

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis Indonesia terletak diantara 2 Benua yaitu Asia dan Australia serta 2 buah samudera yakni Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Selain geografis, berdasarkan letak astronomis Indonesia berada pada 3 lempengan utama dunia yaitu Lempengan Eurasia, Lempengan Indoaustralia dan Lempengan Pasifik posisi letak Indonesia dikenal dengan wilayah *Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) terbentang sejauh 40.000 KM. Hal tersebut yang menyebabkan sering terjadi gempa bumi di wilayah Indonesia serta letusan-letusan gunung berapi di wilayah cekungan Samudra Pasifik. Terjadinya gempa bumi merupakan bencana alam yang dikhawatirkan masyarakat Indonesia, karena terjadi rata-rata sebanyak 6000 kali dalam setahun dengan berbagai jenis dampak yang diakibatkan (Utomo & Purba, 2019). Salah satu bencana gempa bumi yaitu pada Senin, 21 November 2022 berkekuatan 5.6 Magnitudo di daerah Cianjur, Jawa Barat yang mengakibatkan ratusan orang meninggal dan ribuan bangunan hancur (Rizky, 2022)

Perencanaan bangunan tahan gempa sangat penting diterapkan di Indonesia yang merupakan salah satu daerah dengan resiko bencana gempa yang cukup besar dalam beberapa dekade mendatang. Dengan adanya perencanaan bangunan tahan gempa maka diharapkan dapat mencegah kegagalan struktur, dan meminimalisir jumlah korban jiwa ketika gempa terjadi. Material dan sistem struktur merupakan hal utama yang diperlukan dalam perencanaan konstruksi

bangunan tahan gempa (Wisman & Febrina, 2021). Sistem perkuatan struktur yang sering digunakan yaitu struktur bresing, dinding pengisi dan pemasangan dinding geser (*shear wall*).

Menurut Repadi, dkk., (2016) bresing adalah metode penguat struktur bangunan yang berfungsi menambah kekakuan bangunan, menahan beban lateral, menambah kekuatan struktur saat mengalami simpangan serta mampu meredam energi yang di akibatkan gaya gempa. Penggunaan bresing dapat mengurangi simpangan lateral akibat gempa, sehingga periode struktur menjadi kecil. Menurut Alvianto, (2016) massa bangunan dan kekakuan akan berpengaruh pada waktu getar alami namun, untuk merencanakan suatu struktur tahan gempa hendaknya mempertimbangkan sistem yang akan digunakan, agar mampu menahan semua beban-beban yang bekerja termasuk beban gempa yang berbahaya untuk perencanaan struktur gedung bertingkat tinggi. Perkuatan struktur menggunakan bresing X memang mampu menahan gaya lateral akibat beban gempa. Namun adanya bresing X akan memberikan distribusi gaya pada joint balok dan kolom maka diperlukan modifikasi struktur untuk melindungi joint sehingga struktur tetap mampu menahan gaya lateral tetapi tidak mengurangi kekuatan joint.

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi perkuatan struktur Bresing X dengan penambahan Canggah Wang (BXCW). Canggah Wang adalah konstruksi khususnya pada bangunan bali dengan posisi miring yang menyangga konstruksi balok mendatar dengan tiang vertikal (kolom), walaupun ukurannya kecil namun memiliki peran yang besar dalam menyangga bangunan (Sattvika, 2017). Karena belum adanya penelitian terkait penggunaan perkuatan struktur BXCW, maka perlu adanya suatu penelitian lebih lanjut mengenai analisis perkuatan struktur

BXCW sebagai opsi lain untuk bangunan tahan gempa. Untuk mengetahui hasil analisis perkuatan struktur BXCW, maka dilakukan pemodelan dengan menggunakan bantuan aplikasi *SAP2000 V 14.2.2*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Apa pengaruh penambahan canggah wang pada struktur rangka terbuka terhadap perilakunya dalam menahan beban gempa.
2. Seberapa besar perbandingan perilaku struktur rangka terbuka dengan penambahan Bresing X (BX), struktur Rangka Terbuka dengan penambahan Canggah Wang (RTCW) dan kombinasi Bresing X dengan penambahan Canggah Wang (BXCW) dalam menahan beban gempa.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh penambahan canggah wang pada struktur rangka terbuka terhadap perilakunya dalam menahan beban gempa
2. Mengetahui perbandingan perilaku struktur rangka terbuka dengan penambahan Bresing X (BX), struktur Rangka Terbuka dengan penambahan Canggah Wang (RTCW) dan kombinasi Bresing X dengan penambahan Canggah Wang (BXCW) dalam menahan beban gempa.

1.4 Manfaat Penelitian

- 1 Mengetahui perilaku BXCW sekaligus mempelajari berbagai aplikasi pendukung dalam melakukan analisis tersebut.
- 2 Penelitian ini memberikan informasi kepada masyarakat umum tentang analisis perilaku struktur BXCW.

- 3 Hasil dari penelitian ini dapat dikembangkan atau dapat dijadikan sebuah acuan untuk merancang bangunan tahan gempa menggunakan struktur BXCW.

1.5 Batasan Masalah dan Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian terfokus pada hasil analisis. Adapun batasan dalam penelitian ini yaitu:

1. Perencanaan gedung bertingkat dengan jumlah 4, 8, dan 12 tingkat.
2. Gedung berfungsi sebagai apartemen.
3. Bangunan berlokasi di Kota Mataram dengan wilayah gempa tinggi dan kelas situs tanah sedang.
4. Struktur bangunan menggunakan material baja.
5. Bentuk gedung yang akan dijadikan perbandingan yaitu bentuk gedung beraturan.
6. Bangunan terjepit pada permukaan tanah, sehingga pengaruh pondasi tidak diperhitungkan
7. Perilaku yang diamati yaitu simpangan/*joint displacements*, *base reactions* serta *periods and frecuensies*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Baja

Baja merupakan salah satu bahan konstruksi yang sering digunakan selain beton. Kemudahan pengerjaan konstruksinya dan penyambungan antar elemen yang satu dengan yang lainnya, menggunakan alat sambung las atau baut. Baja mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga dapat mengurangi ukuran struktur yang secara langsung mengurangi berat struktur secara keseluruhan (Arifi & Setyowulan, 2020). Baja memiliki sifat daktilitas yang dapat mengalami deformasi besar dibawah pengaruh tegangan tarik yang tinggi tapi baja tersebut tidak rusak atau patah.

2.1.1 Kuat Tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik izin, P_n/ϕ_t , komponen struktur tarik merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto sesuai SNI 1729:2020 (BSN, 2020).

1. Untuk leleh tarik pada penampang bruto: $P_n = F_y A_g$

$$\phi_t = 0,90 \text{ (DFBT)} \qquad \phi_t = 1,67 \text{ (DKI)}$$

2. Untuk keruntuhan tarik pada penampang neto: $P_n = F_u A_e$

$$\phi_t = 0,75 \text{ (DFBT)} \qquad \phi_t = 2,00 \text{ (DKI)}$$

dengan

P_n = kuat tarik

DFBT = Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan

DKI = Desain Kekuatan Izin

A_e = luas neto efektif, (mm^2)

A_g = luas bruto dari komponen struktur, (mm^2)

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi, (MPa)

F_u = kekuatan tarik minimum terspesifikasi, (MPa)

2.1.2 Kuat Tekan

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi-lentur yang berlaku dan kekuatan tekan izin, P_n/ϕ_c . Untuk komponen struktur tekan dengan elemen nonlangsing, seperti dijelaskan dalam Pasal B4.1 SNI 1729:2020 (BSN, 2020), untuk elemen-elemen yang mengalami tekan aksial.

