

ANALISIS PERBANDINGAN SIMPANGAN LATERAL DAN VOLUME MATERIAL ANTARA VARIASI BALOK GRID SEJAJAR DAN DIAGONAL PADA BANGUNAN BETON BENTANG LEBAR(MENGACU PADA PERATURAN AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)

Angga Satriadi^{1*}, Hanafiah², Imron Fikri Astira³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

*Korespondensi Penulis : satriadi.angga@yahoo.com

Abstract

In the concrete's buildings with large spans, the using of the ordinary structure system will create the dimensions of the beam, column, and plate are large so that the building be disproportionate. Therefore, the waffle slab structure system was developed. Waffle slab is crossed beam system that is used to increase the stiffness of the plate, so that the smaller the deflection occurs, thus dimensional of structural elements can be minimized and eventually become less material usage. Waffle slab has many types, including the type of parallel waffle slab and diagonal waffle slab. This research aims to determine which system is more economical and rigid between the two types of those. This research uses 1 ordinary building model as a standard, 5 parallel waffle slab's building and 5 diagonal waffle slab's building with Lx and Ly spans is 10 m, height of each floor is 4 m, and given the same loads in accordance with the regulations of the American Society of Civil Engineers (ASCE). There are 5 combinations of crossed beams who start of division 1 Lx and 1 Ly to division 5 Lx and 5 Ly for each waffle slab building model . This research was supported by the program Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems (ETABS) and refers to the regulation American Concrete Institute (ACI). The results showed that the parallel waffle slab 1-1 has the best level of the material's efficiency, amounting to 29.38 %, while the diagonal waffle slab 4-4 even more wasteful 38.78 % compared to the ordinary building's structure. The diagonal waffle slab 5-5 is the most rigid system, It's stiffness increased by 40.41 %, while the parallel waffle slab 4-4 56.19 % more flexible than the ordinary building's structure, but the drift is still into the limits of the allowable story drift.

Keywords : Waffle Slab, ETABS, ACI, Drift, Efficiency

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi perencanaan struktur bangunan sudah canggih, walaupun demikian, bangunan gedung biasanya masih dibangun dengan metode biasa. Padahal untuk bangunan bentang lebar, metode biasa menjadi kurang efektif, karena dimensi bangunan menjadi besar, sehingga biaya proyekpun akan menjadi besar. Oleh karena itu, banyak cara dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya dengan memakai sistem balok *grid*. Balok *grid* merupakan balok menyilang yang digunakan untuk meningkatkan kekakuan pelat, sehingga lendutan yang terjadi akan semakin kecil. Karena sistem balok ini terdiri atas 3 macam, maka seorang sarjana teknik sipilpun akan menjadi bingung dalam menentukan pemakaian sistem balok *grid* yang paling ekonomis dan kaku. Untuk itu, Penelitian ini dibuat untuk membandingkan pemakaian sistem balok *grid* sejajar dan diagonal dengan tujuan untuk mengetahui sistem mana yang lebih ekonomis dan kaku jika diterapkan di lapangan.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. bagaimana perencanaan dan perhitungan suatu struktur bangunan dengan sistem balok *grid*
2. sistem mana yang paling ekonomis, yaitu antara sistem balok *grid* sejajar dan sistem balok *griddiagonal*.
3. sistem mana yang paling kaku, yaitu antara sistem balok *grid* sejajar dan sistem balok *griddiagonal*.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari perencanaan ini adalah :

1. Untuk mengetahui bagaimana perencanaan dan perhitungan suatu struktur yang menggunakan sistem balok *grid*.
2. Mengetahui apakah sistem balok *grid* efektif digunakan pada suatu konstruksi bangunan seperti gedung pertemuan yang mempunyai bentang lebar.
3. Membandingkan efisiensi material yang digunakan dan simpangan lateral yang terjadi antara sistem balok *grid* sejajardan sistem balok *griddiagonal*.

1.4. Ruang Lingkup Pembahasan

Pembahasan perencanaan dan perhitungan struktur ini meliputi perencanaan dan perhitungan gedung 5 lantai bentang lebar dengan dua sistem *grid* yang menggunakan perhitungan manual dan bantuan program ETABS. Perhitungan manual dilakukan untuk mengetahui besarnya estimasi awal dimensi pelat lantai, balok, dan juga kolom, beban-beban yang bekerja pada struktur, penulangan, dan perhitungan volume material. Sedangkan program ETABS akan digunakan untuk memperoleh simpangan lateral dan gaya dalam yang diperlukan untuk penulangan. Pada laporan penelitian ini tidak menghitung tangga, hubungan balok kolom, tidak menganalisa perilaku bangunan terhadap pondasi, dan tidak menghitung rencana anggaran biaya secara keseluruhan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pelat

1. Tebal Pelat

Penentuan tebal pelat tergantung pada sistem penulangan pelat yang direncanakan.

a. Tebal Pelat 1 Arah

Tebal pelat satu arah dapat ditentukan dengan menggunakan tabel 9.5 (a) pasal 9.5.2.1 ACI 318 -02 di bawah ini.

Tabel 1. Tebal Minimum Balok dan Pelat Satu Arah

Member	Minimum thickness, <i>h</i>			
	Simply supported	One end continuous	Both ends continuous	Cantilever
Members not supporting or attached to partitions or other construction likely to be damaged by large deflections.				
Solid one-way slabs	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$
Beams or ribbed one-way slabs	$\ell/16$	$\ell/18.5$	$\ell/21$	$\ell/8$

Sumber : ACI 318, 2002

2. b. Tebal Pelat 2 Arah

Berdasarkan pasal 9.5.3.3 ACI 318-02, tebal pelat dua arah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

Penentuan tebal pelat 2 arah jika α_m antara 0,2 sampai 2 menggunakan rumus

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (1)$$

Jika nilai $\alpha_m > 2$, gunakan rumus

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (2)$$

Besar momen terfaktor berdasarkan pasal 13.6.2.2.ACI 318-02 adalah :

$$M_o = \frac{W_u \lambda_2 \lambda_n^2}{8} \quad (3)$$

2. Penulangan pelat lantai :

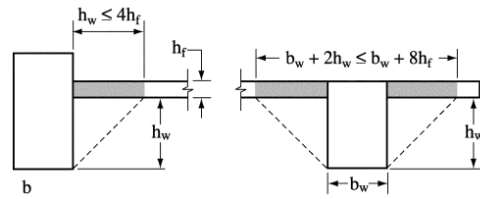
Berdasarkan pasal 12 ACI 318-02, besar momen rencana adalah :

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2}a\right) \quad (4)$$

2.2 Balok T

1. Dimensi Balok T

Suatu balok yang apabila pada pelaksanaannya dan perencanaan dihitung sebagai struktur yang menyatu maka balok ini disebut dengan nama balok T.



Sumber : ACI 318, 2002

Gambar 1. Penampang Balok T

Berdasarkan rumus pada pasal 13 ACI 318-02:

Mengecek lebar flens :

$$b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f \quad (5)$$

Menentukan nilai rasio kekakuan penampang balok terhadap pelat :

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \quad (6)$$

2. Penulangan Balok T

a. Penulangan Utama Balok

$$M_R = \phi (0,85 f'c) b \cdot h_f \cdot (d - 1/2 h_f) \quad (7)$$

Jika $M_R > M_u$ maka dianggap sebagai balok sejajar, $M_R < M_u$ dianggap sebagai balok T murni.

