

EVALUASI KINERJA STRUKTUR RANGKA BAJA GEDUNG BERTINGKAT BERATURAN TAHAN GEMPA BERDASARKAN SNI 1729 2015

Appriliya Destiyani¹⁾, Iskandar Romey Sitompul²⁾, Reni Suryanita²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : appriliya.destiyani@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Each building have to be designed so that the building is safe from earthquake load. The purpose of the study is to analyze the drift ratio, reaction force and structural performance at steel structures by using Direct Analysis Method (DAM) and Effective Length Method (ELM). the building structure is analyzed for earthquake loads based on the 2010 earthquake map and 2017 earthquake map. In the study, a 10-story building with a length of x 4 m and y 5 m, a ground floor height of 4,5 m and floors 1-10 is 3,5 m. The total building height is 36 m using IWF 478,447.60.60 and IWF beams 406,403.24.26. The structural system uses an open system without bracing. The structural analysis uses SAP2000 software. The results of the analysis for the DAM and ELM methods show that the deviation between levels is by the provisions of RSNI3 1726 201X, which is less than the deviation between permit levels of 0,0692 m for the ground floor and 0,0538 m for floors 1-10. Structural performance using pushover analysis based on FEMA 356, for the DAM and ELM methods results in an IO (Immediate Occupancy) level of performance with a drift value below 0,7%. Structural analysis found that the force in the DAM method was 1,4% smaller than the ELM method. This is because in the DAM method there is an increase in notional load at the nodal point at all levels. Analysis of the force on the 2017 earthquake map is smaller by 9,8% compared to the 2010 earthquake map. This is due to the acceleration value of the response spectrum on the 2017 map for S1 and Ss by 0,299 and 0,236, while for the 2010 earthquake map for S1 and Ss by 0,441 and 0,274.

Keywords: Portal structure of Steel, performance, moment, stress ratio, earthquake hazard map 2017, earthquake hazard map 2010

A. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan gempa yang disebabkan oleh gangguan di dalam litosfir (kulit bumi), sebuah guncangan hebat yang menjalar ke permukaan bumi. Gempa tektonik merupakan salah satu jenis gempa yang bisa memberikan dampak kerugian bagi manusia dan bangunan, gempa ini terjadi karena adanya pergeseran lempeng tektonik (Mutafa, 2010).

Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Interaksi antara 3 lempeng tersebut memiliki jenis bidang batas lempeng yang sama di mana bidang batas konvergen yang

membentuk zona-zona subduksi (Indriana, 2008). Oleh karena itu, Setiap bangunan yang berada di Indonesia harus dirancang sedemikian rupa agar bangunan aman terhadap beban gempa.

Pada abad ke-19 baja menjadi salah satu material konstruksi yang telah digunakan, akibatnya metode baja murah mulai dikembangkan (Prayudi, 2005). Material baja merupakan material yang sering digunakan sebagai material utama dalam pekerjaan struktur konstruksi. Material baja secara alami mempunyai rasio kuat berbanding berat-volume yang tinggi, sehingga bangunan dengan konstruksi baja akan menghasilkan sistem pondasi lebih

ringan. Ini penting pada bangunan tahan gempa. Selain itu, material baja punya karakter kekuatan tinggi, sangat daktail dan relatif kaku, yang merupakan syarat ideal mengantisipasi beban tak terduga (Wiryanto, 2005). Oleh karena itu, diperlukan standar peraturan yang diharapkan agar konstruksi dibangun dengan tingkat keamanan lebih tinggi dan dapat menekan biaya pembangunan.

SNI 1729 2015 (spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural) telah resmi beredar di Indonesia dan menggantikan SNI 1729 2002. SNI 1729 2015 mengacu dan mengadopsi penuh AISC (*American Institute of Steel Construction*) 2010. Di dalam peraturan ini, terdapat metode desain baru, yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai alternatif dari metode yang telah digunakan selama ini, yaitu *Effective Length Method* (ELM). Selain itu, peta bahaya gempa Indonesia juga melakukan pembaharuan menjadi Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Peta tersebut ini menggantikan Peta Bahaya Gempa Indonesia 2010 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017).

Segala upaya untuk mengurangi risiko bahaya gempa perlu dilakukan dengan tindakan pencegahan dengan penanggulangan bencana. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan pemutakhiran Peta Bahaya Gempa Indonesia 2010 digantikan dengan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Hal ini supaya masyarakat Indonesia mampu menyiapkan diri dalam menghadapi bencana gempa dan diharapkan tingkat risiko dalam pembangunan bangunan dapat diminimalkan (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Peta gempa 2017 lebih mengacu pada kondisi terkini untuk wilayah Indonesia. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengetahui pengaruh perubahan peta bahaya gempa Indonesia terhadap struktur gedung di wilayah kota Pekanbaru.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian menganalisis mengenai kinerja struktur, simpangan antar tingkat dan gaya dalam struktur baja yang terjadi pada gedung yang

direncanakan. Kinerja struktur yang dianalisis pada penelitian ini berdasarkan FEMA 356, di mana FEMA 356 memiliki 4 kategori kriteria struktur yang menunjukkan keadaan bangunan pasca terjadinya gempa. Simpangan antar tingkat akan dianalisis berdasarkan RSNI3 1726 201X dan gaya dalam berdasarkan SNI 1729 2015 dengan beban hidup, beban mati tambahan dan beban gempa berdasarkan SNI 1727 2013.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Peta Gempa Indonesia

