

PENGARUH GETARAN PADA STRUKTUR BANGUNAN SATU TINGKAT AKIBAT GERAKAN MANUSIA

Dwi Catra Rimaza¹, Daud Rachmat Wiyono²

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha,
hwiesiong@gmail.com

ABSTRAK

Kriteria-kriteria yang harus diperhatikan dalam perencanaan suatu bangunan diantaranya adalah kekakuan, kekuatan, kestabilan, kelenturan dan keekonomisan. Ada satu kriteria yang seringkali terlupakan dalam perencanaan suatu bangunan, yaitu masalah getaran yang sangat berdampak terhadap kenyamanan penghuni bangunan itu sendiri. Analisis getaran dilakukan pada beberapa tipe pelat, balok induk, dan kolom dengan variasi pada ukuran dimensi. Pembahasan hanya dilakukan terhadap bangunan kantor, pusat perbelanjaan, dan tempat ibadah. Berbagai macam standar untuk kenyamanan manusia telah ada sejak bertahun-tahun lamanya, termasuk sejarah singkat perkembangan standar umum yang digunakan di Amerika Serikat dan Eropa. Batasan puncak percepatan untuk bangunan kantor, pusat perbelanjaan dan tempat ibadah berdasarkan panduan *Steel Design Guide 11th Series "Floor Vibration due to Human Activity"* adalah 0,5 %; 1,5 %; dan 0,5 %. Analisis dilakukan berdasarkan panduan *Steel Design Guide 11th Series "Floor Vibration due to Human Activity"* di mana standar ini juga didasari oleh ISO 2631/1-1985 dan ISO 2631/2-1989 dan dengan bantuan program ETABS V9.5. Melalui program ini akan diperoleh periode getar dan berat struktur dari pemodelan bangunan yang dibuat. Disini diketahui dimensi minimum dari ketebalan pelat, balok induk dan kolom serta nilai perkiraan puncak percepatan getaran yang masih berada dalam batas toleransi sesuai dengan peraturan *Steel Design Guide 11th Series*.

Kata Kunci : Beban, Periode getar, Puncak percepatan.

1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia serta perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang Teknik Sipil, kebutuhan pembangunan gedung bertingkat tinggi terus meningkat. Hal ini terjadi karena kebutuhan manusia Indonesia akan lahan tempat tinggal, perkantoran, tempat hiburan dan tempat ibadah semakin meningkat. Tetapi, kebutuhan manusia akan tempat tinggal, perkantoran, tempat hiburan dan tempat ibadah mengalami kendala keterbatasan lahan terutama di kota-kota besar sehingga manusia mencari alternatif solusi yaitu pembangunan gedung-gedung bertingkat tinggi. Dengan adanya gedung bertingkat tinggi, efektifitas penggunaan lahan menjadi meningkat. Tetapi perlu diingat bahwa semakin tinggi bangunan, semakin besar kemungkinan bangunan tersebut menimbulkan getaran. Oleh karena itu, dalam perencanaan pembangunan gedung bertingkat, perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan penghuni gedung tersebut.

Kenyamanan bagi penghuni gedung merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam perencanaan suatu bangunan selain dari faktor kekakuan, kekuatan, kestabilan, daktilitas, dan keekonomisan. Namun, seringkali dalam perencanaan suatu

120 Jurnal Teknik Sipil Volume 10 Nomor 2, Oktober 2014 : 92-203

bangunan faktor kenyamanan menjadi kurang atau bahkan tidak diperhatikan oleh para perencana sehingga menimbulkan ketidaknyamanan. Ketidaknyamanan ini disebabkan oleh terjadinya getaran pada elemen struktur yang melentur dan bergetar hingga mencapai di luar batas toleransi. Batasan kenyamanan ini memang berbeda-beda antara satu orang dengan orang lain. Suatu badan organisasi yang dikenal dengan “ISO” (International Standards Organization) membuat standar kriteria batasan bagi penghuni/pemakai gedung dan standar ini sudah dipergunakan oleh perencana bangunan di beberapa negara maju seperti Amerika Serikat, Australia, Inggris, dll.

Ada berbagai macam hal yang dapat menjadi penyebab terjadinya getaran pada bangunan, diantaranya :

1. Berasal dari dalam bangunan seperti peralatan mesin (elevators, escalators, troli, mesin pompa, genset, dan lain-lain) serta aktifitas dari orang di dalam gedung (berjalan, berlari, meloncat, menari, dan lain-lain).
2. Berasal dari luar bangunan seperti lalu lintas kendaraan di jalan, kereta api, aktifitas pembangunan di sekitar gedung, ledakan bom, angin kencang dan gempa bumi.

Pada tulisan ini mencoba untuk menganalisis seberapa besar pengaruh getaran pada struktur bangunan bertingkat untuk beberapa tipe dimensi pelat lantai, balok induk, dan kolom beton bertulang yang sering dipergunakan dalam pembangunan serta jumlah lantai agar kemudian diketahui kelayakan pakai dimensi pelat tersebut sehingga mudah untuk diaplikasikan sesuai dengan kriteria batasan vibrasi dari standar “ISO”.

2. PERMASALAHAN

Dengan melakukan analisis dinamik struktur untuk mengetahui seberapa besar pengaruh getaran pada struktur bangunan bertingkat dengan dimensi pelat, balok, dan kolom beton bertulang yang bervariasi setelah dibebani oleh beban mati dan beban hidup untuk kantor, pusat perbelanjaan, dan untuk tempat ibadah dengan menggunakan program ETABS V9.5. Kemudian menghitung perkiraan puncak percepatan struktur untuk dibandingkan dengan batas puncak percepatan. Selanjutnya menentukan kelayakan dimensi balok, kolom, dan pelat terhadap pengaruh getaran setelah dibebani oleh beban mati dan beban hidup menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987.

