

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembebanan

1. Beban mati

Sesuai dengan pedoman pembebanan untuk rumah dan gedung 1987 (PPURG, 1987:), beban mati diatur sebagai berikut:

Berat isi beton (γ_{beton})	=	2400 kg/m ³
Berat pasangan bara merah ½ batu	=	250 kg/m ²
Berat langit-langit	=	11 kg/m ²
Berat penutup atap genting	=	50 kg/m ²

Beban mati akibat gording dan kuda-kuda diambil dari tabel profil konstruksi baja (Gunawan, 1988:36,50).

Berat gording	=	11 kg/m
Berat kuda-kuda	= 3,77 . 2	= 7,54 kg/m

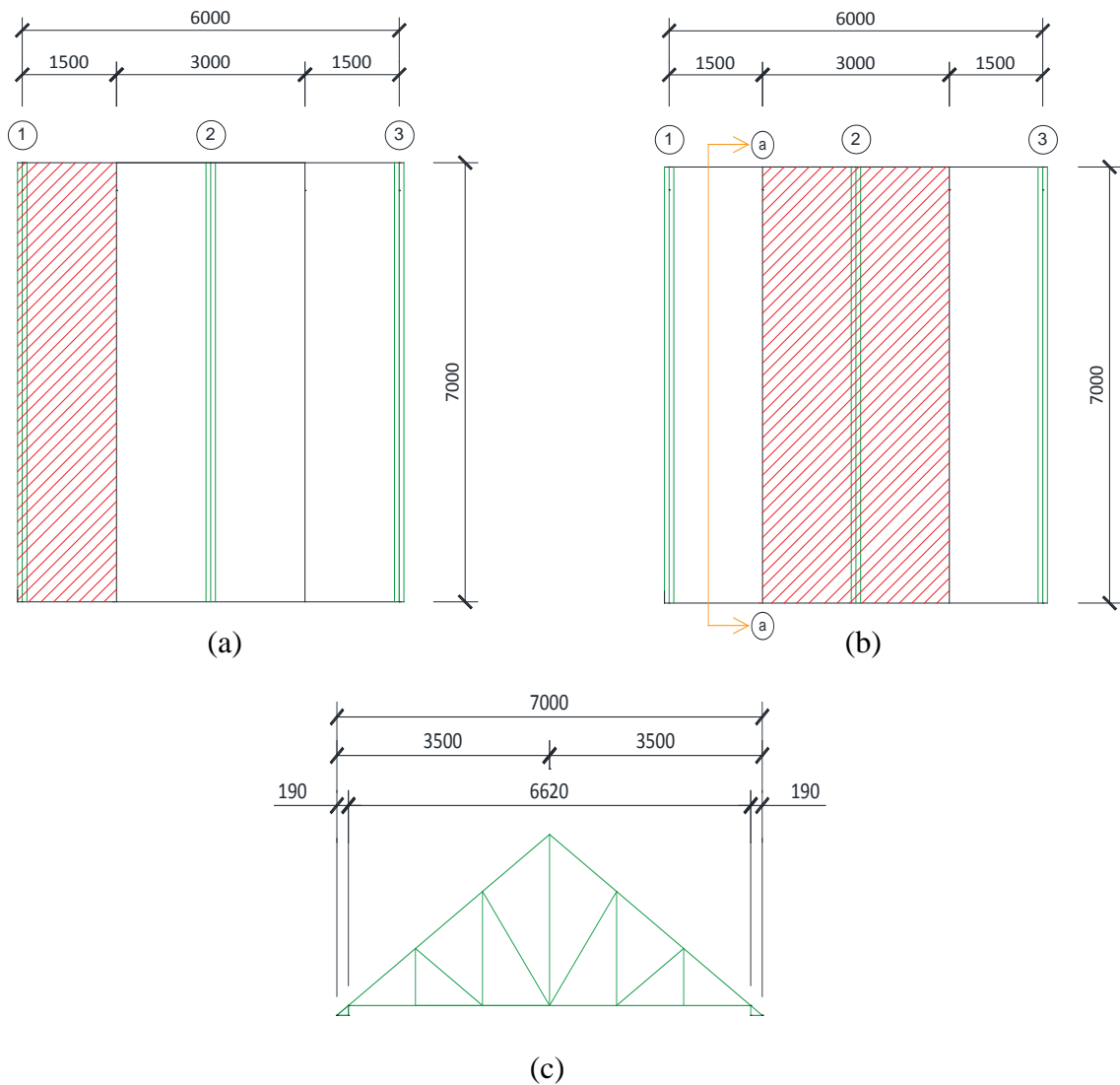
2. Beban hidup

Sesuai dengan peraturan pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPIUG 1983), beban hidup diatur sebagai berikut:

Beban air hujan	= 40 - 0,8 x 35	= 12 kg/m ²
Angin Tiup	=	25 kg/m ²
Beban angin tekan	= (0,02 . 35 - 0,4) 25	= 7,5 kg/m ²
Beban angin hisap	= 0,4 . 25	= 10 kg/m ²

3. Beban Atap

Sebagian dinding bata menahan beban akibat beban hidup atap, penutup atap, gording, kuda-kuda dan plafon. Masing-masing kuda-kuda menahan beban seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.1



Gambar 4.1 (a) Area pembebanan kuda-kuda satu dan tiga, (b) area pembebanan kuda-kuda dua dan (c) potongan a-a (rangka kuda-kuda)

- Beban yang ditahan kuda-kuda satu dan tiga

$$W_1 = W_3 = 1,5 (50 \cdot 2 \cdot 7/2 \cdot \sec 35^\circ + 2 \cdot 7/2 \cdot 12 + 11 \cdot 8 + 2 \cdot 7/2 \cdot 11) + 7,54 \cdot 29,26$$

$$W_1 = W_3 = 1235,03 \text{ kg}$$

- Beban yang ditahan kuda-kuda dua

$$W_2 = 3 (50 \cdot 2 \cdot 7/2 \cdot \sec 35^\circ + 2 \cdot 7/2 \cdot 12 + 11 \cdot 8 + 2 \cdot 7/2 \cdot 11) + 7,54 \cdot 29,26$$

$$W_2 = 2249,43 \text{ kg}$$

4. Dinding Bata

Berikut adalah massa jenis masing-masing sampel bata

Tabel 4.1 Massa jenis sampel Bata

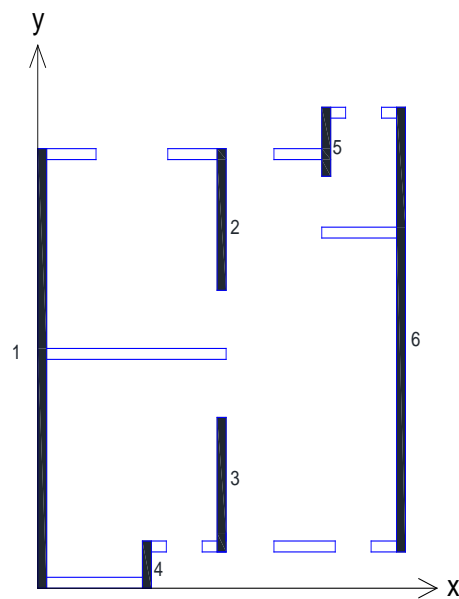
Asal Daerah	Berat Bata (gr/cm^3)	Berat Bata (kg/m^2)
Turen	1,5	150,7
Gondanglegi	1,45	159,5
Wajak	1,37	165

Sumber : Wisnumurti (2013)

4.2 Perhitungan Momen Inersia

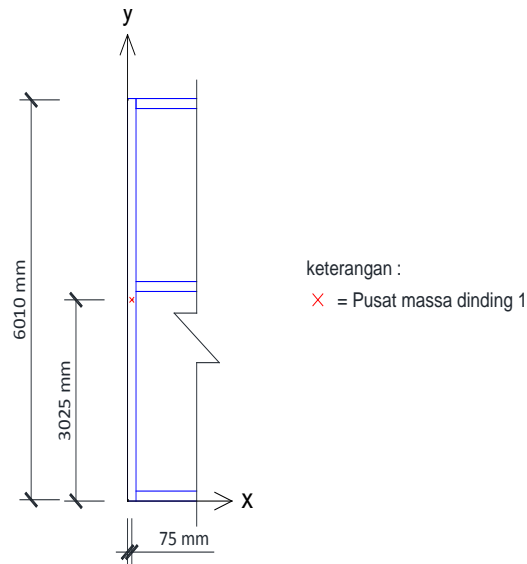
4.2.1 Momen Inersia terhadap sumbu x (I_x)

Tidak semua elemen dinding efektif dalam menahan gaya gempa searah sumbu y. Gambar 4.2 menunjukkan elemen dinding yang efektif dalam menahan gaya gempa searah sumbu y.