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus ditentukan berdasarkan keadaan batas berupa tekuk lentur. $P_n = F_{cr} A_g$

$$\phi_c = 0,90 \text{ (DFBT)} \qquad \phi_c = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dengan

P_n = kuat tekan nominal

F_{cr} = tegangan kritis

A_g = luas bruto dari komponen struktur, (mm^2)

DFBT = Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan

DKI = Desain Kekuatan Izin

2.1.3 Kuat Lentur

Kekuatan lentur desain, $\phi_b M_n$, dan kekuatan lentur izin, M_n/ϕ_b , harus ditentukan sebagai berikut:

$$\phi_b = 0,90 \text{ (DFBT)} \qquad \phi_b = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dan kekuatan lentur nominal, M_n , harus ditentukan sesuai dengan Pasal F2 hingga F13 pada SNI 1729:2020 (BSN, 2020).

1. Ketentuan ini berdasarkan asumsi bahwa rotasi terhadap sumbu longitudinal titik-titik tumpuan balok dan girder dikekang.
2. Untuk komponen struktur simetris tunggal dalam lengkungan tunggal dan semua komponen struktur simetris ganda.

Faktor modifikasi tekuk torsi lateral, C_b , untuk diagram momen tidak seragam bila kedua ujung-ujung segmen terbreis ditentukan sebagai berikut:

$$C_b = \frac{12,5 M_{maks}}{12,5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$

dengan:

C_b = faktor modifikasi tekuk torsi-lateral untuk diagram momen tidak seragam apabila kedua ujung segmen terbreis

M_{maks} = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tak terbreis, (Nmm)

M_A = nilai mutlak momen pada titik seperempat dari segmen tak terbreis, (Nmm)

M_B = nilai mutlak momen pada titik tengah segmen tak terbreis, (Nmm)

M_C = nilai mutlak momen pada titik tiga perempat segmen tak terbreis, (Nmm)

DFBT = Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan

DKI = Desain Kekuatan Izin

2.1.4 Kuat Geser

Kekuatan geser desain, $\phi_v V_n$, dan kekuatan geser izin, V_n/ϕ_v , harus ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk seluruh ketentuan dalam bab ini kecuali Pasal G2.1(a) pada SNI 1729:2020 (BSN, 2020).

$$\phi_v = 0,90 \text{ (DFBT)} \qquad \phi_v = 1,67 \text{ (DKI)}$$

2. Kekuatan geser nominal, V_n , harus ditentukan sesuai dengan Pasal G2 sampai Pasal G7 pada SNI 1729:2020 (BSN, 2020).
3. Pasal G2. komponen struktur profil I dan kanal.

- a. Kekuatan Geser Badan tanpa Medan Tarik Kekuatan geser nominal, V_n , adalah:

$$V_n = 0,6F_yA_wC_{v1}$$

Dengan:

V_n = kekuatan geser nominal

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi untuk tipe baja yang digunakan, (MPa)

A_w = luas badan, tebal keseluruhan dikalikan tebal badan, dt_w , (mm^2)

C_v = koefisien kekuatan geser badan

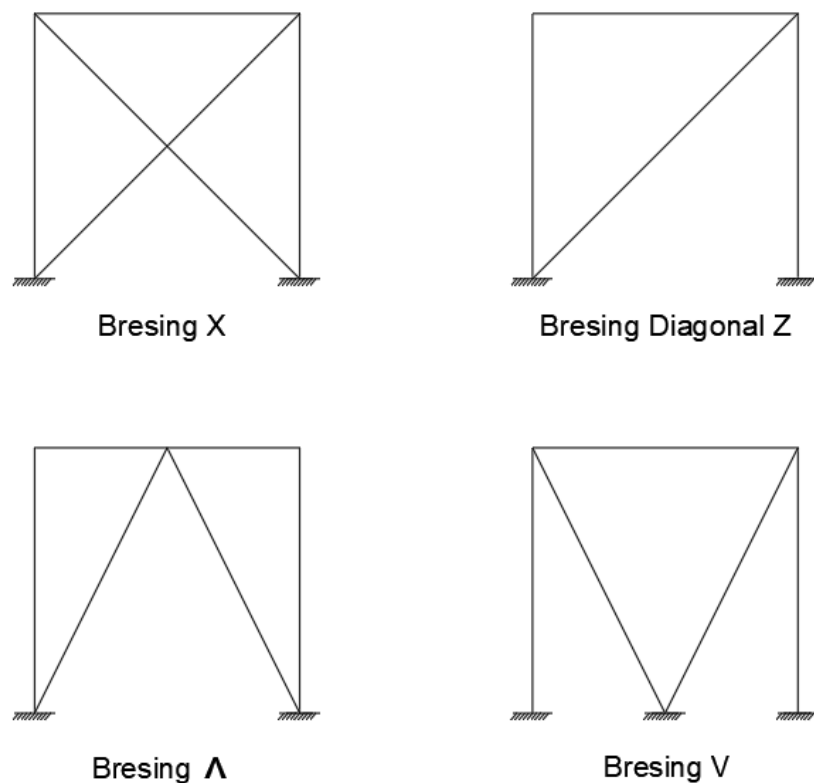
DFBT = desain kekuatan berdasarkan desain faktor beban dan ketahanan

DKI = desain kekuatan izin

2.2 Struktur Rangka Bresing

Struktur rangka bresing merupakan sistem struktur yang didesain untuk menahan beban lateral berupa gempa. Elemen bresing berperilaku sebagai rangka batang yang hanya menerima gaya tarik atau tekan. Bresing adalah metode penguat struktur bangunan yang berfungsi menambah kekakuan bangunan,

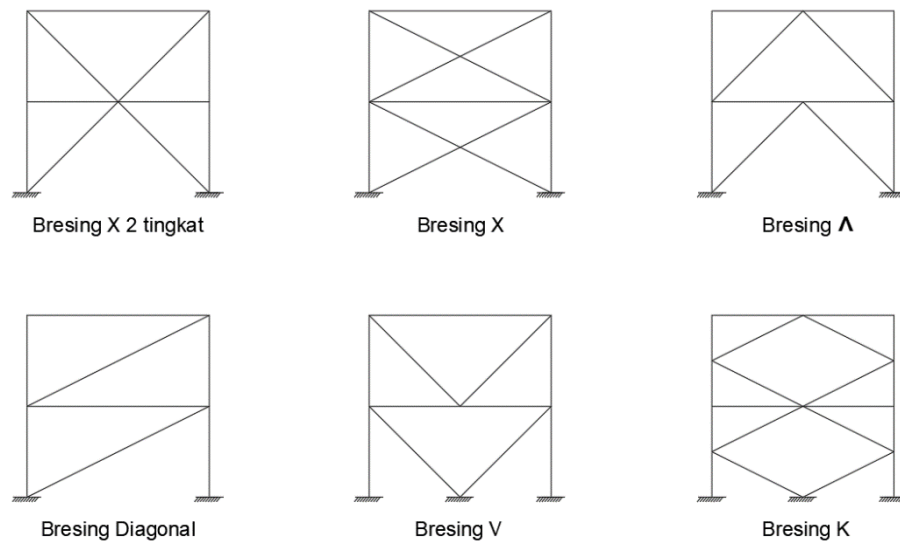
menahan beban lateral, menambah kekuatan struktur saat mengalami simpangan serta mampu meredam energi yang diakibatkan gaya gempa (Repadi, 2016). Contoh dari struktur rangka bresing bisa dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Strukur rangka bresing
 Sumber: Maulidin, D. J. (2018).

