

STUDI KOMPARATIF ANALISIS STATIK DAN DINAMIK: STUDI KASUS RUMAH TINGGAL DENGAN DINDING PASANGAN BATA, KAYU, DAN KOMBINASI, DI KECAMATAN MEDAN BELAWAN KOTA MEDAN

Aulia Jessica Saudila¹, Yosafat Aji Pranata^{2*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jl. Surya Sumantri 65, Sukawarna, Sukajadi, Bandung, Kode Pos 40164

² Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha
Jl. Surya Sumantri 65, Sukawarna, Sukajadi, Bandung, Kode Pos 40164

*Email: yosafat.ap@gmail.com

Diajukan: 12/02/2025 Direvisi: 08/06/2025 Diterima: 15/07/2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mempelajari perilaku rumah tinggal dengan dinding pasangan bata, kayu, dan kombinasi akibat beban gempa dengan menggunakan analisis statik dan dinamik. Studi kasus menggunakan contoh empat rumah di Kecamatan Medan Belawan, Kota Medan yaitu bangunan dengan sistem struktur balok-kolom beton bertulang dengan dinding bata, sistem balok-kolom kayu dengan dinding papan kayu, serta sistem struktur gabungan. Pemodelan dinding pasangan bata menggunakan pendekatan strut ekuivalen. Perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019. Hasil analisis modal memperlihatkan bahwa dua ragam pertama adalah translasi dan ragam ketiga adalah rotasi. Hasil analisis menunjukkan gaya geser dasar analisis dinamik lebih besar dibandingkan statik, menyebabkan simpangan antar tingkat dan gaya dalam (balok dan kolom) yang lebih tinggi, sehingga metode analisis dinamik lebih konservatif untuk memperhitungkan respons struktur akibat beban lateral. Hasil analisis struktur memperlihatkan bahwa bangunan dengan dinding pasangan bata mempunyai trend kekakuan paling tinggi. Bangunan dengan dinding pasangan bata dan dinding kayu mempunyai kekakuan yang cukup dengan simpangan antar tingkat tidak melampaui batasan ijin, sedangkan bangunan dengan dinding kayu tidak memenuhi persyaratan kekakuan.

Kata kunci: Bata Merah, Kayu, Respon Spektrum, Statik Ekuivalen, Perilaku

Abstract

This study aims to study the behavior of residential houses with brick, wooden, and combined walls due to earthquake loads using static and dynamic analysis. The case study uses the example of four houses in Medan Belawan District, Medan City, namely buildings with a reinforced concrete beam-column structural system with brick walls, a wooden beam-column system with wooden plank walls, and a combined structural system. Modeling of brick-masonry walls uses the equivalent strut approach. Earthquake load calculations refer to SNI 1726:2019. The results of the modal analysis show that the first two modes are translational, and the third mode is rotational. The results of the analysis show that the base shear force of the dynamic analysis is greater than the static, causing higher inter-story drift and internal forces (beams and columns), so that the dynamic analysis method is more conservative in calculating the structural response due to lateral loads. The results of the structural analysis show that buildings with brick-masonry walls have the highest stiffness trend. Buildings with brick walls and wooden walls have sufficient rigidity with inter-story drift not exceeding permitted limits, whereas buildings with wooden walls do not meet stiffness requirements.

Keywords: Red Brick, Wood, Spectrum Respons, Equivalent Static, Behavior

1. PENDAHULUAN

Bantuan Stimulan Perumahan Swadaya (BSPS) merupakan bentuk dukungan finansial pemerintah yang diberikan kepada masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) oleh Direktorat Jenderal Perumahan Rakyat untuk meningkatkan kualitas rumah swadaya yang didasarkan pada prinsip kegotong-royongan. BSPS dimaksudkan untuk meningkatkan akses rumah layak huni bagi MBR dengan mendorong keswadayaan masyarakat dalam mewujudkannya (Ramadhania, dkk., 2023). Material bangunan yang digunakan pada program ini tentu menyesuaikan dengan kondisi rumah para calon penerima bantuan, yaitu ada yang menggunakan dinding pasangan bata, dinding papan kayu, maupun kombinasi dari kedua material.

Di Indonesia, terdapat dua bahan bangunan yang populer, yaitu bata merah dan kayu dimana masing-masing memiliki keunggulan dan kualitas tersendiri dalam menahan beban gravitasi dan beban lateral (beban gempa). Perbandingan antara bangunan bata dan kayu dalam konteks resistensi terhadap gempa adalah topik yang penting dan menarik dalam rekayasa struktural modern. Pada kasus ini, terdapat empat rumah yang akan ditinjau kapasitas kekuatannya terhadap gempa, dengan menggunakan metode analisis statik maupun dinamis. Empat rumah ini terdiri atas dua rumah dinding pasangan bata merah, satu rumah dengan dinding kayu, dan satu rumah dengan dinding kombinasi pasangan bata bata dan papan kayu.

Penelitian ini bertujuan mempelajari perilaku rumah tinggal dengan dinding pasangan bata, kayu, dan kombinasi akibat beban gempa dengan menggunakan analisis statik dan dinamik.

