

4. PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG BERATURAN

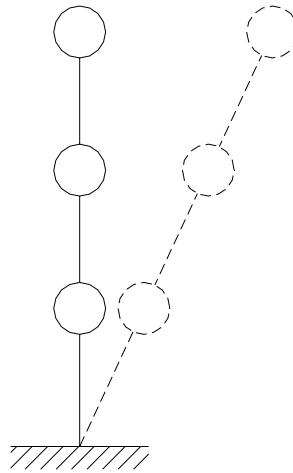
4.1. Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 6.1.1. Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah struktur tersebut, berupa beban gempa nominal statik ekuivalen, yang ditetapkan lebih lanjut dalam pasal-pasal berikut. Pasal 6.1.2. Apabila kategori gedung memiliki Faktor Keutamaan I menurut Tabel 1. dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan Gempa Rencana memiliki faktor reduksi gempa R dan waktu getar alami fundamental T_1, maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan : $V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (26)$ di mana C_1 adalah nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana menurut Gambar 2. untuk waktu getar alami fundamental T_1, sedangkan W_t adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.	Pasal 2.4.1. Beban Geser Dasar Akibat Gempa Setiap struktur gedung harus direncanakan dan dilaksanakan untuk menahan suatu beban geser dasar akibat gempa (V) dalam arah-arrah yang ditentukan dalam pasal 2.3.2. menurut rumus sebagai berikut : $V = C_d \cdot W_t$ di mana $C_d = C \cdot I \cdot K$ dan W_t adalah kombinasi dari beban mati seluruhnya dan beban hidup vertikal yang direduksi yang bekerja di atas taraf penjepitan lateral seperti yang ditentukan dalam pasal 2.3. Beban mati dan beban hidup adalah seperti yang ditentukan dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Lambang-lambang lainnya ditentukan dalam pasal-pasal berikut.

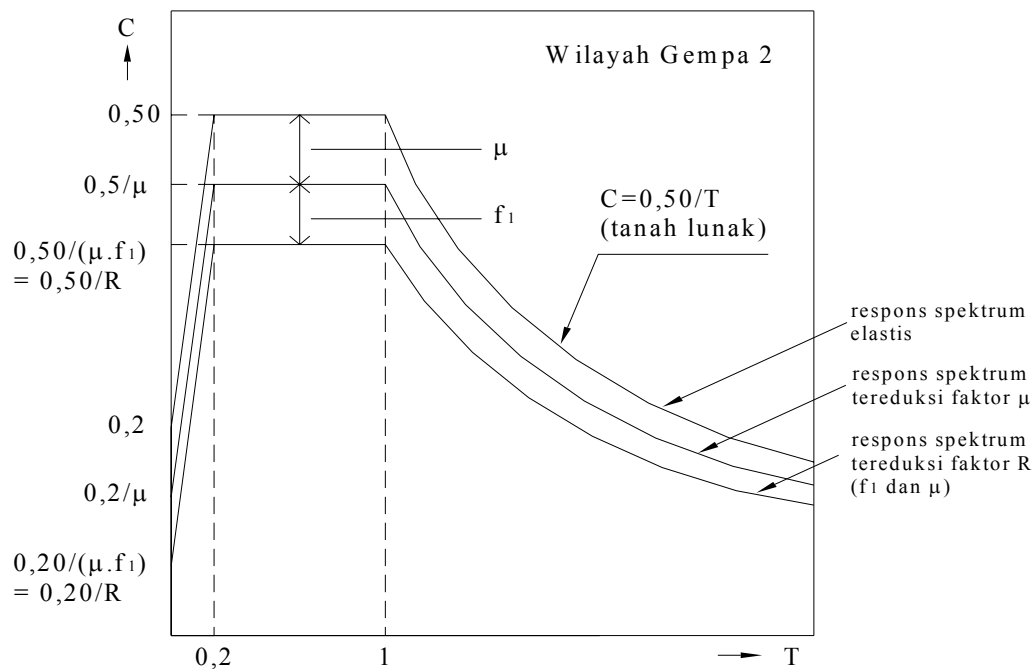
Penjelasan :

Pada SNI 2002 perumusan untuk mencari beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V) hampir menyerupai dengan SKBI 1987. Perbedaanannya terletak pada penggunaan faktor reduksi gempa (R) untuk SNI 2002 dan faktor jenis struktur (K) untuk SKBI 1987. Faktor reduksi gempa (R) dipengaruhi oleh nilai faktor daktilitas (μ) dan faktor kuat beban (f) yang kemudian dikalikan satu dengan yang lainnya, sedangkan faktor jenis struktur (K) dipengaruhi oleh jenis struktur rumah atau gedung dan bahan bangunan dari unsur-unsur pemencar energi gempa.

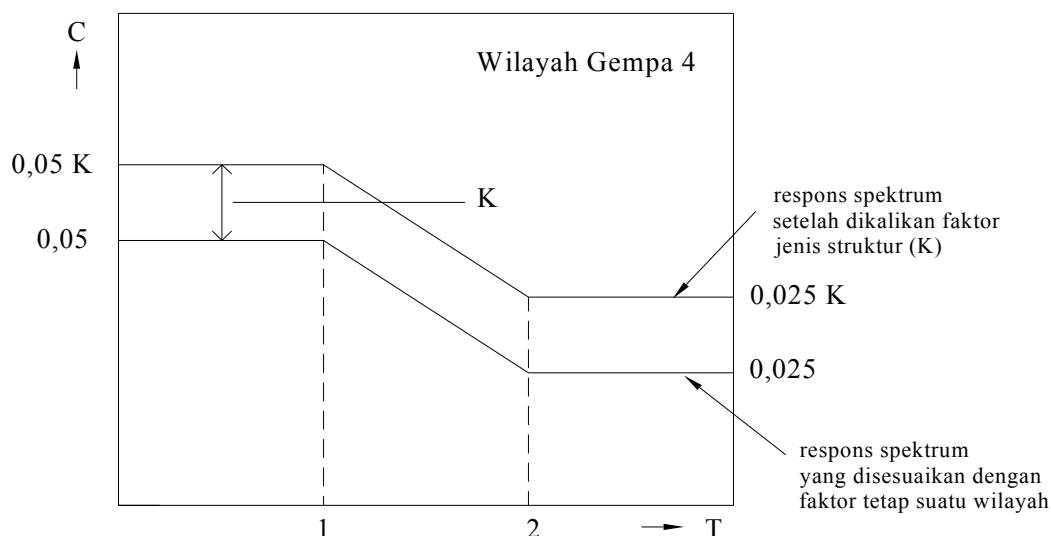
Beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V) ini diperlukan untuk menghitung pendistribusian gaya inersia gempa (F_i) per lantai yang akan dibahas lebih lanjut pada Pasal 6.1.3. Pada analisis beban statik ekuivalen dianggap bahwa ragam 1 paling dominan sehingga pendistribusian gaya inersia gempa (F_i) dapat diidealisasikan seperti ragam 1. Idealisasi dari perilaku struktur ragam 1 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Idealisasi perilaku struktur ragam 1



Gambar 4.2. Respons spektrum yang telah tereduksi
(berdasarkan SNI 2002)



Gambar 4.3. Respons spektrum yang telah dikalikan faktor jenis struktur (K) (berdasarkan SKBI 1987)

Pada Gambar 4.2. dapat dilihat bahwa respons spektrum gempa yang digunakan pada SNI 2002 (Gambar 2. SNI 2002) adalah respons akibat beban gempa sesungguhnya (elastik), sehingga untuk menjadikan menjadi beban gempa nominal maka respons tersebut harus direduksi dengan faktor reduksi R ($\mu \times f_1$), sedangkan pada Gambar 4.3. dapat dilihat bahwa respons spektrum gempa yang digunakan pada SKBI 1987 (Gambar 2.3. SKBI 1987) adalah respons yang telah dibagi dengan faktor tetap untuk suatu wilayah, sehingga untuk menjadikan beban gempa rencana maka respons yang digunakan pada SKBI 1987 dikalikan dengan faktor jenis struktur (K). (wilayah gempa 2 SNI 2002 sama dengan wilayah 4 SKBI 1987).

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 6.1.3. Beban geser dasar nominal V menurut Pasal 6.1.2. harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i menurut persamaan :	Pasal 2.4.6. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung Beban geser dasar akibat gempa (V) harus dibagikan sepanjang tinggi gedung menjadi beban-beban horisontal terpusat yang bekerja pada masing-masing tingkat lantai tingkat menurut rumus berikut :

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (27)$ di mana W_i adalah berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai, z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral menurut Pasal 5.1.2. dan Pasal 5.1.3., sedangkan n adalah nomor lantai tingkat paling atas.	$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V$ di mana h_i adalah ketinggian sampai tingkat i diukur dari tinggi penjepitan lateral seperti ditentukan dalam Pasal 1.3. dengan ketentuan sebagai berikut :

Penjelasan :

Pasal ini menjelaskan mengenai pendistribusian beban geser dasar nominal (V) ke setiap lantai struktur gedung menjadi gempa nominal statik ekuivalen (F_i). Cara pendistribusian pada SNI 2002 sama persis dengan SKBI 1987.