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2}a\right) \quad (8)$$

Berdasarkan rumus di *Appendix F* ACI 318-11, control penulangan dengan menggunakan Satuan Internasional (SI) adalah :

$$\rho_{min} < \rho_{aktual} \leq \rho_b \quad (9)$$

b. Penulangan Geser Balok

Berdasarkan pasal *Appendix F* ACI 318-11, geser kapasitas balok adalah :

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \sqrt{f'c} b_w d \quad (10)$$

jika $V_u < \phi V_c$ maka gunakan persamaan :

$$A_v = 0,35 \frac{b_w \cdot s}{f_y} \quad (11)$$

jika $V_u > \phi V_c$ maka gunakan persamaan :

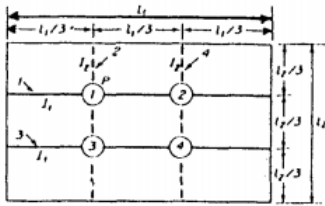
$$A_v = \frac{\left(\frac{V_u}{\phi} - V_c\right) \cdot s}{f_y \cdot d} \quad (12)$$

Sendi plastis balok ada pada 2 x tinggi balok (pasal 21.12.4.2 ACI 318-02) :

- $d/4$
- 8 x diameter tulangan utama terkecil
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

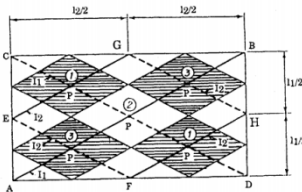
3. Sistem Balok Grid

a. Sistem Grid Sejajar



Sumber : Benny Puspantoro, 1993
Gambar 2. Sistem grid sejajar

b. Sistem Grid Miring / Diagonal



Sumber : Benny Puspantoro, 1993
Gambar 3. Sistem grid miring / diagonal

2.3 Kolom

1. Dimensi Kolom

Penentuan dimensi kolom dengan menggunakan persamaan (Buku G.Nawy) :

$$A_g = \frac{P_n}{0,45(f'_c + f_y \rho_t)} \quad (13)$$

2. Penulangan Kolom

a. Penulangan Utama Kolom

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \quad (14)$$

Berdasarkan pasal 10.3.6.2 ACI 318-02:

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_y \quad (15)$$

Berdasarkan *handbook* G.Nawy, jika $\phi P_{nb} > P_{max}$, maka runtuhnya kolom diawali dengan runtuhnya tulangan tarik. Selanjutnya hitung :

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \left[\frac{h-2e}{2d} + \sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d}\right)^2 + 2mp + \left(1 - \frac{d'}{d}\right)} \right] \quad (16)$$

Jika $\phi P_{nb} < P_{max}$, maka runtuhnya kolom diawali dengan runtuhnya beton pada daerah tekan. Selanjutnya hitung :

$$P_n = \frac{A_s' f_y}{(d-d') + 0,5} + \frac{b h f_c'}{\frac{3 h e}{d^2} + 1,18} \quad (17)$$

b. Penulangan Sengkang Kolom

Daerah sendi plastis dan jarak tulangan sengkang pada kolom (pasal 21.12.5.2 ACI 318-02) :

a. $L_n/6$

- b. dimensi kolom terkecil
- c. minimal 500 mm

Dengan menggunakan batang tulangan di daerah sendi plastis, jarak spasi sengkang ditentukan nilai terkecil dari ketentuan- ketentuan berikut ini :

- a. 8 kali diameter tulangan pokok memanjang
- b. 24 kali diameter tulangan sengkang
- c. $\frac{1}{2}$ Dimensi terkecil balok
- d. maksimal 300 mm

2.4 Pembebanan

1. Jenis Pembebanan

a. Beban Gravitasi

berupa beban mati dan hidup berdasarkan tabel 4-1 ASCE 7-02.

b. Beban Lateral

1). Beban Angin

Langkah perhitungannya :

(a) Menentukan waktu fundamental (T)

$$T = C_t \cdot h_n^{3/4} \quad (18)$$

(b.) Menentukan faktor desakan angin (G)

untuk $T < 1$ sec maka menurut pasal 6.5.8 ASCE 7-02 maka besar faktor desakan :

$$G = 0,925 \left(\frac{1+1,7 \cdot g_Q \cdot I_z \cdot Q}{1+1,7 \cdot g_v \cdot I_z} \right) \quad (19)$$

Tabel 2. Koefisien Perhitungan Desakan Angin

Exposure	α	z_g (ft)	$\frac{\hat{a}}{\hat{b}}$	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (ft)	$\bar{\epsilon}$	z_{min} (ft)*
B	7.0	1200	1/7(3.26)	1/4.0	0.45	0.30	320	1/3.0	30
C	9.5	900	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	500	1/5.0	15
D	11.5	700	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	650	1/8.0	7

Sumber : ASCE 7-02

Berdasarkan pasal 6.5.8 pasal ASCE 7-02, nilai G minimum adalah 0,85.

(c.) Menentukan kecepatan tekanan angin tekan (pasal 6.5.10 ASCE 7-02)

$$q_z = 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot v^2 \cdot I \quad (20)$$

.....(3.29)

Tabel 3. Penentuan Nilai Kd

Structure Type	Directionality Factor K_d^*
Buildings Main Wind Force Resisting System Components and Cladding	0.85
Arched Roofs	0.85
Chimneys, Tanks, and Similar Structures Square Hexagonal Round	0.90 0.95 0.95
Solid Signs	0.85
Open Signs and Lattice Framework	0.85
Trussed Towers Triangular, square, rectangular All other cross sections	0.85 0.95

Sumber : ASCE,2002

Sedangkan I merupakan faktor keutamaan gedung, tabel 1-1 dan tabel 6-1 ASCE 7-02 :

Tabel4. Penentuan Faktor Keutamaan Gedung (Beban Angin)

Category	Non-Hurricane Prone Regions and Hurricane Prone Regions with V = 85-100 mph and Alaska	Hurricane Prone Regions with V > 100 mph
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

Sumber : ASCE,2002

Selanjutnya menentukan nilai koefisien kecepatan tekanan (K_z) :

$$K_z = 2,01 \cdot \left(\frac{Z}{Z_g}\right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (21)$$

Namun jika nilai Z di bawah 15 ft maka gunakan :

$$K_z = 2,01 \cdot \left(\frac{15}{Z_g}\right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (22)$$

(d.) Menentukan koefisien tekanan luar C_p dengan melihat gambar 6-6 ASCE 7-02.

Tabel 5. Penentuan Koefisien angin tekan dan angin hisap

Wall Pressure Coefficients, C_p			
Surface	L/B	C_p	Use With
Windward Wall	All values	0.8	q_z
	0-1	-0.5	
Leeward Wall	2	-0.3	q_h
	≥ 4	-0.2	
	All values	-0.7	

Sumber : ASCE, 2002

(e.) Menentukan besar tekanan angin (P)
Berdasarkan pasal 6.5.12.21 ASCE 7-02 :

Rumus angin tekan :

$$P_z = q_z \cdot G \cdot C_{p1} \quad (23)$$

Rumus angin hisap:

$$P_h = q_h \cdot G \cdot C_{p2} \quad (24)$$

Dimana q_h merupakan nilai q_z terbesar.
Selanjutnya tekanan angin total yang bekerja pada sebuah gedung dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = P_z + P_h \quad (25)$$

2). Beban Gempa

Langkah-langkah perhitungan beban gempa :

- Menentukan koefisien tempat (F) dan percepatan spectral (S) pada lokasi bangunan dengan bantuan Desain Spektra Indonesia (Internet). Dengan bantuan program ini akan didapatkan nilai-nilai $F_a, F_v, S_1, S_s, S_{d1}, S_{ds}, S_{m1}, S_{ms}$.
- Menentukan faktor modifikasi respon struktur (R) berdasarkan tabel 9.5.2.2 ASCE 7-02
- Menentukan faktor keutamaan gedung (I) berdasarkan tabel 1-1, tabel 9.1.3, dan tabel 9.1.4 ASCE 7-02.

