

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembebanan Denah A

4.1.1 Beban mati denah A

Sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan pada Beton Bertulang Indonesia untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 (PPURG 1987), beban mati telah diatur sebagai berikut:

- Berat isi beton (γ_{beton}) = 2400 kg/m³
- Berat pasangan bata merah ½ batu 15 cm = 250 kg/m²
- Berat langit-langit = 11 kg/m²
- Berat penutup atap genting = 50 kg/m²

Beban mati akibat kuda-kuda dengan rangka galvalum diambil dari hasil pencarian di internet. Untuk rangka galvalume dengan jenis ukuran 0,6 memiliki berat 4,7 kg/6m sehingga:

- Berat kuda-kuda galvalume = $\frac{4,7}{6} = 0,78$ kg/m

4.1.2 Beban hidup denah A

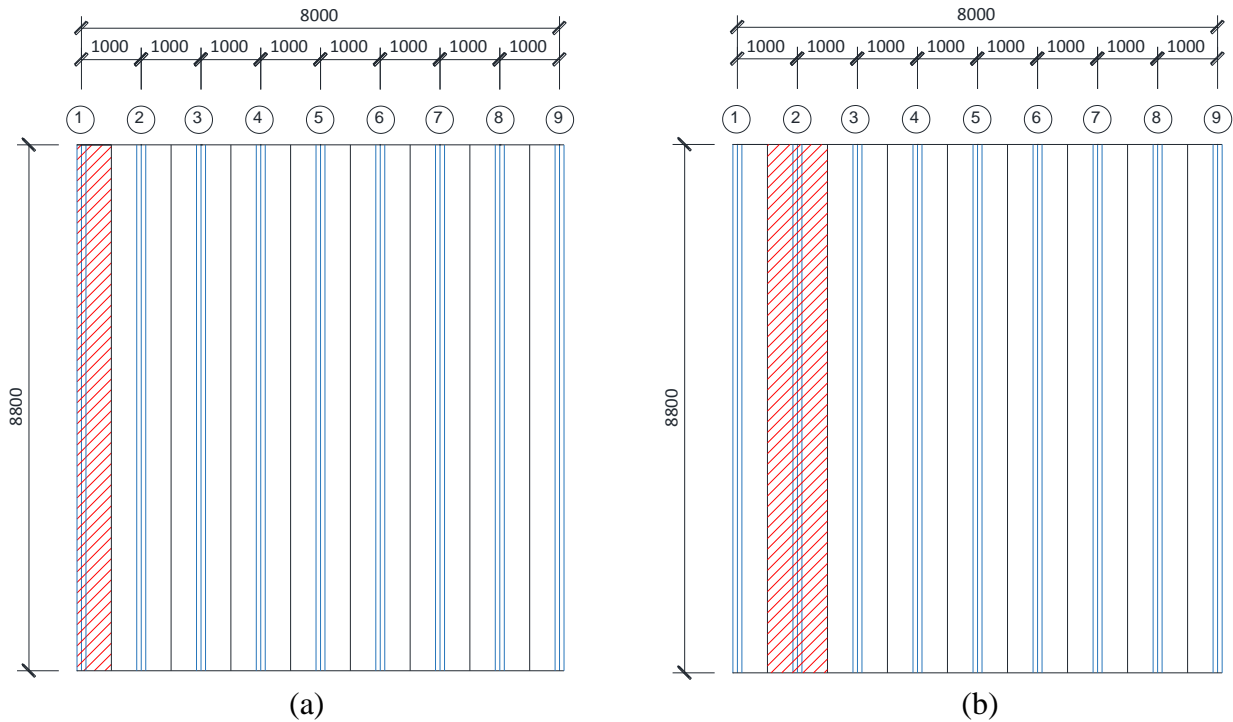
Sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan pada Beton Bertulang Indonesia untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 (PPURG 1987) pasal 2.1.2.2, beban hidup pada atap gedung diatur sebagai berikut:

- Beban terbagi rata per m² bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar (40 - 0,8 α) kg/m² di mana α adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50°
 - Beban Hujan = (40 - 0,8 . 35) = 12 kg/m²
- Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.

4.1.3 Beban atap denah A

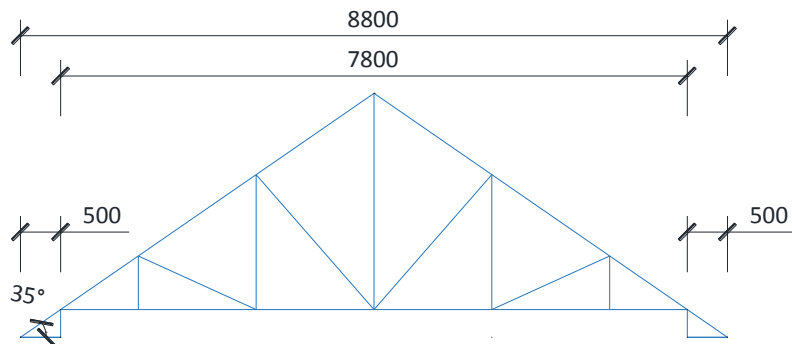
Sebagian dinding bata menahan beban yang diakibatkan oleh beban hidup atap, kuda-kuda, gording, dan plafon. Penutup atap denah A terbuat dari rangka galvalume sehingga perhitungan gording tidak dimasukkan. Berikut merupakan perhitungan beban yang ditahan masing-masing kuda-kuda.

- **Pembebanan atap denah A**



Gambar 4.1 (a) area pembebanan kuda-kuda 1 dan 9, (b) area pembebanan kuda-kuda 2 sampai 8

a. Beban yang ditahan kuda-kuda 1 dan 9



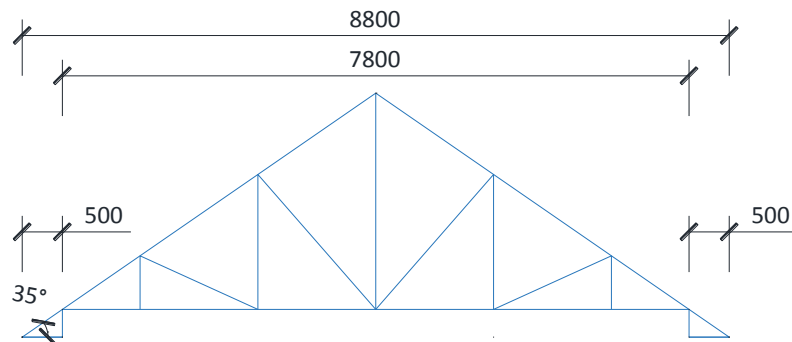
Gambar 4.2 Pembebanan kuda-kuda 1 dan 9 denah A

$$W_1 = W_9 = 0,5 \left(50 \cdot 2 \cdot \frac{4,4}{\cos 35^\circ} + 8,8 \cdot 11 + 12 \cdot 2 \cdot \frac{4,4}{\cos 35^\circ} \right) + 0,78 \cdot 37,163$$

$$W_1 = W_9 = 381,43 + 29$$

$$W_1 = W_9 = 410,43 \text{ kg}$$

b. Beban yang ditahan kuda-kuda 2 sampai 8



Gambar 4.3 Pembebanan kuda-kuda 2 sampai 8 denah A

$$W_2 = W_{3-8} = 1 \left(50 \cdot 2 \cdot \frac{4,4}{\cos 35^\circ} + 8,8 \cdot 11 + 12 \cdot 2 \cdot \frac{4,4}{\cos 35^\circ} \right) + 0,78 \cdot 37,163$$

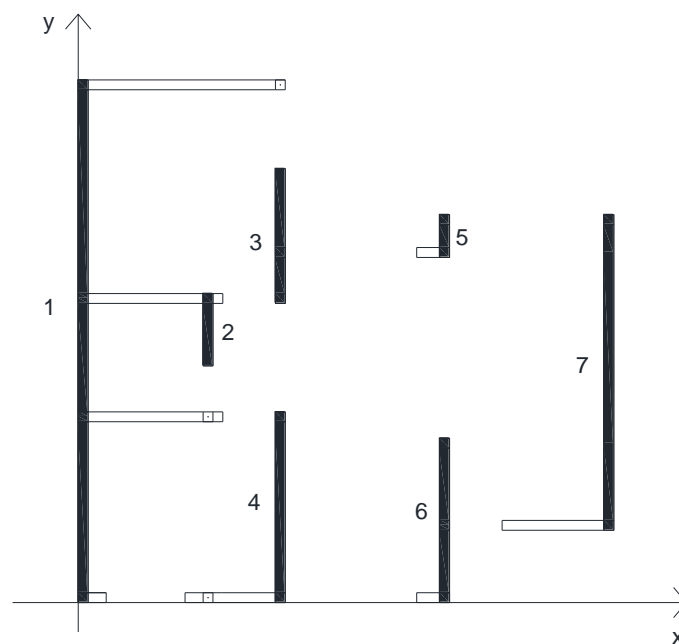
$$W_2 = W_{3-8} = 762,85 + 29$$

$$W_2 = W_{3-8} = 791,85 \text{ kg}$$

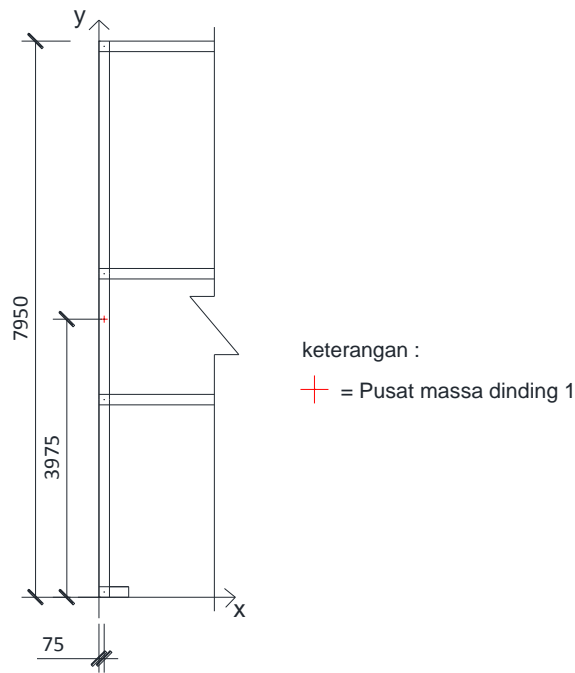
4.2 Perhitungan Momen Inersia

4.2.1 Mencari titik berat denah A terhadap sumbu x

Tidak semua elemen dinding efektif didalam menahan gaya gempa searah sumbu y. Pada gambar 4.4 menunjukkan elemen dinding yang efektif dalam menahan gaya gempa searah sumbu y.



Gambar 4.4 Partisi profil denah A terhadap sumbu x



Gambar 4.5 Letak pusat massa dan panjang dinding satu searah sumbu y

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

- Tebal dinding bata (b) = 150 mm = 0,15 m
 - Panjang dinding bata satu (h) = 7950 mm = 7,95
- Perhitungan Statis Momen

$$A_1 = 0,15 \text{ m} \cdot 7,95 \text{ m} = 1,19 \text{ m}^2$$

$$y_1 = 3,98 \text{ m}$$

$$x_1 = 0,08 \text{ m}$$

$$A_1 y_1 = 1,19 \text{ m}^2 \cdot 3,98 \text{ m} = 4,74 \text{ m}^3$$

$$A_1 x_1 = 1,19 \text{ m}^2 \cdot 0,08 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^3$$

Tabel 4.1 Hasil perhitungan statis momen denah A terhadap sumbu x

Partisi Dinding	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)
1	1,19	3,98	0,08	4,74	0,09
2	0,17	4,15	1,98	0,69	0,33
3	0,31	5,58	3,08	1,71	0,95
4	0,44	1,45	3,08	0,63	1,34
5	0,1	5,58	5,58	0,54	0,54
6	0,38	1,25	5,58	0,47	2,09
7	0,72	3,5	8,08	2,52	5,81
Σ	3,29			11,30	11,15

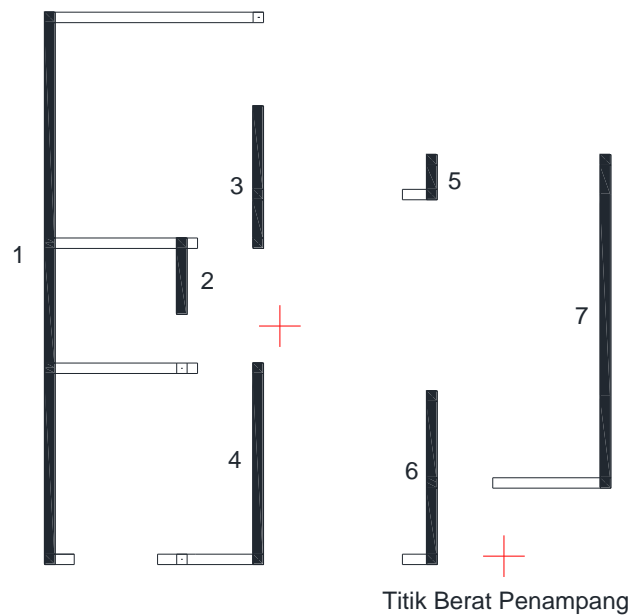
- Titik berat sumbu y

$$\bar{Y}_x = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} = \frac{11,30}{3,29} = 3,43 \text{ m}$$

- Titik berat sumbu x

$$\bar{X}_x = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} = \frac{11,15}{3,29} = 3,39 \text{ m}$$

4.2.2 Mencari momen inersia denah A terhadap sumbu x



Gambar 4.6 Titik berat penampang denah A terhadap sumbu x

- Perhitungan Momen Inersia

$$A_1 = 0,15 \text{ m} \cdot 7,95 \text{ m} = 1,19 \text{ m}^2$$

$$A_1(y_1 - \bar{y})^2 = 1,19 \text{ m}^2 \cdot (3,98 \text{ m} - 3,43 \text{ m})^2 = 0,35 \text{ m}^4$$

$$I_{x_1} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 7,95^3 \text{ m} = 5,93 \text{ m}^4$$

Tabel 4.2 Hasil perhitungan momen inersia denah A terhadap sumbu x

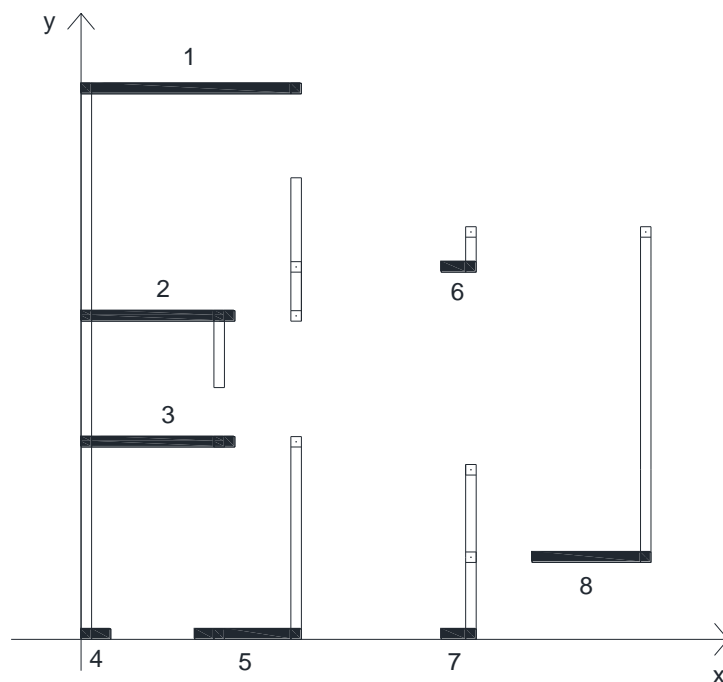
Partisi Dinding	A_i (m ²)	$A_i(y_i-\bar{y})^2$ (m ⁴)	I_{x_i} (m ⁴)
1	1,19	0,35	5,93
2	0,17	0,09	0,02
3	0,31	1,41	0,11
4	0,44	1,71	0,26
5	0,1	0,45	0,002
6	0,38	1,79	0,16
7	0,72	0,0033	1,26
Σ	3,29	5,79	7,74

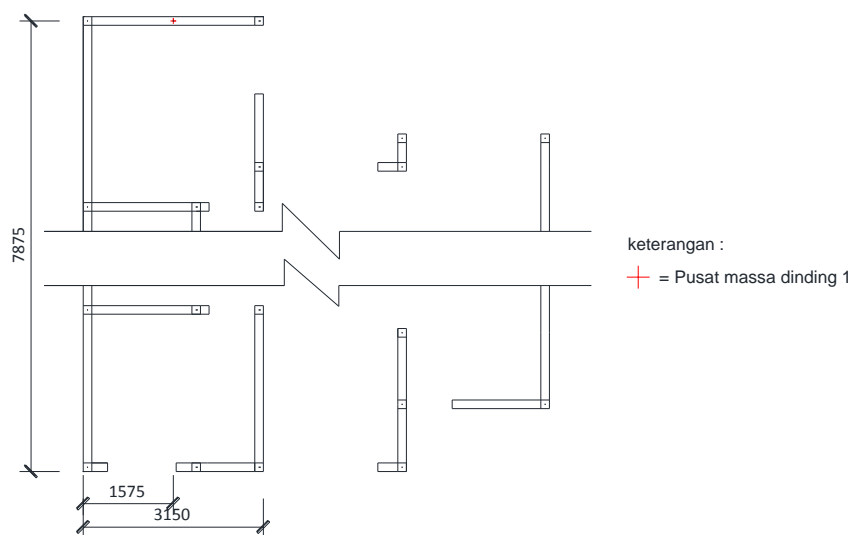
- Momen Inersia terhadap sumbu x

$$I_x = \Sigma A_i(y_i-\bar{y})^2 + \Sigma I_{x_i} = 5,79 + 7,74 = 13,53 \text{ m}^4$$

4.2.3 Mencari titik berat denah A terhadap sumbu y

Gambar 4.7 menunjukkan elemen dinding yang efektif di dalam menahan gaya gempa searah sumbu x.

**Gambar 4.7** Partisi profil denah A terhadap sumbu y



Gambar 4.8 Letak pusat massa dan panjang dinding satu searah sumbu x

Tabel 4.3 Hasil perhitungan statis momen denah A terhadap sumbu y

Partisi Dinding	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)
1	0,47	7,88	1,58	3,72	0,74
2	0,33	4,62	1,1	1,53	0,36
3	0,33	2,82	1,1	0,93	0,36
4	0,06	0,08	0,21	0,005	0,01
5	0,23	0,08	2,39	0,017	0,55
6	0,08	5,33	5,4	0,399	0,41
7	0,08	0,08	5,4	0,006	0,41
8	0,26	1,18	7,3	0,299	1,86
Σ	1,83			6,91	4,70

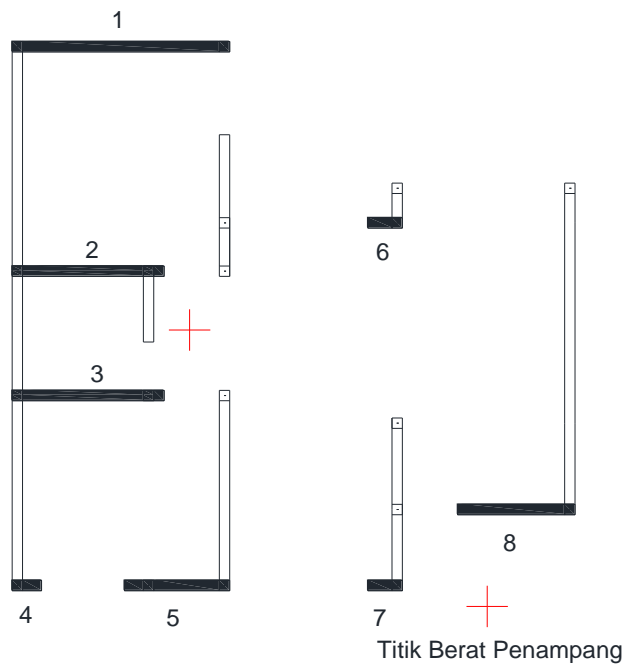
- Titik berat sumbu y

$$\bar{Y}_y = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A_i} = \frac{6,91}{1,83} = 3,77 \text{ m}$$

- Titik berat sumbu x

$$\bar{X}_y = \frac{\Sigma A_i x_i}{\Sigma A_i} = \frac{4,70}{1,83} = 2,57 \text{ m}$$

4.2.4 Mencari momen inersia denah A terhadap sumbu y



Gambar 4.9 Letak titik berat penampang denah A terhadap sumbu y

Tabel 4.4 Hasil perhitungan momen inersia denah A terhadap sumbu y

Partisi Dinding	A_i (m ²)	$A_i(x_i-\bar{x})^2$ (m ⁴)	I_{y_i} (m ⁴)
1	0,47	0,47	0,000844
2	0,33	0,71	0,000619
3	0,33	0,71	0,000619
4	0,06	0,35	0,000098
5	0,23	0,008	0,000408
6	0,08	0,601	0,000141
7	0,08	0,601	0,000141
8	0,26	5,71	0,000478
Σ	1,83	9,16	0,003347

- Momen Inersia terhadap sumbu y

$$I_y = \Sigma A_i(x_i-\bar{x})^2 + \Sigma I_{y_i} = 9,16 + 0,003347 = 9,17 \text{ m}^4$$

4.3 Pembebanan Gempa

4.3.1 Pembebanan gempa denah A

a. Berat Total Bangunan (W_{total})

- Luas Atap : $((2 \cdot \frac{4,4}{\cos 35^\circ}) \cdot 8)$ = 85,94 m²
- Luas langit-langit : $(8,8 \cdot 8)$ = 70,4 m²
- Panjang total balok : 44,65 m
- Panjang total bukaan : $(0,6 \cdot 10) + 1,15 + 0,7 + (0,8 \cdot 5)$ = 11,85 m
- Panjang total tembok : $44,65 - 11,85 - (0,15 \cdot 19)$ = 30,03 m
- Panjang kuda-kuda 1 : 37,162 m

Beban mati:

- Penutup atap : $50 \cdot 85,94$ = 4297 kg
- Kuda-kuda : $0,78 \cdot (37,162 \cdot 16)$ = 464 kg
- Plafon : $70,4 \cdot 11$ = 774 kg
- Balok ring : $2400 \cdot 0,15 \cdot 0,15 \cdot 44,65$ = 2411 kg
- Kolom : $19 \cdot 2400 \cdot 4 \cdot 0,15 \cdot 0,15$ = 4104 kg
- Tembok : $250 (4 \cdot 30,03 + 2 \cdot 11,85)$ = 35950 kg +

$$W_1 = 48000 \text{ kg}$$

Beban hidup:

Beban hidup untuk menghitung gaya gempa dapat dikalikan dengan suatu koefisien yang bergantung pada fungsi bangunan (PPURG 1987, Tabel 4). Fungsi bangunan adalah sebagai rumah tinggal sehingga dapat dikalikan dengan koefisien 0,3.

- W_2 : $0,3 \cdot 12 \cdot 85,94$ = 309 kg
- W_{total} : $W_1 + W_2 = 48000 + 309$ = 48310 kg

b. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Fungsi bangunan adalah untuk sebagai rumah tinggal, sehingga nilai faktor keutamaan gempa adalah sebesar 1.

c. Koefisien Modifikasi Respons (R)

Bangunan rumah yang dibahas dalam skripsi ini menggunakan sistem dinding penumpu khususnya sistem dinding geser batu bata polos biasa dengan nilai koefisien modifikasi respons sebesar 1,5.

d. Koefisien Respons Seismik (C_s)

- Periode fundamental pendekatan struktur (T_a)

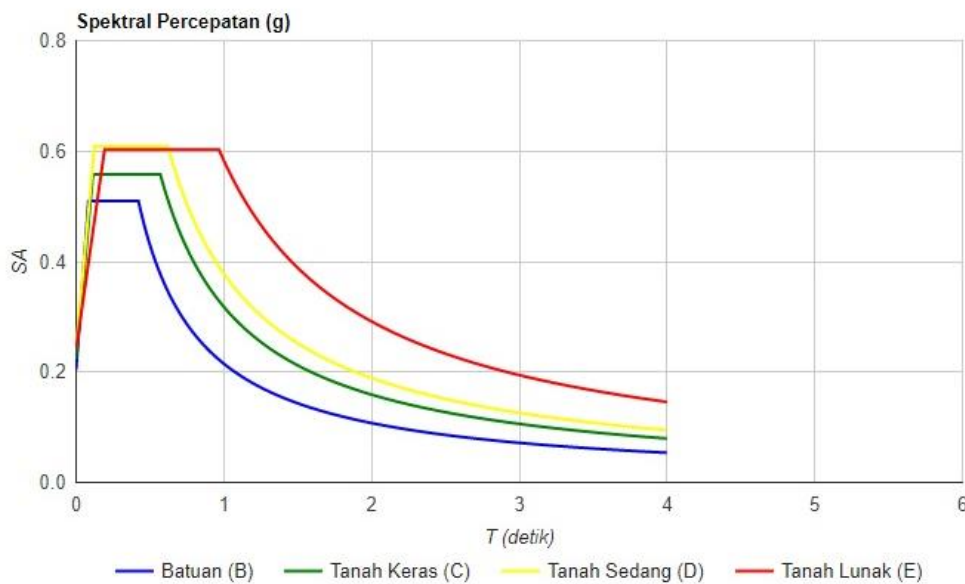
$$T_a = 0,0488 h_n^{0,75} = 0,0488 \cdot 4^{0,75} = 0,138 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.2, sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a , sehingga:

$$T_a = T = 0,138 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan aplikasi yang telah disediakan oleh Dinas Pekerjaan Umum (PU), didapatkan grafik Respons Spektrum Permukaan rumah tinggal yang terletak pada koordinat $7^\circ 55' 13.31''$ Lintang Selatan, dan $112^\circ 37' 15.1''$ Bujur Timur.

