

### BAB III

#### ANALISIS BEBAN GEMPA

##### III.1. Latar Belakang

Analisis beban-gempa harus direncanakan untuk bangunan yang bertingkat banyak, karena perencanaan gaya horisontal akibat beban-gempa mempunyai arti yang sangat strategis, yaitu menyangkut masalah keselamatan manusia, kelangsungan bangunan maupun efisiensi. Keselamatan manusia karena menyangkut nyawa manusia, sedangkan kelangsungan bangunan karena kemampuan bangunan sudah diperhitungkan terhadap kemungkinan semua beban termasuk beban-gempa, dan efisiensi karena menyangkut masalah penentuan komposisi gaya horisontal yang cukup mendekati kenyataan.

Beban-gempa merupakan beban dinamis yang nilainya merupakan fungsi dari waktu dan dapat berubah-ubah dalam waktu yang relatif pendek. Respon struktur terhadap beban-gempa dapat dilakukan dengan metode statik ekuivalen dan metode dinamik.

##### III.2. Metode Analisis

Dalam proses perencanaan bangunan tahan gempa dikenal dua metode untuk menghitung gaya horisontal akibat beban-gempa yang bekerja pada struktur, yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik. Analisis beban statik ekuivalen hanya boleh dilakukan untuk struktur-struktur yang sederhana dan

beraturan yang tidak menunjukkan perubahan yang menyolok dalam perbandingan antara berat dan kekakuan pada tingkatnya.

Analisis dinamik dari struktur bangunan yang menderita beban-gempa dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu analisis respon spektrum ( *respon spectrum analysis* ) yaitu suatu cara analisis dinamik struktur, di mana pada suatu model matematik dari suatu struktur diberlakukan suatu spektrum respon gempa rencana, dan berdasar hal tersebut kemudian ditentukan respon struktur terhadap gempa rencana tersebut melalui superposisi dari respon masing-masing ragamnya dan analisis riwayat waktu ( *time history analysis* ) yaitu suatu cara analisis dinamik struktur, di mana pada suatu model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa, gempa hasil pencatatan atau dari gempa tiruan, terhadap riwayat waktu dari respon ditentukan.

Pada perencanaan struktur bangunan ini akan digunakan analisis dinamik dengan metode respon spektrum, cara ini lebih sederhana dalam analisisnya dengan tidak mengurangi akurasi dibandingkan dengan metode analisis riwayat waktu.

Penggunaan komputer untuk komputasi dalam kedua analisis tersebut tidak dapat dihindarkan, terutama pada struktur bangunan yang memiliki derajat kebebasan yang cukup banyak. Sebagai alat bantu dalam analisis struktur akan digunakan program komputer SAP90 versi P5.40 yang dikembangkan oleh Prof. Edward L. Wilson, dimana dalam penggunaannya telah mendapat reputasi dalam bidang rekayasa struktur dan mekanika struktur.

Desain spektrum yang digunakan dalam analisis struktur pada penulisan Tugas akhir ini diambil dari buku Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah Dan Gedung ( SKBI-1.3.53.1987), guna memperoleh respon struktur dari bangunan terhadap beban-gempa.

### **III.3. Metode dan Derajat Kebebasan**

Dalam analisis struktur terhadap beban dinamis, pemodelan struktur merupakan hal yang sangat penting agar hasil analisis dapat mencapai tingkat akurasi yang maksimal. Dengan demikian jelas bahwa model yang baik akan menyebabkan hasil yang diperoleh akan mendekati keadaan yang sebenarnya. Dalam menentukan model umumnya kita harus menentukan suatu sistem koordinat dimana pengukuran respon, baik perpindahan maupun gaya internal akan dilakukan. Jumlah respon perpindahan yang tidak bergantung dari perpindahan lainnya biasanya diidentifikasi sebagai derajat kebebasan suatu struktur.

Dalam analisis Tugas akhir ini, pemodelan struktur adalah sebagai struktur bangunan geser, dimana asumsi-asumsi yang dipakai adalah sebagai berikut:

- a. Massa dari struktur dianggap terkonsentrasi pada lantai-lantai dan atap struktur dan balok-balok dianggap kaku sempurna, sehingga translasi horisontal pada setiap lantai sama besarnya sedangkan pengaruh rotasi pada setiap joint diabaikan.
- b. Deformasi aksial pada kolom diabaikan, sehingga pengaruh translasi vertikal pada kolom pada setiap joint menjadi tidak ada, sedangkan translasi horisontal terjadi pada masing-masing lantai. Untuk struktur

bangunan tiga dimensi ini, translasi horisontalnya dalam arah sumbu-X dan sumbu-Y, sedangkan rotasi dalam arah sumbu-Z.