Adapun ruang lingkup penelitian yaitu bangunan rumah tinggal yang dipelajari berada di Kelurahan Belawan Bahari, Kecamatan Medan Belawan, Kota Medan. Lokasi tersebut dipergunakan untuk mendapatkan data parameter yang digunakan untuk perhitungan beban gempa rencana. Metode analisis yang struktur dilakukan secara tiga dimensi dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga ETABS (CSI, 2023), dimana perhitungan beban gempa rencana dilakukan

menggunakan analisis statik ekuivalen dan analisis respons spektrum dengan mengacu pada peraturan gempa Indonesia SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Rumah tinggal yang dipelajari dalam penelitian ini menggunakan studi kasus yaitu 4 (empat) rumah, dua rumah dengan tipe sistem balok-kolom beton bertulang dengan dinding pasangan bata merah, satu rumah dengan tipe sistem balok-kolom kayu dengan dinding papan kayu, dan satu rumah dengan tipe sistem struktur gabungan. Pada bangunan dengan dinding bata merah, pemodelan elemen struktur dinding dilakukan dengan pendekatan pemodelan strut ekuivalen untuk memodelkan dinding pasangan bata. Sedangkan untuk dinding kayu, berat dinding dimodelkan sebagai beban gravitasi dengan pertimbangan papan kayu tidak memberikan kontribusi kekakuan pada bangunan tersebut.

1.1 Bata Merah

Batu bata adalah bahan bangunan yang digunakan dalam pembuatan dinding. Batu bata dibentuk dengan cara membakar tanah liat hingga berubah warna menjadi kemerahan. Bata merah merupakan material konstruksi yang dibuat dari campuran tanah liat dan air. Setelah melalui serangkaian proses pengerjaan, seperti penggalian, pemrosesan, pencetakan, pengeringan, dan pembakaran pada suhu tinggi, material ini mencapai kematangan dan mengalami perubahan warna. Kemudian, bata perlu melalui tahap pendinginan agar mengeras seperti batu dan tidak dapat dihancurkan jika direndam dalam air (Firmansyah, 2021). Pada penelitian ini, spesifikasi material untuk bata merah yang digunakan yaitu nilai modulus elastisitas sebesar 5325,81 MPa, parameter rasio poisson sebesar 0,18 dan berat jenis sebesar 16,68 kN/m³.

1.2 Kayu

Kayu dalam bentuk papan juga menjadi pilihan material lain yang dimanfaatkan sebagai dinding. Kayu sebagai bahan bangunan semakin populer seiring para arsitek yang menggunakan kayu sebagai bahan bangunan utama. Kayu dapat digunakan untuk membangun gedung secara keseluruhan, mulai dari konstruksi bangunan, atap, dinding, lantai, interior, hingga perabotan (Lestari, 2016a). Kayu yang digunakan sebagai bahan bangunanpun dapat menyesuaikan dengan

daerah dimana konstruksi tersebut dilaksanakan. Pada studi kasus dalam ini, kayu yang digunakan ialah kayu Meranti merah (*Shorea spp.*), yang mana merupakan kayu kelas III (Wahyudi & Sitanggang, 2016) berdasarkan acuan peraturan kayu Indonesia SNI 7973:2013 (BSN, 2013).

1.3 Analisis Respon Spektrum

Analisis respons spektrum merupakan metode analisis yang dapat digunakan untuk menilai respons dinamis struktur terhadap gempa bumi atau gaya dinamis lainnya. Metode ini mempertimbangkan karakteristik dinamis struktur, sifat-sifat gempa, dan respons struktur terhadap gempa untuk menentukan kekuatan dan kekuatan desain yang diperlukan (Prismastanto, 2019; Satria, dkk., 2022). Material bangunan yang berbeda tentu memberikan respon kekakuan yang berbeda terhadap beban lateral (gempa) yang diterima oleh struktur. Pada penelitian ini dimanfaatkan aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia (PusGen, 2021) untuk mendapatkan besar respons spektrum pada lokasi keempat rumah tersebut, yaitu di Kecamatan Medan Belawan, Kota Medan.

Parameter yang digunakan untuk perhitungan beban gempa rencana yaitu parameter S_s (percepatan respon spektra pada periode awal) dan S_1 (percepatan respon spektrum maksimum, pada 1 detik) dan perhitungan pembebanan gempa dihitung melalui SNI 1726:2019 (BSN, 2019) dengan alur perhitungan menggunakan Persamaan 1 sampai dengan Persamaan 4.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2)$$

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (4)$$

dengan :

F_v = koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)

F_a = koefisien situs untuk periode pendek yaitu pada periode 0,2 detik yang bisa didapatkan dalam SNI 1726:2019 (BSN, 2019) pada Tabel 6 dan Tabel 7

S_{MS} = parameter respons spektrum percepatan pada periode pendek

S_{M1} = parameter respons spektrum percepatan pada untuk periode 1 detik

S_{DS} = percepatan spektral desain untuk periode pendek dan S_{D1} untuk percepatan spektral desain pada periode 1 detik

1.4 Analisis Gempa Statik Ekuivalen

Analisis beban statik ekuivalen adalah metode analisis struktur yang menganggap bahwa beban statik horisontal timbul akibat respon awal getaran gempa. Metode analisis ini lebih sesuai untuk bangunan dengan bentuk beraturan. Perhitungan beban gempa nominal dapat dianggap sebagai beban gempa statis ekuivalen yang bekerja pada pusat massa setiap tingkat (Imran & Hendrik, 2020). Metode analisis statik dapat digunakan pada bangunan gedung bertingkat (Tatang & Tjong, 2022).

