

3. PERENCANAAN UMUM STRUKTUR GEDUNG

3.1. Struktur Atas dan Struktur Bawah

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 5.1.1. Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di atas muka tanah, sedangkan struktur bawah adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada di bawah muka tanah, yang terdiri dari struktur besmen - kalau ada - dan/atau struktur fondasinya. Seluruh struktur bawah harus diperhitungkan memikul pengaruh Gempa Rencana. Pasal 5.1.2. Apabila tidak dilakukan analisis interaksi tanah-struktur, struktur atas dan struktur bawah dari suatu struktur gedung dapat dianalisis terhadap pengaruh Gempa Rencana secara terpisah, di mana struktur atas dapat dianggap terjepit lateral pada taraf lantai dasar. Selanjutnya struktur bawah dapat dianggap sebagai struktur tersendiri yang berada di dalam tanah yang dibebani oleh kombinasi beban-beban gempa yang berasal dari struktur atas, beban gempa yang berasal dari gaya inersia sendiri dan beban gempa yang berasal dari tanah sekelilingnya. Pasal 5.1.3. Pada gedung tanpa besmen, taraf penjepitan lateral struktur atas dapat dianggap terjadi pada bidang telapak fondasi langsung, bidang telapak fondasi rakit dan bidang atas kepala (pur) fondasi tiang. Pasal 5.1.4. Apabila penjepitan tidak sempurna dari struktur atas gedung pada struktur bawah diperhitungkan, maka struktur atas gedung tersebut harus diperhitungkan terhadap pengaruh deformasi lateral maupun rotasional dari struktur bawahnya. Pasal 5.1.5. Dalam perencanaan struktur atas dan struktur bawah suatu gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, struktur bawah tidak boleh gagal lebih dahulu dari struktur atas. Untuk itu, terhadap Pengaruh Gempa Rencana unsur-unsur struktur bawah harus	

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
tetap berperilaku elastik penuh, tak bergantung pada tingkat daktilitas yang dimiliki struktur atasnya.	

Penjelasan :

Pada SNI 2002 dijelaskan mengenai definisi struktur atas dan struktur bawah, sedangkan pada SKBI 1987 tidak pernah dijelaskan mengenai hal tersebut.

Pasal 5.1.1. dan 5.1.2. menjelaskan bahwa permasalahan pada suatu struktur gedung yang akan menimbulkan interaksi tanah-struktur sangatlah kompleks untuk dianalisis. Oleh karena itu untuk menyederhanakan permasalahan tersebut dapat dilakukan pemisahan struktur atas dan struktur bawah, dengan menganggap struktur atas terjepit pada lantai dasar dan struktur bawah ditinjau sebagai struktur 3D yang mengalami pembebanan struktur atas, dari gaya inersianya sendiri dan dari tanah disekelilingnya.

Pasal 5.1.3. menjelaskan mengenai taraf penjepitan lateral pada struktur gedung tanpa basement. Pada struktur gedung tanpa basement, taraf penjepitan lateral struktur atas terjadi pada bidang yang menentukan kekuatan fondasi, yaitu bidang telapak fondasi langsung, bidang telapak fondasi rakit dan bidang atas kepala (pur) fondasi tiang.

3.2. Struktur Penahan Gempa

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 5.2.1. Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, semua unsur struktur gedung, baik bagian dari subsistem struktur gedung maupun bagian dari sistem struktur gedung seperti rangka (portal), dinding geser, kolom, balok, lantai, lantai tanpa balok (lantai cendawan) dan kombinasinya, harus diperhitungkan memikul pengaruh Gempa Rencana. Pasal 5.2.2. Pengabaian pemikulan pengaruh Gempa Rencana oleh salah satu atau lebih kolom atau	

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
subsistem struktur gedung yang disebut dalam Pasal 5.2.1. hanya diperkenankan, bila partisipasi pemikulan pengaruh gempanya adalah kurang dari 10%. Dalam hal ini, unsur atau subsistem tersebut selain terhadap beban gravitasi, juga harus direncanakan terhadap simpangan sistem struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung yang berperilaku elastik penuh, yaitu terhadap simpangan sebesar $R/1,6$ kali simpangan akibat beban gempa nominal pada struktur gedung tersebut, di mana R adalah faktor reduksi gempa dari struktur gedung itu dan 1,6 adalah faktor reduksi gempa untuk struktur elastik penuh ($R = f_1$). Pasal 5.2.3. Dalam suatu sistem struktur yang terdiri dari kombinasi dinding-dinding geser dan rangka-rangka terbuka, beban geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang dipikul oleh rangka-rangka terbuka tidak boleh kurang dari 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah kerja beban gempa tersebut.	

