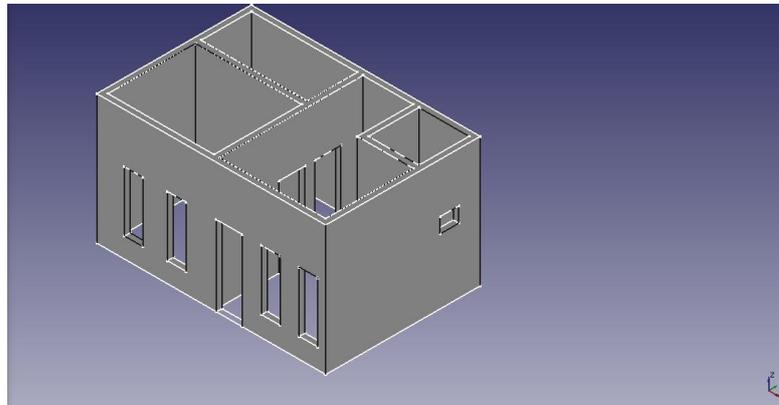


BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pemodelan Benda Uji pada Program *FreeCAD*

Pemodelan pada program *FreeCAD* akan menghasilkan benda uji dalam bentuk tiga dimensi bangunan sederhana yaitu perumahan dengan berbagai tipe (tipe 21, 36, 45, dan 50). Pemodelan ini akan disimpan dalam format *STEP with colors (.step)* guna untuk diinput geometri pada program *LISA-FEA*, dan kemudian dapat melakukan analisis *displacement* dan tegangan. Salah satu hasil pemodelan pada program *FreeCAD* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pemodelan benda uji rumah tipe 21 pada program *FreeCAD*

4.2. Perhitungan untuk *Input Software*

4.2.1. Menghitung Respon Spektrum

Kota Padang Sidempuan memiliki nilai parameter percepatan respons spektra periode pendek (S_s) sebesar 2,9167 g, dan nilai parameter percepatan respons spektra periode 1 detik (S_1) sebesar 1,1414 g. Berdasarkan Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 hubungan S_s dan S_1 dengan kelas situs, didapatkan koefisien situs.

$$F_a = 1$$

$$F_v = 1,5$$

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1 \times 2,9167 \end{aligned} \tag{4.1}$$

$$= 2,9167 \text{ g}$$

$$S_{MI} = F_v \times S_I \quad (4.2)$$

$$= 1,5 \times 1,1414$$

$$= 1,7121 \text{ g}$$

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} \quad (4.3)$$

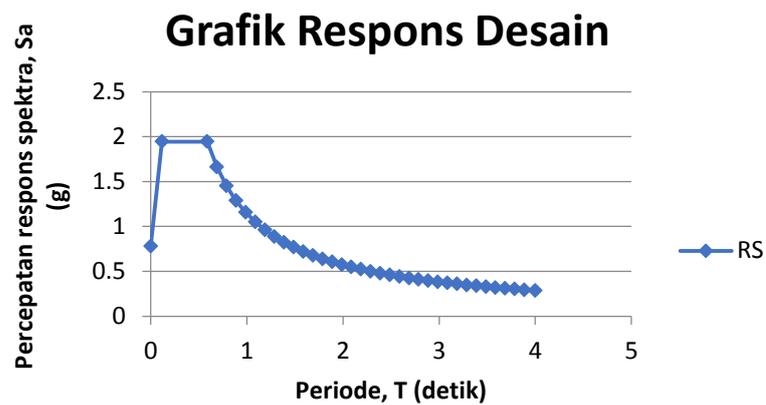
$$= 2/3 \times 2,9167$$

$$= 1,9444 \text{ g}$$

$$S_{DI} = 2/3 \times S_{MI} \quad (4.4)$$

$$= 2/3 \times 1,7121$$

$$= 1,1414 \text{ g}$$



Gambar 4.2 Grafik respon spektrum

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (4.5)$$

$$= 0,0488 \cdot 3,5^{0,75}$$

$$= 0,124874 \approx 0,12$$

Dari grafik respon desain, maka didapat nilai $S_a = 1,94$

$$a = S_a \times \text{gravitasi}$$

$$= 1,94 \times \text{gravitasi}$$

Dari Tabel 2.8, didapat nilai $R = 1,5$

4.2.2. Menghitung Volume

Volume yang digunakan dalam penelitian ini berupa volume bangunan rumah yang dikurangi dengan volume jumlah pintu dan jendela yang terdapat pada rumah tersebut. Volume tersebut dihitung berdasarkan persamaan berikut ini.

