

PERILAKU KERUNTUHAN STRUKTUR SRPM BAJA AKI-BAT PERBEDAAN PEMODELAN PANEL ZONE (STUDI LITERATUR)

MUHAMMAD DEWANGGA RAMADHAN¹

¹Fakultas Teknik, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20238)

muammarsiddiq@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan material baja untuk konstruksi bangunan bisa mengurangi risiko bangunan roboh saat diguncang gempa bumi dikarenakan tingkat fleksibilitasnya yang cukup tinggi. Indonesia khususnya Kota Banda Aceh merupakan wilayah yang rentan jika terjadi gempa, sehingga bangunan bertingkat dapat mengalami kehancuran. Oleh karena itu perlu dilakukan melalui analisa kinerja keruntuhan untuk mengetahui kapasitas struktur tersebut. Pada struktur baja area pertemuan antara balok dan kolom sering terjadi momen lentur dan gaya geser yang disebut dengan panel zone. Pada area ini terjadi pergerakan dan ketidakseimbangan pada penampangnya disebabkan desakan dari gaya-gaya yang bekerja disekitar area panel zone tersebut. Deformasi yang terjadi terus-menerus sampai titik kritisnya akan menyebabkan robek pada area tersebut, sehingga di perlunya melakukan pemodelan panel zone. Di dalam tugas akhir dilakukan pemodelan struktur dengan 3 jenis pemodelan yaitu, pemodelan centerline, pemodelan panel zone scissor, dan pemodelan panel zone paralelogram. spesifikasi material dan dimensi struktur memiliki tinggi 16.5 m (4 lantai). Analisa yang digunakan adalah Respon Spektrum sebagai tahap desain dan Respon Riwayat Waktu Linear dan Nonlinear sebagai tahap evaluasi, dengan alat bantu software analisa struktur dan RUAUMOKO2D versi 04. Pada struktur bangunan akan dikenakan 20 respon gempa. Hasilnya menunjukkan bahwa struktur dengan pemodelan panel zone scissor memiliki kapasitas struktur yang paling besar dan pemodelan panel zone paralelogram hasilnya sangat mendekati dengan pemodelan centerline.

Kata kunci: Gempa bumi, panel zone, kinerja keruntuhan.

BEHAVIOR STRUCTURE PERFORMANCE LEVEL OF STEEL SPECIAL MOMENT FRAME DUE TO DIFFERENT PANEL ZONE MODELING. (LITERATURE STUDY)

ABSTRACT

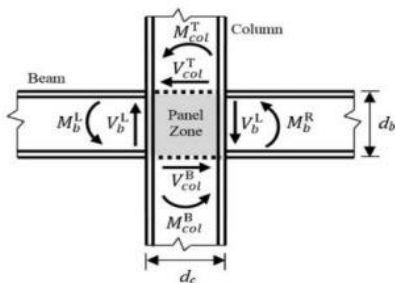
The use of steel materials for building construction can reduce the risk of the building collapsing when shaken by an earthquake due to its high degree of flexibility. Indonesia, especially the city of Bandar Lampung, is an area that is vulnerable to an earthquake, so that multi-storey buildings can experience destruction. Therefore, it is necessary to analyze the performance of the collapse to determine the capacity of the structure. In the steel structure, the joint area between the beam and the column often occurs when bending moments and shear forces are called the panel zone. In this area there is movement and imbalance in the section due to the forces acting around the panel zone area. Deformation that occurs continuously until the critical point will cause tearing in the area, so it is necessary to do panel zone modeling. In this final project, structural modeling is carried out with 3 types of modeling, namely, centerline modeling, zone scissor panel modeling, and parallelogram zone panel modeling. material specifications and structure dimensions have a height of 16.5 m (4 Storey). The analysis used is the Response Spectrum as the design stage and Linear and Nonlinear Time History Responses as the evaluation stage, with the structural analysis software tools and RUAUMOKO2D version 04 software tools. The building structure will be subject to 20 earthquake responses. The results show that the structure with the zone scissor panel modeling has the best failure performance and the parallelogram zone panel modeling results are very close to the centerline modeling.

Keywords: *Earthquake, panel zone, structural performance level.*

PENDAHULUAN

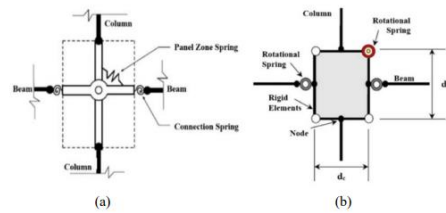
Indonesia adalah negara yang terletak di wilayah Cincin Api Pasifik (ring of fire) akibatnya Indonesia sering mengalami gempa tektonik ataupun letusan gunung berapi oleh karena itu kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi, khususnya untuk daerah-daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi. Untuk mengantisipasi bahaya gempa pada konstruksi bangunan maka diperlukan bangunan yang fleksibel dan kuat.