Berdasarkan massa dan ketinggian tiap lantai, gaya horisontal total yang dihitung didistribusikan sepanjang tinggi bangunan. Metode ini menggunakan tinggi bangunan, jenis dan kondisi tanah, respon dinamis struktur, dan respons seismik sebagai faktor pertimbangan. Metode analisis gempa statik ekuivalen tidak mempertimbangkan efek dinamis kompleks, jadi kurang akurat untuk bangunan tinggi atau di daerah dengan risiko gempa tinggi. Selain itu, analisis gempa statik ekuivalen mudah digunakan dan diterapkan, dan efektif untuk bangunan tidak bertingkat dan tidak terlalu tinggi.

Namun, metode ini membantu perencanaan struktur dengan memperkirakan beban gempa dan merancang komponen struktur yang mampu menahan gaya-gaya tersebut, sehingga hal ini meningkatkan keamanan dan ketahanan bangunan terhadap gempa (Imran & Hendrik, 2020). Gaya geser dasar statik dihitung dengan menggunakan Persamaan 5.

$$V = C_s \times W \quad (5)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (6)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (7)$$

$$C_s = \frac{0,044 \times \alpha_{max}}{\times I_e \geq 1} \quad (8)$$

dengan :

C_s = Koefisien respon seismik, yang dihitung dengan persamaan 1, besarnya tidak perlu melebihi C_s persamaan 2 dan harus tidak kurang dari C_s persamaan 3.

W = Berat seismik efektif, dijelaskan dalam SNI 1726:2019

S_D = Parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

S_D = Parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang perioda 1 detik.

R = Faktor modifikasi respons, dijelaskan dalam SNI 1726:2019

I_e = Faktor keutamaan gempa, yang besarnya ditentukan berdasarkan kategori risiko dalam SNI 1726:2019.

Selanjutnya gaya lateral (F_x) (kN) yang terjadi pada setiap lantai dihitung menggunakan Persamaan 9.

$$F_x = \frac{\alpha_x \times \alpha_x^p}{\sum_{x=1}^n \alpha_x \times \alpha_x^p} \times V \quad (9)$$

dengan :

V = Gaya lateral disain total atau geser di dasar struktur (kN).

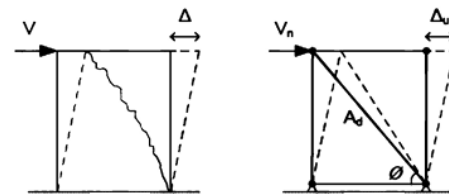
$W_{i(x)}$ = Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang diterapkan atau dibebankan pada tingkat i atau tingkat x

$h_{i(x)}$ = Tinggi (m) dari dasar hingga tingkat i atau tingkat x dengan k sebagai eksponen yang berkaitan dengan perioda struktur, yang besarnya adalah: $k = 1$, untuk struktur dengan periode $\leq 0,5$ detik. $k = 2$, untuk struktur dengan periode $\geq 2,5$ detik. k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2, untuk struktur yang

mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik

1.5 Strut Diagonal Ekuivalen (*Equivalent Diagonal Strut*)

Pada bangunan bertingkat rendah dan sedang, dinding pengisi sering dimanfaatkan sebagai partisi pemisah di bagian dalam atau sebagai elemen penutup pada bagian luar bangunan. Dinding pengisi dipasang setelah struktur utama selesai, jadi pelaksanaannya dilakukan bersamaan dengan pekerjaan akhir bangunan. Oleh karena itu, dinding pengisi ini dianggap sebagai komponen nonstruktur selama perencanaan. Bahkan dalam pemodelan struktur, keberadaannya tidak menjadi masalah jika intensitas beban yang dihasilkan telah diperhitungkan sebelumnya, sebagai contoh dianggap sebagai beban merata (Tololiu, dkk., 2012).



Gambar 1. Simulasi Dinding Bata Merah (Zarkasi, 2021)

Sebagai representasi dinding pada permodelan *strut* ekuivalen diagonal, luas wilayah dinding bata dinotasikan dengan lambang (A_d) dan dihitung dengan menggunakan Persamaan 10 sampai dengan Persamaan 13 (Zarkasi, 2021).

$$A_d = \frac{L_d T_b}{\lambda \cos^2 \theta} \quad (10)$$

$$L_d = \sqrt{W_b^2 + H_b^2} \quad (11)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H_b}{W_b} \right) \quad (12)$$

$$\lambda = \left(\frac{5}{3} + \frac{3}{2} v \right) \frac{W_b}{H_b} + \left(2 + \frac{7}{4} v \right) \frac{H_b}{W_b} + \left(2 + \frac{3}{2} v \right) \frac{H_b^3}{W_b^3} \quad (13)$$

dengan :

L_d = panjang dasri dinding bata (mm)