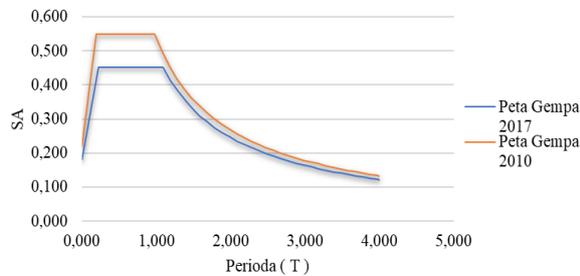
Kementrian PUPR Bersama para ahli gempa melakukan pemutakhiran peta gempa Indonesia dan diberi nama Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017. Peta gempa 2017 ini mengacu pada analisis PSHA (*Probabilistic Seismic Hazardm Analysis*) yang merupakan peta percepatan puncak di batuan dasar PGA (*Peak Ground Acceleration*). PGA memiliki delapan periode ulang, periode ulang yang dipergunakan, yaitu 50, 100, 200, 500, 1000, 2500, 5000, dan 10000 tahun. Analisis terhadap hasil perhitungan PSHA oleh Tim Pusat Studi Gempa (2017) menunjukkan akan muncul guncangan yang semakin bertambah tinggi di suatu area seiring dengan semakin bertambah panjang rentang waktu penghitungan. Hal ini terjadi karena semakin panjang waktu maka semakin banyak gempa dengan magnitudo lebih besar yang muncul.

B.2 Ketentuan Pembebanan

Beban-beban yang diperhitungkan di dalam analisis penelitian ini adalah:

- a. Beban mati, total beban mati tambahan yang digunakan adalah $3,41 \text{ kN/m}^2$ yang mencakup *Mechanical & Electrical*, plesteran, keramik, dinding pasangan bata merah 1/2 batu, plafon dan penggantung.
- b. Beban hidup, bangunan struktur difungsikan sebagai apartemen dengan beban hidup sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$ dan atap $0,96 \text{ kN/m}^2$ menurut SNI 1727 2013.
- c. Beban gempa, peta gempa yang digunakan adalah peta gempa 2010 dan 2017 dengan nilai percepatan spektrum respons pada peta 2017 untuk S_1 dan S_s

sebesar 0,299 dan 0,236, sedangkan pada peta gempa 2010 untuk S_1 dan S_s sebesar 0,441 dan 0,274. Gambar 1 adalah grafik respon spektrum yang digunakan pada penelitian ini, dimana terdapat perbedaan untuk nilai S_a dan Perioda (T) antara peta gempa 2017 dan 2010.



Gambar 1. Respons Spektrum Kota Pekanbaru

d. Kombinasi pembebanan, kombinasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu,

ELM

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L
3. 1,2D + 1,0E + 1L
4. 0,9D + 1,0E

DAM

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L+N
3. 1,2D + 1,0E + 1L+N
4. 0,9D + 1,0E+N

B3. Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. berikut

Tabel 2. Simpangan Antar Tingkat Izin, Δ_a ^{a,b}

Struktur	Kategori Risiko (h_{sx})		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat tingkat.	0.025	0.020	0.015
Struktur dinding geser kantilrver batu bata	0.010	0.010	0.010
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0.007	0.007	0.007
Semua struktur lainnya	0.020	0.015	0.010

Sumber: (RSNI3 1726, 201X)

parameter penentuan simpangan antar tingkat berdasarkan RSNI3 1726 201X:

1. Faktor pembesaran defleksi (C_d)

Berdasarkan Tabel 1, sistem struktur yang digunakan adalah SPRMK dengan C_d adalah 5,5.

Tabel 1. Koefisien Modifikasi

Sistem Penahan – Gaya Gempa		R	C_d
Sistem Rangka Pemikul Momen			
a.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	5,5
b.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	5,5
c.	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	4
d.	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3
e.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	5,5
f.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	4,5
g.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	2,5

Sumber: (RSNI3 1726, 201X)

2. Faktor keutamaan gempa (I_e)

Berdasarkan SNI 1727 2013, kategori risiko bangunan tugas akhir ini difungsikan sebagai apartemen dimana termasuk pada kategori risiko II sehingga I_e (Faktor keutamaan gempa) adalah 1.

3. Simpangan antar tingkat izin (Δ_a)

Kategori risiko pada penelitian ini adalah kategorie risiko II. Berdasarkan Tabel 2 simpangan antar tingkat izin untuk semua struktur lainnya adalah 0,020 dan berdasarkan RSNI3 1726 201X Pasal 7.12.1.1 untuk kategori risiko dengan seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat tingkat (Δ) tidak boleh melebihi (Δ_a / ρ).

4. Faktor redundansi (ρ)

Berdasarkan Pasal 7.3.4.2 RSNI3 1726 201X untuk struktur yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan dengan kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3, jika tidak ρ diizinkan diambil sebesar 1,0.

Persamaan simpangan antar tingkat yang digunakan sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{(\delta \cdot C_d)}{I} \quad (1)$$

Persamaan simpangan antar tingkat izin yang digunakan sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{(0,020 h_{sx})}{\rho} \quad (2)$$

B4. Kinerja Struktur

B.4.1 Analisis Pushover

Menurut ATC 40 (1996) analisis *pushover* adalah suatu komponen desain yang menjadi sarana dalam mencari kapasitas dari struktur. Prosedur analisisnya akan menjelaskan bagaimana mengidentifikasi bagian-bagian dari bangunan yang akan mengalami kegagalan. Salah satu hasil akhir dari analisis ini ialah menampilkan secara visual elemen-elemen struktur yang mengalami kegagalan sehingga dapat dilakukan pencegahan pada elemen tersebut. Selain itu, analisis *pushover* juga menampilkan gaya geser dasar untuk menghasilkan nilai perpindahan dari struktur yang di teliti. Nilai tersebut akan digambarkan dalam bentuk kurva kapasitas yang merupakan gambaran perilaku struktur dalam bentuk perpindahan lateral.