3. PEMBATASAN MASALAH

Ruang lingkup yang dibahas dalam tugas akhir ini, antara lain :

1. Sistem struktur yang ditinjau adalah sistem balok pelat
2. Sistem pelat beton bertulang yang ditinjau adalah pelat satu arah dan pelat dua arah
3. Analisis dilakukan menggunakan dimensi pelat, balok, dan kolom beton bertulang yang bervariasi
4. Analisis dilakukan pada bangunan bertingkat satu dan bertingkat dua
5. Analisis dilakukan dengan menggunakan program ETABS V9.5
6. Beban yang diperhitungkan untuk pelat lantai adalah beban mati tambahan sebesar 1,61865 kN/m² dan beban hidup sebesar 2,4525 kN/m² (kantor); 3,924 kN/m² (pusat perbelanjaan); dan 3,924 kN/m² (tempat ibadah)
7. Perhitungan dan pembahasan untuk penulangannya tidak dilakukan karena tidak mempengaruhi rumus yang dipakai
8. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 25$ MPa
9. Peraturan yang dipergunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2847-2002 “Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung” dan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987.

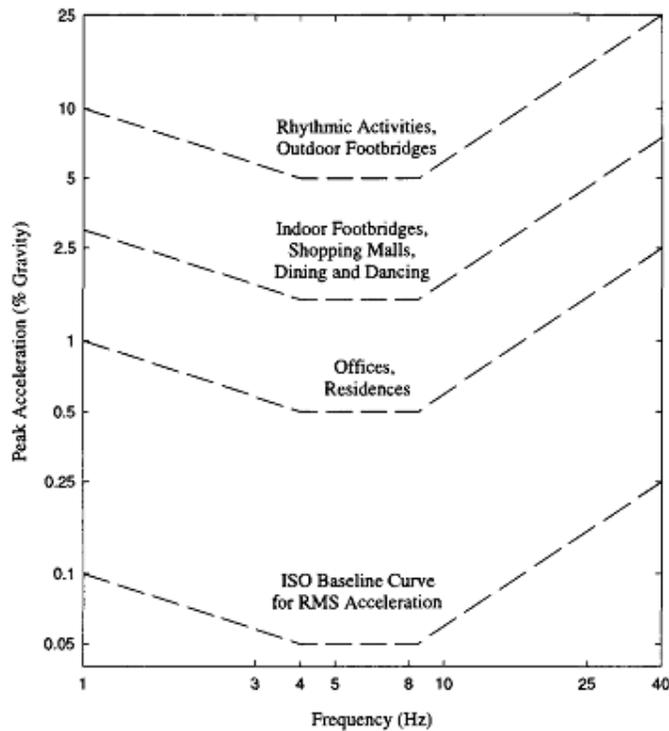
4. EVALUASI HASIL PENGUJIAN

4.1 Standar untuk Kenyamanan Manusia [Steel Design Guide Series, 2003]

4.1.1 Respon Manusia Terhadap Gerakan Lantai

Reaksi dari orang-orang yang merasakan vibrasi tergantung dari apa yang sedang mereka lakukan. Orang-orang di kantor atau di tempat tinggal mereka tidak menyukai vibrasi yang “nampak jelas” (puncak percepatan sekitar 0,5 % dari percepatan gravitasi, g), sedangkan orang-orang yang mengambil peran dalam sebuah aktifitas akan menerima vibrasi kurang lebih 10 kali lebih besar (5 % g atau lebih).

Orang-orang yang berada di lantai dansa, mengangkat beban di gedung aerobik atau gedung olahraga, atau berada di pusat perbelanjaan akan menerima vibrasi sekitar 1,5 % g . Kepekaan dalam setiap pekerjaan juga berbeda-beda sesuai dengan lamanya vibrasi dan jauhnya letak sumber vibrasi. Batasan limit untuk frekuensi vibrasi adalah diantara 4 Hz dan 8 Hz. Di luar batasan tersebut, orang-orang menerima percepatan vibrasi yang lebih tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva puncak percepatan yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap vibrasi menurut *Allen dan Murray*, 1993; ISO 2631-2, 1989.

4.1.2 Standar untuk Desain Struktur

Berbagai macam standar untuk kenyamanan manusia telah ada sejak bertahun-tahun lamanya, termasuk sejarah singkat perkembangan standar umum yang digunakan di Amerika Serikat dan Eropa.

Bentuk dari fungsi respon sebuah resonansi :

$$\frac{a}{g} = \frac{R \cdot \alpha_i \cdot P}{\beta \cdot W} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot i \cdot f_s \cdot t) \quad (1)$$

dimana :

- a/g = rasio dari percepatan lantai dengan percepatan gravitasi
- R = faktor reduksi
- α_i = koefisien dinamik

- β = rasio *modal damping* (rasio redaman)
- W = berat efektif lantai
- f_s = frekuensi langkah
- t = waktu

Dimana $R = 0,7$ untuk jembatan penyeberangan dan $0,5$ untuk struktur lantai dengan bentuk konfigurasi pelat dua arah. Faktor reduksi R masuk dalam persamaan karena gerakan resonansi tetap menyeluruh tidak dapat diterima untuk gerakan berjalan dan orang-orang tidak secara serempak berada di lokasi perpindahan bebanmaksimum.