2.2.1 Sistem Rangka Bresing Konsentrik

Rangka bresing konsentrik adalah pengembangan dari sistem *Moment Resisting Frames (MRF)*, karena pada rangka bresing konsentrik mampu menahan adanya gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang baik. Sedangkan pada MRF hanya dirancang untuk menahan momen yang terjadi. Penggunaan bresing bertujuan untuk mempertahankan stabilitas bangunan akibat gaya lateral maupun stabilitas struktur secara keseluruhan.

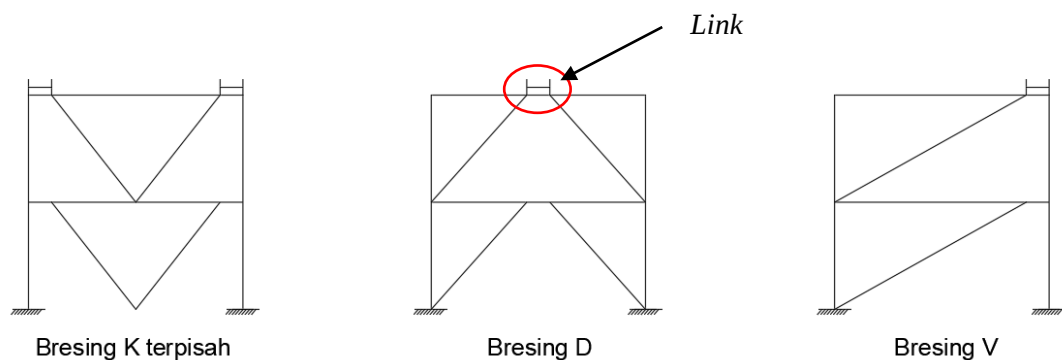


Gambar 2. 2 Struktur rangka bresing konsentrik

Sumber: Maulidin, D. J. (2018).

2.2.2 Sistem Rangka Bresing Eksentrik

Pada Sistem Rangka Bresing Eksentrik (SRBE) terdapat suatu bagian balok yang disebut *Link* dan direncanakan secara khusus. *Link* dapat diartikan sebagai bagian dari balok yang direncanakan untuk mengantisipasi adanya energi pada saat terjadinya gempa. Sistem SRBE diharapkan dapat mengalami deformasi inelastik yang besar pada *Link* saat sedang memikul gaya-gaya akibat beban gempa yang telah direncanakan.

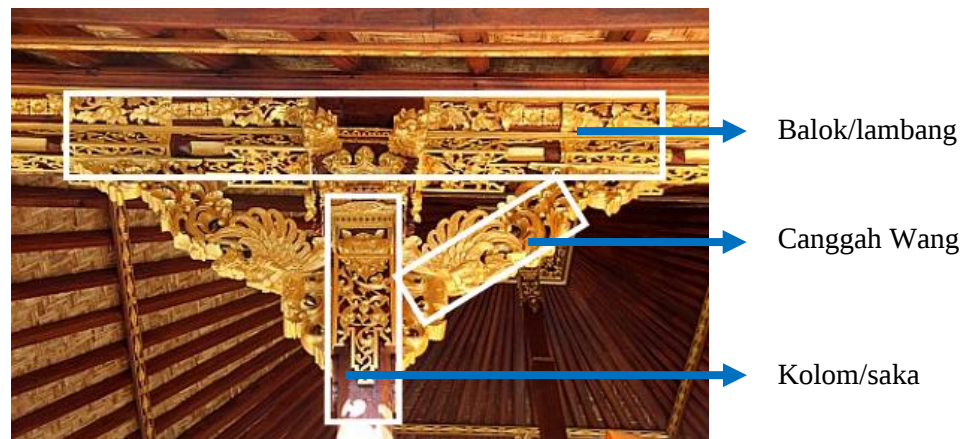


Gambar 2. 3 Struktur rangka bresing eksentrik

Sumber: Maulidin, D. J. (2018).

2.3 Canggah Wang

Canggah wang merupakan salah satu bagian dari struktur bangunan Bali. canggah wang adalah konstruksi yang letaknya miring dan menyangga konstruksi balok mendatar (lambang) dengan tiang vertikal (saka/adegan). Canggah wang biasanya bisa kita temukan dengan bentuk polos (tanpa hiasan) atau dengan memakai hiasan dalam bentuk Patra atau ukiran. Walaupun mempunyai bentuk yang kecil, tetapi canggah wang mempunyai peran sangat besar dalam menyangga bangunan tersebut (Sattvika, 2017).

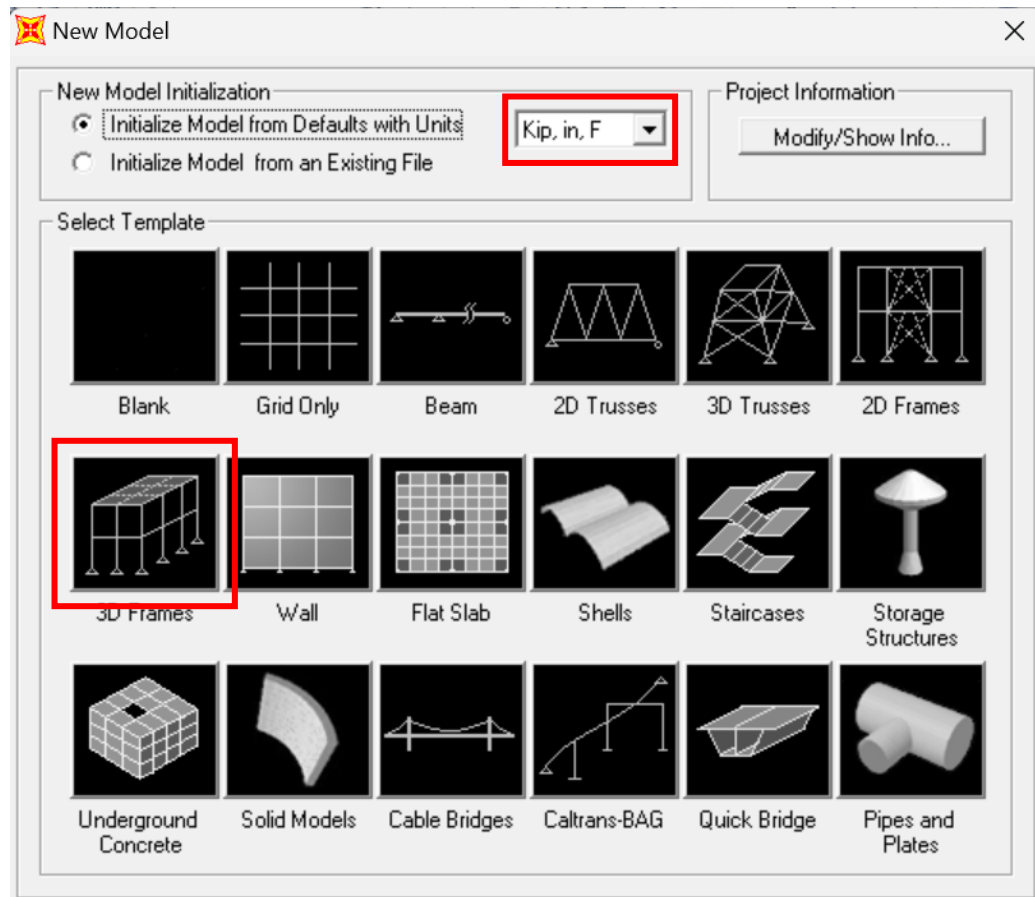


Gambar 2. 4 Struktur dengan canggah wang
Sumber: Widnyana, S. (2014)