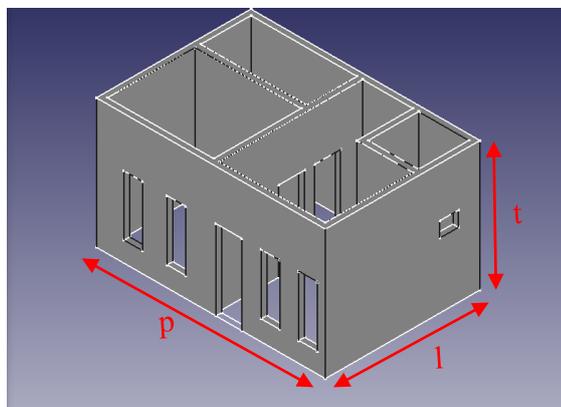
$$\text{Volume} = p \times l \times t \quad (4.6)$$

dengan,

p = panjang (mm)

l = lebar (mm)

t = tinggi (mm)



Gambar 4.3 Volume bangunan yang ditinjau

1) Rumah tipe 21

$$\text{Volume rumah} = 15.513.750.000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 4 pintu} &= 700 \times 150 \times 2160 \times 4 \\ &= 907.200.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 6 jendela (1)} &= 500 \times 150 \times 1620 \times 6 \\ &= 729.000.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume jendela (2)} &= 500 \times 150 \times 405 \\ &= 30.375.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{volume rumah} - \text{volume 4 pintu} - \text{volume 6 jendela (1)} - \\ &\quad \text{volume jendela (2)} \\ &= 15.513.750.000 - 907.200.000 - 729.000.000 - 30.375.000 \\ &= 13.847.175.000 \text{ mm}^3 \\ &= 13,85 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2) Rumah tipe 36

$$\text{Volume rumah} = 19.201.875.000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 5 pintu} &= 700 \times 150 \times 2160 \times 5 \\ &= 1.134.000.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 5 jendela (1)} &= 500 \times 150 \times 1620 \times 5 \\ &= 607.500.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume jendela (2)} &= 500 \times 150 \times 405 \\ &= 30.375.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{volume rumah} - \text{volume 5 pintu} - \text{volume 5 jendela (1)} - \\ &\quad \text{volume jendela (2)} \\ &= 19.201.875.000 - 1.134.000.000 - 607.500.000 - \\ &\quad 30.375.000 \\ &= 17.430.000.000 \text{ mm}^3 \\ &= 17,43 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3) Rumah tipe 45

$$\text{Volume rumah} = 26.656.875.000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 6 pintu} &= 700 \times 150 \times 2160 \times 6 \\ &= 1.360.800.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 8 jendela (1)} &= 500 \times 150 \times 1620 \times 8 \\ &= 972.000.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume jendela (2)} &= 500 \times 150 \times 405 \\ &= 30.375.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \text{volume rumah} - \text{volume 6 pintu} - \text{volume 8 jendela (1)} - \\ &\quad \text{volume jendela (2)} \\ &= 26.656.875.000 - 1.360.800.000 - 972.000.000 - \\ &\quad 30.375.000 \\ &= 24.293.700.000 \text{ mm}^3 \\ &= 24,29 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4) Rumah tipe 50

$$\text{Volume rumah} = 22.041.250.000 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume 6 pintu} &= 700 \times 150 \times 2160 \times 6 \\ &= 1.360.800.000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume 9 jendela (1)} &= 500 \times 150 \times 1620 \times 9 \\ &= 1.093.500.000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \text{volume rumah} - \text{volume 6 pintu} - \text{volume 9 jendela (1)} \\ &= 22.041.250.000 - 1.360.800.000 - 1.093.500.000 \\ &= 19.586.950.000 \text{ mm}^3 \\ &= 19,59 \text{ m}^3\end{aligned}$$

4.2.3. Menghitung Massa

1) Rumah tipe 21

$$\begin{aligned}m &= \text{density} \cdot \text{Volume} && (4.7) \\ &= 2097 \text{ kg/m}^3 \cdot 13,85 \text{ m}^3 \\ &= 29037,53 \text{ kg}\end{aligned}$$