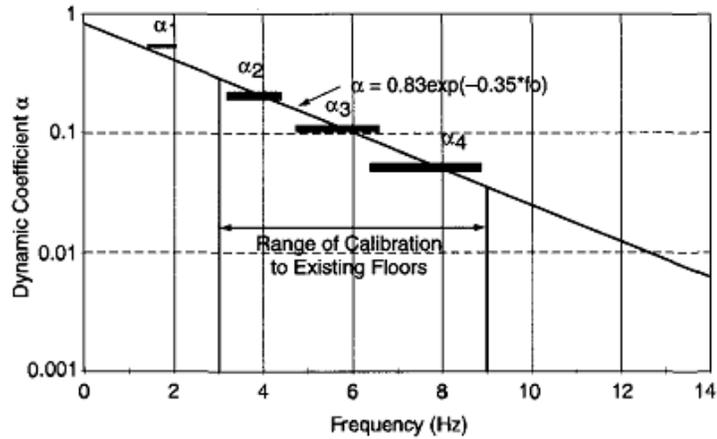
Untuk desain, persamaan (2.4) dapat disederhanakan dengan memperkirakan/mendekatkan hubungan langkah antara koefisien dinamik(α_i)dengan frekuensi langkah(f_s) yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 dengan rumus $\alpha = 0,83 \exp (-0,35 \cdot f)$. Substitusi ini membuat rumus standar desain disederhanakan menjadi :

$$\frac{a_p}{g} \leq \frac{P_o \cdot \exp(-0,35 \cdot f_n)}{\beta \cdot W} \leq \frac{a_o}{g} \quad (2)$$

dimana :

- a_p/g = perkiraan puncak percepatan
- a_o/g = puncak percepatan
- f_n = frekuensi natural struktur
- P_o = gaya tetap (0,29 KN untuk lantai dan 0,41 KN untuk jembatan)
- β = rasio redaman
- W = berat efektif struktur

dimana nilai P_o , β dan limit a_o/g dapat dilihat pada Tabel 1. Pembilang $P_o \exp (-0,35 \cdot f_n)$ dalam persamaan (2) mewakili gaya harmonik efektif akibat gerakan berjalan di mana hasil dalam respon resonansi pada frekuensi natural struktur, f_n . Persamaan (2) adalah standar desain yang sama yang diajukan oleh *Allen dan Murray* (1993), hanya saja formatnya berbeda.



Gambar 2. Grafik koefisien dinamik (α) terhadap frekuensi [Steel Design Guide Series, 2003].

Tabel 1. Nilai parameter P_o , β , dan limit a_o/g [Steel Design Guide Series, 2003].

JENIS	GAYA TETAP P_o (KN)	RASIO REDAMAN β	LIMIT PERCEPATAN $a_o/g \times 100 \%$
Kantor, tempat tinggal, tempat ibadah	0,29	0,02 - 0,05	0,5 %
Pusat perbelanjaan	0,29	0,02	1,5 %
Jembatan penyeberangan (dalam ruangan)	0,41	0,01	1,5 %
Jembatan penyeberangan (luar ruangan)	0,41	0,01	5,0 %
$\beta = 0,02$ untuk pelat dengan komponen non-struktur (komponen partisi, pipa-pipa saluran pembatas) yang terdapat pada area kerja terbuka dan tempat ibadah. $\beta = 0,03$ untuk pelat dengan komponen non-struktur dan perabotan, tetapi dengan hanya komponen partisi yang kecil, tipikal dari banyak modul area kantor. $\beta = 0,05$ untuk partisi tinggi penuh diantara pelat.			

5. STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

5.1 Studi Kasus

Data Struktur

Struktur bangunan yang akan dimodelkan memiliki data umum sebagai berikut :

Tinggi lantai = 4 m = 4000 mm

Jarak antar kolom (as ke as) :

Arah x = 8 m = 8000 mm

$$\text{Arah } y = 8 \text{ m} = 8000 \text{ mm}$$

5.1.1 Data Material

Struktur pelat, balok, dan kolom merupakan struktur beton bertulang dengan data material sebagai berikut :

- a. Material Beton Bertulang :
 1. Kuat tekan beton, f_c' = 25 MPa
 2. Berat jenis beton, γ_w = $2,4 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$
 3. Massa jenis beton, γ_m = $2,4 \times 10^{-9} \text{ N/mm}^3$
 4. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700 \sqrt{f_c'} = 23500 \text{ MPa}$
- b. Material Tulangan Non-prategang Balok, Kolom dan Pelat :
 1. Kuat leleh tulangan non-prategang (lentur), f_y = 400 MPa
 2. Kuat leleh tulangan geser, f_{ys} = 400 MPa
 3. Modulus elastisitas tulangan non-prategang, E_s = 200000 MPa
 4. Cover minimum berdasarkan SNI 2002 :

Pelat	= 20 mm
Balok dan kolom	= 40 mm

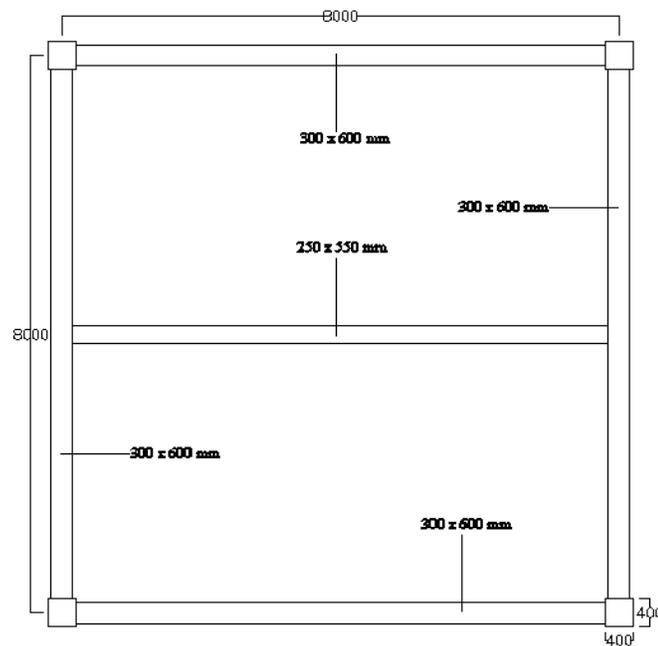
5.1.2 Data Komponen Struktur

Komponen struktur terdiri dari balok, kolom, dan pelat lantai, seperti pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5. Pada permodelan struktur, digunakan dimensi balok, pelat dan kolom dengan ukuran-ukuran sebagai berikut :