2.4 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dengan menggunakan bantuan *SAP2000 v.14.2.2* dalam melakukan analisis dan desain terhadap suatu struktur. Dengan adanya perangkat lunak, analisis suatu struktur yang kompleks mampu dilaksanakan dalam tahap waktu yang lebih singkat, struktur dimodelkan sedemikian rupa sehingga mirip dengan kondisi aslinya. Pada saat pemodelan juga ditetapkan kondisi batas (*boundary condition*) dari struktur agar mendapatkan perilaku yang ingin dicapai. Berikut adalah langkah-langkah pemodelan struktur menggunakan aplikasi *SAP2000 v.14.2.2*

- a. Buka lembar baru di aplikasi *SAP2000 V 14.2.2* dengan *short cut* ctrl+n.
- b. Pilih *template 3d frames* kemudian sesuaikan panjang bentang X dan Y serta tinggi tiap tingkat, pastikan satuan kemudian klik OK.



Gambar 2. 5 Menu *new model*
Sumber: *SAP2000 v.14.2.2* (CSI, 2014)

- c. Mendefinisikan material yang akan digunakan seperti beton dan baja dengan cara klik *define, materials, add new material* kemudian sesuaikan dengan kebutuhan dan ketentuan yang berlaku.

The screenshot shows the 'Define Material' dialog box in SAP2000. The material is named 'baja 420 MPa' and is of type 'Steel'. The units are set to 'N, mm, C'. The material properties are defined as follows:

Property	Value
Material Name and Display Color	baja 420 MPa
Material Type	Steel
Weight per Unit Volume	7,697E-05
Mass per Unit Volume	7,849E-09
Modulus of Elasticity, E	200000,
Poisson's Ratio, U	0,3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1,170E-05
Shear Modulus, G	76923,08
Minimum Yield Stress, Fy	420,
Minimum Tensile Stress, Fu	525,
Effective Yield Stress, Fye	372,3169
Effective Tensile Stress, Fue	439,8856

At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' which is unchecked. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

Gambar 2. 6 Mendefinisikan material
 Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- d. Membuat penampang baja dengan cara klik *define*, *sections properties*, *frame sections*, *add properties* kemudian definisikan nama, ukuran dan material yang digunakan.

Section Name H 300x300x10x15

Section Notes Modify/Show Notes...

Properties Section Properties... Property Modifiers Set Modifiers... Material + baja 420 MPa

Dimensions

Outside height (t3)	0.3
Top flange width (t2)	0.3
Top flange thickness (tf)	0.015
Web thickness (tw)	0.01
Bottom flange width (t2b)	0.3
Bottom flange thickness (tfb)	0.015

Display Color

OK Cancel

Gambar 2. 7 Mendefinisikan penampang baja
Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- e. Membuat pelat dengan cara klik *define*, *section properties*, *area sections*, *add new sections* kemudian sesuaikan dengan kebutuhan dan ketentuan yang berlaku.

Section Name pelat 12 cm

Section Notes Modify/Show... Display Color

Type

☒ Shell - Thin

☐ Shell - Thick

☐ Plate - Thin

☐ Plate Thick

☐ Membrane

☐ Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Material

Material Name + Beton f'c 25 MPa

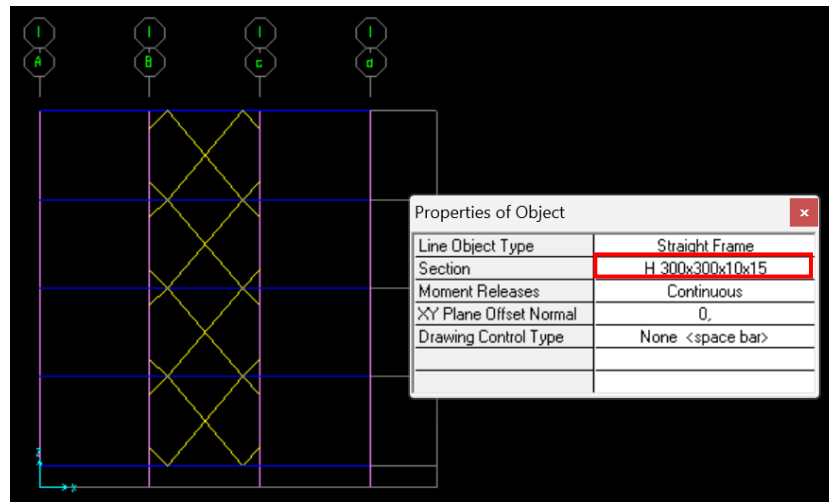
Material Angle 0.

Thickness

Membrane	0.12
Bending	0.12

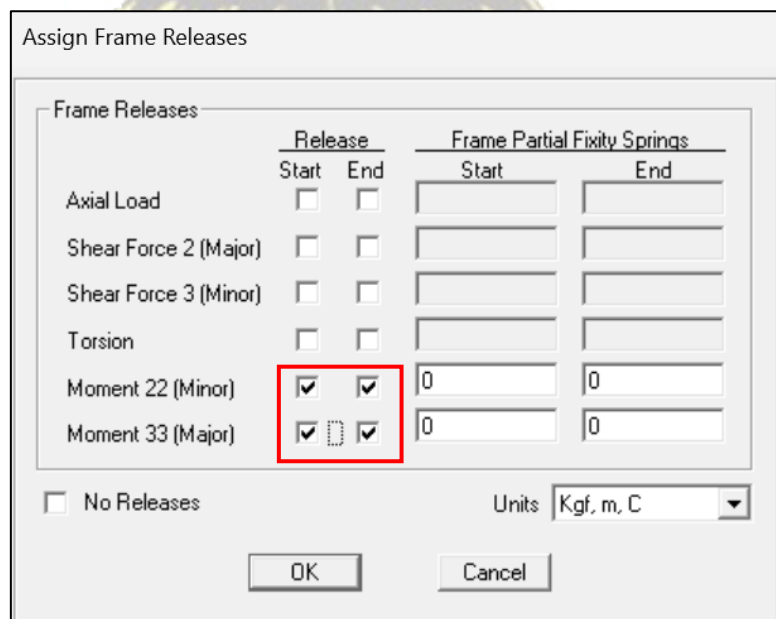
Gambar 2. 8 Mendefinisikan pelat
Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- f. Gambarkan portal sesuai dengan *grid* yang sudah dibuat dengan cara klik *draw frame/cable element* dan jangan lupa tentukan penampang yang akan digunakan.