Gambar 4.2 Partisi profil untuk perhitungan I_x

- Perhitungan dinding satu



Gambar 4.3 Letak pusat massa dan panjang dinding satu

Dari gambar 4.3 , didapat panjang dinding bata satu dan pusat massa dari dinding satu (x_1 dan y_1).

$$\text{tebal dinding bata (b)} = 110 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$$

$$\text{panjang dinding bata satu (L)} = 6010 \text{ mm} = 6,01 \text{ m}$$

luas dinding satu (A_1)

$$A_1 = \text{panjang dinding bata} \times \text{tebal dinding bata} = 6,01 \cdot 0,11 = 0,661 \text{ m}^2$$

$$y_1 = 3025 \text{ mm} = 3,025 \text{ m}$$

$$x_1 = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$$

$$A_1 y_1 = 0,611 \cdot 3,025 = 1,9998 \text{ m}^3$$

$$A_1 x_1 = 0,611 \cdot 0,075 = 0,0496 \text{ m}^3$$

$$A_1 (y_1 - \bar{Y}_x)^2 = 0,661 (3,025 - 3,34275)^2 = 0,0667 \text{ m}^4$$

$$I_{x1} = \frac{b \cdot L^3}{12} = \frac{0,11 \cdot 6,01^3}{12} = 1,9899 \text{ m}^4$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat dalam tabel 4.2

Tabel 4.2 Perhitungan I_x

Partisi dinding	L_i (m)	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)	$A_i (y_i - \bar{Y}_x)^2$ (m ⁴)	I_{xi} (m ⁴)
1	6,01	0,661	3,025	0,075	1,9998	0,0496	0,0667	1,9899
2	1,93	0,212	5,065	3,075	1,0753	0,6528	0,6297	0,0659
3	1,83	0,201	1,435	3,075	0,2889	0,6190	0,7326	0,0562
4	0,61	0,067	0,325	1,825	0,0218	0,1225	0,6111	0,0021
5	0,93	0,102	6,135	4,825	0,6276	0,4936	0,7976	0,0074
6	6,08	0,669	3,560	6,075	2,3809	4,0630	0,0316	2,0603
Σ		1,913			6,3943	6,0004	2,8693	4,1817

Pusat massa profil

Pusat massa sumbu y

$$\bar{Y}_x = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} = \frac{6,3943}{1,913} = 3,34275 \text{ m}$$

Pusat massa sumbu x

$$\bar{X}_x = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = \frac{6,0004}{1,913} = 3,13682 \text{ m}$$

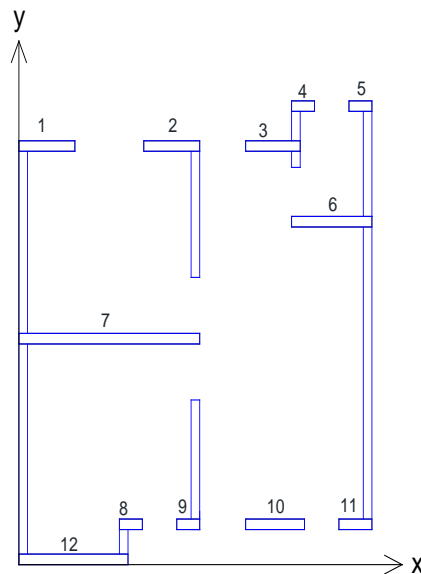
Momen inersia profil

Momen inersia profil terhadap sumbu x

$$I_x = \sum A_i (y_i - \bar{Y})^2 + \sum I_{x_i} = 2,8693 + 4,1817 = 7,051 \text{ m}^4$$

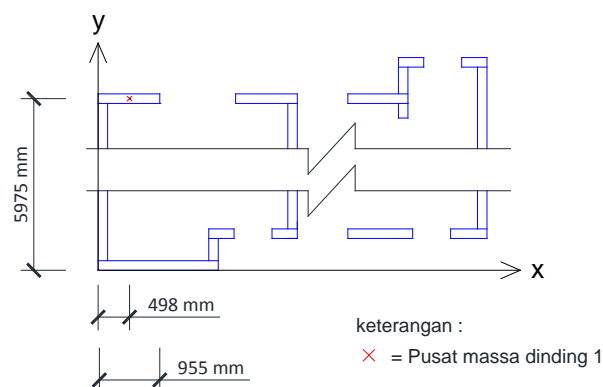
4.2.2 Momen Inersia terhadap sumbu y (I_y)

Gambar 4.4 menunjukkan elemen dinding yang efektif dalam menahan gaya gempa searah sumbu x.



Gambar 4.4 Partisi profil untuk menghitung I_y

- Perhitungan dinding satu



Gambar 4.5 Letak pusat massa dan panjang dinding satu

Dari gambar 4.5 , didapat panjang dinding bata satu dan pusat massa dari dinding satu (x_1 dan y_1).

$$\text{panjang dinding bata satu } (L_1) = 955 \text{ mm} = 0,955 \text{ m}$$

$$\text{tebal dinding bata } (h) = 110 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$$

luas dinding satu (A_1)

$$A_1 = L_1 \cdot h = 0,955 \cdot 0,11 = 0,105 \text{ m}^2$$

$$y_1 = 5975 \text{ mm} = 5,975 \text{ m}$$

$$x_1 = 498 \text{ mm} = 0,498 \text{ m}$$

$$A_1 y_1 = 0,105 \cdot 5,975 = 0,6277 \text{ m}^3$$

$$A_1 x_1 = 0,105 \cdot 0,498 = 0,0523 \text{ m}^3$$

$$A_1 (x_1 - \bar{X}_y)^2 = 0,105 (5,975 - 3,26937)^2 = 0,5833 \text{ m}^4$$

$$I_{y1} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,955^3 + 0,11}{12} = 0,0001 \text{ m}^4$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat dalam tabel 4.3

Tabel 4.3 perhitungan I_y

Partisi dinding	L_i (m)	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)	$A_i (x_i - \bar{X}_y)^2$ (m ⁴)	I_{yi} (m ⁴)
1	0,955	0,105	5,975	0,498	0,6277	0,0523	0,5833	0,0080
2	0,955	0,105	5,975	2,653	0,6277	0,2786	0,0043	0,0080
3	0,930	0,102	5,975	4,415	0,6112	0,4517	0,2493	0,0047
4	0,380	0,042	6,545	4,960	0,2736	0,2073	0,1854	0,0005
5	0,380	0,042	6,545	5,940	0,2736	0,2483	0,3981	0,0005
6	1,360	0,150	4,895	5,450	0,7323	0,8153	1,0082	0,0179
7	3,110	0,342	3,225	1,575	1,1033	0,5388	0,5596	0,2122
8	0,380	0,042	0,575	1,960	0,0240	0,0819	0,0334	0,0005
9	0,380	0,042	0,575	2,940	0,0240	0,1229	0,0003	0,0005
10	1,025	0,113	0,575	4,463	0,0648	0,5031	0,2917	0,0099
11	0,555	0,061	0,575	5,853	0,0351	0,3573	0,5489	0,0016
12	1,860	0,205	0,075	0,950	0,0153	0,1944	0,7417	0,0375
Σ		1,350			4,4127	3,8519	4,6042	0,3018

Pusat massa profil

Pusat massa sumbu y

$$\bar{Y}_y = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A_i} = \frac{4,4127}{1,350} = 3,26937 \text{ m}$$

Pusat massa sumbu x

$$\bar{X}_y = \frac{\Sigma A_i x_i}{\Sigma A_i} = \frac{3,8519}{1,350} = 2,85392 \text{ m}$$

Momen inersia profil terhadap sumbu y

$$I_y = \Sigma A_i (x_i - \bar{X}_y)^2 + \Sigma I_{yi} = 4,6042 + 0,3018 = 4,906 \text{ m}^4$$

4.3 Pembebanan Gempa

Untuk menghitung beban gempa, diperlukan data berat total bangunan (W_{total}) berikut perhitungan bera total bangunan.