B.4.2 Target Perpindahan

Pada penelitian ini digunakan Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM), metode ini terdapat dalam FEMA 273/356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C0, C1, C2 dan C3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δt) sebagai berikut:

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 \cdot g \quad (3)$$

Dengan:

δt = Target perpindahan

T_e = Waktu getar alami efektif

C0 = Koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektra menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C1 = Faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan respons elastik linier. Nilai C1=1,0 untuk $T_e \geq T_s$ dan

$$C_1 = \frac{[1 + (R - 1)^{\frac{T_s}{T_e}}]}{R} \text{ untuk } T_s < T_e$$

C2 = Koefisien untuk memperhitungkan efek *pinched hysteresis shape*, dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, nilainya berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

C2 = Faktor modifikasi untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P. Δ . untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca leleh bernilai positif maka C3 = 1,0 sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca leleh negatif

$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R - 1)^{3/2}}{T_e}$$

α = Rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif.

R = Rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.

$$R = \frac{S_a}{V_y / w} C_m$$

Sa = Akselerasi respon spektrum yang bekesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arak yang ditinjau.

Vy = Gaya geser dasar pada saat leleh.

W = Total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

Cm = Faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

g = Percepatan gravitasi 9,81 m/det².

FEMA 356 Point 3.3.3.2 menyatakan bahwa untuk menghindari apabila perilaku bangunan pasca keruntuhan melebihi kondisi rencana, maka dibuat analisis *pushover* dengan kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral titik kontrol dari 0% sampai 150 % dari target perpindahan. Tabel 3 merupakan batasan simpangan untuk berbagai level kinerja struktur berdasarkan sistem struktur rangka pemikul momen yang dinyatakan dalam FEMA 356.

Tabel 3. batasan simpangan untuk berbagai level kinerja struktur

Level kinerja struktur	Drift (%)	Keterangan
<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	0,7	<i>Transient</i>
<i>Life Safety (LS)</i>	2,5	<i>Transient</i>
	1,0	<i>Permanent</i>
<i>Collapse Prevention (CP)</i>	5,0	<i>Transient atau permanent</i>

Sumber: (FEMA 356,2000)

Menurut FEMA 356 kategori kriteria-kriteria struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. *Fully Operational (FO)*, kondisi pasca gempa yakni struktur tetap dapat beroperasi langsung setelah gempa terjadi. Hal ini terjadi karena elemen struktur utama tidak mengalami kerusakan sama sekali dan elemen non struktur hanya mengalami kerusakan sangat kecil.
2. *Immediate Occupancy (IO)*, kondisi pasca gempa dimana hanya sedikit kerusakan yang terjadi, komponen struktur penahan gravitasi maupun komponen struktur penahan lateral dapat mempertahankan karakteristik dan kapasitas seperti kondisi sebelum gempa terjadi.
3. *Life Safety (LS)*, kondisi dimana beberapa komponen utama struktur telah rusak dengan perbaikan yang tidak ekonomis lagi, keselamatan orang baik di dalam maupun di luar gedung terancam, namun ancaman tersebut tidak sampai membahayakan jiwa manusia.
4. *Collapse Prevention (CP)*, kondisi

dimana struktur telah mengalami kerusakan parsial ataupun total, kerusakan yang terjadi telah menyebabkan degradasi kekuatan dan kekakuan pada sistem penahan gaya lateral.

B5. Analisis Struktur

B.5.1 Direct Analysis Method

Pada SNI 1729 2015 *Direct Analysis Method* atau Metode Analisis Langsung disajikan pada Bab C tentang Desain untuk Stabilitas. Pada bagian Persyaratan Stabilitas Umum, stabilitas harus disediakan untuk struktur secara keseluruhan dan untuk setiap elemennya. Berikut adalah efek yang harus diperhitungkan terhadap stabilitas struktur dan elemen-elemennya.

1. Bentuk deformasi lain yang dapat mempengaruhi perilaku struktur adalah deformasi elemen akibat momen lentur dan gaya aksial atau gaya geser.
2. Dipengaruhi oleh $P-\Delta$ (global - struktur) atau $P-\delta$ (lokal - elemen).
3. Ketidaktepatan geometri dan reduksi kekakuan telah diperhitungkan selama proses analisis struktur.
4. Adanya ketidakpastian kekuatan dan kekakuan perencanaan.

Pada Pasal 2B SNI 1729 2015 untuk struktur yang menahan beban gravitasi terutama melalui kolom, dinding atau portal vertikal nominal, diizinkan menggunakan beban *notional* untuk mewakili efek ketidaktepatan awal yang sesuai dengan persyaratan dari Pasal tersebut. Beban *notional* harus digunakan sebagai beban lateral pada semua level. Beban *notional* harus ditambahkan ke beban lateral lainnya dan harus digunakan pada semua kombinasi beban. Beban *notional* diambil dari nilai kombinasi beban yang paling besar, yaitu beban mati dan beban hidup (Rafflesia, 2017). Adapun beban *notional* (SNI 1729 2015) adalah sebagai berikut:

$$N_i = 0,002 \cdot \alpha \cdot Y_i \quad (4)$$

Dengan:

$\alpha = 1,0$ (DFBK); $1,6$ (DKI)

N_i = Beban *notional* yang digunakan pada level i , kips (N)

Y_i = Beban gravitasi yang digunakan pada level i dari kombinasi beban DFBK atau kombinasi beban DKI, yang sesuai, kips (N).

B.5.2 Effective Length Method

Effective Length Method (ELM) merupakan metode yang memperhitungkan pengaruh portal keseluruhan melalui perilaku kolom secara individu. Untuk melakukan hal tersebut, nomogram *braced frame* dan *unbraced frame* diperlukan untuk memperoleh nilai faktor panjang efektif dari kolom secara individu. Penggunaan beban *notional* pada *Effective Length Method*, diperbolehkan tetapi hanya boleh dicantumkan pada kombinasi beban yang hanya merupakan beban gravitasi saja dan tidak untuk kombinasi beban yang mempunyai beban lateral (Febraja,2012). Pada penelitian ini beban *notional* ditambahkan pada analisis DAM saja, sedangkan analisis dengan ELM tidak menambahkan beban *notional*. Hal ini dikarenakan pada analisis ELM pemberian beban *notional* diperbolehkan namun bukan sebagai permodelan ketidaksempurnaan batang (AISC,2010).