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



Gambar 4.10 Grafik respons spektral percepatan permukaan denah A
Sumber : (puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)

Kondisi tanah di area lokasi rumah tinggal A merupakan tanah sedang. Nilai S_a dapat dicari dengan menggunakan metode interpolasi. Dari grafik gambar 4.10 maka didapatkan:

$$T_{0,124} \leq T \leq T_{0,62} \rightarrow S_a = 0,609$$

$$T = 0,138 \text{ detik} \rightarrow S_a = 0,609$$

$$C_s (\text{hitungan}) = S_a / (R / I_e) = 0,609 / (1,5/1) = 0,42$$

$$C_{s(min)} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,609 \cdot 1 = 0,03 \geq 0,01 \text{ (ok)}$$

$$C_{s(maks)} = S_I / (T (R / I_e)) = 0,323 / (0,14 (1,5/1)) = 1,56$$

$$\therefore C_s = 0,42$$

e. Gaya Geser Dasar Seismik (V)

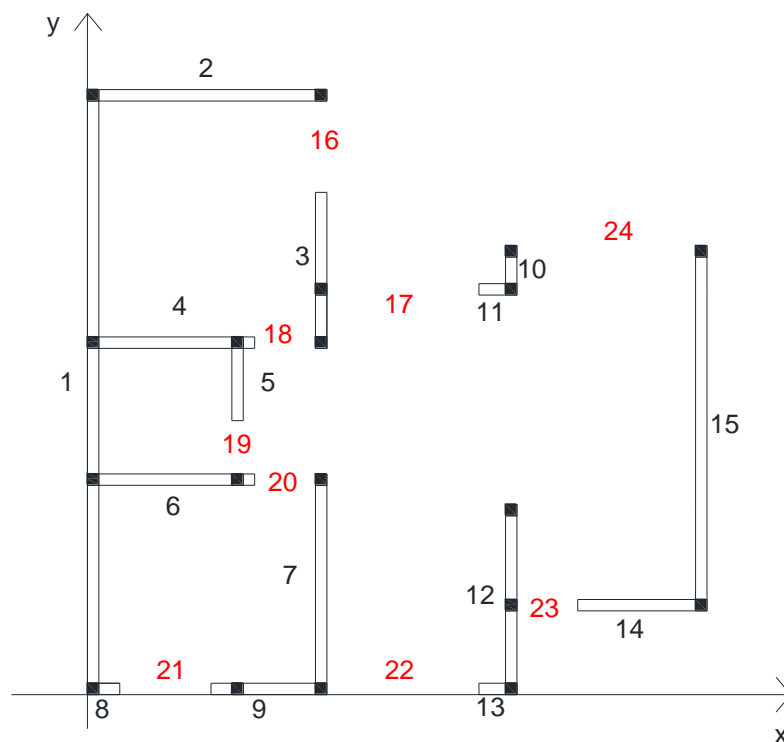
Gaya geser gempa total yang terjadi pada bangunan sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012 adalah sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W_{total} = 0,42 \cdot 48310 = 20310,49 \text{ kg}$$

4.4 Letak Beban Gempa

4.4.1 Pusat massa beban tembok denah A

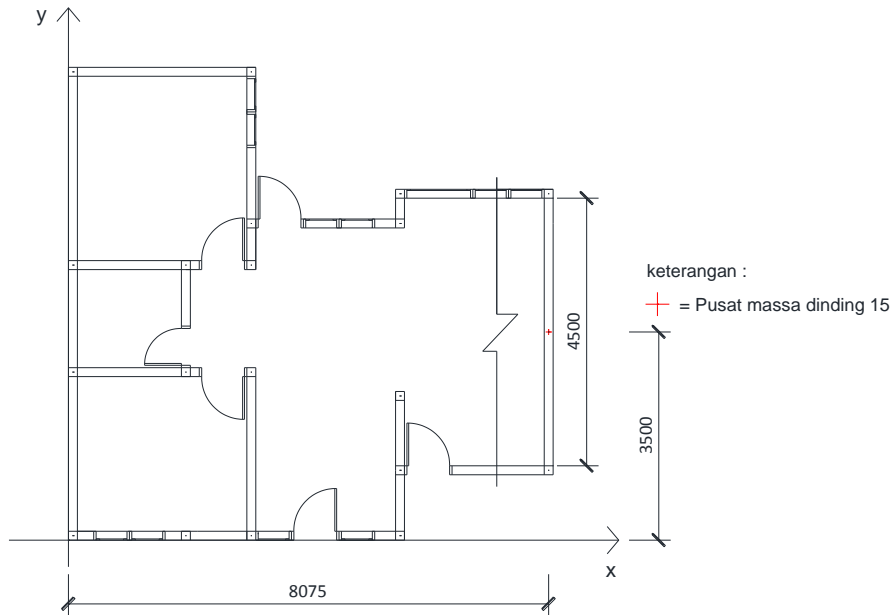
Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari tembok, yang terdiri dari pasangan bata merah dan acian. Gambar 4.11 menunjukkan penamaan untuk masing-masing partisi dinding bata.



Gambar 4.11 Partisi dinding bata denah A

- Perhitungan pusat massa dinding bata lima belas

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



Gambar 4.12 Letak pusat massa dan panjang dinding lima belas

Dari gambar 4.12 didapatkan nilai pusat massa (x_{15} dan y_{15}) serta panjang dinding (L_{15})

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

Tinggi dinding bata = Tinggi rumah = 4 m

$$L_{15} = 4500 \text{ mm} = 4,5 \text{ m}$$

$$y_{15} = 3500 \text{ mm} = 3,5 \text{ m}$$

$$x_{15} = 8075 \text{ mm} = 8,075 \text{ m}$$

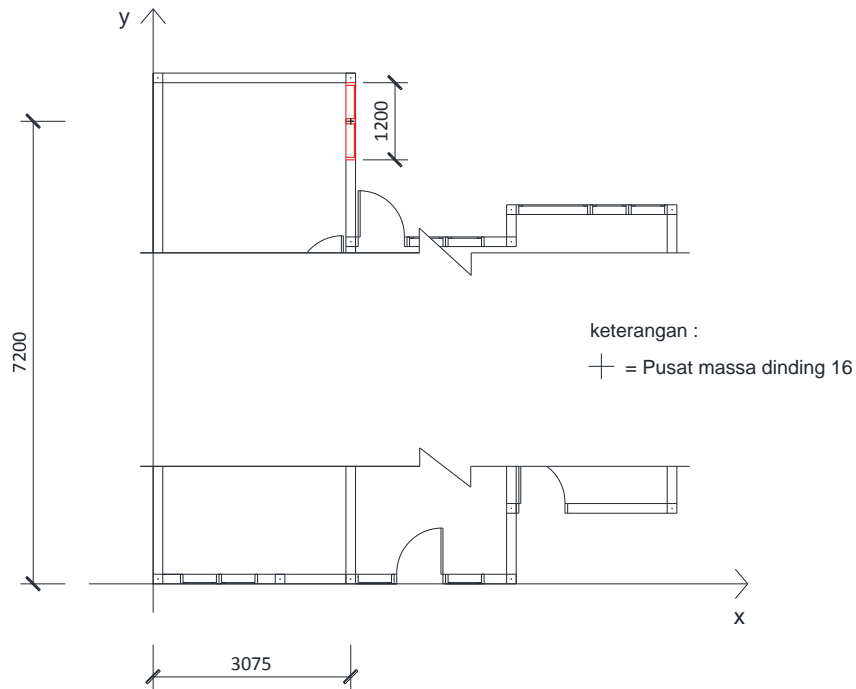
$$W_{15} = 250 \text{ kg/m}^2 \cdot 4 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m} = 4500 \text{ kg}$$

$$W_{15}y_{15} = 4500 \text{ kg} \cdot 3,5 \text{ m} = 15750 \text{ kgm}$$

$$W_{15}x_{15} = 4500 \text{ kg} \cdot 8,075 \text{ m} = 36337,5 \text{ kgm}$$

- Perhitungan pusat massa dinding bata enam belas

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



Gambar 4.13 Letak pusat massa dan panjang dinding enam belas belas

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

Tinggi dinding bata = $\frac{4}{2} = 2 \text{ m}$

$L_{16} = 1200 \text{ mm} = 1,2 \text{ m}$

$y_{16} = 7200 \text{ mm} = 7,2 \text{ m}$

$x_{16} = 3075 \text{ mm} = 3,08 \text{ m}$

$W_{16} = 250 \text{ kg/m}^2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} = 600 \text{ kg}$

$W_{16}y_{16} = 600 \text{ kg} \cdot 7,2 \text{ m} = 4320 \text{ kgm}$

$W_{16}x_{16} = 600 \text{ kg} \cdot 3,08 \text{ m} = 1845 \text{ kgm}$

Perhitungan selengkapnya untuk menghitung pusat massa dinding bata terdapat pada tabel

4.5

Tabel 4.5 Hasil perhitungan pusat massa dinding bata denah A

Dinding Bata Merah					
No	W _i (kg)	y _i (m)	x _i (m)	W _i y _i (kgm)	W _i x _i (kgm)
1	7350	3,98	0,08	29216,25	551,25
2	2850	7,88	1,58	22443,75	4488,75
3	1750	5,58	3,08	9756,25	5381,25
4	1900	4,63	1,1	8787,5	2090
5	950	4,15	1,98	3942,5	1876,25
6	1900	2,83	1,1	5367,5	2090
7	2600	1,45	3,08	3770	7995
8	275	0,08	0,21	20,625	58,4375
9	1225	0,08	2,39	91,875	2924,688
10	350	5,58	5,58	1951,25	1951,25
11	425	5,33	5,4	2263,125	2295
12	2050	1,25	5,58	2562,5	11428,75
13	350	0,08	5,35	26,25	1872,5
14	1550	1,18	7,3	1821,25	11315
15	4500	3,5	8,08	15750	36337,5
16	600	7,2	3,08	4320	1845
17	1000	5,33	4,15	5325	4150
18	400	4,63	2,6	1850	1040
19	350	3,25	1,98	1137,5	691,25
20	400	2,83	2,68	1130	1070
21	600	0,08	1,03	45	615
22	1000	0,08	4,1	75	4100
23	400	1,18	6,05	470	2420
24	1175	5,83	6,83	6844,375	8019,375
Σ	35950			128967,5	116606,3

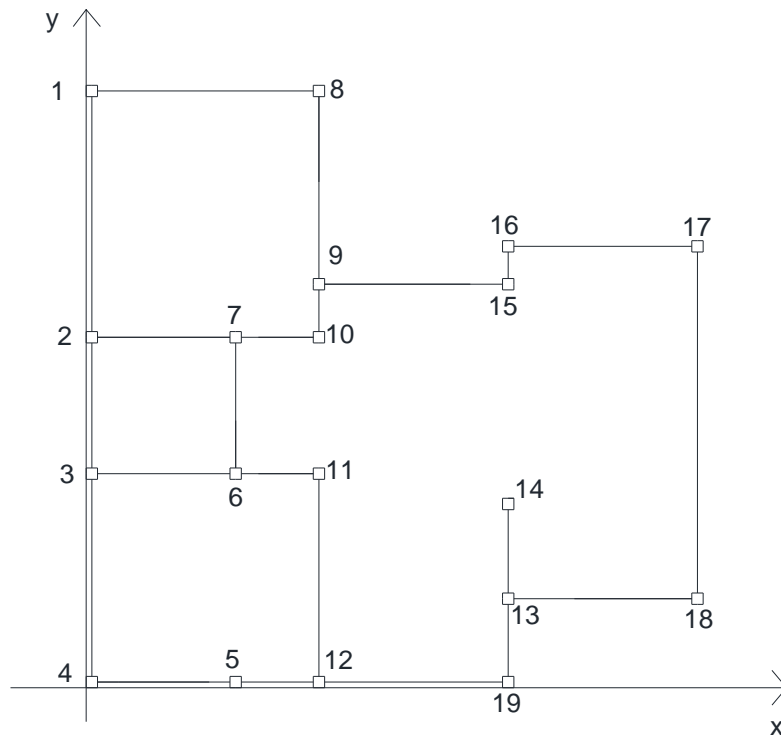
$$\bar{Y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{128967,5}{35950} = 3,59 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{116606,3}{35950} = 3,24 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{24} W_i = 35950 \text{ kg}$$

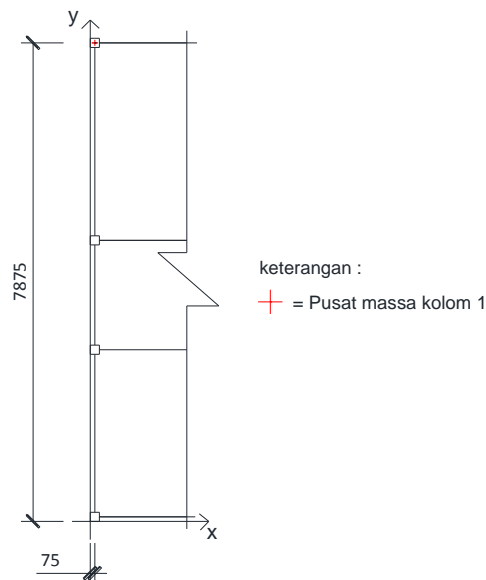
4.4.2 Pusat massa beban kolom denah A

Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari kolom beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 15 cm. Gambar 4.14 menunjukkan penamaan masing-masing kolom.



Gambar 4.14 Penamaan kolom beton denah A

- Perhitungan pusat massa kolom satu



Gambar 4.15 Letak pusat massa kolom satu

Dari gambar 4.15 didapatkan letak pusat massa kolom satu (x_1 dan y_1)

$$\text{Tinggi kolom} = 4 \text{ m}$$

$$A_1 = 15 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} = 225 \text{ cm}^2 = 0,23 \text{ m}^2$$

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

$$y_1 = 7875 \text{ mm} = 7,79 \text{ m}$$

$$x_1 = 75 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$W_1 = A_1 \cdot \text{tinggi kolom} \cdot \gamma_{\text{beton}} = 2400 \cdot 0,23 \cdot 4 = 216 \text{ kg}$$

$$W_1 y_1 = 216 \cdot 7,79 = 1701 \text{ kgm}$$

$$W_1 x_1 = 216 \cdot 0,08 = 16,2 \text{ kgm}$$

Perhitungan selengkapnya untuk menghitung pusat massa kolom terdapat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil perhitungan pusat massa kolom beton denah A

Kolom					
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
1	216	7,88	0,08	1701	16,2
2	216	4,63	0,08	999	16,2
3	216	2,83	0,08	610,2	16,2
4	216	0,08	0,08	16,2	16,2
5	216	0,08	1,98	16,2	426,6
6	216	2,83	1,98	610,2	426,6
7	216	4,63	1,98	999	426,6
8	216	7,88	3,08	1701	664,2
9	216	5,33	3,08	1150,2	664,2
10	216	4,63	3,08	999	664,2
11	216	2,83	3,08	610,2	664,2
12	216	0,08	3,08	16,2	664,2
13	216	1,18	5,58	253,8	1204,2
14	216	2,43	5,58	523,8	1204,2
15	216	5,33	5,58	1150,2	1204,2
16	216	5,83	5,58	1258,2	1204,2
17	216	5,83	8,08	1258,2	1744,2
18	216	1,18	8,08	253,8	1744,2
19	216	0,08	5,58	16,2	1204,2
Σ	4104			14142,6	14175

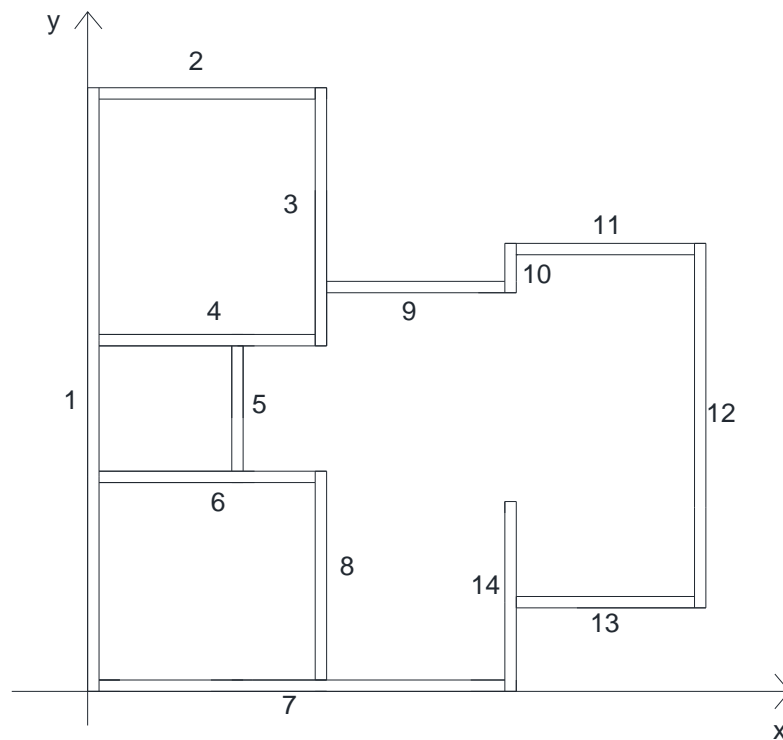
$$\bar{Y} = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{14142,6}{4104} = 3,45 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{14175}{4104} = 3,45 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{19} W_i = 4104 \text{ kg}$$

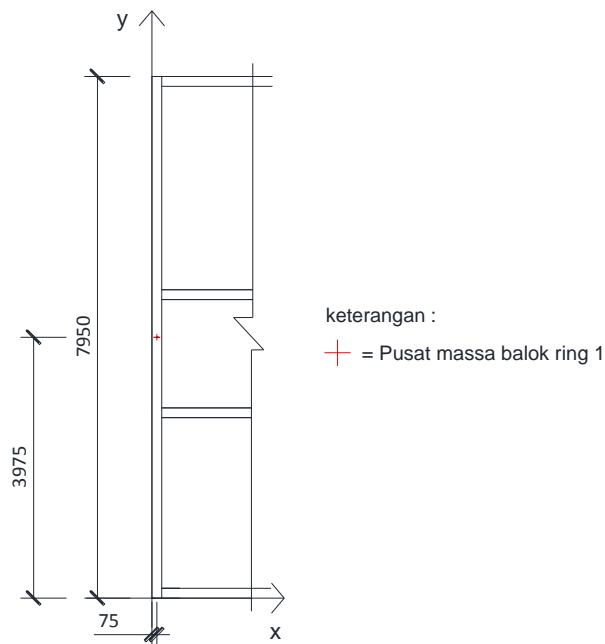
4.4.3 Pusat massa beban balok ring denah A

Berikut merupakan perhitungan pusat massa dari balok ring yang terbuat dari beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 15 cm. Gambar 4.16 menunjukkan penamaan masing-masing balok ring.



Gambar 4.16 Partisi balok ring denah A

- Perhitungan pusat massa balok ring satu



Gambar 4.17 Letak pusat massa balok ring satu

Dari gambar 4.17 didapatkan letak pusat (x_1 dan y_1) serta panjang massa balok ring satu (L_1)

$$L_1 = 7950 \text{ mm} = 7,95 \text{ m}$$

$$A_1 = 15 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm} = 225 \text{ cm}^2 = 0,023 \text{ m}^2$$

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

$$y_1 = 3975 \text{ mm} = 3,98 \text{ m}$$

$$x_1 = 75 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$$

$$W_1 = L_1 \cdot A_1 \cdot \gamma_{\text{beton}} = 7,95 \cdot 0,023 \cdot 2400 = 429,3 \text{ kg}$$

$$W_1 y_1 = 429,3 \cdot 3,98 = 1706 \text{ kgm}$$

$$W_1 x_1 = 429,3 \cdot 0,08 = 32 \text{ kgm}$$

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

Tabel 4.7 Hasil perhitungan pusat massa beban balok ring denah A

Balok Ring					
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	W_iy_i (kgm)	W_ix_i (kgm)
1	429,3	3,98	0,08	1706	32
2	153,9	7,88	1,58	1212	242
3	183,6	6,25	3,08	1148	565
4	153,9	4,63	1,58	712	242
5	89,1	3,73	1,98	332	176
6	153,9	2,83	1,58	435	242
7	288,9	0,08	2,83	22	816
8	148,5	1,53	3,08	226	457
9	126,9	5,33	4,33	676	549
10	35,1	5,58	5,58	196	196
11	126,9	5,83	6,83	739	866
12	259,2	3,5	8,08	907	2093
13	126,9	1,18	6,83	149	866
14	135	1,25	5,58	169	753
Σ	2411,1			8628	8095

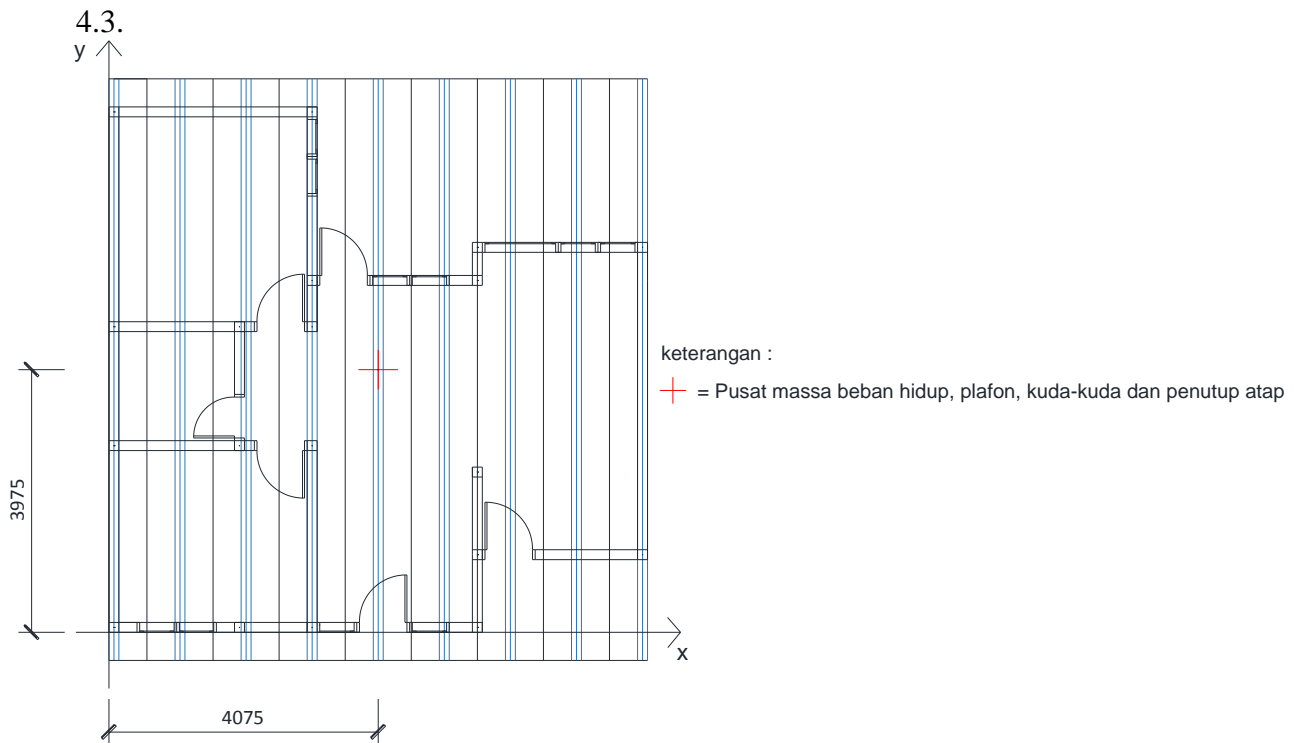
$$\bar{Y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{8628}{2411,1} = 3,58 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{8095}{2411,1} = 3,36 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{14} W_i = 2411,1 \text{ kg}$$

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

Besar beban hidup, penutup atap, kuda-kuda dan plafon telah dihitung pada subbab



Gambar 4.18 Letak pusat massa beban hidup, penutup atap, kuda-kuda, plafon denah A

Dari gambar 4.18 didapatkan pusat massa beban hidup, penutup atap, kuda-kuda dan plafon.

$$\bar{Y} = 3,975 \text{ m}$$

$$\bar{X} = 4,075 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Sigma W_i &= \text{Beban Hidup} + \text{Beban Penutup Atap} + \text{Beban Kuda-kuda} + \text{Beban Plafon.} \\ &= 309 + 4297,13 + 463,78 + 774,4 \\ &= 5844,31 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.4.5 Pusat massa akibat seluruh beban denah A

Letak beban gempa didapatkan dari resultan dari pusat massa masing-masing beban yang telah dihitung di subbab 4.4.1 sampai dengan subbab 4.4.4. Perhitungan pusat massa beban dapat dilihat pada tabel 4.8

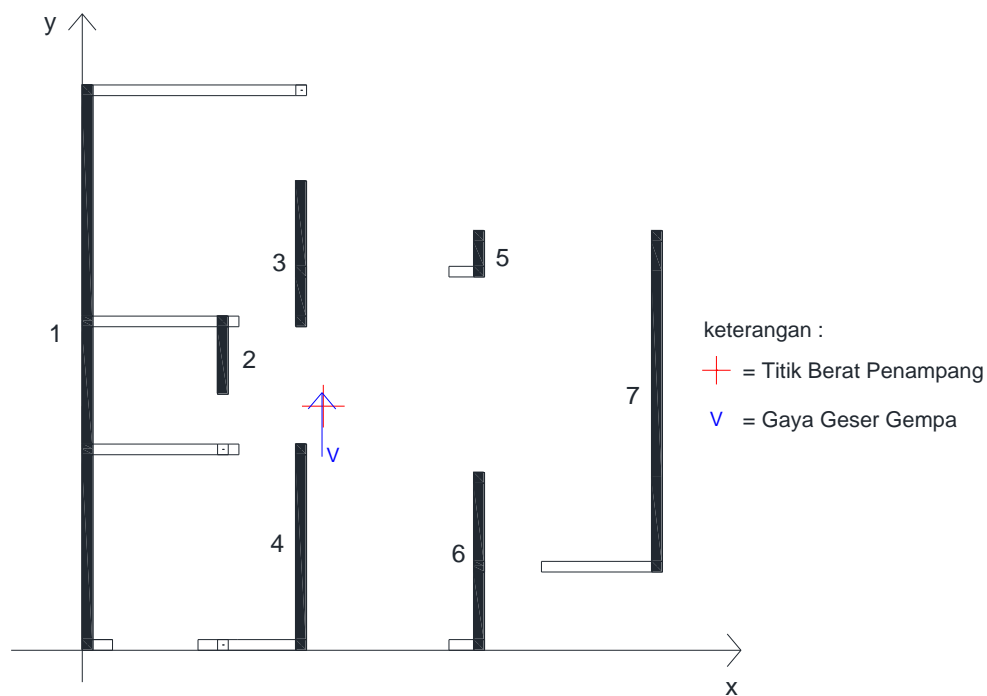
Tabel 4.8 Hasil perhitungan pusat massa semua beban denah A

Pusat Massa Semua Beban					
Beban	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
Bata	35950	3,59	3,24	128967,5	116606,3
Kolom	4104	3,45	3,45	14142,6	14175
Beban Hidup, Penutup Atap, Plafon dan Kuda-kuda	5844,7	3,98	4,08	23232,7	23817,2
Balok Ring	2411,1	3,58	3,38	8628,2	8095,1
Σ	48310			174971	162693,5

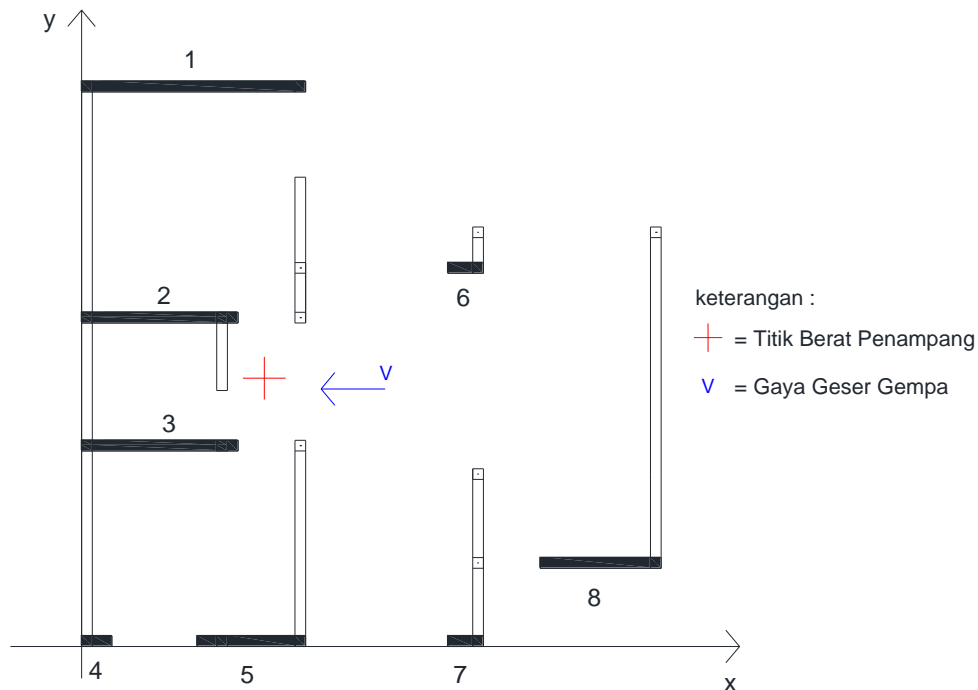
$$\bar{Y}_V = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{174971}{48310} = 3,62 \text{ m}$$

$$\bar{X}_V = \frac{\Sigma W_i x_i}{\Sigma W_i} = \frac{162693,5}{48310} = 3,37 \text{ m}$$

$$\Sigma W_i = 48310 \text{ kg}$$



Gambar 4.19 Letak beban gempa dan pusat massa penampang elemen dinding denah A searah sumbu y



Gambar 4.20 Letak beban gempa dan pusat massa penampang elemen dinding denah A searah sumbu x

4.5 Perhitungan Tegangan Geser Dinding Bata

4.5.1 Tegangan geser akibat torsi denah A

Gaya geser gempa (V) sebesar 20310,49 kg bekerja pada koordinat (3,62, 3,37).

- Torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu y
 - Mencari momen torsi M_x

Pusat massa penampang pada elemen dinding searah sumbu y didapat dari subbab 4.2.1

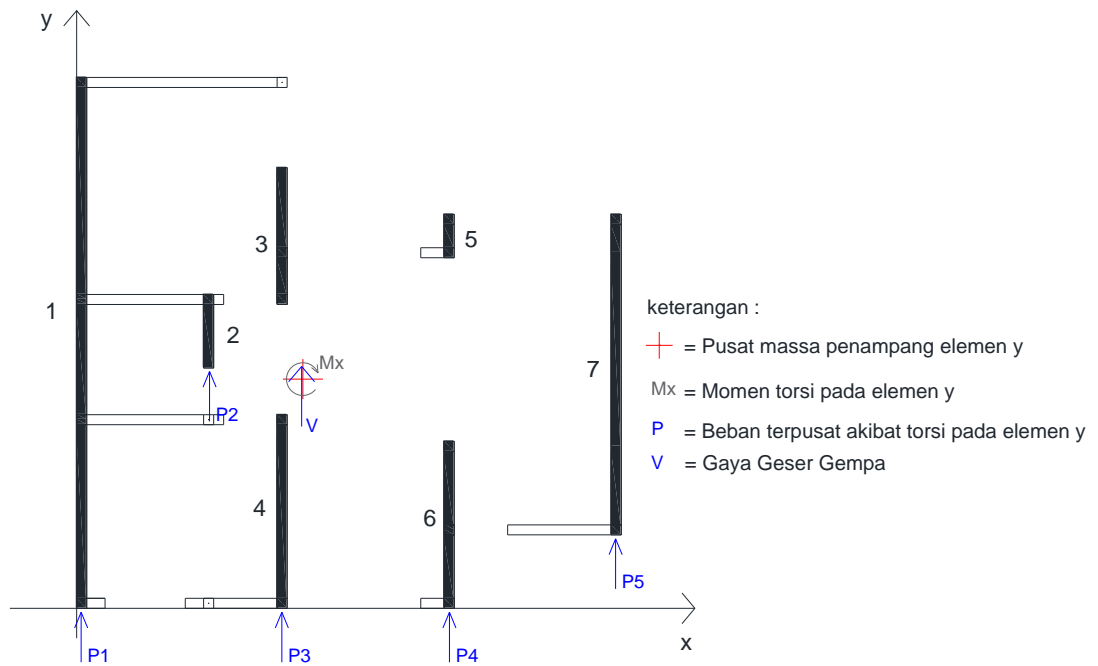
$$\bar{X}_x = 3,39 \text{ m}$$

Momen torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu y (M_x)

$$M_x = V \cdot (\bar{X}_x - \bar{X}_V) = 20310,49 \cdot (3,39 - 3,37) = 360,85 \text{ kgm (searah jarum jam)}$$

Momen torsi M_x bekerja pada pusat massa penampang elemen dinding searah sumbu y.

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



Gambar 4.21 Gaya geser pada masing-masing dinding denah A akibat torsi M_x

Perhitungan beban geser P_1 akibat momen torsi M_x

Dari tabel 4.1 didapat nilai x_1

$$x_1 = 0,08 \text{ m}$$

$$x_1 = \bar{X}_x - x_1 = 3,39 - 0,08 = 3,31 \text{ m}$$

$$x_1^2 = (\bar{X}_x - x_1)^2 = 3,31^2 = 10,96 \text{ m}^2$$

$$P_1 = \frac{M_x x_i}{\sum x_i^2} = \frac{360,85 - 3,31}{39,83} = 29,99 \text{ kg}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4.9 Hasil perhitungan gaya geser pada elemen dinding denah A searah sumbu y

	x_i (m)	x_i^2 (m ²)	P_i (kg)
1	3,31	10,96	29,99
2	1,41	1,99	12,78
3	0,31	0,1	2,81
4	-2,19	4,79	-19,84
5	-4,69	21,99	-42,49
Σ		39,83	

- Torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu x

Pusat massa penampang pada elemen dinding searah sumbu x yang didapat dari subbab 4.2.3

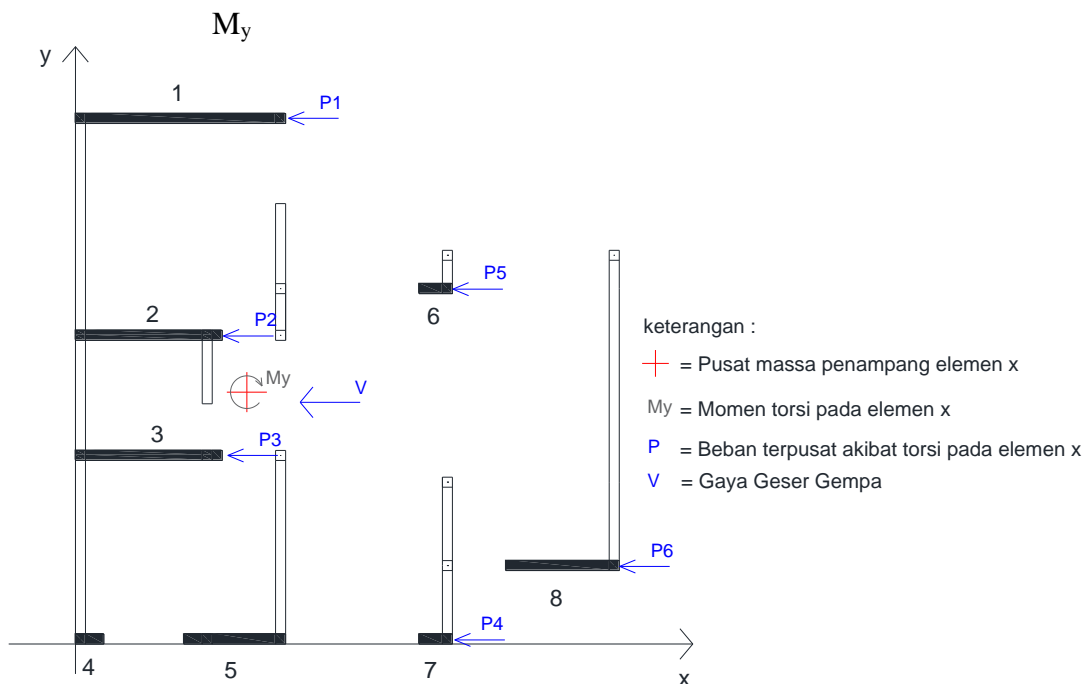
$$\bar{Y}_y = 3,77 \text{ m}$$

Momen torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu x (M_y)

$$M_y = V \cdot (\bar{Y}_y - \bar{Y}_V) = 20310,49 \cdot (3,77 - 3,62) = 3085,53 \text{ kgm (searah jarum jam)}$$

Momen torsi M_y bekerja pada pusat massa penampang elemen dinding searah sumbu x

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



Gambar 4.22 Gaya geser pada masing-masing dinding denah A akibat torsi M_y

Perhitungan beban geser P_1 akibat momen torsi M_y

Dari tabel 4.3 didapat nilai y_1

$$y_1 = 7,88 \text{ m}$$

$$y_1 = \bar{Y}_y - y_1 = 3,77 - 7,88 = -4,1 \text{ m}$$

$$y_1^2 = (\bar{Y}_y - y_1)^2 = -4,1^2 = 16,82 \text{ m}^2$$

$$P_1 = \frac{M_y y_i}{\sum y_i^2} = \frac{3085,53 \cdot -4,1}{41,29} = -306,51 \text{ kg}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil perhitungan gaya geser pada elemen dinding denah A searah sumbu x

	y_i (m)	y_i^2 (m ²)	P_i (kg)
1	-4,1	16,82	-306,51
2	-0,85	0,73	-63,62
3	0,95	0,9	70,91
4	3,7	13,68	276,43
5	-1,55	2,41	-115,93
6	2,6	6,75	194,22
Σ		41,29	

4.5.2 Tegangan geser akibat gaya geser gempa denah A

Karena mutu bahan dan inersia untuk masing-masing dinding sama, maka kekakuan (EI) sama sehingga gaya geser gempa bisa langsung dibagi dengan jumlah dinding (n).

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu y

Gaya geser gempa (V) terdistribusi secara merata terhadap dinding sejumlah (n), sehingga:

Jumlah total gaya yang bekerja untuk elemen dinding searah sumbu y

$$n = 5$$

$$\frac{V}{n} = \frac{20310,49 \text{ kg}}{5} = 4062,1 \text{ kg}$$

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu x

Jumlah total gaya yang bekerja untuk elemen dinding searah sumbu x

$$n = 6$$

$$\frac{V}{n} = \frac{20310,49 \text{ kg}}{6} = 3385,1 \text{ kg}$$

4.5.3 Tegangan geser total denah A

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu y

Gaya geser akibat beban gempa dan torsi

$$P_1 = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y y_1}{\Sigma y_1^2} = \frac{20310,49 \text{ kg}}{5} \pm \frac{3085,53 \cdot -4,1}{41,29} = 4092,09 \text{ kg}$$

Tegangan geser akibat beban gempa dan torsi untuk elemen dinding searah sumbu y

Dari tabel 4.1 didapatkan untuk nilai A_i

$$A_1 = 1,19 \text{ m}^2$$

$$dx_1 = \frac{P_1}{A_1} = \frac{4092,09}{1,1925} = 3431,52 \text{ m}^2 = 0,343152 \text{ cm}^2$$

Tabel 4.11 Hasil perhitungan gaya geser total elemen dinding denah A searah sumbu y

	P_i (kg)	dx (kg/cm ²)
1	4092,09	0,34
2	4074,88	2,5
3	4064,91	0,47
4	4042,26	0,86
5	4019,61	0,56

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu x

Tabel 4.12 Hasil perhitungan gaya geser total elemen dinding denah A searah sumbu x

	P_i (kg)	d_y (kg/cm²)
1	3078,57	0,65
2	3321,47	1,01
3	3455,99	1,05
4	3661,51	0,7
5	3269,15	4,36
6	3579,30	1,4

4.6 Pembebanan Denah B

Untuk cara perhitungan pembebanan, statis momen, momen inersia, pembebanan gempa, letak beban gempa, dan tegangan dibawah dilakukan dengan cara yang sama dengan cara perhitungan untuk denah A.

4.6.1 Beban mati denah B

Sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan pada Beton Bertulang Indonesia untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 (PPURG 1987), beban mati telah diatur sebagai berikut:

- Berat isi beton (γ_{beton}) = 2400 kg/m³
- Berat pasangan bata merah ½ batu 15 cm = 250 kg/m²
- Berat langit-langit = 11 kg/m²
- Berat penutup atap genteng = 50 kg/m²

Beban mati akibat kuda-kuda dengan rangka galvalum diambil dari hasil pencarian di internet. Untuk rangka galvalume dengan jenis ukuran 0,6 memiliki berat 4,7 kg/6m sehingga:

- Berat kuda-kuda galvalume = $\frac{4,7}{6} = 0,78$ kg/m

4.6.2 Beban hidup denah B

Sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan pada Beton Bertulang Indonesia untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 (PPURG 1987) pasal 2.1.2.2, beban hidup pada atap gedung diatur sebagai berikut:

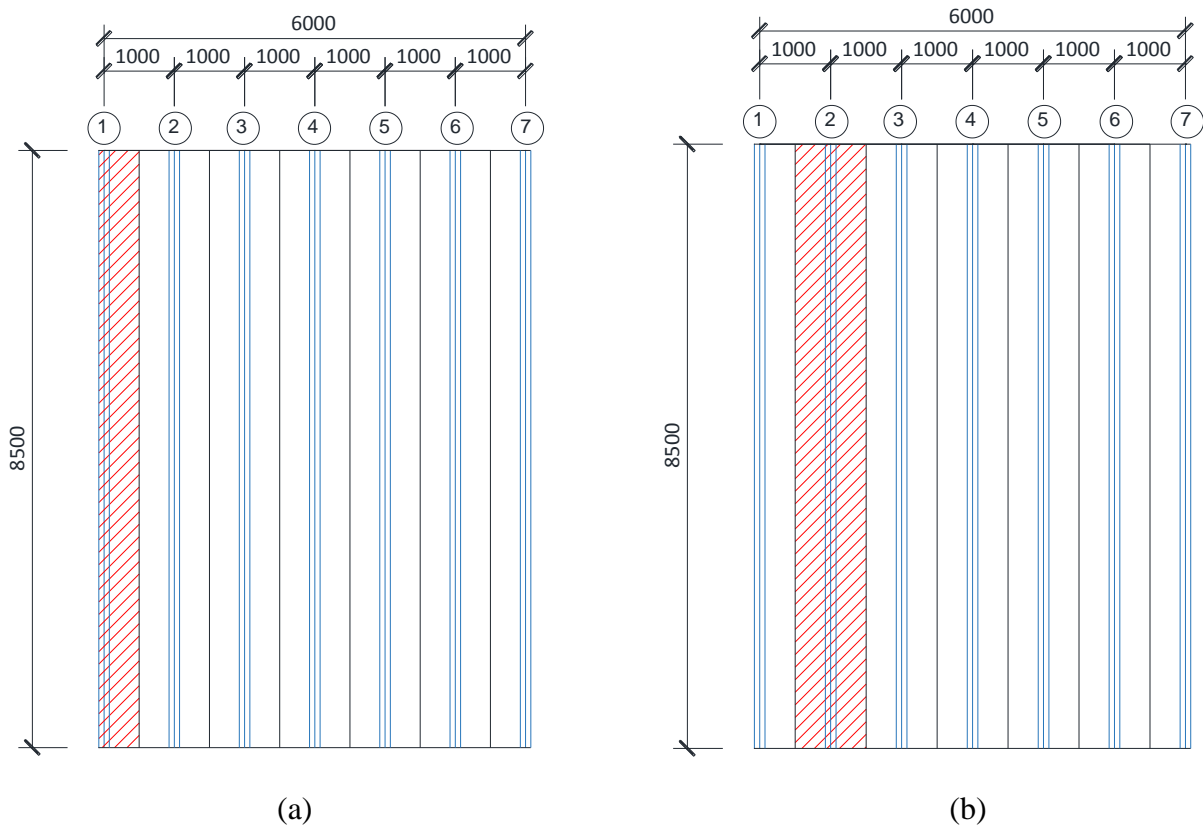
- Beban terbagi rata per m² bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar (40 - 0,8 α) kg/m² di mana α adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50°
 - Beban Hujan = (40 - 0,8 . 35) = 12 kg/m²
- Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.

4.6.3 Beban atap denah B

Sebagian dinding bata menahan beban yang diakibatkan oleh beban hidup atap, kuda-kuda, gording, dan plafon. Penutup atap denah B terbuat dari rangka galvalume

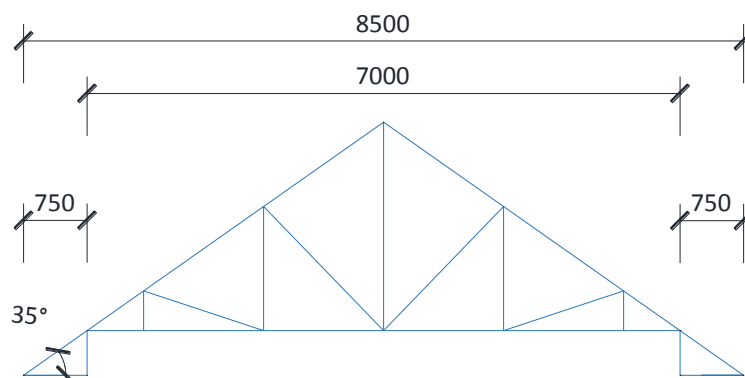
sehingga perhitungan gording tidak dimasukkan. Berikut merupakan perhitungan beban yang ditahan masing-masing kuda-kuda.

- **Pembebanan atap denah B**



Gambar 4.23 (a) area pembebanan kuda-kuda 1 dan 7, (b) area pembebanan kuda-kuda 2 sampai 6

a. Beban yang ditahan kuda-kuda 1 dan 7



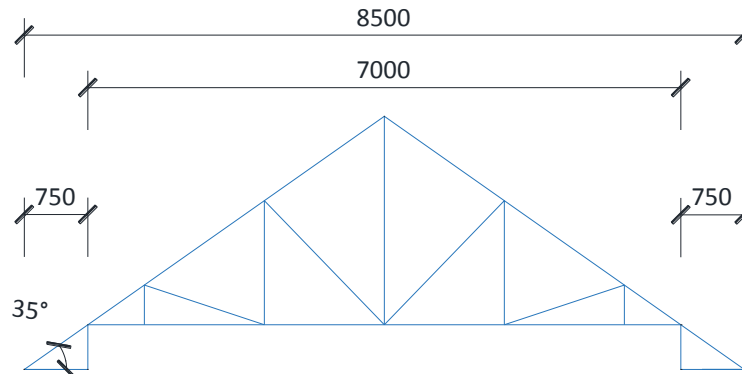
Gambar 4.24 Pembebanan kuda-kuda 1 dan 7 denah B

$$W_1 = W_7 = 0,5 \left(50 \cdot 2 \cdot \frac{4,25}{\cos 35^\circ} + 8,5 \cdot 11 + 12 \cdot 2 \cdot \frac{4,25}{\cos 35^\circ} \right) + 0,78 \cdot 37,627$$

$$W_1 = W_7 = 368,42 + 29,35$$

$$W_1 = W_7 = 397,77 \text{ kg}$$

b. Beban yang ditahan kuda-kuda 2 sampai 6



Gambar 4.25 Pembebanan kuda-kuda 2 sampai 6

$$W_2 = W_{3-6} = 1 \left(50 \cdot 2 \cdot \frac{4,25}{\cos 35^\circ} + 8,5 \cdot 11 + 12 \cdot 2 \cdot \frac{4,25}{\cos 35^\circ} \right) + 0,78 \cdot 37,627$$

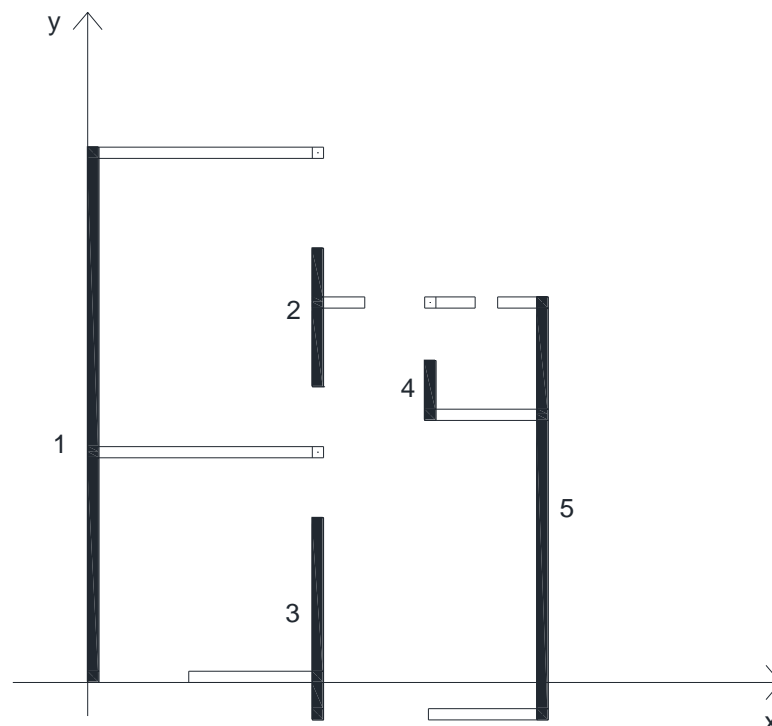
$$W_2 = W_{3-6} = 736,85 + 29,35$$

$$W_2 = W_{3-6} = 766,2 \text{ kg}$$

4.7 Perhitungan Momen Inersia

4.7.1 Mencari titik berat denah B terhadap sumbu x

Sama seperti pada perhitungan momen inersia untuk denah A, tidak semua elemen dinding efektif dalam menahan gaya gempa searah sumbu y. Elemen dinding-dinding yang efektif dalam menahan gaya gempa searah sumbu y ditunjukkan pada gambar 4.26



Gambar 4.26 Partisi profil denah B terhadap sumbu x

Tabel 4.13 Hasil perhitungan statis momen denah B terhadap sumbu x

Partisi Dinding	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)
1	1,07	3,58	0,08	3,83	0,08
2	0,28	4,88	3,08	1,35	0,85
3	0,41	0,85	3,08	0,34	1,25
4	0,12	4,4	4,58	0,53	0,55
5	0,85	2,33	6,08	1,97	5,15
Σ	2,72			8,03	7,88

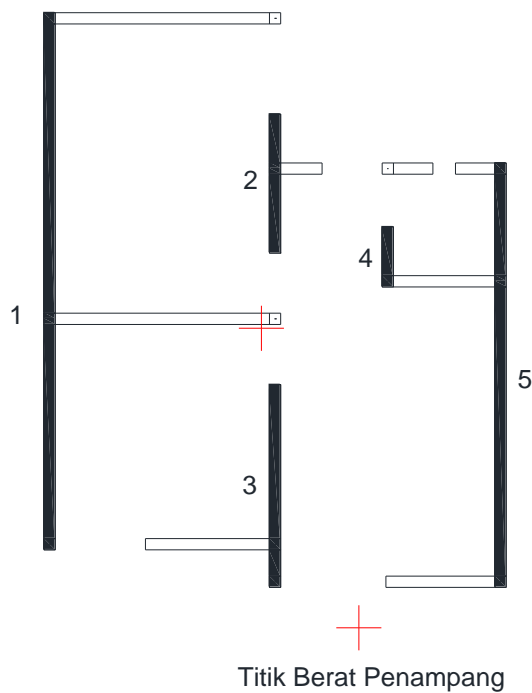
- Titik berat sumbu y

$$\bar{Y}_x = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A_i} = \frac{8,03}{2,72} = 2,95 \text{ m}$$

- Titik berat sumbu x

$$\bar{X}_x = \frac{\Sigma A_i x_i}{\Sigma A_i} = \frac{7,88}{2,72} = 2,89 \text{ m}$$

4.7.2 Mencari momen inersia denah B terhadap sumbu x

**Gambar 4.27** Titik berat penampang denah B terhadap sumbu x

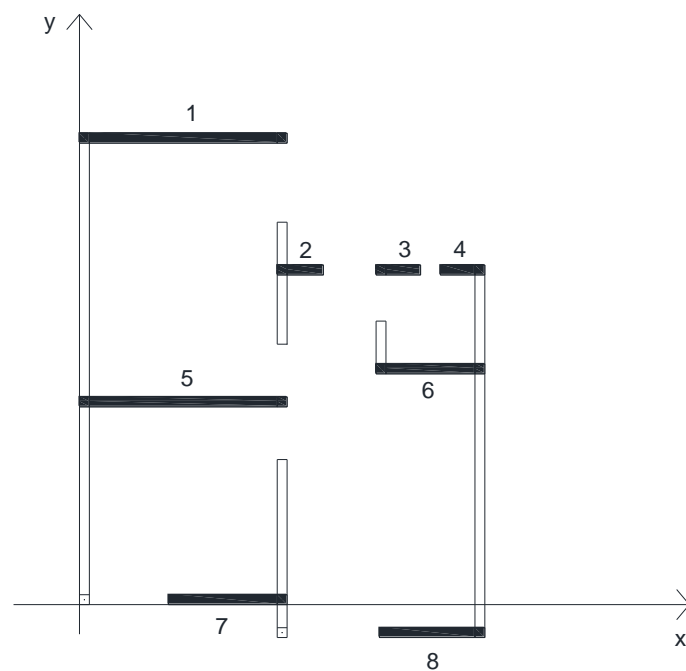
Tabel 4.14 Hasil perhitungan momen inersia denah B terhadap sumbu x