$$\begin{aligned} \text{Luas atap} &= (7 \cdot \sec 35^\circ) \cdot 6 &&= 51,27 \text{ m}^2 \\ \text{Luas langit langit} &= 7 \cdot 6 &&= 42 \text{ m}^2 \\ \text{Panjang total balok} &= 35,22 \text{ m} \\ \text{Panjang total bukaan} &= (0,6 \cdot 4) + 0,7 + (0,8 \cdot 4) &&= 6,3 \text{ m} \\ \text{Panjang total tembok} &= 35,22 - 6,3 - (0,15 \cdot 14) &&= 26,82 \text{ m} \\ \text{Panjang kuda-kuda} &= 29,26 \text{ m} \end{aligned}$$

Beban mati :

- Penutup atap = $50 \cdot 51,27$ = 2564 kg
- Gording = $11 \cdot 6 \cdot 8$ = 528 kg
- Kuda-kuda = $7,54 \cdot 29,26 \cdot 3$ = 662 kg
- Plafon = $42 \cdot 11$ = 462 kg
- Balok ring = $2400 \cdot 0,25 \cdot 0,15 \cdot 35,67$ = 3170 kg
- Kolom = $14 \cdot 2400 \cdot 1,5 \cdot 0,15 \cdot 0,15$ = 1134 kg
- Tembok = $250(1,5 \cdot 26,82 + 0,7 \cdot 6,3)$ = 11160 kg +

$$W_1 = 19680 \text{ kg}$$

Beban hidup :

Beban hidup untuk menghitung gaya gempa dapat dikalikan suatu koefisien yang bergantung pada fungsi bangunan (PPIUG 1981 Pasal 3.5, tabel 3.3). Fungsi bangunan adalah sebagai rumah tinggal sehingga dapat dikalikan koefisien 0,3

$$W_2 = 0,3 \cdot (12 \cdot 42) = 152 \text{ kg}$$

$$W_{total} = W_1 + W_2 = 19680 + 152 = 19831 \text{ kg}$$

Faktor Keutamaan Gempa (I_e) dan koefisien modifikasi respons diperlukan untuk menentukan koefisien respons seismik. Menurut tabel 1 SNI-1726-2012, rumah tinggal masuk dalam kategori resiko II.

Tabel 4.4 faktor keutamaan gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726 (2012:15)

Menurut tabel 4.4, nilai faktor keutamaan gempa untuk gedung dengan kategori resiko II adalah sebesar 1.

Bangunan Rumah yang dibahas menggunakan sistem dinding penumpu khususnya sistem dinding geser batu bata polos biasa dengan nilai koefisien modifikasi respons sebesar 1,5 (tabel 9 SNI-1726-2012).

Selanjutnya dilakukan perhitungan periode fundamental pendekatan struktur (T_a)

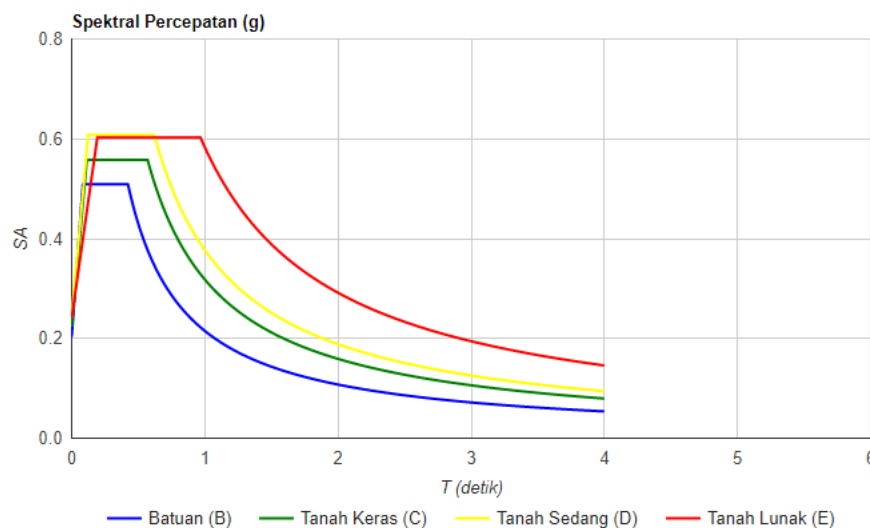
$$T_a = 0,0488 h_n^{0,75} = 0,0488 \cdot 3^{0,75} = 0,11124 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.2, periode fundamental pendekatan struktur dapat dijadikan alternatif terhadap nilai periode fundamental struktur (T). sehingga

$$T_a = T = 0,11124 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan aplikasi dari yang telah disediakan oleh PU, Penulis mendapatkan grafik Respons Spektrum Permukaan pada lokasi Rumah tinggal. koordinat rumah tinggal berada di $7^\circ 55' 20,29''$ Lintang Selatan, dan $112^\circ 37' 11,06''$ Bujur Timur.

Periode ulang gempa yang dipakai dalam perhitungan respons spektrum aplikasi PU adalah gempa dengan periode ulang 5000 tahun atau gempa dengan probabilitas 1% dalam 50 tahun.



Gambar 4.6 Grafik Respons Spektral Percepatan Permukaan

Sumber: puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011

Jenis tanah lokasi bangunan adalah tanah sedang. Nilai S_a dicari dengan menggunakan metode interpolasi. Dari grafik 4.3, didapat

$$S_{0,11} = 0,568 \text{ g}$$

$$S_{0,12} = 0,597 \text{ g}$$

$$T = 0,11124 \text{ detik,}$$

$$S_a = S_{0,11} + (S_{0,12} - S_{0,11})(T - 0,11) \cdot 100$$

$$S_a = 0,568 + (0,597 - 0,568)(0,11124 - 0,11) \cdot 100$$

$$S_a = 0,5716 \text{ g}$$

$$C_{S(\text{hitung})} = \frac{S_a \cdot I_e}{R} = \frac{0,5716 \cdot 1}{1,5} = 0,3811$$

$$C_{S(\text{min})} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,609 \cdot 1 = 0,0268 \geq 0,01 \text{ (ok!)}$$

$$C_{S(\text{maks})} = \frac{S_1 \cdot I_e}{T \cdot R} = \frac{0,323 \cdot 1}{0,11124 \cdot 1,5} = 1,9358$$

$$\therefore C_S = 0,3811$$

Gaya geser dasar seismik (V)

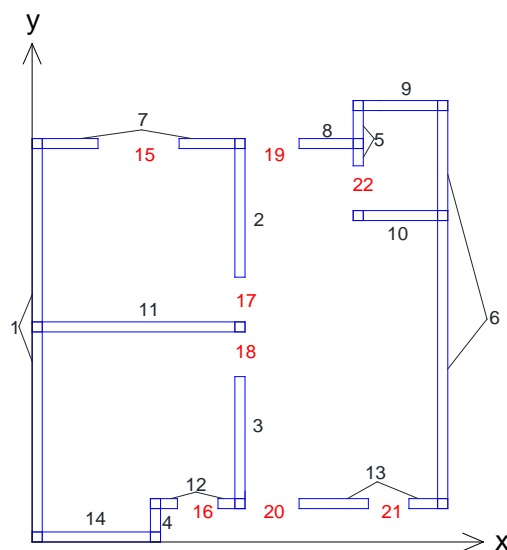
Gaya geser gempa total yang terjadi pada bangunan sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012 adalah sebagai berikut.

$$V = C_S \cdot W_{\text{total}} = 0,3811 \cdot 19831 = 7557 \text{ kg}$$

4.4 Letak Beban Gempa

4.4.1 Pusat massa beban tembok

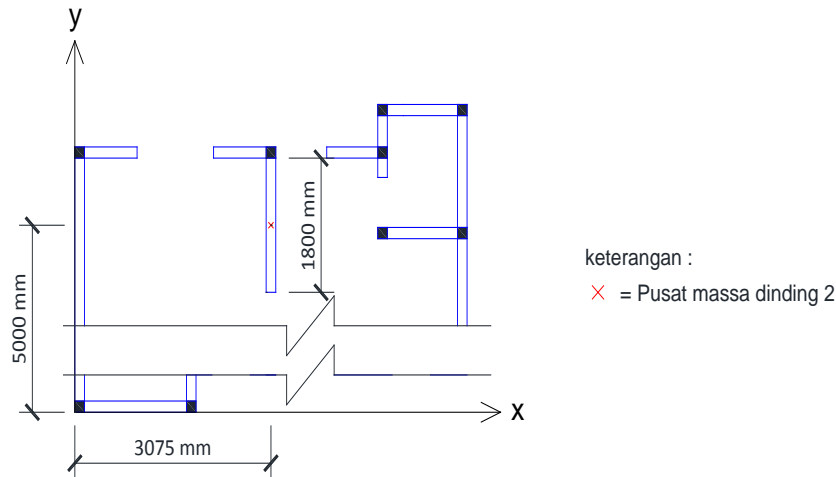
Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari tembok, yang terdiri dari pasangan bata merah dan acian. Gambar 4.4 menunjukkan penamaan masing-masing partisi dari dinding bata.