Penggunaan material baja untuk konstruksi bangunan bisa mengurangi risiko bangunan roboh saat diguncang gempa bumi dikarenakan tingkat fleksibilitasnya yang cukup tinggi dibandingkan material beton. Pada struktur baja area pertemuan antara balok dan kolom sering terjadi momen lentur dan gaya geser (Gambar 1.1) yang disebut dengan panel zone. Pada area ini terjadi pergerakan dan ketidakseimbangan pada penampangnya disebabkan desakan dari gaya-gaya yang bekerja disekitar area panel zone tersebut. Deformasi yang terjadi terus menerus sampai titik kritisnya akan menyebabkan robek pada area tersebut.



Gambar 1.1: Gaya momen dan gaya geser yang terjadi pada pertemuan balok dan kolom (Sepasdar dan Banan, 2019).

Umumnya pemodelan panel zone dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu panel zone Metode Krawinkler (Krawinkler, 1978) dan Metode Gunting atau Scissor (Krawinkler dan Mohasseb, 1987) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2 (a) dan 1.2 (b).



Gambar 1.2: Model untuk panel zone (a) Model Gunting (Scissor), dan (b) Model Krawinkler.

Panel Zone

Panel Zone adalah sebuah bagian sayap dan badan profil kolom yang letaknya tepat berada ditengah-tengah pertemuan kolom-balok struktur baja. Panel zone hanya terjadi bila sambungan kolom-balok struktur baja sepenuhnya kaku (sambungan momen). Sendi plastis yang lentur pada sayap profil kolom pada pertemuan sisi atas dan bawah balok, Umumnya ada 2 metode yang dipakai untuk memodelkan panel zone di dalam analisa struktur SRPM baja memakai metode elemen hingga, yaitu Metode Krawinkler (Krawinkler, 1978) dan Metode Gunting atau Scissor (Krawinkler dan Mohasseb, 1987).

METODE

Pada tahap ini dijelaskan bahwa dalam tugas akhir ini analisis dilakukan terhadap 2 pemodelan panel zone dengan sistem rangka pemikul momen. Kedua pemodelan Panel zone tersebut dianalisis secara linear dan non-linear dengan menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum (Response Spectrum

Analysis) dengan menggunakan program analisa struktur serta Analisis Riwayat Waktu (Time History Analysis) dengan menggunakan software RUAUMOKO versi 04, untuk mendapatkan nilai simpangan yang ada ketika bangunan telah dikenakan gempa. Kemudian nilai simpangan tersebut akan dibandingkan untuk setiap modelnya.

A. Pemodelan Struktur

Data Perencanaan Struktur

Adapun data perencanaan struktur yang digunakan pada keempat pemodelan dalam Program Analisa Struktur, yaitu:

1. Jenis pemanfaatan gedung perkantoran.
2. Gedung terletak di Banda Aceh
3. Klasifikasi situs tanah lunak (SE).
4. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
5. Jenis portal struktur gedung adalah struktur baja.
6. Mutu baja yang digunakan adalah ASTM A992
 - Kuat leleh minimum (f_y) : 50 ksi (345 Mpa)
 - Kuat tarik minimum (f_u) : 65 ksi (450 Mpa)

Dimensi Balok-Kolom

Bangunan yang direncanakan adalah struktur beraturan, Struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang berbeda.

Model Bangunan	Lantai	Kolom Interior	Kolom Eksterior	Balok
Lantai 4	1	W24X103	W24X103	W21X73
	2	W24X103	W24X103	W21X73
	3	W24X62	W24X62	W21X57
	4	W24X62	W24X62	W21X57

B. Analisis Struktur

Analisis Dinamik Struktur Linier

Analisis ini menggunakan Metode Respon Spektrum. Pada analisis ini, alat bantu software yang

digunakan adalah Program Analisa Struktur.

Pembebanan

Nilai beban gravitasi yang bekerja pada struktur bangunan adalah sebagai berikut :

- Beban Mati = 4.309 KN/m² untuk semua lantai.
- Beban Hidup = 2.39 KN/m² untuk lantai tipikal.
- Beban Hidup = 0.957 KN/m² untuk atap
- Beban Mati Tambahan = 1.197 KN/m² untuk semua lantai.