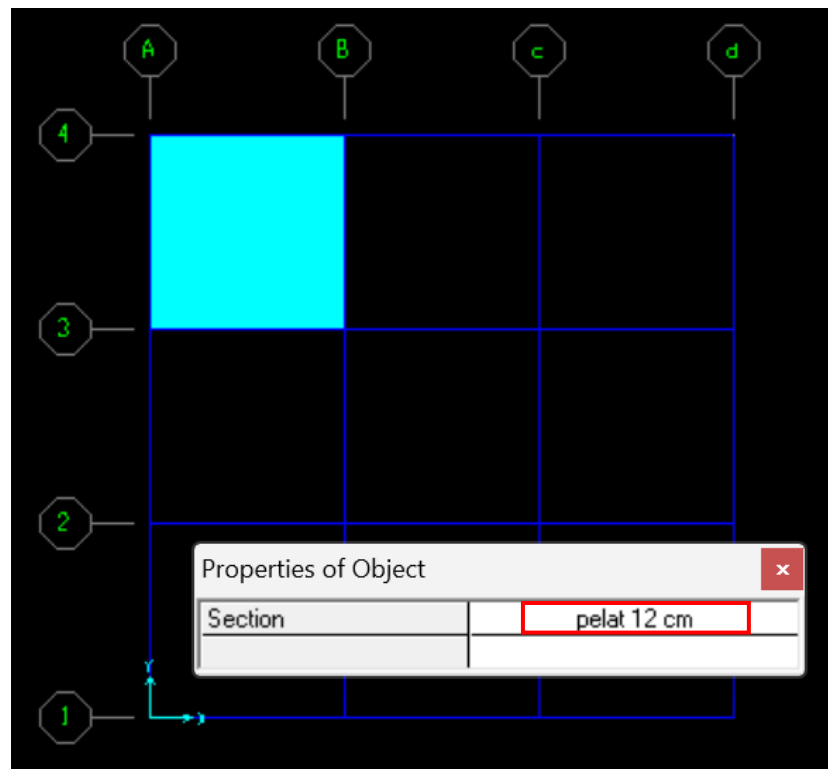
Gambar 2. 9 Portal gedung
Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- g. Kemudian release struktur bresing dan canggah wang supaya hanya menerima gaya aksial dengan cara select struktur bresing dan canggah wang, klik *assign*, *frame*, klik release dan sesuaikan dengan kebutuhan.



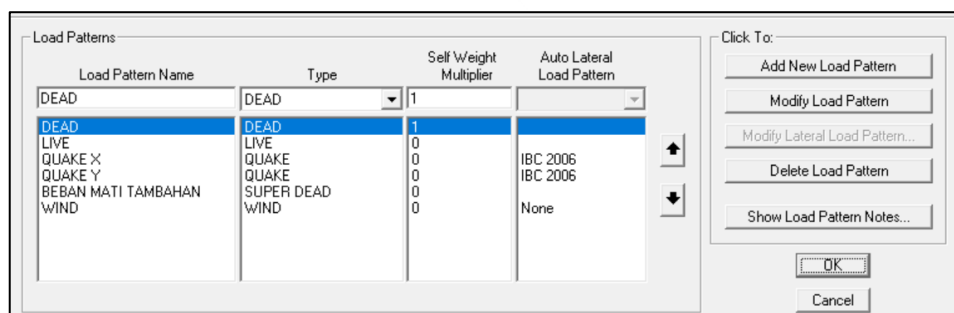
Gambar 2. 10 Assign frame release
Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- h. Gambarkan pelat dengan cara klik *Draw Rectangular Area Element*.



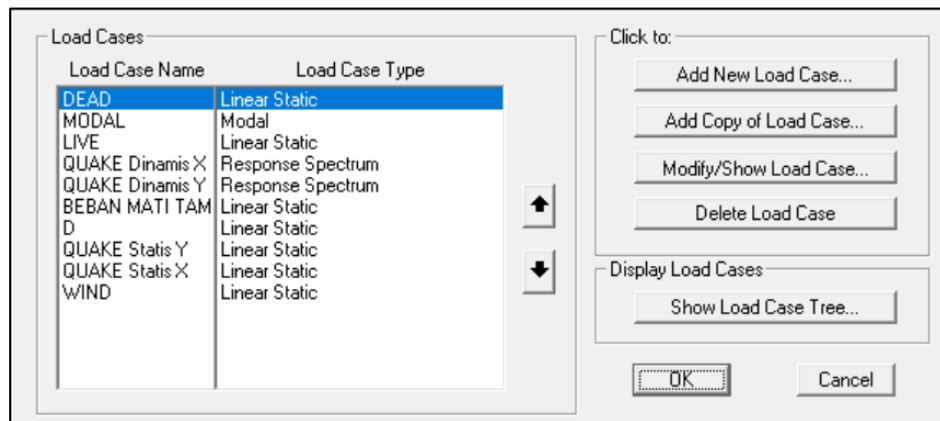
Gambar 2. 11 Mengisi pelat
Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- i. Membuat *load patterns* dengan cara klik *define*, *load patterns* kemudian sesuaikan dengan kebutuhan.



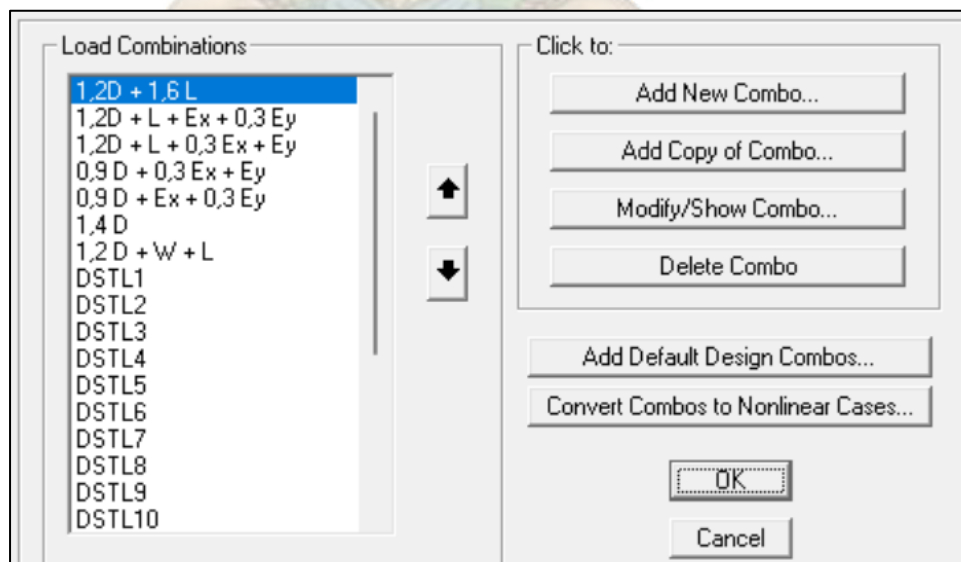
Gambar 2. 12 *load patterns*
Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- j. Membuat *load cases* dengan cara klik *define*, *load cases* kemudian sesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 2. 13 *load cases*
 Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- k. Membuat *load combination* dengan cara klik *define*, *load combination* kemudian sesuaikan dengan kebutuhan.



Gambar 2. 14 *load combinations*
 Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- l. Menginput beban pada pelat dengan cara *select* pelat yang akan diberikan beban lalu klik *assign*, *area loads*, *uniform (shell)* kemudian sesuaikan dengan kebutuhan.

Area Uniform Loads

Load Pattern Name: **DEAD** Units: **Kgf, m, C**

Uniform Load

Load: **0**

Coord System: **GLOBAL**

Direction: **Gravity**

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

OK **Cancel**

Gambar 2. 15 Beban pelat
 Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- m. Menginput beban dinding dengan cara *select* penampang yang akan diberikan beban lalu klik *assign*, *frame loads*, *distributed* kemudian sesuaikan dengan kebutuhan.