Gambar 4.7 Partisi Dinding Bata

- Perhitungan pusat massa dinding bata dua

Perhitungan pusat massa bata dua dapat mewakili perhitungan pusat massa dinding bata satu sampai dinding bata empat belas



Gambar 4.8 Letak pusat massa dan panjang dinding dua

Dari gambar 4.8 didapat nilai pusat massa (x_2 dan y_2) serta panjang dinding (L_2)

$$\text{Berat pasangan bara merah } \frac{1}{2} \text{ batu} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tinggi dinding bata} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ m}$$

$$x_2 = 3075 \text{ mm} = 3,075 \text{ m}$$

$$y_2 = 5000 \text{ mm} = 5 \text{ m}$$

$$L_2 = 1800 \text{ mm} = 1,8 \text{ m}$$

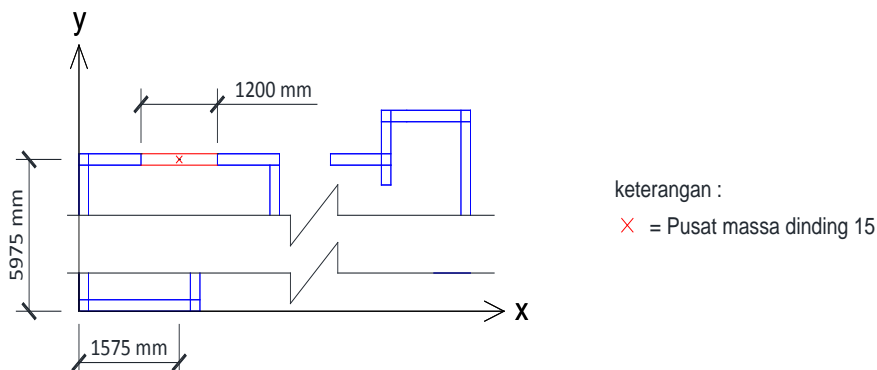
$$W_2 = 250 \cdot 1,5 \cdot 1,8 = 675 \text{ kg}$$

$$W_2 y_2 = 675 \cdot 5 = 3375 \text{ kgm}$$

$$W_2 x_2 = 675 \cdot 3,075 = 2076 \text{ kgm}$$

- Perhitungan pusat massa dinding bata lima belas

Perhitungan pusat massa bata lima belas dapat mewakili perhitungan pusat massa dinding bata enam belas sampai dinding bata dua puluh dua.



Gambar 4.9 Letak pusat massa dan panjang dinding lima belas

$$\text{Berat pasangan bara merah } \frac{1}{2} \text{ batu} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Tinggi dinding bata} = 0,7 \text{ m}$$

Dari gambar 4.11 didapat letak pusat massa (x_1 dan y_1) serta panjang kolom satu (L_1)

$$x_{15} = 1575 \text{ mm} = 1,575 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 y_{15} &= 5975 \text{ mm} &= 5,975 \text{ m} \\
 L_{15} &= 1200 \text{ mm} &= 1,2 \text{ m} \\
 W_{15} &= 250 \cdot 0,7 \cdot 1,8 &= 210 \text{ kg} \\
 W_{15}y_{15} &= 210 \cdot 5,975 &= 1255 \text{ kgm} \\
 W_{15}x_{15} &= 210 \cdot 1,575 &= 331 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya untuk menghitung pusat massa dinding terdapat dalam tabel 4.5

Tabel 4.5 Perhitungan pusat massa dinding bata

No.	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
1	2100	3,025	0,075	6353	158
2	675	5,000	3,075	3375	2076
3	638	1,500	3,075	956	1960
4	131	0,325	1,825	43	240
5	244	6,092	4,825	1485	1176
6	2126	3,560	6,075	7569	12917
7	619	5,975	1,575	3697	975
8	300	5,975	4,350	1793	1305
9	413	6,545	5,450	2700	2248
10	413	4,895	5,450	2019	2248
11	1069	3,225	1,575	3447	1683
12	188	0,575	2,450	108	459
13	544	0,575	4,851	313	2638
14	600	0,075	0,950	45	570
15	210	5,975	1,575	1255	331
16	105	0,575	2,450	60	257
17	140	3,700	3,075	518	431
18	140	2,750	3,075	385	431
19	140	5,975	3,550	837	497
20	140	0,575	3,550	81	497
21	105	0,575	5,275	60	554
22	123	5,320	4,825	652	591
Σ	11160			37749	34240

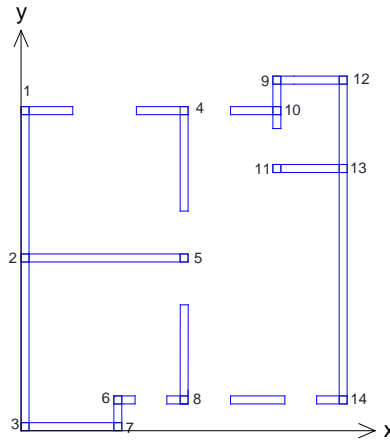
$$\bar{Y}_1 = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{37749}{11160} = 3,382 \text{ m}$$

$$\bar{X}_1 = \frac{\Sigma W_i x_i}{\Sigma W_i} = \frac{34240}{11160} = 3,068 \text{ m}$$

$$W_1 = 11160 \text{ kg}$$

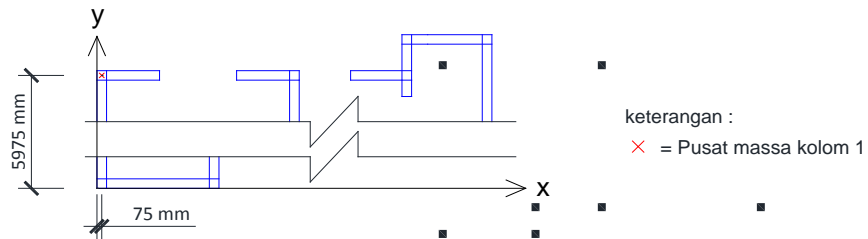
4.4.2 Pusat Massa Beban Kolom

Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari kolom beton bertulang. Kolom berukuran 15 cm x 15 cm. gambar 4.10 menunjukkan penamaan masing-masing kolom.



Gambar 4.10 Penamaan kolom

- Perhitungan pusat massa kolom satu



Gambar 4.11 Letak pusat massa kolom satu

Dari gambar 4.11 didapat letak pusat massa kolom satu (x_1 dan y_1)

Tinggi kolom = $0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ m}$

$$A_1 = 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 225 \text{ cm}^2 = 0,0225 \text{ m}^2$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$y_1 = 5975 \text{ mm} = 5,975 \text{ m}$$

$$x_1 = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$$

$$W_1 = A_1 \cdot \text{tinggi kolom} \cdot \gamma_{\text{beton}} = 0,0225 \cdot 1,5 \cdot 2400 = 81 \text{ kg}$$

$$W_1 y_1 = 81 \cdot 5,975 = 483,98 \text{ kgm}$$

$$W_1 x_1 = 81 \cdot 0,075 = 6,08 \text{ kgm}$$

Perhitungan selengkapnya untuk menghitung pusat massa kolom terdapat dalam tabel 4.6

Tabel 4.6 Perhitungan pusat massa kolom

No.	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
1	81	5,975	0,075	483,98	6,08
2	81	3,225	0,075	261,23	6,08
3	81	0,075	0,075	6,08	6,08
4	81	5,975	3,075	483,98	249,08
5	81	3,225	3,075	261,23	249,08
6	81	0,575	1,825	46,58	147,83

Tabel 4.4 Perhitungan pusat massa kolom (lanjutan)

No.	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
7	81	0,075	1,825	6,08	147,83
8	81	0,575	3,075	46,58	249,08
9	81	6,545	4,825	530,15	390,83
10	81	5,975	4,825	483,98	390,83
11	81	4,895	4,825	396,50	390,83
12	81	6,545	6,075	530,15	492,08
13	81	4,895	6,075	396,50	492,08
14	81	0,575	6,075	46,58	492,08
Σ	1134			3979,53	3709,80

