

PENGARUH TEGANGAN TORSI TERHADAP PERENCANAAN TULANGAN MEMANJANG DAN TULANGAN GESER PADA BALOK GRID BETON BERTULANG TAMPANG PERSEGI

Randy¹ dan Johannes Tarigan²

¹ *Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU Medan*

Email : randy_hasan@hotmail.com

² *Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Jl. Perpustakaan No. 1 Kampus USU Medan*

Email : johannes.tarigan@usu.ac.id dan johnstar@indosat@net.id

ABSTRAK

Pada umumnya, dalam mendesain suatu struktur bangunan hanya memperhatikan timbulnya momen lentur, gaya lintang, dan gaya normal. Sering kali torsi diabaikan karena menilai pengaruhnya yang sangat kecil. Padahal biasanya bagian struktur bangunan yang mengalami momen torsi cukup besar terdapat pada balok tepi. Penyusunan tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh tegangan torsi terhadap perencanaan tulangan memanjang dan tulangan geser pada balok grid beton bertulang tampang persegi. Perhitungan gaya-gaya dalam pada aplikasi grid element akan menggunakan metode elemen hingga dan hasilnya dibandingkan dengan SAP 2000^{student version}, sedangkan perhitungan tulangan memanjang dan tulangan geser akan menggunakan SNI 03-2847-2002 dan hasilnya dibandingkan dengan SAP 2000^{student version}, sementara tulangan torsi hanya didesain dengan SNI 03-2847-2002 karena SAP 2000^{student version} tidak dapat menghitung tulangan torsi. Adapun kesimpulan pada tugas akhir ini adalah bahwa pada aplikasi grid element terdapat momen torsi yang cukup besar pada balok tepi yaitu sebesar 1905,93 kg m sehingga tidak dapat diabaikan begitu saja. Untuk mengantisipasi terjadinya momen torsi pada bangunan diperlukan tulangan torsi yang merupakan tulangan tambahan pada tulangan memanjang akibat momen lentur dan tulangan geser akibat gaya lintang.

Kata Kunci : torsi, metode elemen hingga, SNI-03-2847-2002, SAP 2000^{student version}

ABSTRACT

Generally, in designing a building structure only pay attention to the bending moment, shear force, and normal force. Torsion is frequently ignored considering it is a small influence. Actually usually building structure part which gets a big torsion moment is found in the beam edge. This script purpose is to analyze torsion stress impact at designing longitudinal bar and stirrup at square reinforce concrete grid beam. Estimation of internal force at grid element application use finite element method and the result is compared with SAP 2000^{student version}, eventhought estimation of longitudinal bar area and stirrup area use SNI 03-2847-2002 and the result is compared with SAP 2000^{student version}, while torsion bar only design by SNI 03-2847-2002 because SAP 2000^{student version} can't calculate torsion bar. The conclusion in this script is in grid element application found big torsion moment in edge beam that is 1905,93 kg m that can't be ignored. To anticipate torsion moment in building, is required torsion bar that is addition bar at longitudinal bar result of bending moment and stirrup result of shear force.

Key Words : torsion, finite element method, SNI-03-2847-2002, SAP 2000^{student version}

1.PENDAHULUAN

Menurut Dipohusodo,I (1996), torsi adalah puntir yang terjadi pada batang lurus jika batang tersebut dibebani momen yang menghasilkan rotasi terhadap sumbu memanjang batang tersebut. Dalam analisa struktur selain momen, gaya lintang, dan normal, maka torsi akan menjadi salah satu yang menentukan dalam desain struktur bangunan. Menurut Vis,W.C dan Kusuma,G (1993), dalam prakteknya torsi murni hampir tidak akan terjadi. Bila didapatkan kombinasi gaya lintang dan torsi maka pada salah satu bidang sisi balok, kedua arah tegangan geser yang ditimbulkan oleh kedua beban tersebut berimpit sedangkan pada bidang sisi yang berlawanan (di belakangnya) dapat tidak retak karena arah tegangan tarik saling tegak lurus satu sama lain. Salah satu struktur bangunan yang mengalami torsi adalah struktur grid. Menurut Katili,I (2008), grid adalah sebuah struktur 1D yang terbentuk dari rangkaian balok-balok yang terhubung secara kaku pada nodal, dimana seluruh balok dan nodal tersebut berada pada bidang (X-Y) yang sama. Pada struktur grid, gaya-gaya dominan yang bekerja adalah tegak lurus bidang tersebut sehingga menimbulkan gaya lintang, momen lentur, dan momen torsi pada balok-balok tersebut. Struktur grid akan efektif jika bentuk geometrinya seimbang pada dua arah termasuk pada tumpuannya juga. Dengan demikian, gaya-gaya yang bekerja tegak lurus bidang grid dapat disalurkan merata pada dua arah tersebut.