- c. Pengaruh semua elemen non-struktur pada kekakuan lateral dari struktur diabaikan.
- d. Lantai dan atap sangat kaku dibandingkan dengan kolom, sehingga tidak terjadi rotasi pada penampang horisontal bidang lantai.
- e. Pengaruh gaya aksial pada kekakuan kolom diabaikan.

#### **III.4. Karakteristik Dinamik**

Dalam analisis dinamik, sifat-sifat dinamik dari struktur seperti massa, redaman dan kekakuan sangat berpengaruh terhadap respon struktur. Hal ini sangat berbeda dengan analisis beban statik, dimana hanya kekakuan struktur yang berpengaruh terhadap respon struktur. Massa dari struktur menentukan besarnya gaya inersia pada struktur yang besarnya sama dengan massa dikalikan percepatan. Nilai redaman struktur menunjukkan kemampuan struktur untuk meredam getaran. Besarnya gaya redaman ini sebanding dengan kecepatan yaitu sebesar redaman struktur dikalikan kecepatan. Kekakuan struktur menunjukkan kemampuan struktur terhadap perubahan deformasi pada struktur. Pengaruh ini dinyatakan sebagai gaya elastik yaitu kekakuan dikalikan perpindahan.

#### **III.5. Menghitung Massa dan Berat Bangunan serta Momen Inersia Rotasi**

##### **Tingkat**

- Massa lantai atap.

$$- \text{Plat atap akibat b. mati} = 945,13,6225 \quad = 3423,6248 \text{ kN}$$

$$- \text{Plat atap akibat b. hidup} = 0,3 \cdot 945,1 \cdot 1,4375 = 407,5744 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,3.0,6)} = 0,3 \cdot (0,6-0,1) \cdot 375,23 = 1293,7500 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,25.0,5)} = 0,25 \cdot (0,5-0,1) \cdot 146,9,23 = 337,8700 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,25.0,4)} = 0,25 \cdot (0,4-0,1) \cdot 8,23 = 13,8000 \text{ kN}$$

Kolom di bawah plat :

$$- \text{Kolom (0,7.0,7)} = 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 5,23 = 90,1600 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,6.0,6)} = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 6,3 \cdot 23 = 834,6240 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,3.0,3)} = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 12,23 = 39,7440 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,25.0,25)} = 0,25 \cdot 0,25 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 11,23 = 25,3000 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,15.0,15)} = 0,15 \cdot 0,15 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 2,2 \cdot 23 = 1,6560 \text{ kN} +$$

---


$$\text{Massa lantai atap} = 6468,1032 \text{ kN}$$

• Massa lantai IV dan III.

$$- \text{Plat lantai akibat b. mati} = 901,15 \cdot 4,5041 = 4058,8697 \text{ kN}$$

$$- \text{Plat lantai akibat b. hidup} = 0,3 \cdot 901,15 \cdot 2,3958 = 647,6925 \text{ kN}$$

$$- \text{Dinding 1/2 Bata} = 531,5 \cdot 3,2 \cdot 2,3958 = 4074,7766 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,3.0,6)} = 0,3 \cdot (0,6-0,12) \cdot 375,23 = 1242,0000 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,25.0,5)} = 0,25 \cdot (0,5-0,12) \cdot 146,9,23 = 320,9765 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,25.0,4)} = 0,25 \cdot (0,4-0,12) \cdot 8,23 = 12,8800 \text{ kN}$$

Kolom di atas plat :

$$- \text{Kolom (0,7.0,7)} = 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 5,23 = 90,1600 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,6.0,6)} = 0,6 \cdot 0,6 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 6,3 \cdot 23 = 834,6240 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,3.0,3)} = 0,3 \cdot 0,3 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 12,23 = 39,7440 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,25.0,25)} = 0,25 \cdot 0,25 \cdot 1/2 \cdot 3,2 \cdot 11,23 = 25,3000 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,15.0,15)} = 0,15.0,15.1/2.3,2.2.23 = 1,6560 \text{ kN}$$

Kolom di bawah plat :

$$- \text{Kolom (0,7.0,7)} = 0,7.0,7.1/2.3,2.5.23 = 90,1600 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,6.0,6)} = 0,6.0,6.1/2.3,2.63.23 = 834,6240 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,3.0,3)} = 0,3.0,3.1/2.3,2.12.23 = 39,7440 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,25.0,25)} = 0,25.0,25.1/2.3,2.11.23 = 25,3000 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,15.0,15)} = 0,15.0,15.1/2.3,2.2.23 = 1,6560 \text{ kN} +$$