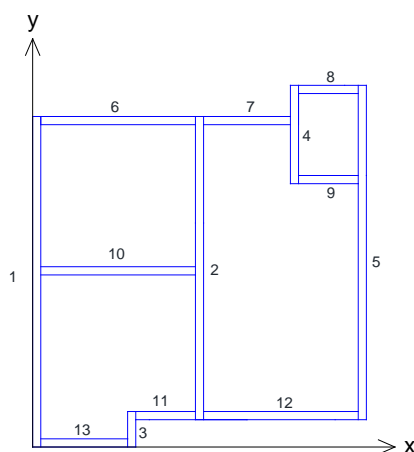
$$\bar{Y}_2 = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{3979,53}{1134} = 3,509 \text{ m}$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\Sigma W_i x_i}{\Sigma W_i} = \frac{3709,80}{1134} = 3,271 \text{ m}$$

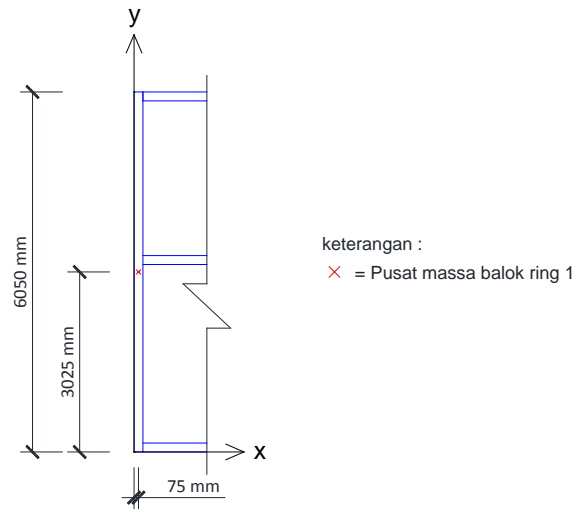
$$W_2 = 1134 \text{ kg}$$

4.4.3 Pusat Massa Beban Balok Ring

Berikut adalah perhitungan pusat massa dari balok ring yang terbuat dari beton bertulang. balok ring berukuran 25 cm x 15 cm. Gambar 4.12 menunjukkan penamaan masing-masing balok ring.

**Gambar 4.12** Partisi Balok Ring

- Perhitungan pusat massa balok ring satu



Gambar 4.13 Letak pusat massa balok ring satu

Dari gambar 4.13 didapat letak pusat (x_1 dan y_1) serta panjang massa balok ring satu (L_1)

$$L_1 = 6050 \text{ mm} = 6,05 \text{ m}$$

$$A_1 = 15 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} = 375 \text{ cm}^2 = 0,0375 \text{ m}^2$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$y_1 = 3025 \text{ mm} = 3,025 \text{ m}$$

$$x_1 = 75 \text{ mm} = 0,075 \text{ m}$$

$$W_1 = L_1 \cdot A_1 \cdot \gamma_{\text{beton}} = 6,05 \cdot 0,0375 \cdot 2400 = 545 \text{ kg}$$

$$W_1 y_1 = 545 \cdot 3,025 = 1647 \text{ kgm}$$

$$W_1 x_1 = 545 \cdot 0,075 = 41 \text{ kgm}$$

Perhitungan selengkapnya untuk menghitung pusat massa balok ring terdapat dalam tabel 4.7

Tabel 4.7 Perhitungan pusat massa balok ring

No.	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
1	545	3,025	0,075	1647	41
2	500	3,275	3,075	1636	1536
3	59	0,325	1,825	19	107
4	162	5,720	4,825	927	782
5	551	3,560	6,075	1961	3346
6	257	5,975	1,575	1533	404
7	144	5,975	3,950	860	569
8	99	6,545	5,450	648	540
9	99	4,895	5,450	485	540
10	257	3,225	1,575	827	404
11	99	0,575	2,450	57	243

Tabel 4.5 Perhitungan pusat massa balok ring (lanjutan)

No.	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
12	257	0,575	4,575	147	1173
13	144	0,575	0,950	83	137
Σ	3170			10829	9820

$$\bar{Y}_3 = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{10829}{3170} = 3,416 \text{ m}$$

$$\bar{X}_3 = \frac{\Sigma W_i x_i}{\Sigma W_i} = \frac{9820}{3170} = 3,098 \text{ m}$$

$$W_3 = 3170 \text{ kg}$$

4.4.4 Pusat massa akibat beban hidup, penutup atap, plafon, kuda-kuda dan gording

Besar beban hidup, penutup atap, gording, kuda-kuda dan plafon telah dihitung pada sub-bab 4.3.

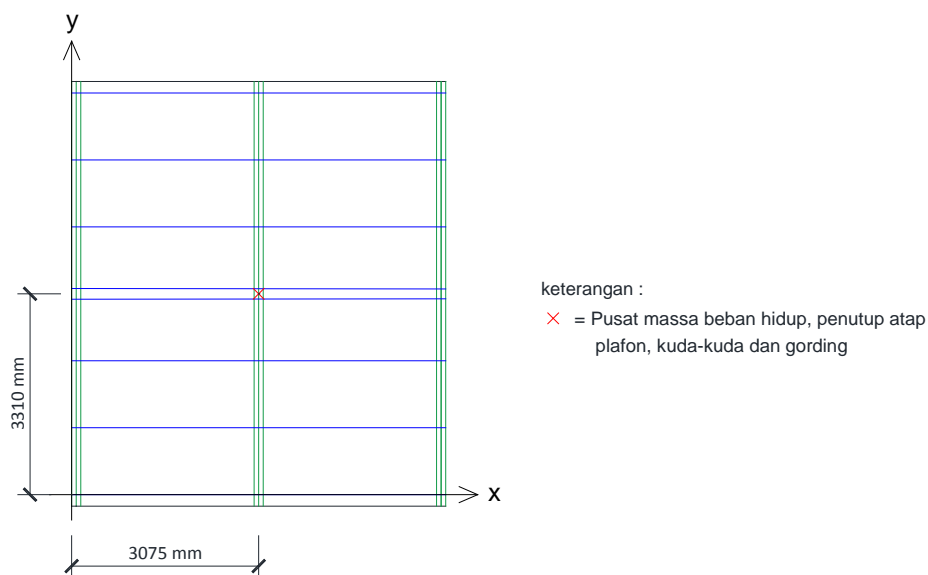
Beban hidup = 152 kg

Penutup atap = 2564 kg

Gording = 528 kg

Kuda-kuda = 662 kg

Plafon = 462 kg



Gambar 4.14 Letak pusat massa beban hidup, penutup atap, gording, kuda-kuda dan plafon

Dari gambar 4.14 didapat pusat massa beban hidup, penutup atap, gording, kuda-kuda dan plafon.

$$\bar{X}_4 = 3,075 \text{ m}$$

$$\bar{Y}_4 = 3,31 \text{ m}$$

$$W_4 = 152 + 2564 + 528 + 662 + 462 = 4367 \text{ kg}$$

4.4.5 Pusat Massa akibat Seluruh Beban

Letak beban gempa didapat dari resultan dari pusat massa masing-masing beban yang telah dihitung di sub-bab 4.4.1 sampai dengan sub-bab 4.4.4. Perhitungan pusat massa beban dapat dilihat di tabel 4.8.