Tabel 6. Penentuan Kelompok Seismik

		Seismic Use Group		
		I	II	III
Occupancy Category (Table 1-1)	I	X		
	II	X		
	III		X	
	IV			X

Sumber : ASCE, 2002

Tabel 7. Penentuan Faktor Keutamaan Gedung (Beban Gempa)

Seismic Use Group	I
I	1.0
II	1.25
III	1.5

Sumber : ASCE, 2002

(d.) Menentukan koefisien respon gempa (C) berdasarkan pasal 9.5.5.2.1 ASCE 7-02 :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I} \quad (26)$$

Nilai C_s tidak boleh melebihi :

$$C_{s1} = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{T}\right)^T} \quad (27)$$

Menentukan periode getar bangunan (T) :

Berdasarkan pasal 9.5.5.3.2.1 ASCE 7-02,berikut pendekatan waktu getar bangunan :
Pendekatan pertama :

$$T_{a1} = C_t \cdot h^x \quad (28)$$

Nilai C_t dan x ditentukan dengan menggunakan tabel :

Tabel 8.Nilai C_t dan x

Structure Type	C_t	x
Moment resisting frame systems of steel in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by more rigid components that will prevent the frames from deflecting when subjected to seismic forces	0.028(0.068) ^a	0.8
Moment resisting frame systems of reinforced concrete in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by more rigid components that will prevent the frame from deflecting when subjected to seismic forces	0.016(0.044) ^a	0.9
Eccentrically braced steel frames	0.03(0.07) ^a	0.75
All other structural systems	0.02(0.055)	0.75

^a — metric equivalents are shown in parentheses

Sumber : ASCE, 2002

Pendekatan kedua :

$$T_{a2} = 0,1 \cdot N \quad (29)$$

Untuk menentukan pendekatan waktu getar bangunan rata – rata, menggunakan persamaan :

$$T_a = \frac{T_{a1} + T_{a2}}{2} \quad (30)$$

Maka, untuk menentukan waktu getar bangunan, menggunakan persamaan :

$$T = C_u \cdot T_a \quad (31)$$

Koefisien kalkulasi (C_u) periode getar bangunan ditentukan dengan tabel berdasarkan nilai S_{D1} :

Tabel 9. Nilai C_u

Design Spectral Response Acceleration at 1 Second, S_{D1}	Coefficient C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
0.1	1.7
≤ 0.05	1.7

Sumber : ASCE, 2002

Berdasarkan pasal 9.5.5.2.1.3 ASCE 7-02, nilai C_s tidak boleh kurang dari :

$$C_{s2} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I \quad (32)$$

(e.) Menentukan berat bangunan (W) berdasarkan beban mati dan beban hidup yang direduksi.

(f.) Menentukan beban geser dasar nominal (V) berdasarkan pasal 9.5.5.2.1 ASCE 7-02

$$V = C_s \cdot W \quad (33)$$

(g.) Menentukan gaya lateral ekuivalen (F) berdasarkan pasal 9.5.5.4 ASCE 7-02

$$F_x = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \cdot V \quad (34)$$

Nilai k ditentukan berdasarkan pasal 9.5.5.4.2 ASCE 7-02 dengan batasan untuk $T \leq 0,5$ detik maka nilai $k = 1$, jika $T \geq 2,5$ detik maka nilai $k = 2$. Nilai k diantara batasan ini dicari dengan interpolasi.

2. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diambil dari pasal 9.2.1 ACI 318-02 :

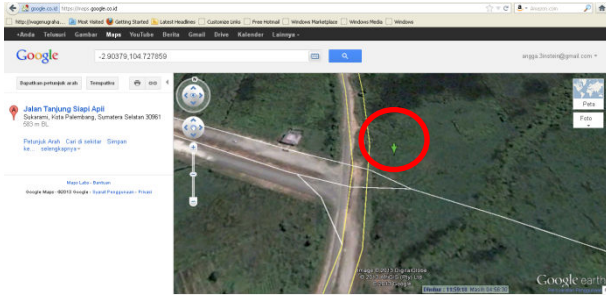
$$\begin{aligned} U &= 1.4 (D + F) & U &= 1.2(D + F + T) + \\ & 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) & & \\ U &= 1.2D + 1.6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (1L \text{ atau } 0.8W) & & \\ & U = 1.2D + 1.6W + 1L + 0.5(1L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) & & \\ U &= 1.2D + 1E + 1L + 0.2S & & \\ U &= 0.9D + 1.6W + 1.6H & & \\ U &= 0.9D + 1E + 1.6H & & \end{aligned}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Penentuan Objek Penelitian

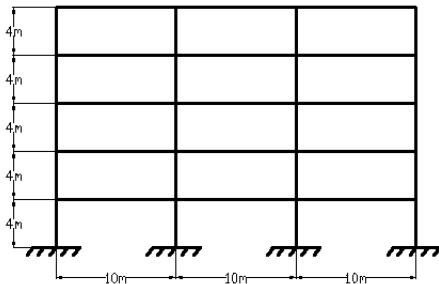
Bangunan *grid* yang akan menjadi model memiliki 5 lantai dengan tinggi tiap lantai sama, yaitu 4 m, dan lebar pelat lantai dibuat sama dengan L_x dan L_y 10 m, Pada masing-masing model pelat diterapkan 5 macam kombinasi jumlah balok silang dan diberi besar beban yang sama, yaitu beban mati, hidup, angin dan gempa yang dikombinasikan menurut peraturan *American Concrete Institute* (ACI). Sebagai model acuan digunakan model bangunan biasa.

Dimensi balok, kolom, dan pelat direncanakan sesuai peraturan ACI. Penentuan beban kerja baik itu beban mati, hidup, angin, dan gempa disesuaikan dengan peraturan *American Society of Civil Engineers* (ASCE), sehingga penelitian ini bisa dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Gambar di bawah ini merupakan lokasi pemodelan Penelitian ini, yaitu pada daerah sekitar Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II dengan koordinat lintang $-2,90379^\circ$ dan bujur $104,727859^\circ$



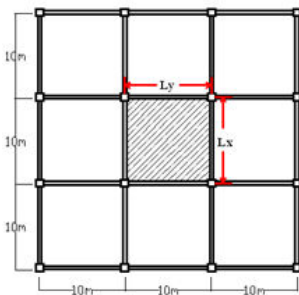
Gambar 4. Lokasi Model Bangunan

Gambar gedung tampak samping :