Adapun alasan memilih struktur grid pada pembahasan Tugas Akhir ini adalah karena pembahasan tentang struktur grid jarang dibahas di kuliah perencanaan. Padahal pada struktur grid, selain gaya lintang dan momen lentur, juga terdapat momen torsi. Momen torsi terjadi pada saat struktur grid memikul beban-beban yang bekerja sehingga terpuntir terhadap sumbu memanjangnya. Sering kali momen torsi ini menimbulkan tegangan geser yang berlebihan pada balok sehingga dapat mengakibatkan keretakan pada balok. Untuk itu diperlukan tulangan torsi yang merupakan tulangan tambahan terhadap tulangan geser akibat gaya lintang dan tulangan memanjang akibat momen lentur.

Untuk tulangan torsi yang merupakan tulangan tambahan terhadap tulangan geser maka gaya lintang dan torsi dijumlahkan dalam perencanaan sengkang karena umumnya gaya geser dan torsi muncul secara bersamaan atau bahkan berinteraksi satu sama lain. Sedangkan untuk tulangan torsi yang merupakan tulangan tambahan terhadap tulangan memanjang, diperlukan tulangan memanjang tambahan yang letaknya disebar merata di sekeliling balok terpuntir.

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk menganalisa pengaruh tegangan torsi terhadap perencanaan tulangan memanjang dan tulangan geser pada balok grid beton bertulang tampang persegi. Selain itu penulisan Tugas Akhir ini juga bertujuan untuk mengetahui keakuratan program SAP 2000_{student version} dalam menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi pada aplikasi grid element dibandingkan dengan metode elemen hingga dan dalam menghitung luas tulangan memanjang dan luas tulangan geser dibandingkan dengan SNI 03-2847-2002.

2.METODE

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, akan digunakan metode elemen hingga untuk grid element. Grid element mempunyai mempunyai DOF (Degree of Freedom) 6 dimana grid element adalah kombinasi dari beam element dengan tambahan torsi.

Menurut Tarigan, J (2011), persamaan grid element adalah :

$$\{f\} = [K]\{d\} - \{f_{red}\} \quad (1)$$

di mana $\{f\}$ adalah gaya, $[K]$ adalah matrix kekakuan grid, $\{d\}$ adalah perpindahan, dan f_{red} adalah matriks gaya-gaya pada titik simpul akibat beban merata.

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} Sy_1 \\ Mx_1 \\ Mz_1 \\ Sy_2 \\ Mx_2 \\ Mz_2 \end{Bmatrix}$$

(2)

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{12EI_z}{L_1^3} & 0 & \frac{6EI_z}{L_1^2} & \frac{-12EI_z}{L_1^3} & 0 & \frac{6EI_z}{L_1^2} \\ 0 & \frac{GJ}{L_1} & 0 & 0 & \frac{-GJ}{L_1} & 0 \\ \frac{6EI_z}{L_1^2} & 0 & \frac{4EI_z}{L_1} & \frac{-6EI_z}{L_1^2} & 0 & \frac{2EI_z}{L_1} \\ \frac{-12EI_z}{L_1^3} & 0 & \frac{-6EI_z}{L_1^2} & \frac{12EI_z}{L_1^3} & 0 & \frac{-6EI_z}{L_1^2} \\ 0 & \frac{-GJ}{L_1} & 0 & 0 & \frac{GJ}{L_1} & 0 \\ \frac{6EI_z}{L_1^2} & 0 & \frac{2EI_z}{L_1} & \frac{-6EI_z}{L_1^2} & 0 & \frac{4EI_z}{L_1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