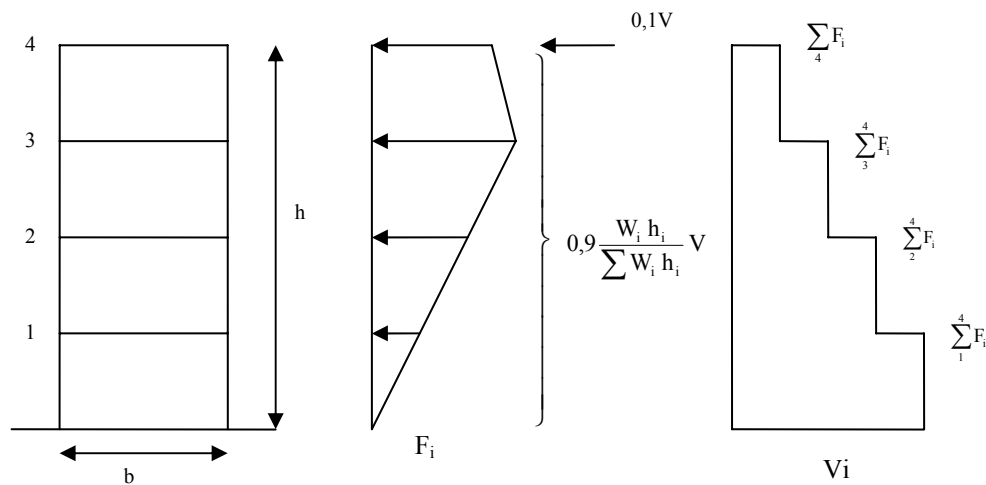
Bangunan yang memiliki denah teratur, gaya yang bekerja di setiap lantai dapat dihitung dengan Pers. 27. (SNI 2002), dengan tetap mengacu bahwa ragam yang dominan adalah ragam 1. (NEHRP 1997 Part 2, sec 5.3.4.)

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 6.1.4. Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi 3, maka 0,1V harus dianggap sebagai beban horisontal terpusat yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat paling atas, sedangkan 0,9V sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen menurut Pasal 6.1.3.	Pasal 2.4.6. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung a. Di mana perbandingan antara tinggi dan lebar sistem penahan beban gempa adalah sama atau lebih besar dari 3, maka 0,1V harus dianggap sebagai beban terpusat di lantai puncak dan 0,9V sisanya harus dibagikan menurut rumus di atas.

Penjelasan :

Pasal ini menjelaskan bahwa pada struktur gedung yang relatif sangat lentur ($h/b \geq 3$) akan timbul efek cambuk. Untuk mensimulasikan efek tersebut, beban 0,1V harus dipasang sebagai beban horizontal terpusat pada lantai paling

atas. Pendistribusian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada struktur yang relatif sangat fleksibel dapat dilihat pada Gambar 4.4.



misal : $h = 12 \text{ m}$ dan $b = 3 \text{ m}$, maka $\frac{h}{b} = \frac{12}{3} = 4 \geq 3$

Gambar 4.4. Pembagian beban geser akibat gempa

untuk struktur gedung dengan $\frac{h}{b} \geq 3$

Pada UBC, simulasi dari efek dari struktur gedung yang relatif sangat lentur tidak didasarkan atas rasio $h/b \geq 3$, tetapi didasarkan atas waktu getar alami fundamental ($T_1 \leq 0,7$ detik). Besarnya beban terpusat pada lantai paling atas ditetapkan dengan rumus $F_t = 0,07 \cdot T_1 \cdot V$, di mana $F_t \leq 0,25 V$. (UBC 1997, sec. 1630.5.)

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 6.1.5. Pada tangki di atas menara, beban gempa nominal statik ekuivalen sebesar V harus dianggap bekerja pada titik berat massa seluruh struktur menara dan tangki berikut isinya.	Pasal 2.4.6. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung c. Untuk tangki-tangki yang dinaikkan, beban F_i adalah sama dengan V dan bekerja pada titik berat seluruh struktur beserta isinya.

Penjelasan :

Pasal ini hanya menjelaskan bahwa perhitungan struktur tangki di atas menara adalah konservatif, sehingga untuk mendapatkan perhitungan yang lebih akurat, dapat dilakukan dengan memperhitungkan beban gempa nominal statik ekuivalen (V) bekerja pada titik berat massa seluruh struktur.

4.2. Waktu Getar Alami Fundamental

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 6.2.1. Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan dalam arah masing-masing sumbu utama dapat ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut : $T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \quad (28)$ di mana W_i dan F_i mempunyai arti yang sama seperti yang disebut dalam Pasal 6.1.3., d_i adalah simpangan horisontal lantai tingkat ke-i dinyatakan dalam mm dan 'g' adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar 9810 mm/det².	Pasal 2.4.5 Waktu Getar Alami Struktur Gedung Untuk keperluan analisis pendahuluan struktur dan pendimensian pendahuluan dari unsur-unsurnya, waktu getar alami struktur gedung T dalam detik dapat ditentukan dengan rumus-rumus pendekatan seperti berikut ini : - Untuk struktur-struktur gedung berupa portal-portal tanpa unsur-unsur pengaku yang membatasi simpangan : $T_e = 0,085 H^{3/4}$ untuk portal baja $T_e = 0,06 H^{3/4}$ untuk portal beton - Untuk struktur-struktur gedung yang lain : $T = \frac{0,09 H}{\sqrt{B}}$ di mana H adalah ketinggian sampai puncak dari bagian utama struktur gedung di ukur dari tingkat penjepitan lateral (dalam m). Seperti ditentukan dalam pasal 1.3. B adalah panjang seluruhnya dari denah struktur pada alasnya dalam arah yang ditinjau (dalam m). Waktu getar alami struktur gedung setelah direncanakan dengan pasti harus ditentukan dari rumus : $T_{ray} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}}$ di mana W_i adalah bagian dari seluruh beban vertikal yang disumbangkan oleh beban-beban vertikal yang bekerja pada tingkat i (dalam kg) pada peninjauan gempa. F_i adalah beban gempa horisontal dalam arah yang ditinjau yang bekerja pada tingkat i (dalam kg) yang ditentukan menurut Pasal 2.4.6.

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 6.2.2. Apabila waktu getar alami fundamental T_1 struktur gedung untuk penentuan Faktor Respons Gempa C_1 menurut Pasal 6.1.2. ditentukan dengan rumus-rumus empirik atau didapat dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, nilainya tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari nilai yang dihitung menurut Pasal 6.2.1.	d_i adalah simpangan horisontal pusat masa pada tingkat i akibat gempa horisontal F_i (di dinyatakan dalam mm). g adalah percepatan gravitasi dalam mm/det^2. Pasal 2.4.5. Waktu Getar Alami Struktur Gedung Apabila waktu getar alami tersebut adalah kurang dari 80% nilai yang dipakai pada perhitungan pendahuluan, maka beban-beban gempa harus dihitung kembali.

Penjelasan :

Tidak ada cara-cara mekanika yang dapat dipakai untuk menghitung waktu getar alami suatu struktur gedung sebelum struktur gedung itu diketahui ukuran-ukurannya. Oleh karena itu, untuk memperkirakan waktu getar alami struktur gedung dipergunakan rumus-rumus empiris sederhana yang dapat dihitung berdasarkan ukuran denah dan tinggi struktur. Rumus empiris ini pada umumnya menghasilkan nilai yang kecil, sehingga dengan demikian menghasilkan nilai koefisien gempa dasar (C) yang konservatif. Waktu getar alami yang dihitung dengan rumus tersebut telah dibandingkan dengan waktu getar alami yang dihitung dari beberapa hasil rekaman beberapa gedung selama gempa San Fernando 1971 dan ternyata menunjukkan nilai-nilai waktu getar alami yang cukup memuaskan sebagai perkiraan. (Penjelasan SKBI 1987, sec. 2.4.5.). Akan tetapi pada gedung-gedung yang sangat kaku atau sangat ringan, rumus tersebut memberikan nilai waktu getar alami yang terlalu panjang.

Pada SNI 2002 seharusnya juga memberikan perumusan $T_{\text{empirik}} (T_e)$ yang digunakan untuk menentukan faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana seperti pada SKBI 1987. Perumusan $T_{\text{empirik}} (T_e)$ sebagai pendekatan pada waktu getar alami fundamental (T_{ray}) yang digunakan yaitu :

1. Untuk portal baja $T_e = 0,085 H^{3/4}$
2. Untuk portal beton $T_e = 0,06 H^{3/4}$

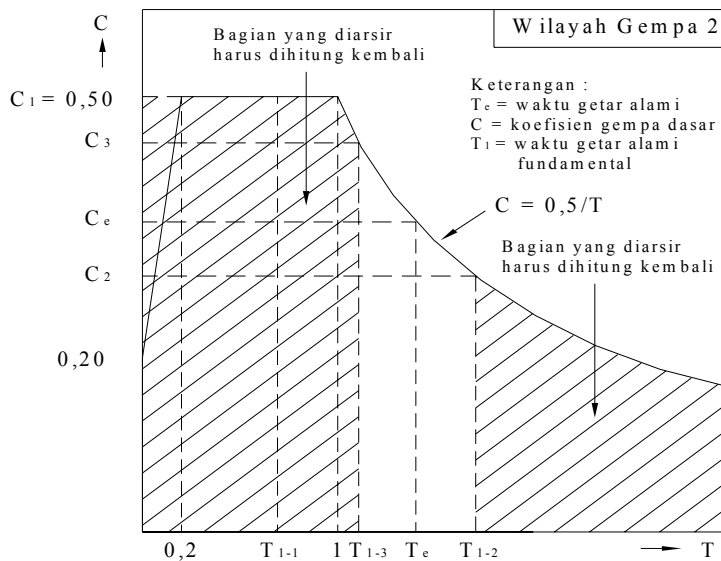
Perumusan $T_{\text{empirik}} (T_e)$ yang digunakan pada SKBI 1987 mengadopsi dari NEHRP 1997 yang mendefinisikan $T_{\text{empirik}} (T_e)$ sebagai rata-rata waktu getar alami fundamental dengan menggunakan perumusan $T_a = C_T \cdot h_n^{3/4}$ dimana h_n adalah tinggi dari atas tanah ke lantai paling tinggi. Sedangkan C_T dibagi menjadi : (NEHRP 1997 Part 1, sec 5.3.3.1.)