Partisi Dinding	A_i (m ²)	$A_i(y_i-\bar{y})^2$ (m ⁴)	I_{x_i} (m ⁴)
1	1,07	0,42	4,29
2	0,28	1,03	0,1
3	0,41	1,79	0,25
4	0,12	0,25	0,006
5	0,85	0,33	2,08
Σ	2,72	3,82	6,72

- Momen Inersia terhadap sumbu x

$$I_x = \Sigma A_i(y_i-\bar{y})^2 + \Sigma I_{x_i} = 3,82 + 6,72 = 10,54 \text{ m}^4$$

4.7.3 Mencari titik berat denah B terhadap sumbu y

**Gambar 4.28** Partisi profil denah B terhadap sumbu y

Tabel 4.15 Hasil perhitungan statis momen denah B terhadap sumbu y

Partisi Dinding	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)
1	0,47	7,08	1,58	3,34	0,74
2	0,11	5,08	3,35	0,53	0,35
3	0,1	5,08	4,84	0,51	0,49
4	0,1	5,08	5,81	0,51	0,59
5	0,47	3,08	1,58	1,45	0,74
6	0,25	3,58	5,33	0,89	1,32
7	0,27	0,08	2,25	0,02	0,61
8	0,24	0,48	5,35	0,1	1,28
Σ	2,01			7,36	6,13

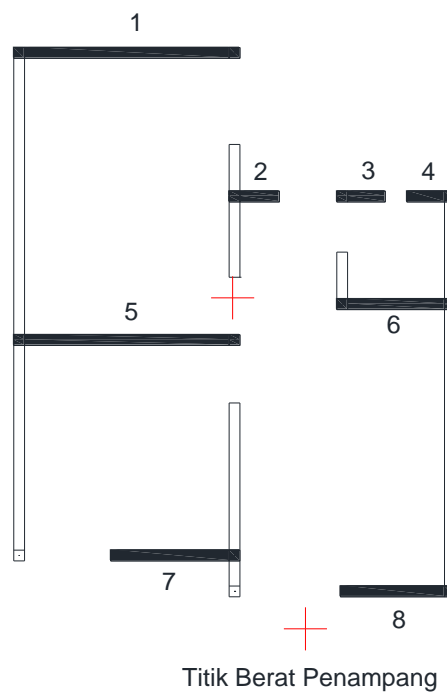
- Titik berat sumbu y

$$\bar{Y}_y = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A_i} = \frac{7,36}{2,01} = 3,66 \text{ m}$$

- Titik berat sumbu x

$$\bar{X}_y = \frac{\Sigma A_i x_i}{\Sigma A_i} = \frac{6,13}{2,01} = 3,05 \text{ m}$$

4.7.4 Mencari momen inersia denah B terhadap sumbu y

**Gambar 4.29** Letak titik berat penampang denah B terhadap sumbu y

Tabel 4.16 Hasil perhitungan momen inersia denah B terhadap sumbu y

Partisi Dinding	A_i (m ²)	$A_i(x_i-\bar{x})^2$ (m ⁴)	I_{y_i} (m ⁴)
1	0,47	1,03	0,00084
2	0,11	0,01	0,0002
3	0,1	0,32	0,00034
4	0,1	0,77	0,00034
5	0,47	1,03	0,00084
6	0,24	1,28	0,00042
7	0,27	0,17	0,00051
8	0,24	1,27	0,00045
Σ	2,01	5,89	0,00394

- Momen Inersia terhadap sumbu y

$$I_y = \Sigma A_i(x_i-\bar{x})^2 + \Sigma I_{y_i} = 5,89 + 0,00394 = 5,89 \text{ m}^4$$

4.8 Pembebanan Gempa

4.8.1 Pembebanan gempa denah B

a. Berat Total Bangunan (W_{total})

- Luas Atap : $((2 \cdot \frac{4,25}{\cos 35^\circ}) \cdot 6) = 62,3 \text{ m}^2$
- Luas langit-langit : $(8,5 \cdot 6) = 51 \text{ m}^2$
- Panjang total balok : 37,55 m
- Panjang total bukaan : $(0,6 \cdot 5) + 0,3 + 0,7 + (0,8 \cdot 4) = 7,2 \text{ m}$
- Panjang total tembok : $37,55 - 7,2 - (0,15 \cdot 13) = 28,4 \text{ m}$
- Panjang kuda-kuda 1 : 37,63 m

Beban mati:

- Penutup atap : $50 \cdot 62,3 = 3113 \text{ kg}$
- Kuda-kuda : $0,78 \cdot (37,63 \cdot 12) = 352 \text{ kg}$
- Plafon : $51 \cdot 11 = 561 \text{ kg}$
- Balok ring : $2400 \cdot 0,15 \cdot 0,15 \cdot 37,55 = 2028 \text{ kg}$
- Kolom : $13 \cdot 2400 \cdot 4 \cdot 0,15 \cdot 0,15 = 2808 \text{ kg}$
- Tembok : $250 (4 \cdot 28,4 + 2 \cdot 7,2) = \underline{32000 \text{ kg} +}$

$$W_1 = 40862 \text{ kg}$$

Beban hidup:

Beban hidup untuk menghitung gaya gempa dapat dikalikan dengan suatu koefisien yang bergantung pada fungsi bangunan (PPURG 1987, Tabel 4). Fungsi bangunan adalah sebagai rumah tinggal sehingga dapat dikalikan dengan koefisien 0,3.

- W_2 : $0,3 \cdot 12 \cdot 62,3$ = 224 kg
- W_{total} : $W_1 + W_2 = 40862 + 224$ = 41086 kg

b. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Fungsi bangunan adalah untuk sebagai rumah tinggal, sehingga nilai faktor keutamaan gempa adalah sebesar 1.

c. Koefisien Modifikasi Respons (R)

Bangunan rumah yang dibahas dalam skripsi ini menggunakan sistem dinding penumpu khususnya sistem dinding geser batu bata polos biasa dengan nilai koefisien modifikasi respons sebesar 1,5.

d. Koefisien Respons Seismik (C_s)

- Periode fundamental pendekatan struktur (T_a)

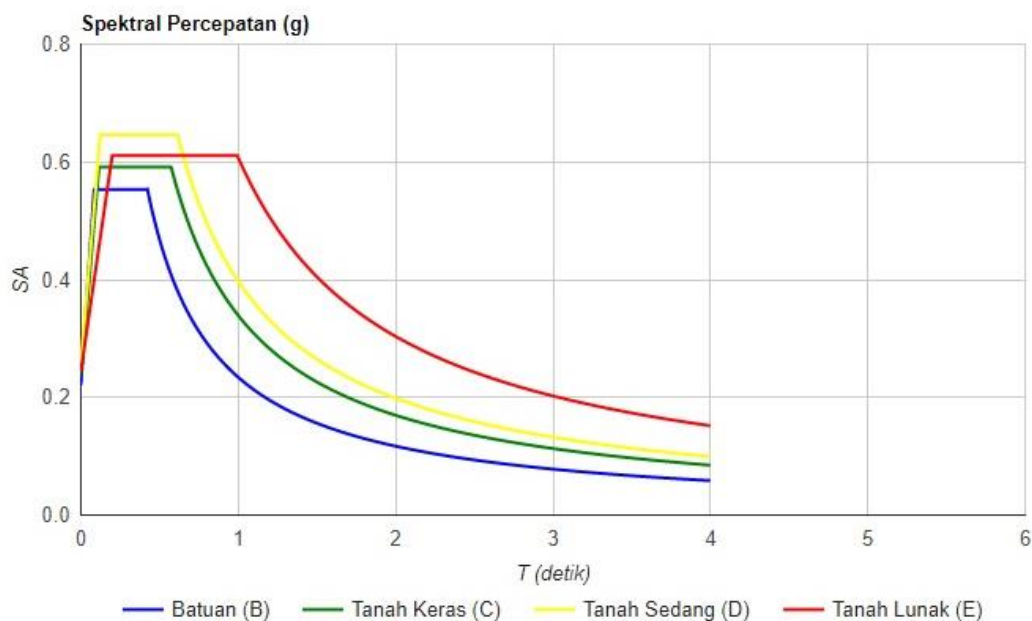
$$T_a = 0,0488 h_n^{0,75} = 0,0488 \cdot 4^{0,75} = 0,14 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.2, sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a , sehingga:

$$T_a = T = 0,138 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan aplikasi yang telah disediakan oleh Dinas Pekerjaan Umum (PU), didapatkan grafik Respons Spektrum Permukaan rumah tinggal yang terletak pada koordinat $8^\circ 5' 28.85''$ Lintang Selatan, dan $112^\circ 36' 45.12''$ Bujur Timur.

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



Gambar 4.30 Grafik respons spektral percepatan permukaan denah B
 Sumber : (puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)

Kondisi tanah di area lokasi rumah tinggal B merupakan tanah sedang. Nilai S_s dapat dicari dengan menggunakan metode interpolasi. Dari grafik gambar 4.30 maka didapatkan:

$$S_{0,13} = 0,637 \text{ g}$$

$$S_{0,14} = 0,646 \text{ g}$$

$$T = 0,138 \text{ detik}$$

$$S_a = S_{0,13} + (S_{0,14} - S_{0,13})(T - 0,11) \cdot 100$$

$$S_a = 0,637 + (0,646 - 0,637)(0,14 - 0,11) \cdot 100$$

$$S_a = 0,66 \text{ g}$$

$$C_s (\text{hitungan}) = S_a / (R / I_e) = 0,66 / (1,5/1) = 0,44$$

$$C_s (\text{min}) = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,646 \cdot 1 = 0,028 \geq 0,01 \text{ (ok)}$$

$$C_s (\text{maks}) = S_I / (T (R / I_e)) = 0,35 / (0,14 (1,5/1)) = 1,69$$

$$C_s = 0,44$$

e. Gaya Geser Dasar Seismik (V)

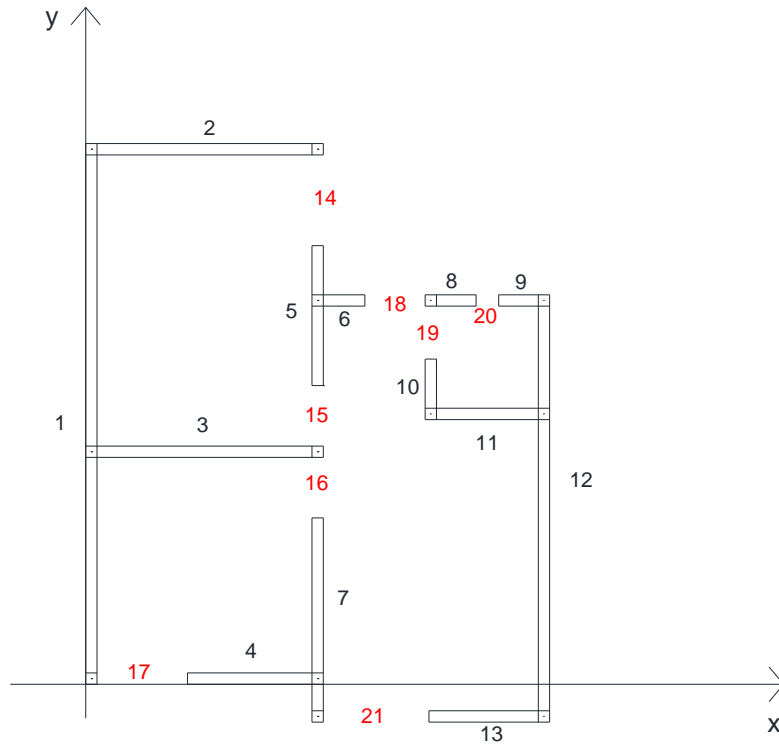
Gaya geser gempa total yang terjadi pada bangunan sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012 adalah sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W_{\text{total}} = 0,44 \cdot 41086 = 18139,47 \text{ kg}$$

4.9 Letak Beban Gempa

4.9.1 Pusat massa beban tembok denah B

Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari tembok, yang terdiri dari pasangan bata merah dan acian. Gambar 4.31 menunjukkan penamaan untuk masing-masing partisi dinding bata.



Gambar 4.31 Partisi dinding bata denah B

Tabel 4.17 Hasil perhitungan pusat massa dinding bata denah B

Dinding Bata Merah					
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	W_iy_i (kgm)	W_ix_i (kgm)
1	6700	3,575	0,075	23953	503
2	2850	7,075	1,575	20164	4489
3	2850	3,075	1,575	8764	4489
4	1650	0,075	2,25	124	3713
5	1700	4,875	3,075	8288	5228
6	550	5,075	3,35	2791	1843
7	2400	0,85	3,075	2040	7380
8	525	5,075	4,8375	2664	2540
9	525	5,075	5,8125	2664	3052
10	650	3,9	4,575	2535	2974
11	1350	3,575	5,325	4826	7189
12	5200	2,325	6,075	12090	31590
13	1450	0,425	5,35	616	7758
14	600	6,4	3,075	3840	1845
15	400	3,55	3,075	1420	1230
16	400	2,6	3,075	1040	1230
17	600	0,075	0,75	45	450
18	400	5,075	4,1	2030	1640
19	350	4,65	4,575	1628	1601
20	150	5,075	5,325	761	799
21	700	0,425	3,85	298	2695
Σ	32000			102580	94234

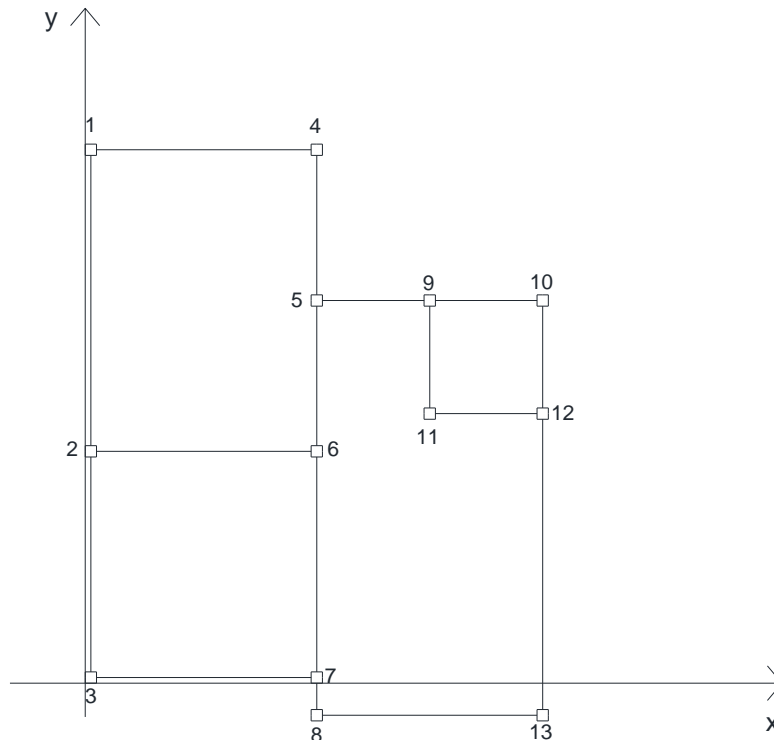
$$\bar{Y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{102580}{32000} = 3,21 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{94234}{32000} = 2,95 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{21} W_i = 32000 \text{ kg}$$

4.9.2 Pusat massa beban kolom denah B

Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari kolom beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 15 cm. Penamaan masing-masing kolom ditunjukkan pada gambar 4.32



Gambar 4.32 Penamaan kolom beton denah B

Tabel 4.18 Hasil perhitungan pusat massa kolom beton denah B

Kolom					
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
1	216	7,08	0,08	1528,2	16,2
2	216	3,08	0,08	664,2	16,2
3	216	0,08	0,08	16,2	16,2
4	216	7,08	3,08	1528,2	664,2
5	216	5,08	3,08	1096,2	664,2
6	216	3,08	3,08	664,2	664,2
7	216	0,08	3,08	16,2	664,2
8	216	0,43	3,08	91,8	664,2
9	216	5,08	4,58	1096,2	988,2
10	216	5,08	6,08	1096,2	1312,2
11	216	3,58	4,58	772,2	988,2
12	216	3,58	6,08	772,2	1312,2
13	216	0,43	6,08	91,8	1312,2
Σ	2808			9433,8	9282,6

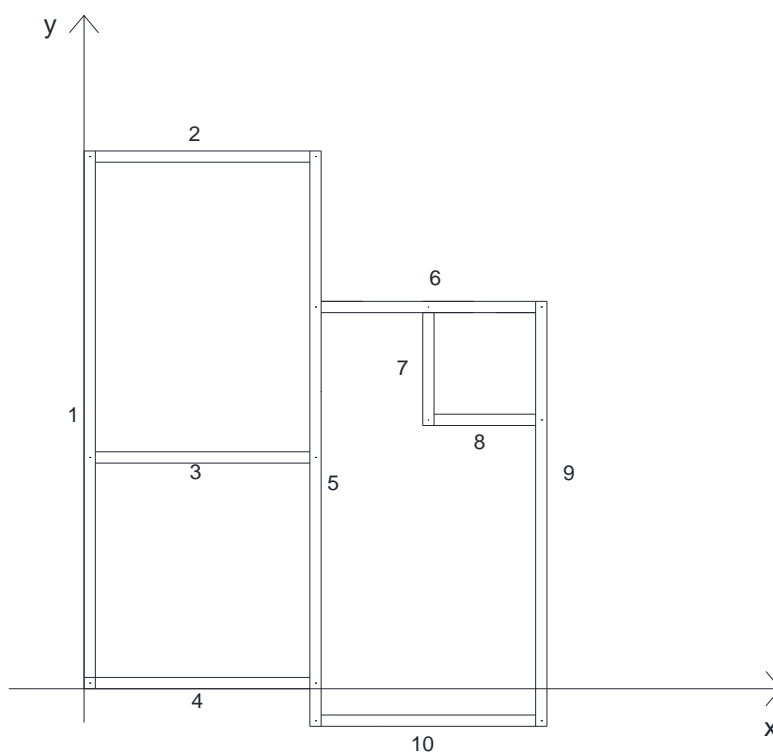
$$\bar{Y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{9433,8}{2808} = 3,36 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{9282,6}{2808} = 3,31 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{13} W_i = 2808 \text{ kg}$$

4.9.3 Pusat massa beban balok ring denah B

Berikut merupakan perhitungan pusat massa dari balok ring yang terbuat dari beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 15 cm. Gambar 4.33 menunjukkan penamaan masing-masing balok ring.



Gambar 4.33 Partisi balok ring denah B

Tabel 4.19 Hasil perhitungan pusat massa beban balok ring denah B

Balok Ring					
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	W_iy_i (kgm)	W_ix_i (kgm)
1	386,1	3,98	0,08	1535	29
2	153,9	7,88	1,58	1212	242
3	153,9	6,25	3,08	962	473
4	153,9	4,63	1,58	712	242
5	413,1	3,73	1,98	1539	816
6	153,9	2,83	1,58	435	242
7	81	0,08	2,84	6	229
8	72,9	1,53	3,08	111	224
9	305,1	5,33	4,33	1625	1320
10	153,9	5,58	5,58	858	858
Σ	2028			8994	4676

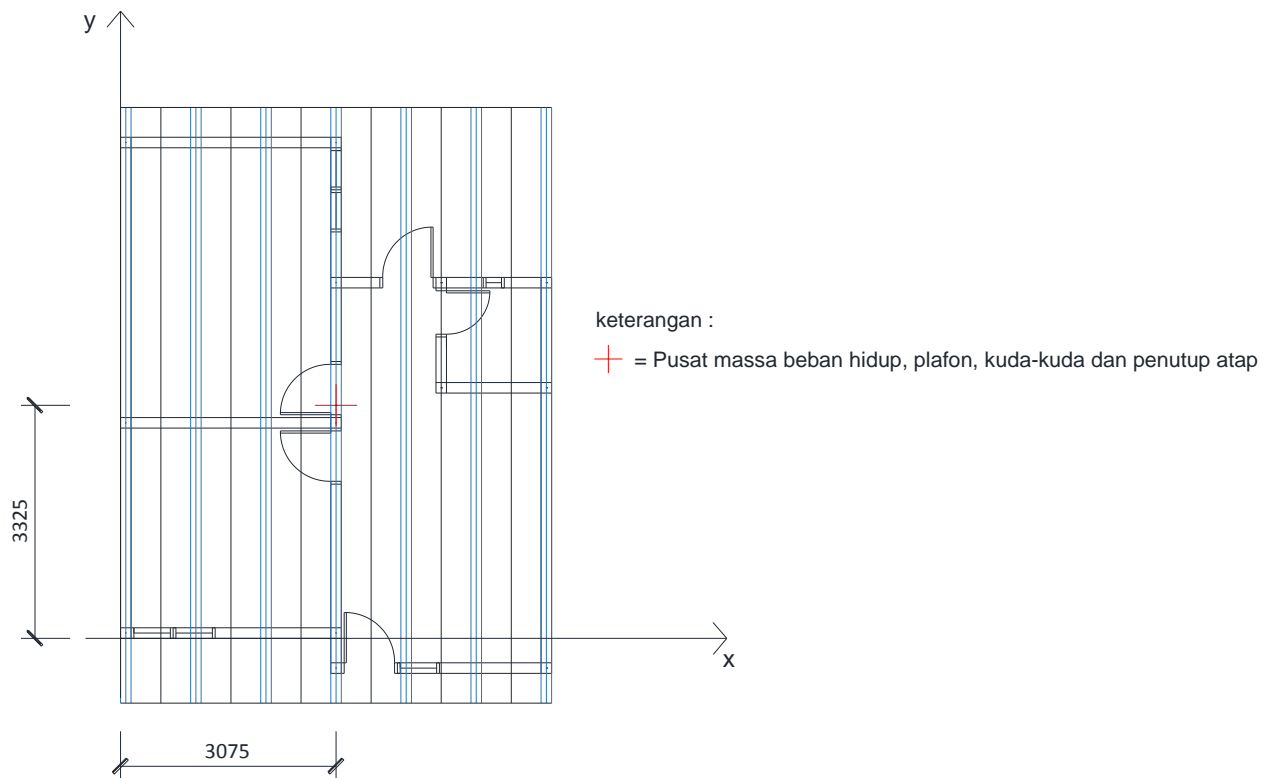
$$\bar{Y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{8994}{2028} = 4,44 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{4676}{2028} = 2,31 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{10} W_i = 2028 \text{ kg}$$

4.9.4 Pusat massa akibat beban hidup, penutup atap, plafon dan kuda-kuda denah B

Besar beban hidup, penutup atap, kuda-kuda, plafon telah dihitung pada subbab 4.8



Gambar 4.34 Letak pusat massa beban hidup, penutup atap, kuda-kuda, plafon denah B

Dari gambar 4.34 didapatkan pusat massa beban hidup, penutup atap, kuda-kuda dan plafon.

$$\bar{Y} = 3,33 \text{ m}$$

$$\bar{X} = 3,08 \text{ m}$$

$$\Sigma W_i = 4250,3 \text{ kg}$$

4.9.5 Pusat massa akibat seluruh beban denah B

Letak beban gempa didapatkan dari resultan pusat massa masing-masing beban yang telah dihitung di subbab 4.9.1 sampai dengan subbab 4.9.4. Perhitungan pusat massa beban dapat dilihat pada tabel 4.20.

