

PERILAKU STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN DAN TANPA PENGARUH LUBANG PINTU DAN JENDELA PADA DINDING

I Putu Laintarawan^{1*}, AAA Made Cahaya Wardani², I Kadek Agus Wiranata³,

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hindu Indonesia, Ltrwinn@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hindu Indonesia, agungmadecahaya@yahoo.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hindu Indonesia, aguswiranata800.aw@gmail.com

ABSTRAK

Dinding pengisi adalah komponen struktur pada gedung yang memiliki fungsi pemisah ruangan. Untuk desain struktur, pada umumnya dinding pengisi dimodel sebagai *open frame*. Namun, dinding pengisi jika disatukan dengan rangka struktur dalam pemodelan, maka dinding pengisi ini akan memberikan sumbangan kekakuan struktur lebih baik. Dalam penelitian ini, telah dibuat tiga buah model. Model M1 adalah model *open frame*, model M2 adalah model *Fully Infilled Wall Frame* dan model M3 adalah model *Fully Infilled Wall Frame* dengan *openings* pintu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku rangka struktur beton bertulang dengan dan tanpa memperhitungkan pengaruh adanya lubang pintu dan jendela pada dinding akibat beban gempa. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan analisis statik nonlinier *Pushover*. Hasil analisis menunjukkan bahwa model dinding pengisi penuh (*Fully Infilled Wall Frame*) lebih kaku 23.97% dan 8.1% masing-masing terhadap model tanpa dinding pengisi (*open frame*) dan model dinding pengisi dengan bukaan pintu dan jendela (*Fully Infilled Wall Frame* dengan *openings* pintu 24.8% dan jendela 41.6%) akibat beban gempa arah X dan Y.

Kata kunci: perilaku, dinding, beton bertulang, lubang pintu, lubang jendela

BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE WITH AND WITHOUT THE EFFECT OF DOOR AND WINDOW HOLE ON WALLS

ABSTRACT

Infill walls are structural components in buildings that have a room dividing function. For structural design, infill walls are generally modeled as an open frame. However, if infill walls are combined with structural frames in modeling, these infill walls will contribute better to structural rigidity. In this research, three models have been made. Model M1 is an open frame model, model M2 is a Fully Infilled Wall Frame model and model M3 is a Fully Infilled Wall Frame model with door openings. The purpose of this study was to determine the behavior of reinforced concrete frame structures with and without taking into account the effect of the presence of door and window holes in the walls due to earthquake loads. The research method used is a quantitative method with Pushover nonlinear static analysis. The results of the analysis show that the Fully Infilled Wall Frame model is 23.97% and 8.1% stiffer than the open frame model and the Fully Infilled Wall Frame with 24.8% door openings and 41.6% window openings due to the X and Y direction earthquake loads.

Keywords: behavior, walls, reinforced concrete, door openings, window openings

1. PENDAHULUAN

Dinding pengisi adalah bagian komponen dari bangunan struktur gedung, pada pembangunan struktur gedung pemisah ruangan. Pada gedung dinding dipasang setelah struktur utama telah diselesaikan. Saat merencanakan gedung dinding dianggap bagian dari non-struktur. Struktur bangunan biasanya direncanakan sebagai *open frame*, dengan dinding pengisi hanya dianggap sebagai beban saat merencanakan struktur. Jika dicermati lebih mendalam, keberadaan dinding pengisi ada kecenderungan untuk berinteraksi melalui portal yang ditempatinya, apalagi dengan adanya beban vertikal atau horizontal yang sangat signifikan (akibat gempa). Jika dibandingkan antara rangka menggunakan dinding pengisi dengan rangka terbuka dibebani

dengan gaya yang signifikan. Perilaku berupa deformasi yang terjadi antara kedua model struktur akan berbeda karena dinding memberikan kontribusi berupa kekakuan untuk menahan beban gempa yang besar tersebut (Dewobroto, 2005).

Dinding pengisi dapat dianalisis salah satunya adalah dengan metode elemen hingga. Tegangan dan intreraksi pada dinding terhadap suatu struktur rangka di areanya dapat digambarkan pada metode ini. Pemodelan dinding dengan lubang pun dapat dibuat dengan mudah. Model kecil seperti ini juga bisa dibuat menjadi lebih mendetail, seperti memperhitungkan bidang pertemuan antara material pada dinding dan juga struktur rangkanya dengan cara membuat elemen gap. Micromodeling tidak hanya memiliki keunggulan namun juga memiliki kelemahan yaitu lamanya waktu

proses analisis jika dibandingkan dengan model diagonal strut pada program aplikasi SAP 2000. Kemampuan Struktur dapat dilihat saat menerima gaya gempa yang besar. Penyebaran gaya-gaya dalam pada suatu struktur sangat diperlukan agar gaya-gaya dalam tersebut tidak berfokus pada beberapa bagian elemen tertentu. Sehingga kinerja yang baik pada struktur masih bisa menahan dari gaya yang diberikan pada gempa meskipun sudah berada diambang keruntuhan. Saat menerima beban gempa kinerja struktur dapat dievaluasi dengan menganalisis static nonlinier *pushover*. Analisis statik nonlinier *Pushover* adalah pola beban statis tertentu yang besarnya ditingkatkan secara *incremental* sampai struktur tersebut mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dari Hasil penelitian dapat digambarkan hubungan antara *base shear* dan *roof displacement*, hubungan tersebut kemudian dipetakan sebagai kurva kapasitas struktur (*California Seismic Safety Commission, 1996*). Pada analisis statik nonlinier *Pushover*, perilaku pada saat kondisi plastis, elastis, dan sampai terjadi keruntuhan atau kegagalan pada elemen elemen struktur tersebut dapat diperlihatkan. Maka dari itu daktilitas aktualnya dapat dihitung. Untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan dilakukan dengan menentukan target *displacement* terlebih dahulu. Antara dinding dan portal memiliki intraksi yang dapat menimbulkan efek negatif dan positif. Efek positifnya adalah kekuatan pada struktur akan meningkat terutama terhadap beban lateral. Sedangkan efek negatifnya adalah jika struktur lantai yang berada di bawah memiliki lebih kecil dinding dibandingkan lantai yang berada di atasnya, maka daya dukung lantai dibawah lebih kecil dibandingkan daya dukung lantai di atasnya. Hal ini pada umumnya akan menimbulkan bahaya mekanisme *soft storey* (Kermani et.al.,2008).