1. $C_T = 0,035$ untuk sistem rangka penahan momen dari baja
2. $C_T = 0,030$ untuk sistem rangka penahan momen dari beton
3. $C_T = 0,030$ untuk sistem rangka penahan momen dengan pengikat eksentris dari baja
4. $C_T = 0,020$ untuk sistem struktur lain

T_{empirik} yang telah dihitung dibandingkan dengan waktu getar alami fundamental (T_1 pada SNI 2002 atau T_{ray} pada SKBI 1987) yang dihitung dengan metode Rayleigh's. Waktu getar alami fundamental ini akan semakin besar dengan semakin lenturnya struktur. Jadi ketika kontribusi kekuatan elemen non-struktur diabaikan, perpindahan yang terjadi akan semakin besar, sehingga waktu getar pun ikut menjadi besar. Hal ini menyebabkan faktor respons akan mengecil dan gaya rencana menjadi kecil pula.

Pada Pasal 6.2.2. SNI 2002 dijelaskan bahwa T_1 yang dihitung selisihnya tidak boleh lebih dari 20% dengan $T_{\text{empirik}} (T_e)$, sedangkan pada SKBI 1987 syarat yang digunakan sebenarnya hampir sama dengan SNI 2002, yaitu $T_{\text{ray}} \geq 80\% T_e$. Bedanya terletak pada T_1 pada SNI 2002 boleh lebih kecil atau lebih besar dari T_e asalkan selisihnya tidak lebih dari 20%, sedangkan pada SKBI 1987, apabila $T_{\text{ray}} < T_e$, maka T_{ray} minimal harus 80% T_e dan apabila $T_{\text{ray}} > T_e$, maka syarat tersebut terpenuhi. Apabila tidak memenuhi ketentuan ini dan segala hal yang menyebabkan nilai koefisien gempa dasar (C) berubah, maka pembebanan gempa harus dihitung kembali. Selain syarat di atas, SNI 2002 menambahkan adanya

persyaratan pembatasan waktu getar alami fundamental (T_1) seperti yang dijelaskan pada Pasal 5.6. SNI 2002 ($T_1 < \zeta_n$). Sebenarnya maksud dari kedua standar adalah sama, hanya berbeda pada penyampaianya saja. Untuk lebih jelasnya mengenai batas toleransi T_{empirik} dan T menurut perumusan Rayleigh's dapat dilihat pada Gambar 4.5. dan Gambar 4.6.



$$\text{Syarat : } \left| \frac{T_e - T_1}{T_e} \right| \times 100\% \leq 20\%,$$

misalkan $T_e = 1,4$ detik

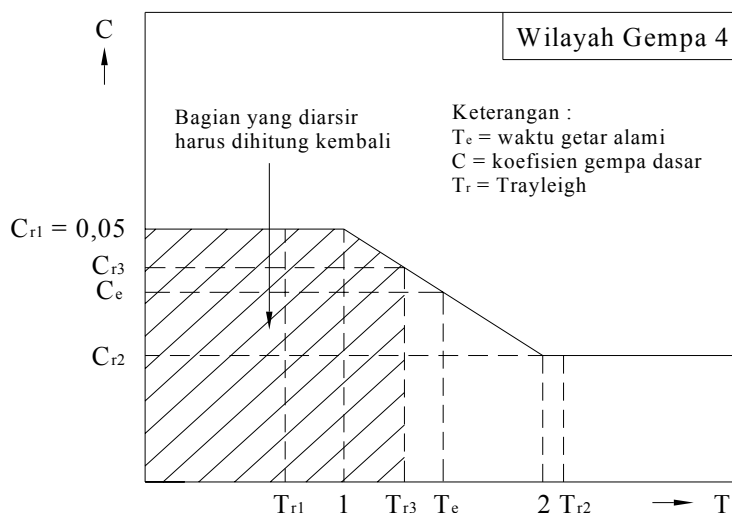
$T_{1-1} = 0,7$ detik $\rightarrow$ selisih $50\% \geq 20\%$

(NOT OK!)

$T_{1-2} = 1,68$ detik $\rightarrow$ selisih = 20% (OK!)

$T_{1-3} = 1,12$ detik $\rightarrow$ selisih = 20% (OK!)

Gambar 4.5. Batas toleransi T_{empirik} dan T_1 berdasarkan SNI 2002



$$\text{Syarat : } T_{\text{ray}} \geq 80\% T_e,$$

Misalkan $T_e = 1,4$ detik

$T_{r1} = 0,7$ detik $\rightarrow T_{r1} = 0,7 < T_e = 1,4$

(NOT OK!)

$T_{r2} = 2,1$ detik $\rightarrow T_{r2} = 2,1 >$

$80\% T_e = 1,12$ (OK!)

$0,025$

$T_{r3} = 1,2$ detik $\rightarrow T_{r3} = 1,2 >$

$80\% T_e = 1,12$ (OK!)

Gambar 4.6. Batas toleransi T_{empirik} dan T_{ray} berdasarkan SKBI 1987

4.3. Analisis Statik Ekuivalen

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 6.3. Mengingat pada struktur gedung beraturan pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana dapat ditampilkan sebagai beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai-lantai tingkat, maka pengaruh beban-beban gempa nominal statik ekuivalen tersebut dapat dianalisis dengan metode analisis statik 3 dimensi biasa yang dalam hal ini disebut analisis statik ekuivalen 3 dimensi.	

Penjelasan :

Pasal ini hanya menegaskan, bahwa berhubung pembebanan gempa pada struktur gedung beraturan berwujud sebagai beban gempa statik ekuivalen, maka analisis struktur gedung dapat dilakukan dengan analisis statik 3D biasa.

Contoh Analisis Bab 4 tentang Perencanaan Struktur Gedung Beraturan :

Untuk memperjelas perhitungan beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V) dapat dilihat pada contoh analisis berikut :

- Sebuah bangunan **perkantoran 8 lantai** sedang direncanakan untuk dibangun di kota **Surabaya**. Bangunan terletak di atas lapisan **tanah lunak**. Sistem struktur penahan beban lateral terdiri atas **portal-portal daktail beton bertulang**. Pembebanan disesuaikan dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983).
- Denah struktur dan elevasi gedung seperti terlihat pada Lampiran 1.

Data-data struktur :

- Balok 300/500
- Kolom 500/500
- Tebal pelat lantai dan pelat atap 12 cm

A. BERDASARKAN SNI 2002

- Distribusi gaya geser horizontal total akibat gempa ke sepanjang tinggi Gedung adalah :

$$\text{Arah X} \rightarrow H / A = 32 / 25 = 1,28 < 3 \text{ (OK!)}$$

$$\text{Rumus dipakai } F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum W_i \times z_i} \times V \text{ (Pasal 6.1.3.)}$$

$$\text{Arah Y} \rightarrow H / B = 32 / 10 = 3,20 > 3 \text{ (NOT OK!)}$$

$$\text{Rumus dipakai } F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum W_i \times z_i} \times 0,9 V \text{ (Pasal 6.1.4.)}$$

- Waktu getar alami struktur gedung (T) untuk portal beton :

$$T_x = T_y = 0,06 H^{3/4}$$

$$H = 32 \text{ m (tinggi bangunan 8 lantai @ 4 m)}$$

$$T_x = T_y = 0,06 (32)^{3/4} = 0,807 \text{ detik}$$

- Koefisien gempa dasar (C)
Diperoleh dari gambar 2 SNI 2002 , Surabaya termasuk Wilayah Gempa 2 dan bangunan berdiri di atas tanah lunak.
Untuk $T_x = T_y = 0,807$ detik nilai $C = 0,500$
- Faktor keutamaan I (Pasal 4.1.2.) dan faktor reduksi R (Pasal 4.3.2.)
 $I = I_1 \times I_2 = 1 \times 1 = 1$ (gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran) (Tabel 1. SNI 2002)
 $R = \mu \times f_1 = 5,3 \times 1,6 = 8,48 \sim 8,5$ (portal daktail penuh) (Tabel 2. SNI 2002)

PERHITUNGAN PEMBEBANAN

Koefisien reduksi beban hidup sebesar 0,3 untuk kantor (PPIUG 1983 Tabel 3.3.)

PEMBEBANAN LANTAI 1-7

- BEBAN MATI (W_m)
 - ✓ Tebal pelat lantai = 12 cm
 - ✓ Langit-langit / plafon dari semen asbes dengan tebal maksimum 4 mm
= 11 kg/m^2 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 - ✓ Penggantung langit-langit dari kayu = 7 kg/m^2 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 - ✓ Spesi dari semen per cm tebal = 21 kg/m^2 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 - ✓ Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal = 24 kg/m^2 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)

Jadi beban lantai / m^2 :

- ✓ Berat sendiri plat = $0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$
 - ✓ Berat langit-langit / plafon = 11 kg/m^2
 - ✓ Berat penggantung langit-langit = 7 kg/m^2
 - ✓ Spesi setebal 2 cm = $2 \times 21 = 42 \text{ kg/m}^2$
 - ✓ Penutup lantai 1 cm = $1 \times 24 = 24 \text{ kg/m}^2$ +
- $q_m = 372 \text{ kg/m}^2$

1. Beban mati lantai
 $= 372 \times (25 \times 10) = 93000,00 \text{ kg}$
2. Beban balok induk arah x (300 x 500)
 $= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 15 = 27000,00 \text{ kg}$
3. Beban balok induk arah y (300 x 500)
 $= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 12 = 21600,00 \text{ kg}$
4. Beban kolom (500 x 500)
 $= 0,5 \times 0,5 \times 4 \times 2400 \times 18 = 43200,00 \text{ kg}$
5. Beban dinding bata setengah batu (250 kg/m^2)
 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 $= 250 \times [2 \times (25+10)] \times 4 = \underline{70000,00 \text{ kg}} +$
 $W_m = 254800,00 \text{ kg}$

➤ BEBAN HIDUP (W_h)

✓ Beban hidup lantai $= 250 \times (25 \times 10) = 62500 \text{ kg}$

$$W_{\text{lantai}} = W_m + (0,3 \times W_h) = 254800 + (0,3 \times 62500) = 273550 \text{ kg}$$