Respon Spektrum Desain

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa didesain pada kondisi tanah lunak yang terletak di Kota Banda Aceh. Berikut data-data respon spektrum linear sebagai berikut:

- PGA = 4,8 m/det²
- S_s = 1,5 g
- S₁ = 0,6 g
- Nilai F_a = 1,174
- Nilai F_v = 2.689
- S_M = 1,761
- S_{M1} = 1,6134 30
- T₀ = 0,12
- T_s = 0,6
- Nilai S_a = 0,6

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dihitung berdasarkan ketentuan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2012 tentang standar perencanaan bangunan tahan gempa, maka didapatkan untuk Faktor R=8 nilai $\rho = 1.3$ yang diperoleh dari kategori desain seismik D dan nilai $S_{DS} = 1$, Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai $\rho = 1.3$, $S_{DS} = 1$.

Kombinasi	Koefisien (DL)	Koefisien (LL)	Koefisien (EX)	Koefisien (EY)
Kombinasi 1	1,4	0	0	0
Kombinasi 2	1,2	1,6	0	0
Kombinasi 3	1,248	1	0,39	0
Kombinasi 4	1,151	1	-0,39	0
Kombinasi 5	1,361	1	1,3	0
Kombinasi 6	1,038	1	-1,3	0
Kombinasi 7	0,85	0	0,39	0
Kombinasi 8	0,948	0	-0,39	0
Kombinasi 9	0,738	0	1,3	0
Kombinasi 10	1,0618	0	-1,3	0
Kombinasi Maximum Envelope	Nilai absolute dari seluruh kombinasi			

C. Analisis Dinamik Struktur Non Linier

Groundmotion Records (Data Rekaman Gempa)

Data rekaman gempa diperoleh dari website resmi Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Next Generation Attenuation (NGA), COSMOS Strongmotion Data Center.

Dalam pengambilan data rekaman gempa melalui PEER NGA, diperlukan data Station, Date, dan Magnitude agar terdapat korelasi antara data gempa yang diambil dari website tersebut dengan data gempa dari bangunan yang direncanakan. Data rekaman gempa yang diambil sebanyak 20 data rekaman gempa PEER NGA dan COSMOS

Setiap data rekaman gempa terdiri dari 2 data gempa horizontal (arah X dan Y) dan 1 data gempa vertikal (arah Z), namun dalam Tugas Akhir ini data rekaman gempa yang digunakan hanya gempa horizontal arah X, sementara gempa horizontal arah Y tidak digunakan karena bangunan yang direncanakan dalam bentuk 2 dimensi (2D) pada sumbu X dan gempa vertikal arah Z karena dalam analisis karena data relatif sangat kecil (atau dianggap sama dengan 0). Selanjutnya data rekaman gempa yang diperoleh tersebut diskalakan terhadap respon spektrum desain. Pada proses penskalaan dibutuhkan data respon spektrum desain agar data rekaman gempa original disesuaikan dengan kondisi geologis pada Kota Banda (tanah lunak). Selain itu, rentang periode alami (T) juga dibutuhkan da-

lam proses penskalaan agar hasil skala lebih detail.

Kemudian data rekaman gempa yang telah diskalakan digunakan sebagai input pada software RUAUMOKO versi 04. untuk Analisis Dinamik Non Linier 33 Inelastis dengan Metode Analisa Riwayat Waktu. Data - data rekaman yang telah diskalakan dan digabungkan dengan MATLAB akan digunakan sebagai input data pada analisis menggunakan RUAUMOKO2D.

Analisis Respon Riwayat Waktu

Analisis ini merupakan tahap evaluasi yang dijadikan sebagai perbandingan terhadap analisis linear sebelumnya, sehingga tidak perlu seluruhnya memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012. Karena model yang digunakan merupakan model yang seluruhnya telah memenuhi syarat-syarat SNI 1726:2012 pada analisis linier sebelumnya yaitu dengan Metode Respon Spektrum. Pada metode respon riwayat waktu ini dianalisis secara dua dimensi. Alat bantu software yang digunakan adalah RUAUMOKO2D versi 04. Sebelum dianalisis dengan RUAUMOKO2D terdapat beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Pengambilan rekaman gempa dari PEER NGA dan COSMOS. Daerah- daerah rekaman
2. Mengubah rekaman gempa menjadi respon spektrum dengan bantuan software Seismosignal. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses penskalaan

Momen Leleh (My)

Berdasarkan Metode FEMA, momen leleh yang digunakan sebagai input analisis nonlinear pada program RUAUMOKO2D versi 04 adalah momen maksimum pada analisis linier respon riwayat waktu menggunakan program analisa

struktur. Nilai tersebut sebelumnya diambil dari program analisa struktur dan disesuaikan dengan sistem bangunan yang direncanakan. Pengambilan momen leleh diambil setelah menyesuaikan kurva kapasitas pada analisa beban dorong (push over), dimana untuk melihat perilaku dari struktur yang direncanakan.