C. METODOLOGI PENELITIAN

Pemodelan struktur mengacu pada SNI 1729 2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, RSNI3 1726 201X (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung), SNI 1727 2013 (Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur), FEMA 356 (*Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*), dan PPPURG 1987 (Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung). Pemodelan struktur dalam tiga dimensi dengan tinggi bangunan 10 lantai. Tinggi lantai dasar 4,5 m dan lantai 2-10

mempunyai tinggi yang sama (tipikal), yaitu 3,5 meter dan lebar arah x 4 m dan y 5 m. Profil baja yang digunakan yaitu,

1. Kolom: Profil IWF 478 x 447 x 60 x 60
2. Balok : Profil IWF 406 x 403 x 24 x 16

Sebelum melakukan pemodelan menggunakan *software* SAP2000, perlu diatur mengenai analisis yang digunakan. Analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah DAM dan ELM. Tahapan penggunaan analisis DAM dan ELM sebagai berikut:

1. Pada lembar kerja yang telah disiapkan pilih *Tool Design – Steel Frame Design – View/ Revise Preference*.
2. Mengubah *Design Code* menjadi AISC 360-10. Kemudian pilih *Analysis Method* menjadi *Direct Analysis Method* atau *Effective Length Method*. Selanjutnya tekan “ok” pada *Tool Revise Preference*.
3. Setelah mengubah *design code* pada *software* SAP2000, kemudian membuat pemodelan untuk keempat bangunan, yaitu metode DAM untuk beban gempa 2010 dan 2017, dan metode ELM untuk beban gempa 2010 dan 2017.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Simpangan Antar Lantai

Pada penelitian ini bangunan difungsikan sebagai apartemen dengan kategori risiko II dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,0. Pemeriksaan simpangan antar tingkat izin dilakukan pada metode DAM dan ELM untuk kondisi tanah lunak diberikan contoh sebagai berikut:

$$\Delta_{atap} = \frac{(8.C_d)}{1} = \frac{0,0018 \times 5,5}{1} = 0,0100 \text{ m}$$

$$\Delta_{10} = \frac{0,0023 \times 5,5}{1} = 0,0125 \text{ m}$$

Maka, nilai simpangan antar lantai

(Δ) adalah 0,0080 m

$$\Delta = \frac{(0,020 h_{sx})}{\rho}$$

$$\Delta = \frac{(0,020 \times 3,5)}{1,3}$$

$$0,0080 \text{ m} \leq 0,0538 \text{ m}$$

Pada Tabel 4 sampai dengan tabel 7 terlihat bahwa simpangan antar tingkat untuk metode DAM dan ELM dengan beban peta gempa 2010 dan 2017 telah memenuhi persyaratan, yaitu nilai simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi $\frac{\Delta_g}{P}$.

Tabel 4. Simpangan antar tingkat untuk DAM Peta Gempa 2010

Lantai ke- Simpangan antar tingkat izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar tingkat		Memenuhi Ya/Tidak	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)	0,0018	0,0023	0,0100	0,0125	0,0080	0,0070	Ya	Ya
9	0,0033	0,0035	0,0181	0,0195	0,0082	0,0078	Ya	Ya
8	0,0048	0,0050	0,0263	0,0272	0,0075	0,0073	Ya	Ya
7	0,0061	0,0063	0,0338	0,0346	0,0067	0,0066	Ya	Ya
6	0,0074	0,0075	0,0405	0,0412	0,0059	0,0056	Ya	Ya
5	0,0084	0,0085	0,0464	0,0468	0,0051	0,0045	Ya	Ya
4	0,0094	0,0093	0,0515	0,0513	0,0042	0,0026	Ya	Ya
3	0,0101	0,0098	0,0557	0,0539	0,0035	0,0014	Ya	Ya
2	0,0108	0,0095	0,0592	0,0524	0,0102	0,0088	Ya	Ya
1	0,0692	0,0126	0,0079	0,0694	0,0436	0,0436	Tidak	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0	0	0		

Tabel 5. Simpangan antar tingkat untuk DAM Peta Gempa 2017

Lantai ke- Simpangan antar tingkat izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar tingkat		Memenuhi Ya/Tidak	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)	0,0017	0,0021	0,0092	0,0114	0,0074	0,0064	Ya	Ya
9	0,0030	0,0032	0,0165	0,0178	0,0075	0,0072	Ya	Ya
8	0,0044	0,0045	0,0241	0,0250	0,0069	0,0068	Ya	Ya
7	0,0056	0,0058	0,0310	0,0318	0,0062	0,0061	Ya	Ya
6	0,0068	0,0069	0,0373	0,0379	0,0055	0,0052	Ya	Ya
5	0,0078	0,0078	0,0427	0,0431	0,0047	0,0041	Ya	Ya
4	0,0086	0,0086	0,0474	0,0471	0,0038	0,0023	Ya	Ya
3	0,0093	0,0090	0,0512	0,0494	0,0031	0,0014	Ya	Ya
2	0,0099	0,0087	0,0543	0,0480	0,0092	0,0081	Ya	Ya
1	0,0692	0,0115	0,0072	0,0635	0,0399	0,0399	Ya	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0	0	0		

Tabel 6. Simpangan antar tingkat metode ELM Peta Gempa 2010

Lantai ke- Simpangan antar tingkat izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar tingkat		Memenuhi Ya/Tidak	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)	0,0016	0,0020	0,0090	0,0112	0,0073	0,0063	Ya	Ya
9	0,0030	0,0032	0,0163	0,0176	0,0075	0,0071	Ya	Ya
8	0,0043	0,0045	0,0238	0,0246	0,0068	0,0067	Ya	Ya
7	0,0056	0,0057	0,0306	0,0313	0,0061	0,0060	Ya	Ya
6	0,0067	0,0068	0,0368	0,0373	0,0054	0,0051	Ya	Ya
5	0,0077	0,0077	0,0422	0,0425	0,0046	0,0040	Ya	Ya
4	0,0085	0,0085	0,0468	0,0465	0,0037	0,0022	Ya	Ya
3	0,0092	0,0089	0,0505	0,0487	0,0030	0,0015	Ya	Ya
2	0,0097	0,0086	0,0535	0,0472	0,0085	0,0081	Ya	Ya
1	0,0692	0,0113	0,0071	0,0620	0,0391	0,0391	Ya	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0	0	0		