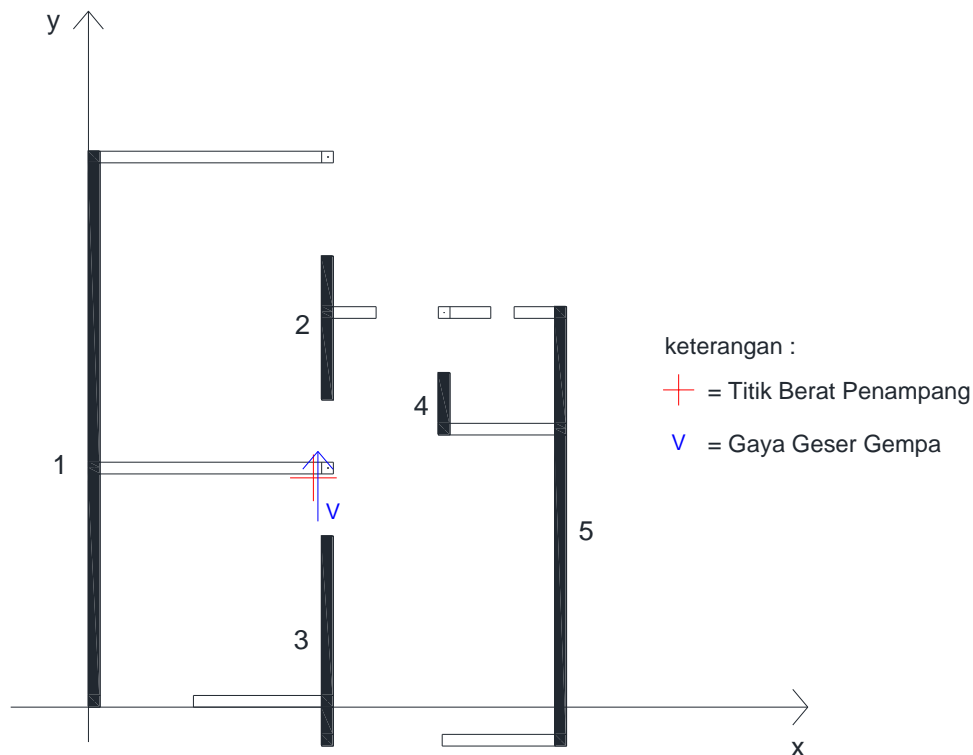
Tabel 4.20 Hasil perhitungan pusat massa semua beban denah B

Pusat Massa Semua Beban					
Beban	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
Bata	32000	3,21	2,95	102580	94233,75
Kolom	2808	3,36	3,31	9433,8	9282,6
Beban Hidup, Penutup Atap, Plafon dan Kuda-kuda	4250,3	3,33	3,08	14132,25	13069,68
Balok Ring	2027,7	4,44	2,31	8993,84	4675,79
Σ	41086			135139,89	121261,82

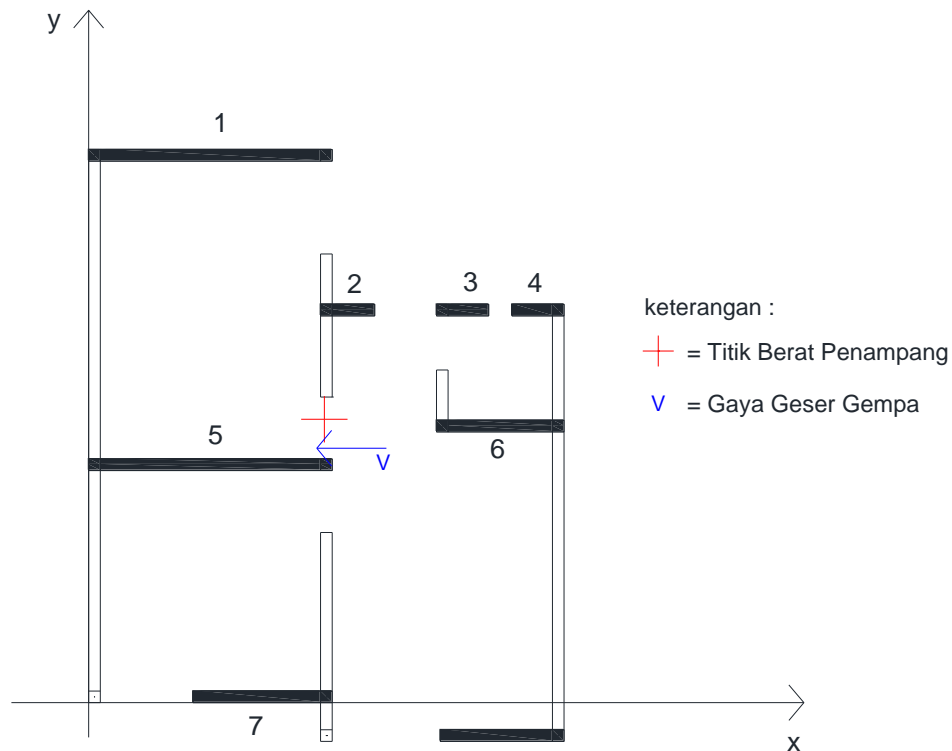
$$\bar{Y}_V = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{135139,89}{41086} = 3,29 \text{ m}$$

$$\bar{X}_V = \frac{\Sigma W_i x_i}{\Sigma W_i} = \frac{121261,82}{41086} = 2,95 \text{ m}$$

$$\Sigma W_i = 41086 \text{ kg}$$



Gambar 4.35 Letak beban gempa dan pusat massa penampang elemen dinding denah B searah sumbu y



Gambar 4.36 Letak beban gempa dan pusat massa penampang elemen dinding denah B searah sumbu x

4.10 Perhitungan Tegangan Geser Dinding Bata

4.10.1 Tegangan geser akibat torsi denah B

Gaya geser gempa (V) sebesar 18138,77 kg bekerja pada koordinat (3,29, 2,95).

- Torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu y
 - Mencari momen torsi M_x

Pusat massa penampang pada elemen dinding searah sumbu y didapat dari subbab 4.7.1

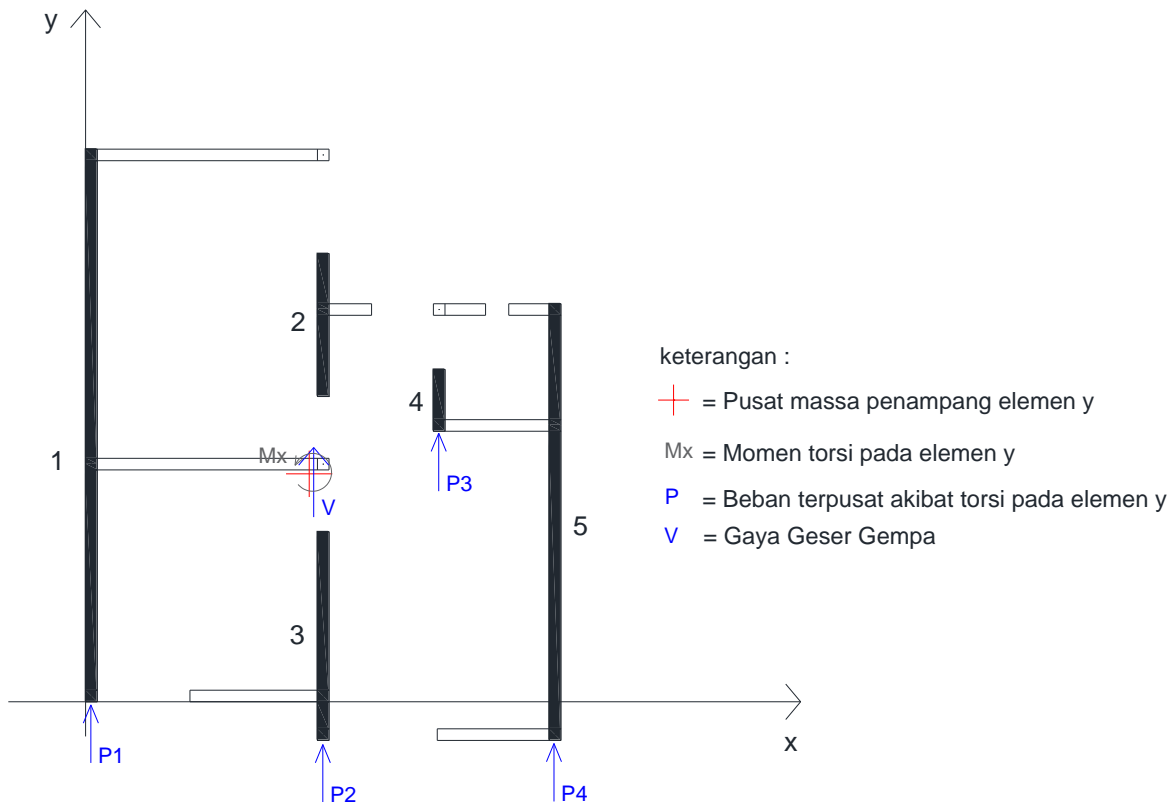
$$\bar{X}_x = 2,89 \text{ m}$$

Momen torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu y (M_x)

$$M_x = V \cdot (\bar{X}_x - \bar{X}_V) = 18138,77 \cdot (2,89 - 2,95) = -1056,27 \text{ kgm (berlawanan jarum jam)}$$

Momen torsi M_x bekerja pada pusat massa penampang elemen dinding searah sumbu y.

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



Gambar 4.37 Gaya geser pada masing-masing dinding denah B akibat torsi M_x

Perhitungan beban geser P akibat momen torsi M_x

Tabel 4.21 Hasil perhitungan gaya geser pada elemen dinding denah B searah sumbu y

	x_i (m)	x_i^2 (m ²)	P_i (kg)
1	2,82	7,94	-142,24
2	-0,18	0,03	9,18
3	-1,68	2,83	84,89
4	-3,18	10,12	160,59
Σ		20,93	

- Torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu x

Pusat massa penampang pada elemen dinding searah sumbu x yang didapat dari subbab 4.7.3

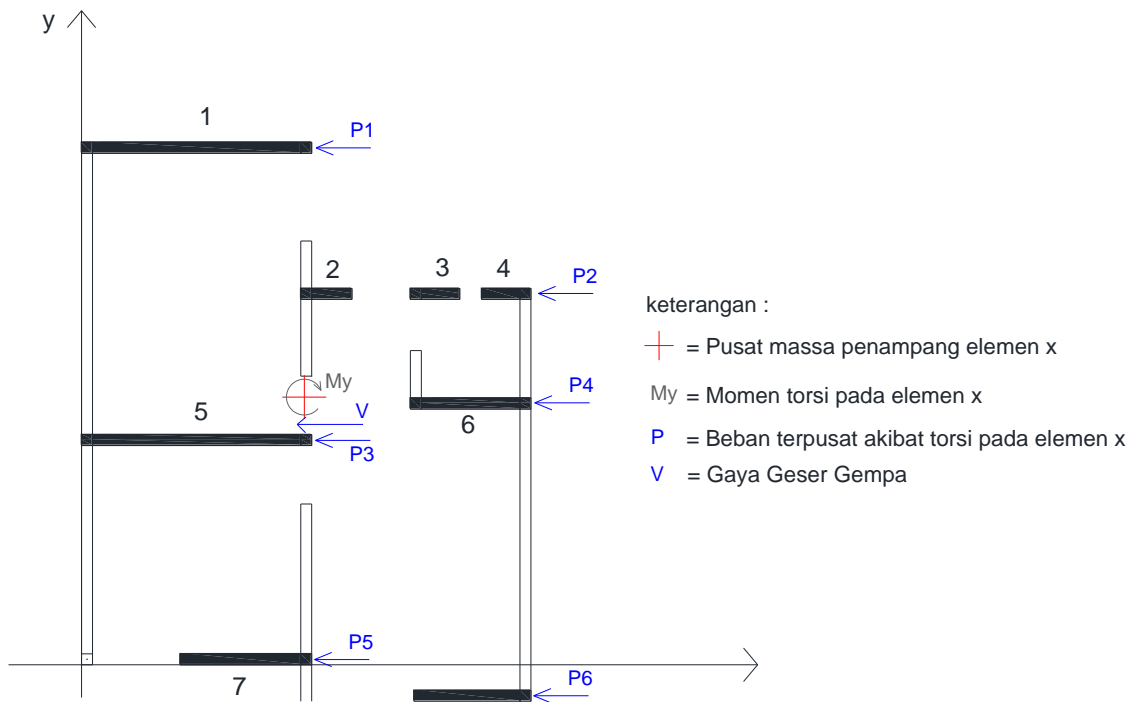
$$\bar{Y}_y = 3,66 \text{ m}$$

Momen torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu x (M_y)

$$M_y = V \cdot (\bar{Y}_y - \bar{Y}_V = 18138,77 \cdot (3,66 - 3,29) = 6788,21 \text{ kgm (searah jarum jam)}$$

Momen torsi M_y bekerja pada pusat massa penampang elemen dinding searah sumbu x

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



Gambar 4.38 Gaya geser pada masing-masing dinding denah B akibat torsi M_y
Perhitungan beban geser P akibat momen torsi M_y

Tabel 4.22 Hasil perhitungan gaya geser pada elemen dinding denah B searah sumbu x

	X_i (m)	X_i^2 (m ²)	P_i (kg)
1	-3,41	11,64	-620,04
2	-1,41	1,99	-256,55
3	0,59	0,35	106,95
4	0,09	0,008	16,07
5	3,59	12,88	652,18
6	3,24	10,49	588,58
Σ		37,35	

4.10.2 Tegangan geser akibat gaya geser gempa denah B

Karena mutu bahan dan inersia untuk masing-masing dinding sama, maka kekakuan (EI) sama sehingga gaya geser gempa bisa langsung dibagi dengan jumlah dinding (n).

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu y

Gaya geser gempa (V) terdistribusi secara merata terhadap dinding sejumlah (n), sehingga: Jumlah total gaya yang bekerja untuk elemen dinding searah sumbu y

$$n = 4$$

$$\frac{V}{n} = \frac{18138,77 \text{ kg}}{4} = 4534,7 \text{ kg}$$

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu x

Jumlah total gaya yang bekerja untuk elemen dinding searah sumbu x

$$n = 6$$

$$\frac{V}{n} = \frac{18138,77 \text{ kg}}{6} = 3023,1 \text{ kg}$$

4.10.3 Tegangan geser total denah B

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu y

Tabel 4.23 Hasil perhitungan gaya geser total elemen dinding denah B searah sumbu y

	P_i (kg)	dx (kg/cm²)
1	2880,89	0,27
2	3032,31	0,44
3	3108,01	2,59
4	3183,72	0,38

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu x

Tabel 4.24 Hasil perhitungan gaya geser total elemen dinding denah B searah sumbu x

	P_i (kg)	dy (kg/cm²)
1	2403,09	0,51
2	2766,58	0,9
3	3130,08	0,66
4	3039,2	1,23
5	3675,32	1,36
6	3611,71	1,51

4.11 Pembebanan Denah C

Untuk cara perhitungan pembebanan, statis momen, momen inersia, pembebanan gempa, letak beban gempa, dan tegangan dibawah dilakukan dengan cara yang sama dengan cara perhitungan untuk denah A dan B.

4.11.1 Beban mati denah C

Sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan pada Beton Bertulang Indonesia untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 (PPURG 1987), beban mati telah diatur sebagai berikut:

- Berat isi beton (γ_{beton}) = 2400 kg/m³
- Berat pasangan bata merah ½ batu 15 cm = 250 kg/m²
- Berat langit-langit = 11 kg/m²
- Berat penutup atap genteng = 50 kg/m²

Beban mati akibat kuda-kuda dengan rangka galvalum diambil dari hasil pencarian di internet. Untuk rangka galvalume dengan jenis ukuran 0,6 memiliki berat 4,7 kg/6m sehingga:

- Berat kuda-kuda galvalume = $\frac{4,7}{6} = 0,78$ kg/m

4.11.2 Beban hidup denah C

Sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan pada Beton Bertulang Indonesia untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 (PPURG 1987) pasal 2.1.2.2, beban hidup pada atap gedung diatur sebagai berikut:

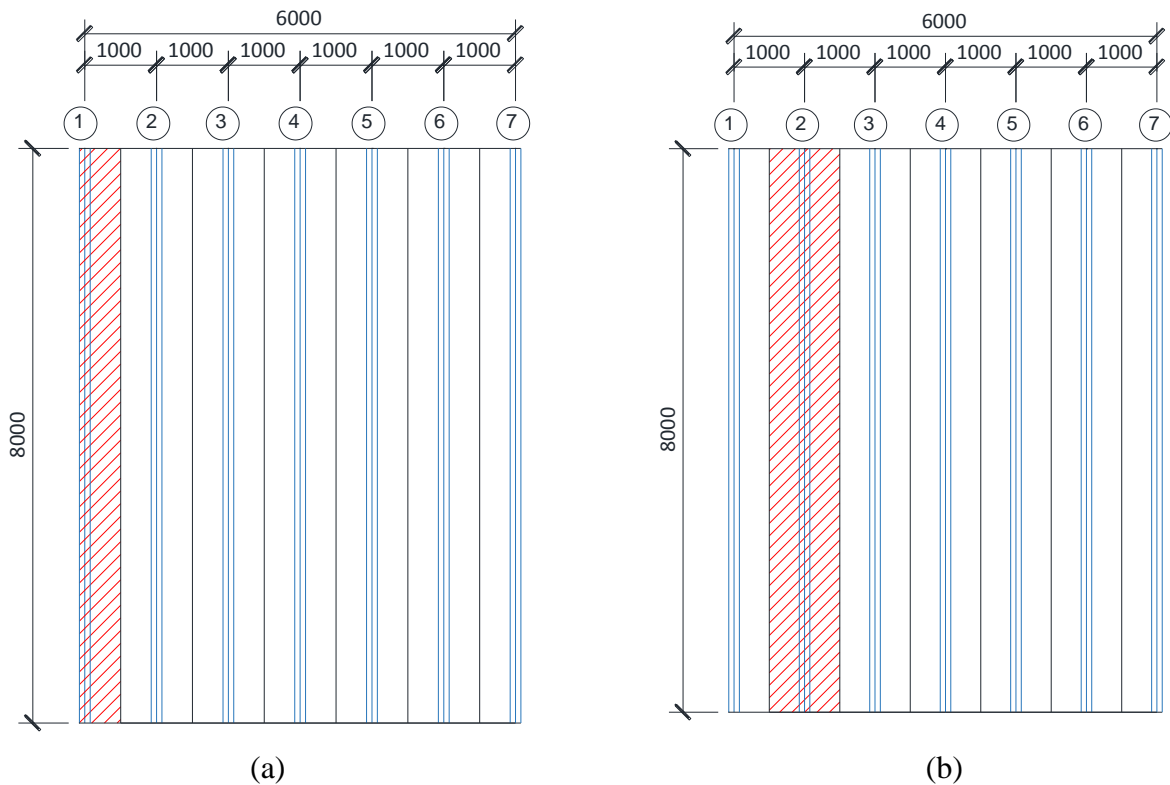
- Beban terbagi rata per m² bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar (40 - 0,8 α) kg/m² di mana α adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m² dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50°
 - Beban Hujan = (40 - 0,8 . 35) = 12 kg/m²
- Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.

4.11.3 Beban atap denah C

Sebagian dinding bata menahan beban yang diakibatkan oleh beban hidup atap, kuda-kuda, gording, dan plafon. Penutup atap denah B terbuat dari rangka galvalume

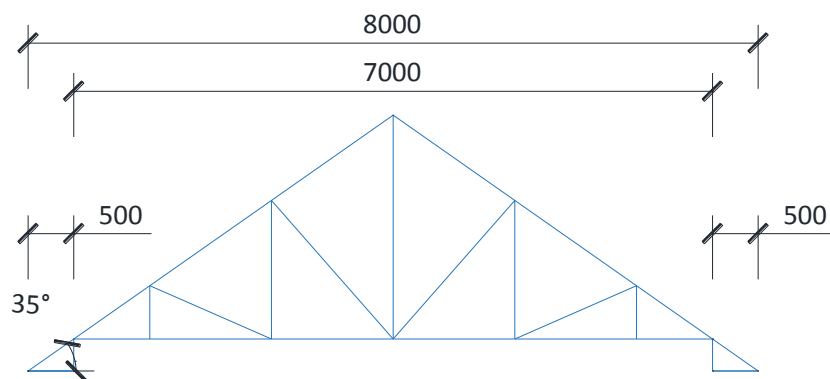
sehingga perhitungan gording tidak dimasukkan. Berikut merupakan perhitungan beban yang ditahan masing-masing kuda-kuda.

- **Pembebanan atap denah C**



Gambar 4.39 (a) area pembebanan kuda-kuda 1 dan 7, (b) area pembebanan kuda-kuda 2 sampai 6

a. Beban yang ditahan kuda-kuda 1 dan 7



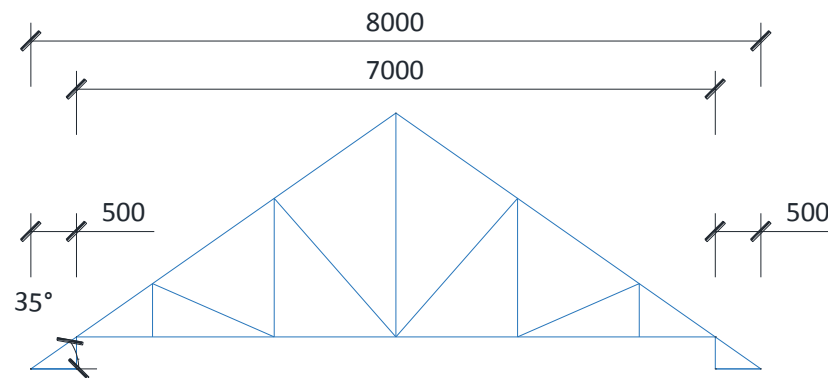
Gambar 4.40 Pembebanan kuda-kuda 1 dan 7 denah C

$$W_1 = W_7 = 0,5 \left(50 \cdot 2 \cdot \frac{4}{\cos 35^\circ} + 8 \cdot 11 + 12 \cdot 2 \cdot \frac{4}{\cos 35^\circ} \right) + 0,78 \cdot 33,071$$

$$W_1 = W_7 = 346,75 + 25,8$$

$$W_1 = W_7 = 372,55 \text{ kg}$$

b. Beban yang ditahan kuda-kuda 2 sampai 6



Gambar 4.41 Pembebanan kuda-kuda 2 sampai 6 denah C

$$W_2 = W_{3-6} = 1 \left(50 \cdot 2 \cdot \frac{4}{\cos 35^\circ} + 8 \cdot 11 + 12 \cdot 2 \cdot \frac{4}{\cos 35^\circ} \right) + 0,78 \cdot 33,071$$

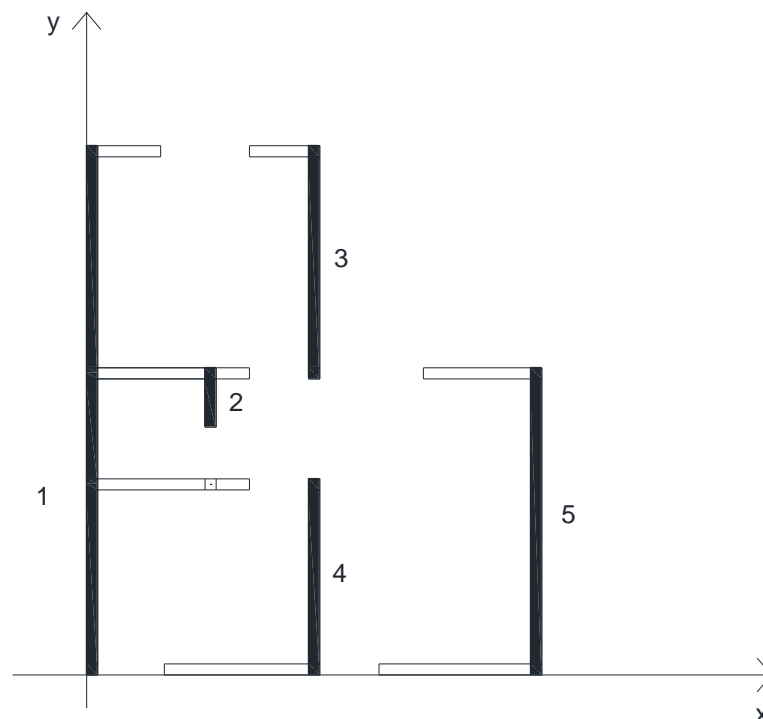
$$W_2 = W_{3-6} = 693,5 + 25,8$$

$$W_2 = W_{3-6} = 719,3 \text{ kg}$$

4.12 Perhitungan Momen Inersia

4.12.1 Mencari titik berat denah C terhadap sumbu x

Sama seperti pada perhitungan momen inersia untuk denah A dan B, tidak semua elemen dinding efektif didalam menahan gaya gempa searah sumbu y. Elemen dinding-dinding yang efektif dalam menahan gaya gempa searah sumbu y ditunjukkan pada gambar 4.42



Gambar 4.42 Partisi profil denah C terhadap sumbu x

Tabel 4.25 Hasil perhitungan statis momen denah C terhadap sumbu x

Partisi Dinding	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)
1	1,07	3,58	0,08	3,83	0,08
2	0,12	3,75	1,68	0,45	0,2
3	0,47	5,58	3,08	2,63	1,45
4	0,4	1,33	3,08	0,53	1,22
5	0,62	2,08	6,08	1,29	3,78
Σ	2,69			8,74	6,74

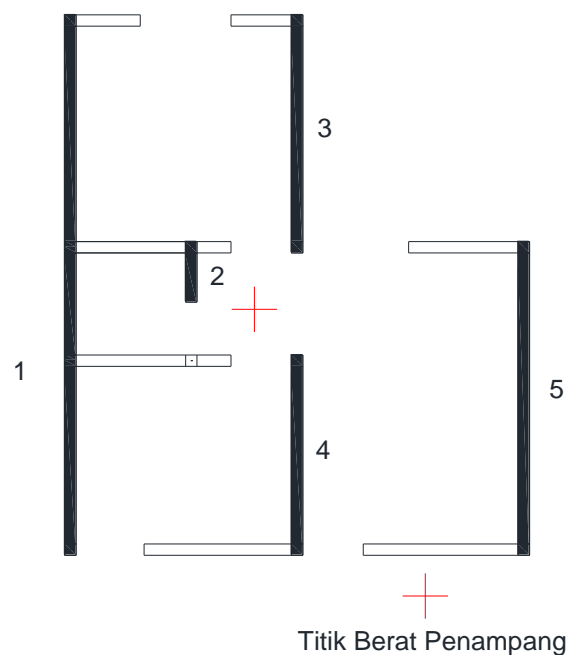
- Titik berat sumbu y

$$\bar{Y}_x = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A_i} = \frac{8,74}{2,69} = 3,25 \text{ m}$$

- Titik berat sumbu x

$$\bar{X}_x = \frac{\Sigma A_i x_i}{\Sigma A_i} = \frac{6,74}{2,69} = 2,51 \text{ m}$$

4.12.2 Mencari momen inersia denah C terhadap sumbu x

**Gambar 4.43** Titik berat penampang denah C terhadap sumbu x

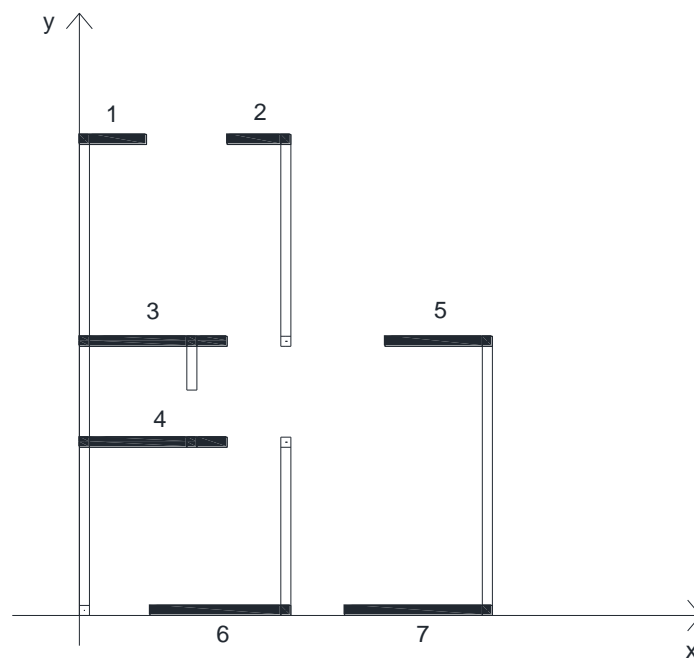
Tabel 4.26 Hasil perhitungan momen inersia denah C terhadap sumbu x

Partisi Dinding	A_i (m ²)	$A_i(y_i-\bar{y})^2$ (m ⁴)	I_{x_i} (m ⁴)
1	1,07	0,11	4,29
2	0,12	0,03	0,006
3	0,47	2,55	0,34
4	0,4	1,48	0,2
5	0,62	0,87	0,8
Σ	2,69	5,03	5,63

- Momen Inersia terhadap sumbu x

$$I_x = \Sigma A_i(y_i-\bar{y})^2 + \Sigma I_{x_i} = 5,03 + 5,63 = 10,57 \text{ m}^4$$