Penjelasan :

Pasal 5.2.1. SNI 2002 menjelaskan bahwa segala sistem maupun subsistem struktur yang tercantum pada Tabel 3. Pasal 4.3.6. harus diperhitungkan terhadap gempa rencana, kecuali kalau pengaruh gempa rencananya kurang dari 10% (seperti yang disebutkan pada Pasal 5.2.2.) maka pengaruh gempa tersebut dapat diabaikan, tetapi sistem maupun subsistem struktur tersebut tetap harus diperhitungkan terhadap beban gravitasi dan simpangan struktur gedung sebesar $R/1,6$ akibat beban nominal, seandainya struktur gedung tersebut berperilaku elastik penuh.

Pasal 5.2.3. SNI 2002 menjelaskan bahwa struktur yang memiliki sistem ganda yaitu kombinasi dari dinding geser dan rangka terbuka, beban geser dasar nominal yang dipikul oleh rangka terbuka tidak boleh kurang dari 25% dari beban geser nominal total yang bekerja dalam arah beban gempa tersebut. Hal ini dimaksudkan agar rangka terbuka memiliki kekakuan lateral yang cukup dengan

cara memberikan kekuatan minimum agar daya tahannya terhadap gempa tetap baik.

3.3. Lantai Tingkat sebagai Diafragma

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 5.3.1. Lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung dapat dianggap sangat kaku dalam bidangnya dan karenanya dapat dianggap bekerja sebagai diafragma terhadap beban gempa horisontal. Pasal 5.3.2. Lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai dengan ikatan suatu struktur gedung yang tidak kaku dalam bidangnya, karena mengandung lubang-lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat, akan mengalami deformasi dalam bidangnya akibat beban gempa horisontal, yang harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap pembagian beban gempa horisontal tersebut kepada seluruh sistem struktur tingkat yang ada.	Pasal 2.2.6. Diafragma dan Ikatan Lantai Sistem ikatan horisontal atau diafragma pada tiap-tiap tingkat harus direncanakan untuk membagi beban-beban geser tingkat kepada unsur-unsur penahan gempa dalam tingkat itu sebanding dengan kekakuan lateral masing-masing. Yang dimaksud dengan kekakuan lateral unsur adalah gaya geser yang bila terjadi di dalamnya menimbulkan satu satuan simpangan horisontal dari ujung unsur yang atas relatif terhadap ujung unsur yang bawah.

Penjelasan :

SNI 2002 menjelaskan bahwa unsur lantai tingkat, atap beton dan sistem lantai harus dianggap bekerja sebagai diafragma terhadap beban horisontal. Sedangkan SKBI 1987 menjelaskan tentang pembagian gaya horisontal dari sistem ikatan horisontal dan diafragma sesuai dengan kekakuan lateral masing-masing

Pasal 5.3.2. apabila ikatan struktur gedung tidak kaku yang dikarenakan adanya bukaan yang luasnya lebih dari 50% dari luas seluruh tingkat maka lantai tersebut tidak lagi dapat dianggap bekerja sebagai diafragma terhadap beban gempa yang harus dipikul.

3.4. Eksentrisitas Pusat Massa terhadap Pusat Rotasi Lantai Tingkat

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 5.4.1. Pusat massa lantai tingkat suatu struktur gedung adalah titik tangkap resultante beban mati, berikut beban hidup yang sesuai, yang bekerja pada lantai tingkat itu. Pada perencanaan struktur gedung, pusat massa adalah titik tangkap beban gempa statik ekuivalen atau gaya gempa dinamik. Pasal 5.4.2. Pusat rotasi lantai tingkat suatu struktur gedung adalah suatu titik pada lantai tingkat itu yang bila suatu beban horisontal bekerja padanya, lantai tingkat tersebut tidak berotasi, tetapi hanya bertranslasi, sedangkan lantai-lantai tingkat lainnya yang tidak mengalami beban horisontal semuanya berotasi dan bertranslasi. Pasal 5.4.3. Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana e_d. Apabila ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan b, maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut : - untuk $0 < e \leq 0,3 b$: $e_d = 1,5 e + 0,05 b \quad (21)$ atau $e_d = e - 0,05 b \quad (22)$ dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau. - untuk $e > 0,3 b$: $e_d = 1,33 e + 0,1 b \quad (23)$ atau $e_d = 1,17 e - 0,1 b \quad (24)$	Pasal 2.4.7.1. Pusat Kekakuan Dan Pusat Massa Pusat masa adalah titik tangkap teoritis dari beban geser tingkat dan harus dihitung sebagai titik pusat dari semua beban gravitasi yang bekerja di atas lantai tingkat yang ditinjau (kumulatif) dan yang ditumpu pada tingkat lantai itu. Titik tangkap rencana ditentukan berikut ini Pasal 2.4.7.2. Eksentrisitas Rencana Apabila e_c adalah eksentrisitas teoritis antara pusat masa dan pusat kekakuan, maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut : a. Apabila e_c adalah kurang dari $0,1 b$ dan gedung yang bersangkutan adalah bertingkat 4 atau kurang, maka e_d dapat diambil sama dengan nol. b. Apabila e_c adalah kurang dari $0,3 b$ dan tidak berlaku pasal 2.4.7.2. (a), maka beban geser tingkat akibat gempa harus dikerjakan dengan suatu eksentrisitas rencana e_d terhadap pusat kekakuan, di mana e_d harus dihitung dengan rumus: $e_d = 1,5 e_c + 0,05 b$ atau $e_d = e_c - 0,05 b$ dan dipilih yang nilainya paling berbahaya untuk unsur struktur yang ditinjau Pengaruh momen puntir tingkat harus ditinjau untuk masing-masing arah pembebanan gempa secara terpisah. c. Apabila e_c adalah lebih besar dari $0,3 b$, maka struktur gedung yang bersangkutan harus dianalisa berdasarkan analisa dinamik tiga dimensi menurut pasal 2.5.2.3. atau pasal 2.5.3.4., dengan mencakup responsnya terhadap puntir.

