

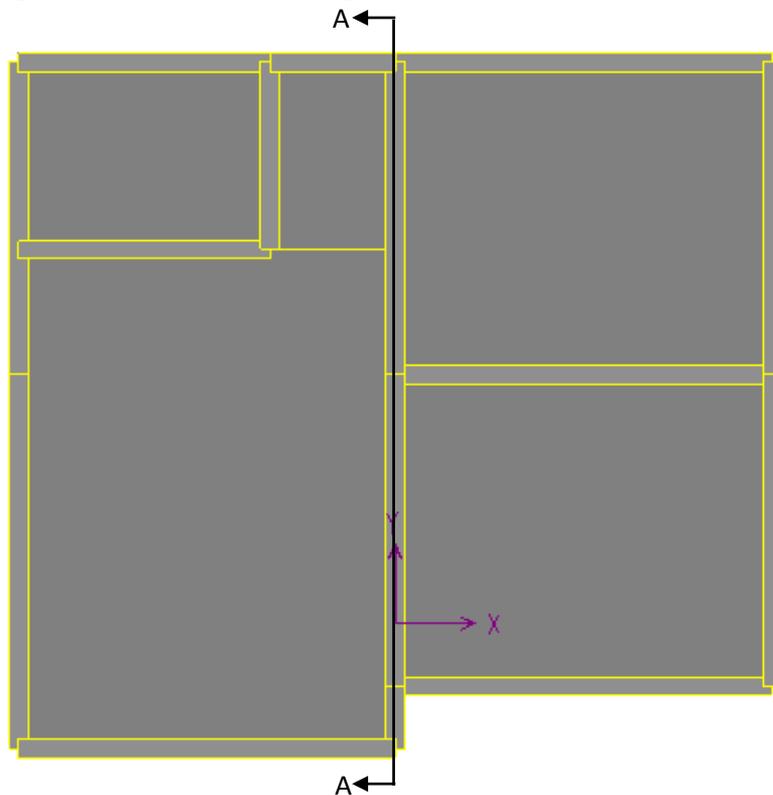
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan Struktur

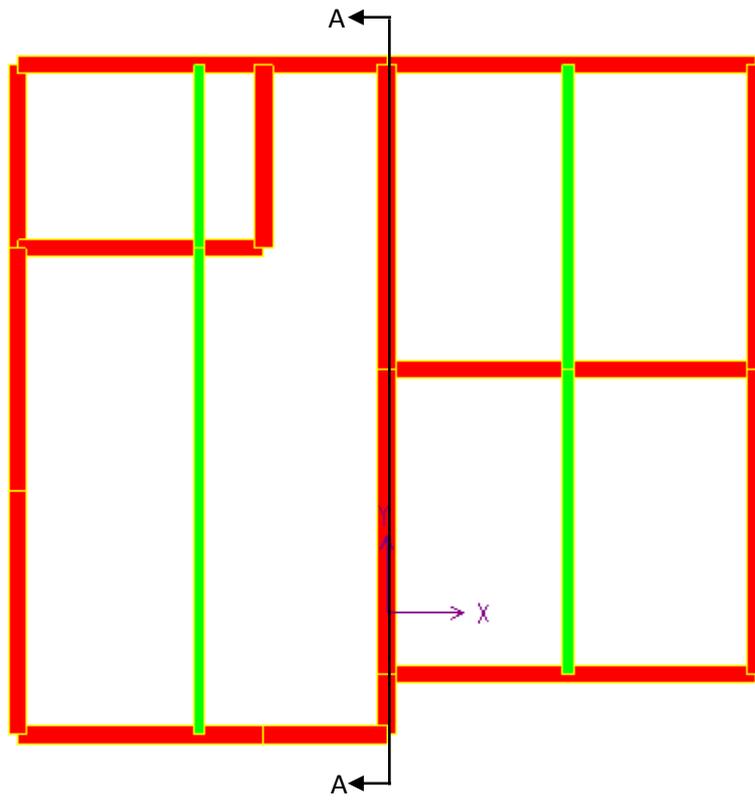
Model struktur yang akan dianalisis adalah model struktur rumah tinggal satu lantai yang terdapat pada di Perum Emerald Garden di Jalan Kyai Parseh Jaya, Bumiayu Kedungkandang, Malang. Namun karena tidak dilakukannya survei secara langsung, peneliti melakukan pemodelan sendiri terhadap dimensi maupun material struktur serta karakteristik lain yang tidak diketahui pada brosur. Pemodelan dilakukan menggunakan program AutoCAD dan SAP2000 *student version*. Pemodelan struktur rumah tinggal satu lantai dilakukan secara tiga dimensi untuk mengetahui perilaku struktur. Struktur bangunan dimodelkan tanpa dilatasi agar dapat menganalisis perilaku bangunan eksisting secara utuh.

4.1.1. Gambaran umum

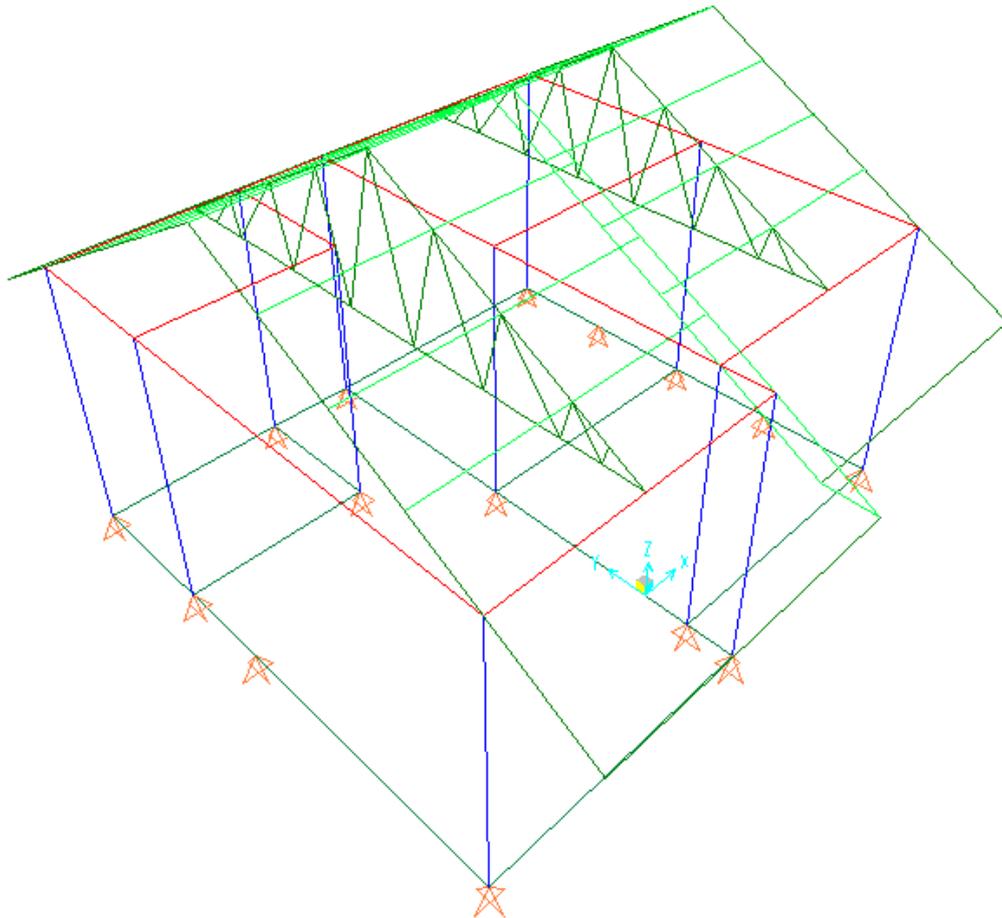
Pemodelan denah yang dilakukan pada *software* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini. Sedangkan untuk pemodelan rancangan atap dapat dilihat pada Gambar 4.2. Rumah tinggal ini dianalisis dengan model 3D yang bisa dilihat pada Gambar 4.3. Dan untuk potongan gambar A-A bisa di lihat pada Gambar 4.4.



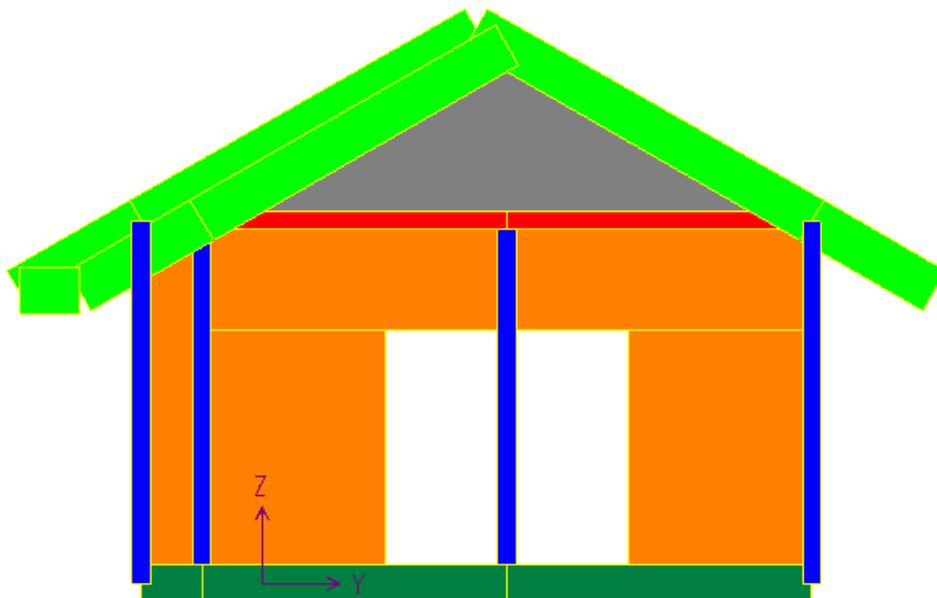
Gambar 4.1 Pemodelan denah



Gambar 4.2 Pemodelan rancangan atap



Gambar 4.3 Pemodelan rumah tampak 3D



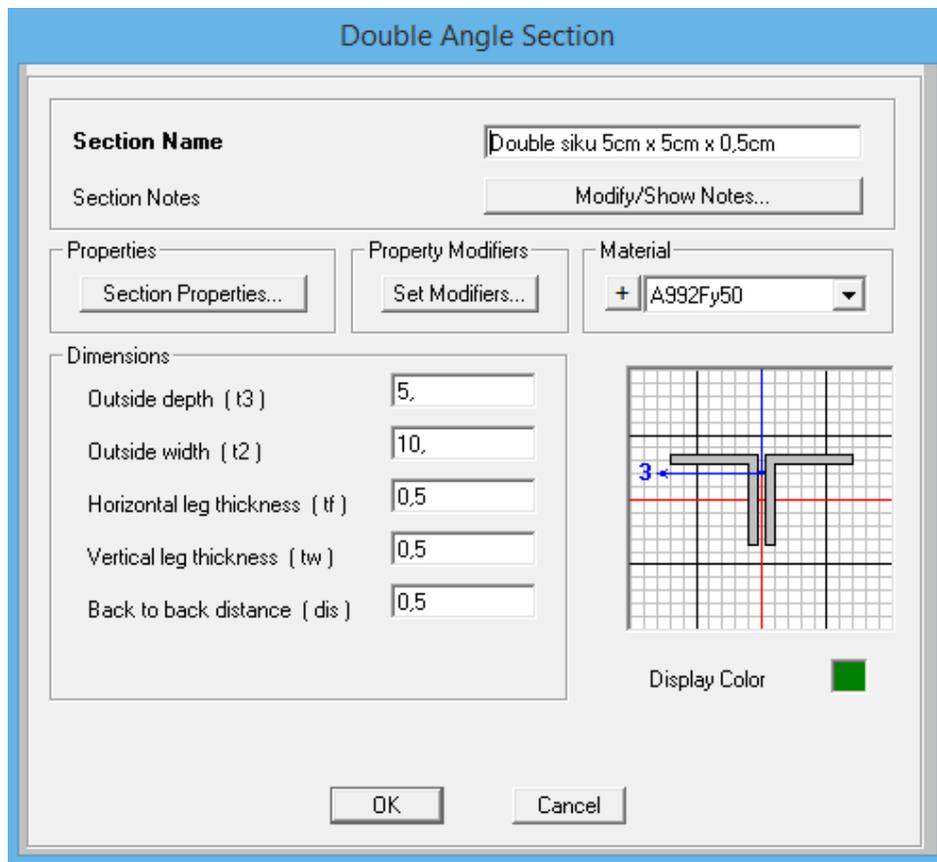
Gambar 4.4 Potongan rumah A-A

4.1.2. Detail *properties* struktur

Elemen-elemen yang digunakan pada pemodelan struktur adalah sebagai berikut:

1. Rangka atap

Rangka atap menggunakan profil *double* siku 50×50×5 (satuan mm).