4.12.3 Mencari titik berat denah C terhadap sumbu y

**Gambar 4.44** Partisi profil denah C terhadap sumbu y

Tabel 4.27 Hasil perhitungan statis momen denah C terhadap sumbu y

Partisi Dinding	A_i (m ²)	y_i (m)	x_i (m)	$A_i y_i$ (m ³)	$A_i x_i$ (m ³)
1	0,15	7,08	0,5	1,06	0,08
2	0,14	7,08	2,68	1,01	0,38
3	0,33	4,08	1,1	1,35	0,36
4	0,33	2,58	1,1	0,85	0,36
5	0,24	4,08	5,35	0,98	1,28
6	0,32	0,08	2,1	0,02	0,66
7	0,33	0,08	5,05	0,03	1,67
Σ	1,84			5,29	4,79

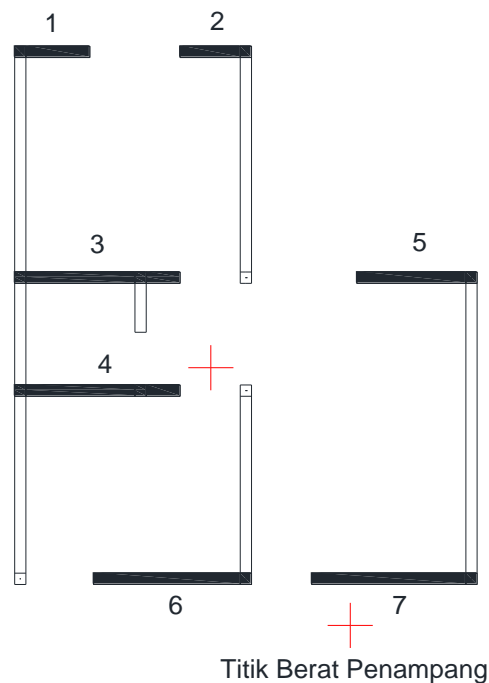
- Titik berat sumbu y

$$\bar{Y}_y = \frac{\Sigma A_i y_i}{\Sigma A_i} = \frac{5,29}{1,84} = 2,88 \text{ m}$$

- Titik berat sumbu x

$$\bar{X}_y = \frac{\Sigma A_i x_i}{\Sigma A_i} = \frac{4,79}{1,84} = 2,61 \text{ m}$$

4.12.4 Mencari momen inersia denah C terhadap sumbu y

**Gambar 4.45** Letak titik berat penampang denah C terhadap sumbu y

Tabel 4.28 Hasil perhitungan momen inersia denah C terhadap sumbu y

Partisi Dinding	A_i (m ²)	$A_i(x_i-\bar{x})^2$ (m ⁴)	I_{y_i} (m ⁴)
1	0,15	0,67	0,00051
2	0,14	0,0006	0,00051
3	0,33	0,75	0,00062
4	0,33	0,75	0,00062
5	0,24	1,8	0,00045
6	0,32	0,08	0,00059
7	0,33	1,97	0,00062
Σ	1,84	6,02	0,00391

- Momen inersia terhadap sumbu y

$$I_y = \Sigma A_i(x_i-\bar{x})^2 + \Sigma I_{y_i} = 6,02 + 0,00391 = 6,03 \text{ m}^4$$

4.13 Pembebanan gempa

4.13.1 Pembebanan gempa denah C

a. Berat Total Bangunan (W_{total})

- Luas Atap : $((2 \cdot \frac{4}{\cos 35^\circ}) \cdot 6) = 58,6 \text{ m}^2$
- Luas langit-langit : $(8 \cdot 6) = 48 \text{ m}^2$
- Panjang total balok : 35,55 m
- Panjang total bukaan : $(0,6 \cdot 4) + 0,3 + 0,7 + (0,8 \cdot 4) = 6,6 \text{ m}$
- Panjang total tembok : $35,55 - 6,6 - (0,15 \cdot 12) = 27,15 \text{ m}$
- Panjang kuda-kuda : 33,07 m

Beban mati:

- Penutup atap : $50 \cdot 58,6 = 2930 \text{ kg}$
- Kuda-kuda : $0,78 \cdot (33,07 \cdot 12) = 310 \text{ kg}$
- Plafon : $48 \cdot 11 = 528 \text{ kg}$
- Balok ring : $2400 \cdot 0,15 \cdot 0,15 \cdot 35,55 = 1920 \text{ kg}$
- Kolom : $12 \cdot 2400 \cdot 4 \cdot 0,15 \cdot 0,15 = 2592 \text{ kg}$
- Tembok : $250 (4 \cdot 27,15 + 2 \cdot 6,6) = 30450 \text{ kg} +$

$$W_1 = 38729 \text{ kg}$$

Beban hidup:

Beban hidup untuk menghitung gaya gempa dapat dikalikan dengan suatu koefisien yang bergantung pada fungsi bangunan (PPURG 1987, Tabel 4). Fungsi bangunan adalah sebagai rumah tinggal sehingga dapat dikalikan dengan koefisien 0,3.

- W_2 : $0,3 \cdot 12 \cdot 58,6$ = 211 kg
- W_{total} : $W_1 + W_2 = 38729 + 11$ = 38940 kg

b. Faktor Keutamaan Gempa (I_e)

Fungsi bangunan adalah untuk sebagai rumah tinggal, sehingga nilai faktor keutamaan gempa adalah sebesar 1.

c. Koefisien Modifikasi Respons (R)

Bangunan rumah yang dibahas dalam skripsi ini menggunakan sistem dinding penumpu khususnya sistem dinding geser batu bata polos biasa dengan nilai koefisien modifikasi respons sebesar 1,5.

d. Koefisien Respons Seismik (C_s)

- Periode fundamental pendekatan struktur (T_a)

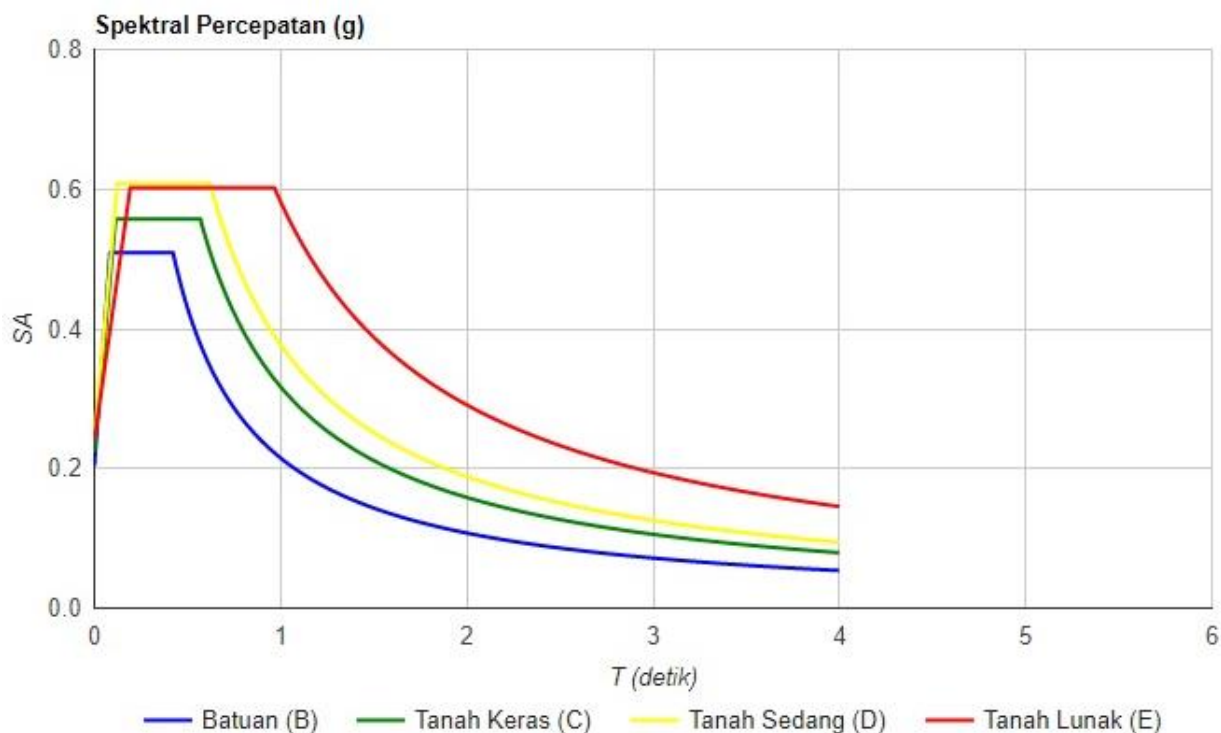
$$T_a = 0,0488 h_n^{0,75} = 0,0488 \cdot 4^{0,75} = 0,14 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.2, sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur, T , diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_a , sehingga:

$$T_a = T = 0,138 \text{ detik}$$

Dengan menggunakan aplikasi yang telah disediakan oleh Dinas Pekerjaan Umum (PU), didapatkan grafik Respons Spektrum Permukaan rumah tinggal yang terletak pada koordinat $7^\circ 54' 51.72''$ Lintang Selatan, dan $112^\circ 36' 51.43''$ Bujur Timur.

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



Gambar 4.46 Grafik respons spektral percepatan permukaan denah C
 Sumber : (puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011)

Kondisi tanah di area lokasi rumah tinggal B merupakan tanah sedang. Nilai S_s dapat dicari dengan menggunakan metode interpolasi. Dari grafik gambar 4.46 maka didapatkan:

$$S_{0,13} = 0,596 \text{ g}$$

$$S_{0,14} = 0,608 \text{ g}$$

$$T = 0,138 \text{ detik}$$

$$S_a = S_{0,13} + (S_{0,14} - S_{0,13})(T - 0,11) \cdot 100$$

$$S_a = 0,596 + (0,608 - 0,596)(0,138 - 0,11) \cdot 100$$

$$S_a = 0,63 \text{ g}$$

$$C_s (\text{hitungan}) = S_a / (R / I_e) = 0,63 / (1,5/1) = 0,42$$

$$C_s (\text{min}) = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,608 \cdot 1 = 0,027 \geq 0,01 \text{ (ok)}$$

$$C_s (\text{maks}) = S_I / (T (R / I_e)) = 0,322 / (0,14 (1,5/1)) = 1,56$$

$$C_s = 0,42$$

e. Gaya Geser Dasar Seismik (V)

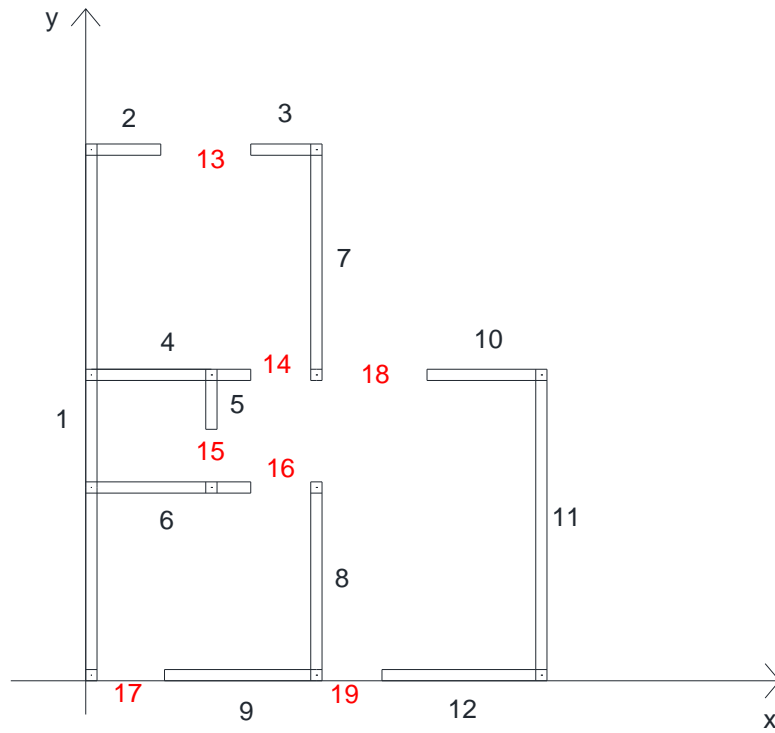
Gaya geser gempa total yang terjadi pada bangunan sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012 adalah sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W_{\text{total}} = 0,42 \cdot 38940 = 16345,29 \text{ kg}$$

4.14 Letak Beban Gempa

4.14.1 Pusat massa beban tembok denah C

Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari tembok, yang terdiri dari pasangan bata merah dan acian.



Gambar 4.47 Partisi dinding bata denah C

Tabel 4.29 Hasil perhitungan pusat massa dinding bata denah C

Dinding Bata					
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	W_iy_i (kgm)	W_ix_i (kgm)
1	6550	3,58	0,08	23416	491
2	850	7,08	0,5	6014	425
3	800	7,08	2,68	5660	2140
4	1900	4,08	1,1	7743	2090
5	650	3,58	1,68	2324	1089
6	1900	2,58	1,1	4893	2090
7	2850	5,58	3,08	15889	8764
8	2350	1,33	3,08	3114	7226
9	1950	0,08	2,1	146	4095
10	1450	4,08	5,35	5909	7758
11	3850	2,08	6,08	7989	23389
12	2050	0,08	5,05	154	10353
13	600	7,08	1,6	4245	960
14	400	4,08	2,6	1630	1040
15	350	3	1,68	1050	586
16	400	2,58	2,6	1030	1040
17	450	0,08	0,6	34	270
18	700	4,08	3,85	2853	2695
19	400	0,08	3,55	30	1420
Σ	30450			94120	77920

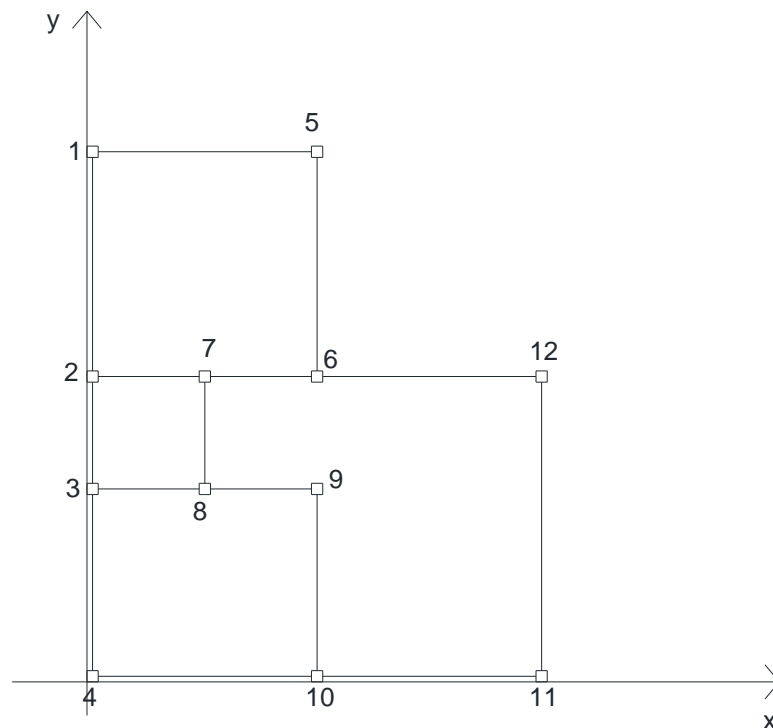
$$\bar{Y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{94120}{30450} = 3,09 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{77920}{30450} = 2,56 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{19} W_i = 30450 \text{ kg}$$

4.14.2 Pusat massa beban kolom denah C

Berikut adalah perhitungan pusat massa beban dari kolom beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 15 cm.



Gambar 4.48 Penamaan kolom beton denah C

Tabel 4.30 Hasil perhitungan pusat massa kolom beton denah C

Kolom						
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)	
1	216	7,08	0,08	1528,2	16,2	
2	216	4,08	0,08	880,2	16,2	
3	216	2,58	0,08	556,2	16,2	
4	216	0,08	0,08	16,2	16,2	
5	216	7,08	3,08	1528,2	664,2	
6	216	4,08	3,08	880,2	664,2	
7	216	4,08	1,58	880,2	340,2	
8	216	2,58	1,58	556,2	340,2	
9	216	2,58	3,08	556,2	664,2	
10	216	0,08	3,08	16,2	664,2	
11	216	0,08	6,08	16,2	1312,2	
12	216	4,08	6,08	880,2	1312,2	
Σ	2592			8294,4	6026,4	

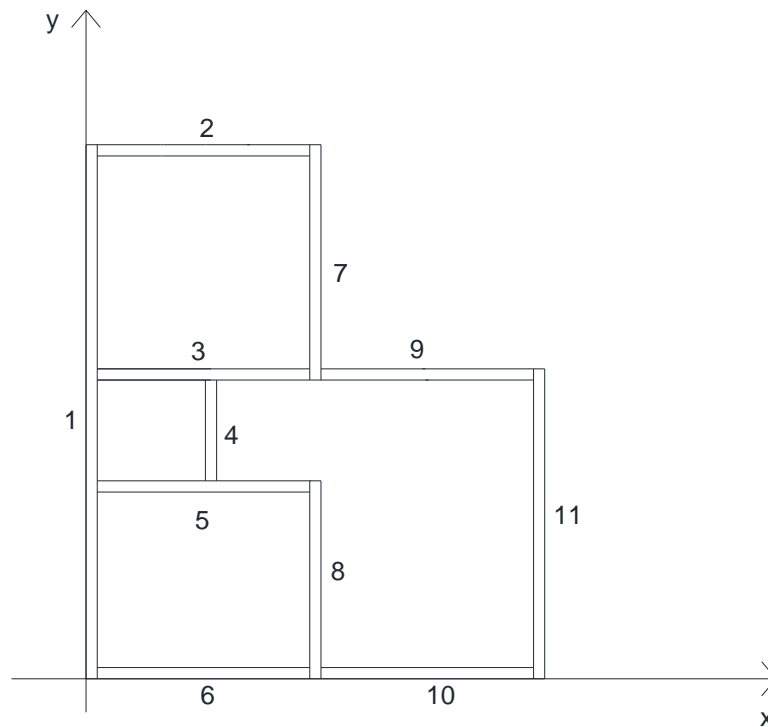
$$\bar{Y} = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{8294,4}{2592} = 3,2 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{6026,4}{2592} = 2,33 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{12} W_i = 2592 \text{ kg}$$

4.14.3 Pusat massa beban balok ring denah C

Berikut merupakan perhitungan pusat massa dari balok ring yang terbuat dari beton bertulang dengan ukuran 15 cm x 15 cm.



Gambar 4.49 Partisi balok ring denah C

Tabel 4.31 Hasil perhitungan pusat massa beban balok ring denah C

Balok Ring					
No	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
1	386,1	3,8	0,08	1380	29
2	153,9	7,08	1,58	1089	242
3	153,9	4,08	1,58	627	242
4	72,9	3,34	1,68	242	122
5	153,9	2,58	1,58	396	242
6	153,9	0,08	1,58	12	242
7	170,1	5,58	3,08	948	523
8	143,1	1,33	3,08	190	440
9	153,9	4,08	4,58	627	704
10	153,9	0,08	4,58	12	704
11	224,1	2,08	6,08	465	1361
Σ	1919,7			5988	4853

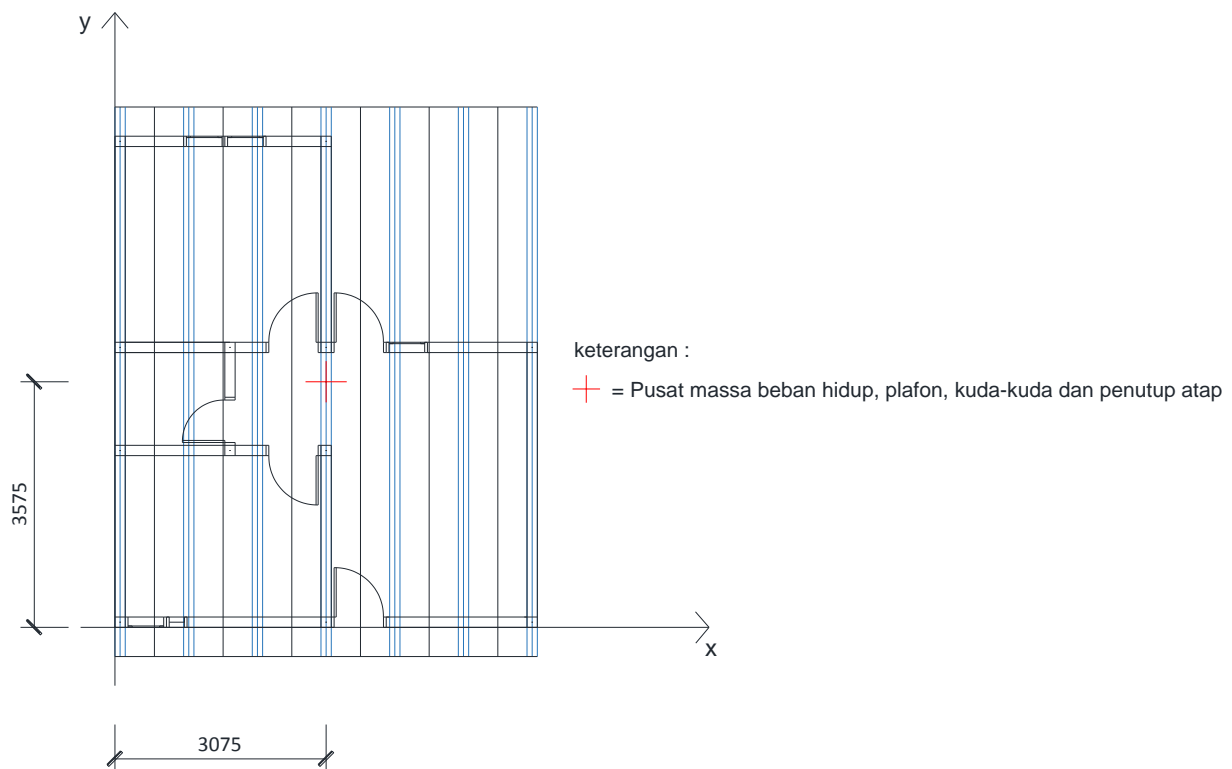
$$\bar{Y} = \frac{\sum W_i y_i}{\sum W_i} = \frac{5988}{1919,7} = 3,12 \text{ m}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum W_i x_i}{\sum W_i} = \frac{4853}{1919,7} = 2,53 \text{ m}$$

$$\sum_{i=1}^{11} W_i = 1920 \text{ kg}$$

4.11.1 Pusat massa akibat beban hidup, penutup atap, plafon dan kuda-kuda denah C

Besar beban hidup, penutup atap, kuda-kuda, plafon telah dihitung pada subbab 4.13



Gambar 4.50 Letak pusat massa beban hidup, penutup atap, kuda-kuda plafon denah C

Dari gambar 4.50 didapatkan pusat massa beban hidup, penutup atap, kuda-kuda dan plafon

$$\bar{Y} = 3,575 \text{ m}$$

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

$$\sum W_i = 3978,35 \text{ kg}$$

4.14.4 Pusat massa akibat seluruh beban

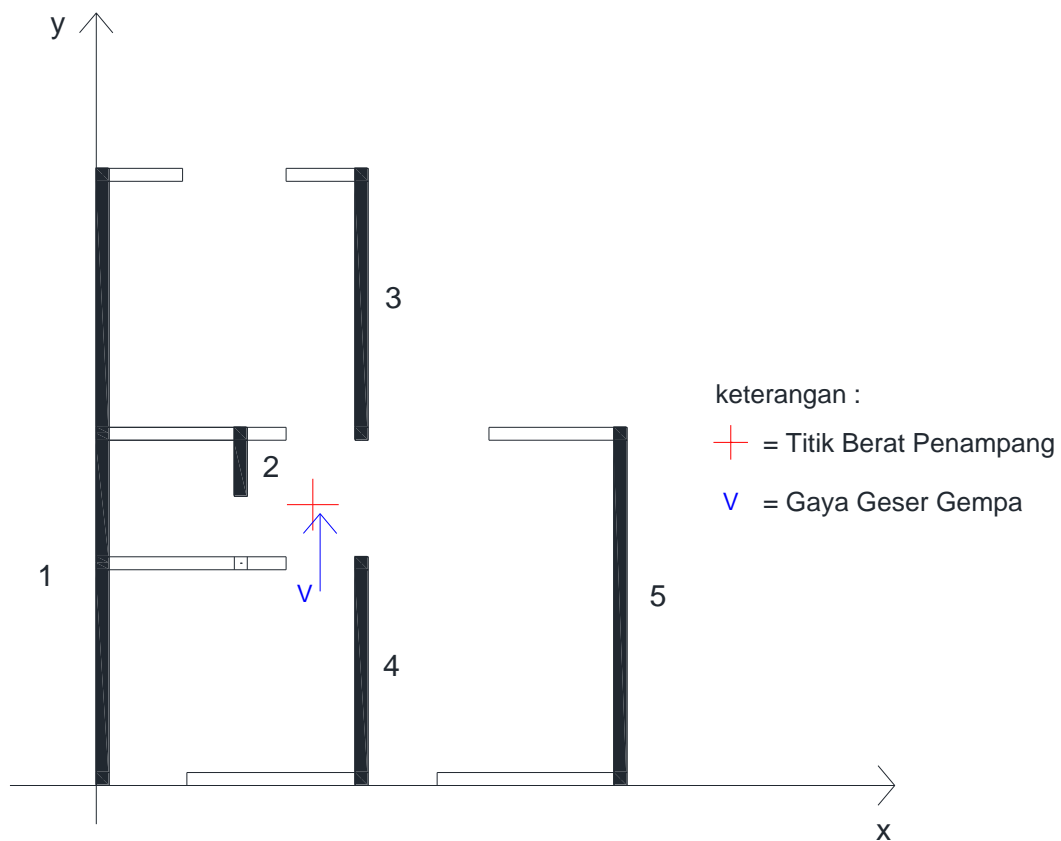
Tabel 4.32 Hasil perhitungan pusat massa semua beban denah C

Pusat Massa Semua Beban					
Beban	W_i (kg)	y_i (m)	x_i (m)	$W_i y_i$ (kgm)	$W_i x_i$ (kgm)
Bata	30450	3,09	2,56	94120	77920
Kolom	2592	3,2	2,33	8294,4	6026,4
Beban Hidup, Penutup Atap, Plafon dan Kuda-kuda	3978,3	3,58	3,08	14222,61	12233,44
Balok Ring	1919,7	3,12	2,53	5988,12	4853,32
Σ	38940			122625,14	101033,15

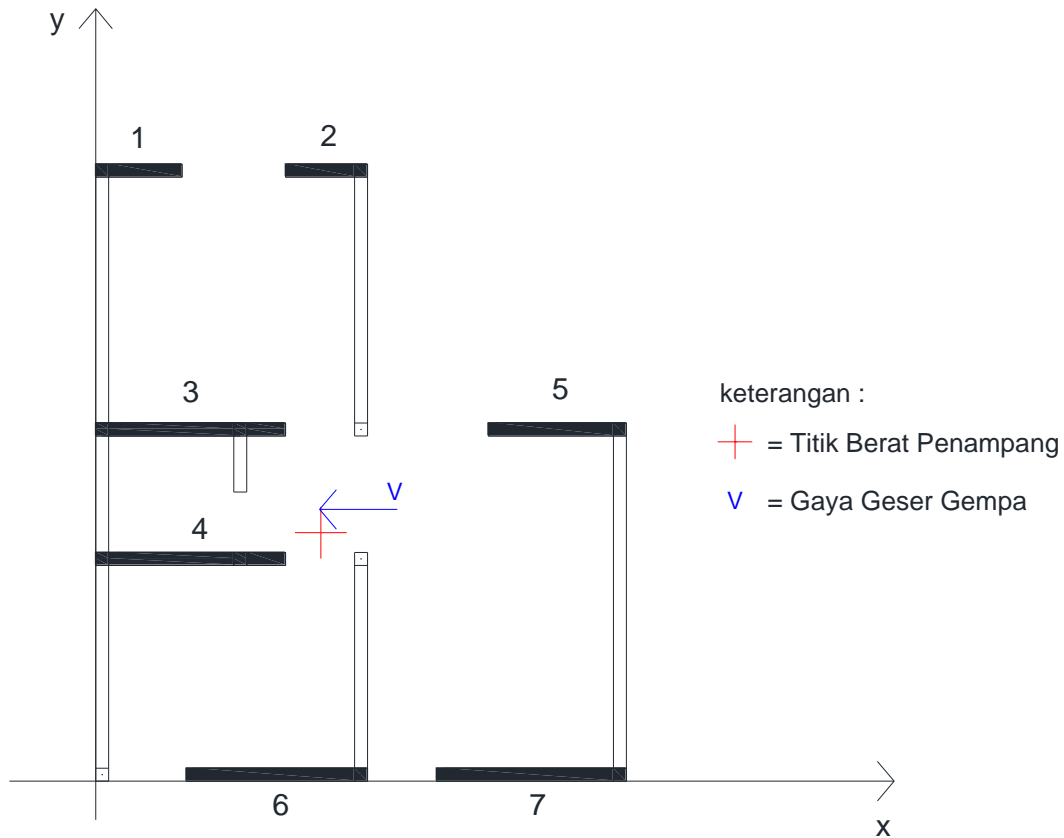
$$\bar{Y}_V = \frac{\Sigma W_i y_i}{\Sigma W_i} = \frac{122625,14}{38940} = 3,15 \text{ m}$$

$$\bar{X}_V = \frac{\Sigma W_i x_i}{\Sigma W_i} = \frac{101033,15}{38940} = 2,6 \text{ m}$$

$$\Sigma W_i = 38940 \text{ kg}$$



Gambar 4.51 Letak beban gempa dan pusat massa penampang elemen dinding denah C searah sumbu y



Gambar 4.52 Letak beban gempa dan pusat massa penampang elemen dinding denah C searah sumbu x

4.15 Perhitungan Tegangan Geser Dinding Bata

4.15.1 Tegangan geser akibat torsi denah C

Gaya geser gempa (V) sebesar 16345,29 kg bekerja pada koordinat (3,15, 2,6).