PEMBEBANAN ATAP

➤ BEBAN MATI (W_m)

- ✓ Tebal pelat atap $= 12 \text{ cm}$
- ✓ Langit-langit / plafon dari semen asbes dengan tebal maksimum 4 mm
 $= 11 \text{ kg/m}^2$ (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
- ✓ Penggantung langit-langit dari kayu $= 7 \text{ kg/m}^2$ (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
- ✓ Aspal per cm tebal $= 14 \text{ kg/m}^2$ (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)

Jadi beban lantai / m^2 :

- ✓ Berat sendiri plat $= 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$
- ✓ Berat langit-langit / plafon $= 11 \text{ kg/m}^2$
- ✓ Berat penggantung langit-langit $= 7 \text{ kg/m}^2$

$$\checkmark \text{ Aspal 2 cm} = 2 \times 14 \quad = \underline{28 \text{ kg/m}^2} +$$

$$q_m = 334 \text{ kg/m}^2$$

1. Beban mati atap
 $= 334 \times (25 \times 10) \quad = \quad 83500,00 \text{ kg}$
2. Beban balok induk arah x (300 x 500)
 $= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 15 \quad = \quad 27000,00 \text{ kg}$
3. Beban balok induk arah y (300 x 500)
 $= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 12 \quad = \quad 21600,00 \text{ kg}$
4. Beban kolom (500 x 500)
 $= 0,5 \times 0,5 \times 2 \times 2400 \times 18 \quad = \quad 21600,00 \text{ kg}$
5. Beban dinding bata setengah batu (250 kg/m^2)
 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 $= 250 \times [2 \times (25+10)] \times 2 \quad = \underline{35000,00 \text{ kg}} +$
 $W_m = 188700,00 \text{ kg}$

➤ BEBAN HIDUP (W_h)

$$\text{Beban hidup atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban hujan} \quad = \underline{20 \text{ kg/m}^2} +$$

$$= 120 \text{ kg/m}^2$$

$$\checkmark \text{ Beban hidup atap} = 120 \times (25 \times 10) = 30000 \text{ kg}$$

$$W_{\text{atap}} = W_m + (0,3 \times W_h) = 188700 + (0,3 \times 30000) = 197700 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi } W_{\text{total}} = W_t = (7 \times W_{\text{lantai}}) + W_{\text{atap}} = (7 \times 273550) + 197700 = 2112550 \text{ kg}$$

Tabel 4.1. Perhitungan waktu getar alami fundamental (T_1) dan syarat simpangan antar tingkat arah X ($C = 0,500$)

Level	$W_i \text{ (t)}$	$h_i \text{ (m)}$	$W_i \times h_i \text{ (tm)}$	$F_i \text{ (t)}$	$V_i \text{ (t)}$	$d_i \text{ (m)}$	$d_i^2 \text{ (m}^2\text{)}$
atap	197.70	32	6326.40	21.27	21.27	0.0527	0.002777
7	273.55	28	7659.40	25.75	47.02	0.0505	0.002550

6	273.55	24	6565.20	22.07	69.09	0.0464	0.002153
5	273.55	20	5471.00	18.39	87.48	0.0406	0.001648
4	273.55	16	4376.80	14.71	102.20	0.0332	0.001102
3	273.55	12	3282.60	11.04	113.23	0.0247	0.000610
2	273.55	8	2188.40	7.36	120.59	0.0153	0.000234
1	273.55	4	1094.20	3.68	124.27	0.0060	0.000036
			$\Sigma = 36964.00$				
C= 0.500		I= 1	R= 8.5		Wt= 2112.55		
V(t)= 124.27							

$W_i \times d_i^2 \text{ (tm}^2\text{)}$	$F_i \times d_i \text{ (tm)}$	$T_1 \text{ (det)}$	$d_i - d_{i-1} \text{ (m)}$
0.5491	1.1208	1.4966	
			0.0022
0.6976	1.3004		
			0.0041
0.5889	1.0241		
			0.0058
0.4509	0.7467		
			0.0074
0.3015	0.4885		
			0.0085
0.1669	0.2726		
			0.0094
0.0640	0.1126		
			0.0093
0.0098	0.0221		
$\Sigma = 2.8288$	$\Sigma = 5.0878$		OK!

< 0,014
(Pasal 8.1.2.)

Contoh Perhitungan :

ARAH X (T = 0,807 detik → C = 0,500)

➤ Level Atap

$W_i = W_{\text{atap}}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton

$z_i = z_{\text{atap}} = 32 \text{ m}$

$W_i \times z_i = W_{\text{atap}} \times z_{\text{atap}} = 197,7 \times 32 = 6326,40 \text{ ton}$

$\Sigma (W_i \times z_i) = 36964 \text{ ton}$

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,50.1}{8,5} 2112,55 = 124,27 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\Sigma W_i \times z_i} \times V = \frac{6326,40}{36964} \times 124,27 = 21,27 \text{ ton}$$

Pada level atap $V_i = F_i = 21,27 \text{ ton}$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0527 m

$$d_i^2 = (0,0527)^2 = 0,002777 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,002777 = 0,5491 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 21,27 \times 0,0527 = 1,1208 \text{ tm}$$

➤ Level 7

$W_i = W_{\text{lantai 7}}$ didapat dari perhitungan pembebanan lantai = 273,55 ton

$z_i = z_{\text{lantai 7}} = 28 \text{ m}$

$W_i \times z_i = W_{\text{lantai 7}} \times z_{\text{lantai 7}} = 273,55 \times 28 = 7659,40 \text{ ton}$

$\Sigma (W_i \times z_i) = 36964 \text{ ton}$

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,50.1}{8,5} 2112,55 = 124,27 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\Sigma W_i \times z_i} \times V = \frac{7659,40}{36964} \times 124,27 = 25,75 \text{ ton}$$

Pada level 7 $V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 21,27 + 25,75 = 47,02 \text{ ton}$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0505 m

$$d_i^2 = (0,0505)^2 = 0,002550 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,002550 = 0,6976 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 25,75 \times 0,0505 = 1,3004 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} < \frac{0,03}{R} h \text{ atau } 0,03 \text{ m (diambil nilai yang terkecil) (Pasal 8.1.2.)}$$

$$\frac{0,03}{R} h = \frac{0,03}{8,5} 4 = 0,014 \text{ m}$$

$$d_i - d_{i-1} = 0,0527 - 0,0505 = 0,0022 < 0,014 \text{ m (OK!)}$$

$$\Sigma W_i \times d_i^2 = 2,8288 \text{ tm}^2$$

$$\Sigma F_i \times d_i = 5,0878 \text{ tm}$$

$$T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{2,8288}{9,8 \times 5,0878}} = 1,4966 \text{ detik}$$

$$T_e = 0,06 \times H^{3/4} = 0,06 \times 32^{3/4} = 0,807 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 6.2.2. :

$$\left| \frac{T_e - T_1}{T_e} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

$$\left| \frac{0,807 - 1,4966}{0,807} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

$$85,45\% > 20\% \text{ (NOT OK!)}$$

Ternyata syarat pada Pasal 6.2.2. tidak terpenuhi, oleh karena itu harus dihitung kembali dengan $T = 1,4966$ detik, diperoleh nilai C menurut

$$\text{persamaan } C = \frac{0,5}{T} \rightarrow C = 0,334$$

Tabel 4.2. Perhitungan waktu getar alami fundamental (T_1) dan syarat simpangan antar tingkat arah X ($C = 0,334$)

Level	W_i (t)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (tm)	F_i (t)	V_i (t)	d_i (m)	d_i^2 (m ²)
atap	197.70	32	6326.40	14.21	14.21	0.0352	0.001239

7	273.55	28	7659.40	17.20	31.41	0.0337	0.001136					
6	273.55	24	6565.20	14.74	46.15	0.0310	0.000961					
5	273.55	20	5471.00	12.29	58.44	0.0271	0.000734					
4	273.55	16	4376.80	9.83	68.27	0.0222	0.000493					
3	273.55	12	3282.60	7.37	75.64	0.0165	0.000272					
2	273.55	8	2188.40	4.91	80.55	0.0102	0.000104					
1	273.55	4	1094.20	2.46	83.01	0.0040	0.000016					
			$\Sigma = 36964.00$									
C=		0.334		I=	1		R=	8.5		Wt=	2112.55	
V(t)=		83.01										

$W_i \times d_i^2 \text{ (tm}^2\text{)}$	$F_i \times d_i \text{ (tm)}$	$T_1 \text{ (det)}$	$d_i - d_{i-1} \text{ (m)}$
0.2450	0.5001	1.4964	
			0.0015
0.3107	0.5797		
			0.0027
0.2629	0.4571		
			0.0039
0.2009	0.3330		
			0.0049
0.1348	0.2182		
			0.0057
0.0745	0.1216		
			0.0063
0.0285	0.0501		
			0.0062
0.0044	0.0098		
$\Sigma = 1.2615$	$\Sigma = 2.2696$		OK!

< 0,014
(Pasal 8.1.2.)