Tabel 7. Simpangan antar tingkat metode ELM Peta Gempa 2017

Lantai ke- Simpangan antar tingkat izin	Displacement (m)		Displacement yang telah diperbesar		Simpangan antar tingkat		Memenuhi Ya/Tidak	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10(Atap)	0,062013	0,057784	0,3411	0,3178	0,0083	0,0103	Ya	Ya
9	0,060509	0,055914	0,3328	0,3075	0,0149	0,0161	Ya	Ya
8	0,057793	0,052985	0,3179	0,2914	0,0218	0,0226	Ya	Ya
7	0,053828	0,048873	0,2961	0,2688	0,0281	0,0288	Ya	Ya
6	0,048711	0,043636	0,2679	0,2400	0,0338	0,0344	Ya	Ya
5	0,04256	0,03739	0,2341	0,2056	0,0388	0,0391	Ya	Ya
4	0,035503	0,030286	0,1953	0,1666	0,0430	0,0427	Ya	Ya
3	0,027678	0,022517	0,1522	0,1238	0,0464	0,0447	Ya	Ya
2	0,01924	0,014388	0,1058	0,0791	0,0491	0,0433	Ya	Ya
1	0,01032	0,006515	0,0568	0,0358	0,0568	0,0358	Ya	Ya
Lantai dasar	0	0	0	0	0	0		

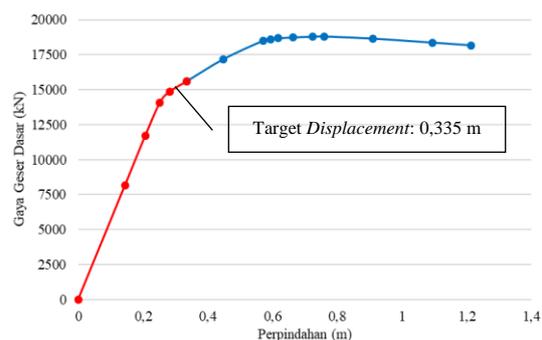
D.2 Analisis Statis Nonlinier (Pushover)

Pada penelitian ini hasil yang diperoleh yaitu perpindahan (m), gaya geser dasar (kN) dan selisih antara perpindahan dan gaya geser dasar pada tiap beban gempa yang diterima yang di cantumkan pada Tabel 8.. Peta gempa 2010 dan 2017 memiliki nilai perpindahan dan gaya geser yang sama untuk metode DAM dan ELM.

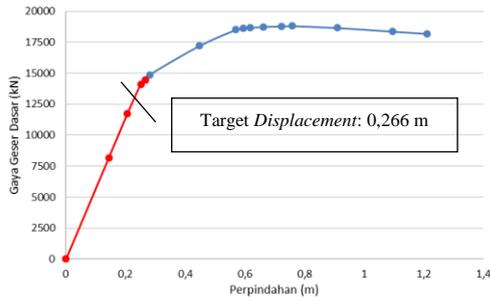
Tabel 8. Kurva Kapasitas untuk Metode DAM dan ELM pada Peta Gempa 2010 dan 2017

Langkah	Peta gempa 2010		Peta gempa 2017	
	Perpindahan (m)	Gaya Geser Dasar (kN)	Perpindahan (m)	Gaya Geser Dasar (kN)
0	0	0	0	0
1	0,1440	8173,6	0,1440	8173,6
2	0,2067	11730,4	0,2067	11730,4
3	0,2516	14089,6	0,2516	14089,6
4	0,2816	14863,9	0,2660	14454,8
5	0,3350	15611,5	0,2816	14863,9
6	0,4481	17191,7	0,4481	17191,7
7	0,5702	18497,5	0,5702	18497,5
8	0,5940	18621,2	0,5940	18621,2
9	0,6178	18674,3	0,6178	18674,3
10	0,6629	18736,8	0,6629	18736,8
11	0,7242	18786,9	0,7242	18786,9
12	0,7585	18804,0	0,7585	18804,0
13	0,9109	18649,7	0,9109	18649,7
14	1,0948	18366,2	1,0948	18366,2
15	1,2122	18175,0	1,2122	18175,0

Pada metode DAM dan ELM target perpindahan berada pada langkah 5 untuk beban gempa 2010 dan pada langkah 4 untuk beban gempa 2017, selisih (%) dari target perpindahan sebesar 5,87% dan 18,95% dan gaya geser dasar sebesar 2,83% dan 5,03%.



(a) Peta Gempa 2010



(b) Peta Gempa 2017

Gambar 2. Kurva Kapasitas Metode DAM dan ELM

Tabel 8 dan Gambar 2 menunjukkan kurva kapasitas pada struktur yang direncanakan. Pada saat perpindahan mencapai 0,1440 m dan gaya geser 8173,644 kN kondisi struktur masih bersifat *elastis* kemudian perpindahan sampai pada 1,212 m dan gaya geser 18175,041 kN sudah bersifat *in-elastis*. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa target perpindahan untuk peta gempa 2010 sebesar 0,335 m dan 2017 sebesar 0,266 m.