Beberapa penelitian terdahulu yang meneliti mengenai dinding pengisi antara lain: Budi dan Sukrawan (2017), Kakaletsis and Karayannis (2009), Dharma (2016), Widyastana, dkk (2013), Widiarsa (2019) serta Rizki Efrida dan Citra (2019). Penelitian ini menganalisis kinerja dan perilaku struktur beton bertulang dengan dan tanpa pengaruh lubang pintu dan jendela pada dinding. Dalam penelitian ini telah dibuat 3 buah model yaitu model M1 adalah model tanpa dinding pengisi (*open frame*), model M2 adalah model dinding pengisi penuh (*Fully Infilled Wall Frame*) dan model M3 adalah model dinding pengisi dengan bukaan pintu dan jendela (*Fully Infilled Wall Frame* dengan *openings* pintu 24.8% dan jendela 41.6%). Struktur ini adalah struktur beton bertulang 5 lantai yang difungsikan sebagai sarana pendidikan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja dan perilaku struktur beton bertulang dengan dan tanpa pengaruh lubang pintu dan jendela pada dinding akibat beban gempa

Dinding Pengisi

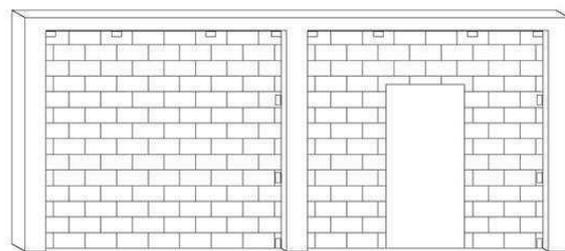
Dinding pengisi merupakan bagian bangunan non-struktur yang pada umumnya dipakai pembatas antar ruangan, estetika ruangan, dan penutup bangunan. Rangka struktur dengan dinding pengisi (*infilled frame*) adalah struktur bangunan yang terdiri dari balok, kolom, yang berbahan baja atau beton bertulang dengan dinding pengisi yang terbentuk dari batako/bata (*masonry*) atau material lainnya. Material dinding pengisi sangat bervariasi diantaranya bata ringan, bata merah, batako dan lain sebagainya. Pada kenyataan di lapangan dinding pengisi umumnya bermanfaat dalam meningkatkan kekuatan dan kekakuan pada struktur beton bertulang.

Batako

Batako merupakan campuran antara agregat, semen, dan air Tanpa atau dengan bahan tambahan. Pada industri kecil batako yang umum di produksi adalah jenis batako padat. Dengan kualitas yang baik dan permukaan mulus bisa dilihat secara langsung karakteristik batako tersebut. Jika dibandingkan dengan batu bata waktu pengerjaan batako lebih mudah dan cepat. Pengertian batako atau batu cetak tras-kapur menurut PUBLI-1982 adalah bata yang dibuat dengan mencetak dan memelihara dalam suasana lembab, campuran tras, kapur dan air dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya. Batako memiliki berbagai variasi ukuran dan bentuk. Batako digolongkan menjadi 2 kelompok utama yaitu batako berlubang dan batako padat. Batako Padat pada umumnya dibuat dari pasir kasar dan campuran semen yang press atau dicetak padat.

Infilled Frame

Rangka struktur dinding pengisi (*infilled frame*) adalah struktur terdiri dari balok dan kolom berbahan beton bertulang atau baja dimana terdapat dinding pengisi batako, bata ringan dan bata merah.



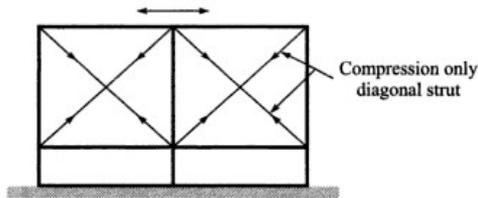
Gambar 1 Rangka dengan dinding pengisi
Sumber: Putra Wirawan (2016)

Dinding pengisi yang dipasang sebagai partisi diasumsikan tidak memberikan kontribusi terhadap beban vertikal maupun lateral, sehingga keberadaannya pada analisis struktur rangka diabaikan. Selain itu, ketidaktersediaan model analisis yang realistis dan mudah menjadi alasan lain dari pengabaian dinding pengisi tersebut pada analisis.

Kenyataannya, dinding memberikan pengaruh berupa meningkatnya kekakuan struktur terutama saat menerima beban lateral. Pengabaian tersebut menjadi penyebab dari keruntuhan beberapa bangunan bertingkat, (Agarwal dan Shrikhande, 2006).