---


$$\text{Massa lantai IV dan III} = 12340,1633 \text{ kN}$$

• Massa lantai II.

$$- \text{Plat atap akibat b. mati} = 620,4.3,6225 = 2247,3990 \text{ kN}$$

$$- \text{Plat lantai akibat b. mati} = 901,15.4,5041 = 4058,8697 \text{ kN}$$

$$- \text{Plat atap akibat b. hidup} = 0,3.620,4.1,4375 = 267,5475 \text{ kN}$$

$$- \text{Plat lantai akibat b. hidup} = 0,3.901,15.2,3958 = 647,6925 \text{ kN}$$

$$- \text{Dinding 1/2 Bata} = 531,5.3,2.2,3958 = 4074,7766 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,3.0,6)} = 0,3.(0,6-0,1).219,6.23 = 757,6200 \text{ kN}$$

$$= 0,3.(0,6-0,12).375.23 = 1242,0000 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,25.0,5)} = 0,25.(0,5-0,1).142.23 = 326,6000 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,25.0,5)} = 0,25.(0,5-0,12).146,9.23 = 320,9765 \text{ kN}$$

$$- \text{Balok (0,25.0,4)} = 0,25.(0,4-0,12).8.23 = 12,8800 \text{ kN}$$

Kolom di atas plat :

$$- \text{Kolom (0,7.0,7)} = 0,7.0,7.1/2.3,2.5.23 = 90,1600 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,6.0,6)} = 0,6.0,6.1/2.3,2.63.23 = 834,6240 \text{ kN}$$

$$- \text{Kolom (0,3.0,3)} = 0,3.0,3.1/2.3,2.12.23 = 39,7440 \text{ kN}$$

- Kolom ( 0,25.0,25 )	= 0,25.0,25.1/2.3,2.11.23	= 25,3000 kN
- Kolom ( 0,15.0,15 )	= 0,15.0,15.1/2.3,2.2.23	= 1,6560 kN

Kolom di bawah plat :

- Kolom ( 0,8.0,8 )	= 0,8.0,8.1/2.4.19.23	= 559,3600 kN
- Kolom ( 0,7.0,7 )	= 0,7.0,7.1/2.4.89.23	= 2006,0600 kN
- Kolom ( 0,6.0,6 )	= 0,6.0,6.1/2.4.12.23	= 198,7200 kN
- Kolom ( 0,3.0,3 )	= 0,3.0,3.1/2.4.11.23	= 45,5400 kN
- Kolom ( 0,25.0,25 )	= 0,25.0,25.1/2.4.2.23	= 5,7500 kN +
	Massa lantai II	= 17763,2759 kN

• Massa lantai I.

- Plat atap akibat b. mati	= 30,4.3,6225	= 110,1240 kN
- Plat lantai akibat b. mati	= 1425,55.4,5041	= 6420,8198 kN
- Plat atap akibat b. hidup	= 0,3.30,4.1,4375	= 13,1100 kN
- Plat lantai akibat b. hidup	= 0,3.1425,55.2,3958	= 1024,5998 kN
- Dinding 1/2 Bata	= 619,5.4.2,3958	= 5936,7924 kN
- Balok ( 0,3.0,6 )	= 0,3.( 0,6-0,12 ).594,6.23	= 1969,3152 kN
- Balok ( 0,25.0,5 )	= 0,25.( 0,5-0,1 ).15,6.23	= 35,8800 kN
	= 0,25.( 0,5-0,12 ).288,9.23	= 631,2465 kN
- Balok ( 0,25.0,4 )	= 0,25.( 0,4-0,12 ).8.23	= 12,8800 kN

Kolom di atas plat :

- Kolom ( 0,8.0,8 )	= 0,8.0,8.1/2.4.19.23	= 559,3600 kN
- Kolom ( 0,7.0,7 )	= 0,7.0,7.1/2.4.89.23	= 2006,0600 kN
- Kolom ( 0,6.0,6 )	= 0,6.0,6.1/2.4.12.23	= 198,7200 kN

- Kolom ( 0,3.0,3 )	= 0,3.0,3.1/2.4.11.23	= 45,5400 kN
- Kolom ( 0,25.0,25 )	= 0,25.0,25.1/2.4.2.23	= 5,7500 kN

Kolom di bawah plat :

- Kolom ( 0,8.0,8 )	= 0,8.0,8.1/2.4,5.19.23	= 629,2800 kN
- Kolom ( 0,7.0,7 )	= 0,7.0,7.1/2.4,5.86.23	= 2180,7450 kN
- Kolom ( 0,6.0,6 )	= 0,6.0,6.1/2.4,5.14.23	= 260,8200 kN
- Kolom ( 0,3.0,3 )	= 0,3.0,3.1/2.4,5.11.23	= 51,2325 kN
- Kolom ( 0,25.0,25 )	= 0,25.0,25.1/2.4,5.2.23	= 6,4688 kN +

---

Massa lantai I = 22098,7440 kN

### **III.6. Pusat Massa Bangunan dan Pusat Kekakuan**

Pusat massa 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 ( komulatif ) dan yang ditumpu pada tingkat lantai itu.