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
dan dipilih di antara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau. Pasal 5.4.4. Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, eksentrisitas rencana e_d antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat menurut Pasal 5.4.3. harus ditinjau baik dalam analisis statik, maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi.	Lambang b di dalam rumus-rumus di atas adalah ukuran horizontal terbesar denah struktur gedung pada tingkat yang ditinjau diukur tegak lurus pada arah pembebanan.

Penjelasan :

Pasal 5.4.1. SNI 2002 hanya menegaskan bahwa pusat massa lantai tingkat sebagai titik tangkap gaya inersia gempa, dimana massa yang diperhitungkan hanya dari lantai itu saja. Bukan secara kumulatif dari tingkat di atas lantai yang ditinjau.

Pada SNI 2002 untuk eksentrisitas teoritis yang besar ($e_c > 0,3b$) masih diberikan persyaratan eksentrisitas rencana (e_d) yang harus dipenuhi agar analisis statik ekuivalen masih dapat dipergunakan, sedangkan SKBI 1987 mengharuskan dipergunakannya analisa dinamis.

3.5. Kekakuan Struktur

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 5.5.1. Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, pengaruh peretakan beton pada unsur-unsur struktur dari beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit harus diperhitungkan terhadap kekakuannya. Untuk itu, momen inersia penampang unsur struktur dapat ditentukan sebesar momen inersia penampang utuh	Pasal 2.2.5.2 Kekakuan struktur-struktur beton bertulang dari suatu gedung harus dihitung berdasarkan sifat-sifat penampang yang ditentukan menurut pedoman beton. Reduksi dari momen inersia yang disebabkan oleh peretakan harus ditinjau. Suatu pendekatan yang sederhana untuk portal-portal beton bertulang terbuka dapat ditempuh dengan

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
dikalikan dengan suatu persentase efektifitas penampang sebagai berikut : - untuk kolom dan balok rangka beton bertulang terbuka : 75% - untuk dinding geser beton bertulang kantilever : 60% - untuk dinding geser beton bertulang berangkai * komponen dinding yang mengalami tarikan aksial : 50% * komponen dinding yang mengalami tekanan aksial : 80% * komponen balok perangkai dengan tulangan diagonal : 40% * komponen balok perangkai dengan tulangan memanjang : 20% Pasal 5.5.2. Modulus elastisitas beton E_c harus ditetapkan sesuai dengan mutu (kuat tekan) beton yang dipakai, sedangkan modulus elastisitas baja ditetapkan sebesar $E_s = 200$ GPa. Pasal 5.5.3. Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh Gempa Rencana, kekakuan unsur struktur yang ditetapkan dalam Pasal 5.5.1 harus dipakai baik dalam analisis statik maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi.	mengambil momen inersia tersebut sebesar 75% dari momen inersia bruto penampang utuh. Kekakuan struktur-struktur gedung yang memakai portal baja (komposit) dapat dihitung dengan meninjau reduksi dalam momen inersia sampai 75% dari momen inersia penampang komposit utuh. Perubahan bentuk dari pertemuan unsur-unsur portal baja tidak perlu ditinjau dalam perhitungan kekakuan.