Interaksi Dinding Pengisi

Mengabaikan kekakuan dan kekuatan stuktur rangka dinding pengisi akan menyebabkan kegagalan pada bangunan bertingkat. Penyebab dari kegagalan tersebut merupakan kekakuan dari dinding pengisi bisa mengakibatkan pola keruntuhan tersendiri. Stuktur dinding pengisi memiliki pola keruntuhan yang bersifat rumit yang bergantung pada faktor seperti sifat kekakuan dinding pengisi, kekuatan relatif, rangka struktur pada tumpuan, hubungan rangka struktur dengan dinding pengisi, bukaan, penghubung geser, dan karakteristik lainnya. Penelitian Buonopane (1999), terdapat lima mode kegagalan secara umum yang terjadi pada struktur rangka dinding pengisi akibat peningkatan beban lateral. Mode keruntuhan yang umum adalah mode keruntuhan pada sudut dinding (*corner crushing*). Pada keruntuhan ini mekanisme diagonal tekan (*strut*) terbentuk, selanjutnya mengubah sistem rangka menjadi sistem rangka batang seperti pada Gambar 2.



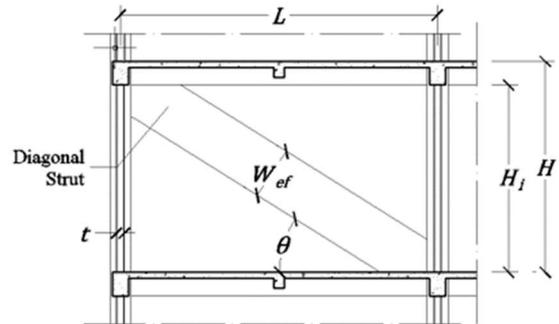
Gambar 2 Mekanisme diagonal tekan (*strut*)
 Sumber: Agarwal & Shrikhande (2006)

Interaksi antara dinding pengisi dengan rangka juga berpengaruh terhadap kinerja struktur. Interaksi dinding pengisi dengan rangka meningkatkan level kinerja struktur portal, ditunjukkan dengan penurunan simpangan struktur sebesar 13% - 36% dibandingkan dengan simpangan dari rangka terbuka. (Tjahjanto & Imran, 2009)

Equivalent Diagonal Strut

Equivalent Diagonal Strut adalah metode untuk analisis inelastis portal dinding pengisi yang diajukan oleh Saneinejad – Hobbs (1995). Pengaruh beban lateral bolak-balik akibat gempa dapat diatasi dengan terbentuknya *strut* pada arah lain yang juga mengalami tekan. Apabila properti mekanik berupa dimensi dan modulus elastis dari strut diketahui, maka portal dinding pengisi dapat dianalisis sebagai portal terbuka (*open frame*) dengan dinding pengisi yang diwakili oleh *strut*. Sifat mekanis yang dicari dengan metode tersebut didasarkan atas kondisi keruntuhan yang bersifat non-linier dan sekaligus diperoleh juga resistensi atau kuat nominal dari *strut* (Dewobroto,

2005) Dimensi *strut* berupa panjang, lebar dan tebal. Tebal *strut* adalah tebal dinding pengisi tersebut dan panjang diagonalnya adalah hasil sisi miring dari panjang dan lebar dinding pengisi. Lebar *strut* dihitung berdasarkan persamaan pada FEMA 273 (Building Seismic Safety Council, 1997). Parameter untuk menghitung lebar *strut* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Parameter *equivalent diagonal strut*
 Sumber: Agarwal & Shrikhande (2006)

$$\lambda h = \sqrt[4]{\frac{E_i t \sin 2}{4 E_c I_c H_i}} \tag{1}$$

$$W_{ef} = 0,175 \cdot (\lambda h \cdot H)^{-0,4} \sqrt{H^2 + L^2} \tag{2}$$

H adalah tinggi dari kolom terhitung dari as ke as tingkat, E_c dan E_i merupakan modulus elastisitas kolom dan modulus elastisitas pasangan dinding pengisi. Sedangkan H_i dan t adalah tinggi dan tebal dari dinding pengisi dan θ sudut yang dibentuk antara *strut* dengan balok, diperhitungkan dalam satuan radian. Sebuah *strut* dengan lebar W_{ef} dan t tebal memiliki luasan penampang A_{ms} . Kemudian dibagi menjadi tiga buah dengan pembagian luas penampang untuk diagonal pertama pada bagian tengah setengah dari A_{ms} , sedangkan diagonal di kiri dan kanannya seluas seperempat A_{ms} . Model multi *strut* seperti ini disarankan oleh Chrysostomou (Asteris, 2008). Model seperti ini dipilih sebagai model yang paling tepat untuk memperhitungkan distribusi gaya dari balok dan kolom pada dinding. (Bell & Davidson, 2001) dan (Vaseva, 2009). Ketentuan lebar strat untuk dinding berlubang, sampai saat ini belum jelas. Asteris *et al.* (2012) mengusulkan persamaan analitis berupa faktor reduksi yang dinyatakan sebagai rasio antara lebar efektif *strut* diagonal pada dinding pengisi berlubang dan dinding penuh yang dapat digunakan untuk menghitung kekakuan lateral awal struktur RTBB dengan dinding berlubang. Adapun faktor reduksi kekakuan dinding yang diusulkan oleh Asteris *et al.* (2012) mengikuti persamaan berikut:

$$\lambda = 1 - 2\alpha_w^{0,54} + \alpha_w^{1,14} \tag{3}$$

Dengan λ adalah faktor reduksi lebar strat dan α_w adalah rasio luas lubang terhadap luas area dinding.

