GJ) \{ [1.0 + \cosh \lambda L] / \sinh \lambda L \} [ \cosh \lambda z - 1.0 ] + \lambda z [ 1.0 - \lambda L ] - \sinh \lambda z \tag{2.36}$$

dimana L = panjang balok.

$$\theta' = d\theta/dz \tag{2.37}$$

$$\theta' = (m_z / 2\lambda GJ) \{ \cosh \lambda L / 2 - 1.0 \} / \cosh \lambda L / 2 \tag{2.38}$$

dimana

$$\theta' = m_z / GK_{eff} \tag{2.39}$$

$$K_{eff} = m_z / G\theta' \tag{2.40}$$

Dimana  $K_{eff}$  = ekuivalen konstanta torsi. Dari persamaan 2.40 dan 2.38 diperoleh

$$K_{eff} = J \cosh \lambda L / 2 / [ \cosh \lambda L / 2 - 1.0 ] \tag{2.41}$$

## 7. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Profil I

Hasil analisis yang dilakukan<sup>[1]</sup> menunjukkan bahwa untuk profil I modifikasi konstanta torsi meningkat 155% s/d 255%. Sama halnya dengan Propfil I produksi garuda terjadi peningkatan konstanta torsi, terutama mulai dari profil ukuran 250 mm keatas. Untuk profil I ukuran kecil dibawah 150 mm tidak terlalu besar pengaruhnya, yaitu < 5%. Seperti yang diperlihatkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Konstanta Torsi Efektif untuk profil I.

Profil	h	t	b	J	C <sub>w</sub>	C	K <sub>eff</sub>	%	
100x100	100	100	8	6	40757.11	2871.111111	0.908589489	42076.64633	0.78
125x125	125	125	9	6.5	71368.83	9810.468748	0.997797823	74902.47931	4.39
150x150	150	150	10	7	110088.13	15163895.47	0.999206897	10738.391	2.73
175x175	175	175	11	7.5	178345.83	66368020.83	0.999482839	22034.399	23.41
200x200	200	200	12	8	28429.63	1032434364	0.998417519	30009.19512	23.10
250x250	250	250	15	10	44781.33	1288800000	0.998589489	51390.67813	15.21
300x300	300	300	18	12	82485.33	1.41376E+12	0.994381728	364643.5352	38.51
350x350	350	350	21	14	13408.67	3721842645	0.991822841	81694.54686	55.88
400x400	400	400	24	16	28182.80	4253879412	0.997797823	109122.3064	79.87
450x450	450	450	27	18	32863.67	4.42531E+12	0.991248106	712391.1173	156.78
500x500	500	500	30	20	46941.58	5273283697	0.996823904	148490.6234	121.82
550x550	550	550	33	22	69538.63	1.07574E+13	0.996823926	190580.549	91.46
600x600	600	600	36	24	100000.00	1.37967E+12	0.987447946	1989167.457	158.13
650x650	650	650	39	26	138838.00	2.24017E+13	0.995741714	313767.8413	188.12
700x700	700	700	42	28	191294.13	1.82928E+13	0.995828339	349236.6498	79.52
750x750	750	750	45	30	259189.13	3.7288E+12	0.982991136	512398.057	186.06
800x800	800	800	48	32	350517.67	5.3518E+11	0.994437603	714827.1211	224.83
850x850	850	850	51	34	48081.33	6.48999E+11	0.994381728	941722.1842	162.89
900x900	900	900	54	36	6747154.33	8.0420E+12	0.977899404	10002171.827	267.17
950x950	950	950	57	38	971814.67	8.8751E+11	0.994381728	1274000.803	170.82
1000x1000	1000	1000	60	40	134966.67	1.24817E+12	0.994381728	1830608.038	158.76
1050x1050	1050	1050	63	42	191274.13	1.82604E+12	0.994381728	2677604.502	192.50
1100x1100	1100	1100	66	44	2677168.00	7.25904E+12	0.982447946	8736667.059	353.35
1150x1150	1150	1150	69	46	3759857.33	1.23384E+13	0.982447946	14837118.01	355.15
1200x1200	1200	1200	72	48	4221552.00	1.7523E+13	0.982447946	28733932.51	390.96

### Profil C

Pada tabel 3.2 terlihat bahwa konstanta efektif akan berpengaruh mulai dari kanal 125 ke atas. Profil kanal produksi garuda ini hanya terjadi peningkatan konstanta torsi mencapai maksimum 22,4%. Konstanta efektif pada profil kanal secara umum tidak terlalu berpengaruh terhadap konstanta yang ada.