Frame Distributed Loads

Load Pattern Name: **DEAD** Units: **Kgf, m, C**

Load Type and Direction

☒ Forces ☐ Moments

Coord Sys: **GLOBAL**

Direction: **Gravity**

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0,25	0,75	1
Load	0	0	0	0

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

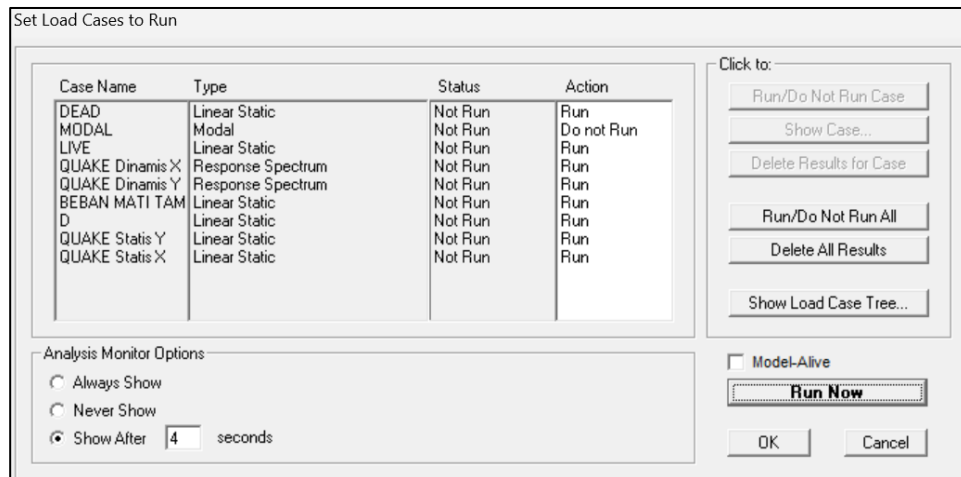
Uniform Load

Load: **0**

OK **Cancel**

Gambar 2. 16 Beban dinding
 Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

- n. Terakhir *run analysis* model yang sudah dibuat dengan cara klik *analyze*, *run analysis*, kemudian sesuaikan dengan ketentuan jika sudah lalu klik *run now*.



Gambar 2. 17 *Run analysis*
 Sumber: SAP2000 v.14.2.2 (CSI, 2014)

2.5 Pembebanan

Pembebanan pada struktur merupakan tahap pemberian beban yang bekerja sesuai dengan kondisi di kenyataan. Pembebanan ini berfungsi sebagai input dalam analisis dan desain yang akan dilakukan sehingga dapat diketahui perilaku dari struktur dalam menahan beban yang telah diinputkan. Pembebanan yang dilakukan mengacu pada SNI 1727:2020 (BSN, 2020) mengenai beban desain minimum untuk perancangan gedung dan struktur lain. Untuk kebutuhan perencanaan, beban yang dikerjakan harus dikombinasikan sesuai dengan peraturan. Adapun beberapa kombinasi beban berdasarkan SNI 1727:2020 (BSN, 2020) adalah sebagai berikut:

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_R atau R)
3. 1,2 D + 1,6 L (L_R atau R) + (L atau 0,5W)

4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + L$
6. $0,9 D + 1,0 E$
7. $0,9 D + 1,0 w$

Kombinasi beban untuk perencanaan struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi berdasarkan metoda tegangan ijin adalah sebagai berikut:

1. D
2. $D + L$
3. $D + (L_r \text{ atau } R)$
4. $D + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
5. $D + (0,6W \text{ atau } 0,7E)$
6. $D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75L + 0,75(L_r \text{ atau } R)$
7. $0,6D + 0,6W$
8. $0,6D + 0,7E$

Keterangan:

- D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.
- L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
- L_r = Beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- R = Beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.

- W= Beban angin
- E = Beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 1727:2020 (BSN, 2020).

2.5.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *cladding* gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran SNI 1727:2020 (BSN, 2020). Contoh berat dari beberapa komponen bangunan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Beban mati

No.	Material	Berat
1	Dinding pasangan bata merah	250 kg/m ²
2	Langit-langit gipsium	11 kg/m ²
3	Rangka langit-langit menggunakan besi hollow	8 kg/m ²
4	Penutup lantai	24 kg/m ²
5	Spesi	21 kg/m ²
6	Instalasi MEP	25 kg/m ²

Sumber: SNI 1727:2020 (BSN, 2020)

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain SNI 1727:2020 (BSN, 2020). Beban hidup selalu berubah-ubah dan sulit diperkirakan. Beban hidup atap merupakan beban yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material. Selain itu juga beban selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian SNI 1727:2020 (BSN, 2020). Beban hidup pada lantai gedung dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 2 Beban hidup

No.	Penggunaan	Berat
1	Hotel, asrama, apartemen	250 kg/m ²
2	Tangga dan bordes tangga	300 kg/m ²
3	Balkon menjorok bebas keluar	300 kg/m ²

Sumber: SNI 1727:2020 (BSN, 2020)

2.5.3 Beban Gempa

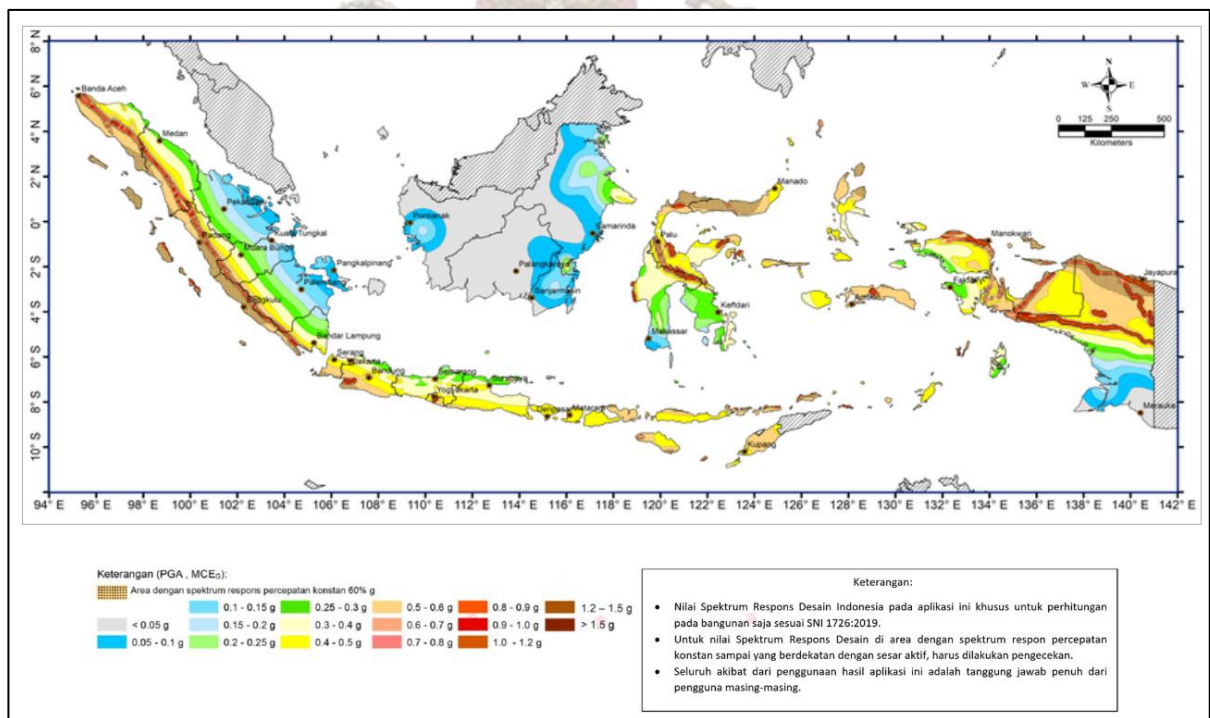
Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi baik itu gempa vulkanik atau tektonik yang mempengaruhi struktur tersebut. Peraturan-peraturan yang memuat perencanaan beban gempa pada gedung-gedung di Indonesia yang berlaku pada saat ini diatur dalam SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Merujuk pada tabel 1.5-1 SNI 1726:2019 (BSN, 2019), pada penelitian ini menggunakan bangunan apartemen dengan kategori risiko II. Berlokasi di Mataram dengan kelas situs tanah sedang dan spektrum respons percepatan 0,4 – 0,5 g.