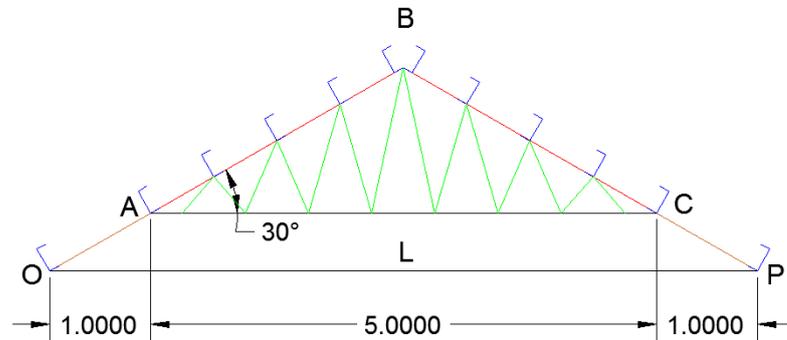


Gambar 4.5 Profil *double* siku rangka atap

2. Gording

a. Perhitungan jumlah gording

1) Panjang Sisi Atap I



Gambar 4.6 Panjang bentang atap I

Perhitungan jarak antar gording untuk sisi A-B dan B-C adalah sebagai berikut:

$$AB = \frac{\frac{5}{2}}{\cos 30^\circ} = \frac{2,5}{0,866} = 2,8868 \text{ m}$$

$$BC = \frac{\frac{5}{2}}{\cos 30^\circ} = \frac{2,5}{0,866} = 2,8868 \text{ m}$$

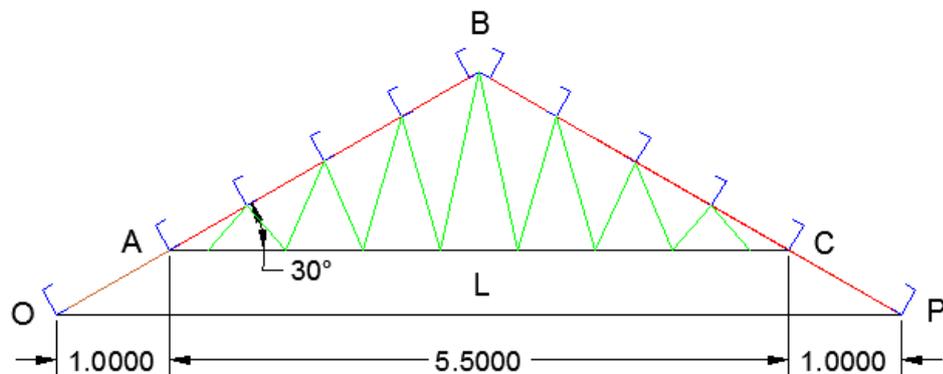
Direncanakan medan gording berjumlah 4 medan untuk tiap sisi

$$\checkmark \text{ Jarak antara gording} = \frac{2,8868}{4} = 0,7217 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Jumlah gording keseluruhan} = (4+1)+(4+1) = 10 \text{ gording}$$

Sedangkan gording antara sisi O-A dan C-P langsung digunakan jarak yang ada yaitu 1,1547m.

2) Panjang Sisi Atap II



Gambar 4.7 Panjang bentang atap II

Perhitungan jarak antar gording untuk sisi A-B dan B-C adalah sebagai berikut:

$$AB = \frac{\frac{5,5}{2}}{\cos 30^\circ} = \frac{2,75}{0,866} = 3,1754 \text{ m}$$

$$BC = \frac{5,5}{\cos 30^\circ} = \frac{2,75}{0,866} = 3,1754 \text{ m}$$

Direncanakan medan gording berjumlah 4 medan untuk tiap sisi

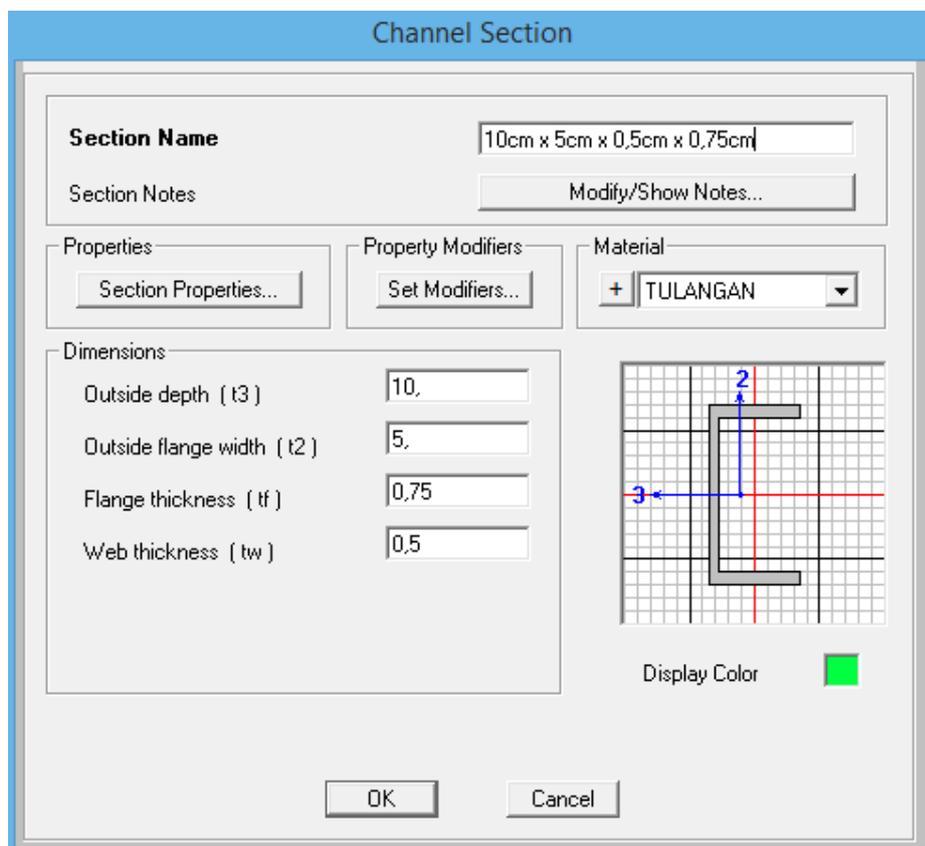
$$\checkmark \text{ Jarak Antara Gording} = \frac{3,1754}{4} = 0,7939 \text{ m}$$

$$\checkmark \text{ Jumlah Gording Keseluruhan} = (4+1)+(4+1) = 10 \text{ gording}$$

Sedangkan gording antara sisi O-A dan C-P langsung digunakan jarak yang ada yaitu 1,1547m.

b. Profil gording yang digunakan

Digunakan profil kanal 100×50×5×7,5 (satuan mm) dengan mutu baja dan karakteristik penampangnya sesuai dengan yang terdapat dalam *software* SAP2000 *student version* seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Profil kanal pada gording

3. Balok Praktis

Balok praktis menggunakan dimensi 15cm×15cm dengan menggunakan tulangan 4D-12. Beton yang digunakan setara dengan 14,53 MPa. Mutu tulangan polos yang digunakan adalah BJTP-24 ($f_y = 240 \text{ Mpa}$, $f_u = 360 \text{ MPa}$). Kekakuan EI yang digunakan dalam analisis yang dipakai untuk desain kekuatan harus mewakili kekakuan

komponen struktur sesaat sebelum kegagalan. Sebagai alternatif, SNI 2847-2002 memberikan inersia efektif yang boleh digunakan untuk komponen-komponen struktur pada bangunan yang ditinjau. Pada penelitian ini, balok dianggap sebagai balok berpenampang persegi. Maka dari itu untuk balok praktis ini inersianya diberikan faktor pengali sebesar 0,35 sesuai yang tercantum pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Inersia Efektif Penampang

Momen Inersia	
Balok	0,35 I_g
Kolom	0,70 I_g
Dinding : retak	0,35 I_g
Dinding : tidak retak	0,70 I_g
Pelat datar dan lantai datar	0,25 I_g
Luas	1,00 A_g

Sumber: SNI 2846-2002

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color:

Material Type:

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume:

Mass per Unit Volume:

Units:

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E:

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A:

Shear Modulus, G:

Other Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c:

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

Switch To Advanced Property Display

Gambar 4.9 Material beton

Rectangular Section

Section Name [BALOK (15cm x 15cm)]

Section Notes [Modify/Show Notes...]

Properties [Section Properties...]

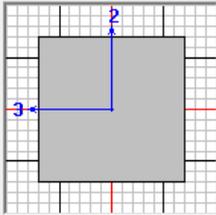
Property Modifiers [Set Modifiers...]

Material [+ **BETON** ▼]

Dimensions

Depth (t3) [15.]

Width (t2) [15.]



Display Color [Red]

[Concrete Reinforcement...]

[OK] [Cancel]

Gambar 4.10 Balok praktis

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color [BAJA] [Cyan]

Material Type [Rebar ▼]

Material Notes [Modify/Show Notes...]

Weight and Mass

Weight per Unit Volume [7,850E-03]

Mass per Unit Volume [8,005E-06]

Units [Kgf, cm, C ▼]

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E [2000000,]

Poisson's Ratio, U [0,3]

Coefficient of Thermal Expansion, A [1,800E-05]

Shear Modulus, G [769230,8]

Other Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy [2400,]

Minimum Tensile Stress, Fu [3600,]

Expected Yield Stress, Fye [3120,]

Expected Tensile Stress, Fue [3432,]

Switch To Advanced Property Display

[OK] [Cancel]

Gambar 4.11 Detail material tulangan

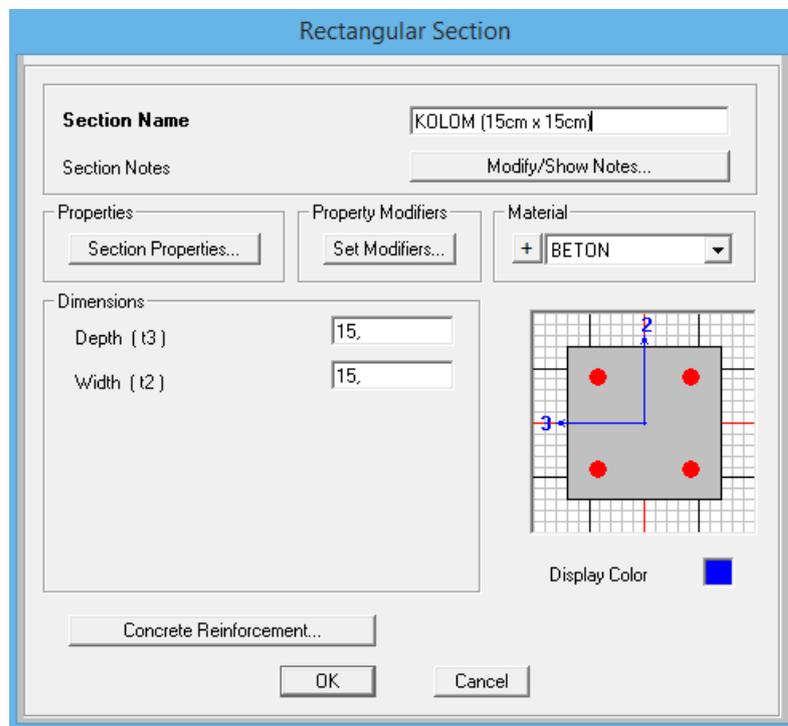
Gambar 4.12 Detail balok praktis

Gambar 4.13 Momen inersia efektif balok praktis

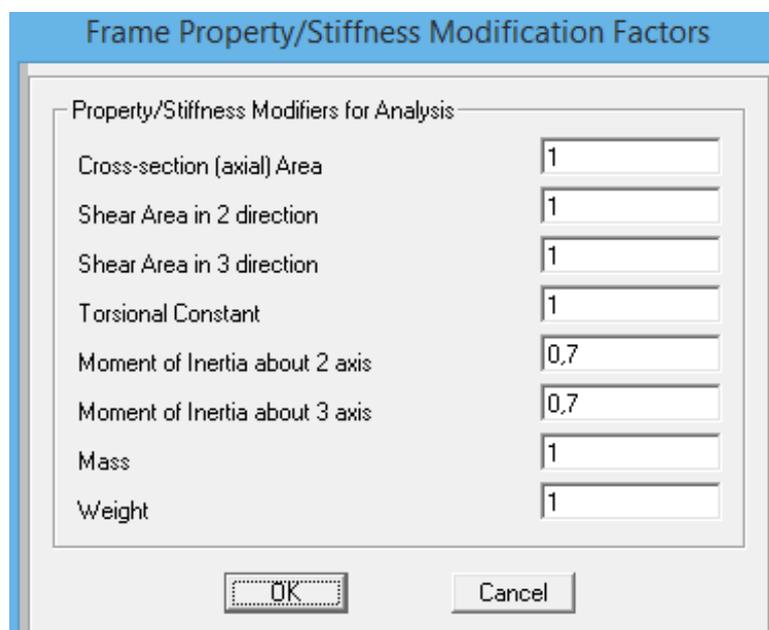
4. Kolom Praktis

Kolom praktis menggunakan dimensi 15cm×15cm dengan menggunakan tulangan 4D-12. Beton yang digunakan setara dengan 14,53 MPa. Mutu tulangan polos yang digunakan adalah BJTP-24 ($f_y = 240$ Mpa, $f_u = 360$ MPa). Sama halnya seperti balok,

momen inersia kolom juga perlu dikalikan dengan faktor pengali untuk mendapatkan momen inersia efektif. Faktor pengali yang digunakan untuk kolom berdasarkan Tabel 4.1 adalah sebesar 0,7.