Contoh Perhitungan :

ARAH X ($T = 1,4966$ detik $\rightarrow C = 0,334$)

➤ Level Atap

$W_i = W_{\text{atap}}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton

$z_i = z_{\text{atap}} = 32$ m

$W_i \times z_i = W_{\text{atap}} \times z_{\text{atap}} = 197,7 \times 32 = 6326,40$ ton

$\Sigma (W_i \times z_i) = 36964$ ton

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,334.1}{8,5} 2112,55 = 83,01 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum W_i \times z_i} \times V = \frac{6326,40}{36964} \times 83,01 = 14,21 \text{ ton}$$

Pada level atap $V_i = F_i = 14,21 \text{ ton}$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0352 m

$$d_i^2 = (0,0352)^2 = 0,001239 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,001239 = 0,2450 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 14,21 \times 0,0352 = 0,5001 \text{ tm}$$

➤ Level 7

$W_i = W_{\text{lantai } 7}$ didapat dari perhitungan pembebanan lantai = 273,55 ton

$$z_i = z_{\text{lantai } 7} = 28 \text{ m}$$

$$W_i \times z_i = W_{\text{lantai } 7} \times z_{\text{lantai } 7} = 273,55 \times 28 = 7659,40 \text{ ton}$$

$$\sum (W_i \times z_i) = 36964 \text{ ton}$$

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,334.1}{8,5} 2112,55 = 83,01 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum W_i \times z_i} \times V = \frac{7659,40}{36964} \times 83,01 = 17,20 \text{ ton}$$

Pada level 7 $V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 14,21 + 17,20 = 31,41 \text{ ton}$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0337 m

$$d_i^2 = (0,0337)^2 = 0,001136 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,001136 = 0,3107 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 17,20 \times 0,0337 = 0,5797 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} < \frac{0,03}{R} h \text{ atau } 0,03 \text{ m (diambil nilai yang terkecil) (Pasal 8.1.2.)}$$

$$\frac{0,03}{R} h = \frac{0,03}{8,5} 4 = 0,014 \text{ m}$$

$$d_i - d_{i-1} = 0,0352 - 0,0337 = 0,0015 < 0,014 \text{ m (OK!)}$$

$$\sum W_i \times d_i^2 = 1,2615 \text{ tm}^2$$

$$\sum F_i \times d_i = 2,2696 \text{ tm}$$

$$T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{1,2615}{9,8 \times 2,2696}} = 1,4964 \text{ detik}$$

$$T_e = 1,4966 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 6.2.2. :

$$\left| \frac{T_e - T_1}{T_e} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

$$\left| \frac{1,4966 - 1,4964}{1,4966} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

$$0,0134\% \leq 20\% \text{ (OK!)}$$

Syarat Pasal 5.6. :

$$\zeta = 0,019 \text{ (Surabaya} \rightarrow \text{Wilayah Gempa 2) (Tabel 8. SNI 2002)}$$

$$n = 8 \text{ (bangunan 8 lantai)}$$

$$T_1 < \zeta \cdot n$$

$$1,4964 < 0,19 \times 8$$

$$1,4964 < 1,52 \text{ detik (OK!)}$$

Tabel 4.3. Perhitungan waktu getar alami fundamental (T_1) dan syarat simpangan antar tingkat arah Y ($C = 0,500$)

Level	W_i (t)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (tm)	F_i (t)	V_i (t)	d_i (m)	d_i^2 (m ²)
atap	197.70	32	6326.40	19.14	31.57	0.0577	0.003329
7	273.55	28	7659.40	23.17	54.74	0.0549	0.003014
6	273.55	24	6565.20	19.86	74.61	0.0502	0.002520
5	273.55	20	5471.00	16.55	91.16	0.0436	0.001901

4	273.55	16	4376.80	13.24	104.40	0.0354	0.001253
3	273.55	12	3282.60	9.93	114.34	0.0261	0.000681
2	273.55	8	2188.40	6.62	120.96	0.0159	0.000253
1	273.55	4	1094.20	3.31	124.27	0.0061	0.000037
			Σ = 36964.00				
C= 0.500		I= 1	R= 8.5	Wt= 2112.55			
V(t)= 124.27							

$W_i \times d_i^2 \text{ (tm}^2\text{)}$	$F_i \times d_i \text{ (tm)}$	$T_1 \text{ (det)}$	$d_i - d_{i-1} \text{ (m)}$
0.6582	1.1045	1.6391	
			0.0028
0.8245	1.2723		
			0.0047
0.6894	0.9972		
			0.0066
0.5200	0.7217		
			0.0082
0.3428	0.4688		
			0.0093
0.1863	0.2592		
			0.0102
0.0692	0.1053		
			0.0098
0.0102	0.0202		
$\Sigma = 3.3005$	$\Sigma = 4.9492$		OK!

< 0,014
(Pasal 8.1.2.)

Contoh Perhitungan :

ARAH Y (T = 0,807 detik → C = 0,500)

➤ Level Atap

$W_i = W_{\text{atap}}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton

$z_i = z_{\text{atap}} = 32 \text{ m}$

$W_i \times z_i = W_{\text{atap}} \times z_{\text{atap}} = 197,7 \times 32 = 6326,40 \text{ ton}$

$\Sigma (W_i \times z_i) = 36964 \text{ ton}$

$V = \frac{C_1}{R} \cdot \frac{I}{W_t} = \frac{0,50 \cdot 1}{8,5} \cdot 2112,55 = 124,27 \text{ ton}$

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum W_i \times z_i} \times 0,9 V = \frac{6326,40}{36964} \times (0,9 \times 124,27) = 19,14 \text{ ton}$$

Pada level atap $V_{\text{atap}} = F_{\text{atap}} + 0,1V = 19,14 + (0,1 \times 124,27) = 31,57 \text{ ton}$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS $8.11 = 0,0577 \text{ m}$

$$d_i^2 = (0,0577)^2 = 0,003329 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,003329 = 0,6582 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 19,14 \times 0,0577 = 1,1045 \text{ tm}$$

➤ Level 7

$W_i = W_{\text{lantai 7}}$ didapat dari perhitungan pembebanan lantai = 273,55 ton

$z_i = z_{\text{lantai 7}} = 28 \text{ m}$

$$W_i \times z_i = W_{\text{lantai 7}} \times z_{\text{lantai 7}} = 273,55 \times 28 = 7659,40 \text{ ton}$$

$$\sum (W_i \times z_i) = 36964 \text{ ton}$$

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,50.1}{8,5} 2112,55 = 124,27 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum W_i \times z_i} \times 0,9 V = \frac{7659,40}{36964} \times (0,9 \times 124,27) = 23,17 \text{ ton}$$

Pada level 7 $V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 31,57 + 23,17 = 54,74 \text{ ton}$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS $8.11 = 0,0549 \text{ m}$

$$d_i^2 = (0,0549)^2 = 0,003014 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,003014 = 0,8245 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 23,17 \times 0,0549 = 1,2723 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} < \frac{0,03}{R} h \text{ atau } 0,03 \text{ m (diambil nilai yang terkecil) (Pasal 8.1.2.)}$$

$$\frac{0,03}{R} h = \frac{0,03}{8,5} 4 = 0,014 \text{ m}$$

$$d_i - d_{i-1} = 0,0577 - 0,0549 = 0,0028 < 0,014 \text{ m (OK!)}$$

$$\sum W_i \times d_i^2 = 3,3005 \text{ tm}^2$$

$$\sum F_i \times d_i = 4,9492 \text{ tm}$$

$$T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{3,3005}{9,8 \times 4,9492}} = 1,6391 \text{ detik}$$

$$T_e = 0,06 \times H^{3/4} = 0,06 \times 32^{3/4} = 0,807 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 6.2.2. :

$$\left| \frac{T_e - T_1}{T_e} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

$$\left| \frac{0,807 - 1,6391}{0,807} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

103,11% > 20% (NOT OK!)

Ternyata syarat pada Pasal 6.2.2. tidak terpenuhi, oleh karena itu harus dihitung kembali dengan $T = 1,6391$ detik, diperoleh nilai C menurut

$$\text{persamaan } C = \frac{0,5}{T} \rightarrow C = 0,305$$

Tabel 4.4. Perhitungan waktu getar alami fundamental (T_1) dan syarat simpangan antar tingkat arah Y ($C = 0,305$)

Level	W_i (t)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (tm)	F_i (t)	V_i (t)	d_i (m)	d_i^2 (m ²)
atap	197.70	32	6326.40	11.68	19.26	0.0352	0.001239
7	273.55	28	7659.40	14.14	33.39	0.0335	0.001122
6	273.55	24	6565.20	12.12	45.51	0.0306	0.000936
5	273.55	20	5471.00	10.10	55.61	0.0266	0.000708
4	273.55	16	4376.80	8.08	63.69	0.0216	0.000467
3	273.55	12	3282.60	6.06	69.74	0.0159	0.000253
2	273.55	8	2188.40	4.04	73.78	0.0097	0.000094

1	273.55	4	1094.20	2.02	75.80	0.0037	0.000014
			$\Sigma = 36964.00$				
C=	0.305	I=	1	R=	8.5	Wt=	2112.55
V(t)=	75.80						

$W_i \times d_i^2 \text{ (tm}^2\text{)}$	$F_i \times d_i \text{ (tm)}$	$T_i \text{ (det)}$	$d_i - d_{i-1} \text{ (m)}$
0.2450	0.4110	1.6390	
			0.0017
0.3070	0.4736		
			0.0029
0.2561	0.3708		
			0.0040
0.1936	0.2686		
			0.0050
0.1276	0.1745		
			0.0057
0.0692	0.0963		
			0.0062
0.0257	0.0392		
			0.0060
0.0037	0.0075		
$\Sigma = 1.2279$	$\Sigma = 1.8414$		OK!

< 0,014
(Pasal 8.1.2.)