2) Rumah tipe 36

$$\begin{aligned}m &= \text{density} \cdot \text{Volume} && (4.8) \\ &= 2097 \text{ kg/m}^3 \cdot 17,43 \text{ m}^3 \\ &= 36550,71 \text{ kg}\end{aligned}$$

3) Rumah tipe 45

$$\begin{aligned}m &= \text{density} \cdot \text{Volume} && (4.9) \\ &= 2097 \text{ kg/m}^3 \cdot 24,29 \text{ m}^3 \\ &= 50943,89 \text{ kg}\end{aligned}$$

4) Rumah tipe 50

$$\begin{aligned}m &= \text{density} \cdot \text{Volume} && (4.10) \\ &= 2097 \text{ kg/m}^3 \cdot 19,59 \text{ m}^3 \\ &= 41073,83 \text{ kg}\end{aligned}$$

4.2.4. Menghitung Gaya Gempa, F

1) Rumah tipe 21

$$\begin{aligned}F &= m \cdot a \cdot \frac{9,81 \cdot I}{R} && (4.11) \\ &= 29037,53 \cdot 1,94 \cdot \frac{9,81 \cdot 1}{1,5}\end{aligned}$$

$$= 368416,51 \text{ N}$$

2) Rumah tipe 36

$$\begin{aligned} F &= m \cdot a \cdot \frac{9,81 \cdot l}{R} & (4.12) \\ &= 36550,71 \cdot 1,94 \cdot \frac{9,81 \cdot 1}{1,5} \\ &= 463740,79 \text{ N} \end{aligned}$$

3) Rumah tipe 45

$$\begin{aligned} F &= m \cdot a \cdot \frac{9,81 \cdot l}{R} & (4.13) \\ &= 50943,89 \cdot 1,94 \cdot \frac{9,81 \cdot 1}{1,5} \\ &= 646355,68 \text{ N} \end{aligned}$$

4) Rumah tipe 50

$$\begin{aligned} F &= m \cdot a \cdot \frac{9,81 \cdot l}{R} & (4.14) \\ &= 41073,83 \cdot 1,94 \cdot \frac{9,81 \cdot 1}{1,5} \\ &= 521128,38 \text{ N} \end{aligned}$$

4.3. Hasil Konvergensi

Sebelumnya melakukan penentuan jumlah elemen yang akan dipakai pada setiap benda uji, kemudian dapat dilakukan analisis secara keseluruhan. Semakin kecil nilai volume elemen yang digunakan maka hasil yang akan diperoleh semakin detail tetapi membutuhkan waktu yang lama dalam proses perhitungan pada komputer, begitu juga sebaliknya jika volume elemen yang digunakan berukuran besar. Maka dari itu, dilakukan perhitungan konvergensi untuk pemilihan ukuran elemen, agar dapat efektif pada waktu lamanya proses perhitungan pada komputer dengan ukuran elemen yang sesuai.

Pada rumah tipe 21 dilakukan analisis konvergensi dengan cara mengubah ukuran dan jumlah elemen dengan diberikannya beban yang tetap, kemudian hasilnya akan dibandingkan nilai displacementnya. Setelah analisis konvergensi dilakukan, data-data volume elemen, jumlah elemen, serta hasil *displacement* akan dikumpulkan dalam program *Microsoft Excel* seperti pada Tabel 4.1. Kemudian diolah ke bentuk grafik yang terdapat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.1 Hasil *running* ukuran elemen

Volume Elemen (mm ³)	Jumlah Elemen	<i>Nodes</i>	<i>Displacement</i> (mm)
200	16.639	34.552	-1,233
195	17.387	36.067	-1,233
190	18.113	37.540	-1,235
185	19.149	39.684	-1,235
180	20.047	41.526	-1,238
175	21.320	44.083	-1,236
170	22.592	46.645	-1,238
165	24.413	50.322	-1,240
160	25.619	52.780	-1,240
155	27.347	56.276	-1,241
150	28.930	59.455	-1,242
145	30.842	63.307	-1,241
140	32.875	67.437	-1,244
135	35.622	72.978	-1,244
130	38.248	78.258	-1,246
125	40.615	83.074	-1,246
120	43.910	89.736	-1,247
115	48.150	98.316	-1,247



Gambar 4.4 Grafik hasil uji konvergensi

Pada Gambar 4.4 menunjukkan penggunaan volume elemen sebesar 115-200 mm³ telah menghasilkan nilai *displacement* yang cukup stabil, sehingga dipilih volume maksimal sebuah elemen dalam proses *meshing* sebesar 120 mm³.