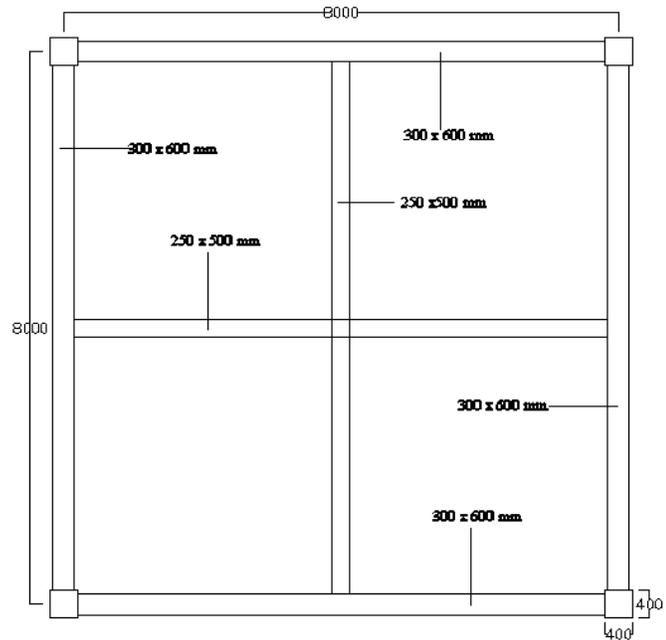
1. Balok Induk untuk Sistem Pelat Satu Arah dan Dua Arah :
 - a. Ukuran 300 x 500 mm
 - b. Ukuran 300 x 600 mm
 - c. Ukuran 300 x 700 mm
2. Balok Anak
 - a. Ukuran 250 x 550 mm, untuk sistem pelat satu arah
 - b. Ukuran 250 x 500 mm, untuk sistem pelat dua arah
3. Pelat lantai
 - a. Sistem Pelat Satu Arah :
 - 1) Tebal 120 mm

- 2) Tebal 140 mm
- 3) Tebal 160 mm
- b. Sistem Pelat Dua Arah :
 - 1) Tebal 80 mm
 - 2) Tebal 100 mm
 - 3) Tebal 120 mm
- 4. Kolom Sistem Pelat Satu Arah dan Dua Arah :
 - a. Ukuran 400 x 400 mm
 - b. Ukuran 500 x 500 mm
 - c. Ukuran 600 x 600 mm

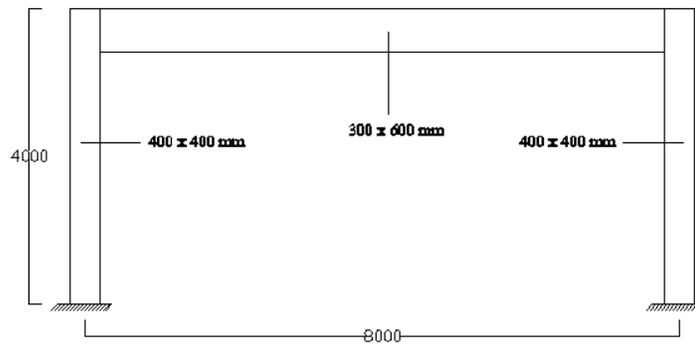
Dimensi-dimensi komponen struktur di atas, dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 3. Denah Struktur Pelat Satu Arah.



Gambar 4. Denah Struktur Pelat Dua Arah.



Gambar 5. Potongan Melintang Denah 1 Lantai.

Tabel 2. Tabel Dimensi Komponen Struktur

	SISTEM PELAT	
	SATU ARAH	DUA ARAH
DIMENSI BALOK INDUK	300 x 500 mm	300 x 500 mm
	300 x 600 mm	300 x 600 mm
	300 x 700 mm	300 x 700 mm

Tabel 2. Lanjutan.		
DIMENSI BALOK ANAK	250 X 550 mm	250 x 500 mm
TEBAL PELAT	120 mm	80 mm
	140 mm	100 mm
	160 mm	120 mm
DIMENSI KOLOM	400 x 400 mm	400 x 400 mm
	500 x 500 mm	500 x 500 mm
	600 x 600 mm	600 x 600 mm

5.1.3 Data Pembebanan

Struktur bangunan ini hanya akan menerima beban statik gravitasi diantaranya sebagai berikut :

1. Beban Mati (berat sendiri struktur) *DL (self-weight)*

Berat sendiri dari seluruh komponen struktur telah dihitung secara internal di dalam program ETABS V9.5, dengan berat jenis beton yang telah ditentukan yaitu sebesar $2,4 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$ (2400 kg/m^3).

2. Beban Mati Tambahan, *SDL (super impose dead load)*

Beban mati tambahan diakibatkan oleh beban gravitasi dari beban tidak bergerak selain berat sendiri struktur. Pada struktur bangunan ini, beban mati tambahan diakibatkan oleh beban *plafond* dan penggantung, spesi, ubin, dan pasir urug.

a. Berat sendiri plafond & penggantung	= 0,17658 kN/m ²
b. Berat sendiri spesi (t = 30mm)	= 0,61803 kN/m ²
c. Berat sendiri ubin (t = 20 mm)	= 0,47088 kN/m ²
d. Berat sendiri pasir urug (t = 20 mm)	= 0,35316 kN/m ² +
Total	= 1,61865kN/m ²

3. Beban Hidup, *LL (live load)*

Beban hidup diakibatkan oleh beban gravitasi yang berasal dari benda bergerak. Pada struktur bangunan yang akan didesain dan dianalisis ini,

ketentuan beban hidup diambil berdasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987 yaitu :

- a. Beban hidup pada lantai kantor = 2,4525 kN/m²
- b. Beban hidup pada lantai pusat perbelanjaan = 3,924 kN/m²
- c. Beban hidup pada lantai tempat ibadah = 3,924 kN/m²

5.1.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan dalam kondisi layan adalah 1DL + 1SDL + 1LL. Pembahasan: Setelah dilakukan pemodelan struktur dengan menggunakan ETABS V9.5, didapatkan nilai-nilai a_p/g (%) (perkiraan puncak percepatan) yang dihitung setelah melalui analisis pada struktur bangunan tersebut.