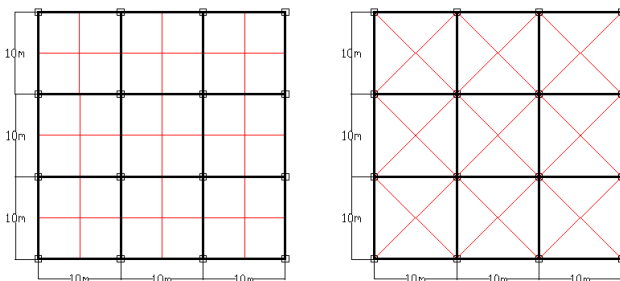


Gambar 5. Tampak Samping Bangunan

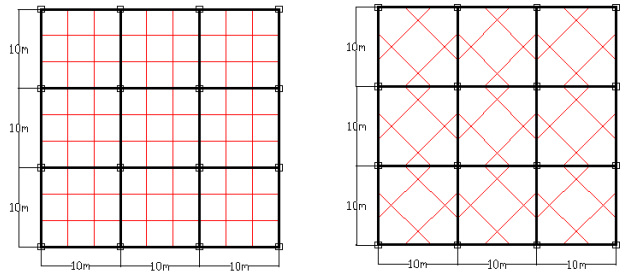
Pembagian balok dilakukan baik arah sejajar maupun diagonal, sehingga total model bangunan untuk diteliti adalah 11. untuk lebih jelasnya silahkan lihat gambar – gambar di bawah ini :



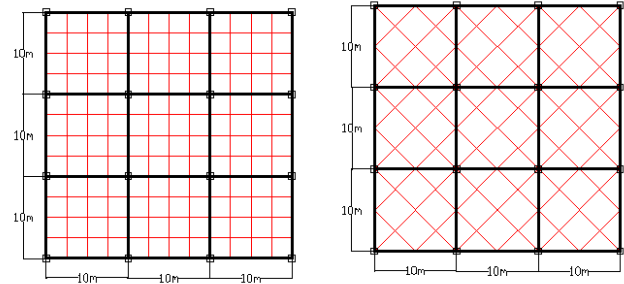
Gambar 6. Sistem Bangunan Biasa



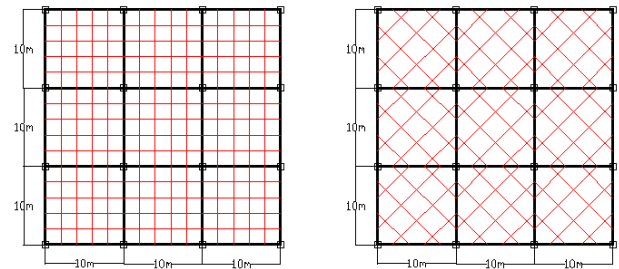
Gambar 7. Grid Sejajar 1-1 (kiri), Grid Diagonal 1-1 (kanan)



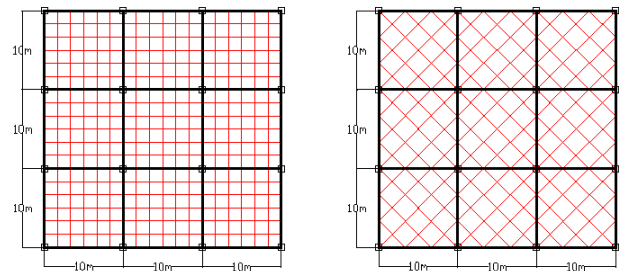
Gambar 8. Grid Sejajar 2-2 (kiri), Grid Diagonal 2-2 (kanan)



Gambar 9. Grid Sejajar 3-3 (kiri), Grid Diagonal 3-3 (kanan)



Gambar 10. Grid Sejajar 4-4 (kiri), Grid Diagonal 4-4 (kanan)



Gambar 11. Grid Sejajar 5-5 (kiri), Grid Diagonal 5-5 (kanan)

3.2 Pengumpulan Data

Masing masing model akan mendapatkan perlakuan dan beban yang sama berdasarkan peraturan ASCE 2002. Penentuan dimensi pelat, balok, dan kolom menggunakan peraturan ACI. Kemudian akan didapatkan tebal minimum yang diizinkan. Dimensi ini akan dimodelkan dengan program *Extended Three Dimensional Analysis of Building System (ETABS)*. Ketebalan pelat akan dikontrol dengan lendutan izin yang disyaratkan oleh ACI, dengan nilai ± 5 mm. Sedangkan

ketebalan balok dan kolom akan di ± 1 cm hingga didapatkan dimensi yang ideal.

3.3 Pengolahan Data

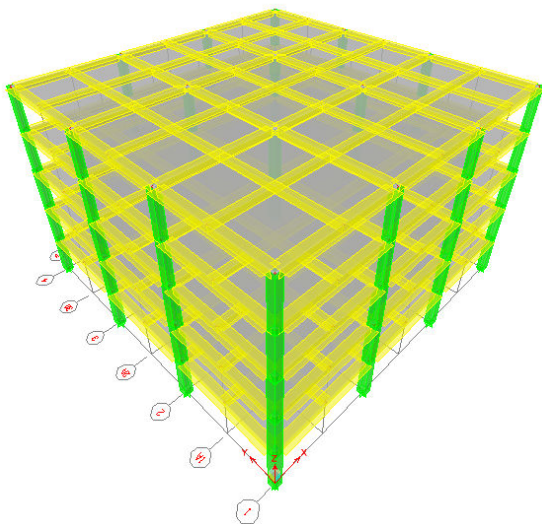
Jika dimensi beserta penulangan pelat lantai, balok T, kolom, sudah didapatkan, selanjutnya adalah menghitung volume material yang berupa volume beton dan volume baja tulangan yang digunakan untuk masing-masing model bangunan, kemudian dihitung harga materialnya. Untuk harga baja tulangan diambil harga dari Amerika karena menggunakan baja dengan mutu yang ada di Negara tersebut, sedangkan harga beton diambil dari harga Kota Palembang. Dari perbandingan harga material ini akan diketahui bangunan sistem *grid* mana yang paling ekonomis jika dibandingkan dengan bangunan sistem biasa.

Dari program ETABS, akan didapatkan simpangan lateral (*drift*) maksimum dari setiap model. Dari perbandingan simpangan lateral ini akan diketahui bangunan sistem *grid* mana yang paling kaku jika dibandingkan dengan bangunan sistem biasa. Langkah selanjutnya adalah membandingkan efisiensi penggunaan material dan simpangan lateral. Perbandingan ini akan dibuatkan kedalam tabel dan grafik agar mudah dipahami dan dianalisa. Dari kedua macam *item* ini akan dicari tahu hubungan antara efisiensi penggunaan material dan kekakuan pada setiap model bangunan tersebut.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Layout Model Gedung

Contoh perhitungan di bawah ini hanya pada model bangunan *grid* sejajar 1-1. Perhitungan 10 model bangunan lainnya tidak diperlihatkan pada jurnal ini.



Gambar 12. Layout ETABS Gedung Tipe Grid Sejajar 1-1

4.2 Preliminary Design

1. Dimensi Balok

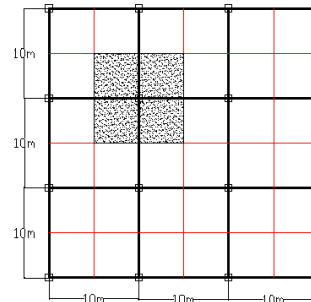
Dimensi balok anak *grid* sejajar 1-1 adalah $h = 48$ cm dan $b = 24$ cm. Sedangkan dimensi balok induk *grid* sejajar 1-1 adalah $h = 58$ cm dan $b = 29$ cm.