Syarat kekuatan suatu struktur dapat dicapai dengan memenuhi nilai *stress ratio* > 1 sesuai batasan pada SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Sedangkan syarat kekakuan suatu struktur dapat dengan memenuhi simpangan antar lantai desain $\leq 0,020 H_{sx}$ berdasarkan peraturan Tabel 3.1. pada SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Syarat simpangan antar tingkat dapat dilihat pada tabel berikut.

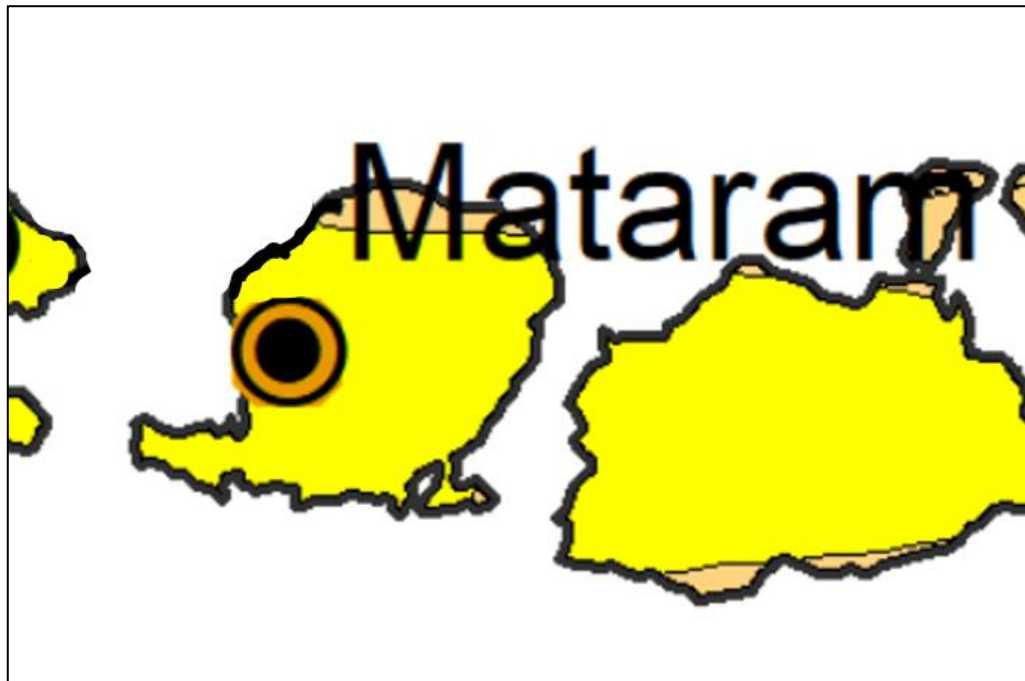
Tabel 2. 3 Syarat simpangan antar tingkat

Struktur	Kategori Risiko		
	I dan II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, tingkat atau kurang dengan interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesai untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,020h_{sx}$

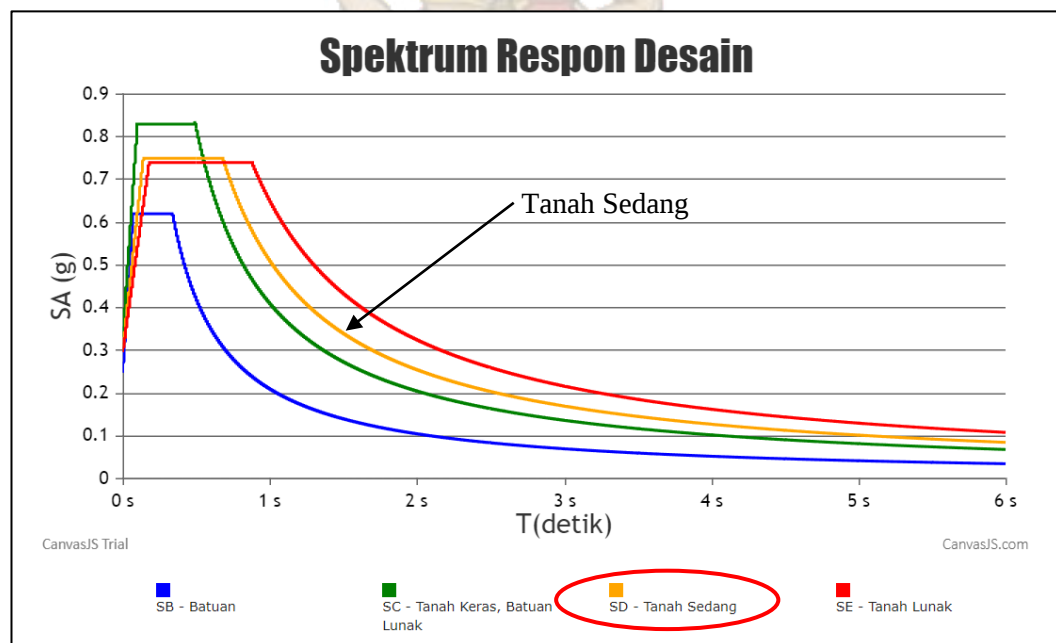
Sumber: SNI 1726:2019 (BSN, 2019)



Gambar 2. 18 Peta gempa Indonesia
Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional (2023)



Gambar 2. 19 Peta gempa kota Mataram
Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional (2023)



Gambar 2. 20 Spektrum respon desain kota Mataram
Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional (2023)