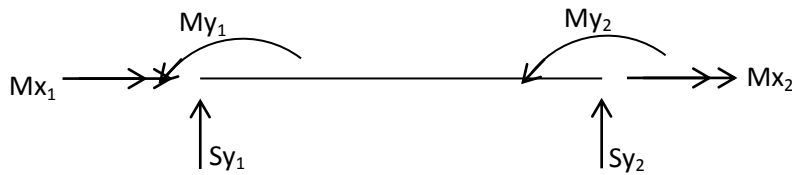
$$\{d\} = \begin{Bmatrix} V_1 \\ v_1 \\ \chi_1 \\ V_2 \\ v_2 \\ \chi_2 \end{Bmatrix}$$

(4)

$$\{fred\} = \begin{Bmatrix} V_{1red} \\ v_{1red} \\ \chi_{1red} \\ V_{2red} \\ v_{2red} \\ \chi_{2red} \end{Bmatrix}$$

(5)

di mana E adalah modulus elastisitas; Iz adalah inersia terhadap sumbu z; L adalah panjang batang; J adalah inersia torsi; V_1, V_2 adalah perpindahan akibat Sy_1, Sy_2 ; v_1, v_2 adalah sudut puntir akibat Mx_1, Mx_2 ; dan χ_1, χ_2 adalah putaran sudut akibat momen lentur Mz_1, Mz_2 .



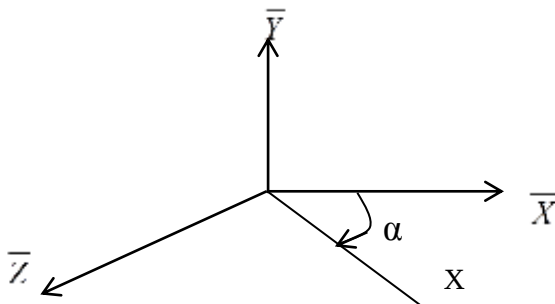
Gambar 1. Gaya-gaya dalam untuk grid element

Sedangkan matriks kekakuan terhadap sumbu global adalah :

$$[\overline{K}] = [T] [K] [T]^T \quad (6)$$

di mana $[T]$ adalah matriks transformasi terhadap sudut transformasi.