2. Dimensi Pelat Lantai

Berdasarkan rumus ACI dan *trial and error* pada ETABS, maka diambil tebal dimensi pelat lantai 12 cm.

3. Dimensi Kolom

Dimensi estimasi awal kolom adalah 70 cm.



Gambar 13. Distribusi Beban Kolom pada Gedung Grid Sejajar 1-1

a. Lantai Atap :

Total Beban Mati Dipikul = 73264,18 kg

Beban Hidup Dipikul = 29256 kg

b. Lantai Tipikal :

Total Beban Mati Dipikul = 95771,82 kg

Beban Hidup Dipikul = 48828 kg

Tabel 10. Dimensi Kolom Bangunan Tipe Grid Sejajar 1-1

Lantai	Pn (N)	Ag (mm ²)	h perlu (cm)	h pakai (cm)
5	1321665.958	68783.03192	26.227	59 x 59
4	3215491.917	167342.8008	40.908	62 x 62
3	5109317.875	265902.5696	51.566	71 x 71
2	7003143.834	364462.3385	60.371	71 x 71
1	8896969.792	463022.1073	68.046	72 x 72

4.3 Perhitungan Pembebanan

Data Material :

Mutu beton (f_c') = 4000 psi = 28 Mpa

Mutu baja ulir (f_y) = 60000 psi = 420 Mpa

Mutu baja polos (f_y) = 40000 psi = 280 Mpa

$w_c = 145 \text{ lf/ft}^3 = 2400 \text{ kg/m}^3$

1. Beban Mati dan Hidup

a. Pembebanan Pelat Atap

Beban Mati (DL) :

Berat Waterproffing = 7,14 kg/m²

Berat Plafond Akustik + Penggaantung = 24,46 kg/m²

Berat Spesi 2cm = 46,89 kg/m²

Berat Mekanikal Elektrikal = 29,56 kg/m²

Berat Dutching AC + Plumbing (Partisi) = 97,86 kg/m²

Beban Hidup (LL) = 292,56 kg/m²

b. Pembebanan Plat Lantai Tipikal

Beban Mati (DL) :

Berat Plafond Akustik + Pengggantung = 24,26 kg/m²

Berat Keramik + Mortar = 112,13 kg/m²

Berat Mekanikal Elektrikal = 29,56 kg/m²

Berat Dutching AC + Plumbing = 97,86 kg/m²
 Beban Hidup (LL)=488,28 kg/m²

$$P_{titik\ simpul} = P_{tiap\ lantai} \times \text{luas}\ \text{tiap}\ \text{simpul}$$

2. Perhitungan Beban Angin

Dari perhitungan didapat :

$$K_{zt} = 1$$

$$K_d = 0,85$$

$$V = 11,4\ \text{m/s}$$

$$I = 1,25$$

Tabel 11. Tekanan Angin Tekan dan Hisap

Lantai	Tinggi (m)	Tekan	Hisap	Tekan	Hisap	
		Kz	Kh	qz (N/m ²)	qh (N/m ²)	
5	Z ₅	20	0.87615	0.87615	68.09529	68.09529
4	Z ₄	16	0.82203	0.87615	63.88935	68.09529
3	Z ₃	12	0.75717	0.87615	58.84800	68.09529
2	Z ₂	8	0.67434	0.87615	52.41069	68.09529
1	Z ₁	4	0.57472	0.87615	44.66795	68.09529

Data perhitungan :

$$C_{p1} = 0,8$$

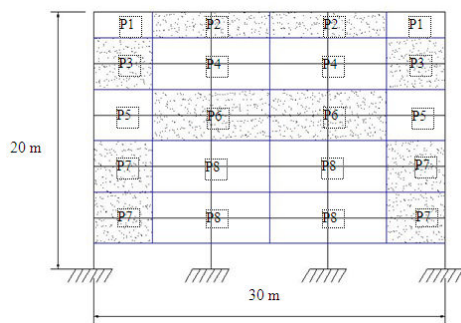
$$C_{p2} = 0,5$$

$$G = 0,85$$

Tabel 12. Tekanan Angin Total

Lantai	Windward	Leeward	P total (N/m ²)
	Pz (N/m ²)	Ph (N/m ²)	
5	46.305	28.940	75.245
4	43.445	28.940	72.385
3	40.017	28.940	68.957
2	35.639	28.940	64.580
1	30.374	28.940	59.315

Menghitung kecepatan angin tekan (q_z) :



Gambar 14. Luasan Tekanan Angin pada Gedung

Sehingga akan didapat tekanan angin pada titik simpul yang dapat dilihat pada Tabel 13 di bawah ini :

$$\text{Luas 1} = 10\ \text{m}^2$$

$$\text{Luas 2} = 20\ \text{m}^2$$

$$\text{Luas 3} = 20\ \text{m}^2$$

$$\text{Luas 4} = 40\ \text{m}^2$$

Percepatan gravitasi bumi menurut ASCE 7-02 adalah 9,81 m/s².

Tabel 13. Tekanan Angin Terpusat Tiap Simpul

Lantai	Tinggi dari tanah (m)	P total (N/m ²)	Beban Angin (kg)			
			K1	K2	K3	K4
5	20	75.245	76.703	153.406	153.406	76.703
4	16	72.385	147.575	295.149	295.149	147.575
3	12	68.957	140.586	281.171	281.171	140.586
2	8	64.580	131.662	263.323	263.323	131.662
1	4	59.315	120.928	241.855	241.855	120.928

3. Perhitungan Beban Gempa

Dari perhitungan didapat :

$$C_s = 0,10606\ \text{sec}$$

$$I = 1,25$$

$$R = 5\ (\text{SPRMM})$$

$$W_t = 4938259\ \text{kg}$$

Base shear (V)

$$V = C_s \cdot W_{total}$$

$$V = 523728,7\ \text{kg}$$

Tabel 14. Rekapitulasi Beban Gempa Gedung Tipe Grid Sejajar 1-1

Lantai	hx (m)	(hx) ² /k (m)	Wx (Kg)	Wx (hx ² /k) (Kg.m)	Cvx	Fx (kg)
5	20	28.535	725584.1	20704853	0.270	141639.968
4	16	22.232	1039153	23102359	0.302	158041.082
3	12	16.114	1047985	16887696	0.221	115527.155
2	8	10.238	1057585	10827991	0.141	74073.2743
1	4	4.715	1067953	5035476	0.066	34447.2187
JUMLAH				76558375		

4.4 Perhitungan Tulangan

1. Penulangan Pelat Lantai

Pelat Lantai dihitung dengan menggunakan metode perencanaan langsung,

Beban Lantai Atap

$$\text{Beban Mati Sendiri + DL} = 493,9123\ \text{kg/m}^2$$

$$\text{Beban Hidup Total (LL)} = 292,4486\ \text{kg/m}^2$$

Beban Lantai Tipikal

$$\text{Beban Mati Sendiri + Total DL} = 552,0163\ \text{kg/m}^2$$

$$\text{Beban Hidup Total (LL)} = 488,2773\ \text{kg/m}^2$$

Kemudian mencari nilai Momen Terfaktor :

$$M_o = \frac{W_u \cdot \lambda_2 \lambda_n^2}{8}$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 5\ \text{m}$$