- T_b = ketebalan dinding bata (mm)
 A_d = luas representasi dinding bata (mm²)
 ν = *poisson's ratio* diambil 0,15
 θ = sudut kemiringan strut
 H_b = tinggi dinding bata mm
 W_b = lebar dinding bata (mm)

1.6 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai (*drift*) merupakan perpindahan *lateral relative* antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau simpangan mendatar pada setiap tingkat bangunan (Lestari, 2016b).

$$\Delta = \frac{C_d}{I_e} \times \text{total drift} \quad (14)$$

$$\Delta_a = 0.025 \times h \quad (15)$$

dimana :

- Δ = simpangan antar tingkat desain
 C_d = faktor pembesaran defleksi (SNI 1726-2019 Tabel 12)
 I_e = faktor keutamaan gempa (SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2)
 Δ_a = simpangan izin, 0.025 berasal dari faktor kali sesuai jenis struktur
 h = ketinggian bangunan

1.7 Pengaruh P-Delta

Adapun pengaruh P-Delta yang juga dipelajari pada penelitian ini (Hariri dan Christopoulos, 2024). Analisis nilai P-Delta menunjukkan perubahan bentuk atau deformasi bangunan. Hal ini dapat menentukan apakah bangunan memenuhi standar deformasi bangunan yang berlaku (Yang, 2024). Perhitungan P-Delta menggunakan Persamaan 16 (Fu, 2024).

$$\frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_{dx} \times h \times C_d} \quad (16)$$

dimana :

- P_x = beban desain vertikal total
 V_{dx} = gaya geser seismik

2. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode perhitungan analisis struktural dan respon spektrum dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode

elemen hingga ETABS (CSI, 2023). Adapun beban yang diaplikasikan pada model ini mencakup beban gravitasi yang terdiri dari beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup berdasarkan acuan peraturan pembebanan Indonesia SNI 1727:2020 (BSN, 2020) dan beban lateral yaitu beban gempa rencana yang dihitung berdasarkan acuan peraturan gempa Indonesia SNI 1726:2019 (BSN, 2019).

Perhitungan beban gempa rencana dalam penelitian ini menggunakan metode analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respon spektrum, untuk mengevaluasi respons bangunan terhadap beban gempa sebagai beban lateral, yang kemudian hasilnya digunakan untuk mempelajari perilaku kekakuan dan kekuatan bangunan yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini, yaitu bangunan rumah dengan sistem balok-kolom beton bertulang dengan dinding pasangan bata merah, bangunan rumah dengan sistem balok-kolom kayu dengan dinding papan kayu, dan bangunan dengan sistem struktur terbuat dari material kombinasi.

2.1 Deskripsi Struktur

Tabel 1 dan Tabel 2 memperlihatkan detail deskripsi dan tipe bangunan yang dipergunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini.

Tabel 1. Deskripsi Bangunan

Deskripsi Bangunan	Keterangan
Tipe bangunan	Rumah tidak tingkat
Lokasi bangunan	Kelurahan Belawan Bahari, Kecamatan Medan Belawan, Kota Medan
Fungsi bangunan	Hunian
Tinggi lantai	3 meter
Mutu bahan :	
Beton	$F'_c = 20$ MPa
Tulangan baja BJTP 478	$F_y = 280$ MPa; $F_u = 478$ MPa
Bata	$E = 5325,81$ MPa; $\nu = 0,18$; $\gamma = 16,68$ kN/m ³

Tabel 2. Tipe Bangunan

Rumah	Tipe	Luas
I	Dinding Bata	61 m ²
II	Dinding Bata	30 m ²
III	Dinding Kayu	25 m ²
IV	Dinding Kombinasi	44 m ²



Gambar 2. Model 3D Rumah Tipe I



Gambar 3. Model 3D Rumah Tipe II



Gambar 4. Model 3D Rumah Tipe III



Gambar 5. Model 3D Rumah Tipe IV

Selanjutnya Gambar 2 sampai dengan Gambar 5 memperlihatkan skematik tiga dimensi masing-masing tipe bangunan rumah

yang digunakan sebagai studi kasus dalam penelitian ini. Gambar 2 dan Gambar 3 memperlihatkan skematik model tiga dimensi rumah dengan sistem struktur balok-kolom beton bertulang dengan dinding pasangan bata merah, Gambar 4 memperlihatkan skematik model tiga dimensi rumah dengan sistem struktur balok-kolom kayu dengan dinding papan kayu. Selanjutnya Gambar 5 memperlihatkan skematik model tiga dimensi rumah dengan sistem struktur kombinasi balok-kolom beton bertulang dan kayu.

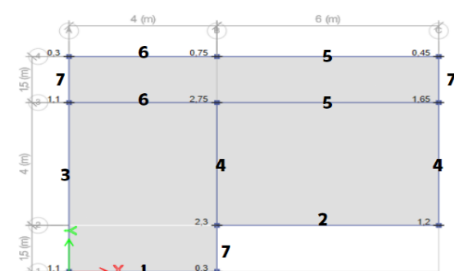
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan dan Pemodelan Dinding

Pemodelan bangunan rumah tinggal dengan perangkat lunak ETABS untuk Rumah tipe I dan tipe II yaitu dengan sistem struktur balok-kolom beton bertulang dengan sistem *frame*. Selanjutnya dinding pasangan bata dimodelkan sebagai elemen *strut* ekuivalen diagonal, demikian pula untuk rumah tipe IV pada bagian dinding yang terbuat dari pasangan bata merah.