Contoh Perhitungan :

ARAH Y ($T = 1,6391$ detik $\rightarrow C = 0,305$)

➤ Level Atap

$W_i = W_{\text{atap}}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton

$z_i = z_{\text{atap}} = 32$ m

$W_i \times z_i = W_{\text{atap}} \times z_{\text{atap}} = 197,7 \times 32 = 6326,40$ ton

$\Sigma (W_i \times z_i) = 36964$ ton

$V = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,305 \cdot 1}{8,5} 2112,55 = 75,80$ ton

$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\Sigma W_i \times z_i} \times 0,9 V = \frac{6326,40}{36964} \times (0,9 \times 75,80) = 11,68$ ton

Pada level atap $V_{\text{atap}} = F_{\text{atap}} + 0,1V = 11,68 + (0,1 \times 75,80) = 19,26$ ton

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0352 m

$d_i^2 = (0,0352)^2 = 0,001239$ m²

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,001239 = 0,2450 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 11,68 \times 0,0352 = 0,4110 \text{ tm}$$

➤ Level 7

$W_i = W_{\text{lantai 7}}$ didapat dari perhitungan pembebanan lantai = 273,55 ton

$$z_i = z_{\text{lantai 7}} = 28 \text{ m}$$

$$W_i \times z_i = W_{\text{lantai 7}} \times z_{\text{lantai 7}} = 273,55 \times 28 = 7659,40 \text{ ton}$$

$$\Sigma (W_i \times z_i) = 36964 \text{ ton}$$

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,305.1}{8,5} 2112,55 = 75,80 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\Sigma W_i \times z_i} \times 0,9 V = \frac{7659,40}{36964} \times (0,9 \times 75,80) = 14,14 \text{ ton}$$

$$\text{Pada level 7 } V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 19,26 + 14,14 = 33,39 \text{ ton}$$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0335 m

$$d_i^2 = (0,0335)^2 = 0,001122 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,001122 = 0,3070 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 14,14 \times 0,0335 = 0,4736 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} < \frac{0,03}{R} h \text{ atau } 0,03 \text{ m (diambil nilai yang terkecil) (Pasal 8.1.2.)}$$

$$\frac{0,03}{R} h = \frac{0,03}{8,5} 4 = 0,014 \text{ m}$$

$$d_i - d_{i-1} = 0,0352 - 0,0335 = 0,0017 < 0,014 \text{ m (OK!)}$$

$$\Sigma W_i \times d_i^2 = 1,2279 \text{ tm}^2$$

$$\Sigma F_i \times d_i = 1,8414 \text{ tm}$$

$$T_1 = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{1,2279}{9,8 \times 1,8414}} = 1,6390 \text{ detik}$$

$$T_e = 1,6391 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 6.2.2. :

$$\left| \frac{T_e - T_1}{T_e} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

$$\left| \frac{1,6391 - 1,6390}{1,6391} \right| \times 100\% \leq 20\%$$

$$0,006\% \leq 20\% \text{ (OK!)}$$

Syarat Pasal 5.6. :

$$\zeta = 0,019 \text{ (Surabaya} \rightarrow \text{Wilayah Gempa 2) (Tabel 8. SNI 2002)}$$

$$n = 8 \text{ (bangunan 8 lantai)}$$

$$T_1 < \zeta \cdot n$$

$$1,6390 < 0,19 \times 8$$

$$1,6390 > 1,52 \text{ detik (NOT OK!)}$$

Ternyata syarat 5.6. pada arah y tidak terpenuhi, hal ini menunjukkan bahwa struktur bangunan arah y terlalu fleksibel. Hal ini dapat diatasi dengan cara memperkaku struktur arah y, misalnya dengan memperbesar dimensi kolom arah y.

B. BERDASARKAN SKBI 1987

- Distribusi gaya geser horizontal total akibat gempa ke sepanjang tinggi gedung

$$\text{Arah X} \rightarrow H / A = 32 / 25 = 1,28 < 3 \text{ (OK!)}$$

$$\text{Rumus dipakai } F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} \times V \text{ (Pasal 2.4.6.)}$$

$$\text{Arah Y} \rightarrow H / B = 32 / 10 = 3,20 > 3 \text{ (NOT OK!)}$$

Rumus dipakai $F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} \times 0,9V$ (Pasal 2.4.6.a.)

- Waktu getar alami struktur gedung (T) untuk portal beton :
 $T_x = T_y = 0,06 H^{3/4}$ (Pasal 2.4.5.a.)
 $H = 32$ m (tinggi bangunan 8 lantai @ 4 m)
 $T_x = T_y = 0,06 (32)^{3/4} = 0,8070$ detik
- Koefisien gempa dasar (C)
Diperoleh dari gambar 2.3. buku Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung (SKBI 1987), Surabaya termasuk Zone 4 dan bangunan berdiri diatas tanah lunak.
Untuk $T_x = T_y = 0,8070$ detik nilai $C = 0,05$
- Faktor keutamaan I dan nilai K
 $I = 1,5$ (tempat orang berkumpul (kantor)) (Tabel 2.1. SKBI 1987 hal 18)
 $K = 1$ (portal daktail beton bertulang) (Tabel 2.2. SKBI 1987 hal 19)

PERHITUNGAN PEMBEBANAN

Koefisien reduksi beban hidup sebesar 0,3 untuk kantor (PPIUG 1983 Tabel 3.3.)

PEMBEBANAN LANTAI 1-7

- BEBAN MATI (W_m)
 - ✓ Tebal pelat lantai = 12 cm
 - ✓ Langit-langit / plafon dari semen asbes dengan tebal maksimum 4 mm
 $= 11 \text{ kg/m}^2$ (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 - ✓ Penggantung langit-langit dari kayu = 7 kg/m^2 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 - ✓ Spesi dari semen per cm tebal = 21 kg/m^2 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 - ✓ Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal = 24 kg/m^2 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)

Jadi beban lantai / m^2 :

- ✓ Berat sendiri plat = $0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned}
 &\checkmark \text{ Berat langit-langit / plafon} &&= 11 \text{ kg/m}^2 \\
 &\checkmark \text{ Berat penggantung langit-langit} &&= 7 \text{ kg/m}^2 \\
 &\checkmark \text{ Spesi setebal 2 cm} = 2 \times 21 &&= 42 \text{ kg/m}^2 \\
 &\checkmark \text{ Penutup lantai 1 cm} = 1 \times 24 &&= \underline{24 \text{ kg/m}^2} + \\
 &&&q_m = 372 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

1. Beban mati lantai

$$= 372 \times (25 \times 10) = 93000,00 \text{ kg}$$

2. Beban balok induk arah x (300 x 500)

$$= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 15 = 27000,00 \text{ kg}$$

3. Beban balok induk arah y (300 x 500)

$$= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 12 = 21600,00 \text{ kg}$$

4. Beban kolom (500 x 500)

$$= 0,5 \times 0,5 \times 4 \times 2400 \times 18 = 43200,00 \text{ kg}$$

5. Beban dinding bata setengah batu (250 kg/m²)

(PPIUG 1983 Tabel 2.1.)

$$= 250 \times [2 \times (25+10)] \times 4 = \underline{70000,00 \text{ kg}} +$$

$$W_m = 254800,00 \text{ kg}$$

➤ BEBAN HIDUP (W_h)

$$\checkmark \text{ Beban hidup lantai} = 250 \times (25 \times 10) = 62500 \text{ kg}$$

$$W_{\text{lantai}} = W_m + (0,3 \times W_h) = 254800 + (0,3 \times 62500) = 273550 \text{ kg}$$

PEMBEBANAN ATAP

➤ BEBAN MATI (W_m)

$$\checkmark \text{ Tebal pelat atap} = 12 \text{ cm}$$

$$\checkmark \text{ Langit-langit / plafon dari semen asbes dengan tebal maksimum 4 mm} \\ = 11 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)}$$

$$\checkmark \text{ Penggantung langit-langit dari kayu} = 7 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)}$$

$$\checkmark \text{ Aspal per cm tebal} = 14 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)}$$

Jadi beban lantai / m² :

$$\begin{aligned}
 \checkmark \text{ Berat sendiri plat} &= 0,12 \times 2400 &= 288 \text{ kg/m}^2 \\
 \checkmark \text{ Berat langit-langit / plafon} &= 11 \text{ kg/m}^2 \\
 \checkmark \text{ Berat penggantung langit-langit} &= 7 \text{ kg/m}^2 \\
 \checkmark \text{ Aspal 2 cm} &= 2 \times 14 &= \underline{28 \text{ kg/m}^2} + \\
 & & q_m = 334 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

1. Beban mati atap
 $= 334 \times (25 \times 10) = 83500,00 \text{ kg}$
2. Beban balok induk arah x (300 x 500)
 $= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 15 = 27000,00 \text{ kg}$
3. Beban balok induk arah y (300 x 500)
 $= 0,3 \times 0,5 \times 5 \times 2400 \times 12 = 21600,00 \text{ kg}$
4. Beban kolom (500 x 500)
 $= 0,5 \times 0,5 \times 2 \times 2400 \times 18 = 21600,00 \text{ kg}$
5. Beban dinding bata setengah batu (250 kg/m²)
 (PPIUG 1983 Tabel 2.1.)
 $= 250 \times [2 \times (25+10)] \times 2 = \underline{35000,00 \text{ kg}} +$
 $W_m = 188700,00 \text{ kg}$

➤ BEBAN HIDUP (W_h)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban hidup atap} &= 100 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban hujan} &= \underline{20 \text{ kg/m}^2} + \\
 &= 120 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\checkmark \text{ Beban hidup atap} = 120 \times (25 \times 10) = 30000 \text{ kg}$$

$$W_{\text{atap}} = W_m + (0,3 \times W_h) = 188700 + (0,3 \times 30000) = 197700 \text{ kg}$$

$$\text{Jadi } W_{\text{total}} = W_t = (7 \times W_{\text{lantai}}) + W_{\text{atap}} = (7 \times 273550) + 197700 = 2112550 \text{ kg}$$

Tabel 4.5. Perhitungan waktu getar alami struktur gedung (T_{ray}) dan syarat simpangan antar tingkat arah X ($C = 0,050$)

Level	W_i (t)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (tm)	F_i (t)	V_i (t)	d_i (m)	d_i^2 (m ²)
atap	197.70	32	6326.40	27.12	27.12	0.0672	0.004516
7	273.55	28	7659.40	32.83	59.95	0.0644	0.004147
6	273.55	24	6565.20	28.14	88.09	0.0592	0.003505
5	273.55	20	5471.00	23.45	111.54	0.0517	0.002673
4	273.55	16	4376.80	18.76	130.30	0.0423	0.001789
3	273.55	12	3282.60	14.07	144.37	0.0315	0.000992
2	273.55	8	2188.40	9.38	153.75	0.0196	0.000384
1	273.55	4	1094.20	4.69	158.44	0.0077	0.000059
			$\Sigma = 36964.00$				
C=	0.050	I=	1.5	K=	1	Wt=	2112.55
V(t)=	158.44						

$W_i \times d_i^2$ (tm ²)	$F_i \times d_i$ (tm)	T_{ray} (det)	$d_i - d_{i-1}$ (m)	$(d_i - d_{i-1})/h$
0.8928	1.8223	1.4966		
			0.0028	0.0007
1.1345	2.1143			
			0.0052	0.0013
0.9587	1.6659			
			0.0075	0.0019
0.7312	1.2124			
			0.0094	0.0024
0.4895	0.7936			
			0.0108	0.0027
0.2714	0.4432			
			0.0119	0.0030
0.1051	0.1839			
			0.0119	0.0030

0.0162	0.0361			
$\Sigma = 4.5994$	$\Sigma = 8.2717$		OK!	OK!