Tabel 15. Perhitungan Momen Terfaktor

Lantai	DL (kg/m ²)	LL (kg/m ²)	1,2DL+1,6LL (kg/m ²)	lamda n	0.65 lamda 1	Mo (kg.m)
5	493.91233	292.5586	1060.78858	4.41	3.25	12893.95
4	552.01631	488.2773	1443.6632	4.38	3.25	17309.88
3	552.01631	488.2773	1443.6632	4.29	3.25	16605.83
2	552.01631	488.2773	1443.6632	4.29	3.25	16605.83
1	552.01631	488.2773	1443.6632	4.28	3.25	16528.5

Selanjutnya menghitung momen distribusi terfaktor pada balok, pelat dan momen rencana :

Tabel 16. Distribusi Momen Terfaktor

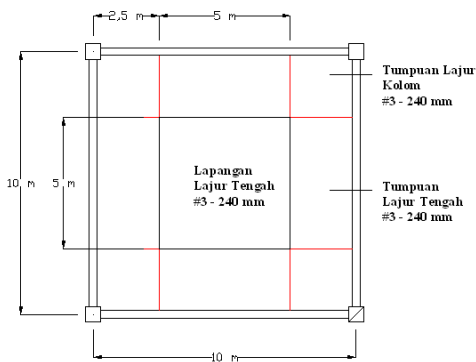
Distribusi Mo (kg.m)		Faktor Distribusi Mo 75% (kg.m)		Momen Balok 85% (kg.m)		Momen Pelat 15% (kg.m)		Momen Rencana (kg.m)	
0.65 Mo (-)	0.35 Mo (+)	Tump	Lap	Tump	Lap	Tump	Lap	Tump	Lap
8381.07	4512.88	6285.801	3384.662	5342.93	2876.96	942.87	507.7	2095.27	1128.22
11251.4	6058.46	8438.568	4543.844	7172.78	3862.27	1265.79	681.58	2812.86	1514.61
10793.8	5812.04	8095.34	4359.029	6881.04	3705.17	1214.3	653.85	2698.45	1453.01
10793.8	5812.04	8095.34	4359.029	6881.04	3705.17	1214.3	653.85	2698.45	1453.01
10743.5	5784.97	8057.644	4338.731	6849	3687.92	1208.65	650.81	2685.88	1446.24

Sehingga besar momen Tumpuan dan Lapangan untuk masing-masing lajur adalah :

Tabel 17. Momen Pada Masing-masing Lajur

Lantai	Momen Pelat 15% (kg.m)		Momen Rencana (kg.m)		Momen Lajur Kolom (kg.m)		Momen Lajur Tengah (kg.m)	
	Tump	Lap	Tump	Lap	Tump mn/m	Lap mn/ m	Tump Mn/m	Lap Mn/m
5	942.87	507.699	2095.27	1128.22	474.04	255.25	931.230	501.431
4	1265.79	681.577	2812.86	1514.61	636.39	342.67	1250.158	673.162
3	1214.3	653.854	2698.45	1453.01	610.51	328.74	1199.31	645.782
2	1214.3	653.854	2698.45	1453.01	610.51	328.74	1199.31	645.782
1	1208.65	650.81	2685.88	1446.24	607.67	327.2	1193.725	642.775

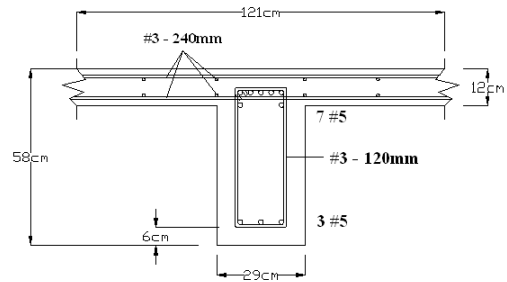
Berdasarkan perhitungan dengan rumus, maka digunakan tulangan #3- 240 mm dari as ke as untuk setiap 1 meter.



Gambar 14. Penulangan Pelat Lantai

2. Penulangan Balok T Induk

Contoh perhitungan penulangan (utama dan sengkang) tumpuan balok T pada jurnal ini hanya dilakukan pada balok di lantai 5 dengan kode balok pada ETABS adalah B1.

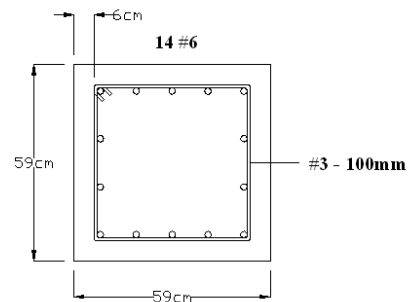


Gambar 15. Penulangan Balok T

3. Penulangan Kolom

Contoh perhitungan penulangan (utama dan sengkang) tumpuan kolom pada jurnal ini hanya dilakukan pada balok di lantai 5 dengan kode kolom pada ETABS adalah C1.

Digunakan 14 #6 tulangan utama dan #3 - 100 mmtulangan sengkangpada daerah sendi plastis.



Gambar 16. Penulangan Kolom

4.5 Simpangan Lateral Bangunan

Simpangan lateral izin per lantai adalah :

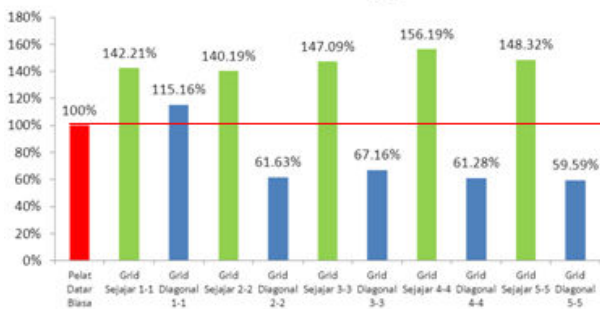
$$\Delta s = \frac{0,03}{R} x h_i = \frac{0,03}{5} x 4000 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$$

Simpangan lateral maksimum yang terjadi pada lantai 5, hasil dari program ETABS untuk semua model bangunan adalah :

Tabel 18. Persentase Simpangan Lateral Maksimum

No	NAMA MODEL	Simpangan Lateral Maksimum pada lantai 5 (mm)	Simpangan Lateral Maksimum terhadap Pelat Datar Biasa (%)	Selisih Simpangan Lateral Maksimum terhadap Pelat Datar Biasa (%)
1	Pelat Datar Biasa	63.85	100.00%	-
2	Grid Sejajar 1-1	90.8	142.21%	42.21%
3	Grid Diagonal 1-1	73.53	115.16%	15.16%
4	Grid Sejajar 2-2	89.51	140.19%	40.19%
5	Grid Diagonal 2-2	39.35	61.63%	-38.37%
6	Grid Sejajar 3-3	93.92	147.09%	47.09%
7	Grid Diagonal 3-3	42.88	67.16%	-32.84%
8	Grid Sejajar 4-4	99.73	156.19%	56.19%
9	Grid Diagonal 4-4	39.13	61.28%	-38.72%
10	Grid Sejajar 5-5	94.7	148.32%	48.32%
11	Grid Diagonal 5-5	38.05	59.59%	-40.41%