4.4. Hasil *Displacement* dan Tegangan *von Misses*

Setelah dilakukan analisis konvergensi dan besar volume maksimal yang telah diterapkan pada setiap benda uji, maka benda uji dapat dilakukan analisis perpindahan (*displacement*) dan tegangan. Hasil *running* yang dipakai pada penelitian ini adalah tegangan *von Misses* dan *displacement magnitude*. Hasil ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.5.

Beban yang bekerja pada benda uji akan menyebabkan benda uji mengalami perubahan bentuk (deformasi) dan tegangan. Perubahan bentuk (deformasi) ini akan menyebabkan benda uji akan mengalami perubahan atau pergeseran sebesar 70 mm. Agar benda uji aman terhadap gempa, maka nilai *displacement* harus dibawah 70 mm. Tegangan yang terjadi pada benda uji akan menyebabkan keretakan pada batu bata merah. Kuat tekan dinding batu bata (f_m) yang digunakan pada penelitian ini diambil dari penelitian Maidiawati dkk. (2017) sebesar 4,3 Mpa. Oleh karena itu, tegangan yang terjadi pada benda uji harus kurang dari 4,3 MPa agar batu bata tidak mengalami retak akibat gempa.

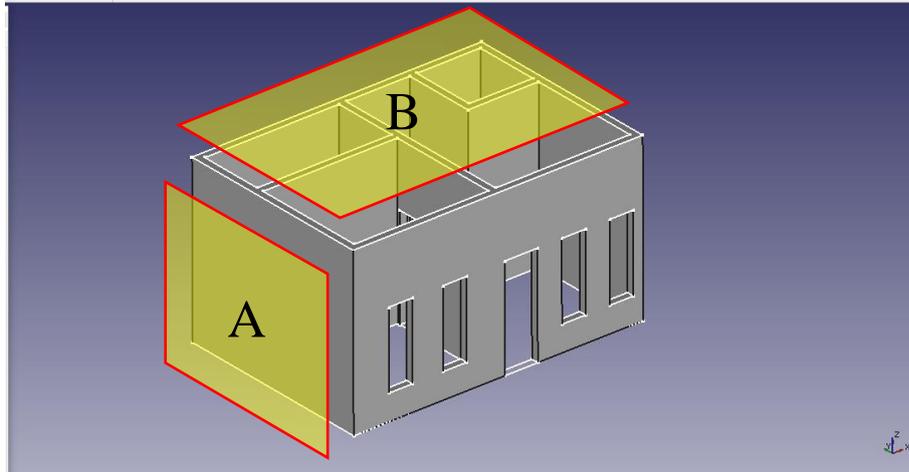
Pada Tabel 2.9, ditunjukkan tabel simpangan antar lantai ijin dimana struktur yang dipilih yaitu semua struktur lainnya dengan kategori resiko II. Maka dapat diperoleh nilai Δ_a sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 4.1.

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,020 h_{sx} & (4.1) \\ &= 0,020 \cdot 3500 \\ &= 70 \text{ mm}\end{aligned}$$

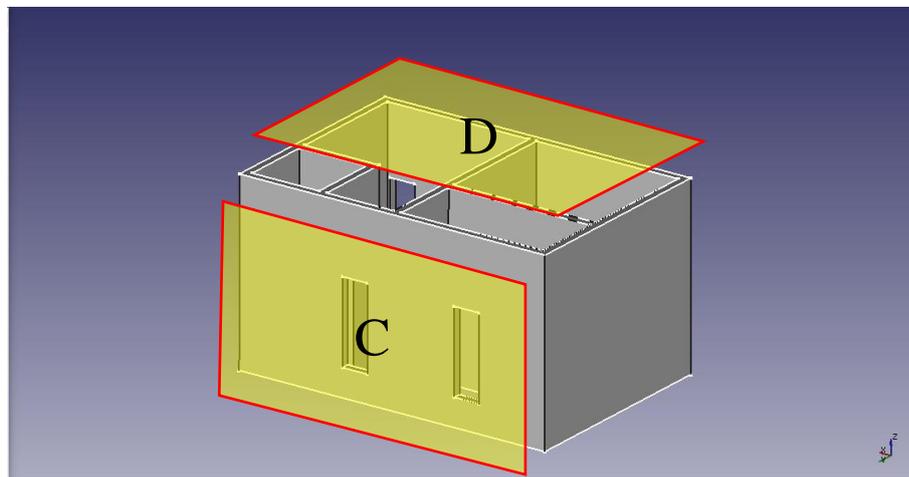
Dimana h_{sx} adalah tinggi tingkat, sebesar 3500 mm.