< 0,02

< 0,005

(Pasal 2.6.3.)

Contoh Perhitungan :

ARAH X (T = 0,807 detik → C = 0,05)

➤ Level Atap

 $W_i = W_{\text{atap}}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton $h_i = h_{\text{atap}} = 32 \text{ m}$ $W_i \times h_i = W_{\text{atap}} \times h_{\text{atap}} = 197,7 \times 32 = 6326,40 \text{ ton}$ $\Sigma (W_i \times h_i) = 36964 \text{ ton}$ $V = C \times I \times K \times W_t = 0,05 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 158,44 \text{ ton (Pasal 2.4.1.)}$

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\Sigma W_i \times h_i} \times V = \frac{6326,40}{36964} \times 158,44 = 27,12 \text{ ton}$$

Pada level atap $V_i = F_i = 27,12 \text{ ton}$ d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0672 m

$$d_i^2 = (0,0672)^2 = 0,004516 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,004516 = 0,8928 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 27,12 \times 0,0672 = 1,8223 \text{ tm}$$

➤ Level 7

 $W_i = W_{\text{lantai 7}}$ didapat dari perhitungan pembebanan lantai = 273,55 ton $h_i = h_{\text{lantai 7}} = 28 \text{ m}$ $W_i \times h_i = W_{\text{lantai 7}} \times h_{\text{lantai 7}} = 273,55 \times 28 = 7659,40 \text{ ton}$ $\Sigma (W_i \times h_i) = 36964 \text{ ton}$ $V = C \times I \times K \times W_t = 0,05 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 158,44 \text{ ton (Pasal 2.4.1.)}$

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\Sigma W_i \times h_i} \times V = \frac{7659,40}{36964} \times 158,44 = 32,83 \text{ ton}$$

Pada level 7 $V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 27,12 + 32,83 = 59,95 \text{ ton}$ d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0644 m

$$d_i^2 = (0,0644)^2 = 0,004147 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,004147 = 1,1345 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 32,83 \times 0,0644 = 2,1143 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} = 0,0672 - 0,0644 = 0,0028 < 0,02 \text{ m (OK!)} \text{ (Pasal 2.6.3.)}$$

$$(d_i - d_{i-1})/h = 0,0028 / 4 = 0,0007 < 0,005 \text{ (OK!)} \text{ (Pasal 2.6.3.)}$$

$$\Sigma W_i \times d_i^2 = 4,5994 \text{ tm}^2$$

$$\Sigma F_i \times d_i = 8,2717 \text{ tm}$$

$$T_{ray} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{4,5994}{9,8 \times 8,2717}} = 1,4966 \text{ detik}$$

$$T_e = 0,06 \times H^{3/4} = 0,06 \times 32^{3/4} = 0,8070 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 2.4.5. :

$$T_{ray} \geq 80\% T_e$$

$$1,4966 > 80\% \times 0,8070 \rightarrow 1,4966 > 0,6456 \text{ (OK!)}$$

Ternyata syarat pada Pasal 2.4.5. terpenuhi, akan tetapi apabila dengan $T = 1,4966$ detik dipergunakan $C=0,05$ sebenarnya terlalu boros, karena apabila di lihat pada Gambar 2.3. nilai C dapat berubah menjadi lebih kecil. Besarnya nilai C dapat dihitung melalui persamaan linear

$$y = -0,025x + 0,075$$

(di mana y adalah koefisien gempa dasar (C) yang dicari dan x adalah waktu getar alami ($1 \leq T \leq 2$) yang akan dihitung).

Sehingga untuk $T = 1,4966$ detik $\rightarrow$ nilai $C = 0,0376$

Tabel 4.6. Perhitungan waktu getar alami struktur gedung (T_{ray}) dan syarat simpangan antar tingkat arah X ($C = 0,0376$)

Level	W_i (t)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (tm)	F_i (t)	V_i (t)	d_i (m)	d_i^2 (m ²)
atap	197.70	32	6326.40	20.39	20.39	0.0506	0.002560

7	273.55	28	7659.40	24.69	45.08	0.0484	0.002343
6	273.55	24	6565.20	21.16	66.24	0.0445	0.001980
5	273.55	20	5471.00	17.63	83.88	0.0389	0.001513
4	273.55	16	4376.80	14.11	97.99	0.0318	0.001011
3	273.55	12	3282.60	10.58	108.57	0.0236	0.000557
2	273.55	8	2188.40	7.05	115.62	0.0147	0.000216
1	273.55	4	1094.20	3.53	119.15	0.0058	0.000034
			$\Sigma = 36964.00$				
C=	0.0376	I=	1.5	K=	1	Wt=	2112.55
V(t)=	119.15						

$W_i \times d_i^2 \text{ (tm}^2\text{)}$	$F_i \times d_i \text{ (tm)}$	$T_{ray} \text{ (det)}$	$d_i - d_{i-1} \text{ (m)}$	$(d_i - d_{i-1})/h$
0.5062	1.0318	1.4965		
			0.0022	0.0006
0.6408	1.1949			
			0.0039	0.0010
0.5417	0.9417			
			0.0056	0.0014
0.4139	0.6860			
			0.0071	0.0018
0.2766	0.4486			
			0.0082	0.0021
0.1524	0.2497			
			0.0089	0.0022
0.0591	0.1037			
			0.0089	0.0022
0.0092	0.0205			
$\Sigma = 2.5999$	$\Sigma = 4.6770$		OK!	OK!

$< 0,02$ $< 0,005$
 (Pasal 2.6.3.)

Contoh Perhitungan :

ARAH X ($T = 1,4966$ detik $\rightarrow C = 0,0376$)

➤ Level Atap

$W_i = W_{atap}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton

$h_i = h_{atap} = 32$ m

$W_i \times h_i = W_{atap} \times h_{atap} = 197,7 \times 32 = 6326,40$ ton

$$\Sigma (W_i \times h_i) = 36964 \text{ ton}$$

$$V = C \times I \times K \times W_t = 0,0376 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 119,15 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\Sigma W_i \times h_i} \times V = \frac{6326,40}{36964} \times 119,15 = 20,39 \text{ ton}$$

$$\text{Pada level atap } V_i = F_i = 20,39 \text{ ton}$$

$$d_i \text{ didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11} = 0,0506 \text{ m}$$

$$d_i^2 = (0,0506)^2 = 0,002560 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,002560 = 0,5062 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 20,39 \times 0,0506 = 1,0318 \text{ tm}$$

➤ Level 7

$$W_i = W_{\text{lantai 7}} \text{ didapat dari perhitungan pembebanan lantai} = 273,55 \text{ ton}$$

$$h_i = h_{\text{lantai 7}} = 28 \text{ m}$$

$$W_i \times h_i = W_{\text{lantai 7}} \times h_{\text{lantai 7}} = 273,55 \times 28 = 7659,40 \text{ ton}$$

$$\Sigma (W_i \times h_i) = 36964 \text{ ton}$$

$$V = C \times I \times K \times W_t = 0,0376 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 119,15 \text{ ton}$$

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\Sigma W_i \times h_i} \times V = \frac{7659,40}{36964} \times 119,15 = 24,69 \text{ ton}$$

$$\text{Pada level 7 } V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 20,39 + 24,69 = 45,08 \text{ ton}$$

$$d_i \text{ didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11} = 0,0484 \text{ m}$$

$$d_i^2 = (0,0484)^2 = 0,002343 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,002343 = 0,6408 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 24,69 \times 0,0484 = 1,1949 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} = 0,0506 - 0,0484 = 0,0022 < 0,02 \text{ m (OK!)} \text{ (Pasal 2.6.3.)}$$

$$(d_i - d_{i-1})/h = 0,0022 / 4 = 0,0006 < 0,005 \text{ (OK!)} \text{ (Pasal 2.6.3.)}$$

$$\Sigma W_i \times d_i^2 = 2,5999 \text{ tm}^2$$

$$\Sigma F_i \times d_i = 4,6770 \text{ tm}$$

$$T_{ray} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{2,5999}{9,8 \times 4,6770}} = 1,4965 \text{ detik}$$

$$T_e = 1,4966 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 2.4.5. :

$$T_{ray} \geq 80\% T_e$$

$$1,4965 > 80\% \times 1,4966 \rightarrow 1,4965 > 1,1973 \text{ (OK!)}$$

Tabel 4.7. Perhitungan waktu getar alami struktur gedung (T_{ray}) dan syarat simpangan antar tingkat arah Y ($C = 0,050$)

Level	W_i (t)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (tm)	F_i (t)	V_i (t)	d_i (m)	d_i^2 (m ²)
atap	197.70	32	6326.40	24.41	40.25	0.0736	0.005417
7	273.55	28	7659.40	29.55	69.80	0.0700	0.004900
6	273.55	24	6565.20	25.33	95.12	0.0640	0.004096
5	273.55	20	5471.00	21.11	116.23	0.0556	0.003091
4	273.55	16	4376.80	16.88	133.11	0.0452	0.002043
3	273.55	12	3282.60	12.66	145.78	0.0332	0.001102
2	273.55	8	2188.40	8.44	154.22	0.0203	0.000412
1	273.55	4	1094.20	4.22	158.44	0.0077	0.000059
			36964.00				
C=	0.0500	I=	1.5	K=	1	Wt=	2112.55
V(t)=	158.44						

$W_i \times d_i^2$ (tm ²)	$F_i \times d_i$ (tm)	T_{ray} (det)	$d_i - d_{i-1}$ (m)	$(d_i - d_{i-1})/h$
1.0709	1.7962	1.6392		
			0.0036	0.0009
1.3404	2.0684			
			0.0060	0.0015
1.1205	1.6209			
			0.0084	0.0021

0.8456	1.1735			
			0.0104	0.0026
0.5589	0.7632			
			0.0120	0.0030
0.3015	0.4204			
			0.0129	0.0032
0.1127	0.1714			
			0.0126	0.0032
0.0162	0.0325			
$\Sigma = 5.3668$	$\Sigma = 8.0465$		OK!	OK!