Gambar 4.14 Kolom praktis



Gambar 4.15 Momen inersia efektif kolom praktis

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars + TULANGAN

Confinement Bars (Ties) + TULANGAN

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Confinement Bars

Ties

Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars 3.

Number of Longit Bars Along 3-dir Face 2

Number of Longit Bars Along 2-dir Face 2

Longitudinal Bar Size + 12d

Confinement Bars

Confinement Bar Size + #3

Longitudinal Spacing of Confinement Bars 10.

Number of Confinement Bars in 3-dir 2

Number of Confinement Bars in 2-dir 2

Check/Design

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

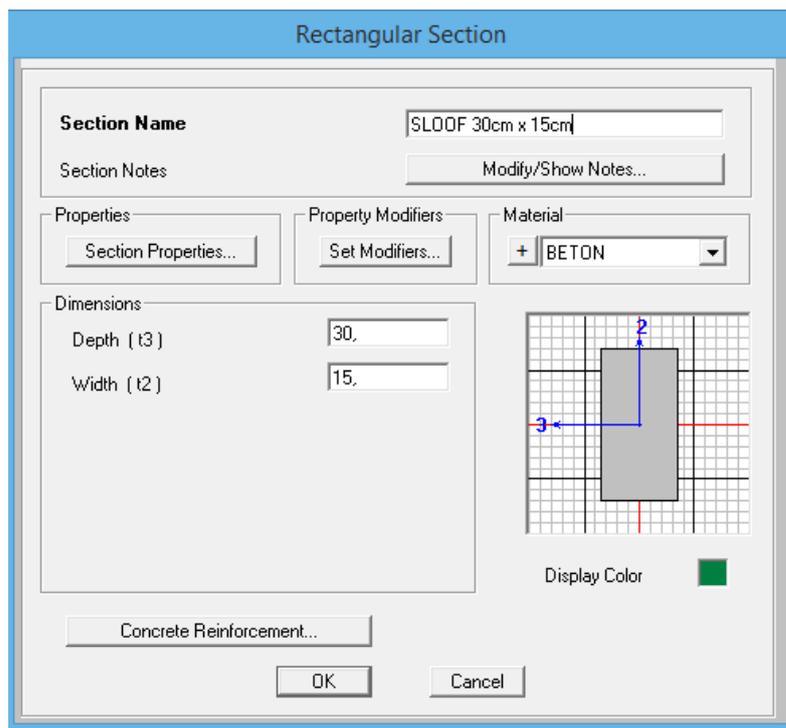
OK

Cancel

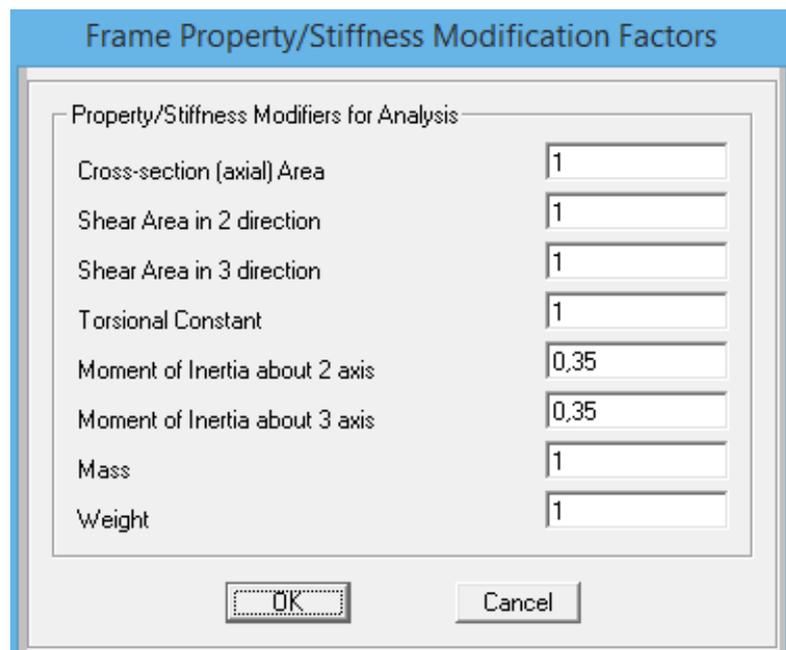
Gambar 4.16 Detail penulangan kolom praktis

5. Balok Sloof

Balok sloof dengan dimensi 30cm×15cm dengan menggunakan tulangan 4D-12. Beton yang digunakan setara dengan 14,53 MPa. Mutu tulangan polos yang digunakan adalah BJTP-24 ($f_y = 240$ Mpa, $f_u = 360$ MPa). Sama seperti balok dan kolom, momen inersia pada balok sloof juga perlu dikalikan dengan faktor pengali untuk mendapatkan momen inersia efektif. Faktor pengali yang digunakan untuk kolom berdasarkan Tabel 4.1 adalah sebesar 0,35.



Gambar 4.17 Balok sloof



Gambar 4.18 Momen inersia efektif balok sloof

6. Dinding

- Bata merah buatan tangan

Pada struktur dinding ini digunakan data dari material bata merah buatan tangan, data yang dimasukkan ke *software* SAP2000 adalah massa jenis, modulus elastisitas dan *rasio Poisson*. Pada pemodelan ini dinding diasumsikan menggunakan tipe *shell*. Tipe *shell* merupakan gabungan sifat dari *plate* dan *membrane*. *Plate* adalah elemen luasan

yang menahan gaya pada arah tegak lurus bidang pelat, sedangkan *membrane* adalah searah bidangnya. Karena pada penelitian ini menggunakan analisis 3D yang menerima gaya searah maupun tegak lurus bidang maka digunakan elemen *shell*. Sedangkan ketebalan dari pelat sendiri akan mempengaruhi tipe *thin* dan *thick*. Pada pemodelan ini pelat dianggap tidak begitu tebal sehingga digunakan tipe *thin*.

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and contains several sections:

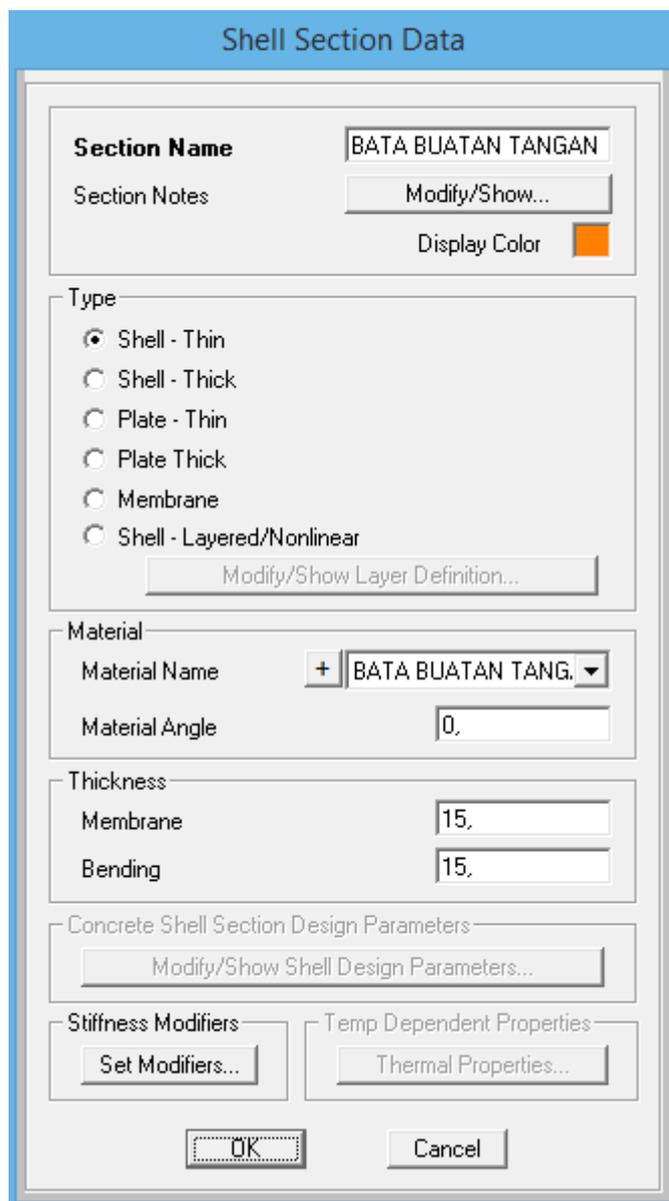
- General Data:**
 - Material Name and Display Color: BATA BUATAN TANGAN (with an orange color swatch)
 - Material Type: Other (dropdown menu)
 - Material Notes: Modify/Show Notes... (button)
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 1.370E-03
 - Mass per Unit Volume: 1.397E-06
- Units:**
 - Units: Kgf, cm, C (dropdown menu)
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 1275,38
 - Poisson's Ratio, U: 0,208
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 9,000E-06
 - Shear Modulus, G: 527,8891

At the bottom of the dialog, there is a checkbox labeled 'Switch To Advanced Property Display' which is currently unchecked. Below the checkbox are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Gambar 4.19 Bata merah buatan tangan

Parameter-parameter yang menjadi pembeda antar jenis bata adalah modulus elastisitas sebesar $1.275,38 \text{ kg/cm}^2$ atau setara dengan $12.753.800 \text{ kg/m}^2$, rasio Poisson sebesar 0,208 dan massa jenis sebesar $1,37 \text{ gram/cm}^3$ atau setara dengan 1.370 kg/m^3 . Ketiga nilai tersebut dimasukkan ke dalam *software* SAP2000. Pada jenis bata merah buatan tangan, untuk nilai ketiga jenis parameter tersebut bisa dilihat seperti yang terdapat pada

Gambar 4.19. Tipe *shell* yang digunakan untuk bata merah buatan tangan sendiri bisa dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Tipe pelat bata merah buatan tangan

- Bata merah cetak mesin

Pada struktur dinding selanjutnya digunakan data dari material bata merah cetak mesin. Sama seperti sebelumnya, data yang dimasukkan ke *software SAP2000 student version* adalah massa jenis, modulus elastisitas dan rasio Poisson. Untuk jenis pelatnya juga seperti yang telah dijelaskan sebelumnya untuk dinding pasangan bata merah cetak mesin juga menggunakan tipe *shell-thin*.

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	BATA CETAK MESIN
Material Type	Other
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	1,690E-03
Mass per Unit Volume	1,723E-06
Units	
	Kgf, cm, C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2243,34
Poisson's Ratio, U	0,254
Coefficient of Thermal Expansion, A	9,000E-06
Shear Modulus, G	894,4737
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
OK Cancel	

Gambar 4.21 Bata merah cetak mesin

Parameter-parameter yang menjadi pembeda pada bata cetak mesin ini adalah modulus elastisitas sebesar 2.243,34 kg/cm² atau setara dengan 22.433.400 kg/m², rasio Poisson sebesar 0,254 dan massa jenis sebesar 1,69 gram/cm³ atau setara dengan 1.690 kg/m³. Ketiga nilai tersebut dimasukkan ke dalam *software* SAP2000 *student version*. Pada jenis bata merah buatan tangan, untuk nilai ketiga jenis parameter tersebut bisa dilihat seperti yang terdapat pada Gambar 4.21. Tipe *shell* yang digunakan untuk bata merah buatan tangan sendiri bisa dilihat pada Gambar 4.22.

Shell Section Data

Section Name BATA CETAK MESIN

Section Notes

Display Color ■

Type

Shell - Thin

Shell - Thick

Plate - Thin

Plate Thick

Membrane

Shell - Layered/Nonlinear

Material

Material Name BATA CETAK MESIN

Material Angle

Thickness

Membrane

Bending

Concrete Shell Section Design Parameters

Stiffness Modifiers

Temp Dependent Properties

Gambar 4.22 Tipe pelat bata merah cetak mesin

4.2. Pembebanan Struktur

1. Beban Mati

Beban mati ditetapkan berdasarkan penjumlahan beban gravitasi yaitu berat sendiri elemen struktur dan berat non-struktur yang ada.