D.2.1 Level Kinerja

Nilai level kinerja pada penelitian ini ditentukan berdasarkan target perpindahan FEMA 356 menggunakan Persamaan 3 dengan batas yang telah disyaratkan pada Tabel 3 yang ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Perhitungan *Drift Ratio* Berdasarkan Perpindahan Titik Kontrol pada Saat Target Perpindahan Tercapai

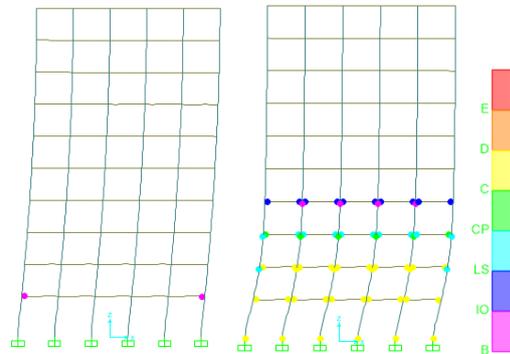
Metode	Peta gempa	Tinggi struktur (m)	Target perpindahan	Roof drift ratio (%)	Level kinerja
DAM	2010	36	0,3376	0,5064	IO
	2017		0,2660	0,3990	IO
ELM	2010		0,3376	0,5064	IO
	2017		0,2660	0,3990	IO

Berdasarkan hasil perhitungan dan kriteria dari Tabel 3, diperoleh nilai *roof drift ratio* lebih kecil dari 0,7 %. *Roof drift ratio* diperoleh dari 150% dari target perpindahan, maka kinerja gedung termasuk pada level *Immediate Occupancy*. Level *Immediate Occupancy* adalah level dimana hanya sedikit kerusakan yang terjadi, komponen struktur penahan gravitasi maupun komponen struktur penahan lateral dapat mempertahankan karakteristik dan kapasitas seperti kondisi sebelum gempa

terjadi.

D.2.2 Distribusi Sendi Plastis

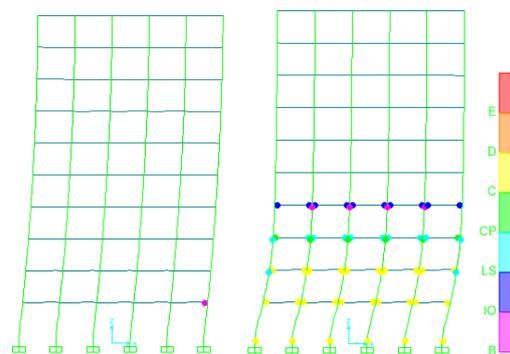
Berikut pendistribusian sendi plastis pada struktur yang terjadi saat muncul sendi plastis yang disimbolkan dengan warna-warni pada langkah awal dan akhir.



(a) Sendi Plastis Langkah 2 (b) Sendi Plastis Langkah 15

Gambar 3. Distribusi Sendi Plastis Peta Gempa 2010

Pada beban gempa 2010 pelepasan sendi plastis pertama kali terjadi pada balok langkah 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3(a). Pada langkah ini besar perpindahan adalah sebesar 0,144 m dan gaya geser 8173,6 kN. Pada langkah 15 adalah batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung. Pada langkah ke-15 perpindahan bernilai 1,2122 m dengan gaya geser 18175 kN, sendi plastis pada balok lantai dasar muncul dengan level C yang ditandai dengan warna kuning.



(a) Sendi Plastis Langkah 2 (b) Sendi Plastis Langkah 15

Gambar 4. Distribusi Sendi Plastis Peta Gempa 2017

Pada beban gempa 2017 pelepasan sendi plastis pertama kali terjadi pada balok langkah 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(a). Pada langkah ini besar perpindahan adalah sebesar 0,144 m dan

gaya geser 8173,6 kN. Pada langkah 14 adalah batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung. Pada langkah ke-15 perpindahan bernilai 1,2122 m dengan gaya geser 18175 kN, sendi plastis pada balok lantai dasar muncul dengan level C yang ditandai dengan warna kuning.

D.3 Gaya-Gaya Dalam Struktur

Peraturan pembebanan yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan

pada SNI 1727 2013 dan beban gempa berdasarkan RSNI3 1726 201X. Sistem struktur bisa saja dibebani dengan beban-beban gaya yang sangat kompleks dan terdiri dari jenis-jenis gaya yang berbeda. Pada Tabel 10 sampai dengan Tabel 11 ditampilkan gaya dasar, yaitu gaya aksial dan gaya geser dan *stress ratio* dari momen maksimum tiap lantai.

Tabel 10. Momen Maksimum Pada Tiap Lantai DAM untuk Gempa 2010

Lantai	Kolom					Balok				
	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya aksial (kNm)	<i>Stress ratio</i>	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya geser (kNm)	<i>Stress ratio</i>
Lantai dasar	790	6	604,25	1364,24	0,430					
1	791	6	387,85	1231,91	0,414	413	3	382,89	134,29	0,423
2	792	6	344,47	1500,69	0,406	427	6	366,90	95,07	0,404
3	793	6	337,03	1290,63	0,399	436	6	359,11	90,50	0,395
4	794	6	316,27	1082,56	0,392	735	6	335,70	80,20	0,370
5	795	6	288,45	876,98	0,386	744	6	304,32	67,03	0,335
6	796	6	254,80	674,52	0,380	753	6	266,99	51,77	0,294
7	797	6	215,12	475,97	0,375	762	6	223,92	34,49	0,247
8	798	6	162,37	282,39	0,371	324	6	175,69	13,23	0,193
9	584	6	113,25	135,11	0,063	779	6	126,45	7,99	0,139
10(Atap)						404	6	66,48	4,44	0,074

Dari hasil di atas momen maksimum pada kolom sebesar 604,25 kNm di lantai dasar member 790 kombinasi 6 dengan gaya aksial 1364,24 dan *stress ratio* 0,430. Momen maksimum pada balok sebesar 382,89 kNm di lantai 1 pada member 413 kombinasi 3 dengan gaya geser 134,29 dan *stress ratio* 0,423.