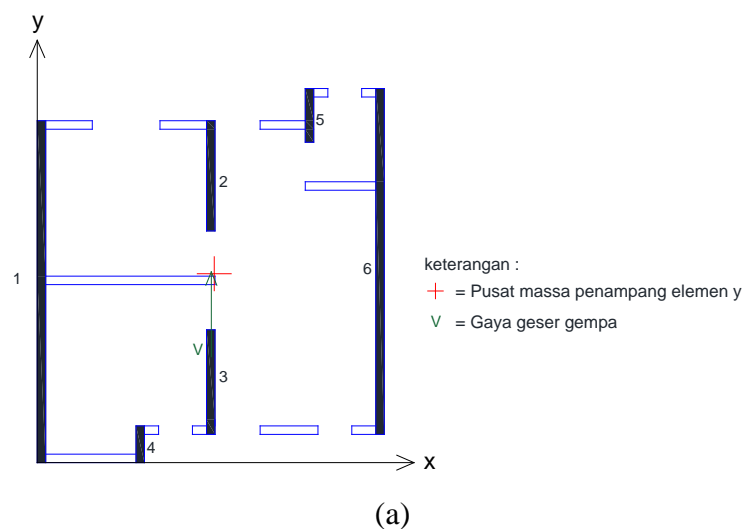
Tabel 4.8 Perhitungan pusat massa semua beban

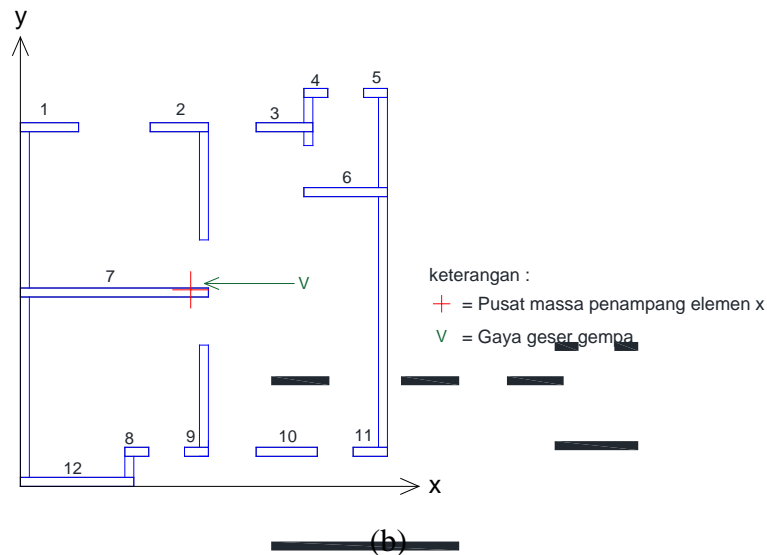
Beban	W_i (kg)	X_i (m)	Y_i (m)	$W_i X_i$ (kgm)	$W_i Y_i$ (kgm)
Tembok	11160	3,068	3,382	34240	37749
Kolom	1134	3,271	3,509	3710	3980
Balok ring	3170	3,098	3,416	9820	10829
Beban hidup, penutup atap, plafon, kuda-kuda dan gording	4367	3,075	3,310	13427	14453
Σ	19831			61197	67011

$$\bar{X}_V = \frac{\Sigma W_i x_i}{\Sigma W_i} = \frac{61197}{19831} = 3,08603 \text{ m}$$

$$\bar{Y}_V = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{67011}{19831} = 3,37921 \text{ m}$$

$$W_{\text{total}} = 19831 \text{ kg}$$





Gambar 4.15 Letak beban gempa dan pusat massa penampang (a) elemen y dan (b) elemen x

4.5 Perhitungan tegangan geser dinding bata

4.5.1 Tegangan geser akibat torsi

Gaya geser gempa (V) sebesar 7557 kg bekerja pada koordinat (3,08603 , 3,37921).

- Torsi pada penampang elemen y
- Mencari momen torsi M_x

Pusat massa penampang elemen y yang didapat dari sub-bab 4.2.1 adalah

$$\bar{Y}_x = 3,34275 \text{ m}$$

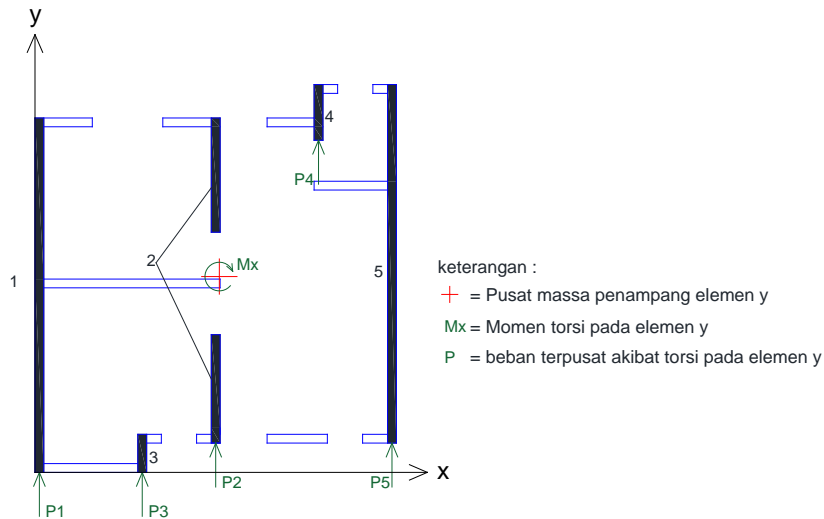
$$\bar{X}_x = 3,13682 \text{ m}$$

Momen torsi pada penampang elemen y (M_x)

$$M_x = V \cdot (\bar{X}_x - \bar{X}_V) = 7557 \cdot (3,13682 - 3,08603) = 383,79 \text{ kgm (searah jarum jam)}$$

Momen torsi M_x bekerja pada pusat massa penampang elemen y.

- Menghitung gaya geser pada masing-masing dinding akibat momen torsi M_x .



Gambar 4.16 Gaya geser pada masing-masing dinding akibat torsi M_x

Perhitungan beban geser P_1 akibat momen torsi M_x

Dari tabel 4.2 didapat nilai A_1 dan x_1

$$A_1 = 0,661 \text{ m}^2$$

$$x_1 = 0,075 \text{ m}$$

$$\bar{X}_x - x_1 = 3,13682 - 0,075 = 3,0618 \text{ m}$$

$$(\bar{X}_x - x_1)^2 = 3,0618^2 = 9,3747 \text{ m}^2$$

$$P_1 = \frac{M_x (\bar{X}_x - x_1)}{\Sigma (\bar{X}_x - x_i)^2} = \frac{416,46 \cdot 3,0618}{22,5823} = 56,47 \text{ kg}$$

$$\tau_1 = \frac{P_1}{A_1} = \frac{56,47}{0,661 \times 10^4} = 0,00854 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di tabel 4.9

Tabel 4.9 Perhitungan gaya geser pada masing-masing dinding

No.	x_i (m)	$(\bar{X}_x - x_i)$ (m)	$(\bar{X}_x - x_i)^2$ (m ²)	P_i (kg)	A_i (m ²)	τ_i (kg/cm ²)
1	0,075	3,0618	9,3747	52,02	0,661	0,00787
2	3,025	0,1118	0,0125	1,90	0,414	0,00046
3	1,825	1,3118	1,7209	22,29	0,067	0,03321
4	4,825	-1,6882	2,8500	-28,68	0,102	-0,02803
5	6,075	-2,9382	8,6329	-49,92	0,669	-0,00746
Σ			22,5910			

- Torsi pada penampang elemen x

Pusat massa penampang elemen x yang didapat dari sub-bab 4.2.2 adalah

$$\bar{Y}_y = 3,26937 \text{ m}$$

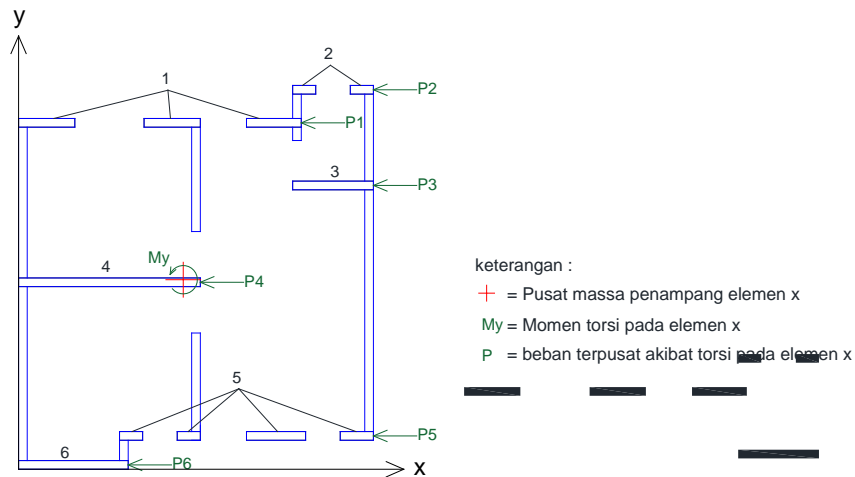
$$\bar{X}_y = 2,85392 \text{ m}$$

Momen torsi pada penampang elemen x (M_y)

$M_y = V \cdot (\bar{Y}_y - \bar{Y}_V) = 7557 \cdot (3,26937 - 3,37921) = 830,04 \text{ kg}$ (berlawanan arah jarum jam)

Momen torsi M_y bekerja pada pusat massa penampang elemen x.