2. Beban Hidup

Beban hidup sesuai yang terdapat pada PPIUG-1983 untuk rumah tinggal sederhana adalah sebesar 125 kg/m^2 . Beban hidup atap digunakan 100 kg/titik (Boen, 2008).

3. Beban Angin

- Secara analitis

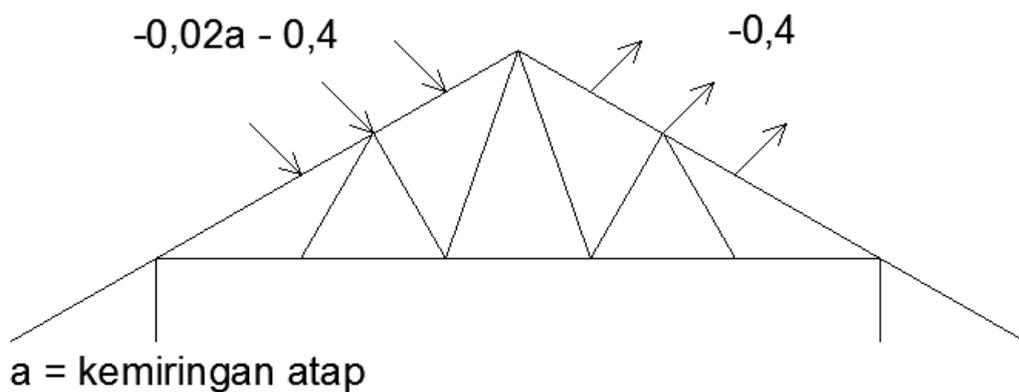
Berdasarkan data kecepatan angin BMKG untuk daerah Malang didapatkan kecepatan angin maksimum adalah sebesar 19kg/jam (5,278m/det).

$$P = \frac{v^2}{16} = \frac{5,278^2}{16} = 1,741\text{kg/m}^2$$

- Berdasarkan Asumsi

Menurut Peraturan Muatan Indonesia untuk rumah hunian di daerah perkotaan beban angin yang terjadi adalah 25kg/m².

Jadi beban angin yang digunakan adalah nilai yang terbesar yaitu berdasarkan asumsi sebesar 25kg/m². Sedangkan untuk beban angin pada atap diberi koefisien beban angina yang ditentukan berdasarkan Gambar 4.14



Gambar 4.23 Koefisien beban angin pada atap

- Atap I

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin tekan} &= (0,02 \times a) - 0,4 \\ &= (0,02 \times 30) - 0,4 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_x &= W \times \text{koefisien} \times \text{jarak gording} \\ &= 25 \times 0,2 \times 0,7217 \\ &= 3,6085 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$\begin{aligned} W_y &= W \times \text{koefisien} \times \text{jarak gording} \\ &= 25 \times (-0,4) \times 0,7217 \\ &= -7,2170 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Atap II

$$\begin{aligned} \text{Koefisien angin tekan} &= (0,02 \times a) - 0,4 \\ &= (0,02 \times 30) - 0,4 \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_x &= W \times \text{koefisien} \times \text{jarak gording} \\ &= 25 \times 0,2 \times 0,7939 \\ &= 3,9695 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$\begin{aligned} W_y &= W \times \text{koefisien} \times \text{jarak gording} \\ &= 25 \times (-0,4) \times 0,7939 \\ &= -7,9390 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

4. Beban Gempa

Beban gempa digunakan berupa respon spektrum berdasarkan model respon spektrum menurut Puskim PU-ITB, dengan *Peak Ground Acceleration*, PGA = 0,399g dengan probabilitas keruntuhan 1% dalam 50 tahun.

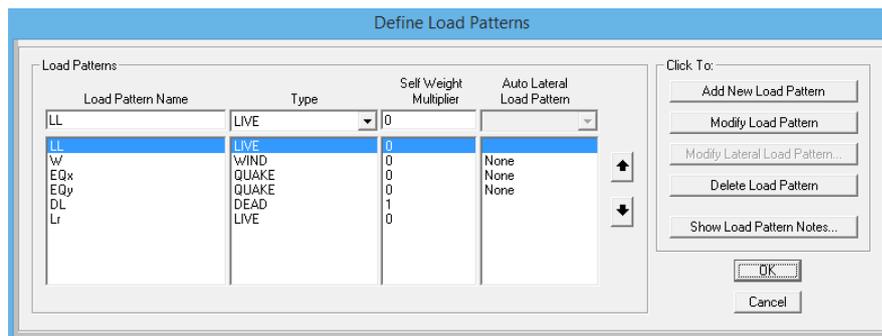
5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia (SNI 1727-2013) sebagai berikut:

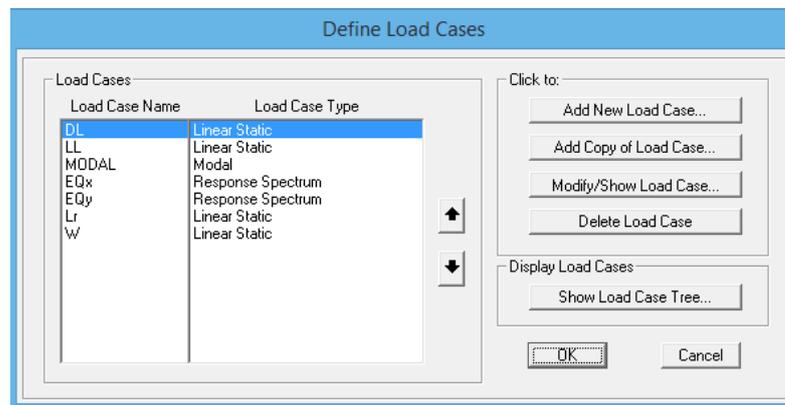
1. $U = 1,4 \text{ DL}$
2. $U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + 0,5L_r$
3. $U = 1,2 \text{ DL} + 1,6 L_r + 1 \text{ LL}$
4. $U = 1,2 \text{ DL} + 0,3 \text{ EQ}_x + 1 \text{ EQ}_y + 1 \text{ LL}$
5. $U = 1,2 \text{ DL} + 1 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y + 1 \text{ LL}$
6. $U = 0,9 \text{ DL} + 1 \text{ W}$
7. $U = 0,9 \text{ DL} + 1 \text{ EQ}_x + 0,3 \text{ EQ}_y$
8. $U = 0,9 \text{ DL} + 0,3 \text{ EQ}_x + 1 \text{ EQ}_y$

dengan:

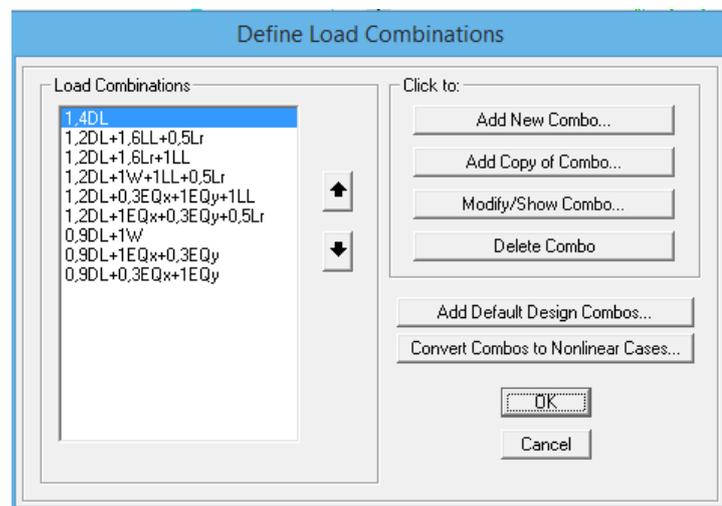
- U = beban *ultimate*
- DL = beban mati
- LL = beban hidup
- L_r = beban hidup pada atap
- EQ_x = beban gempa respon spektrum arah x
- EQ_y = beban gempa respon spektrum arah y
- W = beban angin



Gambar 4.24 Define load patterns



Gambar 4.25 Define load cases



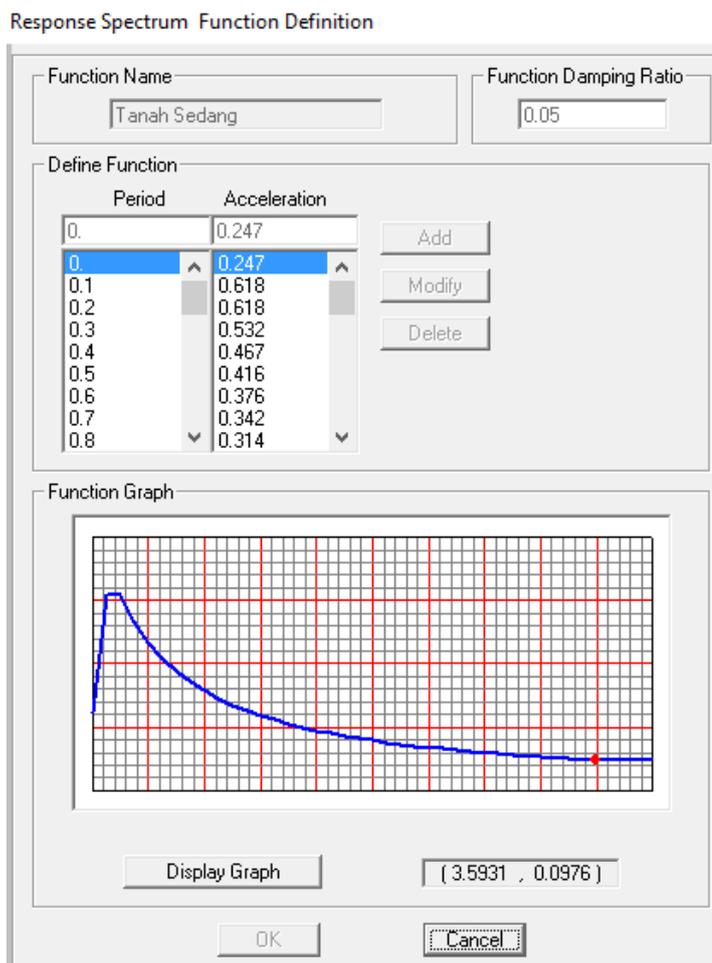
Gambar 4.26 Define load combinations

4.3. Analisis Respon Spektrum

Sesuai SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9, maka *input* respon spektrum diberikan nilai pengali sebesar $\frac{I_e}{R}$ dengan I_e adalah faktor keutamaan gempa dan R adalah faktor modifikasi respon. Karena *input* nilai C pada respon spektrum dinyatakan dalam gravitasi bumi (g), maka untuk *input* juga akan ditambahkan faktor pengali sebesar $g = 9,81 \text{ m/detik}^2$.

Untuk penelitian ini berdasarkan SNI 03-1726-2012 tabel 1, untuk bangunan rumah tinggal termasuk kategori risiko II sehingga pada tabel 2, didapatkan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,0. Sedangkan untuk strukturnya sendiri direncanakan sebagai sistem rangka pemikul momen (SRPM) dengan rangka beton bertulang pemikul momen biasa dengan faktor modifikasi respon sesuai pada tabel 9 pada SNI 03-1726-2012 adalah sebesar 3,0. Jadi faktor pengalinya adalah: $\frac{1}{3} \times 9,81 = 3,27$

Selanjutnya adalah memasukkan data parameter-parameter desain respon spektrum yang didapatkan dari Puskim PU-ITB untuk tanah sedang daerah Kota Malang.



Gambar 4.27 Desain respon spektrum

Dalam pasal 7.2.2 SNI 03-1726-2002 dikemukakan dua macam metode penjumlahan ragam, yaitu CQC (*Complete Quadratic Combination*) untuk struktur dengan waktu getar alami yang berdekatan (selisih $< 15\%$) dan SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*) untuk struktur dengan waktu getar alami yang berjauhan.

Diketahui data tanah sedang untuk Kota Malang adalah sebagai berikut:

$$T_1 = 0,270$$

$$T_2 = 0,158$$

$$T_3 = 0,112$$

$$T_4 = 0,096$$

Dari data di atas dapat dihitung selisih untuk masing-masing ragam, misal diambil untuk empat ragam pertama, seperti berikut ini:

$$T_1 - T_2 = (0,270 - 0,158)/0,270 \times 100\% = 41,481 > 15$$

$$T_2 - T_3 = (0,158 - 0,112)/0,158 \times 100\% = 41,071 > 15$$

$$T_3 - T_4 = (0,112 - 0,096)/0,112 \times 100\% = 16,667 > 15$$

Karena nilai-nilai selisihnya > 15 maka penjumlahan ragamnya menggunakan metode SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*).