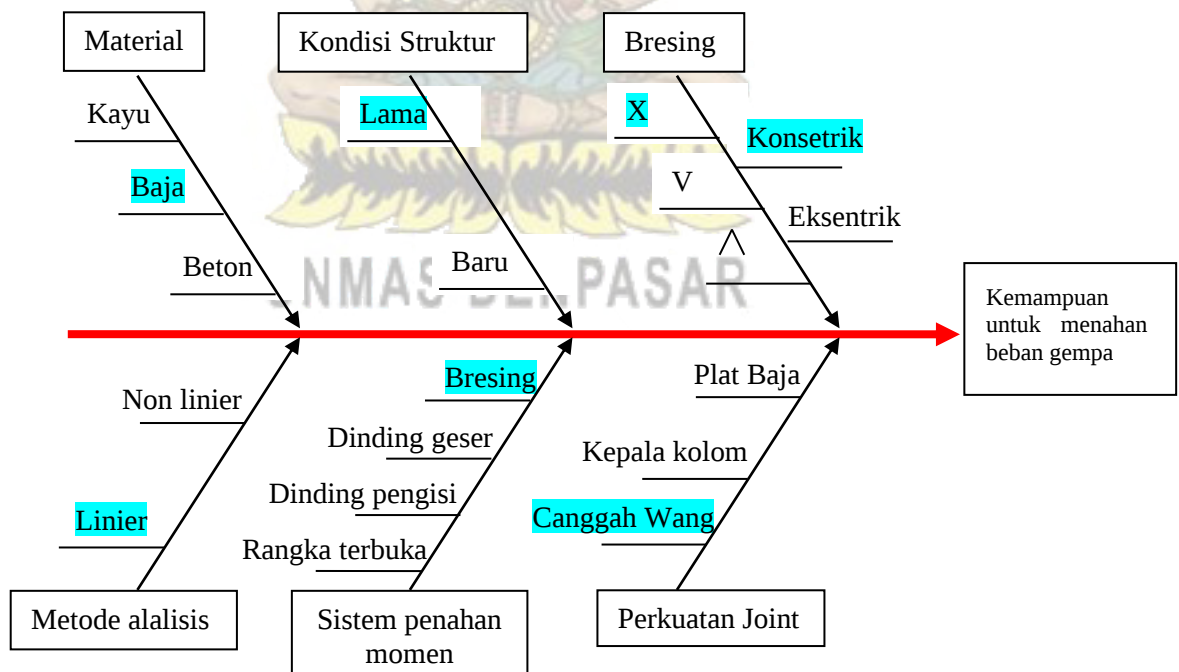
Tabel 2. 4 Nilai desain spektra

Kelas	T0 (detik)	Ts (detik)	Sds (g)	Sd1 (g)
Batuan	0,07	0,34	0,62	0,21
Tanah Keras/Batuan Lunak	0,10	0,49	0,83	0,41
Tanah Sedang	0,14	0,68	0,75	0,51
Tanah Lunak	0,18	0,88	0,74	0,65

Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional (2023)

2.6 Diagram Tulang Ikan

Diagram Tulang Ikan atau sering disebut diagram Ishikawa adalah diagram yang menunjukkan penyebab-penyebab dari sebuah kegiatan yang spesifik. Diagram ini pertama kali diperkenalkan oleh Kaoru Ishikawa (1968). Pemakaian diagram Ishikawa yang paling umum adalah untuk mengembangkan kualitas penelitian.



Gambar 2. 22 Diagram tulang ikan

2.7 Penelitian Terkait

Penelitian terkait adalah upaya peneliti untuk mencari perbandingan dan selanjutnya untuk menemukan inovasi baru untuk penelitian selanjutnya selain itu kajian terdahulu membantu penelitian dapat memposisikan penelitian serta menunjukkan keaslian dari penelitian. Pada bagian ini peneliti mencantumkan berbagai hasil penelitian terdahulu terkait dengan penelitian yang hendak dilakukan, kemudian membuat ringkasannya. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang masih terkait dengan kekuatan struktur.

Rahmadani dan kurniati, (2021), melakukan penelitian kekuatan struktur menggunakan bresing konsentrik tipe V. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai simpangan antar lantai antara struktur tanpa bracing dengan menggunakan bracing tipe V, mengetahui nilai *performance point* dan level kinerja struktur menggunakan *bracing* tipe V, metode perencanaan struktur menggunakan SNI 1727-2020, SNI 2847-2013 SNI 1726-2019, Peta Gempa 2020. Untuk pemodelan struktur digunakan dengan *software Etabs* 2019. Hasil analisis diperoleh bahwa dengan penambahan *bracing* pada struktur gedung dapat menurunkan hasil nilai simpangan antar lantai searah sumbu X dan Y dengan nilai persentase sebesar 40,55% pada arah X dan 45,12% pada arah Y. Kemudian level kinerja struktur menggunakan *bracing* tipe V adalah *Immediate Occupancy (IO)*, dengan nilai *drift ratio* masing-masing pada arah X sebesar 0,33% dan arah Y sebesar 0,299%, dengan demikian maka bila terjadi gempa pada gedung *Student Center* Universitas Atma Jaya Yogyakarta tidak mengalami kerusakan struktural sehingga bangunan tersebut terbilang aman.

Indri & Fitri, (2022), melakukan penelitian kekuatan Bangunan Gedung

Tahfidz Adzkia dengan dan tanpa dinding geser. Pada penelitian tersebut, analisis struktur dilakukan dengan menggunakan *software ETABS v16*. Analisis yang dilakukan pada kolom adalah pengecekan kapasitas penampang kolom (P-M diagram) dan pengecekan kapasitas geser kolom, sedangkan pada balok dilakukan pengecekan kapasitas lentur dan pengecekan kapasitas geser balok. Perkuatan *shearwall* didesain dengan ketebalan 25 cm dengan tulangan 2D16-300, dimana didapatkan hasil bahwa terjadi penurunan gaya dalam kolom sebesar 78% dan penurunan gaya dalam balok sebesar 88%. Sedangkan re-desain dilakukan pada kolom 3 sampai 6, balok (B1) dan balok (B2), yang hasilnya menunjukkan terjadinya penurunan kapasitas kolom sebesar 22% dan peningkatan kapasitas balok sebesar 57%. Hasil analisis menyatakan bahwa kedua perkuatan dapat meningkatkan kapasitas penampang dan mampu menahan beban yang bekerja.

Pascanawaty dan Ernawati, (2020), melakukan penelitian perkuatan struktur kerangka bangunan bertingkat terhadap beban gempa dengan *infilled frame*. Penelitian tersebut mengambil contoh gedung pertokoan yang dianalisa dalam empat model yaitu Model 1 struktur tanpa adanya dinding pengisi (*open frame*), Model II struktur dengan dinding pengisi sebagai *shell element*, Model III struktur dengan dinding pengisi sebagai *ekivalen diagonal strut*. Model IV struktur dengan dinding pengisi sebagai *shell element* dan penambahan kolom. Parameter pembanding adalah gaya-gaya dalam, kekakuan, dan deformasi struktur. Berdasarkan hasil analisa, Model II 19 % lebih kaku dibandingkan dengan Model I, Model III 100 % lebih kaku dari Model I dan Model IV, 9 % lebih kaku dibandingkan Model I ditinjau dari gempa arah X. Model II, 95 % lebih kaku

dibandingkan Model I, Model III 22 % lebih kaku dari Model I, dan Model IV 78 % lebih kaku dibandingkan Model I ditinjau dari gempa arah Y. Nilai momen dan gaya lintang Model II, Model III, Model IV relatif lebih kecil dibandingkan Model I. Berdasarkan hasil analisa, dengan adanya penambahan kolom pada struktur gedung (Model IV) tegangan yang terjadi pada dinding pengisi menjadi semakin kecil. Dari segi keamanan, *infilled frame* jauh lebih aman dibandingkan dengan open frame dan sangat memenuhi syarat untuk digunakan pada daerah yang beresiko gempa tinggi.

Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa perkuatan struktur dengan bresing merupakan perkuatan struktur paling efektif. Struktur bresing menggunakan material yang tidak terlalu banyak namun, mampu memberikan kekakuan pada struktur dalam menahan gaya lateral.