- Menghitung gaya geser pada masing-masing dinding akibat momen torsi M_y



Gambar 4.17 Gaya geser pada masing-masing dinding akibat torsi M_y

Perhitungan beban geser P_1 akibat momen torsi M_y

Dari tabel 4.3 didapat nilai A_1 dan y_1

$$y_1 = 5,975 \text{ m}$$

$$A_1 = 0,105 + 0,105 + 0,102 = 0,312 \text{ m}^2$$

$$\bar{Y}_y - y_1 = 3,26937 - 5,975 = -2,7056 \text{ m}$$

$$(\bar{Y}_y - y_1)^2 = -2,7056^2 = 7,3204 \text{ m}^2$$

$$P_1 = \frac{M_y (\bar{Y}_y - y_1)}{\Sigma (\bar{Y}_y - y_i)^2} = \frac{851,52 \cdot 2,7056}{38,1585} = 60,38 \text{ kg}$$

$$\tau_1 = \frac{P_1}{A_1} = \frac{60,38}{0,312 \times 10^4} = 0,01933 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di tabel 4.10

Tabel 4.10 Perhitungan gaya geser pada masing-masing dinding

No	y_i (m)	$(\bar{Y}_y - y_i)$ (m)	$(\bar{Y}_y - y_i)^2$ (m ²)	P_i (kg)	A_i (m ²)	τ_i (kg/cm ²)
1	5,975	-2,7056	7,3204	58,85	0,312	0,01884
2	6,545	-3,2756	10,7298	71,25	0,084	0,08523
3	4,895	-1,6256	2,6427	35,36	0,150	0,02364
4	3,225	0,0444	0,0020	-0,97	0,342	-0,00028
5	0,575	2,6944	7,2596	-58,61	0,257	-0,02277
6	0,075	3,1944	10,2040	-69,49	0,205	-0,03396
Σ			38,1585			

4.5.2 Tegangan geser akibat gaya beban gempa

Dalam perhitungan tegangan geser memakai rumus pendekatan

$$\frac{EI}{l^3} \approx A$$

Sehingga gaya geser gempa dapat langsung dibagikan dengan luasnya

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu y

Luas penampang elemen y (ΣA_i) didapat dari tabel 4.2

$$\Sigma A_i = 1,913 \text{ m}^2$$

Tegangan geser gempa akibat gaya gempa searah sumbu x (τ_{vx})

$$\tau_{vx} = \frac{V}{\Sigma A_i} = \frac{7557 \text{ kg}}{1,913 \text{ m}^2} = 0,39604 \text{ kg/m}^2$$

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu x

Luas penampang elemen x (ΣA_i) didapat dari tabel 4.3

$$\Sigma A_i = 1,35 \text{ m}^2$$

Tegangan geser gempa akibat gaya gempa searah sumbu y (τ_{vy})

$$\tau_{vy} = \frac{V}{\Sigma A_i} = \frac{7557 \text{ kg}}{1,35 \text{ m}^2} = 0,55988 \text{ kg/m}^2$$

4.5.3 Tegangan geser total

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu x

Nilai τ_{torsion} didapat dari tabel 4.9 dan nilai τ_v didapat dari perhitungan di sub-bab 4.5.2

$$\tau_{\text{torsion 1}} = 0,00787 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{vx} = 0,39604 \text{ kg/m}^2$$

$$\Sigma \tau = \tau_{\text{torsion 1}} + \tau_v = 0,00787 + 0,39604 = 0,4029 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di tabel 4.11

Tabel 4.11 Perhitungan gaya geser total pada dinding elemen y

No.	$\tau_{\text{tors}} (\text{kg/cm}^2)$	$\tau_{\text{Vx}} (\text{kg/cm}^2)$	$\Sigma\tau (\text{kg/cm}^2)$
1	0,00787	0,39504	0,40290
2	0,00046	0,39504	0,39550
3	0,00046	0,39504	0,39550
4	0,03321	0,39504	0,42825
5	-0,02803	0,39504	0,36700
6	-0,00746	0,39504	0,38757

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu y

Nilai τ_{tors} didapat dari tabel 4.10 dan nilai τ_{V} didapat dari perhitungan di sub-bab 4.5.2

$$\tau_{\text{tors } 1} = 0,01884 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\text{Vy}} = 0,55988 \text{ kg/m}^2$$

$$\Sigma\tau = \tau_{\text{tors } 1} + \tau_{\text{V}} = 0,01884 + 0,00787 \ 0,55988 = 0,57872 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di tabel 4.12

Tabel 4.12 Perhitungan gaya geser total pada dinding elemen x

No.	$\tau_{\text{tors}} (\text{kg/cm}^2)$	$\tau_{\text{Vy}} (\text{kg/cm}^2)$	$\Sigma\tau (\text{kg/cm}^2)$
1	0,01884	0,55988	0,57872
2	0,01884	0,55988	0,57872
3	0,01884	0,55988	0,57872
4	0,08523	0,55988	0,64511
5	0,08523	0,55988	0,64511
6	0,02364	0,55988	0,58351
7	-0,00028	0,55988	0,55959
8	-0,02277	0,55988	0,53711
9	-0,02277	0,55988	0,53711
10	-0,02277	0,55988	0,53711
11	-0,02277	0,55988	0,53711
12	-0,03396	0,55988	0,52591

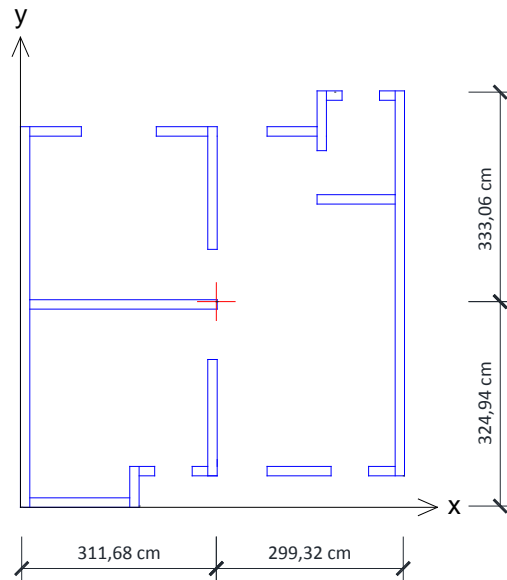
4.6 Tegangan lentur dan normal

4.6.1 Tegangan lentur keseluruhan

Berikut adalah beban grafitasi dari masing-masing elemen struktur. Beban kuda-kuda diambil dari sub-bab 4.1

$$P_{\text{kuda-kuda satu}} = P_{\text{kuda-kuda tiga}} = 1235,03 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{kuda-kuda dua}} &= 2249,43 \text{ kg} \\
 Q_{\text{dinding bata (h = 3 m)}} &= 250 \cdot 3 = 750 \text{ kg/m} = 7,5 \text{ kg/cm} \\
 Q_{\text{dinding bata (h = 0,7 m)}} &= 250 \cdot 0,7 = 175 \text{ kg/m} = 1,75 \text{ kg/cm} \\
 Q_{\text{balok ring}} &= 90 \text{ kg/m} \\
 V &= 7557 \text{ kg} \\
 h_n \text{ (tinggi struktur)} &= 3 \text{ m} = 300 \text{ cm} \\
 M &= V \cdot h_n = 7557 \cdot 300 = 2266994 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.18 Letak pusat massa untuk menghitung tegangan lentur

Dari gambar 4.18 didapat data y_{atas} , y_{bawah} , x_{kiri} dan x_{kanan}

$$\begin{aligned}
 y_{\text{atas}} &= 333,06 \text{ cm} \\
 y_{\text{bawah}} &= 324,94 \text{ cm} \\
 x_{\text{kiri}} &= 311,68 \text{ cm} \\
 x_{\text{kanan}} &= 299,32 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

dari sub-bab 4.2 didapat nilai momen I_x dan I_y

$$\begin{aligned}
 I_x &= 705103394 \text{ cm}^4 \\
 I_y &= 460550159 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Luas dasar dinding (A) didapat dari tabel 4.2. Berikut adalah contoh perhitungan untuk dinding satu.