Gambar 4.28 Load case untuk respon spektrum arah x

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name EQy	Set Def Name	Notes Modify/Show...	Load Case Type Response Spectrum	Design...
Modal Combination <input type="radio"/> CQC <input checked="" type="radio"/> SRSS <input type="radio"/> Absolute <input type="radio"/> GMC <input type="radio"/> NRC 10 Percent <input type="radio"/> Double Sum		GMC f1 1. GMC f2 0. Periodic + Rigid Type SRSS	Directional Combination <input checked="" type="radio"/> SRSS <input type="radio"/> Absolute Scale Factor	
Modal Load Case Use Modes from this Modal Load Case MODAL				
Loads Applied				
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor	
Accel	U2	Tanah Seda	327.	
Accel	U2	Tanah Sedang	327.	
				Add
				Modify
				Delete
<input type="checkbox"/> Show Advanced Load Parameters				
Other Parameters Modal Damping Constant at 0.05				
				Modify/Show...
				OK
				Cancel

Gambar 4.29 Load case untuk respon spektrum arah y

Selanjutnya dilakukan analisis modal yang diperlukan guna penentuan ragam vibrasi serta juga untuk mengetahui waktu getar fundamental alami struktur. Untuk tipe ragamnya sendiri gunakan *rizzt-vector* yang dapat memberikan dasar yang lebih baik saat digunakan untuk analisis respon spektrum berdasarkan modal *superposition*. Jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Jumlah perkiraan ragam bisa ditentukan berdasarkan perkalian DOF (*Degree of Freedom*) atau derajat kebebasan struktur dengan jumlah lantai tinjauan. Dalam contoh ini tiap lantai memiliki 3 DOF yaitu translasi arah x, translasi arah y dan rotasi memutar sumbu z. Struktur terdiri atas satu tingkat (termasuk lantai dan atap) sehingga didapatkan jumlah perkalian $3 \times 1 = 3$.

Load Case Data - Modal

Load Case Name: MODAL [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Modal [Design...]

Stiffness to Use:

- Zero Initial Conditions - Unstressed State
- Stiffness at End of Nonlinear Case []

 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes:

- Eigen Vectors
- Ritz Vectors

Number of Modes:

- Maximum Number of Modes: 3
- Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dynamic Participation Ratios (%)
Accel	UX	0	99.
Accel	UX	0	99.
Accel	UY	0	99.

[Add] [Modify] [Delete] [OK] [Cancel]

Gambar 4.30 Load case untuk modal

Massa struktur dianggap berasal dari berat beban mati total (pengali = 1) dan beban hidup efektif sebesar 30% (pengali = 0,3). Faktor pengali di sini bukanlah pengali untuk gravitasi, karena oleh program sudah dikalikan secara otomatis dengan percepatan gravitasi ($w = m.g$).

Define Mass Source

Define Mass Source

Mass Definition:

- From Element and Additional Masses
- From Loads
- From Element and Additional Masses and Loads

Define Mass Multiplier for Loads:

Load	Multiplier
LL	0.3
LL	0.3
DL	1.

[Add] [Modify] [Delete] [OK] [Cancel]

Gambar 4.31 Define mass source untuk struktur

4.4. Respon Rumah Tinggal

Pada pemodelan rumah tinggal satu lantai ini akan dibahas perpindahan dan tegangan yang terjadi pada struktur dinding jika menggunakan pasangan bata merah buatan tangan dan pasangan bata merah cetak mesin. Tegangan yang dimaksud meliputi tegangan aksial, tegangan geser, tegangan utama dan tegangan geser maksimum. Dari banyak titik yang menghasilkan perpindahan akan dibahas titik-titik yang terdapat pada panel dinding yang mengalami perpindahan terbesar yang terjadi akibat salah satu kombinasi pembebanan yang menghasilkan nilai maksimum pada pemodelan rumah tinggal satu lantai ini. Begitu juga dengan tegangan aksial, tegangan geser, tegangan utama dan tegangan geser maksimum yang akan dibahas adalah tegangan maksimum yang terjadi akibat salah satu kombinasi pembebanan yang menghasilkan nilai maksimum. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan nilai maksimum yang dimaksud sebelumnya yaitu kombinasi pembebanan $U=1,2DL+1EQ_x+0,3EQ_y+1LL$.

4.4.1. Perpindahan

Pada analisis kali ini, respon yang diperhatikan dari struktur bangunan adalah respon terhadap perpindahan. Respon perpindahan bangunan diambil dari respon perpindahan terbesar yang terjadi pada struktur dinding rumah tinggal akibat dari gaya gempa yang diberikan pada struktur. Terdapat dua respon perpindahan yang terjadi, yang pertama respon perpindahan dengan struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan dan yang kedua dinding pasangan bata merah cetak mesin. Dalam penelitian ini akan dibahas perpindahan yang terjadi pada empat titik yang dipilih secara acak untuk melihat perbedaan antara kedua jenis struktur dinding pasangan bata merah tersebut. Nilai perpindahan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Perpindahan

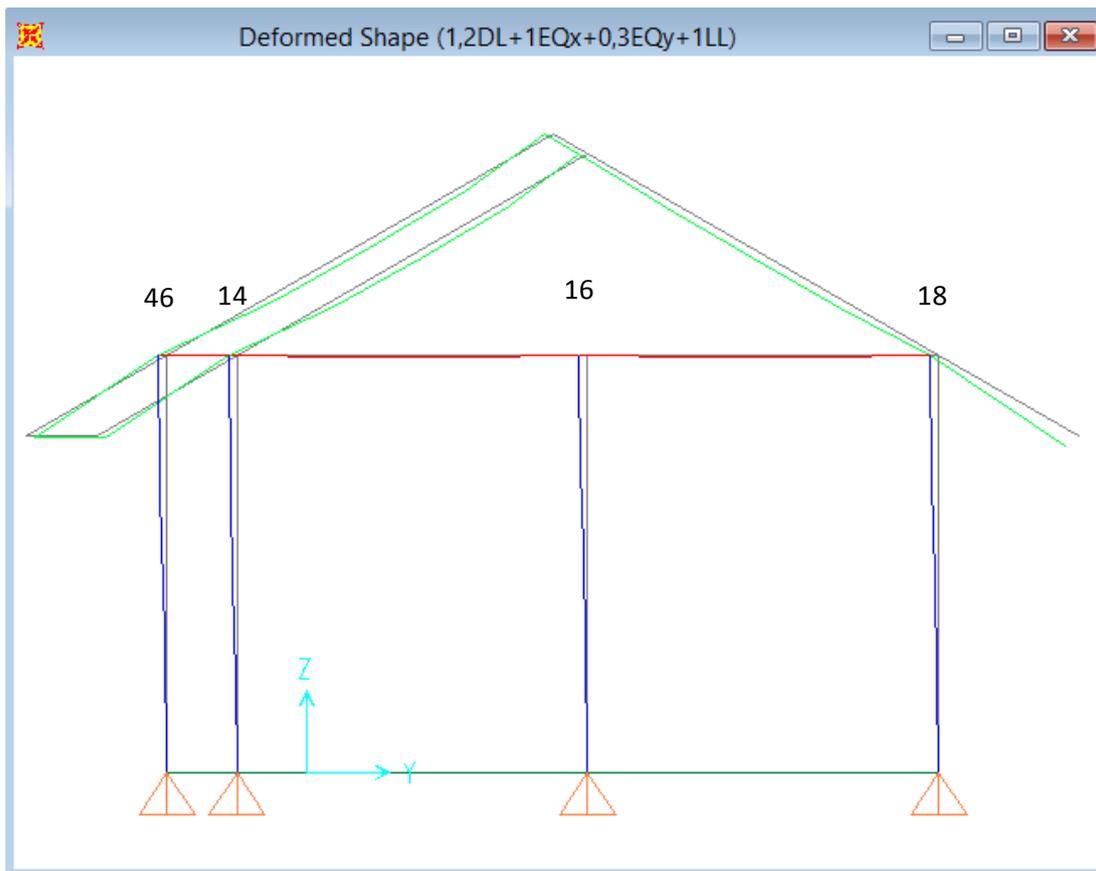
Titik	Dinding Pasangan Bata Merah Buatan Tangan			Dinding Pasangan Bata Merah Cetak Mesin		
	u_x (cm)	u_y (cm)	u_z (cm)	u_x (cm)	u_y (cm)	u_z (cm)
46	0,0902	0,0282	-0,0002	0,0803	0,0236	-0,0002
14	0,0886	0,0282	-0,0006	0,0783	0,0237	-0,0007
16	0,0730	0,0282	-0,0006	0,0604	0,0237	-0,0006
18	0,0669	0,0283	-0,0008	0,0570	0,0237	-0,0007

(tanda negatif artinya nilai yang dihasilkan berlawanan dengan arah sumbu global)

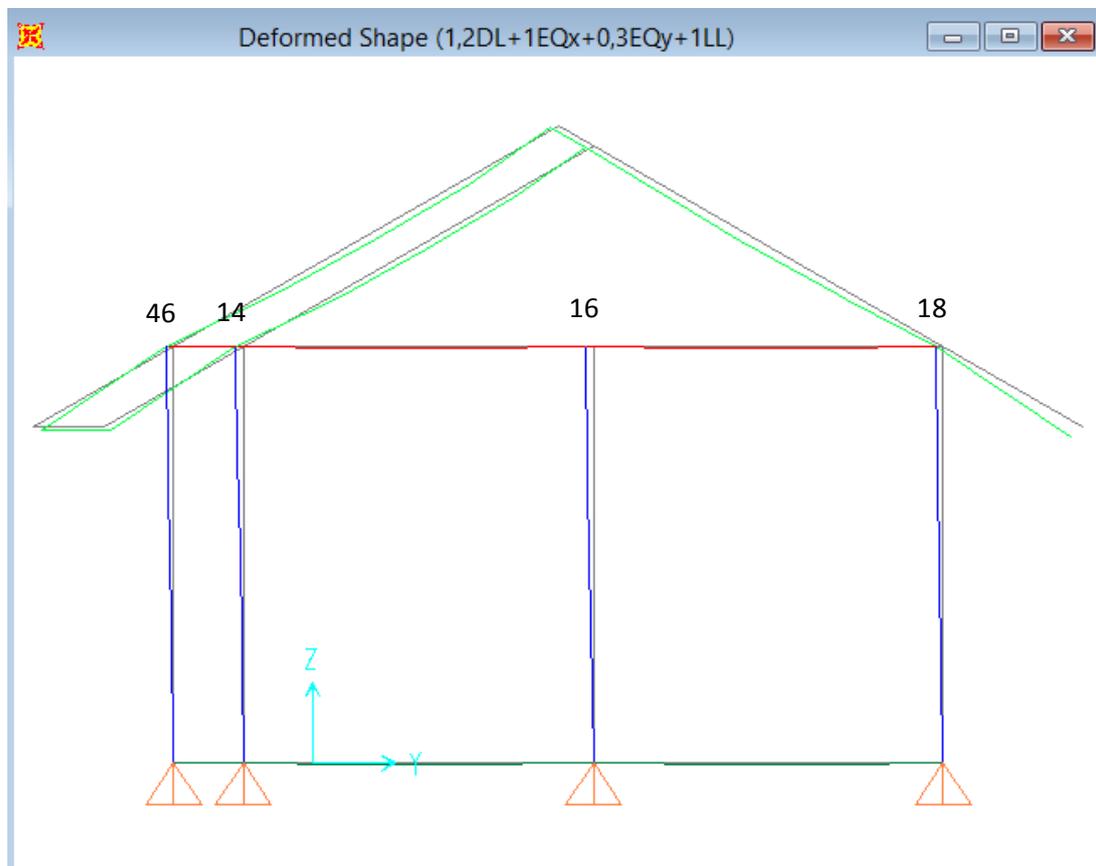
Berdasarkan Tabel 4.2, nilai perpindahan arah sumbu x yang paling besar yaitu 0,0902 cm untuk struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan dan 0,0803 cm untuk struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin yang terjadi pada titik 46. Sedangkan nilai

perpindahan arah sumbu y yang paling besar yaitu 0,0283 cm terjadi pada titik 18 untuk struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan dan 0,237 cm untuk struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin yang terjadi pada titik 18. Dan selanjutnya, nilai perpindahan arah sumbu z yang paling besar terjadi pada titik 18 sebesar -0,0008 cm untuk struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan dan -0,0007 cm yang terjadi pada titik 18 untuk struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin.