Penjelasan :

Peretakan yang terjadi pada penampang-penampang beton bertulang, beton pratekan dan baja komposit akan mempengaruhi kekakuan dari suatu struktur. Untuk memperhitungkan hal tersebut dilakukan cara pendekatan dengan menentukan momen inersia efektif penampang unsur struktur. Momen inersia pada kolom dan balok rangka terbuka harus didesain mempunyai kapasitas untuk menahan beban gempa paling sedikit 25% (NEHRP 1997 Part 2, p.65). Dengan kata lain momen inersia efektif untuk kolom dan balok rangka terbuka adalah 75% dari momen inersia penampang utuh. Sama halnya dengan struktur gedung yang menggunakan dinding geser, persentase efektivitas penampang ditentukan

seperti yang tersebut pada pasal 5.5.1. pada SNI 2002 atau pada penjelasan SKBI 1987.

Pasal 5.5.2. menjelaskan tentang modulus elastisitas (E) pada beton ditentukan sesuai dengan mutu beton sedangkan pada baja ditetapkan sebesar $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ atau 200 GPa.

3.6. Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

SNI 03-1726-2002	SKBI 1.3.53.1987														
Pasal 5.6. Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk Wilayah Gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya n menurut persamaan : $T_1 < \zeta n \quad (25)$ di mana koefisien ζ ditetapkan menurut Tabel 8.															
Tabel 8. Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Wilayah Gempa</th><th>ζ</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0,20</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,19</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,18</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,17</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,16</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,15</td></tr> </tbody> </table>		Wilayah Gempa	ζ	1	0,20	2	0,19	3	0,18	4	0,17	5	0,16	6	0,15
Wilayah Gempa	ζ														
1	0,20														
2	0,19														
3	0,18														
4	0,17														
5	0,16														
6	0,15														

Penjelasan :

Pada SNI 2002 dijelaskan bahwa dalam mendesain struktur, struktur gedung yang terlalu fleksibel harus dicegah. Hal yang dilakukan untuk mengatasi hal ini adalah dengan membatasi waktu getar alami fundamental. Alasan-alasan dilakukan pembatasan waktu getar alami fundamental adalah sebagai berikut :

- untuk mencegah pengaruh P-Delta yang berlebihan.
- untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa yang menyebabkan pelelehan pertama, yaitu untuk

menjamin kenyamanan penghunian dan membatasi kemungkinan terjadinya kerusakan struktur akibat pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, maupun kerusakan non-struktur.

- untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa maksimum, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang menelan korban jiwa manusia.
- untuk mencegah kekuatan (kapasitas) struktur terpasang yang terlalu rendah, mengingat struktur gedung dengan waktu getar fundamental yang panjang menyerap beban gempa yang rendah (terlihat dari spektrum respons C-T), sehingga gaya internal yang terjadi di dalam unsur-unsur struktur menghasilkan kekuatan terpasang yang rendah

3.7. Pengaruh P-Delta

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 5.7. Struktur gedung yang tingginya diukur dari taraf penjepitan lateral adalah lebih dari 10 tingkat atau 40 m, harus diperhitungkan terhadap Pengaruh P-Delta, yaitu suatu gejala yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel, di mana simpangan ke samping yang besar akibat beban gempa lateral menimbulkan beban lateral tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang ke samping.	

Penjelasan :

Struktur gedung tinggi (lebih dari 10 tingkat atau 40 m) pada umumnya adalah relatif fleksibel, sehingga akibat beban gempa mengalami simpangan yang relatif besar yang dapat menimbulkan pengaruh P-Delta yang cukup berarti. Simpangan yang terjadi dapat menimbulkan momen sekunder (disebut pengaruh P-Delta) oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang ke samping sehingga terjadi beban momen tambahan pada komponen-komponen kolom.

Pada UBC, P-Delta diperhitungkan jika rasio momen sekunder terhadap momen primer $> 0,1$. (UBC 1997, sec. 1630.1.3.)

3.8. Arah Pembebanan Gempa

SNI 03-1726-2002	SKBI – 1.3.53.1987
Pasal 5.8.1. Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh Gempa Rencana harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pasal 5.8.2. Untuk mensimulasikan arah pengaruh Gempa Rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan menurut Pasal 5.8.1 harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%.	Pasal 2.3.2.. Pengaruh Gempa Horisontal Pengaruh komponen horisontal dan gerakan gempa yang menurut peraturan ini dianggap ekuivalen dengan beban-beban statik horisontal harus ditinjau bekerja bersamaan pada setiap tingkat lantai dan atap dari gedung Masing-masing unsur struktur dari suatu gedung harus direncanakan terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja di dalamnya akibat pengaruh gempa menurut peraturan ini yang bekerja dalam satu arah utama dikombinasikan dengan akibat 0,3 pengaruh gempa menurut peraturan ini yang bekerja dalam arah tegak lurus pada arah yang pertama. Kombinasi yang menghasilkan pengerahan kekuatan unsur yang maksimum adalah yang ditinjau. Apabila dilakukan suatu analisa statik 3 dimensi, beban gempa penuh menurut pedoman ini harus dianggap bekerja dalam masing-masing arah utama dengan dikombinasikan dengan 0,3 beban gempa menurut peraturan ini yang bekerja dalam arah tegak lurus pada arah utama yang ditinjau