Perencanaan Linear Berdasarkan AISC-2012 Desain Kolom

Memastikan terlebih dahulu bahwa bentuk ukuran kolom dapat menahan kekuatan yang di perlukan antara tingkat dasar dan kedua. Tabel .. menunjukkan rumus yang berlaku untuk penggunaan ASCE/SEI 7 untuk perhitungan beban. Kombinasi beban untuk LRFD

$$(1.2 + 0.2 S_{DS})D + pQ_E + 0.5I + 0.2S \quad (3.1)$$

Menghitung menggunakan persamaan :

$$M(x) M_{u \text{ top}} - \left(\frac{M_{u \text{ top}} - M_{u \text{ bot}}}{L} \right) x \quad (3.2)$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3M_a + 4M_b + 3M_c} \quad (3.3)$$

$$P_c = \phi_c \cdot P_n \quad (3.4)$$

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \quad (3.5)$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (3.6)$$

$$\phi_v V_n > V_o \dots (ok) \quad (3.7)$$

Desain Balok

Berikut perumusan dalam desain balok dan beban kombinasi termasuk beban gempa pada persamaan dibawah ini.

$$(1.2 + 0.2 S_{ds}) D + pQ_E + 0.5L + 0.25 \quad (3.8)$$

$$M_o = M_{u \text{ left}} \quad (3.9)$$

$$M_1 = M_{u \text{ right}} \quad (3.10)$$

$$(M_o + M_1) = Md \quad (3.11)$$

$$C_b = 3.0 \frac{2}{5} \left(\frac{M_1}{M_o} \right) - \frac{8}{3} \left| \frac{M_{cl}}{M_o + M_1} \right| \quad (3.12)$$

$$F_{cr} = \frac{385\pi^2 (29000 \text{ ksi})}{\left| \frac{30.0 \text{ ft} \left(\frac{12 \text{ in}}{\text{ft}} \right)}{2.00 \text{ in}} \right|^2} \quad (3.13)$$

$$M_n \leq M_n \quad (3.14)$$

$$M_p = F_y \cdot Z_x \quad (3.15)$$

$$\phi_b V_n > V_u \quad (3.16)$$

Pemodelan Non Linear Struktur.

Pemodelan Sendi Plastis Di Badan Kolom Panel Zone. Kondisi geser akan terjadi pada badan kolom di panel zone, maka dalam pemodelan material non linear unuk elemen panel zone akan dipakai nilai-nilai gaya-deformasi.

Berdasarkan (Krawinkler dan Mohasseb, 1987), kekakuan geser kondisi elastic (K_e), Deformasi geser (γ) dan kuat geser (v) yang dipikul oleh Panel zone di badan kolom pada persamaan 3.18 berikut ini:

$$K_e = \frac{v}{\gamma} = 0.95 h_k t_p G \quad (3.18)$$

Dimana h_t adalah tinggi profil kolom, t_p adalah tebal panel zone, dan adalah modulus geser material baja. Maka kuat geser leleh pada panel zone (V_y) dapat ditentukan oleh 55% dari kuat leleh material baja (F_y) dikalikan tebal panel zone dan tinggi profil kolom dapat dilihat pada persamaan 3.19.

$$V_y = 0.55 F_y h_k t_p \quad (3.19)$$

Sedangkan deformasi leleh panel zone (Y_y) dapat dihitung melalui persamaan 3.20 berikut:

$$Y_y = \frac{F_y}{\sqrt{3G}} \quad (3.20)$$

Kekakuan geser kondisi plastis (K_p) diperoleh melalui perubahan kuat geser dan deformasi geser yang terjadi pada persamaan 3.21 yaitu:

$$K_p = \frac{\Delta V}{\Delta y} = 1.095 b_k t_{sk}^2 G/h_b \quad (3.21)$$

Dimana adalah lebar sayap profil kolom, t_{sk} = adalah tebal sayap profil kolom, h_b adalah balok yang menempel pada kolom. Kuat geser saat kondisi plastis (V_p) dapat ditentukan dengan persamaan 3.22:

$$V_p = 0.5 F_y t_{ks} \left(1 + \frac{3.45 b_k 1.095 b_k t_{sk}^2}{h_b h_k t} \right) \quad (3.22)$$

Dimana V_p di atas terjadi pada kondisi deformasi plastis ($Y_p = 4Y_y$)