5.1.5 Bangunan SatuTingkat

- 1. Pelat SatuArah
 - a. Variasi pada Tebal Pelat (Model 1)

Tabel 3. Hasil Analisis pada Bangunan Satu Lantai Sistem Pelat Satu Arah, Variasi Tebal Pelat.

	MODEL 1								
Balok Induk (mm)	300X600								
Balok Anak (mm)	250X550								
Kolom (mm)	500X500								
Jumlah Lantai	1								
Beban Mati (kN/m ²)	1,61865								
Tebal Pelat (mm)	120			140			160		
Beban Hidup (kN/m ²)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)
Periode Getar	0.199	0.199	0.199	0.206	0.206	0.206	0.214	0.214	0.214
Frekuensi	5.031	5.031	5.031	4.843	4.843	4.843	4.675	4.675	4.675
Berat (kN)	428.321	428.321	428.321	458.478	458.478	458.478	488.634	488.634	488.634
a_p/g	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.006
a_p/g (%)	0.388	0.582	0.582	0.387	0.581	0.581	0.385	0.578	0.578

Keterangan : (a) : Beban hidup untuk kantor

- (b) : Beban hidup untuk pusat perbelanjaan
(c) : Beban hidup untuk tempat ibadah

b. Variasi pada Ukuran Dimensi Balok Induk

Tabel 4. Hasil Analisis pada Bangunan Satu Tingkat Sistem Pelat Satu Arah, Variasi Dimensi Balok Induk.

MODEL 2									
Tebal Pelat (mm)	160								
Balok Anak (mm)	250X550								
Kolom (mm)	500X500								
Jumlah Lantai	1								
Beban Mati (kN/m ²)	1,61865								
Balok Induk (mm)	300X500			300X600			300X700		
Beban Hidup (kN/m ²)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)
Periode Getar	0.228	0.228	0.228	0.214	0.214	0.214	0.205	0.205	0.205
Frekuensi	4.389	4.389	4.389	4.675	4.675	4.675	4.886	4.886	4.886
Berat (kN)	467.430	467.430	467.430	488.63	488.63	488.63	509.84	509.84	509.84
a _p /g	0.004	0.007	0.007	0.004	0.006	0.006	0.003	0.005	0.005
a _p /g (%)	0.445	0.668	0.668	0.385	0.578	0.578	0.343	0.514	0.514

- Keterangan : (a) : Beban hidup untuk kantor
(b) : Beban hidup untuk pusat perbelanjaan
(c) : Beban hidup untuk tempat ibadah

c. Variasi pada Ukuran Dimensi Kolom

Tabel 5. Hasil Analisis pada Bangunan Satu Tingkat Sistem Pelat Satu Arah, Variasi Dimensi Kolom.

MODEL 3	
Balok Induk (mm)	300X600
Balok Anak (mm)	250X550
Tebal Pelat (mm)	160
Jumlah Lantai	1

Tabel 5. Lanjutan.									
Beban Mati (kN/m²)	1,61865								
Kolom (mm)	400X400			500X500			600X600		
Beban Hidup (kN/m²)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)
Periode Getar	0.289	0.289	0.289	0.214	0.214	0.214	0.171	0.171	0.171
Frekuensi	3.456	3.456	3.456	4.675	4.675	4.675	5.837	5.837	5.837
Berat (kN)	456.404	456.404	456.404	488.634	488.634	488.634	528.404	528.404	528.404
a_p/g	0.006	0.009	0.009	0.004	0.006	0.006	0.002	0.004	0.004
a_p/g (%)	0.632	0.948	0.948	0.385	0.578	0.578	0.237	0.356	0.356

- Keterangan : (a) : Beban hidup untuk kantor
 (b) : Beban hidup untuk pusat perbelanjaan
 (c) : Beban hidup untuk tempat ibadah

2. Pelat 2 Arah

a. Variasi pada Tebal Pelat

Tabel 6. Hasil Analisis pada Bangunan Satu Tingkat Sistem Pelat Dua Arah, Variasi Tebal Pelat.

	MODEL 1								
Balok Induk (mm)	300X600								
Balok Anak (mm)	250X500								
Kolom (mm)	500X500								
Jumlah Lantai	1								
Beban Mati (kN/m²)	1,61865								
Tebal Pelat (mm)	80			100			120		
Beban Hidup (kN/m²)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)
Periode Getar	0.188	0.188	0.188	0.196	0.196	0.196	0.204	0.204	0.204
Frekuensi	5.309	5.309	5.309	5.090	5.090	5.090	4.895	4.895	4.895
Berat (kN)	389.211	389.211	389.211	419.368	419.368	419.368	449.525	449.525	449.525
a_p/g	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.006
a_p/g (%)	0.387	0.581	0.581	0.388	0.582	0.582	0.388	0.582	0.582

- Keterangan : (a) : Beban hidup untuk kantor
 (b) : Beban hidup untuk pusat perbelanjaan

- (c) : Beban hidup untuk tempat ibadah
- b. Variasi pada Ukuran Dimensi Balok Induk

Tabel 7. Hasil Analisis pada Bangunan Satu Tingkat Sistem Pelat Dua Arah, Variasi Dimensi Balok Induk.