Tabel 3.2 Konstanta Torsi Efektif Kanal

Profil	B	H	t	W	J	$C_w$	C	K <sub>eff</sub>	$\lambda$
U25x40	25	40	7	5	11408.10	109002825.1	0.99977465	11401.74721	-0.02
U30x50	30	50	7.5	5	17213.54	459487578.7	0.999640296	17212.32135	-0.01
U25x65	25	65	8	6	26986.47	1710181077	0.999492027	26973.13835	0.58
U30x75	30	75	10	6.5	40648.17	4995887944	0.999200097	41116.62558	1.17
U30x75	300	75	12.5	9	125209.38	5413584467	0.999200097	125385.599	0.14
U30x75	300	75	10.5	7	71129.63	4775367428	0.999200097	71078.37889	0.77
U30x75	200	75	10	7	46553.67	7741023462	0.999208251	46185.22028	3.21
U30x90	300	90	11	7.5	84237.28	12045427520	0.999008814	83871.46018	3.86
U30x90	300	90	13	9	130670.00	18995321514	0.998871279	129498.44181	2.93
U30x90	300	90	14.5	11	204499.50	20718888941	0.998871279	207355.89511	3.31
U30x90	300	90	15.5	10	205812.32	52956729529	0.998871279	207337.7306	8.14
U30x90	300	90	16	12	292960.00	60223139438	0.998871279	314771.2505	5.35
U30x100	300	100	15	10.5	330187.17	1418271411	0.998834495	486576.4762	12.34
U30x100	300	100	15	11	546212.20	149948411	0.998834495	628973.2095	15.11
U30x100	300	100	20	13	362306.67	1363118411	0.998834495	842110.049	10.47

### Profil Siku (L)

Pada tabel 3.3 terlihat bahwa konstanta torsi yang telah dimodifikasi tidak berlaku untuk profil siku L. Hal ini disebabkan bahwa bila tebal t terlalu tipis maka  $C_w$  mendekati 0, sehingga nilai lamda akan berpengaruh menjadi besar.