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (7)$$

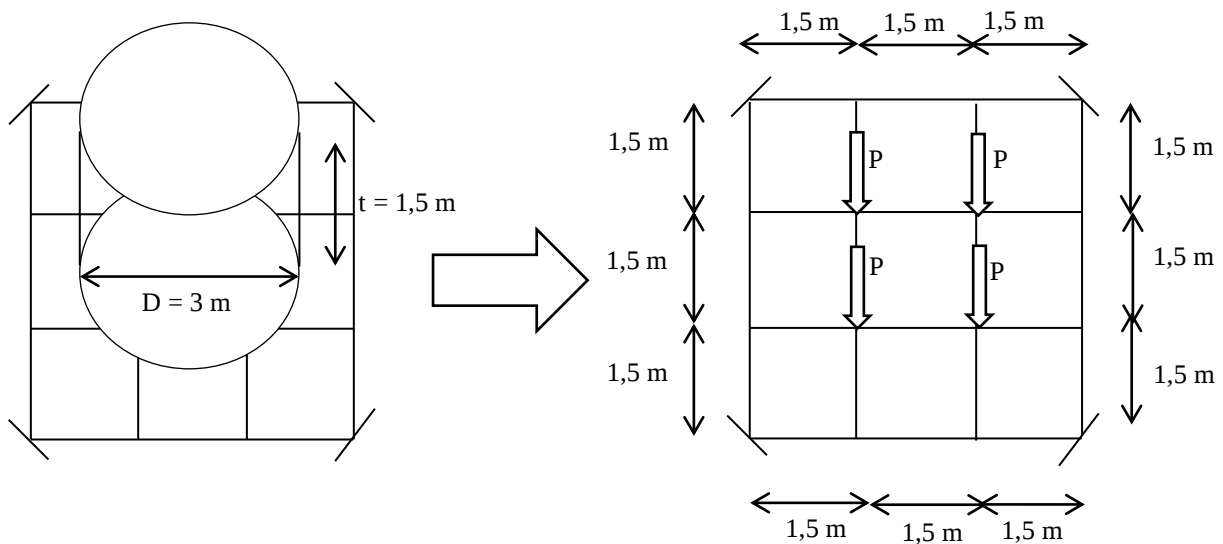


Gambar 2. Transformasi koordinat terhadap sumbu global

Berikut akan ditampilkan sebuah aplikasi grid element yang berupa sistem balok bersilang dengan sebuah tangki air yang berada di atasnya. Gaya-gaya dalam yang berupa gaya lintang, momen torsi, dan momen lentur akan dianalisis dengan menggunakan metode elemen hingga dan hasilnya kemudian dibandingkan dengan program SAP 2000_{student version}.

Adapun beban –beban yang bekerja pada balok grid adalah berat sendiri dari balok grid, berat dari pelat lantai , dan beban tangki air, dimana tangki air diasumsikan terisi penuh dan beban tangki air kemudian diaplikasikan menjadi 4 buah beban terpusat yang sama besarnya.

Dari hasil perhitungan gaya-gaya dalam yang berupa gaya lintang, momen torsi, dan momen lentur akan dihitung penulangan lentur, penulangan geser, dan penulangan torsi berdasarkan SNI-03-2847-2002, dimana hasil perhitungan penulangan lentur dan penulangan geser akan dibandingkan dengan program SAP 2000_{student version}.



Gambar 3. Beban tangki air (diaplikasikan menjadi 4 buah beban terpusat yang sama besar) yang dipikul balok grid

Berikut akan dijabarkan pedoman penulangan torsi :

- a. Tentukan pengaruh puntir dapat diabaikan atau tidak.

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.1, pengaruh puntir dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

- untuk komponen struktur non prategang

$$\frac{\phi \sqrt{f'c}}{12} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (8)$$

dimana $f'c$ = kuat tekan beton; A_{cp} = luas yang dibatasi keliling luar penampang beton dan P_{cp} = keliling luar penampang beton.

- b. Apabila pengaruh puntir tidak dapat diabaikan, menurut SNI 03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.2.2, pada struktur statis tak tentu dimana dapat terjadi pengurangan momen puntir pada komponen strukturnya yang disebabkan oleh redistribusi gaya-gaya dalam akibat adanya keretakan, momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat dikurangi menjadi :

- untuk komponen struktur non-prategang

$$\phi \frac{\sqrt{f'c}}{3} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (9)$$

c. Cek dimensi penampang melintang.

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.3.1, dalam merencanakan tulangan torsi, dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

- untuk penampang solid

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + \frac{2\sqrt{f'c}}{3} \quad (10)$$

d. Tentukan tulangan sengkang untuk puntir

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.3.6, tulangan sengkang untuk puntir harus direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yv}}{s} \cot \phi \quad (11)$$

Dengan A_0 , kecuali ditentukan berdasarkan analisis, dapat diambil sebesar $0,85 A_{oh}$. Nilai ϕ tidak boleh kurang daripada 30° dan tidak boleh lebih besar daripada 60° . Nilai ϕ boleh diambil sebesar :