4.4.1. Hasil *Displacement* dan Tegangan pada Rumah Tipe 21

Pada rumah tipe 21 terdapat sisi A, B, C, dan D yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 merupakan sisi yang diberi gaya gempa. Sisi A dan B adalah gaya gempa arah X, sedangkan sisi C dan D adalah gaya gempa arah Y. Untuk hasil *displacement* dan tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Nilai izin *displacement* sebesar 70 mm, sedangkan tegangan nilai izinnya sebesar 4,3 MPa. Jika nilai *displacement* dan tegangan melebihi nilai izinnya, maka dapat dikatakan bangunan tersebut tidak aman jika terjadi gempa. Berdasarkan Tabel 4.2, nilai *displacement* dan tegangan dapat dikatakan aman, karena kurang dari nilai izinnya.



Gambar 4.5 Rumah tipe 21 sisi A dan B arah X



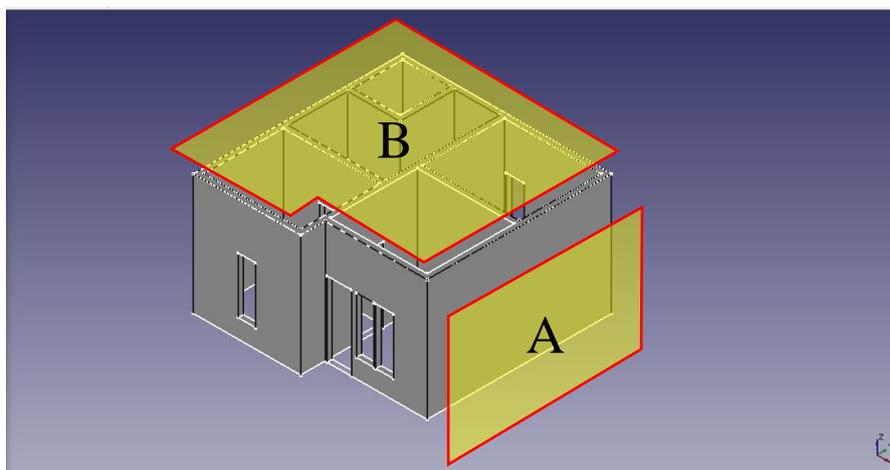
Gambar 4.6 Rumah tipe 21 sisi C dan D arah Y

Tabel 4.2 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 21

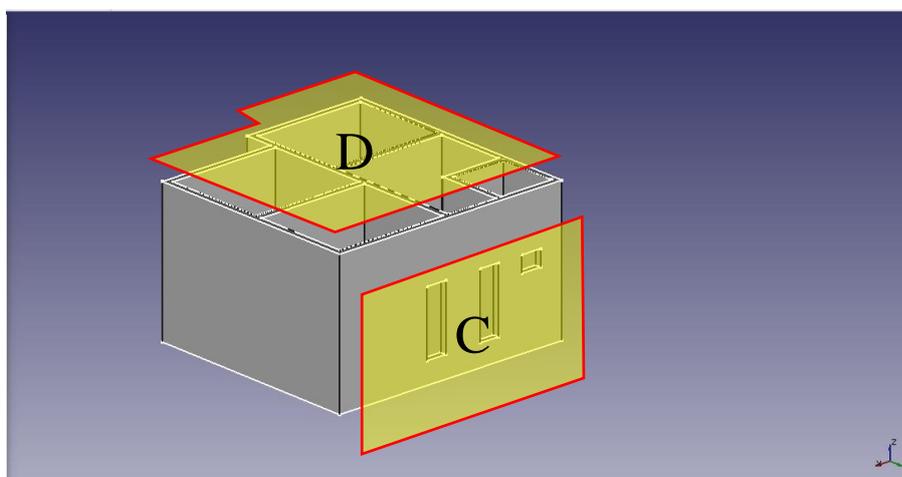
	<i>Displacement</i> (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			<i>Displacement</i> 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-1,564	3,19	AMAN	AMAN
B	-1,247	3,19	AMAN	AMAN
Arah Y				
C	-1,799	3,89	AMAN	AMAN
D	-1,697	4	AMAN	AMAN