2. METODE

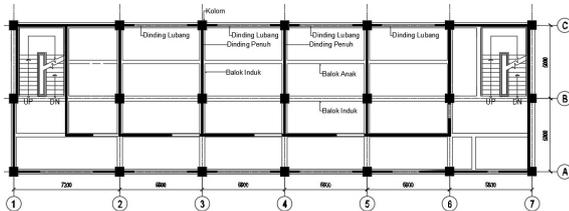
Metode dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Pertama menentukan material, geometri dan beban struktur. Kemudian memodel M1 (*open frame*). Berikutnya model M1 dianalisis menggunakan software SAP2000. Syaratnya adalah simpangan yang terjadi $< 0.002h_{sx}$, waktu getar $< T_a.C_u = C_h n^x \cdot C_u$. *Softstory* (dengan *Drift Ratio* $< 130\%$). Apabila syarat ini terpenuhi, maka dilakukan analisis terhadap model M2 dan M3. Kedua model di analisis dengan analisis *Static Pushover*.

Properties Material

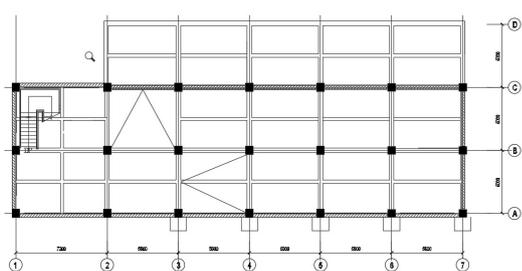
Properties material beton bertulang sebagai berikut: mutu beton (f'_c) = 30 MPa, modulus elastisitas beton (E_c) = $4700\sqrt{f'_c}$ MPa, berat volume (γ_c) = 2400 kg/m³, mutu tulangan utama (f_{y1}) = 420 MPa (BJTS420), mutu tulangan sengkang (f_{yt}) = 280 MPa (BJTP280), modulus elastisitas baja tulangan (E_s) = 200000 MPa dan poisson ratio (μ) = 0.2. Properties material batako sebagai berikut: mutu batako (f'_m) = 4.056 MPa, modulus elastisitas batako (E_m) = 1915.67 MPa, berat volume (γ_m) = 2100 kg/m³, poisson ratio (μ) = 0.2, regangan ultimit (ϵ_{ult}') = 0.0044.

Geometri Struktur

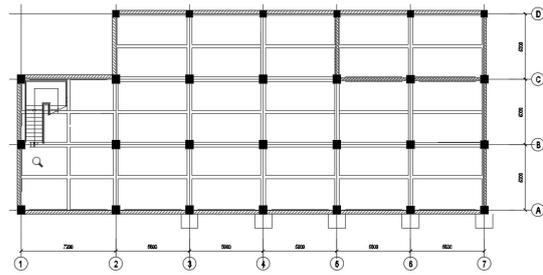
Sistem struktur dalam yang digunakan adalah sistem struktur SRPMK. Struktur ini terdiri dari 7 portal melintang dengan jarak antar portal 7.1 m dan 5.6 m. Portal melintang terdiri dari 3 bentang dengan panjang bentang 1 dan 3 adalah 7.0 m, sedangkan panjang bentang lainnya 5.4 m. Gedung berlantai tiga dengan tinggi setiap lantainya 3.6 m. Dimensi kolom = 600x600 mm, dimensi balok induk = 300x500 mm, dimensi balok anak = 250x400 mm dan dimensi pelat lantai dan atap = 125 mm. Denah dan potongan melintang bangunan dapat dilihat pada Gambar 4 - 7.



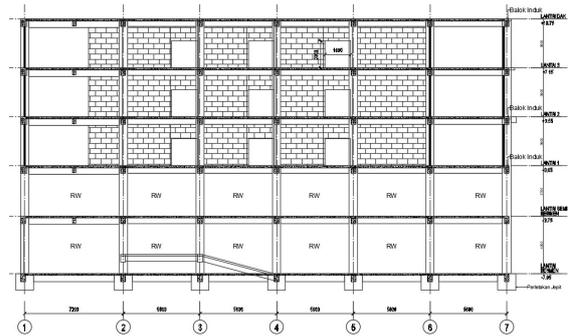
Gambar 4 Denah lantai 3, 4 dan 5



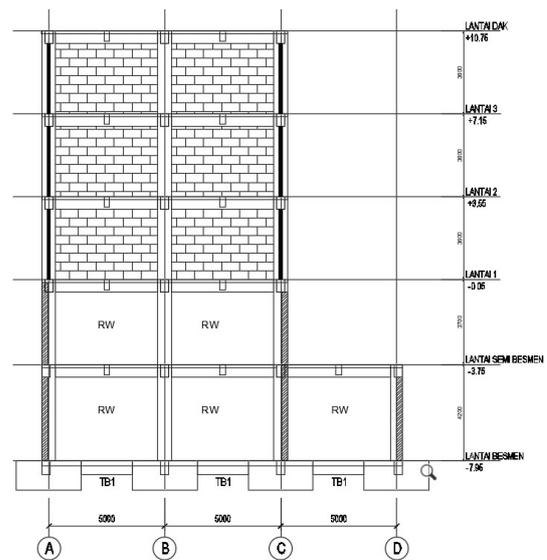
Gambar 5 Denah lantai 2



Gambar 6 Denah lantai 1



Gambar 7 Potongan memanjang

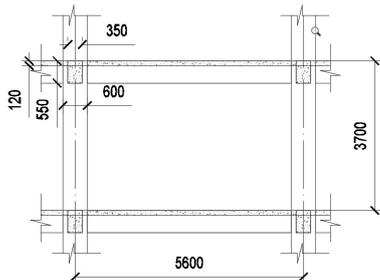


(b)