- 45° untuk komponen struktur non-prategang
- $37,5^\circ$ untuk komponen struktur prategang dengan gaya prategang efektif tidak kurang daripada 40% kuat tarik tulangan longitudinal

e. Tentukan tulangan minimum sengkang untuk puntir

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.5.2, luas minimum tulangan sengkang tertutup harus dihitung dengan rumus :

$$A_v + 2A_t = \frac{75\sqrt{f'c}}{(1200)} \frac{b_w s}{f_{yv}} \quad (12)$$

$$\text{namun } (A_v + 2A_t) \text{ tidak boleh kurang dari } \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_{yv}} \quad (13)$$

f. Tentukan tulangan longitudinal (tulangan memanjang) untuk puntir

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.3.7, tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir tidak boleh kurang daripada:

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}}\right) \cot^2 \phi \quad (14)$$

g. Tentukan tulangan longitudinal (tulangan memanjang) minimum untuk puntir

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.5.3, luas total minimum tulangan puntir longitudinal harus dihitung dengan ketentuan:

$$A_{l \min} = \frac{5\sqrt{f'c} A_{cp}}{12 f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \quad (15)$$

$$\text{dengan } A_t / s \text{ tidak kurang dari } \frac{b_w}{6 f_{yv}} \quad (16)$$

h. Tentukan jarak spasi maksimum untuk sengkang

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.6.1, spasi tulangan sengkang puntir tidak boleh melebihi nilai terkecil antara: $P_h / 8$ atau 300 mm.

i. Tentukan jarak spasi maksimum untuk tulangan longitudinal (tulangan memanjang)

Menurut SNI-03-2847-2002 (2002) pasal 13.6.6.2, tulangan longitudinal yang dibutuhkan untuk menahan puntir harus didistribusikan di sekeliling perimeter sengkang tertutup dengan dengan spasi tidak melebihi 300 mm.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan gaya-gaya dalam aplikasi grid element dengan menggunakan program SAP 2000_{student version} hanya memberikan kesalahan yang tidak signifikan jika dibandingkan dengan analisis gaya-gaya dalam dengan menggunakan metode elemen hingga. Adapun nilai momen torsi terbesar adalah 1361,38 kg m dengan kombinasi 1,4DL menjadi $1,4 \times 1361,38 = 1905,93 \text{ kg m}$

Tabel 1. Persentase Selisih Gaya Dalam

Joint	Station	Metode Elemen Hingga			SAP 2000 _{student version}			Selisih (%)		
		Sy	Mx	Mz	V2	T	M3	Sy	Mx	Mz
	m	kg	kgm	kgm	kg	kgm	kgm	kg	kgm	kgm
a	0	4753,69	1361,38	4329,72	4753,69	1361,09	4329,71	0	0,020	0,0002
a	1,5	-3439,69	-1361,38	1815,31	-3439,69	-1361,09	1815,33	0	0,020	0,0011
b	0	657	0	-2006,48	657	0	-2006,44	0	0	0,0020
b	1,5	657	0	2006,48	657	0	2006,44	0	0	0,0020
c	0	-3439,69	-1361,38	-1815,31	-3439,69	-1361,09	-1815,33	0	0,020	0,0011
c	1,5	4753,69	1361,38	-4329,72	4753,69	1361,09	-4329,71	0	0,020	0,0002
d	0	4753,69	-1361,38	4329,72	4753,69	-1361,09	4329,71	0	0,020	0,0002
d	1,5	-3439,69	1361,38	1815,31	-3439,69	1361,09	1815,33	0	0,020	0,0011
e	0	2782,69	-191,17	1361,38	2782,69	-191,12	1361,09	0	0,026	0,020
e	1,5	-1810,69	191,17	2083,65	-1810,69	191,12	2083,94	0	0,026	0,0139
f	0	2782,69	191,17	1361,38	2782,69	191,12	1361,09	0	0,026	0,020
f	1,5	-1810,69	-191,17	2083,65	-1810,69	-191,12	2083,94	0	0,026	0,0139
g	0	4753,69	1361,38	4329,72	4753,69	1361,09	4329,71	0	0,020	0,0002
g	1,5	-3439,69	-1361,38	1815,31	-3439,69	-1361,09	1815,33	0	0,020	0,0011
h	0	2782,69	191,17	1361,38	2782,69	191,12	1361,09	0	0,026	0,020
h	1,5	-1810,69	-191,17	2083,65	-1810,69	-191,12	2083,94	0	0,026	0,0139
i	0	486	0	-1892,48	486	0	-1892,82	0	0	0,0180
i	1,5	486	0	1892,48	486	0	1892,82	0	0	0,0180
j	0	-1810,69	-191,17	-2083,65	-1810,69	-191,12	-2083,94	0	0,026	0,0139
j	1,5	2782,69	191,17	-1361,38	2782,69	191,12	-1361,09	0	0,026	0,020
k	0	657	0	-2006,48	657	0	-2006,44	0	0	0,0020
k	1,5	657	0	2006,48	657	0	2006,44	0	0	0,0020
l	0	486	0	-1892,48	486	0	-1892,82	0	0	0,0180
l	1,5	486	0	1892,48	486	0	1892,82	0	0	0,0180
m	0	486	0	-1892,48	486	0	-1892,82	0	0	0,0180
m	1,5	486	0	1892,48	486	0	1892,82	0	0	0,0180