- Torsi pada penampang elemen dinding terhadap sumbu y
 - Mencari momen torsi M_x

Pusat massa penampang pada elemen dinding searah sumbu y didapat dari subbab 4.12.1

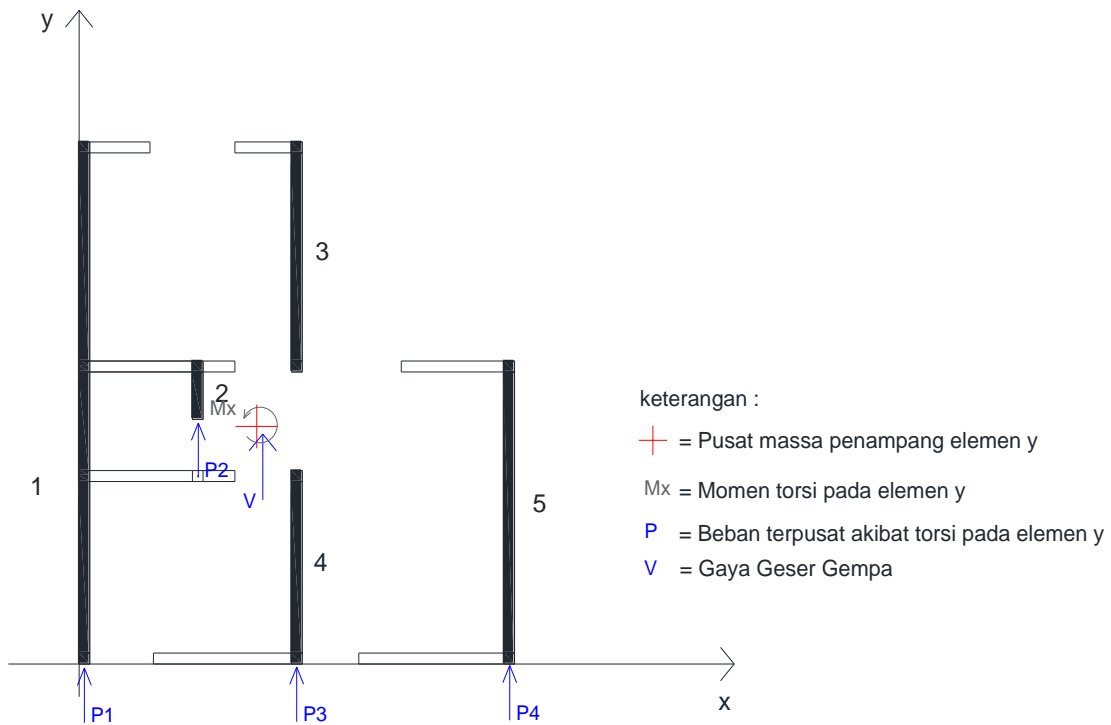
$$\bar{X}_x = 2,51 \text{ m}$$

Momen torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu y (M_x)

$$M_x = V \cdot (\bar{X}_x - \bar{X}_V) = 16345,29 \cdot (2,51 - 2,6) = -1388,45 \text{ kgm (berlawanan jarum jam)}$$

Momen torsi M_x bekerja pada pusat massa penampang elemen dinding searah sumbu y.

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



Gambar 4.53 Gaya geser pada masing-masing dinding denah C akibat torsi M_x

Perhitungan beban geser P akibat momen torsi M_x

Tabel 4.33 Hasil perhitungan gaya geser pada elemen dinding denah C searah sumbu y

	x_i (m)	x_i^2 (m ²)	P_i (kg)
1	2,44	5,93	-171,98
2	0,84	0,7	-58,96
3	-0,57	0,32	39,94
4	-3,57	12,71	251,85
Σ		19,66	

- Torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu x

Pusat massa penampang pada elemen dinding searah sumbu x didapat dari subbab 4.12.3

$$\bar{Y}_y = 2,88 \text{ m}$$

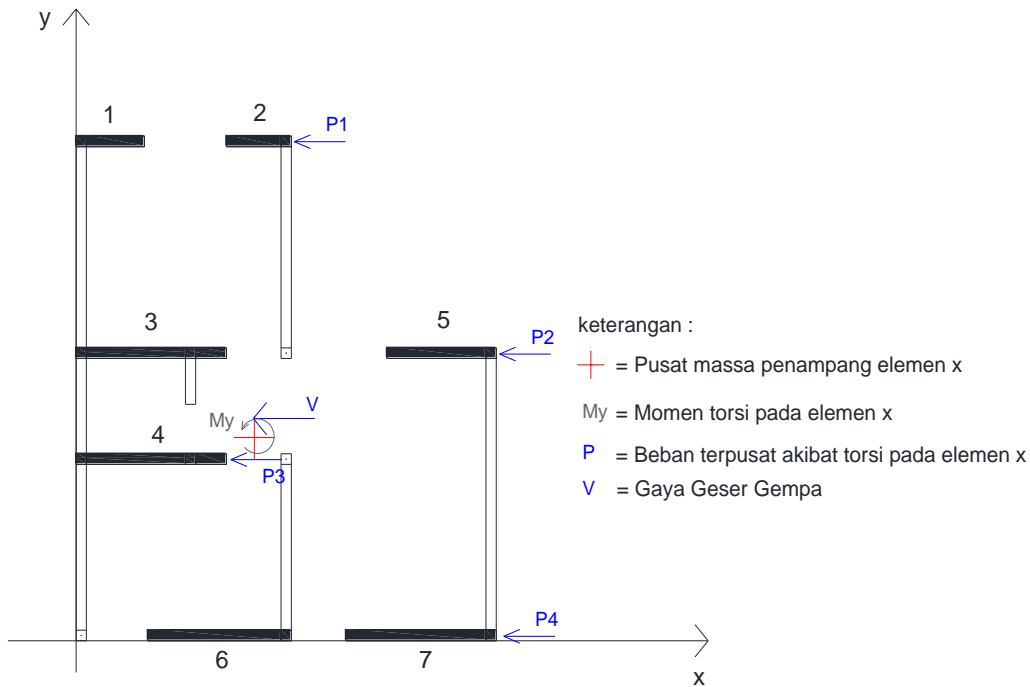
Momen torsi pada penampang elemen dinding searah sumbu x (M_y)

$$M_y = V \cdot (\bar{Y}_y - \bar{Y}_V = 16345,29 \cdot (2,88 - 3,15) = -4413,12 \text{ kgm (berlawanan jarum jam)}$$

Momen torsi M_y bekerja pada pusat massa penampang elemen dinding searah sumbu x

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

$$M_y$$



Gambar 4.54 Gaya geser pada masing-masing dinding denah C akibat torsi M_y

Perhitungan beban geser P akibat momen torsi M_y

Tabel 4.34 Hasil perhitungan gaya geser pada elemen dinding denah C searah sumbu x

	x_i (m)	x_i^2 (m ²)	P_i (kg)
1	-4,2	17,61	686,04
2	-1,2	1,43	195,53
3	0,3	0,09	-49,72
4	2,8	7,86	-458,47
Σ		26,99	

4.15.2 Tegangan geser akibat gaya geser gempa denah C

Karena mutu bahan dan inersia untuk masing-masing dinding sama, maka kekakuan (EI) sama sehingga gaya geser gempa bisa langsung dibagi dengan jumlah dinding (n).

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu y

Gaya geser gempa (V) terdistribusi secara merata terhadap dinding sejumlah (n), sehingga:

Jumlah total gaya yang bekerja untuk elemen dinding searah sumbu y

$$n = 4$$

$$\frac{V}{n} = \frac{16345,29 \text{ kg}}{4} = 4086,3 \text{ kg}$$

- Tegangan geser akibat gaya geser gempa searah sumbu x

Jumlah total gaya yang bekerja untuk elemen dinding searah sumbu x

$$n = 4$$

$$\frac{V}{n} = \frac{16345,29 \text{ kg}}{4} = 4086,3 \text{ kg}$$

4.15.3 Tegangan geser total denah C

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu y

Tabel 4.35 Hasil perhitungan gaya geser total elemen dinding denah C searah sumbu y

	P_i (kg)	dx (kg/cm²)
1	3914,34	0,37
2	4027,36	3,36
3	4126,26	0,47
4	4338,18	0,7

- Tegangan geser total akibat beban searah sumbu x

Tabel 4.36 Hasil perhitungan gaya geser total elemen dinding denah C searah sumbu x

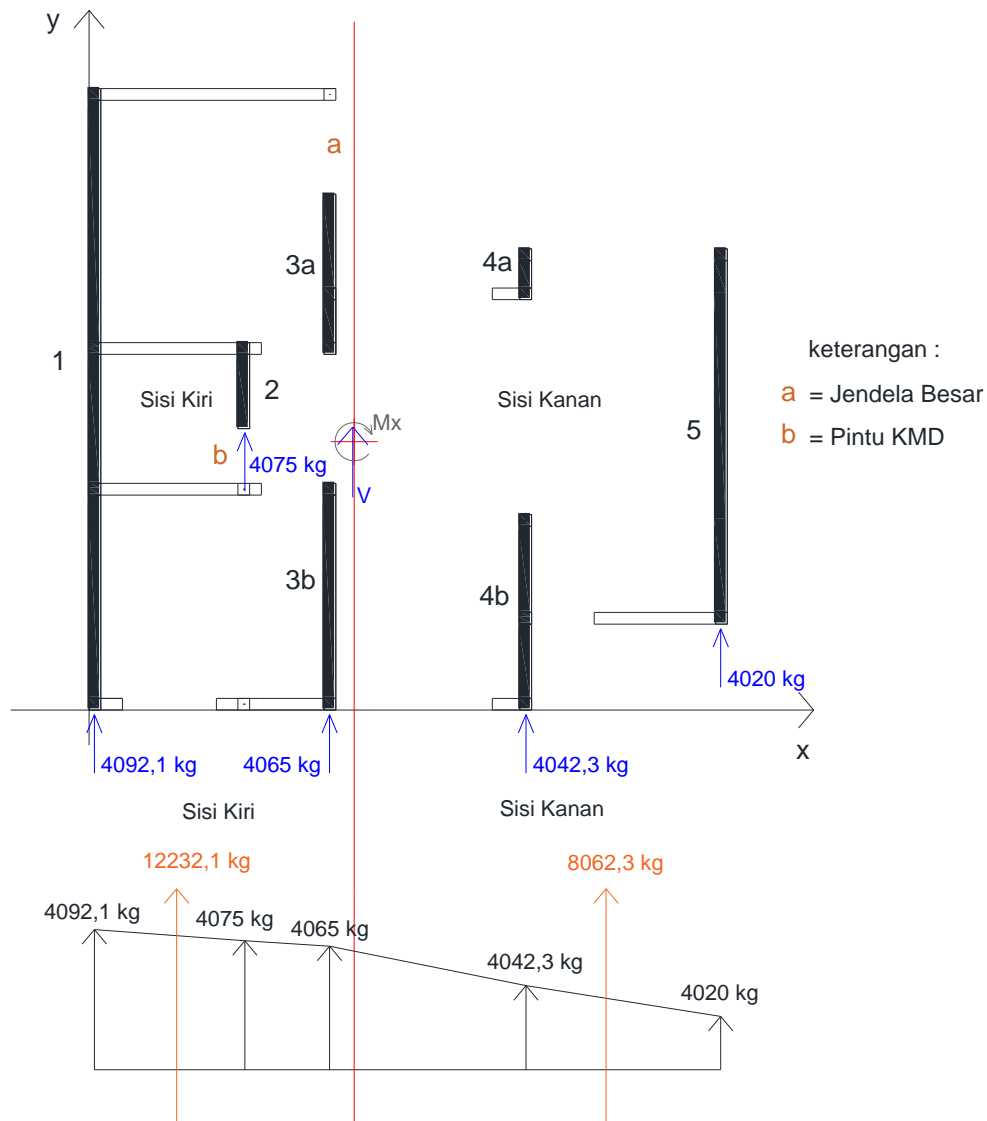
	P_i (kg)	dx (kg/cm²)
1	4772,36	1,63
2	4281,86	0,75
3	4036,6	1,22
4	3627,85	0,56

4.16 Perhitungan Persentase Bukaannya

4.16.1 Persentase bukaan denah A

Berikut merupakan perhitungan persentase bukaan untuk denah A. Penamaan masing-masing bukaan dan dinding serta distribusi gaya geser ditunjukkan pada gambar 4.55 dan gambar 4.56

- Bukaan pada penampang elemen dinding searah sumbu y



Gambar 4.55 Distribusi gaya geser pada elemen dinding denah A searah sumbu y

Pada gambar 4.55 terdapat bukaan meliputi a dan b yang merupakan jendela dan pintu kamar mandi sehingga.

$$L_{\text{jendela besar}} = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ m}$$

$$L_{\text{pintu KMD}} = 0,35 \text{ m}$$

$$L_{\text{bukaan}} = a + b = 0,6 + 0,35 = 0,95 \text{ m}$$

dan pada subbab 4.4.3 telah diketahui partisi balok pada penampang searah sumbu y meliputi balok 1,3,5,8,10,12 dan 14 sehingga.

$$\begin{aligned} L_{\text{balok}} &= L_1 + L_3 + L_5 + L_8 + L_{10} + L_{12} + L_{14} \\ &= 7,95 + 1,65 + 3,4 + 2,75 + 0,65 + 2,5 + 4,8 \\ &= 23,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga persentase bukaan pada elemen dinding searah sumbu y dihitung sebagai berikut:

$$X_A = \frac{L_{\text{bukaan}}}{L_{\text{balok}}} \cdot 100\% = \frac{0,95}{23,7} \cdot 100\% = 4,01\%$$

Untuk sisi bagian kiri, terdapat bukaan a,b dan dinding 1,2,3,4 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_{\text{Akiri}} = \frac{0,95}{23,7} \cdot 100\% = 4,01\%$$

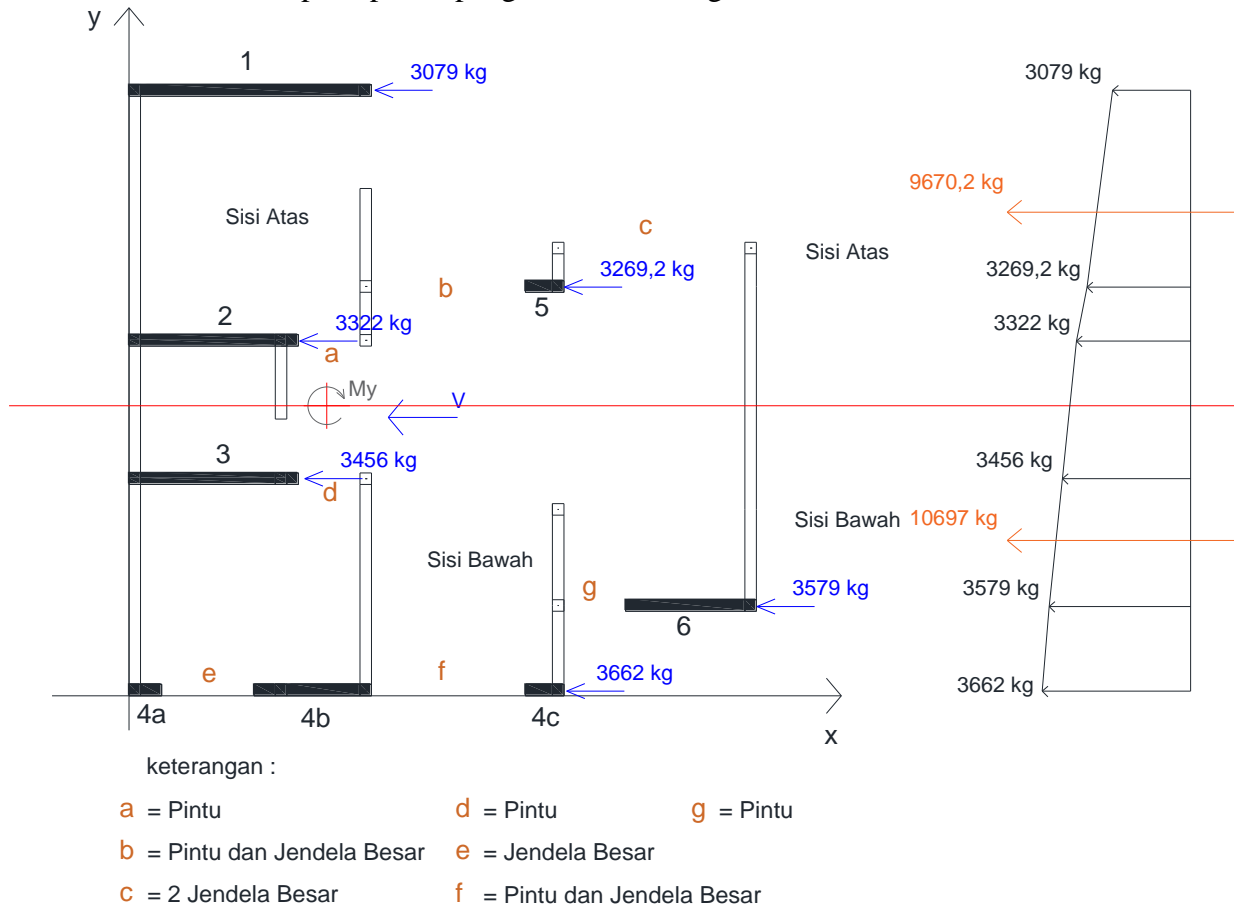
$$L_{\text{Adinding kiri}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 1,19 + 0,17 + 0,31 + 0,44 = 2,1 \text{ m}^2$$

Untuk sisi bagian kanan, tidak terdapat bukaan pada penampang elemen dinding searah sumbu y dan terdapat dinding 5,6 dan 7 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_{\text{Akanan}} = 0\% , \text{ dikarenakan tidak terdapat bukaan untuk arah x di sisi kanan}$$

$$L_{\text{Adinding kanan}} = A_5 + A_6 + A_7 = 0,1 + 0,38 + 0,72 = 1,19 \text{ m}^2$$

- Bukaannya pada penampang elemen dinding searah sumbu x



Gambar 4.56 Distribusi gaya geser pada elemen dinding denah A searah sumbu x

Pada gambar 4.56 terdapat bukaan meliputi a,b,c,d,e,f dan g sehingga didapatkan.

$$L_{\text{pintu}} = 0,4 \text{ m}$$

$$L_{\text{pintu KMD}} = 0,35 \text{ m}$$

$$L_{\text{jendela besar}} = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ m}$$

$$L_{2 \text{ jendela besar}} = 0,575 + 0,6 = 1,18 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} L_{\text{bukaan}} &= a + b + c + d + e + f + g \\ &= 0,4 + 1 + 1,18 + 0,4 + 0,6 + 1 + 0,4 \\ &= 4,98 \text{ m} \end{aligned}$$

Dan pada subbab 4.4.3 telah diketahui partisi balok pada penampang searah sumbu x meliputi balok 2,4,6,7,9,11 dan 13 sehingga.

$$\begin{aligned} L_{\text{balok}} &= L_2 + L_4 + L_6 + L_7 + L_9 + L_{11} + L_{13} \\ &= 2,85 + 2,85 + 2,85 + 5,35 + 2,35 + 2,35 + 2,35 \\ &= 20,95 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga persentase bukaan pada elemen dinding searah sumbu x dihitung sebagai berikut:

$$Y_A = \frac{L_{\text{bukaan}}}{L_{\text{balok}}} \cdot 100\% = \frac{4,98}{20,95} \cdot 100\% = 23,77\%$$

Untuk sisi bagian atas, terdapat bukaan a,b,c dan dinding 1,2,6 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$Y_{\text{Aatas}} = \frac{2,58}{20,95} \cdot 100\% = 12,32\%$$

$$\begin{aligned} L_{\text{Adinding atas}} &= A_1 + A_2 + A_6 \\ &= 0,47 + 0,33 + 0,075 \\ &= 0,88 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk sisi bagian bawah, terdapat bukaan d,e,f,g dan dinding 3,4,5,7,8 persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

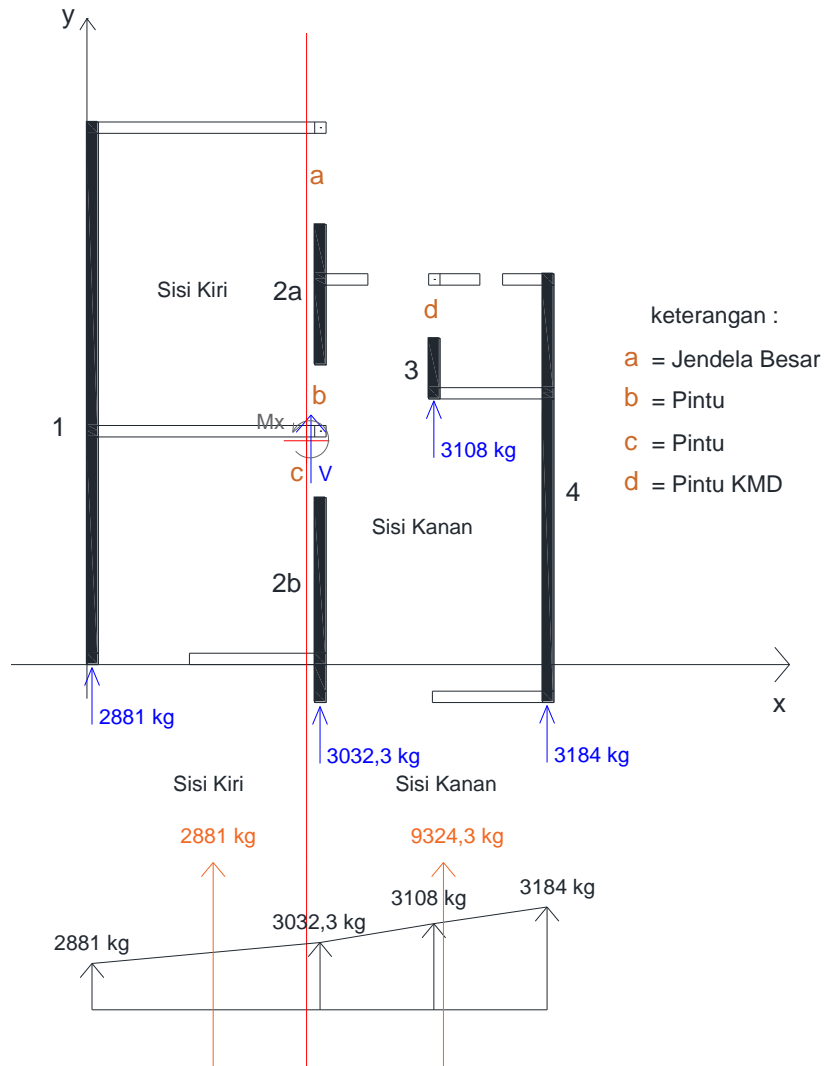
$$Y_{\text{Abawah}} = \frac{2,4}{20,95} \cdot 100\% = 11,46\%$$

$$\begin{aligned} L_{\text{Adinding bawah}} &= A_3 + A_4 + A_5 + A_7 + A_8 \\ &= 0,33 + 0,06 + 0,23 + 0,075 + 0,26 \\ &= 0,95 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.16.2 Persentase bukaan denah B