Penjelasan :

Pada kenyataannya, arah pembebanan gempa pada setiap struktur gedung adalah sembarang. Untuk memudahkan analisis struktur, beban tersebut diuraikan terhadap kedua sumbu koordinat gedung. Kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa untuk masing-masing sumbu koordinat dapat dihitung sebagai berikut :

- Dalam arah sumbu x

$100\% \text{ beban gravitasi} \pm 100\% \text{ gempa arah-x} \pm 30\% \text{ gempa arah-y}$
- Dalam arah sumbu y

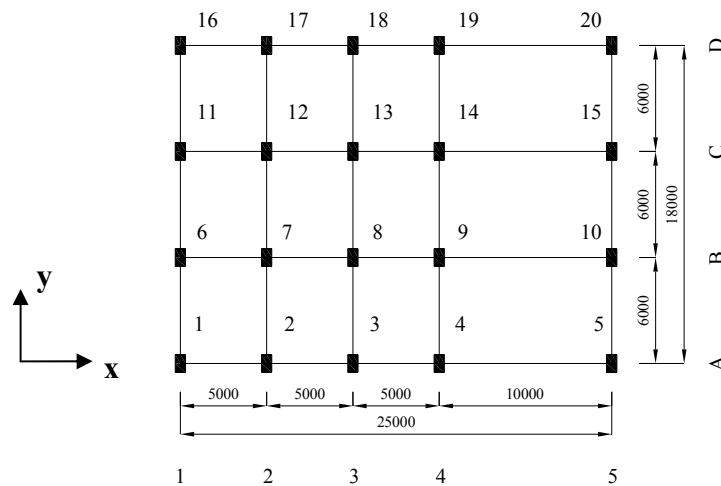
$100\% \text{ beban gravitasi} \pm 30\% \text{ gempa arah-x} \pm 100\% \text{ gempa arah-y}$

Dari kedua macam kombinasi pembebanan ini, yang digunakan dalam perencanaan adalah kombinasi yang menghasilkan keadaan yang paling berbahaya.

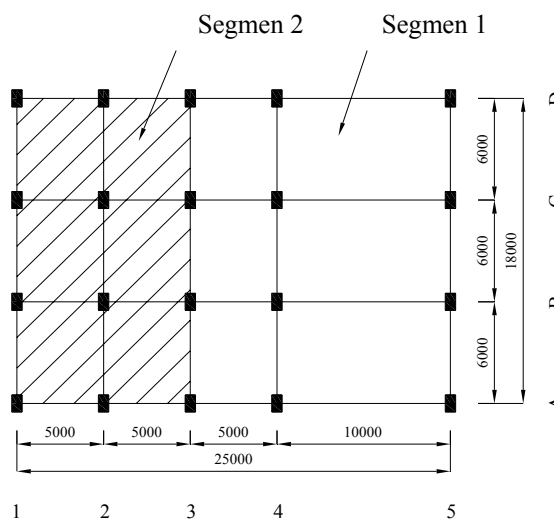
Contoh Analisis Bab 3 tentang Perencanaan Umum Struktur Gedung :

Untuk lebih memperjelas pemahaman tentang eksentrisitas pusat massa terhadap pusat rotasi lantai tingkat dapat dilihat pada contoh analisis berikut :

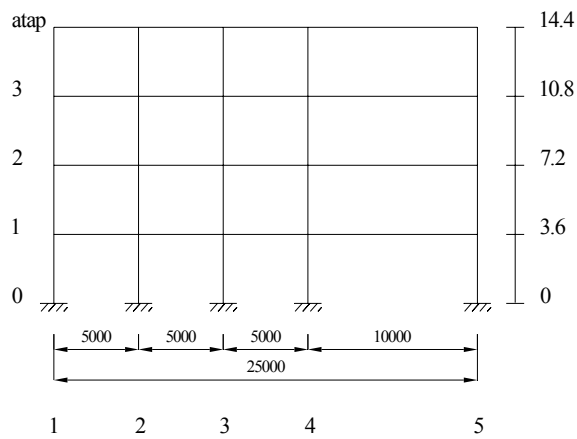
- Bangunan yang ditinjau adalah bangunan perkantoran dengan pembebanan sebagai berikut :
 - Pembebanan pada atap → $DL = 800 \text{ kg/m}^2$ dan $LL = 100 \text{ kg/m}^2$
 - Pembebanan pada lantai 1,2 dan 3 terbagi menjadi 2 segmen seperti terlihat pada gambar.
 Segmen 1 → $DL = 800 \text{ kg/m}^2$ dan $LL = 250 \text{ kg/m}^2$
 Segmen 2 → $DL = 1200 \text{ kg/m}^2$ dan $LL = 400 \text{ kg/m}^2$
- Dipergunakan kolom 300x500 mm