Tabel 3.3 Konstanta Torsi efektif untuk profil L

Profil	B	H	t	W	J	$C_w$	C	K <sub>eff</sub>	$\lambda$
L25x25	25	25	3	0	894.00	79468.8225	0.999611266	105.9000476	-0.01
L30x30	30	30	3	0	988.00	34711.5875	0.999321911	495.8001240	-0.01
L40x40	40	40	3	0	962.00	30398.8175	0.99977465	661.9601570	-0.01
L30x40	40	40	4	4	1336.00	129100.4444	0.99977465	1575.809947	-0.01
L30x40	40	40	5	5	2018.07	36872.8175	0.99977465	2308.00947	-0.01
L30x40	40	40	6	6	3211.28	129997.8311	0.99977465	3131.80146	-0.01
L30x40	40	40	8	8	4208.71	366097.5000	0.99977465	1948.81711	-0.01
L30x50	50	50	4	4	1483.07	332122	0.999640296	1261.878810	-0.04
L30x50	50	50	5	5	2709.00	794248.1810	0.999640296	2748.070240	0.04
L30x50	50	50	6	6	3204.00	1241837	0.999640296	4221.263089	-0.04
L30x60	60	60	4	4	1880.31	661731.5000	0.999640296	2388.128870	0.05
L30x60	60	60	6	6	4662.31	1101022.900	0.999640296	4021.02887	0.05
L30x60	60	60	8	8	7718.07	2122110	0.999640296	7771.697900	0.05
L30x60	60	60	10	10	9802.96	4899421.000	0.999640296	4902.827860	0.06
L30x60	60	60	12	12	8468.00	2885038	0.999640296	3480.902750	0.05
L30x60	60	60	15	15	12462.00	6960198.444	0.999640296	2944.39995	-0.08
L30x70	70	70	4	4	2128.00	3669138	0.999640296	3009.61771	-0.07
L30x70	70	70	5	5	3638.00	4418916.21	0.999640296	4205.51476	-0.08
L30x70	70	70	6	6	5207.00	7183866.6	0.999640296	5218.3673	-0.08
L30x80	80	80	4	4	2658.00	5470368	0.999640296	3246.17365	-0.08
L30x80	80	80	6	6	4398.00	7022320	0.999640296	3205.17644	-0.11
L30x80	80	80	8	8	6878.13	1233234.28	0.999640296	1897.56328	-0.11
L30x80	80	80	10	10	9312.13	2418813.50	0.999640296	5127.28010	-0.11
L30x80	80	80	12	12	11276.13	7183866.24	0.999640296	51100.4488	-0.11
L30x100	100	100	7	14	44666.00	7067704.70	0.999640296	9432.81200	-0.18
L30x100	100	100	10	18	12462.00	8092258.88	0.999640296	12728.2042	-0.18
L30x100	100	100	12	18	44666.00	7013963.18	0.999640296	9478.12838	-0.18
L30x120	120	120	8	16	38126.33	4448881.66	0.999700122	3812.7279	-0.30
L30x120	120	120	10	18	94718.33	10396975.1	0.999700122	9021.8000	-0.30
L30x120	120	120	12	18	13468.88	14022824	0.999700122	12418.4509	-0.30
L30x120	120	120	15	21	18608.00	8004683.18	0.999700122	9885.9000	-0.34
L30x120	120	120	18	24	25870.00	34654264.7	0.999700122	20111.000	-0.34
L30x120	120	120	20	24	18336.00	18335004	0.999700122	13041.175	-0.34
L30x120	120	120	22	24	18876.00	33889444	0.999700122	18872.027	-0.32
L30x120	120	120	24	24	30776.00	50750611.1	0.999700122	30782.700	-0.32
L30x120	120	120	28	28	39918.00	102886038	0.999700122	39711.000	-0.32
L30x120	120	120	32	32	10776.00	46377944	0.999700122	18387.188	-0.43
L30x120	120	120	36	36	30000.00	38214161.6	0.999700122	30000.000	-0.43
L30x150	150	150	10	20	48200.00	221799002	0.999700122	47911.2848	-0.38
L30x150	150	150	12	24	58000.00	204844444	0.999700122	58000.000	-0.38
L30x150	150	150	15	24	182508.00	272348888	0.999700122	181267.000	-0.38
L30x150	150	150	18	24	814914.00	100044288	0.999700122	814914.000	-0.48
L30x150	150	150	24	24	242700.00	118888000	0.999700122	242700.000	-0.48

### Profil Siku (T)

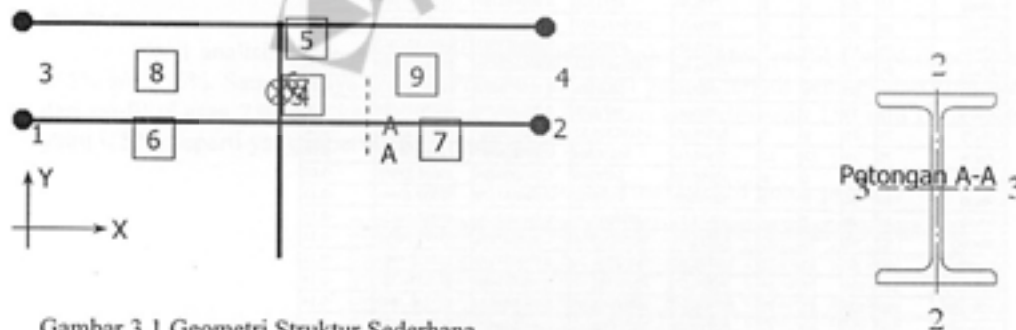
Sama halnya dengan profil siku untuk profil T ternyata konstanta torsi yang telah dimodifikasi tidak berlaku untuk profil siku T. Hal ini disebabkan bahwa bila tebal  $t$  terlalu tipis maka  $C_w$  mendekati 0, sehingga nilai  $\lambda$  akan berpengaruh menjadi besar.