Pemodelan Sendi Plastis Di Sayap Kolom Panel Zone

Kurva backbone gaya-deformasi lentur pada sayap kolom panel zone ditunjukkan pada Gambar 3.8, dimana $M_{y,sayap} = \theta_{y,sayap}$ dan $\theta_{p,sayap} = \theta_{p,sayap}$. Untuk deformasi lentur ini, kekakuan lentur (K_s) dapat diperoleh melalui rasio momen leleh pada sayap kolom ($M_{y,sayap}$) dengan rotasi leleh ($\theta_{y,sayap}$), atau dengan persamaan 3.23 berikut ini (Downs, 2002):

$$K_s = 0.75 G b_{ks} t_{ks}^2 \quad (3.23)$$

Dimana b_{ks} dan t_{ks} masing-masing adalah lebar sayap profil kolom dan tebal sayap profil kolom. Untuk momen leleh ($M_{y,sayap}$) pada sayap kolom dapat di tentukan dengan persamaan 3.24 berikut ini:

$$M_s = 1.8 F_y b_{sk} t_{sk}^2 \quad (3.24)$$

Pemodelan Sendi Plastis Pada Balok

$$\theta_{pc} = 5.63 \left(\frac{h}{tw} \right)^{-0.565} \cdot \left(\frac{bf}{2.tw} \right)^{-0.8} \cdot \left(\frac{c1 \cdot unit.d}{533} \right)^{-0.280} \cdot \left(\frac{c2 \cdot unit.Fy}{355} \right)^{-0.43} \quad (3.25)$$

$$\theta_{pc} = 7.5 \left(\frac{h}{w} \right)^{-0.61} \cdot \left(\frac{bf}{2.tw} \right)^{-0.71} \cdot \left(\frac{Ib}{ry} \right)^{-0.11} \cdot \left(\frac{c1 \cdot unit.d}{533} \right)^{-0.161} \cdot \left(\frac{c2 \cdot unit.Fy}{533} \right)^{-0.320} \quad (3.26)$$

Untuk: $d \geq 533 \text{ mm}$

Pemodelan Sendi Plastis Pada Kolom

Untuk WF pada sumbu kuat:

$$\frac{M}{M_p} = 1.18 \left[1 - \frac{P}{P_y} \right] \leq 1.0 \quad (3.27)$$

Untuk WF pada sumbu lemah:

$$\frac{M}{M_p} = 1.19 \left[1 - \frac{P}{P_y} \right]^2 \leq 1.0 \quad (3.28)$$

Fragility Curve

$$\text{Probability} = \Phi \text{Ln} \left\{ \frac{RSA(T1)/\theta RSA(T1)}{\sigma \text{Ln}(RSA(T1))} \right\} \quad (3.39)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini akan membahas beberapa hasil analisa linier dan non linier oleh Program Analisa Struktur diantaranya, perioda getar, nilai simpangan dan gayagaya dalam struktur gedung, berdasarkan model dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Semua input pembebanan serta kombinasi, zona gempa dan konfigurasi bangunan adalah sama. Serta perbandingan metode analisa pada tiap gempa, yaitu analisa respon spektrum ragam dan analisa respon riwayat waktu.

Hasil Analisa Linier

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS. Syarat : SRSS > 15% , CQC < 15%

Analisa menggunakan metode CQC (Complete Quadratic Combination), hasil persentase perioda rata-

rata yang didapat lebih kecil dari 15% dan SRSS (Square Root of the Sum of Square) lebih besar dari 15%. Pada hasil analisa diperoleh hasil model 4 lantai didapat 12 mode dan hasil persentase nilai perioda lebih banyak dibawah 15 %.

Koreksi Gempa Dasar Nominal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (Vt) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala :

$$0,85 \frac{V1}{Vt} \geq 1$$

Dimana:

V1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

Vt = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

$$\text{Syarat : } 0,85 \frac{V1}{Vt} \leq 1$$

Koreksi Faktor Redundansi

Nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Dari hasil koreksi untuk setiap gaya geser diperoleh beberapa lantai yang tidak memenuhi syarat 35 persen gaya geser dasar.

Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai V1 dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (Vt) dapat dilihat pada Tabel 4.1 kontrol koreksi skala simpangan antar tingkat,yaitu:

$$\text{Syarat : } Vt \geq 0,85 C_s.W$$

Struktur	Arah Gempa	Vt (KN)	0,85CsW
Lantai 4	Gempa X	2876,54	2975,85

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (Vt) lebih besar dari nilai Cs.W, sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai yang diizinkan yaitu 0,02 dikali tinggi lantai, nilai simpangan tidak boleh melebihi ketentuan tersebut. Pada hasil yang diperoleh, nilai simpangan antar lantai tidak melebihi batas izin atau memenuhi syarat.

Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story)

Berdasarkan SNI 1726:2012, kekakuan tingkat lunak (soft story) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Pada hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x untuk semua model, diperoleh nilai persentase kekakuan diatas batas yang ditentukan atau struktur yang direncanakan tidak mengalami Soft Story

Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai stability ratio lebih kecil dari 1. Pada hasil perhitungan, nilai stability ratio dibawah nilai 1 untuk semua

model atau dapat dikatakan kontrolnya memenuhi syarat yang ditentukan. Pada dasarnya efek p-delta dapat diabaikan jika syarat stability ratio sudah terpenuhi.