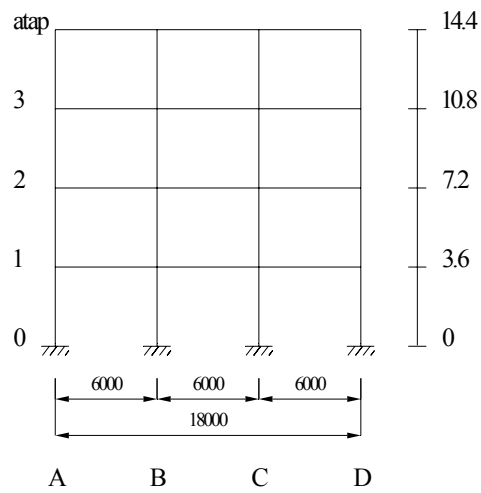
Gambar 3.1. Denah atap contoh analisis Bab 3



Gambar 3.2. Denah lantai 1,2 dan 3 contoh analisis Bab 3



Gambar 3.3. Potongan memanjang contoh analisis Bab 3



Gambar 3.4. Potongan melintang contoh analisis Bab 3

Pusat massa dapat dihitung dengan menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$X_{cmi} = \frac{\sum_{j=i}^n W_j \times X^{o_{cmj}}}{\sum_{j=i}^n W_j}$$

$$Y_{cmi} = \frac{\sum_{j=i}^n W_j \times Y^{o_{cmj}}}{\sum_{j=i}^n W_j}$$

Pusat kekakuan dapat dihitung dengan menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$X_{cri} = \frac{\sum_{j=i}^n I_{vxj} \times X_{vj}}{\sum_{j=i}^n I_{vxj}}$$

$$Y_{cri} = \frac{\sum_{j=i}^n I_{vyj} \times Y_{vj}}{\sum_{j=i}^n I_{vyj}}$$

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

$$W_{atap} = 25 \times 18 \times (800 + (0,3 \times 100)) = 373500 \text{ kg} = 373,50 \text{ ton}$$

$$W_{lantai} \text{ (segmen 1)} = 15 \times 18 \times (800 + (0,3 \times 250)) = 236250 \text{ kg} = 236,25 \text{ ton}$$

$$W_{lantai} \text{ (segmen 2)} = 10 \times 18 \times (1200 + (0,3 \times 400)) = 237600 \text{ kg} = 237,60 \text{ ton}$$

PUSAT MASSA

1. ATAP

$$X_{cmatap} = \frac{373,5 \times 12,5}{373,5} = 12,5 \text{ m}$$

$$Y_{cmatap} = \frac{373,5 \times 9}{373,5} = 9 \text{ m}$$

2. LANTAI 1,2 dan 3

$$X_{cm1} = X_{cm2} = X_{cm3} = \frac{(237,6 \times 5) + (236,25 \times 17,5)}{(237,6 + 236,25)} = 11,23 \text{ m}$$

$$Y_{cm1} = Y_{cm2} = Y_{cm3} = \frac{(237,6 \times 9) + (236,25 \times 9)}{(237,6 + 236,25)} = 9 \text{ m}$$

Jadi pusat massa struktur (X_{cmi} ; Y_{cmi}) diatas adalah

- Pada atap = (12,50 ; 9) m
- Pada lantai 1,2 dan 3 = (11,23 ; 9)