Sedangkan untuk Rumah tipe III yaitu rumah kayu, kolom dan balok dimodelkan sebagai sistem *frame* sedangkan dinding papan kayu dimodelkan sebagai beban merata yang bertumpu pada balok lantai, demikian pula untuk rumah tipe IV pada bagian struktur yang menggunakan dinding kayu.

Gambar 6 memperlihatkan ilustrasi denah bangunan rumah tipe I, dengan notasi penomoran dinding. Penomoran ini didasarkan pada kondisi dinding yang berbeda-beda luasnya, terdapat bukaan pintu/jendela, atau dinding penuh. Dari hasil pemilahan dinding tersebut selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan diameter *strut* yang akan dipergunakan sebagai parameter dalam analisis struktur.



Gambar 6. Penomoran Dinding Rumah Tipe I

Dinding yang ditinjau berbahan material bata merah, dengan data berat jenis $16,68 \text{ kN/m}^3$ dan modulus elastisitas sebesar $5325,81 \text{ MPa}$ berdasarkan tinjauan literatur data sekunder.

$$H_b = 3000 \text{ mm}$$

$$W_b = 4000 \text{ mm}$$

$$T_b = 35 \text{ mm}$$

$$v = 0,18$$

$$L_d = \sqrt{3000^2 + 4000^2} = 5000 \text{ mm}$$

$$\lambda = 5,28\theta = \tan^{-1} \frac{3000}{4000} = 0,64$$

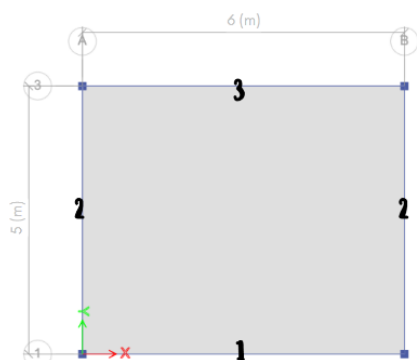
$$A_d = \frac{5000 \cdot 35}{5,28 \cos^2(0,64)} = 128779,4 \text{ mm}^2$$

$$d = 255,29 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh diameter strut sebagai representasi dinding bata merah sebesar $255,29 \text{ mm}$ atau $0,25 \text{ m}$. Hasil perhitungan *strut* ekivalen untuk Rumah tipe I, Rumah tipe III, dan Rumah tipe IV selengkapnya ditampilkan pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Perhitungan Diameter Strut Rumah I

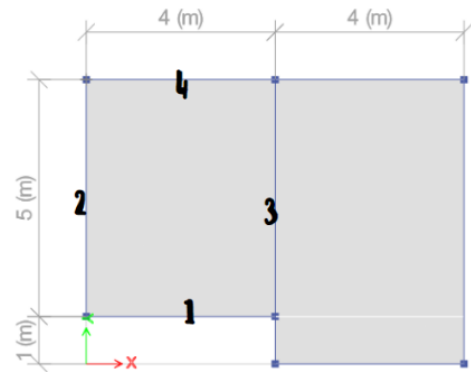
Dinding	Diameter Strut (mm)
1	434,20
2	448,21
3	446,93
4	434,20
5	448,21
6	434,20
7	229,79



Gambar 7. Penomoran Dinding Rumah Tipe II

Tabel 4. Perhitungan Diameter Strut Rumah II

Dinding	Diameter strut (mm)
1	448,21
2	444,64
3	448,21



Gambar 8. Penomoran Dinding Rumah Tipe IV

Tabel 5. Perhitungan Diameter Strut Rumah IV

Dinding	Diameter Strut (mm)
1	434,20
2	444,64
3	444,64
4	434,20

Selanjutnya untuk Rumah tipe III, yaitu rumah dengan sistem struktur balok dan kolom kayu dengan dinding papan kayu, maka untuk memperhitungkan pengaruh dinding kayu, dilakukan perhitungan berat dinding, dengan pertimbangan bahwa berat tersebut akan dimodelkan sebagai beban merata yang bekerja pada balok lantai, dikarenakan dinding papan kayu diasumsikan tidak memberikan kontribusi kekakuan yang signifikan pada bangunan (Li, dkk., 2024). Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 6 (Rumah tipe III) dan Tabel 7 (Rumah tipe IV kombinasi beton-kayu).