Table 3.4 Konstanta Torsi Efektif untuk profil T

Nominal	I3	I2	tf	tw	J	Cw	C	$K_{eff}$	%
T50x100	50	100	8	6	20378.67	4139571.556	0.998589489	20349.92232	-0.14
T62.5x125	62.5	125	9	6.5	35684.42	11376101.78	0.997797823	35605.8327	-0.22
T75x75	75	75	7	5	11554.17	2274069.878	0.999206097	11544.99378	-0.08
T75x150	75	150	10	7	58003.33	26705527.78	0.996839935	57819.57501	-0.32
T100x100	100	100	8	5.5	22390.67	7644387.556	0.998589489	22358.08438	-0.14
T99x100	99	100	7	4.5	14334.15	4586622.378	0.998589489	14313.92736	-0.14
T87.5x175	87.5	175	11	7.5	89172.92	55983444.62	0.995692839	88788.83457	-0.43
T100x200	100	200	12	8	131242.67	327812750.2	0.994381728	130505.3097	-0.56
T125x125	125	125	9	6	39051.00	20385836.06	0.997797823	38965.06279	-0.22
T124x124	124	124	8	5	26162.67	12779107.56	0.997832843	26105.96801	-0.22
T125x250	125	250	14	9	257340.67	331014453.6	0.991249106	25688.7057	-0.88
T150x150	150	150	9	6.5	49768.31	40583702.12	0.996839935	49611.64009	-0.32
T149x149	149	149	8	5.5	33476.79	25850901.57	0.996873904	33366.15874	-0.31
T150x300	150	300	15	10	385000.00	713191406.3	0.987447046	380167.1127	-1.26
T175x175	175	175	11	7	97021.17	95935157.52	0.995692839	96693.28089	-0.43
T173x174	173	174	9	6	54434.00	55373936.25	0.995741734	54182.28963	-0.43
T175x350	175	350	19	12	895544.67	2259807764	0.982991136	88012.4693	-1.70
T200x200	200	200	13	8	179490.67	225096627.6	0.994381728	178482.2393	-0.56
T199x199	199	199	11	7	110298.83	140805579.6	0.994437459	109605.2915	-0.56
T200x400	200	400	21	13	1373577.17	4531293562	0.97899434	1343220.307	-2.21
T225x200	225	200	14	9	235907.33	362239142.4	0.994381728	234581.9418	-0.56
T250x200	250	200	16	10	353733.33	621235777.8	0.994381728	351745.9633	-0.56
T300x200	300	200	17	11	456862.17	1188724608	0.994381728	454295.2909	-0.56
T294x300	294	300	20	11	926001.33	2346896962	0.987447046	914377.2811	-1.26
T350x300	350	300	24	13	1629928.67	4948555416	0.987447046	1609468.247	-1.26
T400x300	400	300	26	14	2111576.00	7713385962	0.987447046	2085069.484	-1.26

### Penggunaan $K_{eff}$ Pada Struktur

Tinjau sebuah struktur seperti yang tergambar pada gambar 3.1. Struktur terdiri dari 2 buah balok girder dan 1 buah balok melintang. Ujung balok berupa sendi dan rol, tetapi diberi kekangan yang tidak boleh berputar terhadap sumbu lokal 1. Profil yang digunakan untuk kasus ini adalah IWF400x200x8x13 dan IWF300x150x6.5x9. Modulus elastisitas sebesar 200000 MPa, serta poisson ratio sebesar 0.3. Struktur diberi beban sebesar 100 kN dititik 7 dengan berlawanan arah sumbu Z.