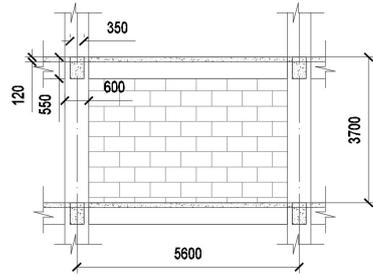
Gambar 7 Potongan memendek

Model Struktur

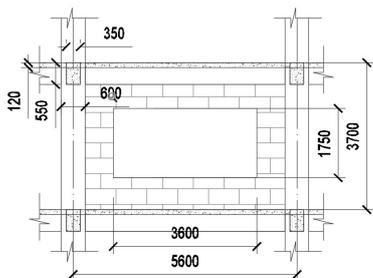
Dalam penelitian ini telah dibuat 3 buah model yaitu model M1 *open frame* (Gambar 8), model M2 adalah *Fully Infilled Wall Frame* (Gambar 9) dan model M3 *Fully Infilled Wall Frame* dengan *openings* pintu 24.8% dan jendela 41.6% (Gambar 10).



Gambar 8 Model Rangka M1



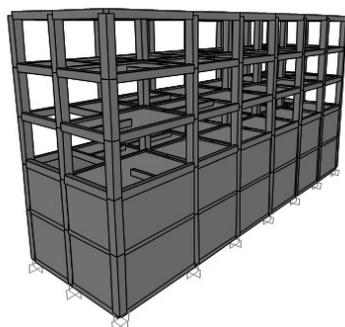
Gambar 9 Model Rangka dengan Dinding M2



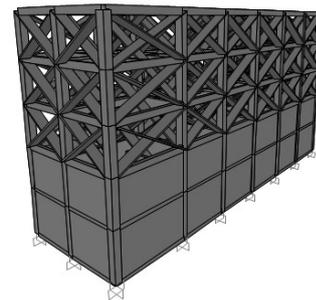
Gambar 10 Model Rangka dan Dinding Bukaan M3

Model Struktur SAP2000

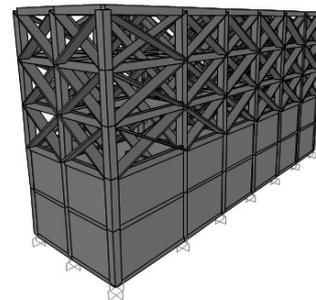
Model struktur dalam penelitian ini dimodel dan dianalisis dengan bantuan software SAP2000.



Gambar 11 Model M1 SAP2000



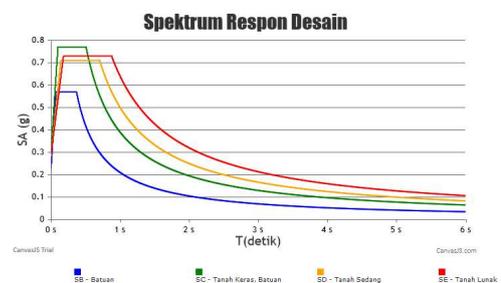
Gambar 12 Model M2 SAP2000



Gambar 13 Model M3 SAP2000 (modifikasi lebar strut)

Beban

Beban-beban yang diperhitungkan dalam analisis ini adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa. Berat sendiri elemen struktur langsung dihitung oleh software SAP2000. Total beban mati tambahan pada lantai adalah = 135 kg/m². Total beban mati tambahan pada atap = 163 kg/m². Total beban mati tambahan dinding adalah 775 kg/m². Berat dinding batako = 250 kg/m². Beban hidup lantai = 192 kg/m². Beban gempa menggunakan beban gempa *Auto Lateral Load IBC 2006* dengan acuan SNI 1726:2019. *Response Modification (R) = 8, System Overstrength (Ω) = 3, Deflection Amplification, (C_d) = 5.5, Occupancy Importance (I) = 1.5*. Bangunan ini terletak di daerah Denpasar dengan katagori tanah sedang. Parameter kategori desain seismik adalah *S_s = 0,9607; S₁ = 0,3955* dan kelas situs D (SNI 1726:2019).



Gambar 14 Respon spectrum gempa
Sumber: Spectrum gempa Denpasar (2023)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur M1 harus memenuhi syarat batasan waktu getar alami menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.8 dan tidak melebihi persamaan (2.10) dikalikan dengan koefisien batas atas (C_u) yang terdapat dalam table 14 SNI 1726:2019. $T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,0466 \times 18,7^{0,9} = 0.650$ detik. Sedangkan C_u pada tabel 14 SNI 1726:2019 memiliki koefisien 1.4. $T_a \cdot C_u = 0.650 \times 1.4 = 0.910$ detik. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu getar alami dengan penampang utuh T_1 adalah 1.188 detik sudah cukup mendekati dengan syarat batasan Pasal 7.8 SNI 1726:2019.

Perioda fundamental hitung $> C_u T_e$ maka $C_u T_e$ digunakan pengganti T . Kombinasi respons untuk dasar ragam (V_i) > 85 persen dari gaya geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $85 \frac{V}{V_i}$. Dimana V adalah gaya geser dasar prosedur gaya lateral ekuivalen, yang dihitung sesuai dengan pasal ini dan (Pasal 7.8 SNI 1726:2019) dan V_i adalah gaya geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan. Hasil analisis menghasilkan *base reaction* (W) = 3909.615 kN (X) dan 3054.134 kN (Y). $C_s = 0.134$ (X) dan 0.134 (Y), $V = 523.84$ kN (X) dan 409.216 kN (Y), $V_i = 460.979$ kN (X) dan 368.294 kN (Y), $V_i/V = 0.88$ (X) dan 0.90 (Y). V_i/V sudah mencapai $>85\%$ yaitu 88%-90% yang berarti *Base Reactions* struktur sudah memenuhi syarat.