Hasil Analisa Non Linier

Pada tahap ini merupakan bagian dari evaluasi struktur baja yang telah didesain terhadap beban gempa yang telah direncanakan, dalam hal ini respon struktur akan ditinjau terhadap perbedaan pemodelan panel zone. Ketiga pemodelan tersebut akan di responkan terhadap 20 gempa. Faktor R pada gedung merupakan faktor reduksi gedung yang telah didesain pada sistem struktur baja. Model struktur akan diambil data interstory drift dan dianalisa.

Interstory Drift

Jika masing-masing node mengalami perpindahan akibat gaya gempa, maka perpindahan tersebut dapat menghasilkan simpangan antar tingkat. Besarnya simpangan antar tingkat dipengaruhi oleh kekakuan dari struktur tersebut.

Secara keseluruhan nilai interstory drift pemodelan panel zone paralelogram lebih besar daripada pemodelan Centerline maupun Scissor dan pemodelan panel zone Scissor memiliki nilai drift terkecil.

Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Incremental Dynamic Analysis yang di lakukan pada ketiga model struktur menghasilkan gambaran respon dan kapasitas dari struktur yang selanjutnya dapat digunakan untuk membentuk kurva kerapuhan struktur sebagai metode dalam asamen kerapuhan seismik. Hasil IDA menggunakan 20 set rekaman gempa untuk masing-masing pemodelan centerline (CL), scissor (SC), paralelogram (PL). Grafik IDA adalah hasil dari interstory drift Ratio.

Dapat dilihat mengalami kenaikan yang tidak terlalu besar, pada centerline saat nilai RSA(T1) = 0.7 mendapatkan nilai IDR = 0,041, pada Model 2 pada saat nilai RSA(T1) = 0.7 mendapatkan nilai IDR = 0,037, pada Model 3 pada saat nilai RSA(T1) = 0.7 mendapatkan nilai IDR = 0,58. Setelah peningkatan RSA 0.7 perbedaan IDR max sangat jelas terlihat perilaku sesungguhnya struktur yang ditandai memisahkannya grafik antara 3 pemodelan.

Analisis Probability of Exceedance

Dari proses Incremental Dynamic Analysis (IDA) didapatkan nilai IDR ratio pada RSA tertentu yang kemudian akan digunakan dalam menganalisa probabilitas collapse dan collapse prevention struktur gedung terhadap nilai RSA. Hasil Probabilitas keruntuhan struktur untuk ketiga model.

Perbandingan Kurva kerapuhan C/CP

Dari kurva kerapuhan diatas sangat jelas bahwasannya secara garis besar pemodelan panel zone scissor membutuhkan RSA yang lebih besar mengalami keruntuhan akan tetapi centerline dan pemodelan panel zone paralelogram membutuhkan RSA yang hampir mendekati yang dimana centerline sedikit lebih besar dibanding paralelogram.

Median Kurva Kerapuhan

Nilai median yang telah diperoleh dari analisis kurva kerapuhan centerline, panel zone scissor, panel zone paralelogram

Tabel 4.5: Nilai RSA(T1) untuk kondisi collapse (10%) dan kondisi collapse prevention.

COLLAPSE			COLLAPSE PREVENTION		
Centerline	Scissor	Paralelogram	Centerline	Scissor	Paralelogram
1.340219	1.559098	1.288694	0.729097	0.81911	0.460259

Dari Tabel 4.5 diatas menunjukkan Scissor memiliki RSA terbesar yaitu 1.55 untuk terjadi collapse dan 0.819 untuk collapse prevention, disusul centerline dengan RSA sebesar 1.34 untuk collapse dan 0.72 untuk collapse prevention, dan paralelogram memiliki RSA terkecil pada saat collapse yaitu 1.28 dan 0.46 untuk collapse prevention.

Perbandingan Kurva Kerapuhan saat 50%

Terlihat bahwa untuk mencapai kondisi 50% saat collapse prevention pada pemodelan centerline membutuhkan RSA sebesar 0.72, pada pemodelan panel zone scissor membutuhkan RSA sebesar 0.83, pada pemodelan panel zone paralelogram membutuhkan RSA sebesar 0.69. Dan bahwa untuk mencapai kondisi 50% saat collapse pada pemodelan centerline membutuhkan RSA sebesar 1.32, pada pemodelan panel zone scissor membutuhkan RSA sebesar 1.58, pada pemodelan panel zone paralelogram membutuhkan RSA sebesar 1.27.