Dari data di atas, nampak bahwa model bangunan tipe sistem *grid*sejajar 4-4 mempunyai simpangan lateral paling besar yaitu 99,73 mm atau 156,19% jika dibandingkan dengan model bangunan sistem biasa. Artinya sistem *grid* sejajar 4-4 merupakan sistem yang paling lentur, namun simpangan lateral antar lantai yang terjadi masih dalam batas izin, adapun besar simpangan antar lantai dapat di lihat laporan penelitian. Namun sistem *grid* yang paling kaku adalah model bangunan sistem *grid* diagonal 5-5 dengan nilai simpangan maksimum sebesar 38,05 mm atau 59,59% dari simpangan lateral maksimum model bangunan biasa. Secara keseluruhan, simpangan maksimum yang terjadi pada model bangunan sistem *grid* sejajar adalah berkisar dari 89,51 mm sampai 99,73 mm (kekuan menurun 40,19% sampai 56,19%) dari simpangan lateral maksimum pada model bangunan biasa. Sedangkan simpangan maksimum pada sistem *grid* diagonal adalah berkisar dari 38,05 mm sampai 73,53 mm (kekakuan meningkat 32,84% sampai 40,41%) dari simpangan lateral model bangunan biasa. Untuk lebih jelasnya silahkan lihat histogram di bawah ini :



Gambar 17. Histogram Perentase Perbandingan Simpangan Lateral Maksimum

4.6 Volume dan Efisiensi Material

Berikut hasil perhitungan volume material semua model bangunan :

Tabel 19. Material Baja dan Beton

No	Jenis Bangunan	Material Baja (m3)	Material Beton (m3)
1	Pelat Datar Biasa	20.579	1576.400
2	Grid Sejajar 1-1	16.325	990.102
3	Grid Diagonal 1-1	17.850	1342.165
4	Grid Sejajar 2-2	17.335	1047.102
5	Grid Diagonal 2-2	17.777	1822.022
6	Grid Sejajar 3-3	18.891	1091.538
7	Grid Diagonal 3-3	18.084	1739.929
8	Grid Sejajar 4-4	19.825	1159.050
9	Grid Diagonal 4-4	24.047	2498.168
10	Grid Sejajar 5-5	20.389	1204.984
11	Grid Diagonal 5-5	20.454	2104.199

Dari tabel diatas, tampak bahwa ada bangunan dengan volume material tulangnya besar, namun volume material betonnya sedikit dan sebaliknya. Contohnya bangunan dengan sistem *grid* sejajar 3-3 volume tulangan 18.891 m³ dan 1091,538 m³ sedangkan model bangunan

sistem *grid* diagonal 3-3 volume tulangan 18.084 m³ dan volume beton 1739,929 m³. Jelas bahwa volume tulangan bangunan *grid* sejajar 3-3 lebih besar dibandingkan *grid* diagonal, namun volume beton bangunan *grid* sejajar 3-3 lebih kecil dibandingkan dengan bangunan *grid* diagonal 3-3. Maka untuk dapat mengambil kesimpulan model bangunan mana yang paling ekonomis, maka harus dikalikan dengan harga satuan.

Harga baja tulangan di Amerika adalah \$.650 per ton (data oktober 2013), maka akan di cari harga baja tulangan tersebut dalam rupiah per m³. Berat jenis baja tulangan dengan mutu fy 420 Mpa menurut ASTM adalah 490 lb/ft³ atau 7850 kg/m³, artinya:

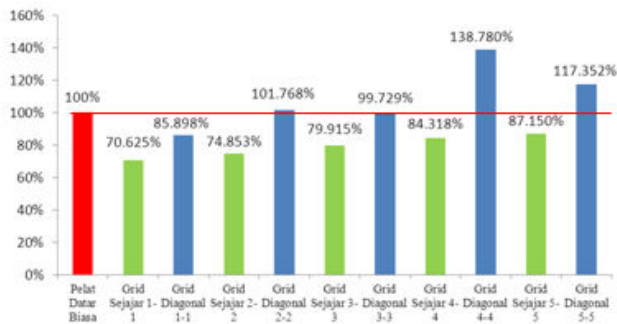
$$1\text{m}^3 \text{ baja tulangan} = 7.85 \text{ ton}$$

Nilai tukar mata uang rupiah terhadap dollar adalah Rp.11.234 per dollar (data 1 november 2013). Sehingga \$.650 / ton = 650 x Rp.11234 = Rp.7.302.100 / ton, dengan demikian harga baja per m³ adalah = Rp.7.302.100 x 7.85 = Rp.57.321.485 /m³. Sedangkan harga beton *ready mix* Kota Palembang Rp. 833.250 /m³. Berikut adalah tabel hasil rekapitulasi perhitungan harga material bangunan :

Tabel 20. Persentase Perbandingan Biaya Material

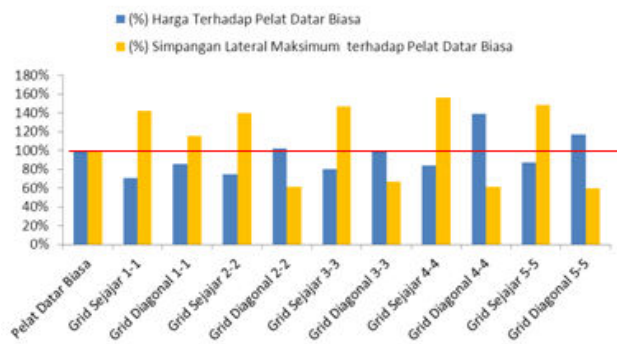
No	NAMA MODEL	Total Harga Berdasarkan Volume Material (Rp)	(%) Harga Terhadap Pelat Datar Biasa	Efisiensi (%)
1	Pelat Datar Biasa	Rp2,493,140,653.09	100.00%	-
2	Grid Sejajar 1-1	Rp1,760,770,395.32	70.62%	29.38%
3	Grid Diagonal 1-1	Rp2,141,551,962.23	85.90%	14.10%
4	Grid Sejajar 2-2	Rp1,866,192,442.66	74.85%	25.15%
5	Grid Diagonal 2-2	Rp2,537,217,553.96	101.77%	-1.77%
6	Grid Sejajar 3-3	Rp1,992,398,149.89	79.92%	20.08%
7	Grid Diagonal 3-3	Rp2,486,377,625.92	99.73%	0.27%
8	Grid Sejajar 4-4	Rp2,102,174,270.25	84.32%	15.68%
9	Grid Diagonal 4-4	Rp3,459,987,446.46	138.78%	-38.78%
10	Grid Sejajar 5-5	Rp2,172,776,956.75	87.15%	12.85%
11	Grid Diagonal 5-5	Rp2,925,751,597.06	117.35%	-17.35%

Dari tabel diatas, tampak bahwa bangunan dengan sistem *grid* sejajar 1-1 memiliki efisiensi penggunaan material paling tinggi, yaitu sebesar 29,38% jika dibandingkan dengan model bangunan biasa. Sedangkan penggunaan material tulangan dan betonnya adalah Rp. 1.760.770.395,32 atau sekitar 70,625 % jika dibandingkan dengan bangunan model biasa. Secara keseluruhan bangunan dengan sistem *grid* sejajar memiliki tingkat efisien berkisar antara 12,85 % sampai 29,38%. Sedangkan bangunan dengan sistem *grid* diagonal 4-4 memiliki efisien paling buruk jika dibandingkan dengan model bangunan biasa, yaitu sebesar Rp3,459,987,446.46 atau 138,78%. Artinya model bangunan *grid* diagonal 4-4 memiliki defisit penggunaan material sebesar 38,78% dibandingkan dengan model bangunan biasa. Secara keseluruhan bangunan sistem *grid* diagonal memiliki tingkat efisien dari - 38,78% sampai 14,1%. Untuk lebih jelasnya, silahkan lihat histogram di bawah ini :