Jumlah ragam (*mode*) dalam analisis Modal harus mencukupi sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai minimal 90% Pasal 7.9 SNI 1726:2013. Hasil analisis menunjukkan SumUX sudah mencapai 99% pada mode ke-12 dan SumUY mencapai 100% pada mode ke-12, sehingga telah memenuhi syarat minimal 90%.

SNI 1726:2019 tentang gempa untuk bangunan gedung mensyaratkan bahwa simpangan antar tingkat (Δ) hasil analisis tidak melebihi $0.02h_{sx}$, dimana h_{sx} adalah tinggi tingkat. Simpangan antar tingkat juga dikontrol terhadap mekanisme lantai lunak (*soft story*), yaitu dengan membandingkan *drift ratio* (Dr) suatu lantai dengan *drift ratio* lantai di atasnya tidak lebih besar dari 130%, namun perbandingan dua tingkat teratas tidak perlu diperiksa. *Drift ratio* (Dr) adalah rasio simpangan antar tingkat (Δ) dengan tinggi tingkat (h_{sx}). Simpangan antar tingkat ditampilkan pada **Tabel 1** untuk arah X (Portal 2), dan **Tabel 2** untuk arah Y (Portal B).

Tabel 1 Simpangan M1 arah X portal 2 (D+L+Ex)

Lt	h_{sx} (mm)	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Dr (%)	D_n / D_{n+1} (%)
		Model (M1)		Model (M1)	Model (M1)
5	3600	35	72	0,981	
4	3600	32	72	0,883	47
3	3600	26	72	0,719	45
2	3700	18	74	0,484	40
1	4200	8	84	0,188	28

Tabel 1 menunjukkan simpangan antar tingkat tidak melebihi dari simpangan antar tingkat ijin (Δ_a) yaitu $0.02 \times h_{sx} = 72-84$ mm dan tidak terjadi mekanisme *soft story* karena nilai perbandingan drift ratio-nya tidak lebih dari 130%.

Tabel 2 Simpangan M1 arah Y portal B (D+L+Ey)

Lt	h_{sy} (mm)	Δ (mm)	Δ_a (mm)	Dr (%)	D_n / D_{n+1} (%)
		Model (M1)		BATAKO (OF1)	Model (M1)
5	3600	8,5	72	0,236	
4	3600	7,7	72	0,214	48
3	3600	6,4	72	0,178	45
2	3700	4,6	74	0,124	41
1	4200	2,2	84	0,052	30

Tabel 2 menunjukkan simpangan antar tingkat tidak melebihi simpangan antar tingkat ijin (Δ_a) yaitu $0.02 \times h_{sx} = 72-84$ mm dan tidak terjadi mekanisme *soft story* karena nilai perbandingan *drift ratio*-nya tidak lebih dari 130%. Dari hasil analisis model M1 telah memenuhi persyaratan waktu getar dan simpangan. Selanjutnya dimensi struktur M1 tersebut digunakan sebagai acuan untuk model M2 dan M3.

Model Struktur *Infilled Frame*

Pemodelan struktur *infilled frame* sama dengan pemodelan *open frame*, namun pada model *infilled frame* dinding pengisi dimodel sebagai *equivalent diagonal strut*. Dinding pengisi dengan ketebalan $t = 100$ mm, modulus elastisitas batako (E_i) sebesar 1915.67 MPa. Kolom beton dengan dimensi awal yaitu 650x650mm memiliki inersia (I_c) sebesar 14.875.520.833mm⁴, dengan modulus elastisitas (E_c) sebesar 25743 MPa. Sedangkan tinggi infill (H_i) pada lantai 1, 2, dan 3 yaitu 3100 mm. Dengan menggunakan **persamaan 1 dan 2**, perhitungan lebar strut dinding penuh dan **persamaan 3** perhitungan lebar strut dinding dengan adanya lubang. Arah X-Z dinding pengisi ditampilkan dalam **Tabel 3** dan arah Y-Z **Tabel 4**.

Tabel 3 Lebar strut arah X-Z batako

Kode Model	Dimensi Kolom (mm)	H (mm)	L (mm)	α_w	Faktor Reduksi (λ)	Lebar Strut Tereduksi (mm)
M2 BD1	650x650	3600	5000	0	1	914,12

Tabel 4 Lebar strut arah Y-Z batako

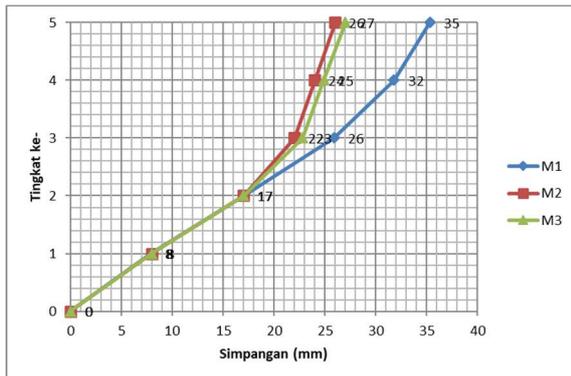
Kode Model	Dimensi Kolom (mm)	H (mm)	L (mm)	α_w	Faktor Reduksi (λ)	Lebar Strut Tereduksi (mm)
M2 BD2	650x650	3600	7200	0	1	1.192,71
M2 BD3	650x650	3600	5600	0	1	992,04
M3 BD2	650x650	3600	7200	0,248	0,2621	312,56
M3 BD3	650x650	3600	5600	0,248	0,2621	259,97
M3 BD3	650x650	3600	5600	0,416	0,1224	121,47