PUSAT KEKAKUAN

Kolom	I_{vxj}	X_{vj}	$I_{vxj} \cdot X_{vj}$	I_{vyj}	Y_{vj}	$I_{vyj} \cdot Y_{vj}$
1	0.003125	0	0.000000	0.001125	0	0.000000
2	0.003125	5	0.015625	0.001125	0	0.000000
3	0.003125	10	0.031250	0.001125	0	0.000000
4	0.003125	15	0.046875	0.001125	0	0.000000
5	0.003125	25	0.078125	0.001125	0	0.000000
6	0.003125	0	0.000000	0.001125	6	0.006750
7	0.003125	5	0.015625	0.001125	6	0.006750
8	0.003125	10	0.031250	0.001125	6	0.006750
9	0.003125	15	0.046875	0.001125	6	0.006750
10	0.003125	25	0.078125	0.001125	6	0.006750
11	0.003125	0	0.000000	0.001125	12	0.013500
12	0.003125	5	0.015625	0.001125	12	0.013500
13	0.003125	10	0.031250	0.001125	12	0.013500
14	0.003125	15	0.046875	0.001125	12	0.013500
15	0.003125	25	0.078125	0.001125	12	0.013500
16	0.003125	0	0.000000	0.001125	18	0.020250
17	0.003125	5	0.015625	0.001125	18	0.020250
18	0.003125	10	0.031250	0.001125	18	0.020250
19	0.003125	15	0.046875	0.001125	18	0.020250
20	0.003125	25	0.078125	0.001125	18	0.020250
	$\Sigma = 0.06250$		$\Sigma = 0.687500$	$\Sigma = 0.022500$		$\Sigma = 0.202500$

Contoh Perhitungan :

$$I_{vxj} = 1/12 \times b \times h^3 = 1/12 \times 0,3 \times 0,5^3 = 0.003125 \text{ m}^4$$

$$I_{vyj} = 1/12 \times b^3 \times h = 1/12 \times 0,3^3 \times 0,5 = 0.001125 \text{ m}^4$$

$$X_{cri} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{vxj} \times X_{vj}}{\sum_{j=1}^n I_{vxj}} = \frac{0,68750}{0,06250} = 11 \text{ m}$$

$$Y_{cri} = \frac{\sum_{j=1}^n I_{vyj} \times Y_{vj}}{\sum_{j=1}^n I_{vyj}} = \frac{0,20250}{0,02250} = 9 \text{ m}$$

Jadi pusat kekakuan struktur (X_{cri} ; Y_{cri}) diatas adalah (11 ; 9) m

A. BERDASARKAN SNI 2002

Level	X_{cmi} (m)	X_{cri} (m)	e (m)	$0 < e \leq 0,3 b$
atap	12.50	11.00	1.50	OK!
3	11.23	11.00	0.23	OK!
2	11.23	11.00	0.23	OK!
1	11.23	11.00	0.23	OK!

Level	e (m)	$e_d = 1,5 e + 0,05 b$	$e_d = e - 0,05 b$
atap	1.50	3.50	0.25
3	0.23	1.60	-1.00
2	0.23	1.60	-1.00
1	0.23	1.60	-1.00

Syarat : Untuk $0 < e \leq 0,3 b$ (Pasal 5.4.3.)

$$\rightarrow e_d = 1,5 e + 0,05 b \text{ atau}$$

$$\rightarrow e_d = e - 0,05 b$$

Untuk $e > 0,3 b$ (Pasal 5.4.3.)

$$\rightarrow e_d = 1,33 e + 0,1 b \text{ atau}$$

$$\rightarrow e_d = 1,17 e - 0,1 b$$

Contoh perhitungan pada level atap :

$$e = X_{cmi} - X_{cri} = 12,50 - 11,00 = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 25 \text{ m} \rightarrow 0,3 b = 0,3 \times 25 = 7,5 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan di atas ternyata semua memenuhi $0 < e \leq 0,3 b$, maka

$$\rightarrow e_d = 1,5 e + 0,05 b$$

$$e_d = (1,5 \times 1,50) + (0,05 \times 25) = 3,50 \text{ m atau}$$

$$\rightarrow e_d = e - 0,05 b$$

$$e_d = 1,50 - (0,05 \times 25) = 0,25 \text{ m}$$

Level	Y_{cmi} (m)	Y_{cri} (m)	e (m)	$0 < e \leq 0,3 b$
atap	9.00	9.00	0.00	OK!
3	9.00	9.00	0.00	OK!
2	9.00	9.00	0.00	OK!
1	9.00	9.00	0.00	OK!

Level	e (m)	$e_d = 1,5 e + 0,05 b$	$e_d = e - 0,05 b$
atap	0.00	0.90	-0.90
3	0.00	0.90	-0.90
2	0.00	0.90	-0.90
1	0.00	0.90	-0.90