Dari hasil perbandingan nilai RSA collapse dan collapse prevention pada saat 50% didapatkan 0.5. Hasil ini membuktikan bahwasannya perhitungan pada analisis kinerja keruntuhan sudah benar, dimana kerapuhan collapse (10%) dan collapse prevention (5%) juga memiliki rasio 0.5.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis linear dan non linear yaitu pembahasan mengenai perbandingan simpangan antar tingkat dan simpangan atap sistem rangka pemikul momen (SRPM) terhadap pemodelan panel zone maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisa pada struktur terhadap pemodelan panel zone yang berupa kurva IDA dari pemod-

elan panel zone tipe paralelogram membutuhkan RSA terkecil untuk mengalami keruntuhan dibandingkan pemodelan centerline dan panel zone scissor akibatnya pemodelan panel zone paralelogram memiliki kinerja keruntuhan yang sangat rentan dibandingkan tipe pemodelan lainnya dan pemodelan panel zone scissor memiliki kinerja keruntuhan paling baik dari semua pemodelan yang di analisis.

2. Pada hasil analisis kurva kerapuhan yang di ambil nilai medianya di dapati pemodelan paralelogram juga yang paling besar dalam mengalami kerusakan dan pemodelan scissor memiliki kerusakan paling kecil dengan RSA yang sama.

3. Dari hasil semua analisis yang dilakukan trend yang terjadi selalu pemodelan panel zone scissor memiliki kapasitas yang paling besar sementara pemodelan panel zone paralelogram memiliki kapasitas paling kecil dan hasil dari pemodelan panel zone paralelogram yang paling mendekati dengan pemodelan centerline.

DAFTAR PUSTAKA BUKU

- Amiri, S., & Bojórquez, E. (2019). Residual displacement ratios of structures under mainshock-aftershock sequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121, 179-193.
- ANSI, A. (2005). Aisc 358-05 prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Boen, T, Dkk (2010). Cara memperbaiki bangunan sederhana yang rusak akibat gempa bumi. World Seismic Initiative.
- Budiono, B. dan Supriatna, L (2011) Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726:2002 dan SNI 1726:2012. Bandung: ITB.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Universitas Pelita Harapan.
- Dewobroto, W. (2016). Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain-AISC 2010 Edisi ke-2. Tangerang: Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH.
- Di Trapani, F., & Malavisi, M. (2019). Seismic fragility assessment of infilled frames subject to mainshock/aftershock sequences using a double incremental dynamic analysis approach. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(1), 211- 235.
- Downs, W. M. (2002). Modeling and Behavior of the Beam/Column Joint Region of Steel Moment Resisting Frames (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Goda, K., & Taylor, C. A. (2012). Effects of aftershocks on peak ductility demand due to strong ground motion records from shallow crustal earthquakes. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 41(15), 2311- 2330.
- Goulet, C. A., Haselton, C. B., Mitrani-Reiser, J., Beck, J. L., Deierlein, G. G., Porter, K. A., & Stewart, J. P. (2007). Evaluation of the seismic performance of a code-conforming reinforced-concrete frame building—from seismic hazard to collapse safety and economic losses. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 36(13), 1973-1997.
- Kalkan, E., dan Kunnath, K. (2006). Effects of Fling Step and Forward Directivity on Seismic Response of Buildings. *Earthquake Spectra*, 22(2), 367-390.
- Khatami, M., Gerami, M., Kheyroddin, A., & Siahpolo, N. (2020). The effect of the mainshock-aftershock on the estimation of the separation gap of regular and irregular adjacent structures with the soft story. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 14(02), 2050008.
- Pawirodikromo, W., (2012), Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan, Pustaka Pelajar., Yogyakarta.
- Siswanto, B., & Salim, M., (2018), Rekayasa Gempa, K-Media, Yogyakarta.
- White, R. N., & Salmon, C. G. (1987). Building structural design handbook. Wiley-Interscience.

Zareian, F., Lignos, D. G., & Krawinkler, H. (2010). Evaluation of seismic collapse performance of steel special moment resisting frames using FEMA P695 (ATC-63) methodology. In *Structures Congress 2010* (pp. 1275-1286)

JURNAL

Amelia, R., Amelia, R., Simatupang, R. M., & Nurainah, D. (2017). PENGUJIAN GESER-LENTUR BALOK (The Effects of Shear Bamboo Reinforcement Type on The Shear-Flexural Beam Testing).

Berdasarkan, T., & Keruntuhan, T. (2009). Kajian eksperimental perilaku balok beton tulangan tunggal berdasarkan tipe keruntuhan balok. *5(2)*, 39–52.

Sipil, J. T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2002). STUDI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN VARIASI SENGKANG MIRING TERHADAP KUAT GESER BALOK BETON BERTULANG Arif Rachman., Rifa Aulia Bakri. Sri Tudjono *) , Han Ay Lie *). 1–13.

SISTEM RANGKA DENGAN VARIASI JARAK SPASI DISUSUN OLEH: ASNI TANDILINO JURUSAN SIPIL. (2018).

SNI, 2847:2013. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1–265.