Analisis Static NonLinier Pushover

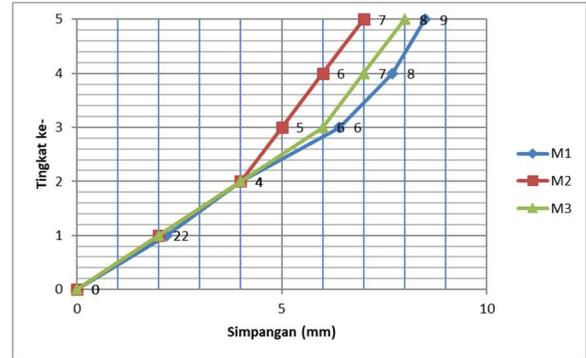
Evaluasi kinerja struktur dengan analisis *static nonlinier Pushover* dilakukan setelah rancangan struktur telah memenuhi syarat dan ketentuan dari peraturan-peraturan yang digunakan untuk mendesain. Kondisi akhir dari analisis beban gravitasi nonlinier ini akan menjadi kondisi awal dalam analisis *Pushover*. Struktur dibebani dua jenis beban *Pushover*, yaitu PUSH X (beban dorong akibat peningkatan gaya lateral arah sumbu X) dan PUSH Y (beban dorong akibat peningkatan gaya lateral arah sumbu Y). Struktur yang dibebani beban *Pushover*, besar perpindahan atapnya dikontrol hingga setidaknya mencapai target displacement. Analisis ini merupakan lanjutan dari analisis statik nonlinier yang pertama (beban gravitasi nonlinier) dan karena beban lateral diaplikasikan secara bertahap maka hasil penelitian ini tersedia dalam tahapan-tahapan pembebanan (*Multiple States*). Sendi plastis menyatakan posisi terlemah dari suatu elemen struktur. Sendi plastis ini biasanya terletak di ujung-ujung balok dan kolom karena bagian inilah yang menerima momen dan gaya geser yang paling besar. Sendi plastis didefinisikan untuk balok dengan dua tipe keruntuhan yakni keruntuhan akibat momen (M3), sesuai ketentuan pada Table 6-7 FEMA 356. Kolom mengalami keruntuhan akibat gaya aksial dan momen lentur (*Interacting P-M2-M3*) sesuai dengan ketentuan pada Tabel 6-8 FEMA 356.

Simpangan Antar Tingkat

Simpangan hasil analisis akibat kombinasi beban mati, hidup, dan gempa (D+L+E) ditampilkan pada **Gambar 15** untuk simpangan arah X (portal 2) dan **Gambar 16** untuk simpangan arah Y (portal B).



Gambar 15 Simpangan arah X portal 1 akibat D+L+Ex

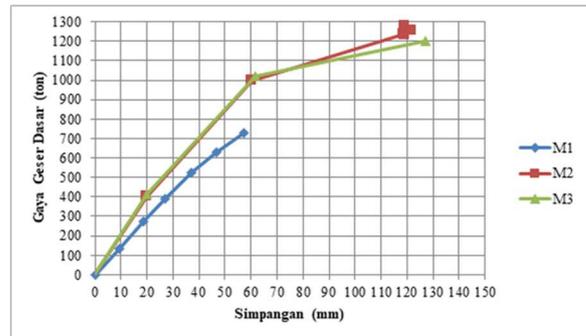


Gambar 16 Simpangan struktur arah Y pada portal D akibat D+L+Ey

Gambar 15 menghasilkan simpangan arah X model M1, M2 dan M3 masing-masing sebesar 35 mm, 26 mm dan 27 mm. **Gambar 16** menghasilkan simpangan arah Y model M1, M2 dan M3 masing-masing sebesar 9 mm, 7 mm dan 8 mm. Dengan demikian, simpangan model M2 lebih kaku dibandingkan model M3. Hal ini disebabkan adanya lubang pintu dan jendela pada dinding pengisi.

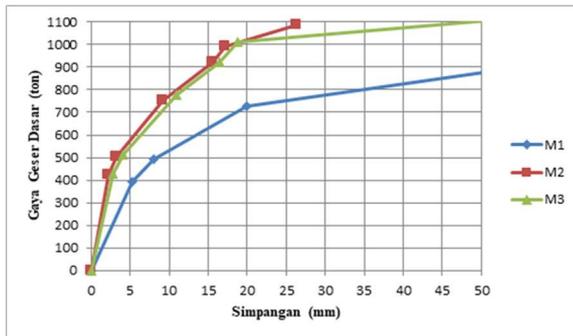
Kurva Pushover

Hasil analisis statik non linier berupa kurva *Pushover*, menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dengan perpindahan pada atap. Kurva *Pushover* akibat PUSH X dan Y untuk model M1, M2, dan M3 ditampilkan masing-masing pada **Gambar 17 dan 18**.



Gambar 17 Kurva *Pushover* akibat PUSH X

Gambar 17 menunjukkan bahwa M2 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 1252 ton dengan perpindahan atap sebesar 122 mm. Model M3 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 1202 ton dengan perpindahan atap sebesar 127 mm. Dapat diamati beban maksimum yang mampu diterima M3 lebih kecil yang dicapai M2 karena adanya lubang pintu dan jendela pada dinding pengisi. Model M1 memiliki kekakuan lebih lemah dari kedua model lainnya ditunjukkan dari kemiringan kurva yang paling landai yaitu mampu menerima beban 759 ton dengan perpindahan atap 57 mm.