Contoh perhitungan pada level atap :

$$e = Y_{cmi} - Y_{cri} = 9,00 - 9,00 = 0 \text{ m}$$

$$b = 18 \text{ m} \rightarrow 0,3 b = 0,3 \times 18 = 5,4 \text{ m}$$

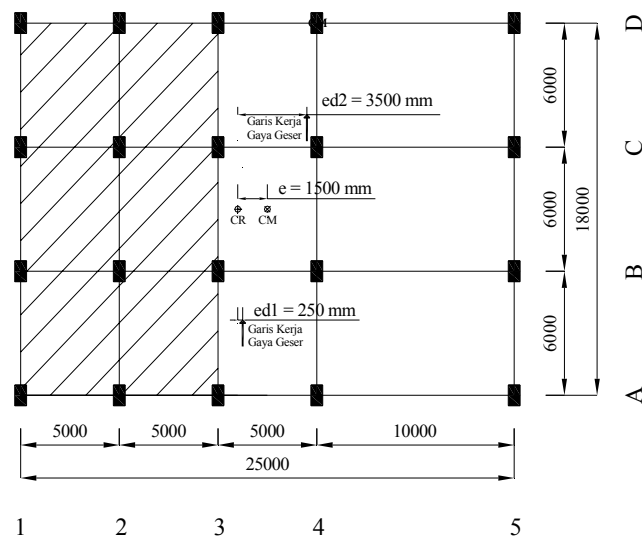
Dari hasil perhitungan di atas ternyata semua memenuhi $0 < e \leq 0,3 b$, maka

$$\rightarrow e_d = 1,5 e + 0,05 b$$

$$e_d = (1,5 \times 0) + (0,05 \times 18) = 0,90 \text{ m atau}$$

$$\rightarrow e_d = e - 0,05 b$$

$$e_d = 0 - (0,05 \times 18) = -0,90 \text{ m}$$



Gambar 3.5. Hubungan posisi titik pusat kekakuan dan pusat massa
(berdasarkan SNI 2002)

B. BERDASARKAN SKBI 1987

Level	X_{cmi} (m)	X_{cri} (m)	e_c (m)	$e_c < 0,1 b$
atap	12.50	11.00	1.50	OK!
3	11.23	11.00	0.23	OK!
2	11.23	11.00	0.23	OK!
1	11.23	11.00	0.23	OK!

Syarat : Untuk $e_c < 0,1 b$ dan $N \leq 4 \rightarrow e_d \approx 0$ (Pasal 2.4.7.2.a.)

Untuk $0,1 b \leq e_c \leq 0,3 b$ (Pasal 2.4.7.2.b.)

$$\rightarrow e_d = 1,5 e_c + 0,05 b \text{ atau}$$

$$\rightarrow e_d = e_c - 0,05 b$$

Untuk $e_c > 0,3 b \rightarrow$ Harus digunakan analisis dinamis

(Pasal 2.4.7.2.c.)

Contoh perhitungan pada level atap :

$$e = X_{cmi} - X_{cri} = 12,50 - 11,00 = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 25 \text{ m} \rightarrow 0,1 b = 0,1 \times 25 = 2,5 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan di atas ternyata semua memenuhi $e_c < 0,1 b$, maka

$$e_d \approx 0$$

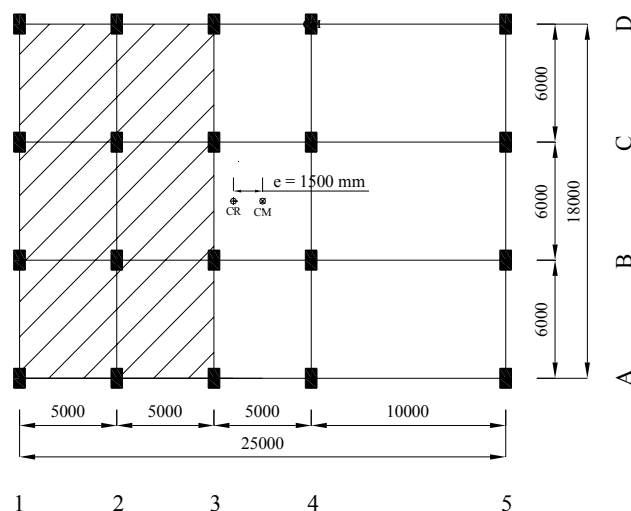
Level	Y_{cmi} (m)	Y_{cri} (m)	e_c (m)	$e_c < 0,1 b$
atap	9.00	9.00	0.00	OK!
3	9.00	9.00	0.00	OK!
2	9.00	9.00	0.00	OK!
1	9.00	9.00	0.00	OK!

Contoh perhitungan pada level atap :

$$e = Y_{cmi} - Y_{cri} = 12,50 - 11,00 = 1,5 \text{ m}$$

$$b = 18 \text{ m} \rightarrow 0,1 b = 0,1 \times 18 = 1,8 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan diatas ternyata semua $e_c < 0,1 b$, maka $e_d \approx 0$



Gambar 3.6. Hubungan posisi titik pusat kekakuan (rotasi) dan pusat massa
(berdasarkan SKBI 1987)