4.4.2. Hasil *Displacement* dan Tegangan pada Rumah Tipe 36

Pada rumah tipe 36 terdapat sisi A, B, C, dan D yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 merupakan sisi yang diberi gaya gempa. Sisi A dan B adalah gaya gempa arah X, sedangkan sisi C dan D adalah gaya gempa arah Y. Untuk hasil *displacement* dan tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Nilai izin *displacement* sebesar 70 mm, sedangkan tegangan nilai izinnnya sebesar 4,3 MPa. Jika nilai *displacement* dan tegangan melebihi nilai izinnnya, maka dapat dikatakan bangunan tersebut tidak aman jika terjadi gempa. Berdasarkan Tabel 4.3, nilai *displacement* kurang dari nilai izinnnya sehingga dikatakan aman, sedangkan tegangan yang melebihi nilai izinnnya terdapat pada arah Y sisi C sebesar 7,44 MPa sehingga tidak aman jika terjadi gempa. Tegangan yang tidak aman mengakibatkan keretakan pada batu bata.



Gambar 4.7 Rumah tipe 36 sisi A dan B arah X



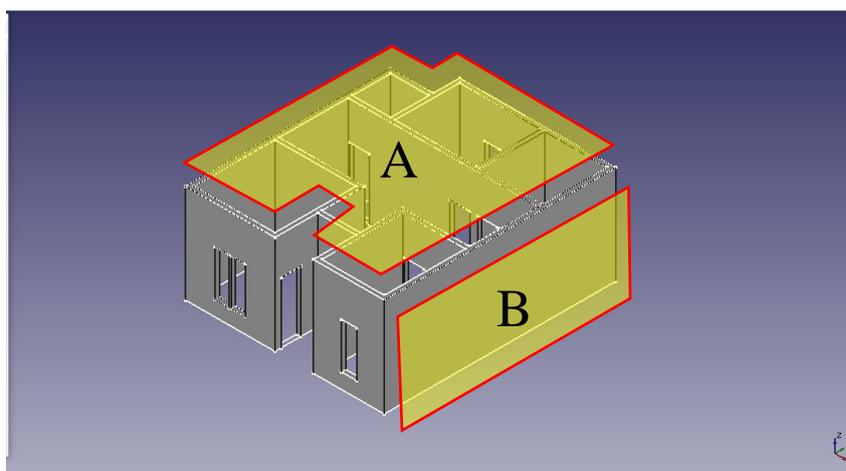
Gambar 4.8 Rumah tipe 36 sisi C dan D arah Y

Tabel 4.3 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 36

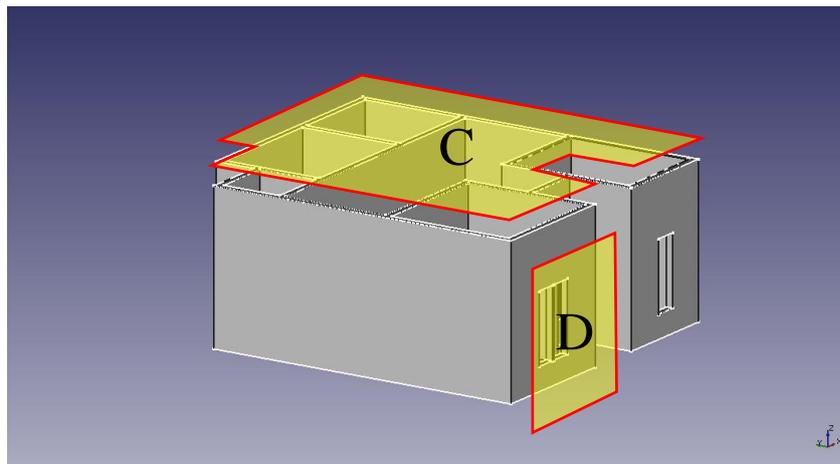
	<i>Displacement</i> (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			<i>Displacement</i> 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-1.675	3.9	AMAN	AMAN
B	-1.24	3.4	AMAN	AMAN
Arah Y				
C	-2.292	7.44	AMAN	TIDAK AMAN
D	-1.617	3.19	AMAN	AMAN