n	0	657	0	-2006,48	657	0	-2006,44	0	0	0,0020
n	1,5	657	0	2006,48	657	0	2006,44	0	0	0,0020
o	0	2782,69	-191,17	1361,38	2782,69	-191,12	1361,09	0	0,026	0,020
o	1,5	-1810,69	191,17	2083,65	-1810,69	191,12	2083,94	0	0,026	0,0139
p	0	486	0	-1892,48	486	0	-1892,82	0	0	0,0180
p	1,5	486	0	1892,48	486	0	1892,82	0	0	0,0180
q	0	-1810,69	191,17	-2083,65	-1810,69	191,12	-2083,94	0	0,026	0,0139
q	1,5	2782,69	-191,17	-1361,38	2782,69	-191,12	-1361,09	0	0,026	0,020
r	0	-3439,69	1361,38	-1815,31	-3439,69	1361,09	-1815,33	0	0,020	0,0011
r	1,5	4753,69	-1361,38	-4329,72	4753,69	-1361,09	-4329,71	0	0,020	0,0002
s	0	-1810,69	191,17	-2083,65	-1810,69	191,12	-2083,94	0	0,026	0,0139
s	1,5	2782,69	-191,17	-1361,38	2782,69	-191,12	-1361,09	0	0,026	0,020
t	0	-1810,69	-191,17	-2083,65	-1810,69	-191,12	-2083,94	0	0,026	0,0139
t	1,5	2782,69	191,17	-1361,38	2782,69	191,12	-1361,09	0	0,026	0,020
u	0	-3439,69	-1361,38	-1815,31	-3439,69	-1361,09	-1815,33	0	0,020	0,0011
u	1,5	4753,69	1361,38	-4329,72	4753,69	1361,09	-4329,71	0	0,020	0,0002
v	0	4753,69	-1361,38	4329,72	4753,69	-1361,09	4329,71	0	0,020	0,0002
v	1,5	-3439,69	1361,38	1815,31	-3439,69	1361,09	1815,33	0	0,020	0,0011
w	0	657	0	-2006,48	657	0	-2006,44	0	0	0,0020
w	1,5	657	0	2006,48	657	0	2006,44	0	0	0,0020
x	0	-3439,69	1361,38	-1815,31	-3439,69	1361,09	-1815,33	0	0,020	0,0011
x	1,5	4753,69	-1361,38	-4329,72	4753,69	-1361,09	-4329,71	0	0,020	0,0002

Hasil perhitungan luas tulangan memanjang (A_s) dan luas tulangan geser (A_v) aplikasi grid element dengan menggunakan program SAP 2000_{student version} pada dasarnya sama dengan menggunakan SNI 03-2847-2002. Perbedaan yang timbul dikarenakan program SAP 2000_{student version} tidak menghitung tulangan geser minimum ($A_{v \min}$). Hasil output program SAP 2000_{student version} untuk luas tulangan geser adalah A_v/s .