$$\begin{aligned}
 A &= 6611 \text{ cm}^2 \\
 \sigma_{\text{Kuda-kuda}} &= \frac{P_{\text{kuda-kuda satu}}}{A} = \frac{1235,03}{6611} = 0,19 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{\text{Bata(h=3m)}} &= \frac{Q_{\text{dinding bata (h = 3 m)}}}{\text{Lebar bata}} = \frac{7,5}{11} = 0,68 \text{ kg/cm}^2 \\
 \sigma_{\text{Bata(h = 0,7 m)}} &= 0 \text{ (tidak ada bukaan pada dinding satu)}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{\text{Balok ring}} = \frac{q_{\text{balok ring}} \cdot L}{A} = \frac{90 \cdot 6,05}{6611} = 0,08 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \Sigma \sigma_i &= \sigma_{\text{Kuda-kuda}} + \sigma_{\text{Bata}(h=3\text{m})} + \sigma_{\text{Bata}(h=0,7\text{m})} + \sigma_{\text{Balok ring}} = 0,19 + 0,68 + 0 + 0,08 \\ &= 0,95 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di tabel 4.13

Tabel 4.13 tegangan normal akibat beban gravitasi pada elemen y

No.	A (cm ²)	$\sigma_{\text{Kuda-kuda}}$ kg/cm ²	$\sigma_{\text{Bata}(h=3\text{m})}$ kg/cm ²	$\sigma_{\text{bata}(h=0,7\text{m})}$ kg/cm ²	$\sigma_{\text{Balok ring}}$ kg/cm ²	$\Sigma \sigma_i$ kg/cm ²
1	6611	0,19	0,68	0,00	0,08	0,95
2	2123	0,54	0,68	0,07	0,12	1,41
3	2013	0,54	0,68	0,07	0,12	1,42
4	671	0,00	0,68	0,00	0,09	0,77
5	1023	0,00	0,68	0,12	0,15	0,95
6	6688	0,18	0,68	0,00	0,08	0,95

Tegangan lentur elemen x

$$\text{Serat atas} = \frac{M \cdot y \text{ atas}}{I_x} = \frac{2425551,54 \cdot 333,06}{705103394} = 1,14574 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Serat bawah} = \frac{M \cdot y \text{ bawah}}{I_x} = \frac{2425551,54 \cdot 324,94}{705103394} = 1,11778 \text{ kg/cm}^2$$

Luas dasar dinding (A) didapat dari tabel 4.2.

Tabel 4.14 tegangan normal akibat beban gravitasi pada elemen x

No.	A (cm ²)	$\sigma_{\text{Bata}(h=3\text{m})}$ kg/cm ²	$\sigma_{\text{bata}(h=0,7\text{m})}$ kg/cm ²	$\sigma_{\text{Balok ring}}$ kg/cm ²	$\Sigma \sigma_i$ kg/cm ²
1	1051	0,68	0,10	0,14	0,92
2	1051	0,68	0,17	0,14	0,99
3	1023	0,68	0,07	0,14	0,89
4	418	0,68	0,13	0,15	0,96
5	418	0,68	0,13	0,15	0,96
6	1496	0,68	0,00	0,08	0,77
7	3421	0,68	0,00	0,08	0,76
8	418	0,68	0,13	0,15	0,96
9	418	0,68	0,29	0,15	1,13
10	1128	0,68	0,11	0,15	0,94
11	611	0,68	0,09	0,15	0,92
12	2046	0,68	0,00	0,08	0,77

Tegangan lentur elemen y

$$\text{Serat kiri} = \frac{M \cdot x \text{ kiri}}{I_y} = \frac{2425551,54 \cdot 311,62}{460550159} = 1,64152 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Serat kanan} = \frac{M \cdot x \text{ kanan}}{I_y} = \frac{2425551,54 \cdot 299,32}{460550159} = 1,57640 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.2 Tegangan lentur masing-masing dinding

- Tegangan lentur elemen dinding sejajar sumbu y

Luas dasar dinding (A), panjang dinding (L) dan inersia dinding (I_{xi}) didapat dari tabel 4.2. Tegangan geser total ($\Sigma\tau$) didapat dari tabel 4.11. tinggi dinding (h_n) adalah tiga meter. Berikut adalah contoh perhitungan untuk dinding satu.

$$A_1 = 0,661 \text{ m}^2 = 6610 \text{ cm}^2$$

$$L_1 = 601 \text{ cm}$$

$$I_{x1} = 198991651 \text{ cm}^4$$

$$\Sigma\tau_1 = 0,4029 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_1 = A_1 \cdot \Sigma\tau_1 = 6610 \cdot 0,4029 = 2663,60 \text{ kg}$$

$$M_1 = P_1 \cdot h_n = 2664,6 \cdot 300 = 799080 \text{ kgcm}$$

$$\sigma_{\text{tekan}} = \frac{M_1 \cdot (0,5L_1)}{I_{x1}} = \frac{799080 \cdot (0,5 \cdot 601)}{198991651} = 1,21 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{M_1 \cdot (-0,5L_1)}{I_{x1}} = \frac{799080 \cdot (-0,5 \cdot 601)}{198991651} = -1,21 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di tabel 4.15

Tabel 4.15 Tegangan lentur pada elemen dinding sejajar sumbu y

No.	A_i (m^2)	L_i (cm)	$\Sigma\tau_i$ (kg/cm^2)	P_i (Kg)	M_i (Kgcm)	I_{yi} (cm^4)	σ_{tekan} (kg/cm^2)	σ_{tarik} (kg/cm^2)
1	0,661	601	0,4029	2663,60	799080	198991651	1,21	-1,21
2	0,212	193	0,3955	839,64	251891	6589969	3,69	-3,69
3	0,201	183	0,3955	796,13	238840	5617780	3,89	-3,89
4	0,067	61	0,4283	287,36	86207	208066	12,64	-12,64
5	0,102	93	0,3670	375,44	112633	737327	7,10	-7,10
6	0,669	608	0,3876	2592,09	777626	206026069	1,15	-1,15

- Tegangan lentur elemen dinding sejajar sumbu x

Luas dasar dinding (A), panjang dinding (L) dan inersia dinding (I_{xi}) didapat dari tabel 4.3. Tegangan geser total ($\Sigma\tau$) didapat dari tabel 4.12. tinggi dinding (h_n) adalah tiga meter. Berikut adalah contoh perhitungan untuk dinding satu.

$$A_1 = 0,105 \text{ m}^2 = 1050 \text{ cm}^2$$

$$L_1 = 95,5 \text{ cm}$$

$$I_{x1} = 798402 \text{ cm}^4$$

$$\Sigma\tau_1 = 0,57872 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_1 = A_1 \cdot \Sigma\tau_1 = 1050 \cdot 0,57872 = 607,94 \text{ kg}$$

$$M_1 = P_1 \cdot h_n = 607,94 \cdot 300 = 182382 \text{ kgcm}$$

$$\sigma_{\text{tekan}} = \frac{M_1 \cdot (0,5L_1)}{I_{x1}} = \frac{182382 \cdot (0,5 \cdot 95,5)}{798402} = 10,91 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{tarik}} = \frac{M_1 \cdot (-0,5L_1)}{I_{x1}} = \frac{182382 \cdot (-0,5 \cdot 95,5)}{798402} = -10,91 \text{ kg/cm}^2$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di tabel 4.16

Tabel 4.16 Tegangan lentur pada elemen dinding sejajar sumbu x

No.	A _i (m ²)	L _i (cm)	Στ _i (kg/cm ²)	P _i (Kg)	M _i (Kgcm)	I _{xi} (cm ⁴)	σ _{tekan} (kg/cm ²)	σ _{tarik} (kg/cm ²)
1	0,105	95,5	0,57872	607,94	182382	798402	10,91	-10,91
2	0,105	95,5	0,57872	607,94	182382	798402	10,91	-10,91
3	0,102	93	0,57872	592,03	177608	469333	17,60	-17,60
4	0,042	38	0,64511	269,65	80896	50299	30,56	-30,56
5	0,042	38	0,64511	269,65	80896	50299	30,56	-30,56
6	0,150	136	0,58351	872,94	261881	1790365	9,95	-9,95
7	0,342	311	0,55959	1914,37	574311	21220031	4,21	-4,21
8	0,042	38	0,53711	224,51	67353	50299	25,44	-25,44
9	0,042	38	0,53711	224,51	67353	50299	25,44	-25,44
10	0,113	102,5	0,53711	605,59	181676	987150	9,43	-9,43
11	0,061	55,5	0,53711	327,90	98371	156708	17,42	-17,42
12	0,205	186	0,52591	1076,02	322806	3754667	8,00	-8,00

(halaman ini sengaja dikosongkan)