Tabel 11. Momen Maksimum Pada Tiap Lantai DAM untuk Gempa 2017

Lantai	Kolom					Balok				
	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya aksial (kNm)	<i>Stress ratio</i>	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya geser (kNm)	<i>Stress ratio</i>
Lantai dasar	800	6	544,55	1945,22	0,420809	406	2			
1	791	6	355,85	1253,12	0,412662	413	3	352,77	120,18	0,389
2	792	6	315,93	1482,65	0,405084	427	3	339,09	84,16	0,373
3	793	6	309,65	1275,53	0,398024	436	6	332,46	80,04	0,366
4	794	6	290,80	1070,28	0,391482	735	6	311,14	70,57	0,342
5	795	6	264,93	867,40	0,385458	744	6	282,05	58,30	0,310
6	796	6	233,25	667,53	0,379959	753	6	247,17	44,00	0,272
7	797	6	196,00	471,38	0,374997	762	6	207,02	27,87	0,228
8	798	6	147,01	279,86	0,370582	324	6	162,72	8,16	0,179
9	534	4	102,15	116,50	0,057613	364	6	117,09	9,83	0,129
10(Atap)						404	6	61,48	2,53	0,068

Dari hasil di atas momen maksimum pada kolom sebesar 544,55 kNm di lantai dasar member 800 kombinasi 6 dengan gaya aksial 1945,22 dan *stress ratio* 0,420. Momen maksimum pada balok sebesar 352,77 kNm di lantai 2 pada member 413 kombinasi 3 dengan gaya geser 120,18 dan *stress ratio* 0,389.

Tabel 12. Momen Maksimum Pada Tiap Lantai ELM untuk Gempa 2010

Lantai	Kolom					Balok				
	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya aksial (kNm)	Stress ratio	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya geser (kNm)	Stress ratio
Lantai dasar	790	4	595,71	1350,62	0,430	406	1			
1	791	4	382,87	1220,94	0,414	413	3	371,7731	139,494	0,410
2	792	4	340,04	1492,04	0,406	425	4	362,5842	163,772	0,399
3	793	4	332,96	1284,02	0,399	434	4	355,1256	160,77	0,391
4	794	4	312,69	1077,72	0,392	443	4	332,2376	151,793	0,366
5	795	4	285,38	873,62	0,386	742	4	301,4056	139,684	0,332
6	796	4	252,27	672,37	0,380	751	4	264,6402	125,248	0,291
7	797	4	213,15	474,76	0,375	760	4	222,1374	108,569	0,245
8	798	4	160,98	281,83	0,371	770	4	174,4377	13,72	0,192
9	534	4	112,36	134,89	0,062	779	4	125,553	71,426	0,138
10(Atap)						404	4	66,0984	4,58	0,073

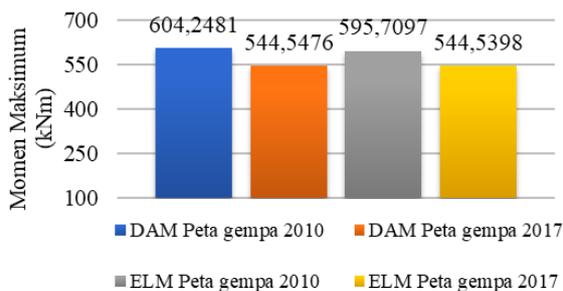
Dari hasil di atas momen maksimum pada kolom sebesar 595,71 kNm di lantai dasar member 790 kombinasi 4 dengan gaya aksial 1350,62 dan *stress ratio* 0,430. Momen maksimum pada balok sebesar 371,7731 kNm di lantai 2 pada member 413 kombinasi 3 dengan gaya geser 139,494 dan *stress ratio* 0,410.

Tabel 13. Momen Maksimum Pada Tiap Lantai ELM untuk Gempa 2017

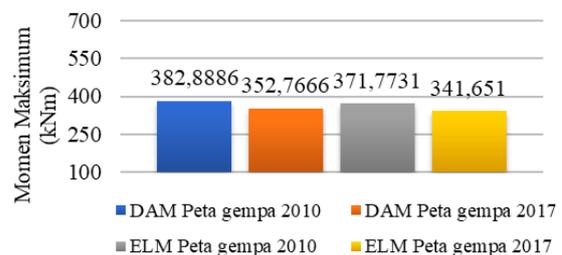
Lantai	Kolom					Balok				
	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya aksial (kNm)	Stress ratio	Member	Komb. beban	Momen (kNm)	Gaya geser (kNm)	Stress ratio
Lantai dasar	800	4	544,54	1919,95	0,420	406	1			
1	791	4	350,87	1242,15	0,412	413	3	341,65	125,38	0,377
2	792	4	311,50	1474,00	0,405	425	4	334,78	152,86	0,368
3	793	4	305,59	1268,93	0,398	434	4	328,48	150,32	0,362
4	794	4	287,22	1065,43	0,391	443	4	307,67	142,16	0,339
5	795	4	261,88	678,36	0,385	742	4	279,14	130,95	0,307
6	796	4	230,72	665,38	0,380	751	4	244,83	117,49	0,270
7	797	4	194,01	470,17	0,375	760	4	205,24	101,95	0,226
8	798	4	145,60	279,31	0,371	324	4	161,47	8,64	0,178
9	534	4	102,15	116,23	0,057	364	4	116,35	9,54	0,128
10(Atap)						404	4	61,10	2,68	0,068

Dari hasil di atas momen maksimum pada kolom sebesar 544,54 kNm di lantai dasar member 800 kombinasi 4 dengan gaya aksial 1919,95 dan *stress ratio* 0,420. Momen maksimum pada balok sebesar 341,65 kNm di lantai 2 pada member 413 kombinasi 3 dengan gaya geser 125,38 dan *stress ratio* 0,377.

Berikut grafik hasil rekapitulasi gaya aksial, gaya geser dan *stress ratio* terhadap momen maksimum tiap lantai.