Gambar 18 Kurva Pushover akibat PUSH Y

Dari Gambar 18 terlihat M2 mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 921 ton dengan perpindahan atap sebesar 16 mm. Model M3, mampu menerima beban lateral maksimum sampai dengan 916 ton dengan perpindahan atap sebesar 16 mm. Dapat diamati beban maksimum yang mampu diterima M3 tidak sebesar yang dicapai M2 karena adanya lobang pintu dan jendela pada dinding pengisi. Model M1 memiliki kekakuan lebih lemah dari kedua model lainnya ditunjukkan dari kemiringan kurva yang paling landai yaitu mampu menerima beban 680 ton dengan perpindahan atap 17 mm.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Model tanpa dinding pengisi (*open frame*) dengan level kinerja IO (*Immediate Occupancy*) memiliki kemampuan menerima beban lateral pada kurva kapasitas lebih kecil masing-masing 32.77% dan 31.31% terhadap model dinding pengisi penuh (*Fully Infilled Wall Frame*) dan model dinding pengisi dengan bukaan pintu dan jendela (*Fully Infilled Wall Frame* dengan *openings* pintu 24.8% dan jendela 41.6%) dengan level kinerja LS (*Life Safety*) akibat beban gempa arah X dan Y.
2. Model dinding pengisi penuh (*Fully Infilled Wall Frame*) lebih kaku 23.97% dan 8,1% masing-masing terhadap model tanpa dinding pengisi (*open frame*) dan model dinding pengisi dengan bukaan pintu dan jendela (*Fully Infilled Wall Frame* dengan *openings* pintu 24.8% dan jendela 41.6%) akibat beban gempa arah X dan Y.

DAFTAR PUSTAKA

American Society of Civil Engineers. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356)*. Washington D.C.: FEMA.

ATC-58 Structural Performance Products Team. (2004). *Engineering Demand Parameters for Structural Framing Systems (ATC-58)*. Redwood City: ATC.

Agarwal, P dan Shrikhande, M. (2006). *Earthquake Resistant Design of Structures*. New Delhi, India: Prentice Hall.

Building Seismic Safety Council. (1979). *NEHRP Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273)*. Washington D.C.: FEMA

Buonopane, S., dan White, R. (1999). *Pseudodynamic Testing of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frame*. *Journal of Structural Engineering*, 125(6), 578-589. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:6(578).

Bell, D. K., dan Davidson, B. J. (2001). *Evaluation of Earthquake Risk Building With Masonry Infill Panels*. NZSEE 2001 Conference.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727:19)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Budiwati, M. dan Sukrawa, M. (2017). *Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Penambahan Dinding Pengisi Berlubang sebagai Perkuatan Seismik*. *Jurnal Teknik Sipil UDAYANA*.

California Seismic Safety Commission. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40)*. Redwood City: ATC.

Computers and Structures, Inc. (2011). *Automated Lateral Loads Manual*. Berkeley: CSI, Inc.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*. Bandung: Puskim.

Dewobroto, W. (2005) *Analisa Inelastis Portal - Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. *Jurnal Teknik Sipil ITB*

Dewobroto, W. (2005) *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*. *Civil Engineering National Conference, 17-18 Juni 2005*. Semarang: Unika Soegijapranata.

Dewobroto, W. (2005) *Analisa Inelastis Dinding Pengisi dengan "Equivalent Diagonal Strut"*. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. 83 Portal -

Darma Giri, I. B. (2016). *Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Baja dengan Dinding Pengisi dan Tanpa Dinding Pengisi*. Denpasar: Universitas Udayana.

Darma Giri, I. B. dan Eka Pratama, G. P. (2016). *Perilaku Struktur Rangka Dinding Pengisi dengan bukaan Pada Gedung Empat Lantai*. Denpasar : Universitas Udayana.

- Kermani, et.al. (2008). *The Behaviour of RC Frames With Masorny Infill in Wenchum Earthquake*. Dept of Civil and Environmental Engineering, The University of Melbourne, VIC 3010, Australia
- Kakaletsis and Karayannis. (2009). *Experimental Investigation of Infilled Reinforced Concrete Frames White Openings*. *ACI Structural Journal*. Title no. 106-S14, April 2009.
- Rizki, E. dan Citra, U. (2019). *Evaluasi Kinerja Dinding Pengisi Bata Merah dengan Openings pada Struktur Beton Bertulang Akibat Beban Gempa Kuat*. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera utara*.
- Sukrawa, M., dan Suastika, N. (2013). *Design Aspect of Including Infill Wall in Reinforced Concrete Frame Design*. *The 4th International Conference of EACEF, June, 26-28 2013*. Singapore: National University of Singapore.
- Tubuh, I. K. (2014). *Analisis Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi dengan Variasi Penempatan Dinding Pada Lantai Dasar*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Widyastana, Sukrawa, dan Sudarsana (2013). *Pemodelan Struktur Rumah Susun Dengan dan Tanpa Dinding Pengisi*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Widiarsa, K. (2019). *Perbandingan Perilaku dan Kinerja Struktur Beton Bertulang Antara Analisis Dinding Pengisi Bata Merah, Bata Ringan, dan Tanpa Dinding Pengisi (Open Frame)*. Denpasar: Universitas Hindu Indonesia.
- Saputra, K. (2020). *Analisis Perilaku Dan Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan Memperhitungkan Pengaruh Lubang pintu Pada Dinding Pengisi Dengan Material Batako*. Denpasar: Universitas Hindu Indonesia.