Dari Gambar 4.32 dan Gambar 4.33 juga dapat dilihat bahwa perpindahan yang terjadi pada kedua dinding pasangan bata merah tersebut memiliki pola yang sama akan tetapi memiliki nilai perpindahan yang berbeda. Jika diperhatikan lebih detail, dinding dengan pasangan bata merah cetak mesin lebih kuat menahan beban yang diberikan daripada dinding pasangan bata merah buatan tangan. Karena pada dinding pasangan bata merah buatan tangan memiliki nilai perpindahan yang lebih besar daripada dinding dengan pasangan bata merah cetak mesin. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor. Pada analisis ini salah satu parameter yang digunakan untuk membedakan respon perpindahan dari kedua jenis bata adalah nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas pasangan bata merah cetak mesin lebih besar daripada pasangan bata merah buatan tangan. Bata merah cetak mesin memiliki modulus elastisitas sebesar $2.243,34 \text{ kg/cm}^2$ dengan rasio Poisson sebesar 0,254 sedangkan bata merah buatan tangan memiliki modulus elastisitas sebesar $1.275,38 \text{ kg/cm}^2$ dengan rasio Poisson sebesar 0,208. Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi beban. Hal inilah yang menyebabkan struktur dinding dengan pasangan bata merah buatan tangan mengalami perpindahan yang lebih besar daripada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin.



Gambar 4.32 Perpindahan titik pada dinding pasangan bata merah buatan tangan



Gambar 4.33 Perpindahan titik pada dinding pasangan bata merah cetak mesin

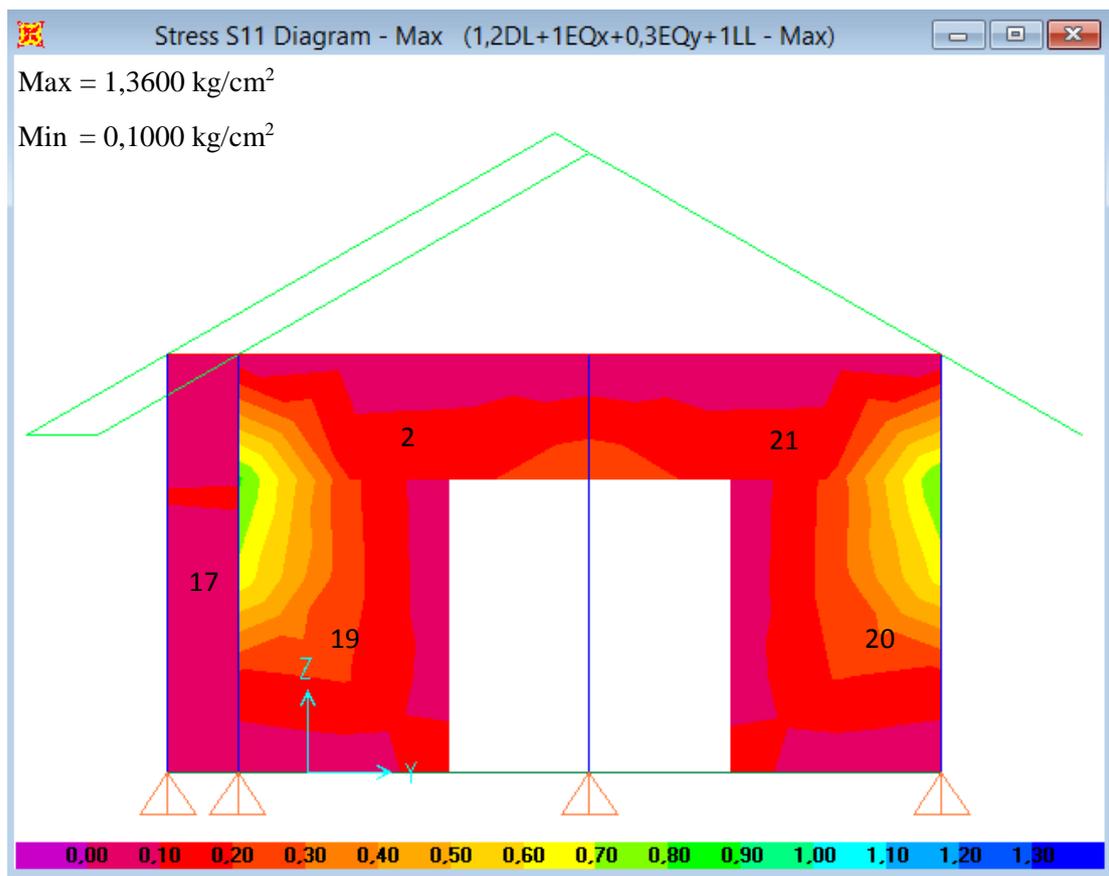
4.4.2. Tegangan aksial

Selanjutnya, respon yang diperhatikan dari struktur bangunan adalah tegangan aksial yang dihasilkan pada struktur dinding pasangan bata merah. Tegangan aksial rumah tinggal satu lantai ini diambil dari nilai tegangan aksial terbesar yang terjadi pada struktur dinding pasangan bata merah akibat dari gaya gempa yang diberikan pada struktur. Terdapat dua nilai tegangan aksial yang terjadi, yang pertama tegangan aksial dengan struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan dan yang kedua tegangan aksial struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin. Tegangan aksial arah x (S11) dan arah y (S22) yang terjadi di setiap panel dinding berbeda-beda. Perbedaan tersebut tidak hanya terjadi pada nilai tegangan yang dihasilkan, namun juga pada kondisi yang dialami oleh panel dinding. Jika tegangan bernilai negatif maka penampang tersebut mengalami tekan, dan jika tegangan bernilai positif maka penampang tersebut mengalami tarik.

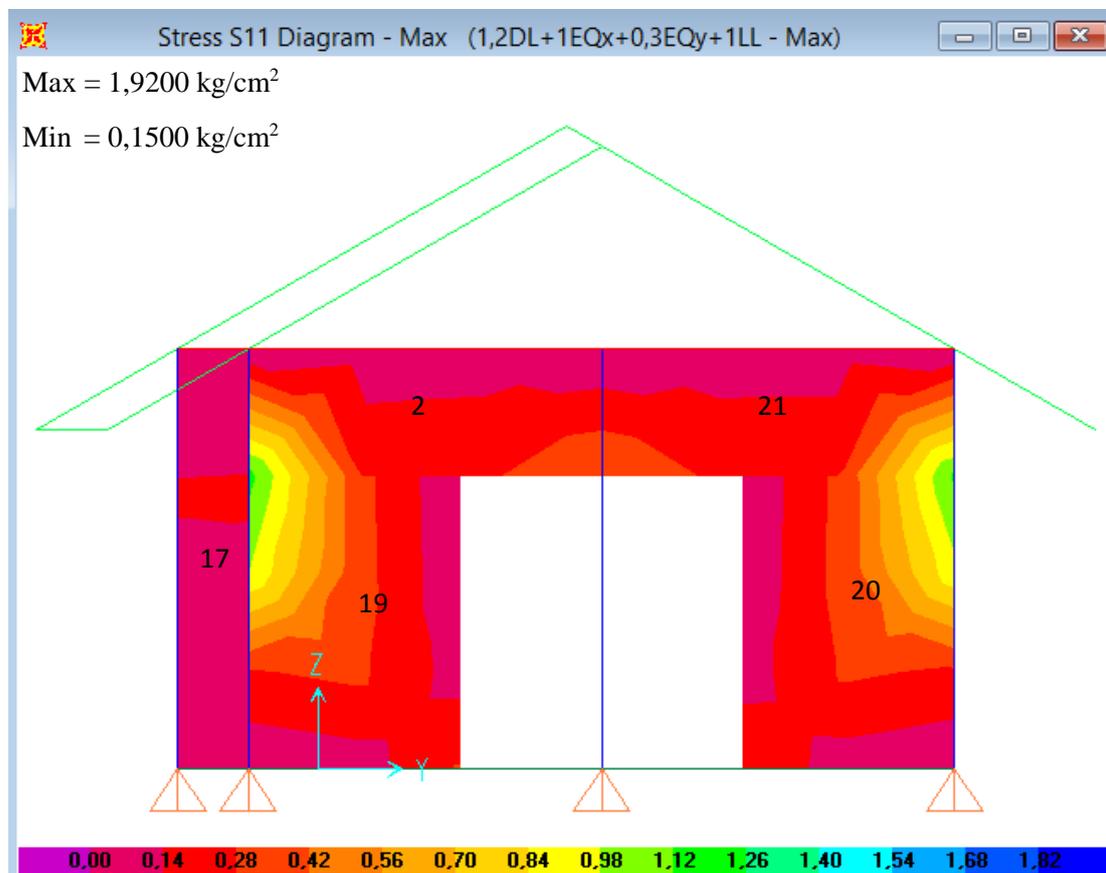
Tabel 4.3 Nilai Tegangan Aksial Rata-rata

Area	Tegangan Aksial Rata-rata (kg/cm ²) Bata Merah Buatan Tangan		Tegangan Aksial Rata-rata (kg/cm ²) Bata Merah Cetak Mesin	
	σ_x (S11)	σ_y (S22)	σ_x (S11)	σ_y (S22)
2	0,2800	0,0466	0,4000	0,0814
17	0,1000	0,0274	0,1500	0,0502
19	1,3600	0,2800	1,9200	0,4800
20	1,3000	0,2700	1,8500	0,4800
21	0,3000	0,0468	0,4400	0,0880

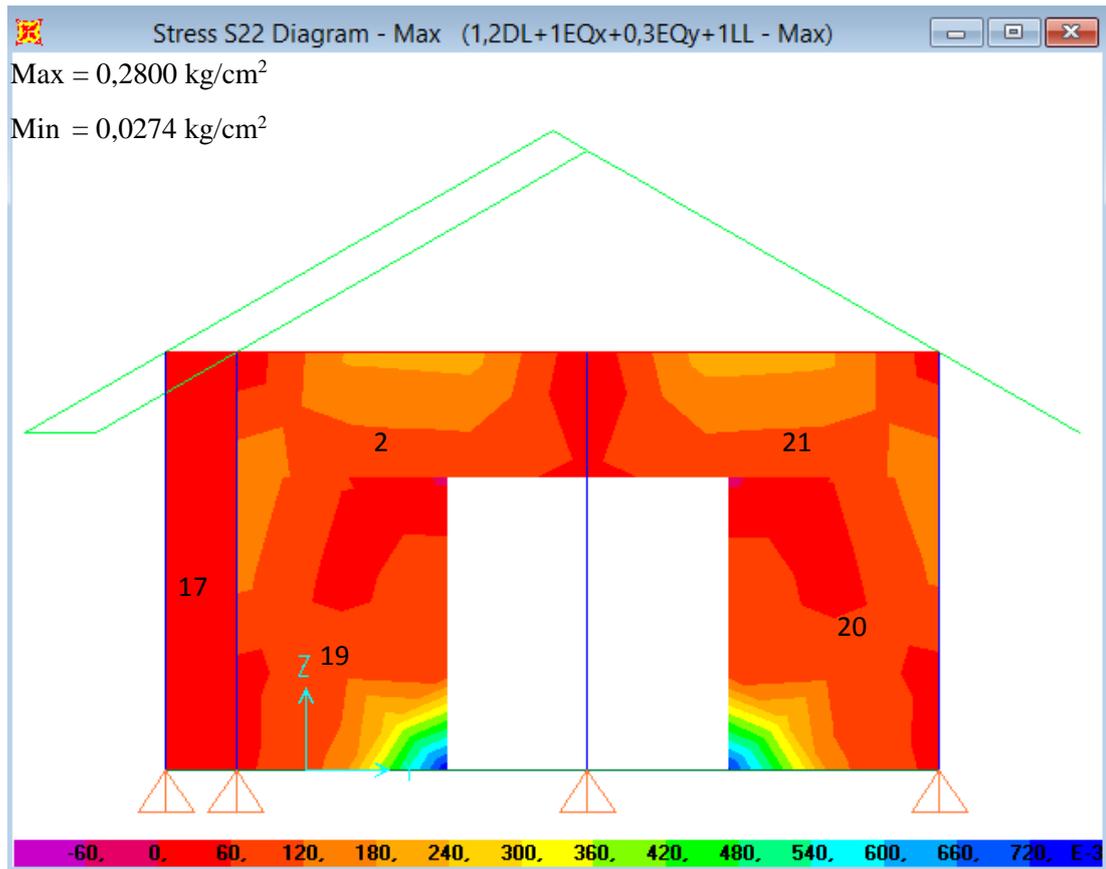
Berdasarkan Tabel 4.3, nilai tegangan aksial pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin lebih besar daripada struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan. Nilai tegangan aksial arah x paling besar pada struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan adalah sebesar 1,3600 kg/cm² pada area 19 dan tegangan aksial paling besar arah y adalah 0,2800 kg/cm² juga pada area 19, sedangkan nilai tegangan aksial arah x paling besar pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin mencapai 1,9200 kg/cm² pada area 19 dan tegangan aksial paling besar arah y adalah 0,4800 kg/cm² yang terdapat pada area 19. Perbedaan itu disebabkan oleh parameter-parameter yang dimasukkan ke dalam pemodelan rumah tinggal. Parameter-parameter tersebut yaitu modulus elastisitas, rasio Poisson dan massa jenis. Dari ketiga parameter tersebut, bata merah cetak mesin memiliki nilai yang lebih besar daripada bata merah buatan tangan. Oleh karena itu nilai tegangan aksial yang lebih besar pun terjadi pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin. Pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35 dapat kita simpulkan bahwa tegangan aksial paling besar terjadi disudut area 19 dan 20 yang bisa saja merupakan area mulainya struktur dinding mengalami retak.