$< 0,02$ $< 0,005$
 (Pasal 2.6.3.)

Contoh Perhitungan :

ARAH Y (T = 0,807 detik → C = 0,05)

➤ Level Atap

$W_i = W_{\text{atap}}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton

$h_i = h_{\text{atap}} = 32 \text{ m}$

$W_i \times h_i = W_{\text{atap}} \times h_{\text{atap}} = 197,7 \times 32 = 6326,40 \text{ ton}$

$\Sigma (W_i \times h_i) = 36964 \text{ ton}$

$V = C \times I \times K \times W_t = 0,05 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 158,44 \text{ ton}$ (Pasal 2.4.1.)

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\Sigma W_i \times h_i} \times 0,9V = \frac{6326,40}{36964} \times (0,9 \times 158,44) = 24,41 \text{ ton}$$

Pada level atap $V_{\text{atap}} = F_{\text{atap}} + 0,1V = 24,41 + (0,1 \times 158,44) = 40,25 \text{ ton}$

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0736 m

$$d_i^2 = (0,0736)^2 = 0,005417 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,005417 = 1,0709 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 24,41 \times 0,0736 = 1,7962 \text{ tm}$$

➤ Level 7

$W_i = W_{\text{lantai 7}}$ didapat dari perhitungan pembebanan lantai = 273,55 ton

$h_i = h_{\text{lantai 7}} = 28 \text{ m}$

$W_i \times h_i = W_{\text{lantai 7}} \times h_{\text{lantai 7}} = 273,55 \times 28 = 7659,40 \text{ ton}$

$\Sigma (W_i \times h_i) = 36964 \text{ ton}$

$V = C \times I \times K \times W_t = 0,05 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 158,44 \text{ ton}$ (Pasal 2.4.1.)

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} \times 0,9V = \frac{7659,40}{36964} \times (0,9 \times 158,44) = 29,55 \text{ ton}$$

$$\text{Pada level 7 } V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 40,25 + 29,55 = 69,80 \text{ ton}$$

$$d_i \text{ didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS } 8.11 = 0,0700 \text{ m}$$

$$d_i^2 = (0,0700)^2 = 0,004900 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,004900 = 1,3404 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 29,55 \times 0,0700 = 2,0684 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} = 0,0736 - 0,0700 = 0,0036 < 0,02 \text{ m (OK!) (Pasal 2.6.3.)}$$

$$(d_i - d_{i-1})/h = 0,0036 / 4 = 0,0009 < 0,005 \text{ (OK!) (Pasal 2.6.3.)}$$

$$\sum W_i \times d_i^2 = 5,3668 \text{ tm}^2$$

$$\sum F_i \times d_i = 8,0465 \text{ tm}$$

$$T_{ray} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{5,3668}{9,8 \times 8,0465}} = 1,6392 \text{ detik}$$

$$T_e = 0,06 \times H^{3/4} = 0,06 \times 32^{3/4} = 0,807 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 2.4.5. :

$$T_{ray} \geq 80\% T_e$$

$$1,6392 > 80\% \times 0,807 \rightarrow 1,6392 > 0,6456 \text{ (OK!)}$$

Ternyata syarat pada Pasal 2.4.5. terpenuhi, akan tetapi apabila dengan $T = 1,6392$ detik dipergunakan $C=0,05$ sebenarnya terlalu boros, karena apabila di lihat pada Gambar 2.3. nilai C dapat berubah menjadi lebih kecil. Besarnya nilai C dapat dihitung melalui persamaan linear

$$y = -0,025x + 0,075$$

(di mana y adalah koefisien gempa dasar (C) yang dicari dan x adalah waktu getar alami ($1 \leq T \leq 2$) yang akan dihitung).

Sehingga untuk $T = 1,6392$ detik $\rightarrow$ nilai $C = 0,0340$

Tabel 4.8. Perhitungan waktu getar alami struktur gedung (T_{ray}) dan syarat simpangan antar tingkat arah Y ($C = 0,0340$)

Level	W_i (t)	h_i (m)	$W_i \times h_i$ (tm)	F_i (t)	V_i (t)	d_i (m)	d_i^2 (m ²)
atap	197.70	32	6326.40	16.60	27.37	0.0506	0.002560
7	273.55	28	7659.40	20.09	47.46	0.0481	0.002314
6	273.55	24	6565.20	17.22	64.68	0.0440	0.001936
5	273.55	20	5471.00	14.35	79.04	0.0382	0.001459
4	273.55	16	4376.80	11.48	90.52	0.0310	0.000961
3	273.55	12	3282.60	8.61	99.13	0.0228	0.000520
2	273.55	8	2188.40	5.74	104.87	0.0139	0.000193
1	273.55	4	1094.20	2.87	107.74	0.0053	0.000028
			$\Sigma = 36964.00$				
C=	0.0340	I=	1.5	K=	1	Wt=	2112.55
V(t)=	107.74						

$W_i \times d_i^2$ (tm ²)	$F_i \times d_i$ (tm)	T_{ray} (det)	$d_i - d_{i-1}$ (m)	$(d_i - d_{i-1})/h$
0.5062	0.8397	1.6476		
			0.0025	0.0006
0.6329	0.9665			
			0.0041	0.0010
0.5296	0.7578			
			0.0058	0.0015
0.3992	0.5482			
			0.0072	0.0018
0.2629	0.3559			
			0.0082	0.0021
0.1422	0.1963			
			0.0089	0.0022
0.0529	0.0798			
			0.0086	0.0022
0.0077	0.0152			
$\Sigma = 2.5335$	$\Sigma = 3.7595$		OK!	OK!

$< 0,02$ $< 0,005$
(Pasal 2.6.3.)

Contoh Perhitungan :

ARAH Y ($T = 1,6392$ detik $\rightarrow C = 0,034$)

➤ Level Atap

$W_i = W_{\text{atap}}$ didapat dari perhitungan pembebanan atap = 197,7 ton

$h_i = h_{\text{atap}} = 32$ m

$W_i \times h_i = W_{\text{atap}} \times h_{\text{atap}} = 197,7 \times 32 = 6326,40$ ton

$\Sigma (W_i \times h_i) = 36964$ ton

$V = C \times I \times K \times W_t = 0,034 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 107,74$ ton

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\Sigma W_i \times h_i} \times 0,9V = \frac{6326,40}{36964} \times (0,9 \times 107,74) = 16,60 \text{ ton}$$

Pada level atap $V_{\text{atap}} = F_{\text{atap}} + 0,1V = 16,60 + (0,1 \times 107,74) = 27,37$ ton

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0506 m

$$d_i^2 = (0,0506)^2 = 0,002560 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 197,7 \times 0,002560 = 0,5062 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 16,6 \times 0,0506 = 0,8397 \text{ tm}$$

➤ Level 7

$W_i = W_{\text{lantai 7}}$ didapat dari perhitungan pembebanan lantai = 273,55 ton

$h_i = h_{\text{lantai 7}} = 28$ m

$W_i \times h_i = W_{\text{lantai 7}} \times h_{\text{lantai 7}} = 273,55 \times 28 = 7659,40$ ton

$\Sigma (W_i \times h_i) = 36964$ ton

$V = C \times I \times K \times W_t = 0,034 \times 1,5 \times 1 \times 2112,55 = 107,74$ ton

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\Sigma W_i \times h_i} \times 0,9V = \frac{7659,40}{36964} \times (0,9 \times 107,74) = 20,09 \text{ ton}$$

Pada level 7 $V_7 = V_{\text{atap}} + F_7 = 27,37 + 20,09 = 47,46$ ton

d_i didapat dari analisa dengan menggunakan ETABS 8.11 = 0,0481 m

$$d_i^2 = (0,0481)^2 = 0,002314 \text{ m}^2$$

$$W_i \times d_i^2 = 273,55 \times 0,002314 = 0,6329 \text{ tm}^2$$

$$F_i \times d_i = 20,09 \times 0,0481 = 0,9665 \text{ tm}$$

Syarat simpangan antar tingkat (atap – level 7)

$$d_i - d_{i-1} = 0,0506 - 0,0481 = 0,0025 < 0,02 \text{ m (OK!) (Pasal 2.6.3.)}$$

$$(d_i - d_{i-1})/h = 0,0025 / 4 = 0,0006 < 0,005 \text{ (OK!) (Pasal 2.6.3.)}$$

$$\sum W_i \times d_i^2 = 2,5335 \text{ tm}^2$$

$$\sum F_i \times d_i = 3,7595 \text{ tm}$$

$$T_{ray} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} = 6,3 \sqrt{\frac{2,5335}{9,8 \times 3,7595}} = 1,6476 \text{ detik}$$

$$T_e = 1,6392 \text{ detik}$$

Syarat Pasal 2.4.5. :

$$T_{ray} \geq 80\% T_e$$

$$1,6476 > 80\% \times 1,6392 \rightarrow 1,6476 > 1,3114 \text{ (OK!)}$$