MODEL 2									
Tebal Pelat (mm)	120								
Balok Anak (mm)	250X500								
Kolom (mm)	500X500								
Jumlah Lantai	1								
Beban Mati (kN/m ²)	1,61865								
Balok Induk (mm)	300X500			300X600			300X700		
Beban Hidup (kN/m ²)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)
Periode Getar	0.217	0.217	0.217	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204
Frekuensi	4.607	4.607	4.607	4.895	4.895	4.895	4.894	4.894	4.894
Berat (kN)	428.321	428.321	428.321	449.525	449.525	449.525	428.321	428.321	428.321
a _p /g	0.005	0.007	0.007	0.004	0.006	0.006	0.004	0.006	0.006
a _p /g (%)	0.450	0.675	0.675	0.388	0.582	0.582	0.407	0.610	0.610

- Keterangan : (a) : Beban hidup untuk kantor
 (b) : Beban hidup untuk pusat perbelanjaan
 (c) : Beban hidup untuk tempat ibadah
- c. Variasi pada Ukuran Dimensi Kolom

Tabel 8. Hasil Analisis pada Bangunan Satu Tingkat Sistem Pelat DuaArah, Variasi Dimensi Kolom.

MODEL 3			
Balok Induk (mm)	300X600		
Balok Anak (mm)	20X500		
Tebal Pelat (mm)	120		
Jumlah Lantai	1		
Beban Mati (kN/m ²)	1,61865		
Kolom (mm)	400X400	500X500	600X600

Tabel 8. Lanjutan.									
Beban Hidup (kN/m²)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)	2,4525 ^(a)	3,924 ^(b)	3,924 ^(c)
Periode Getar	0.276	0.276	0.276	0.204	0.204	0.204	0.164	0.164	0.164
Frekuensi	3.626	3.626	3.626	4.895	4.895	4.895	6.099	6.099	6.099
Berat (kN)	417.295	417.295	417.295	449.525	449.525	449.525	489.29	489.294	489.29
a_p/g	0.007	0.010	0.010	0.004	0.006	0.006	0.002	0.004	0.004
a_p/g (%)	0.651	0.977	0.977	0.388	0.581	0.581	0.234	0.351	0.351

- Keterangan : (a) : Beban hidup untuk kantor
 (b) : Beban hidup untuk pusat perbelanjaan
 (c) : Beban hidup untuk tempat ibadah

Dari seluruh pembahasan di atas, didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.18 berikut :

Tabel 9. Tabel Hasil Analisis dan Pembahasan.

Lantai	Sistem Pelat	Bangunan	Pelat (mm)	Balok (mm)	Kolom (mm)
1	Searah	Kantor	120	300x500	500x500
		Pusat Perbelanjaan	120	300x500	400x400
		Tempat Ibadah	-	-	600x600
	Dua Arah	Kantor	80	300x500	500x500
		Pusat Perbelanjaan	80	300x500	400x400
		Tempat Ibadah	-	-	600x600
2	Searah	Kantor	120	300x600	500x500
		Pusat Perbelanjaan	120	300x500	400x400
		Tempat Ibadah	-	-	-
	Dua Arah	Kantor	80	300x600	500x500
		Pusat Perbelanjaan	80	300x500	400x400
		Tempat Ibadah	-	-	-

Dari Tabel 9 terlihat bahwa didapatkan hasil komposisi dimensi-dimensi komponen struktur bangunan sebagai berikut :

1. Bangunan SatuTingkat
 - a. Pelat satu arah
 - 1) Bangunan kantor :

- a) Pelat 120 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
 - b) Pelat 160 mm, balok induk 300x500 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
- 2) Bangunan pusat perbelanjaan :
- a) Pelat 120 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
 - b) Pelat 160 mm, balok induk 300x500 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
 - c) Pelat 160 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 400x400 mm
- 3) Bangunan Tempat Ibadah : Pelat 160 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 600x600 mm
- b. Pelat dua arah
- 1) Bangunan kantor :
- a) Pelat 80 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
 - b) Pelat 160 mm, balok induk 300x500 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
- 2) Bangunan pusat perbelanjaan :
- a) Pelat 80 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
 - b) Pelat 120 mm, balok induk 300x500 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 500x500 mm
 - c) Pelat 120 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 400x400 mm
- 3) Bangunan Tempat Ibadah : Pelat 120 mm, balok induk 300x600 mm, balok anak 250x550 mm dan kolom 600x600 mm

1. **Bangunan Satu Tingkat**

2. Pelat Satu Arah Bangunan Satu Tingkat

Tabel 10. Persentase Selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Satu Arah Bangunan Satu Tingkat, Variasi Tebal Pelat.

Model 1	Tebal Pelat (mm)	Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
a_0/g (%)	120	0.5	1.5	0.5
	140			
	160			
a_p/g (%)	120	0.388	0.582	0.582
	140	0.387	0.581	0.581
	160	0.385	0.578	0.578
Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g	120	22.413	61.207	-16.380
	140	22.591	61.296	-16.113
	160	22.964	61.482	-15.555

Tabel 11. Persentase Selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Satu Arah Bangunan Satu Tingkat, Variasi Dimensi Balok Induk

Model 2	Dimensi Balok (mm)	Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
a_0/g (%)	300x500	0.5	1.5	0.5
	300x600			
	300x700			
a_p/g (%)	300x500	0.445	0.668	0.668
	300x600	0.385	0.578	0.578
	300x700	0.343	0.514	0.514
Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g	300x500	10.959	55.480	-33.561
	300x600	22.943	61.472	-15.585
	300x700	31.407	65.704	-2.889