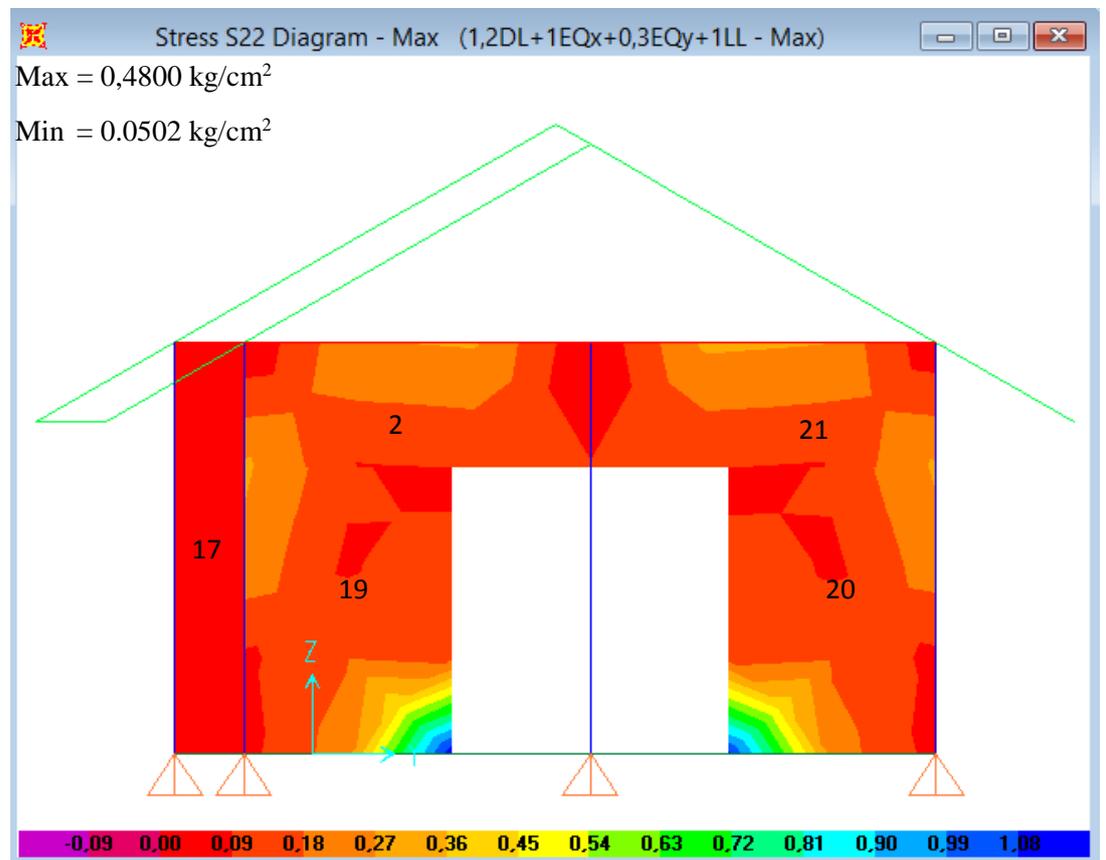
Gambar 4.34 Tegangan aksial arah x (kg/cm²) dinding pasangan bata merah buatan tangan



Gambar 4.35 Tegangan aksial arah x (kg/cm²) dinding pasangan bata merah cetak mesin



Gambar 4.36 Tegangan aksial arah y (kg/cm²) dinding pasangan bata merah buatan tangan



Gambar 4.37 Tegangan aksial arah y (kg/cm²) dinding pasangan bata merah cetak mesin

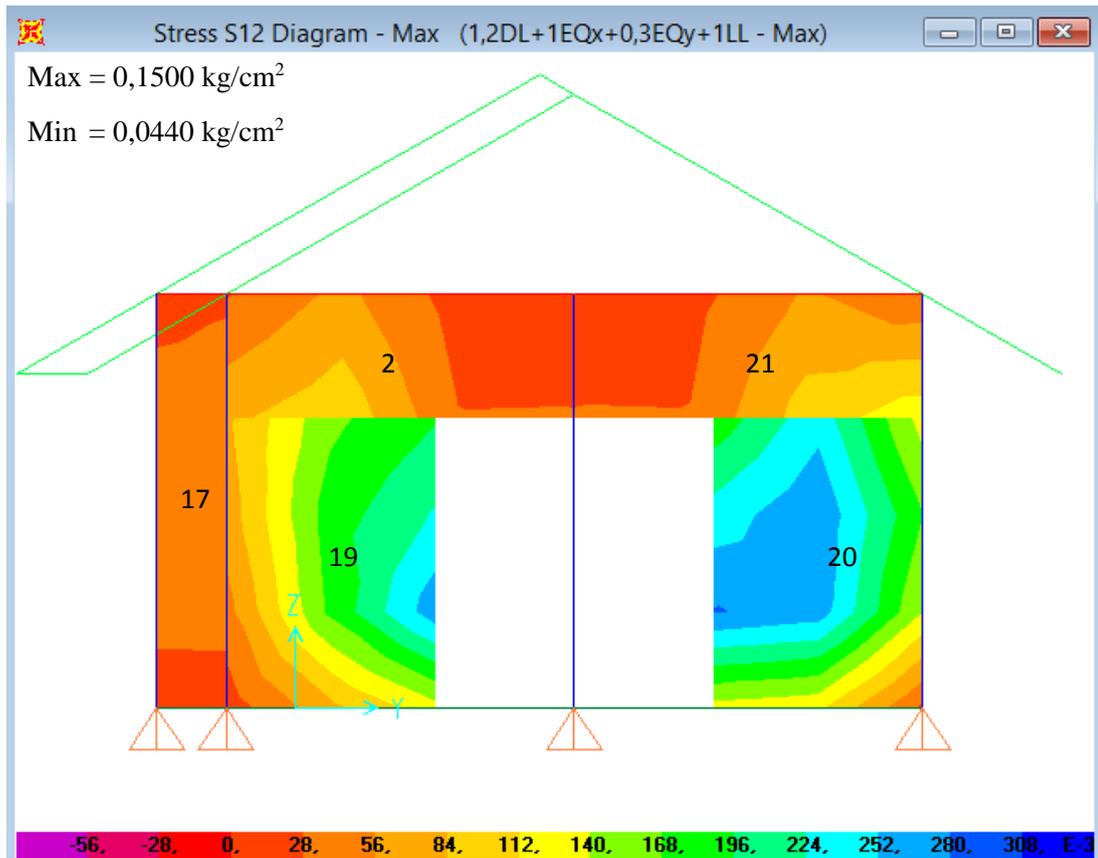
4.4.3. Tegangan geser

Selanjutnya, respon yang diperhatikan dari struktur bangunan adalah tegangan geser yang dihasilkan oleh dinding pasangan bata merah. Tegangan geser bangunan diambil dari nilai tegangan geser terbesar yang terjadi pada struktur dinding rumah tinggal satu lantai akibat dari gaya gempa yang diberikan pada struktur. Terdapat dua nilai tegangan geser yang terjadi, yang pertama nilai tegangan geser pada struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan dan yang kedua nilai tegangan geser pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin. Tegangan geser (S12) yang terjadi disetiap panel dinding berbeda-beda. Perbedaan tersebut tidak hanya terjadi pada nilai tegangan yang dihasilkan, namun juga pada kondisi yang dialami oleh panel dinding. Jika tegangan bernilai positif maka tegangan tersebut bekerja pada bidang positif dengan arah positif atau bekerja pada bidang negatif dengan arah negatif, selain itu nilainya negatif.

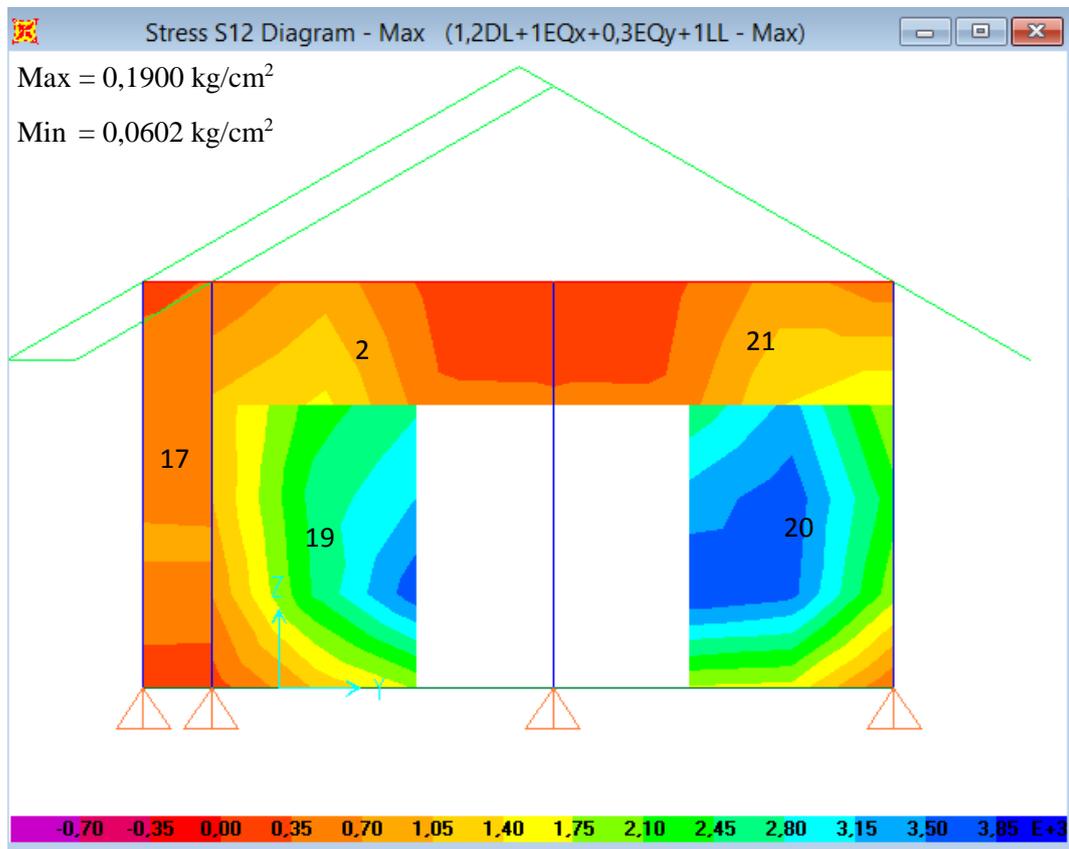
Tabel 4.4 Nilai Tegangan Geser Rata-rata

Area	Tegangan Geser Rata-rata (kg/cm ²)	Tegangan Geser Rata-rata (kg/cm ²)
	Bata Merah Buatan Tangan	Bata Merah Cetak Mesin
	τ (S12)	τ (S12)
2	0,1100	0,1600
17	0,0452	0,0633
19	0,0440	0,0602
20	0,1500	0,1900
21	0,1100	0,1600

Berdasarkan Tabel 4.4, nilai tegangan geser pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin memiliki nilai tegangan yang lebih besar daripada struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan. Nilai tegangan geser paling besar pada struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan adalah sebesar 0,1500 kg/m² pada area 20, sedangkan nilai tegangan geser paling besar pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin mencapai 0,1900 kg/m² yang terdapat pada area 20. Sama seperti pada tegangan aksial, perbedaan itu disebabkan oleh parameter-parameter yang dimasukkan ke dalam pemodelan rumah tinggal. Parameter-parameter tersebut yaitu modulus elastisitas, rasio Poisson dan massa jenis. Dari ketiga parameter tersebut, bata merah cetak mesin memiliki nilai yang lebih besar daripada bata merah buatan tangan. Oleh karena itu nilai tegangan geser lebih besar terjadi pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin. Pada Gambar 4.41 dan Gambar 4.42 pun dapat kita lihat bahwa tegangan geser pada struktur dinding bata merah cetak mesin lebih besar daripada tegangan geser yang terjadi pada struktur dinding bata merah buatan tangan.