Gambar 3.1 Geometri Struktur Sederhana

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan komputer. Hasil analisis struktur diperlihatkan pada tabel 3.1. Deformasi struktur dengan menggunakan konstanta  $K_{eff}$  di titik 7 terjadi lendutan lebih rendah bila dibandingkan dengan menggunakan konstanta torsi ( $J$ ) original. Perubahan lendutan mencapai 68% dari lendutan semula.

Putaran sudut di titik 5 dan 6 terjadi pengurangan putaran sudut sebesar 69% dari semula. Momen ujung balok melintang terjadi peningkatan 8% dan 49% dari momen semula, tetapi momen di tengah bentang terjadi lebih kecil < 1% dari momen semula. Pada balok girder terjadi peningkatan momen torsi sebesar 91% dan 162% dari momen torsi semula.

Tabel 3.1 Perbedaan hasil analisis struktur dengan menggunakan  $K_{eff}$ 

Nama Profil	Titik	U3	R1	M3	Batang	T Girder	Perbedaan (%)			
		mm	Radians	N-mm	N-mm	N-mm	U3	R1	M3	T Girder
IWF300x150	5	-16.72787	-0.004055	-19875.73	6	-9937.86				
	6	-16.72787	0.004055	-19875.73	7	9937.86				
	7	-21.28322	1.551E-17	74980124.27						
IWF400x200	5	-16.72787	-0.004053	-38023.72	6	-10793.31				
	6	-16.72787	0.004053	-38023.72	7	10793.31				
	7	-21.28175	1.261E-17	74961978.28						
IWF300x150 Modifikasi	5	-5.203475	-0.001224	-21566.63	6	-19011.86	68.89	69.82	8.61	91.31
	6	-5.203475	0.001224	-21566.63	7	19011.86	68.89	69.82	8.61	91.31
	7	-6.73233	1.895E-18	74978413.37			68.37	67.85	0.00	
IWF400x200 Modifikasi	5	-5.203475	-0.001223	-56719.61	6	-28359.80	68.89	69.82	49.17	162.75
	6	-5.203475	0.001223	-56719.61	7	28359.80	68.89	69.82	49.17	162.75
	7	-6.73147	3.117E-18	74943280.39			68.37	75.28	0.02	

## 8. KESIMPULAN

Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa untuk profil I modifikasi konstanta torsi meningkat 155% s/d 255%. Sama halnya dengan Profil I produksi garuda terjadi peningkatan konstanta torsi, terutama mulai dari profil ukuran 250 mm keatas. Untuk profil I ukuran kecil dibawah 150 mm tidak terlalu besar pengaruhnya, yaitu kurang dari 5%. Terlihat bahwa konstanta efektif akan berpengaruh mulai dari kanal 125 ke atas. Profil kanal produksi garuda ini hanya terjadi peningkatan konstanta torsi mencapai maksimum 22,4%. Konstanta efektif pada profil kanal secara umum tidak terlalu berpengaruh terhadap konstanta yang ada. Sama halnya dengan profil siku untuk profil T ternyata konstanta torsi yang telah dimodifikasi tidak berlaku untuk profil siku T. Hal ini disebabkan bahwa bila tebal t terlalu tipis maka  $C_w$  mendekati 0, sehingga nilai launda akan berpengaruh menjadi besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Elhelbawey, M.J., Fu, C., "Effective Torsional Constant For Restrained Open Section", Journal Of Structural Engineering, November 1998.
- Salmon, C.G. & Johnson, J.E., "Steel Structures : Design and Behavior, 4<sup>th</sup> Ed", New York, 1996.
- Timoshenko, & Goodier, "Theory of Elasticity", New York, 1956
- Torsionprop.pdf, <http://www.akas.de> Desember 2004
- Soong, T. T. and Dargush, G. F. (1997). *Passive energy dissipation systems in structural engineering*. John Wiley & Sons, Chichester, England.