Tabel 6. Perhitungan Beban Merata Dinding Papan Kayu

Bahan	E (MPa)	Berat jenis (kN/m^3)	Beban merata (kN/m)
Meranti merah	6080,12	5,099	0,153

Tabel 7. Perhitungan Beban Merata Dinding Kombinasi

Bahan	E (MPa)	Berat jenis (kN/m ³)	Beban merata (kN/m)
Meranti merah	6080,12	5,10	0,10
Bata Merah	5325,81	16,67	2,00

3.2 Perhitungan Faktor Skala

Parameter percepatan gempa S_s dan S_1 diperoleh berdasarkan peta gempa Indonesia sesuai SNI 1726:2019 (BSN, 2019; PusGen, 2021) dimana hasil parameter tersebut digunakan untuk menghasilkan parameter faktor skala F_a dan F_v , respon spektral S_{MS} dan S_{M1} serta percepatan spektral desain S_{DS} dan S_{D1} . Bangunan terletak di Kelurahan Belawan Bahari, Kecamatan Medan Belawan, Kota Medan, dengan kelas situs tanah sedang.

$$S_s = 0,604792 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,337996 \text{ g}$$

$$F_a = 1,3161664$$

$$F_v = 1,962004$$

Menghitung parameter respon spektral

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,316 \times 0,604 \\ &= 0,79600 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,962 \times 0,337 \\ &= 0,66119 \text{ g} \end{aligned}$$

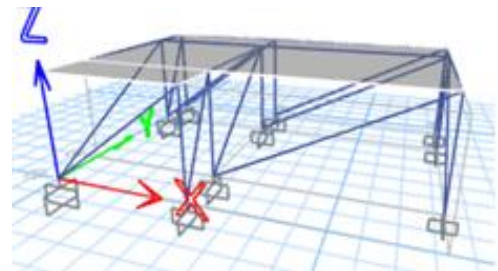
Menghitung parameter percepatan spektral desain

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\ &= 0,5306 \text{ g} \end{aligned}$$

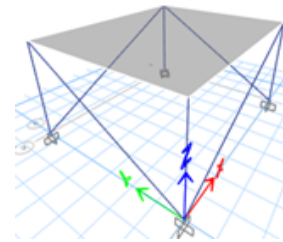
$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= 0,4407 \text{ g} \end{aligned}$$

3.3 Pemodelan Struktur

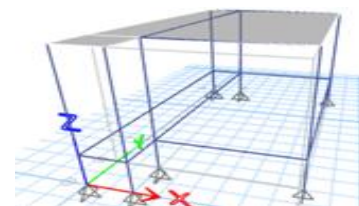
Pemodelan struktur secara tiga dimensi dengan menggunakan perangkat lunak ETABS (CSI, 2023) dilakukan untuk Rumah tipe I, tipe II, tipe III, dan tipe IV dengan hasil selengkapnya ditampilkan pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12. Struktur atap dimodelkan sebagai beban gravitasi, sehingga dibuat pemodelan elemen pelat ekuivalen sebagai representasi berat atap (beban mati dan beban hidup) yang bekerja pada bangunan.



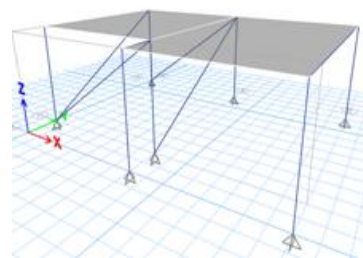
Gambar 9. Pemodelan Rumah I



Gambar 10. Pemodelan Rumah II



Gambar 11. Pemodelan Rumah III



Gambar 12. Pemodelan Rumah IV

3.4 Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai

Hasil analisis struktur dengan perangkat lunak ETABS yaitu simpangan antar tingkat selengkapnya ditampilkan pada Tabel 8. Simpangan antar tingkat (*story drift*) ditinjau pada arah utama bangunan yaitu arah sumbu-x dan sumbu-y.

Tabel 8. Rekapitulasi Simpangan Antar Tingkat

No	Story Drift-X (mm)	Story Drift-Y (mm)	Batas Ijin (mm)	%-Beda	Ket.
I	4,5	7,76	75	42,01	Aman
II	6,34	6,28	75	0,95	Aman
III	83,66	83,89	60	0,27	Tidak Aman
IV	10,46	21,63	75	51,64	Aman

Hasil analisis memperlihatkan bahwa simpangan antar tingkat (*story drift*) baik hasil analisis dengan metode beban gempa statik ekivalen maupun analisis respon spektrum memberikan trend yang sama. Rumah tipe I, tipe II, dan tipe IV masih memenuhi persyaratan *drift* sesuai peraturan gempa Indonesia SNI 1726:2019 (BSN, 2019), sedangkan Rumah tipe III yaitu bangunan dengan sistem struktur kolom-balok kayu dengan dinding papan kayu tidak memenuhi kriteria batasan ijin.

3.5 Hasil Analisis Mode Ragam

Tabel 9 selanjutnya memperlihatkan hasil analisis yaitu ragam getar tiap tipe rumah untuk 3 (tiga) ragam pertama. Secara umum hasil analisis memperlihatkan bahwa 2 (dua) ragam pertama adalah translasi pada masing-masing arah sumbu utama bangunan, sedangkan ragam ke-3 adalah berupa rotasi pada arah sumbu vertikal atau sumbu-z.