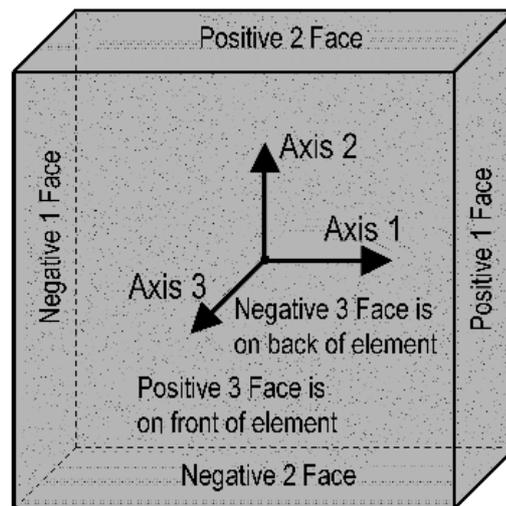
Gambar 4.38 Tegangan geser (kg/cm²) dinding pasangan bata merah buatan tangan



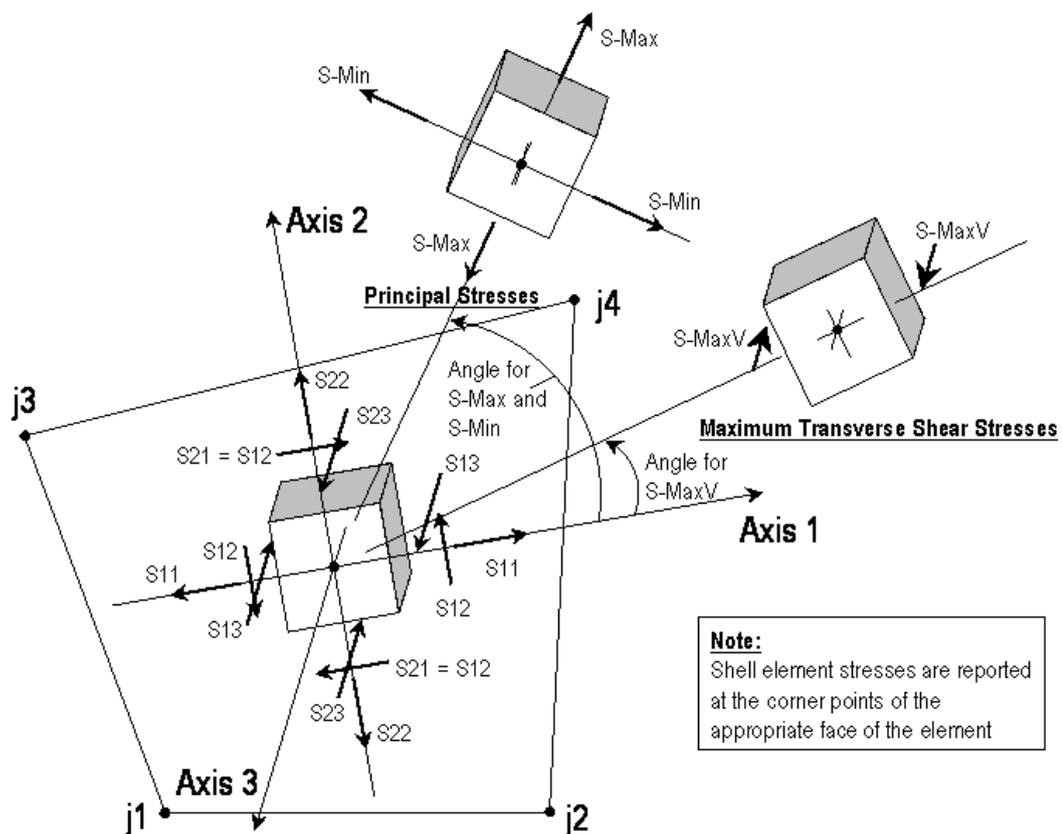
Gambar 4.39 Tegangan geser (kg/cm²) dinding pasangan bata merah cetak mesin

4.4.4. Tegangan utama dan tegangan geser maksimum

Sama halnya seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tegangan utama dan tegangan geser maksimum didapatkan dari perkembangan persamaan-persamaan transformasi tegangan dengan merubah orientasi sumbu-sumbu yang menghasilkan nilai maksimum dan minimum. Tegangan utama digunakan untuk mengetahui apakah struktur masih mampu menahan beban luar atau beban telah melampaui kekuatan bahannya.



Gambar 4.40 Orientasi sumbu yang digunakan



Gambar 4.41 Transformasi tegangan

Tegangan utama maksimum dan minimum serta tegangan geser maksimum selain bisa diperoleh langsung dari *software* SAP2000, juga bisa didapatkan dengan menggunakan rumus seperti berikut ini:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

dengan:

σ_1 = tegangan utama maksimum / S_{\max} (kg/m²)

σ_2 = tegangan utama minimum / S_{\min} (kg/m²)

τ = tegangan geser maksimum (kg/m²)

σ_x = tegangan aksial arah x / S11 (kg/m²)

σ_y = tegangan aksial arah y / S22 (kg/m²)

σ_{xy} = tegangan geser / S12 (kg/m²)

Contoh perhitungan:

- Perhitungan nilai tegangan utama dan geser maksimum untuk struktur dinding bata merah cetak mesin pada area 2

Diketahui: S11 (σ_x) = 0,4000 kg/cm²

S22 (σ_y) = 0,0814 kg/cm²

S12 (σ_{xy}) = 0,1600 kg/cm²

Sehingga: $\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$

$$\sigma_{1,2} = \frac{0,4000 + 0,0814}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,4000 - 0,0814}{2}\right)^2 + (0,1600)^2}$$

$\sigma_1 = 0,4665$ kg/cm²

$\sigma_2 = 0,0149$ kg/cm²

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{0,4000 - 0,0814}{2}\right)^2 + (0,1600)^2}$$

$$\tau = \mathbf{0,2258 \text{ kg/cm}^2}$$

- Perhitungan nilai tegangan utama dan geser maksimum untuk struktur dinding bata merah buatan tangan pada area 2

Diketahui: S11 (σ_x) = 0,2800 kg/cm²

S22 (σ_y) = 0,0466 kg/cm²

S12 (σ_{xy}) = 0,1100 kg/m²

Sehingga: $\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$

$$\sigma_{1,2} = \frac{0,2800 + 0,0466}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,2800 - 0,0466}{2}\right)^2 + 0,1100^2}$$

$$\sigma_1 = \mathbf{0,3237 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\sigma_2 = \mathbf{0,0029 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{0,2800 - 0,0466}{2}\right)^2 + 0,1100^2}$$

$$\tau = \mathbf{0,1604 \text{ kg/cm}^2}$$

Pada pembahasan ini terdapat tegangan utama maksimum (S_{\max}) dan tegangan utama minimum (S_{\min}) serta tegangan geser maksimum (SVM) yang terjadi pada struktur dinding rumah tinggal satu lantai akibat dari gaya gempa yang diberikan pada struktur. Terdapat dua nilai tegangan utama yang terjadi, yang pertama tegangan utama dan tegangan geser dengan struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan dan yang kedua dinding pasangan bata merah cetak mesin. Perjanjian tanda yang digunakan untuk tegangan utama adalah dengan arah keluar bidang (tarik) diambil positif sedangkan yang sebaliknya bernilai negatif. Selanjutnya untuk tegangan geser bernilai positif bila bekerja pada permukaan positif dengan arah ke atas atau yang memutar sumbu z berlawanan arah jarum jam.

Tabel 4.5 Nilai Tegangan Utama dan Tegangan Geser Maksimum

Area	Dinding Pasangan Bata Merah Cetak Mesin			Dinding Pasangan Bata Merah Buatan Tangan		
	Tegangan utama		Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)	Tegangan utama		Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)
	S _{max} (kg/cm ²)	S _{min} (kg/cm ²)		S _{max} (kg/cm ²)	S _{min} (kg/cm ²)	
2	0,4665	0,0149	0,2258	0,3237	0,0029	0,1604
17	0,1807	0,0195	0,0806	0,1217	0,0057	0,0580
19	1,9225	0,4775	0,7225	1,3618	0,2782	0,5418
20	1,8759	0,4541	0,7109	1,3214	0,2486	0,5364
21	0,5019	0,0261	0,2379	0,3411	0,0057	0,1677

Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa nilai tegangan utama dan tegangan geser maksimum pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin lebih besar daripada tegangan utama dan tegangan geser maksimum struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan. Pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin nilai tegangan utama maksimum yang terjadi adalah 1,9225 kg/cm² pada area 19 dan nilai tegangan utama minimum yang terjadi adalah 0,4775 kg/cm² pada area 19. Sedangkan pada struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan nilai tegangan utama maksimum yang terjadi adalah 1,3618 kg/cm² pada area 19 dan nilai tegangan utama minimum yang terjadi adalah 0,2782 kg/cm² pada area 19. Selanjutnya nilai tegangan geser maksimum yang terjadi pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin adalah sebesar 0,7225 kg/cm² dan untuk nilai tegangan geser maksimum yang terjadi pada struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan adalah sebesar 0,5418 kg/cm² yang sama-sama terletak pada area 19. Hal ini menunjukkan bahwa antara struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin dan bata merah buatan tangan memiliki pola distribusi tegangan yang hampir sama akan tetapi memiliki nilai yang berbeda. Jika diperhatikan lebih detail baik tegangan utama maupun tegangan geser maksimum terbesar terjadi pada area 19 yang bisa saja menjadi suatu awal keretakan pada struktur dinding.

4.4.5. Hasil simulasi dinamik rumah tinggal

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Dinamik Rumah Tinggal Satu Lantai

	Tegangan Utama Maksimum (kg/cm ²)	Tegangan Geser Maksimum (kg/cm ²)	Perpindahan Maksimum		
			u _x (cm)	u _y (cm)	u _z (cm)
Struktur Dinding dengan Pasangan Bata Merah Cetak Mesin	1,9225	0,7225	0,0803	0,0237	-0,0007
Struktur Dinding dengan Pasangan Bata Merah Buatan Tangan	1,3618	0,5418	0,0902	0,0283	-0,0008

Pada Tabel 4.6 dapat diketahui hasil simulasi dinamik yang dilakukan terhadap rumah tinggal satu lantai yang dianalisis menggunakan *software* SAP2000. Nilai-nilai tersebut merupakan nilai maksimum yang diambil dari beban kombinasi $U=1,2DL+1EQ_x+0,3EQ_y+1LL$. Dari tabel tersebut kita bisa melihat bahwa untuk nilai tegangan utama maksimum dan tegangan geser maksimum struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin lebih besar daripada nilai tegangan utama maksimum dan tegangan geser maksimum yang dihasilkan oleh struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan. Sedangkan untuk nilai perpindahannya baik u_x , u_y , dan u_z struktur dinding dengan pasangan bata merah buatan tangan lebih besar daripada nilai perpindahan yang terjadi pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin.

Seperti yang dibahas sebelumnya tegangan utama digunakan untuk mengetahui apakah struktur masih mampu menahan beban dari luar. Pada struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin nilai tegangan utamanya adalah 1,9225 kg/cm². Nilai tersebut menunjukkan bahwa tegangan terbesar adalah tegangan tarik. Nilai kuat tarik untuk bata merah cetak mesin sendiri adalah sebesar 1,67 MPa atau setara dengan 17,0293 kg/cm². Jika dibandingkan, maka kuat tarik bata cetak mesin lebih besar daripada tegangan tarik yang terjadi pada struktur dinding pasangan bata. Sehingga dapat disimpulkan bahwa material bata merah cetak mesin masih mampu menahan beban gempa yang diberikan. Selanjutnya untuk struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan nilai tegangan utamanya adalah 1,3618 kg/cm². Nilai tersebut juga menunjukkan bahwa tegangan terbesar adalah tegangan tarik. Nilai kuat tarik untuk bata merah buatan tangan adalah sebesar 2,03 kg/cm². Jika dibandingkan, nilai kuat tarik bata merah buatan tangan lebih besar dari tegangan yang terjadi pada dinding. Sehingga sama seperti bata merah cetak mesin, dapat disimpulkan

bahwa material bata merah buatan tangan masih mampu menahan beban gempa yang diberikan.

Selanjutnya ditinjau nilai tegangan geser yang terjadi pada struktur dinding. Untuk struktur dinding pasangan bata merah cetak mesin tegangan geser yang terjadi adalah sebesar $0,7225 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan nilai kuat geser untuk bata merah cetak mesin adalah $0,35 \text{ MPa}$ atau setara dengan $3,5 \text{ kg/cm}^2$. Jika dibandingkan, maka kuat geser bata cetak mesin lebih besar daripada tegangan geser yang terjadi pada struktur dinding pasangan bata. Sehingga dapat disimpulkan bahwa material bata merah cetak mesin masih mampu menahan beban gempa yang diberikan. Untuk struktur dinding pasangan bata merah buatan tangan nilai tegangan gesernya adalah $0,5418 \text{ kg/cm}^2$. Nilai kuat geser untuk bata merah buatan tangan adalah sebesar $3,04 \text{ kg/cm}^2$. Jika dibandingkan, nilai kuat geser bata merah buatan tangan lebih besar dari tegangan yang terjadi pada dinding. Sehingga dapat disimpulkan bahwa material bata merah buatan tangan masih mampu menahan beban gempa yang diberikan.