Berikut merupakan perhitungan persentase bukaan untuk denah B. Penamaan masing-masing bukaan dan dinding serta distribusi gaya geser ditunjukkan pada gambar 4.57 dan gambar 4.58

- Bukaan pada penampang elemen dinding searah sumbu y



Gambar 4.57 Distribusi gaya geser pada elemen dinding denah B searah sumbu y

Pada gambar 4.57 terdapat bukaan meliputi a,b,c dan d sehingga didapatkan.

$$\begin{aligned}
 L_{\text{bukaan}} &= a + b + c + d \\
 &= 0,6 + 0,4 + 0,4 + 0,35 = 1,75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

dan pada subbab 4.9.3 telah diketahui partisi balok pada penampang searah sumbu y meliputi balok 1,5,7 dan 9 sehingga.

$$L_{\text{balok}} = 7,15 + 7,65 + 1,5 + 5,65 = 21,95 \text{ m}$$

Sehingga persentase bukaan pada elemen dinding searah sumbu y dihitung sebagai berikut:

$$X_B = \frac{L_{\text{bukaan}}}{L_{\text{balok}}} \cdot 100\% = \frac{1,75}{21,95} \cdot 100\% = 7,97\%$$

Untuk sisi bagian kiri, tidak terdapat bukaan pada elemen dinding searah sumbu y dan terdapat dinding 1 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_{B\text{kiri}} = 0\% , \text{dikarenakan tidak terdapat bukaan untuk arah x di sisi kiri}$$

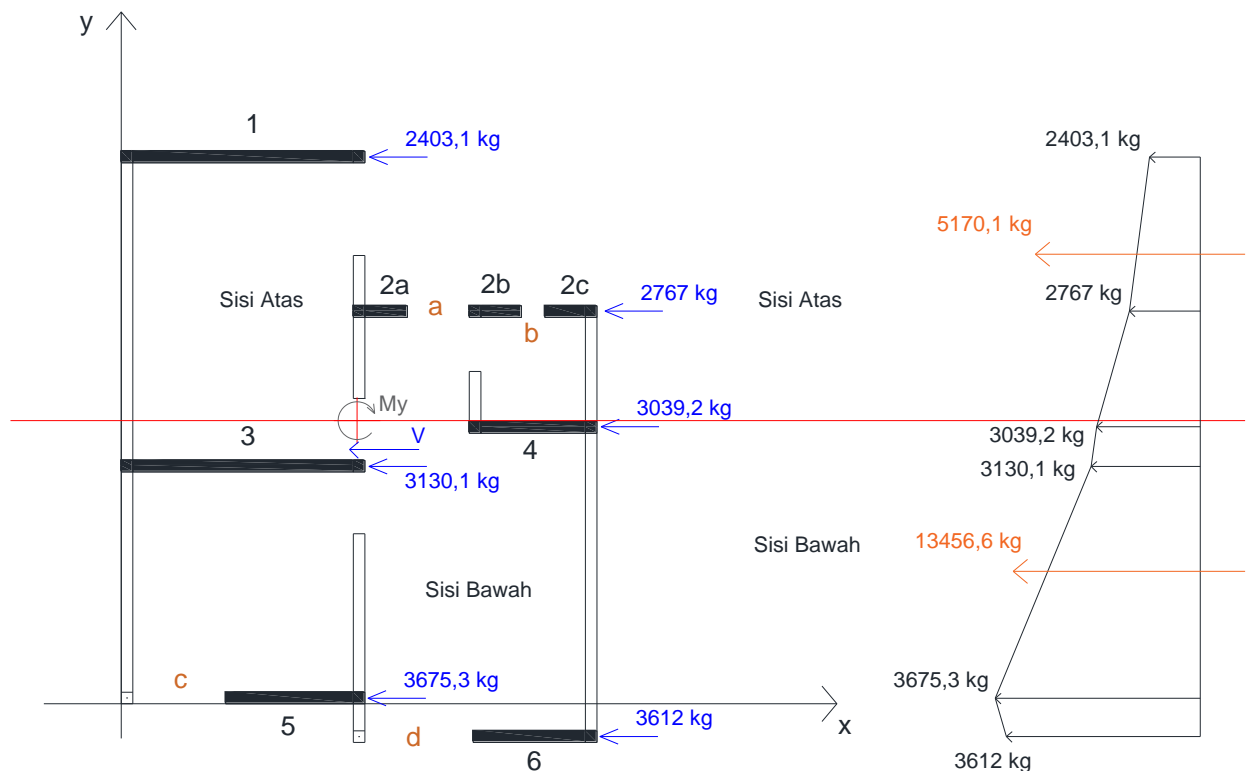
$$\begin{aligned} L_{B\text{dinding kiri}} &= A_1 \\ &= 1,07 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk sisi bagian kanan, terdapat bukaan a,b,c,d dan dinding 2,3,4,5 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_{B\text{kanan}} = \frac{1,75}{21,95} \cdot 100\% = 7,97\%$$

$$\begin{aligned} L_{B\text{dinding kanan}} &= A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \\ &= 0,28 + 0,41 + 0,12 + 0,85 \\ &= 1,65 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Bukaan pada penampang elemen dinding searah sumbu x



keterangan :

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| a = Pintu | c = Jendela Besar |
| b = Bukaan kecil | d = Pintu dan jendela kecil |

Gambar 4.58 Distribusi gaya geser pada elemen dinding denah B searah sumbu x

Pada gambar 4.58 terdapat bukaan meliputi a,b,c dan d sehingga didapatkan.

$$\begin{aligned} L_{\text{bukaan}} &= a + b + c + d \\ &= 0,4 + 0,15 + 0,6 + 0,7 = 1,85 \text{ m} \end{aligned}$$

Dan pada subbab 4.9.3 telah diketahui partisi balok pada penampang searah sumbu x meliputi balok 2,3,4,6,8 dan 10 sehingga.

$$L_{\text{balok}} = 2,85 + 2,85 + 2,85 + 1,35 + 2,85 + 2,85 = 15,6 \text{ m}$$

Sehingga persentase bukaan pada elemen dinding searah sumbu x dihitung sebagai berikut:

$$Y_B = \frac{L_{\text{bukaan}}}{L_{\text{balok}}} \cdot 100\% = \frac{1,85}{15,6} \cdot 100\% = 11,86\%$$

Untuk sisi bagian atas, terdapat bukaan a,b dan dinding 1,2,3,4 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$Y_{\text{Batas}} = \frac{0,55}{15,6} \cdot 100\% = 3,53\%$$

$$\begin{aligned} L_{\text{dinding atas}} &= A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \\ &= 0,47 + 0,11 + 0,1 + 0,1 \\ &= 0,78 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk sisi bagian bawah, terdapat bukaan c,d dan dinding 5,6,7,8 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

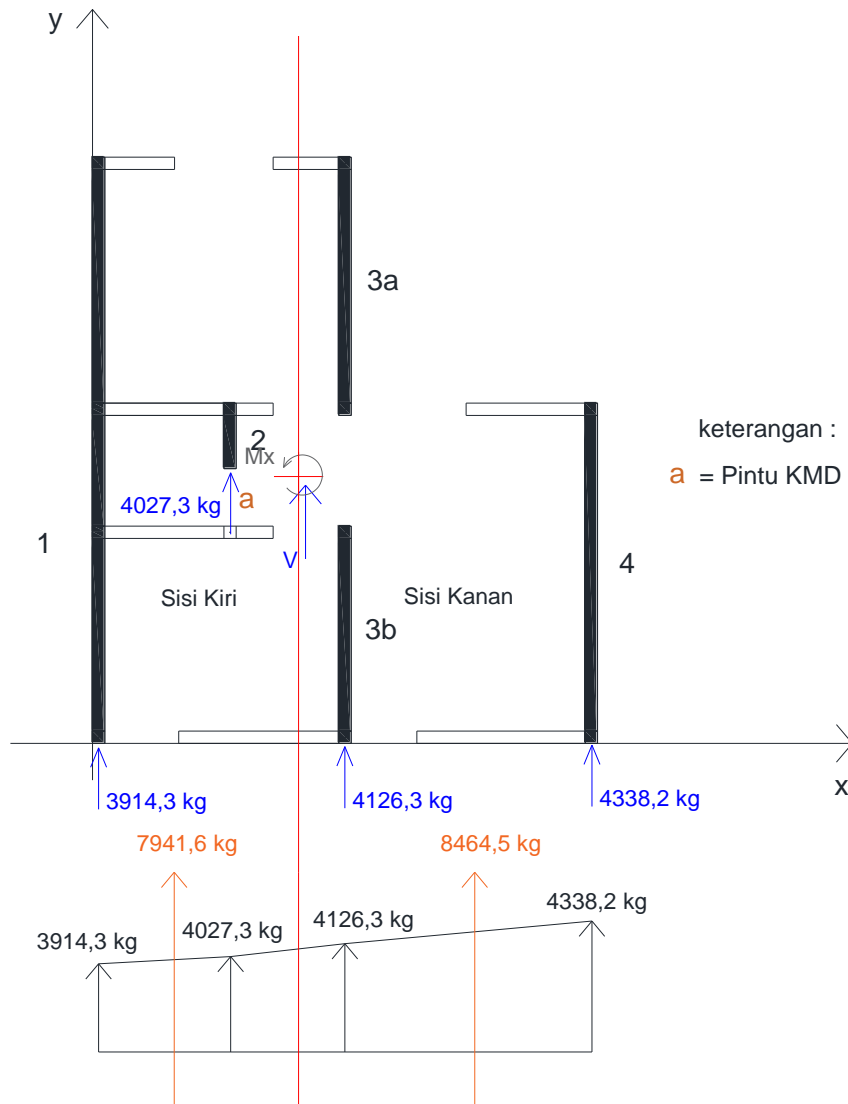
$$Y_{\text{Bbawah}} = \frac{1,3}{15,6} \cdot 100\% = 8,34\%$$

$$\begin{aligned} L_{\text{dinding bawah}} &= A_5 + A_6 + A_7 + A_8 \\ &= 0,47 + 0,25 + 0,27 + 0,24 \\ &= 1,23 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.16.3 Persentase bukaan denah C

Berikut merupakan perhitungan persentase bukaan untuk denah C. Penamaan masing-masing bukaan dan dinding serta distribusi gaya geser ditunjukkan pada gambar 4.59 dan gambar 4.60

- Bukaan pada penampang elemen dinding searah sumbu y



Gambar 4.59 Distribusi gaya geser pada elemen dinding denah C searah sumbu y

Pada gambar 4.59 terdapat bukaan meliputi a saja sehingga didapatkan.

$$L_{\text{bukaan}} = a = 0,35 \text{ m}$$

dan pada subbab 4.14.3 telah diketahui partisi balok pada penampang searah sumbu y meliputi balok 1,4,7,8 dan 11 sehingga.

$$L_{\text{balok}} = 7,15 + 3,15 + 1,35 + 2,65 + 4,15 = 18,45 \text{ m}$$

Sehingga persentase bukaan pada elemen dinding searah sumbu y dihitung sebagai berikut:

$$X_C = \frac{L_{\text{bukaan}}}{L_{\text{balok}}} \cdot 100\% = \frac{0,35}{18,45} \cdot 100\% = 1,9\%$$

Untuk sisi bagian kiri, terdapat bukaan a dan dinding 1,2 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_{C\text{kiri}} = \frac{0,35}{18,45} \cdot 100\% = 1,9\%$$

$$\begin{aligned} L_{C\text{dinding kiri}} &= A_1 + A_2 \\ &= 1,07 + 0,12 \\ &= 1,19 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk sisi bagian kanan, tidak terdapat bukaan pada elemen dinding searah sumbu y dan terdapat dinding 3,4,5 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$X_{C\text{kanan}} = 0\% , \text{ dikarenakan tidak terdapat bukaan untuk arah x di sisi kanan}$$

$$\begin{aligned} L_{C\text{dinding kanan}} &= A_3 + A_4 + A_5 \\ &= 0,47 + 0,4 + 0,62 \\ &= 1,49 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4.60 Distribusi gaya geser pada elemen dinding denah C searah sumbu x

Pada gambar 4.60 terdapat bukaan meliputi a,b,c,d,e dan f sehingga didapatkan.

$$\begin{aligned} L_{\text{bukaan}} &= a + b + c + d + e + f \\ &= 0,6 + 0,4 + 0,7 + 0,4 + 0,45 + 0,4 \\ &= 2,95 \text{ m} \end{aligned}$$

Dan pada subbab 4.14.3 telah diketahui partisi balok pada penampang searah sumbu x meliputi balok 2,3,5,6,9 dan 10 sehingga.

$$L_{\text{balok}} = 2,85 + 2,85 + 2,85 + 2,85 + 2,85 + 2,85 = 17,1 \text{ m}$$

Sehingga persentase bukaan pada elemen dinding searah sumbu x dihitung sebagai berikut:

$$Y_C = \frac{L_{\text{bukaan}}}{L_{\text{balok}}} \cdot 100\% = \frac{2,95}{17,1} \cdot 100\% = 17,25\%$$

Untuk sisi bagian atas, terdapat bukaan a,b,c dan dinding 1,2,3,5 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

$$Y_{\text{Catas}} = \frac{1,7}{17,1} \cdot 100\% = 9,94\%$$

$$\begin{aligned} L_{\text{Cdinding atas}} &= A_1 + A_2 + A_3 + A_5 \\ &= 0,15 + 0,14 + 0,33 + 0,24 \\ &= 0,86 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk sisi bagian bawah, terdapat bukaan d,e,f dan dinding 4,6,7 sehingga persentase dan luas dinding dapat dihitung sebagai berikut:

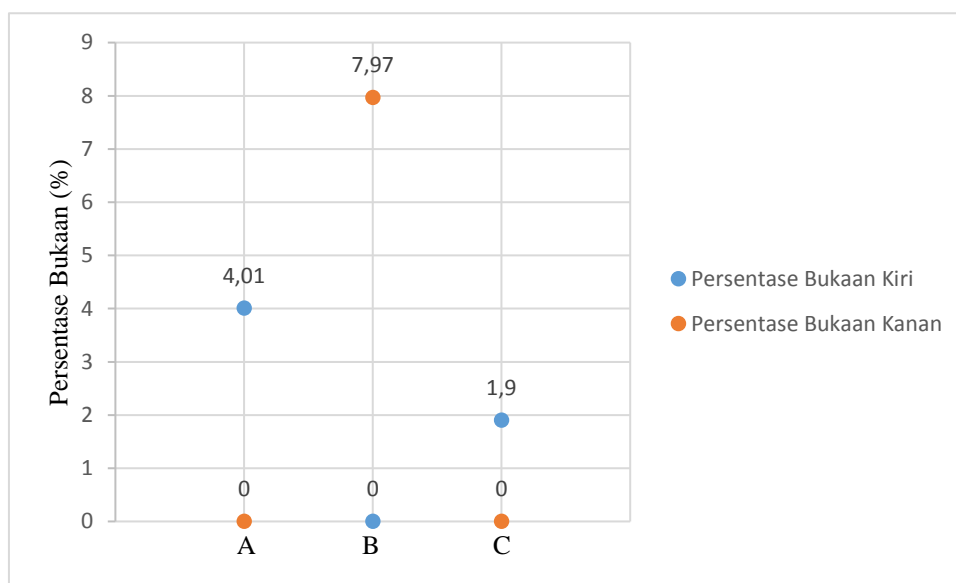
$$Y_{\text{Cbawah}} = \frac{1,25}{17,1} \cdot 100\% = 7,31\%$$

$$\begin{aligned} L_{\text{Cdinding bawah}} &= A_4 + A_6 + A_7 \\ &= 0,33 + 0,32 + 0,33 \\ &= 0,98 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

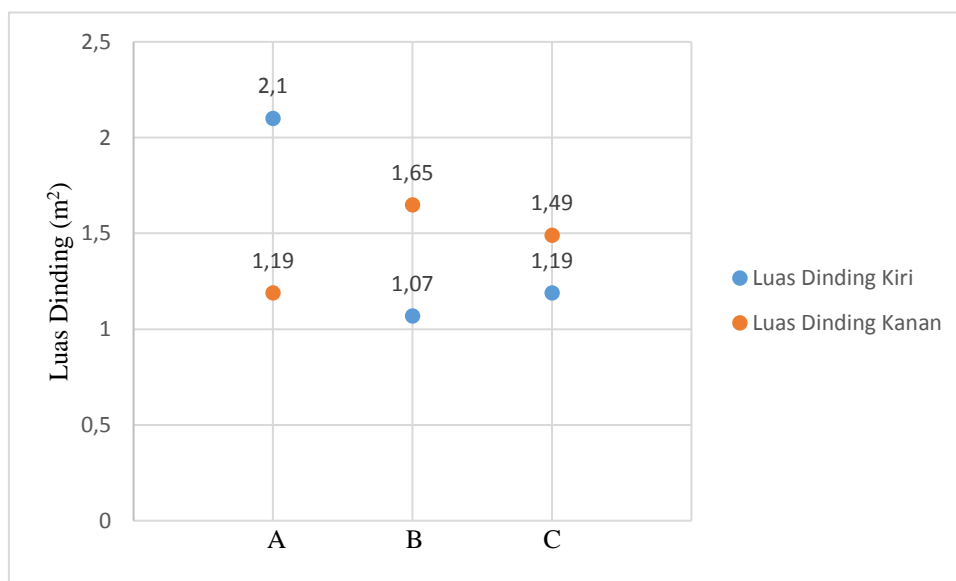
Dari semua perhitungan yang telah dilakukan dari subbab 4.1 sampai dengan subbab 4.16, maka persentase bukaan dan distribusi gaya geser yang terjadi dapat di rangkum dan dibandingkan sebagai berikut:

Tabel 4.37 Perbandingan persentase bukaan sisi kiri dan kanan untuk semua denah

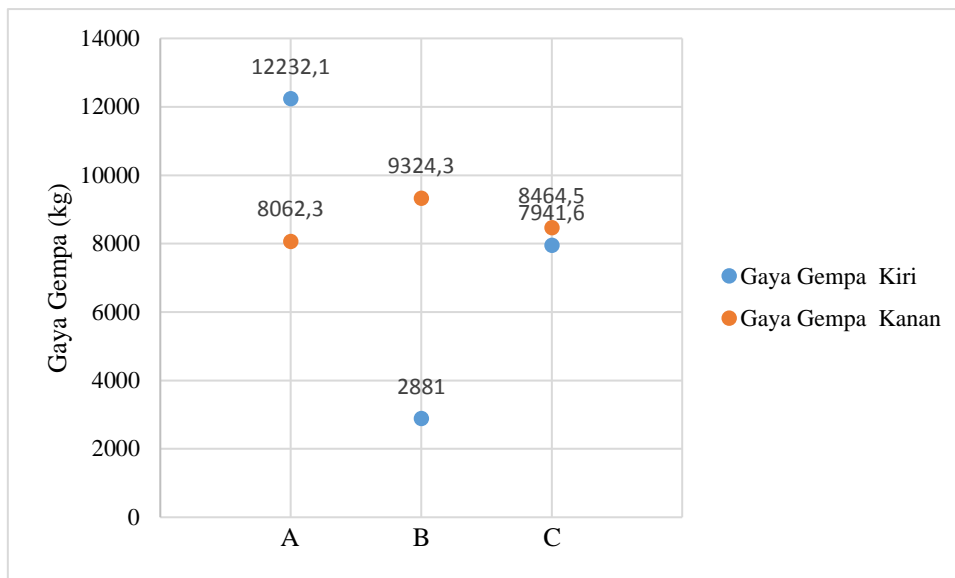
Denah	Persentase Bukaan (%)		Luas Dinding (m ²)		Gaya Gempa (kg)	
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan
A	4,01	0	2,1	1,19	12232,1	8062,3
B	0	7,97	1,07	1,65	2881	9324,3
C	1,9	0	1,19	1,49	7941,6	8464,5



Gambar 4.61 Diagram grafik perbandingan persentase bukaan sisi kiri dan kanan



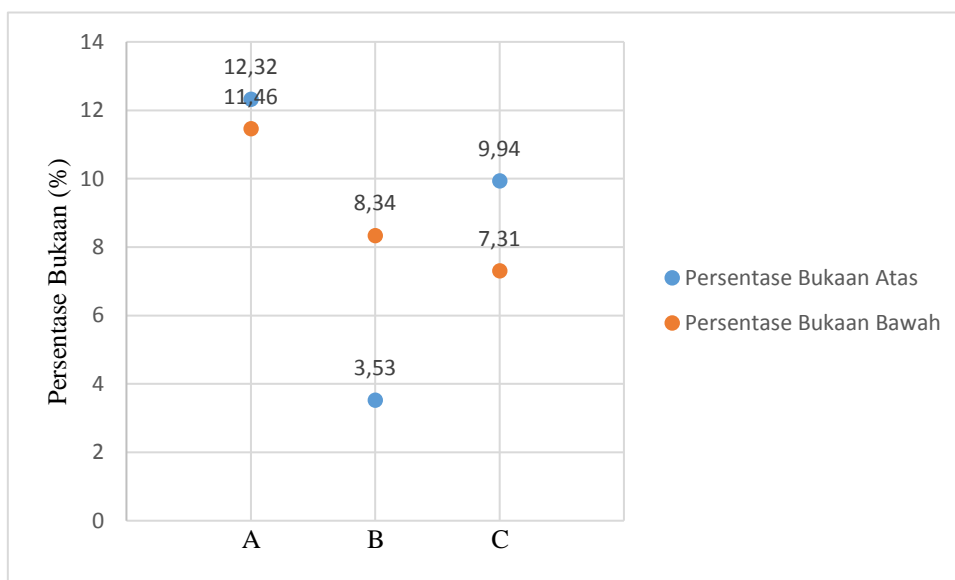
Gambar 4.62 Diagram grafik perbandingan luas dinding sisi kiri dan kanan



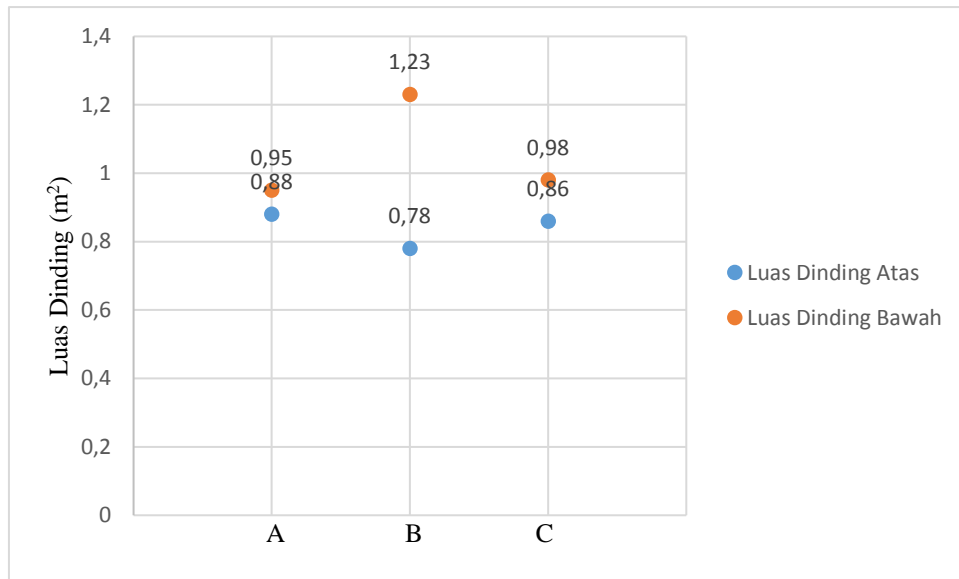
Gambar 4.63 Diagram grafik perbandingan gaya gempa sisi kiri dan kanan

Tabel 4.38 Perbandingan persentase bukaan sisi atas dan bawah untuk semua denah

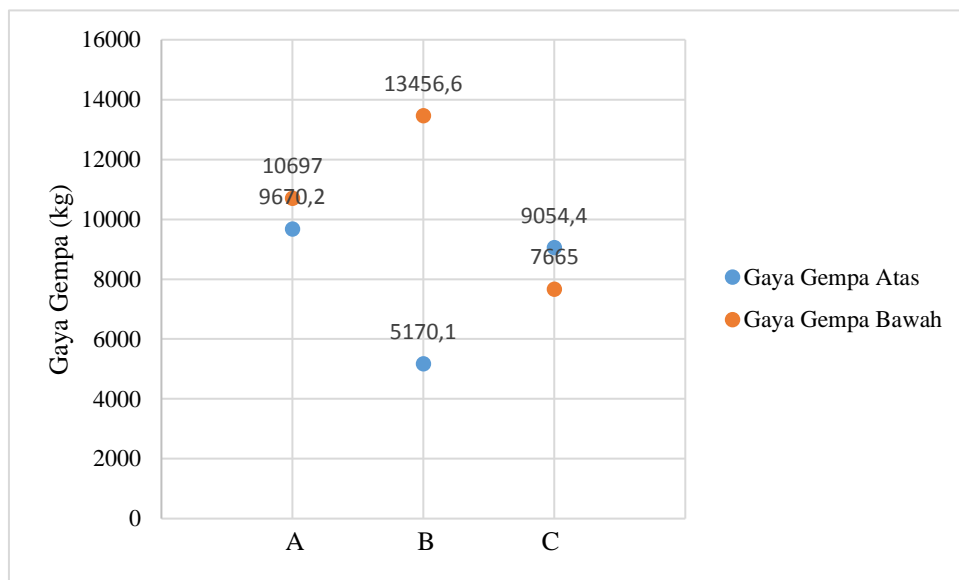
Denah	Persentase Bukaan (%)		Luas Dinding (m ²)		Gaya Gempa (kg)	
	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah
A	12,32	11,46	0,88	0,95	9670,2	10697
B	3,53	8,34	0,78	1,23	5170,1	13456,6
C	9,94	7,31	0,86	0,98	9054,4	7665



Gambar 4.64 Diagram grafik perbandingan persentase bukaan sisi atas dan bawah



Gambar 4.65 Diagram grafik perbandingan luas dinding sisi atas dan bawah



Gambar 4.66 Diagram grafik perbandingan gaya gempa untuk sisi atas dan bawah