Pusat kekakuan suatu lantai adalah titik tangkap resultante gaya geser gempa yang bekerja di dalam semua penampang unsur vertikal ( kolom-kolom dan dinding-dinding ) yang terdapat pada lantai tingkat yang bersangkutan.

Pada Perencanaan struktur ini, elemen struktur yang ada menyebabkan bangunan mempunyai denah yang tidak simetris pada lantai-lantai tertentu, sehingga dimungkinkan pusat massa dan pusat kekakuan tidak berhimpit. Dengan adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan pada masing-masing lantai, maka sebagai akibatnya pada masing-masing lantai tersebut bekerja suatu momen torsi. Untuk memperhitungkan pembesaran momen torsi yang terjadi dalam peristiwa gempa, menurut Peraturan Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk



Rumah dan Gedung 1987, Bab II.5.2.3 ditinjau eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) adalah

$e_d = e_c \pm 0,1 b$  dan dipilih yang paling menentukan.

Tabel 3.1. Massa bangunan dan momen inersia rotasi tingkat

	Massa ( M )	MMI
Lantai Atap	6468,1032 kN	1964281,4620 m <sup>4</sup>
Lantai IV	12340,1633 kN	3705359,6390 m <sup>4</sup>
Lantai III	12340,1633 kN	3705359,6390 m <sup>4</sup>
Lantai II	17763,2759 kN	8326070,4230 m <sup>4</sup>
Lantai I	22098,7440 kN	10489451,5700 m <sup>4</sup>
$\Sigma =$	71010,4497 kN	

### III.7. Koefisien Redaman

Pada umumnya di dalam persoalan getaran (*vibration*) hampir selalu ada redaman dan secara ekstrim justru dapat dikatakan bahwa getaran yang tidak ada pengurangan amplitudo adalah tidak realistis. Kehadiran redaman pada peristiwa getaran mengakibatkan pelepasan energi yang selanjutnya akan mengurangi amplitudo secara terus menerus sampai peristiwa getaran berhenti, dan ini berarti energi yang tersimpan dalam sistem semuanya melesap. Besarnya nilai redaman pada suatu sistem struktur sangat dipengaruhi beberapa hal, antara lain oleh :

- a. Material yang digunakan ( beton, baja, atau kayu ).
- b. Bentuk dan jenis konstruksi ( portal terbuka dengan sambungan atau konstruksi dengan dinding geser ).
- c. Jenis atau keadaan tanah tempat struktur tersebut didirikan.

Mengingat berbagai kesulitan yang dihadapi dalam mempresentasikan redaman pada suatu struktur, maka pada umumnya digolongkan sebagai berikut :

a. *Structural Damping.*

adalah suatu redaman yang disebabkan oleh gesekan dalam ( *internal friction* ) partikel-partikel di dalam bahan konstruksi atau gesekan yang terjadi pada tempat-tempat sambungan.

b. *Viscous Damping.*

adalah redaman yang dialami oleh suatu sistem yang bergetar / bergerak di dalam zat fluida / zat alir ( minyak, air dan udara ), contohnya benda yang meluncur pada permukaan yang dilumasi, *shock absorber* sepeda motor, gerakan sistem dalam silinder.

c. *Coulomb Damping*

adalah redaman yang disebabkan oleh gesekan pada permukaan kering, sehingga redaman yang dihasilkan mendekati konstan. Besarnya redaman akan bergantung pada gaya normal benda yang bergerak terhadap permukaan dan koefisien gesekan kinetik.