Tabel 2. Persentase Selisih Luas Tulangan

		SNI 03-2847-2002	SAP 2000 _{student version}	Selisih (%)
A_s	Balok Tepi	430,75 mm ²	430,75 mm ²	0
	Balok Dalam	286,32 mm ²	286,32 mm ²	0
$A_{s \min}$	Balok Tepi	1714 mm ²	1714 mm ²	0
	Balok Dalam	943 mm ²	943 mm ²	0
A_v/s	Balok Tepi	0	0	0
	Balok Dalam	0	0	0
$A_v/s_{\min}$	Balok Tepi	0,555 mm ² /mm jarak	$A_v/s_{\min}$ tidak terdefinisi	-
	Balok Dalam	0,416 mm ² /mm jarak		

Setelah menghitung tulangan memanjang akibat pengaruh momen lentur saja, didapatkan tulangan memanjang 8 ϕ 22, tetapi akibat pengaruh momen lentur+torsi, didapatkan tulangan memanjang 14 ϕ 22. Oleh karena itu, akan dibandingkan berat besi pada tulangan memanjang akibat momen lentur terhadap berat besi pada tulangan memanjang akibat momen lentur dan torsi.

Tabel 3. Tabel Pembengkokan Tulangan Memanjang

Diameter	6	8	10	12	13	16	19	22	30	32	36
α											
15°	8	11	13	16	17	21	25	29	40	42	48
30°	16	21	26	32	34	42	50	58	79	84	95
45°	24	32	39	47	51	63	75	87	118	126	142
90°	47	63	79	94	102	126	150	173	236	252	283
135°	71	94	118	141	153	189	224	260	354	377	425

Rumus mencari berat batang = $7850 \times (1/4\pi d^2)$

Untuk tulangan dengan diameter 22 mm, maka berat batang adalah $= 7850 \times (1/4\pi \cdot (22/1000)^2) = 2,984 \text{ kg/m}$

Rumus mencari berat besi = panjang batang $\times$ berat batang $\times$ jumlah batang

Tabel 4. Perbandingan berat besi tulangan memanjang akibat momen lentur terhadap berat besi tulangan memanjang akibat momen lentur dan torsi

	Bentuk Batang Tulangan	Diameter Batang (mm)	Panjang Batang (cm)	Berat Batang (Kg/m)	Jumlah Batang (Buah)	Berat Besi (Kg)	Penambahan (%) Berat Besi
Tulangan Memanjang Akibat Momen Lentur	87 $\xrightarrow{4500}$ 87	22	467,4	2,984	32	446,311	75
Tulangan Memanjang Akibat Momen Lentur Dan Torsi	87 $\xrightarrow{4500}$ 87	22	467,4	2,984	56	781,044	

Setelah menghitung tulangan geser (senggang) akibat pengaruh gaya geser saja, didapatkan senggang ϕ 10 – 250 mm, tetapi akibat pengaruh gaya geser+momen torsi, didapatkan senggang ϕ 10 – 140 mm. Oleh karena itu, akan dibandingkan berat besi pada senggang akibat geser terhadap berat besi pada senggang akibat geser dan torsi.

Tabel 5. Tabel Pembengkokan Tulangan Senggang

Panjang Bengkokan	Diameter Tulangan									
	6	8	10	12	13	16	19	30	32	36
1	54	72	90	108	117	144	170	268	286	322
2	47	63	79	94	102	126	150	236	251	283

Rumus mencari berat batang = $7850 \times (1/4\pi d^2)$

Untuk sengkang dengan diameter 10 mm, maka berat batang adalah $= 7850 \times (1/4\pi \cdot (10/1000)^2) = 0,617 \text{ kg/m}$

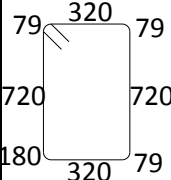
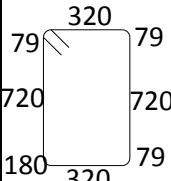
Rumus mencari jumlah batang = L/s (panjang bentang/spasi tulangan)