Gambar 18. Histogram Persentase Perbandingan Biaya Material

Jika histogram simpangan lateral maksimum dihubungkan dengan histogram perbandingan efisiensi penggunaan material, akan terlihat bahwa hubungannya berbanding terbalik. Semakin efisien penggunaan material suatu bangunan, maka akan semakin lentur bangunan tersebut, begitupun sebaliknya. Hal tersebut dapat dilihat pada histogram di bawah ini :



Gambar 19. Histogram Perbandingan Simpangan Lateral Maksimum dan Efisiensi Penggunaan Material

Dari histogram pada Gambar 19 di atas dan dari tabel sebelumnya dapat diketahui bahwa model bangunan dengan sistem *grid* sejajar 1-1 memiliki perilaku yang unik, model ini mempunyai efisiensi penggunaan material yang paling baik, yaitu sekitar 29,38 % jika dibandingkan dengan model bangunan biasa, namun sistem *grid* sejajar 1-1 ini mempunyai kekakuan yang paling kecil jika dibandingkan dengan model bangunan biasa, yaitu simpangan lateralnya meningkat sekitar 42,21% jika dibandingkan dengan model bangunan biasa. Perilaku sebaliknya diperlihatkan oleh model bangunan sistem *grid* diagonal 4-4, sistem ini memiliki kenaikan harga material sebesar 38,78% jika dibandingkan dengan harga material model bangunan biasa, namun sistem ini memiliki tingkat kekakuan tinggi, yaitu kekakuannya meningkat sebesar 38,72% jika dibandingkan dengan model bangunan biasa.

Secara keseluruhanpun, model bangunan dengan sistem *grid* sejajar menunjukkan perilaku yang sama, yaitu mempunyai efisiensi material yang baik, namun memiliki tingkat kekakuan yang buruk, dan sebaliknya, model bangunan dengan sistem *grid* diagonal lebih kaku jika dibandingkan dengan model bangunan biasa, namun

sistem ini cenderung lebih boros dalam penggunaan materialnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisa dan pembahasan, didapat kesimpulan antara bangunan sistem biasa, sistem *grid* sejajar, dan sistem *griddiagonal*, yaitu :

5.1. Kesimpulan

1. Dibandingkan model bangunan biasa, bangunan yang paling ekonomis secara material adalah model bangunan dengan menggunakan sistem *grid* sejajar 1-1, efisiensi penggunaan materialnya sampai 29,38%. Sedangkan bangunan yang paling tidak efisien adalah bangunan yang menggunakan sistem *grid* diagonal 4-4, persentase pertambahan materialnya mencapai 38,78%.
2. Bangunan yang paling kaku adalah bangunan yang menggunakan sistem *grid* diagonal 5-5, kekakuannya meningkat sebesar 40,41%, sedangkan bangunan yang paling *flexibel* adalah bangunan yang menggunakan sistem *grid* sejajar 4-4, 56,19% lebih *flexibel* jika dibandingkan dengan model bangunan biasa.
3. Dalam penelitian ini, Sistem *grid*sejajar memang efektif digunakan agar penggunaan material menjadi lebih sedikit (hemat) jika dibandingkan dengan bangunan sistem biasa (efisiensi berkisar 12,85% hingga 29,38%), namun tidak semua sistem *grid* baik untuk bangunan bentang lebar, pada penelitian ini, ternyata penggunaan material oleh sistem *grid* diagonal lebih boros (efisiensi berkisar -38,78% hingga 14,1%) jika dibandingkan dengan bangunan model biasa.
4. Dalam penelitian ini, sistem *grid* diagonal ternyata lebih kaku jika dibandingkan dengan bangunan sistem biasa (kekakuan meningkat hingga 40,41%), sedangkan sistem *grid*sejajar justru lebih *flexible* (kekakuannya menurun hingga 56,19%) jika dibandingkan dengan bangunan model biasa

5.1 Saran

1. Dalam mendesain gedung dengan bentang 10m dan tinggi tiap lantai 4m harus berhati-hati, karena tidak semua sistem *grid* efektif digunakan untuk menghemat penggunaan material. Gunakanlah sistem *grid* sejajar jika ingin menghemat penggunaan material, dan gunakanlah sistem *grid* diagonal jika ingin memiliki bangunan dengan tingkat kekakuan yang tinggi.
2. Analisis ini belum memperhitungkan perhitungan pondasi, tangga, dan dimensi *joint*. Sebaiknya dilain kesempatan, studi seperti ini juga memperhitungkan pondari, tangga, dan *joint* agar didapatkan hasil yang lebih akurat lagi.

3. Siapa saja yang ingin melanjutkan penelitian ini, segi arsitektural dapat menjadi kajian yang menarik mengingat sistem *grid* mempunyai bentuk yang indah.
4. Penelitian ini hanya menggunakan program Extended Three Dimensional Analysis of Building System (ETABS). Dilain kesempatan, agar didapatkan hasil yang lebih akurat, maka sebaiknya dilakukan perbandingan perhitungan dengan program lain seperti SAP 2000, SANS PRO, STAAD PRO, dan lain-lain.
- 15) Tarigan, Johannes, dan Randy, *Pengaruh Tegangan Torsi terhadap Perencanaan Tulangan Memanjang dan Tulangan Geser pada Balok Grid Beton Bertulang Tampang Sejajar*. Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, 2010.
- 16) Universitas Sriwijaya, *Pedoman Petunjuk Kerja Praktek*. Inderalaya, 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) ACI Committee 318 (2002). *Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02)*. ACI, Farmington Hills, MI.
- 2) ACI Committee 318 (2011). *Building Code Requirement for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary (ACI 318R-11)*. ACI, Farmington Hills, MI.
- 3) ASCE 7-02. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. New York: America Society of Civil Engineers.
- 4) Astira, Imron Fikri. 2000. *Diktat Kuliah Struktur Plat dan Cangkang*. Palembang
- 5) Computer and Structure, Inc, *From Start to Finish : Model, Design and Optimize a Multi-Story Concrete Structure Using ETABS*. California, 1995.
- 6) Computer and Structure, Inc, *Integrated Design and Analysis Software for Building Systems*. California, 1995.
- 7) Ilham, M.Noer, *Analisis Struktur Gedung dengan Software ETABS v.9.2.0*. (C) MNI-2011.
- 8) Imran, Sujandi dan Hendrik, Fajar, *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Penerbit ITB, Bandung, 2010.
- 9) Kusuma, Benny dan Tavio, *Desain Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Struktur beton Bertulang Tahan Gempa*. Itspress, Surabaya, 2009.
- 10) Pamungkas, Anugrah dan Harianti, Erny, *Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Penerbit. Itspress, Surabaya, 2009.
- 11) Puspanoro, Benny. *Teori & Analisis BALOK GRID*, Penerbit Andi Offset Yogyakarta, 1993.
- 12) Nawy, Edward G, *Reinforced Concrete A Fundamental Approach*. New Jersey : Prentice-Hall, Inc, 1985.
- 13) Sathawane, Amit A. & Deotale, R.S. *Analysis and Design of Flat Slab and Grid Slab and Their Cost Comparison*. International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering, ISSN: 2231-5721, Volume-1, Issue-2, 2012
- 14) Taranath, Bungale S, *Wind and Earthquake Resistant Buildings*. John A. Martin and Associates Inc, New York, 2005.