d. Redaman pada Konstruksi Bangunan Gedung

Khusus pada redaman ini para ahli telah sepakat bahwa untuk memudahkan penyelesaian persoalan dinamik, khususnya pada bangunan gedung perlu ditempuh suatu anggapan penyederhanaan yaitu redaman dianggap *viscous* dan besarnya berbanding langsung dengan kecepatan. Anggapan ini cukup beralasan pada hakekatnya molekul-molekul pada bahan konstruksi dapat berubah susunannya bila struktur mengalami deformasi, walaupun hanya bersifat sementara (pada keadaan elastis). Dengan demikian bahan konstruksi mempunyai viskositas dan inilah salah satu pertimbangan, disamping untuk tujuan

memudahkan analisis matematik. Walaupun redaman sudah dianggap *viscous*, tetapi untuk menentukan besarnya koefisien redaman ( *C* ) pada persamaan masih sangat sulit, karena itu biasanya koefisien redaman ( *damping ratio* ) dinyatakan dalam persentase terhadap koefisien Redaman Kritis ( *C<sub>cr</sub>* ).

$$Damping\ Ratio = \frac{C}{C_{cr}}$$

Untuk berbagai jenis konstruksi, *damping ratio*-nya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. *Damping Ratio*

No.	Tingkat Tegangan	Jenis Konstruksi	% <i>Damping Ratio</i>
1	rendah, di bawah 1/4 titik luluh	Baja beton, prestress, kayu belum <i>crack</i>	0,5-1,0
2	<i>working stress</i> , kurang dari 1/2 titik leleh	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja las, prestress, sedikit <i>crack</i>.</li> <li>- Beton <i>crack</i> normal</li> <li>- Baja keling, baut, kayu</li> <li>- Beton dengan dinding fleksibel</li> <li>- Beton dengan dinding geser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2</li> <li>3-5</li> <li>5-7</li> <li>7</li> <li>8-10</li> </ul>
3	Sedikit di bawah titik leleh	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja las, prestress</li> <li>- Beton biasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>5</li> <li>5-10</li> </ul>

( dikutip dari Seminar Akademik Sabtu Pahing, 8 Mei 1993, Ir. Justin Ali, p.6 )

Struktur-struktur bangunan yang mempunyai nilai kekakuan lateral beraneka ragam akan mempunyai waktu getar alami yang beraneka ragam pula, sehingga respon percepatan maksimal struktur tidak selalu sama besar dengan percepatan getaran gempa. Dan pada analisis struktur portal beton dalam pembahasan ini digunakan nilai koefisien redaman untuk jenis konstruksi beton biasa sebesar 0,05.

### III.8. Analisis Beban Geser Dasar

Dalam kondisi bagaimanapun, gaya geser di tingkat dasar yang diperoleh dari hasil analisis respon spektrum dinamis, nilainya tidak boleh kurang dari 0,9 kali beban geser dasar statik ekuivalen ( $0,9.C_d.Wt$ ), dimana  $C_d$  ditentukan sesuai dengan nilai waktu getar alami ragam yang pertama dari model struktur gedung yang ditinjau ( PPKGURG pasal 2.5.2.2 ). Dengan memperhatikan syarat di atas, maka perlu dilakukan hitungan analisis beban statik ekuivalen untuk mencari gaya geser dasar. Nilai waktu getar analisis dinamis diambil dari waktu alami *shape mode* 1<sup>st</sup>. Agar memenuhi syarat  $0,9.C.I.K.Wt$ , maka nilai faktor skala ( $s$ ) dibuat sedemikian rupa sehingga gaya geser maksimum di tingkat dasar akibat gempa yang ditinjau sesuai dengan ketentuan yang ada.

Waktu getar alami pada *Shape Mode* 1<sup>st</sup> diperoleh nilai  $T_x = 1,532588$  det dan  $T_y = 1,389039$  det. dengan beban geser dinamis  $V = 20622$  kN ( lihat lampiran 3, halaman 103 ).

Untuk beban geser statik ekuivalen, berdasarkan PPKGURG 1987 pasal 2.4.5.a, waktu getar alami struktur gedung  $T = 0,06.H^{3/4} = 0,06.18,1^{3/4} = 0,53$  det. Lokasi struktur termasuk wilayah 3, tanah keras diperoleh nilai koefisien gempa dasar  $C = 0,0495$ ,  $I = 1,5$  ( Tabel 2.1 PPKGURG 1987 ) dan  $K = 1$  ( Tabel 2.2 PPKGURG 1987 ), maka dapat dihitung beban geser dasar akibat gempa hasil analisis beban statik ekuivalen :

$$\begin{aligned} V_{\text{statik}} &= C.I.K.Wt \\ &= 0,0495.1,5.1.71010,4497 \\ &= 5272,5259 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$0,9 \cdot V_{\text{statik}} = 0,9 \cdot 5272,5259 = 4745,2733 \text{ kN}$$

$$V_{\text{dinamis}} = 20622 \text{ kN} > 0,9 \cdot V_{\text{statik}} = 4745,2733 \text{ kN} \dots \text{memenuhi syarat dinamis !}$$