Untuk sengkang akibat geser saja, dipakai $\phi 10 - 250$, maka jumlah batang = $(4500/250) \times 4 = 72$ buah

Untuk sengkang akibat geser dan torsi, dipakai $\phi 10 - 140$, maka jumlah batang = $(4500/140) \times 4 = 128$ buah

Rumus mencari berat besi = panjang batang $\times$ berat batang $\times$ jumlah batang

Tabel 6. Perbandingan berat besi sengkang akibat geser terhadap berat besi sengkang akibat geser dan torsi

	Bentuk Batang Tulangan	Diameter Batang (mm)	Panjang Batang (cm)	Berat Batang (Kg/m)	Jumlah Batang (Buah)	Berat Besi (Kg)	Penambahan (%) Berat Besi
Sengkang Akibat Geser (Balok Tepi)		10	249,7	0,617	72	110,927	77,777 $\approx$ 78
Sengkang Akibat Geser Dan Torsi (Balok Tepi)		10	249,7	0,617	128	197,203	

4.KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Pada aplikasi grid element terdapat momen torsi yang cukup besar pada balok tepi yaitu sebesar 1905,93 kg m sehingga tidak dapat diabaikan begitu saja. Untuk mengantisipasi terjadinya momen torsi pada bangunan diperlukan tulangan torsi yang merupakan tulangan tambahan pada tulangan memanjang akibat momen lentur dan tulangan geser akibat gaya lintang.
- Hasil perbandingan berat besi tulangan memanjang akibat momen lentur terhadap tulangan memanjang akibat momen lentur dan torsi pada aplikasi grid element diperoleh penambahan sebesar 75%. Hal ini membuktikan pengaruh torsi yang besar dalam perencanaan tulangan memanjang aplikasi grid element.
- Hasil perbandingan berat besi sengkang akibat geser terhadap sengkang akibat geser dan torsi pada aplikasi grid element diperoleh bahwa penambahan sebesar 78%. Hal ini membuktikan pengaruh torsi yang besar dalam perencanaan sengkang aplikasi grid element.
- Hasil perhitungan gaya-gaya dalam aplikasi grid element dengan menggunakan program SAP 2000_{student version} hanya memberikan kesalahan yang tidak signifikan jika dibandingkan dengan analisis gaya-gaya dalam dengan menggunakan metode elemen hingga.
- Hasil perhitungan luas tulangan memanjang (A_s) dan luas tulangan geser (A_v) aplikasi grid element dengan menggunakan program SAP 2000_{student version} pada dasarnya sama dengan menggunakan SNI 03-2847-2002. Perbedaan yang timbul dikarenakan program SAP 2000_{student version} tidak menghitung tulangan geser minimum (A_v min). Hasil output program SAP 2000_{student version} untuk luas tulangan geser adalah A_v/s .

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

- Sebaiknya dalam mendesain suatu struktur grid element tidak boleh mengabaikan momen torsi, terutama di daerah balok tepi karena terdapat momen torsi yang cukup besar.
- Dalam melakukan input pada program SAP 2000_{student version} haruslah benar-benar akurat, karena jika terjadi kesalahan input, maka hasil output akan berbeda dengan hasil perhitungan manual.

5.DAFTAR PUSTAKA

- Dipohusodo,I.(1996).*Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI*.Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Katili, I.(2008).*Metode Elemen Hingga Untuk Skeletal*. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada.
- Tarigan,J.(2011).*Tegangan Torsi Serta Perencanaan Geser Dan Tulangannya Pada Balok Grid Beton Bertulang Tampang Persegi*.Jurnal Seminar Nasional-1 BMPTTSSI-Konteks 5 S263-S269.Medan.
- Tarigan,J.(2011).*Bahan Kuliah Analisa Struktur Lanjutan*.Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.Medan.
- Tarigan, J.(2011).*Bahan Kuliah Metode Elemen Hingga*.Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.Medan.
- SNI 03-2847-2002.(2002).*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*.Bandung.
- Vis,W.C dan Kusuma,G. (1993).*Dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SKSNI T15-1991-03*.Jakarta.