4.4.2. Hasil *Displacement* dan Tegangan pada Rumah Tipe 45

Pada rumah tipe 45 terdapat sisi A, B, C, dan D yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 merupakan sisi yang diberi gaya gempa. Sisi A dan B adalah gaya gempa arah X, sedangkan sisi C dan D adalah gaya gempa arah Y. Untuk hasil *displacement* dan tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.4. Nilai izin *displacement* sebesar 70 mm, sedangkan tegangan nilai izinnnya sebesar 4,3 MPa. Jika nilai *displacement* dan tegangan melebihi nilai izinnnya, maka dapat dikatakan bangunan tersebut tidak aman jika terjadi gempa. Berdasarkan Tabel 4.4, nilai *displacement* kurang dari nilai izinnnya sehingga dikatakan aman, sedangkan tegangan yang melebihi nilai izinnnya terdapat pada arah X sisi B sebesar 4,81 MPa dan arah Y sisi D sebesar 19,3 MPa sehingga tidak aman jika terjadi gempa. Tegangan yang tidak aman mengakibatkan keretakan pada batu bata.



Gambar 4.9 Rumah tipe 45 sisi A dan B arah X



Gambar 4.10 Rumah tipe 45 sisi C dan D arah Y

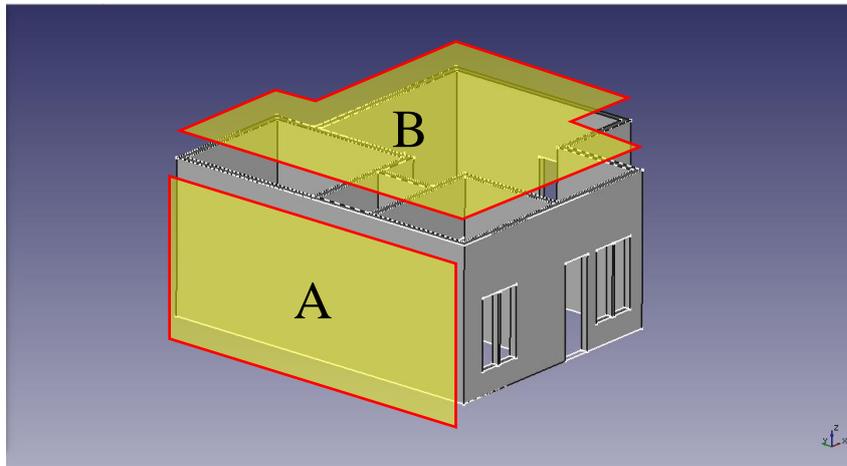
Tabel 4.4 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 45

	<i>Displacement</i> (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			<i>Displacement</i> 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-1,649	4,1	AMAN	AMAN
B	-2,616	4,81	AMAN	TIDAK AMAN
Arah Y				
C	-1,818	3,71	AMAN	AMAN
D	-8,132	19,3	AMAN	TIDAK AMAN

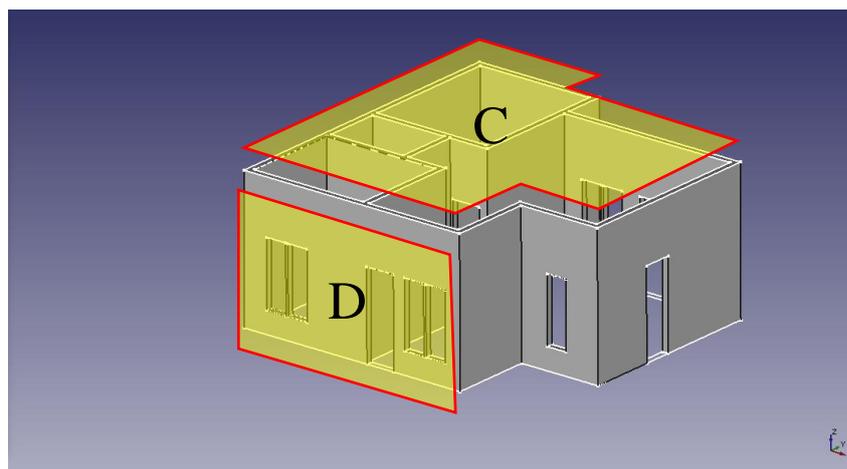
4.4.3. Hasil *Displacement* dan Tegangan pada Rumah Tipe 50