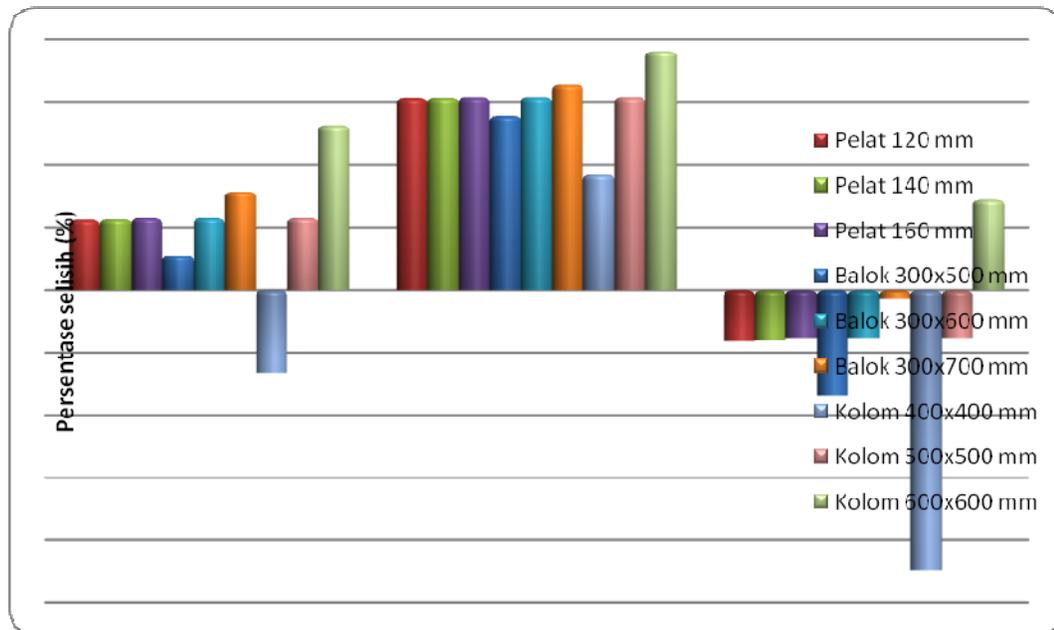
Tabel 12. Persentase Selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Satu Arah Bangunan Satu Tingkat, Variasi Dimensi Kolom

Model 3	Dimensi Kolom (mm)	Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
a_0/g (%)	400x400	0.5	1.5	0.5
	500x500			
	600x600			
a_p/g (%)	400x400	0.632	0.948	0.948
	500x500	0.385	0.578	0.578
	600x600	0.237	0.356	0.356

Tabel 12. Lanjutan.				
Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g	400x400	-26.385	36.808	-89.577
	500x500	22.943	61.472	-15.585
	600x600	52.552	76.276	28.829

Tabel 13. Persentase Selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Satu Arah Bangunan Satu Tingkat

	Dimensi (mm)	Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g		
		Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
Model 1	120	22.413	61.207	-16.380
	140	22.591	61.296	-16.113
	160	22.964	61.482	-15.555
Model 2	300x500	10.959	55.480	-33.561
	300x600	22.943	61.472	-15.585
	300x700	31.407	65.704	-2.889
Model 3	400x400	-26.385	36.808	-89.577
	500x500	22.943	61.472	-15.585
	600x600	52.552	76.276	28.829



Gambar 6. Diagram Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Satu Arah Bangunan Satu Tingkat.

3. Pelat Dua Arah Bangunan Satu Tingkat

Tabel 14. Persentase Selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Dua Arah Bangunan Satu Tingkat, Variasi Tebal Pelat.

Model 1	Tebal Pelat (mm)	Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
a_0/g (%)	80	0.5	1.5	0.5
	100			
	120			
a_p/g (%)	80	0.387	0.581	0.581
	100	0.388	0.582	0.582
	120	0.388	0.582	0.582
Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g	80	22.516	61.258	-16.226
	100	22.346	61.173	-16.481
	120	22.457	61.228	-16.315

Tabel 15. Persentase Selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Dua Arah Bangunan Satu Tingkat, Variasi Dimensi Balok Induk.

Model 2	Dimensi Balok (mm)	Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
a_0/g (%)	300x500	0.5	1.5	0.5
	300x600			
	300x700			
a_p/g (%)	300x500	0.450	0.675	0.675
	300x600	0.388	0.582	0.582
	300x700	0.306	0.459	0.459
Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g	300x500	9.972	54.986	-35.042
	300x600	22.457	61.228	-16.315
	300x700	38.789	69.395	8.184

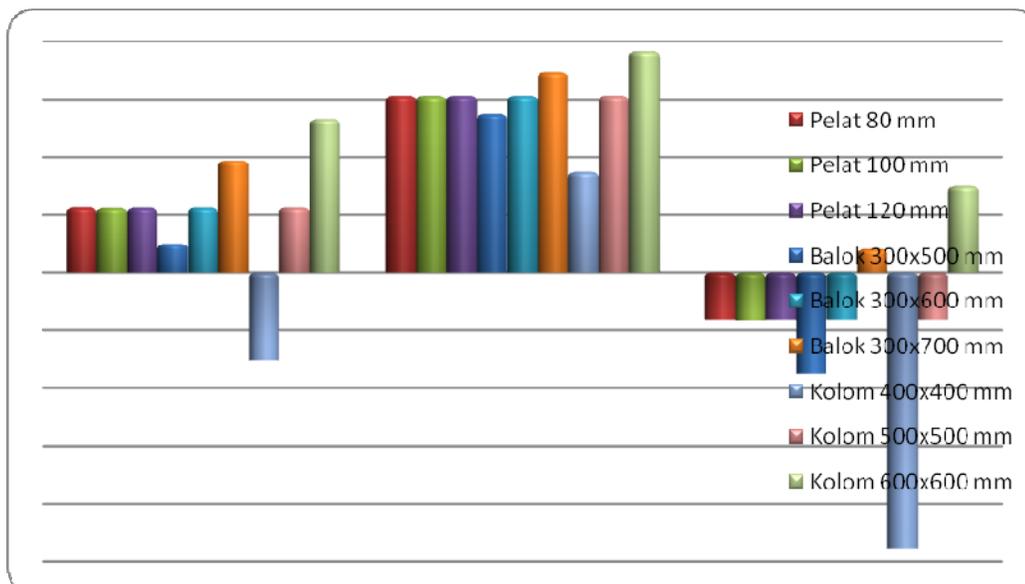
Tabel 16. Persentase Selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Dua Arah Bangunan Satu Tingkat, Variasi Dimensi Kolom.