SNI, & 1727. (2013). Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 196. www.bsn.go.id 71

Sumajouw, M. D. J., Windah, R. S., Teknik, F., Sipil, J., Sam, U., & Manado, R. (2015). Pengaruh kuat tekan terhadap kuat lentur balok beton bertulang. *3(5)*, 341–350.

Wicaksono, D. A., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2019). Studi Eksperimental Balok Beton Bertulang Dengan dan Tanpa Sengkang.

Kusuma, B. (1999). TULANGAN GESER MINIMUM PADA BALOK BETON MUTU TINGGI. 253–265

JURNAL

Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Peru-

bahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.

Ariani, R., & Riza, F. V. (2019, October). Peningkatan Derajat Kesehatan Melalui Sosialisasi Perilaku Hidup Bersih Dan Sehat Sejak Dini. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 319-322).

Asfiati, S., & Mutiara, D. T. (2021). STUDI KESELAMATAN DAN KEAMANAN TRANSPORTASI DI PERLINTASAN SEBIDANG ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN UMUM (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Di Jalan Padang, Bantan Timur, Kecamatan Medan Tembung). *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, *1(2)*.

Azis, Z., Panggabean, S., & Sumardi, H. (2021). EFEKTIVITAS REALISTIC MATHEMATICS EDUCATION TERHADAP HASIL BELAJAR MATEMATIKA SISWA SMP NEGERI 1 PAHAE JAE. *Journal Mathematics Education Sigma [JMES]*, *2(1)*, 19-24.

Damanik, W. S., Pasaribu, F. I., Lubis, S., & Siregar, C. A. (2021). Pengujian Modul Solar Charger Control (SCC) Pada Teknologi Pembuangan Sampah Pintar. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, *3(2)*, 89-93.

Faisal, A. (2019). Influence of repeated earthquakes on the ductility demand of inelastic RC build-ings. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*.

Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, *5(1)*, 41-46.

Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Push-

- over. Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Hadipramana, J., & Syahputra, J. (2021). PERBANDINGAN SIMULASI GAYA AKSIAL DAN LATERAL PLAIN WALL BETON RINGAN ANTARA CAMPURAN STYROFOAM DENGAN LAPISAN COATING DAN ABU SEKAM PADI DENGAN FLY ASH. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Hadipramana, J., Aguslinar, A., Pratiwi, D. N., & Ginting, N. W. (2019, October). Program Pendampingan Remaja Terhadap Dampak Teknologi Digital Terhadap Gaya Hidup di Desa Sidodadi Ramunia, Kabupaten Deli Serdang. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 378-383).
- Harahap, M., Siregar, G., & Riza, F. V. (2021). Mapping The Potential Of Village Agricultural Social Economic Improvement Efforts In Lubuk Kertang Village Kecamatan Berandan Barat Kabupaten Langkat. *JASc (Journal of Agribusiness Sciences)*, 4(1), 8-14.
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Damanik, W. S., Siregar, R. S., Siregar, M. A., ... & Batubara, S. S. (2020). Pelatihan Penggunaan Sensor HMC 5883L Sebagai Petunjuk Arah Kiblat Sumatera Utara. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 229-237.
- Palit, C. M., Pangouw, J. D., & Pandaleke, R. (2016). Perencanaan Struktur Gedung Hotel Jalan Martadinata Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(4), 263–270.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2005.08.001>
- Sangga pramana, 2018. (artikel). Retakan pada balok akibat gaya geser, Semarang
- Zulkarnain, F., & Dewi, I. (2021). Bimbingan Dan Pelatihan Kepada Masyarakat Tentang Pembagian Harta Warisan Menurut Islam Di Ranting Tanjung Gusta Medan. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), 70-81.
- Zulkarnain, F., & Dewi, I. D. (2020). PKM Pembuatan Saluran Drainase Dusun li Jln Inpres Desa Tanjung Gusta Untuk Mengatasi Banjir. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 1-5.
- Zulkarnain, F. (2021). KONTRAK, PENELITIAN TERAPAN (PT) Tahun Anggaran 2018. KUMPULAN BERKAS KE-PANGKATAN DOSEN.
- Zulkarnain, F. (2021). KONTRAK PENELITIAN RISET TERAPAN/MATERIAL MAJU (PPT) TAHUN ANGGARAN 2017. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.
- Zulkarnain, F. (2021). SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN HIBAH PROGRAM IPTEK BAGI MASYARAKAT TAHUN ANGGARAN 2017. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.
- Zulkarnain, F. (2021). SURAT PERJANJIAN PENUGASAN PELAKSANAAN HIBAH PROGRAM IPTEK BAGI MASYARAKAT TAHUN ANGGARAN 2017. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.

WEBSITE

<http://peer.berkeley.edu>.

<http://puskim.pu.go.id>.

<http://strongmotioncenter.org>.