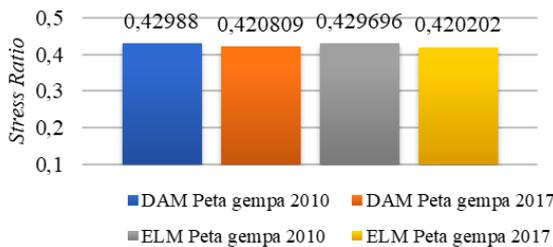
(a) Momen Maksimum pada Kolom



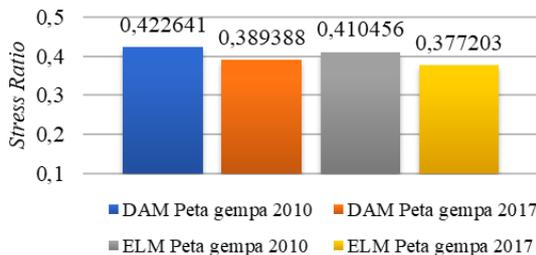
(b) Momen Maksimum pada Balok

Gambar 5. Perbandingan Momen Maksimum
 Dari hasil analisis struktur balok dan kolom tiap lantai didapatkan dalam momen dari metode DAM lebih besar dari gaya salam metode ELM. Hal ini disebabkan pada

metode DAM terdapat beban *notional* (N_i). Beban *notional* menurut SNI 1729 2015 Pasal C2.2b untuk struktur yang menahan beban gravitasi terutama melalui kolom, dinding atau portal vertikal nominal, diizinkan menggunakan beban *notional* untuk mewakili efek ketidaksempurnaan awal.



(a) *Stress Ratio* Maksimum pada Kolom



(b) *Stress Ratio* Maksimum pada Balok

Gambar 6. Perbandingan Nilai *Stress Ratio*

Berdasarkan grafik di atas nilai *stress ratio* pada balok dan kolom untuk metode DAM lebih besar dibandingkan nilai *stress ratio* yang didapat dari metode ELM. Hal ini disebabkan karena gaya dalam pada DAM lebih besar dibandingkan gaya dalam dari metode ELM. Nilai *stress ratio* pada *software* SAP2000 berdasarkan pada nilai momen dan kapasitas struktur, dimana data struktur yang digunakan adalah sama. Namun, momen pada tiap metode nilainya berbeda.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1 KESIMPULAN

1. Simpangan antar tingkat pada metode DAM dan ELM memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh RSNI 1726 201X dimana simpangan antar tingkat yang dihasilkan oleh struktur harus lebih kecil dari simpangan antar tingkat izin. Nilai simpangan antar tingkat terbesar pada

penelitian ini, yaitu sebesar 0,0176 m pada metode DAM peta gempa 2010.

2. Level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode Koefisien Perpindahan FEMA 356 diperoleh nilai maksimum *roof drift ratio* (%) untuk metode DAM dan ELM untuk beban peta gempa 2010 dan 2017 dibawah 0,7%. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan pada penelitian ini berada pada level *Immediate Occupancy* dengan *roof drift ratio* maksimum 0,7%.
3. Momen maksimum pada kolom dan balok terhadap metode yang digunakan adalah pada metode DAM. Pada metode DAM momen terbesar berada pada kolom sebesar 604,2481 kN dan metode ELM sebesar 595,7097 kN. Hal ini disebabkan pada metode DAM terdapat beban *notional* (N_i) berdasarkan SNI 1729 2015 Pasal C2.2b.
4. Momen maksimum kolom dan balok terhadap beban peta gempa adalah pada peta gempa 2010. Hal ini disebabkan pada peta gempa 2017 percepatan tanah dasar S_1 sebesar 0,299 dan S_s sebesar 0,236, sedangkan pada peta gempa 2010 S_1 sebesar 0,441 dan S_s sebesar 0,274. Peta gempa 2017 mengalami penurunan sebesar S_1 (g) 32% dan S_s (g) 13%.
5. Nilai *stress ratio* pada balok dan kolom untuk metode DAM lebih besar dibandingkan nilai *stress ratio* yang didapat dari metode ELM. Hal ini disebabkan karena gaya dalam pada DAM lebih besar dibandingkan gaya dalam dari metode ELM.

E.2 SARAN

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah variasi kondisi tanah lainnya yaitu batuan, tanah keras dan tanah sedang untuk melakukan analisis serupa.
2. Menambah variasi model dengan jumlah tingkat yang lebih banyak dan berbeda tiap model.

F. DAFTAR PUSTAKA

- American Institute Of Steel Construction. (2010). AISC 2010. Specification for Structural Steel Buildings.
- Applied Technology Council. (1996). ATC-40. Seismic Evaluation and Retrofit on Concrete Buildings Volume 1.
- Badan Standarisasi Nasional. (201X). RSNI3 1726 201X. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). SNI 1729 2015. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 1727 2013, *Beban Minimum untuk Perancangan Struktur Bangunan Gedung dan Struktur Lain*
- FEMA. (2000). FEMA 356. *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*.
- Indriana, R. (2008). Analisis Sudut Kemiringan Lempeng Subduksi di Selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur Berdasarkan Anomali Gravitasi dan Implikasi Tektonik Vulkanik, *Berkala Fisika*, 11, 1-8.
- Mutafa, B. (2010). Analisis Gempa Nias dan Gempa Sumatera Barat dan Kesamaannya yang Tidak Menimbulkan Tsunami, *Jurnal Ilmu Fisika*, 2, 1-7.
- PPPURG. (1987). PPPURG 1987, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*.
- Prayudi, T. (2005). Dampak Industri Peleburan Logam Fe Terhadap Pencemaran Debu di Udara, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2, 1-6.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2010). Peta Hazard Gempa Indonesia 2010.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017.
- Rafflesia, E. (2017). Studi Perbandingan *Stress Ratio* dengan ELM (*Effective Length Method*) Dan DAM (*Direct Analysis Method*) Bangunan Workshop Pada Proyek di Cirebon, PROSIDING SEMNASTEK, 1-6.
- Wiryanto, D. (2005). *Menyongsong Era Bangunan Tinggi dan Bentang Panjang*, Dipetik Agustus 15, 2019, dari umpalankaraya.ac.id.