Pada rumah tipe 50 terdapat sisi A, B, C, dan D yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 merupakan sisi yang diberi gaya gempa. Sisi A dan B adalah gaya gempa arah X, sedangkan sisi C dan D adalah gaya gempa arah Y. Untuk hasil *displacement* dan tegangan dapat dilihat pada Tabel 4.5. Nilai izin *displacement* sebesar 70 mm, sedangkan tegangan nilai izinnnya sebesar 4,3 MPa. Jika nilai *displacement* dan tegangan melebihi nilai izinnnya, maka dapat dikatakan bangunan tersebut tidak aman jika terjadi gempa. Berdasarkan Tabel 4.4, nilai *displacement* kurang dari nilai izinnnya sehingga dikatakan aman, sedangkan tegangan yang melebihi nilai izinnnya terdapat pada semua sisi A, B, C,

dan D sehingga tidak aman jika terjadi gempa. Tegangan yang tidak aman mengakibatkan keretakan pada batu bata.



Gambar 4.11 Rumah tipe 50 sisi A dan B arah X



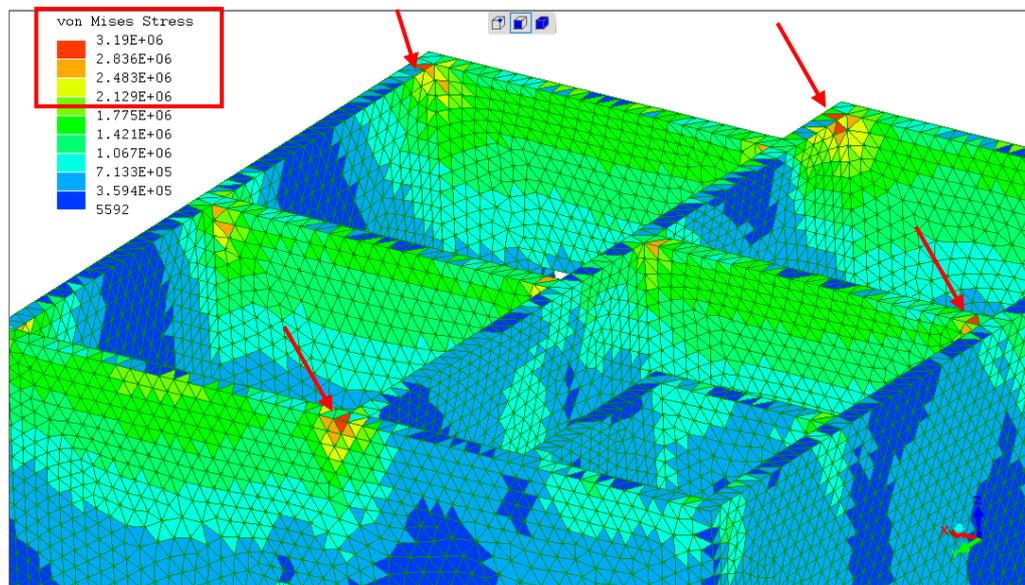
Gambar 4.12 Rumah tipe 50 sisi C dan D arah Y

Tabel 4.5 Hasil analisis numeris pada rumah tipe 50

	<i>Displacement</i> (mm)	Tegangan (MPa)	Syarat	
			<i>Displacement</i> 70 mm	Tegangan 4,3 MPa
Arah X				
A	-3,738	4,44	AMAN	TIDAK AMAN
B	-5,552	4,86	AMAN	TIDAK AMAN
Arah Y				
C	-5,222	4,99	AMAN	TIDAK AMAN
D	-3,375	8,95	AMAN	TIDAK AMAN

4.5. Distribusi Tegangan

Selain nilai hasil analisis *displacement* dan tegangan, dapat diketahui juga distribusi tegangan *von Mises*. Untuk dapat melihat distribusi tegangan pada seluruh benda uji, maka dapat dilihat pada Lampiran 3. Berikut pada Gambar 4.11 adalah distribusi tegangan pada rumah tipe 21.



Gambar 4.13 Distribusi tegangan pada rumah tipe 21 arah Y sisi D

Anak panah pada Gambar 4.13 menunjukkan tegangan yang terjadi pada rumah tersebut. Pada *software LISA-FEA*, warna merah menunjukkan nilai maksimum. Walaupun nilai tersebut masih dibawah nilai izinnnya, angka terbesar akan membaca sebagai nilai maksimum dengan warna merah. Dari Gambar 4.13, dapat disimpulkan bahwa tegangan kebanyakan terjadi pada siku rumah. Tegangan mengakibatkan keretakan pada dinding batu bata merah jika terjadi gempa.