Model 3	Dimensi Kolom (mm)	Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
a_0/g (%)	400x400	0.5	1.5	0.5
	500x500			
	600x600			

a_p/g (%)	400x400	0.651	0.977	0.977
	500x500	0.388	0.582	0.582
	600x600	0.234	0.351	0.351
Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g	400x400	-30.257	34.872	-95.385
	500x500	22.457	61.228	-16.315
	600x600	53.250	76.625	29.875

Tabel 17. Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Dua Arah Bangunan Satu Tingkat.

	Dimensi (mm)	Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g		
		Kantor	Pusat Perbelanjaan	Tempat Ibadah
Model 1	80	22.516	61.258	-16.226
	100	22.346	61.173	-16.481
	120	22.457	61.228	-16.315
Model 2	300x500	9.972	54.986	-35.042
	300x600	22.457	61.228	-16.315
	300x700	38.789	69.395	8.184
Model 3	400x400	-30.257	34.872	-95.385
	500x500	22.457	61.228	-16.315
	600x600	53.250	76.625	29.875



Gambar 7. Diagram Persentase selisih a_0/g dengan a_p/g Pelat Dua Arah Bangunan Satu Tingkat

Hasil analisis memperlihatkan bahwa perubahan dimensi pada pelat mengakibatkan nilai persentase selisih a_0/g dengan a_p/g tidak mengalami perubahan yang signifikan pada ketiga bangunan tersebut. Berbeda dengan perubahan dimensi pada balok induk dan kolom, perubahan keduanya mengakibatkan nilai persentase selisih a_0/g dengan a_p/g mengalami perubahan yang cukup signifikan pada ketiga bangunan tersebut.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari berbagai macam model dengan berbagai macam variasi ukuran dimensi komponen elemen struktur yang ada, didapatkan beberapa kesimpulan, antar lain :

1. Diantara variasi pada dimensi pelat, balok induk, dan kolom pada semua model, perubahan dimensi komponen struktur yang paling berpengaruh terhadap besarnya nilai persentase selisih dengan persyaratan batas dan keoptimalan desain suatu bangunan adalah perubahan pada dimensi kolom.
2. Nilai persentase selisih antara perkiraan puncak percepatan dengan batas puncak percepatan berubah sangat signifikan seiring dengan perubahan pada dimensi kolom, sedangkan perubahan pada dimensi pelat dan balok induk tidak menghasilkan perubahan yang signifikan pada nilai persentase selisih dari perkiraan puncak percepatan dengan batas puncak percepatan.
3. Desain bangunan pusat perbelanjaan seluruhnya memenuhi syarat batas kelayakan dan kenyamanan getaran, sedangkan untuk bangunan kantor, ada beberapa model yang tidak memenuhi syarat batas kelayakan dan kenyamanan getaran, dan untuk bangunan tempat ibadah hampir pada seluruh model tidak memenuhi syarat batas kelayakan dan kenyamanan getaran.

6.2. Saran

Adapun beberapa saran yang sebaiknya dilakukan lebih lanjut dari tulisan ini, antara lain :

1. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pemodelan denah yang lebih luas, karena pada tulisan ini ini hanya dilakukan pemodelan untuk satu bentang saja.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pemodelan bangunan dengan tingkat bangunan yang lebih tinggi karena pada tulisan ini hanya dilakukan pemodelan untuk gedung satu tingkat saja.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bachmann, H. and Walter, A. (1987), *Vibration in Structures Induced by Man and Machines*, Zurich : International Association for Bridge and Structural Engineering.
2. Bungey, J.H. and Mosley, W.H. (1987), *Reinforced concrete design*, 3rd edition, London : The Macmillan Press Ltd.
3. Departemen Pekerjaan Umum (1987), *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, SKBI-1.3.53.1987.UDC : 624.042.
4. Dipohusodo, Istimawan. (1999), *Struktur Beton Bertulang “Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 Departemen Pekerjaan Umum RI”*, Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
5. McCormac, J.C. (2001), *Design of Reinforced Concrete*, 5th Edition, John Wiley and Sons, Inc.
6. Nawy, Edward,G. (2005), *Reinforced Concrete “a Fundamental Approach”*, 5th Edition, New Jersey : Pearson Education, Inc.
7. Nilson, AH. and Winter,George. (1993), *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
8. Paz, Mario (1985), *Structural Dynamics “Theory and Computation”*, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold Com, Inc.
9. Salmon, Charles,G. and Wang, Chu-Kia.(1985), *Reinforced Concrete Design*, 4th edition, Harper and Row, Inc.
10. S.K. Sidharta dkk (1999), *“Struktur beton”*, Semarang : Universitas Semarang, ISBN.979-9156-22-X

11. *Steel Design Guide Series 11th* (2003), “*Floor Vibration Due to Human Activity*”. USA : American Institute of Steel Construction.
12. Standar Nasional Indonesia, 2002. SNI 03-2847-2002 *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Standar Nasional Indonesia.