Tabel 9. Modal Participating Mass Ratios

Rumah	Mode	Periode (detik)
I	1	0,122
	2	0,099
	3	0,093
II	1	0,116
	2	0,109
	3	0,098

Rumah	Mode	Periode (detik)
III	1	1,151
	2	1,043
	3	0,922
V	1	0,222
	2	0,142
	3	0,105

3.6 Hasil Analisis Deformasi Akibat Gempa

Adapun hasil analisis deformasi lateral bangunan pada kedua arah sumbu utama bangunan, yaitu arah sumbu-x dan arah sumbu-y akibat beban lateral (gempa), baik itu analisis dengan metode beban gempa statik maupun metode beban gempa dinamik yang dihasilkan dari analisis dengan perangkat lunak ETABS selengkapnya ditampilkan pada Tabel 10 dan 11.

Tabel 10 Rekapitulasi Perhitungan Deformasi Akibat Gempa Arah sumbu-X

Rumah	Deformasi (mm)		%Beda
	Respon Spektrum	Statik Ekivalen	
I	1,79	0,37	78,93%
II	2,53	0,53	79,10%
III	199,99	63,87	68,06%
V	4,18	0,88	78,84%

Tabel 11. Rekapitulasi Perhitungan Deformasi Akibat Gempa Arah sumbu-Y

Rumah	Deformasi (mm)		%Beda
	Respon Spektrum	Statik Ekivalen	
I	3,10	0,63	79,46%
II	2,51	0,51	79,37%
III	242,17	79,71	67,08%
IV	8,65	1,42	83,56%

Hasil analisis struktur yaitu pola deformasi lateral bangunan akibat beban lateral sebagaimana ditampilkan pada Tabel 10 (beban lateral arah sumbu-X) dan Tabel 11

(beban lateral arah sumbu-Y) memperlihatkan bahwa secara umum sistem bangunan dengan sistem struktur balok-kolom beton bertulang dengan dinding pasangan bata merah (Rumah tipe I dan tipe II) mempunyai kekakuan yang lebih tinggi signifikan dibandingkan Rumah tipe III (Sistem struktur kolom-balok kayu dengan dinding papan kayu) dan Rumah tipe IV (Sistem struktur kombinasi). Rumah tipe III mempunyai kekakuan paling rendah dan drift yang terjadi telah melampaui batasan ijin sesuai batasan yang diatur pada SNI 1726:2019 (BSN, 2019) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 11.

Selanjutnya Tabel 12 memperlihatkan hasil analisis dengan mempertimbangkan pengaruh dari P-Delta. Hasil analisis secara umum memperlihatkan bahwa metode analisis dinamik menghasilkan trend deformasi lateral yang lebih tinggi, sehingga mengindikasikan bahwa hasil tersebut lebih konservatif. Pengaruh P-delta dalam penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa masih memenuhi batasan yang diijinkan.

Tabel 12. Rekapitulasi Analisis P-Delta

No	Ar ah	P-Delta	P-Delta Maks.	Ket.
I	X	0,00071	0,2	Ok
	Y	0.00123	0,2	Ok
II	X	0.00100	0,2	Ok
	Y	0.00099	0,2	Ok
III	X	0,07932	0,2	Ok
	Y	0,09605	0,2	Ok
IV	X	0.00165	0,2	Ok
	Y	0.00343	0,2	Ok

3.7 Hasil Analisis: Gaya Dalam

Untuk menentukan status bangunan yang memenuhi persyaratan kekuatan secara struktural, maka dalam penelitian ini dilakukan pengecekan gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok dan kolom untuk setiap tipe rumah. Gaya dalam yang dimaksud adalah momen lentur dan gaya geser pada balok, serta momen lentur dan gaya aksial pada kolom, dengan tinjauan pada balok dan kolom pemikul beban terfaktor terbesar untuk setiap tipe rumah. Hasil analisis gaya dalam selengkapnya ditampilkan pada Tabel 13, Tabel 14, Tabel 15, dan Tabel 16.

Tabel 13. Rekapitulasi Momen Lentur Balok

Rumah	Momen Terfaktor (kN.m)		%Beda
	Metode Respon Spektrum	Metode Statik Ekivalen	
I	1,34	1,52	11,84%
II	2,92	2,86	2,05%
III	-0,59	0,31	290,32%
IV	2,62	1,13	56,87%

Tabel 14. Rekapitulasi Gaya Geser Balok

Rumah	Gaya Geser (kN)		%Beda
	Metode Respon Spektrum	Metode Statik Ekivalen	
I	1,67	1,80	7,22%
II	2,16	1,94	10,18%
III	0,83	0,20	75,90%
IV	3,58	2,32	35,19%

Tabel 15. Rekapitulasi Momen Lentur Kolom

Rumah	Momen Terfaktor (kN.m)		%Beda
	Metode Respon Spektrum	Metode Statik Ekivalen	
I	1,89	0,79	58,20%
II	3,43	2,50	27,11%
III	3,08	0,93	69,80%
IV	3,98	1,37	65,57%

Tabel 16. Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom

Rumah	Gaya Aksial (kN)		%Beda
	Metode Respon Spektrum	Metode Statik Ekivalen	
I	10,25	2,66	74,04%
II	6,66	6,66	0%
IV	4,88	1,12	77,04%
IV	4,89	5,65	13,45%

Hasil analisis struktur memperlihatkan bahwa bangunan dengan dinding pasangan bata mempunyai trend kekakuan paling tinggi. Bangunan dengan dinding pasangan bata dan dinding kayu mempunyai kekakuan yang cukup dengan simpangan antar tingkat tidak

melampaui Batasan ijin, sedangkan bangunan dengan dinding kayu tidak memenuhi persyaratan kekakuan.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, deformasi bangunan pada setiap tipe rumah dengan pemodelan beban gempa rencana dengan metode analisis dinamik menghasilkan nilai lebih besar dibandingkan dengan metode analisis statik.
2. Hasil analisis untuk rumah dengan dinding papan kayu (tipe III) dan kombinasi bata-kayu (tipe IV) menunjukkan hasil simpangan antar tingkat yang lebih besar dibandingkan dengan rumah dengan dinding bata.
3. Analisis struktur dengan beban gempa rencana dihitung menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum menghasilkan gaya dalam yang lebih tinggi dibandingkan dengan analisis dengan metode statik ekuivalen dalam penelitian ini, sehingga lebih konservatif.
4. Hasil analisis modal secara umum memperlihatkan bahwa dua ragam pertama adalah translasi dan ragam ketiga adalah rotasi. Hasil analisis struktur memperlihatkan bahwa bangunan dengan dinding pasangan bata mempunyai trend kekakuan paling tinggi. Bangunan dengan dinding pasangan bata dan dinding kayu mempunyai kekakuan yang cukup dengan simpangan antar tingkat tidak melampaui Batasan ijin, sedangkan bangunan dengan dinding kayu tidak memenuhi persyaratan kekakuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan SNI 7973:2013, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2019, Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2019, Badan Standardisasi Nasional.
- Computers and Structures, Inc. 2023. ETABS version 21 Building Analysis and Design Reference, Computer and Structures, Inc., Berkeley, United States.
- Firmansyah, L.F.L. 2021. Analisis Sifat Mekanik Dan Karakteristik Batu Bata Merah Dengan Menggunakan Metode RSM Di Kabupaten Bangka, Diploma Thesis, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Fu, X. 2024. Seismic amplitude inversion based on a New PP-Wave Reflection Coefficient Approximation Equation for Vertical Transversely Isotropic Media. *Geophysics*, 89(3), R217-R230.
- Hariri, B., & Christopoulos, C. 2024. Numerical Hybrid Simulation Assessment of E-BRBF and E-FBF Systems for Mitigating P-Delta Effects and Enhancing Post-Earthquake Performance. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 53(12), 3754-3774.
- Imran, I., Hendrik, F. 2010. Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa. ITB Press, Bandung.
- Lestari, R.Y. 2016a. Kayu sebagai Bahan Bangunan Bertingkat Tinggi yang Ramah Lingkungan, *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, Vol. 8, No. 2, 99-108.
- Lestari, T.I. 2016b. Perbandingan Simpangan Pada Struktur Beton Bertulang Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Bertingkat 3 dan 6 Akibat Gempa Berulang. Repository Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.
- Li, Y., Wang, H., Xing, S., Shan, L., & Wang, X. 2024. Influence of the Vertical Load Bearing Status on the Seismic Performance of Weak-Joint-Type RC Frames Strengthened by the Wing Wall Installation Method. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 18(05), 2450017.
- Prismastanto, N. 2019. Metode Analisis Ragam Spektrum Respons pada Struktur Gedung Bertingkat, *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, Vol. 1., No. 1, 25-34.
- PuSGeN. 2021, Aplikasi Spektrum Respons Desain Indonesia 2021, URL: <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021>.
- Ramadhania E.F., Taufiq, M., Wijaya, R.S. 2023. Upaya Pemerintah Mengurangi

- Kemiskinan Melalui Program BPS di Kabupaten Ponorogo. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, Vol. 9, No. 20, 220-228.
- Satria, F.A., Isneini, M., Kusnadi, A., Widyawati, R. 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Akibat Gempa Berdasarkan Simpangan Dengan Analisis Respon Spektrum, *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, Vol. 10, No. 3, 423-432.
- Tatang, D.J., Tjong, L.F. 2022. Studi Komparasi Perilaku Gedung Beton Bertulang dengan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Menggunakan Dinding Geser dan Rangka Bresing Konsentrik Inverted-V, *Dinamika Teknik Sipil*, Vol. 15, No. 2, 91-97.
- Tololiu, B.J., Jeferson, B., Manalip, T.H., Windah, R.S., Dapas, S.O. 2012. Perbandingan Respon Struktur Bangunan Gedung Bertingkat dengan Dinding Pengisi dan Tanpa Dinding Pengisi Akibat Gempa, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 1., No. 1., 8-15.
- Wahyudi, I., Sitanggang, J.J. 2016. Kualitas Kayu Meranti Merah (*Shorea leprosula* Miq.) Hasil Budi Daya, *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, Vol. 21, No. 2, 140-145.
- Yang, P. 2024. SMIwiz: An Integrated Toolbox for Multidimensional Seismic Modelling and Imaging. *Computer Physics Communications*, 295, 109011.
- Zarkasi, A. 2021. Permodelan Dinding Bata Ringan Menggunakan Software SAP2000 V.18.2, *SIGMA, Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 1, No. 1, 12-20.