

PERILAKU STRUKTUR BAJA TIPE MRF DENGAN BEBAN LATERAL BERDASARKAN SNI 1726-2012 DAN METODE *PERFORMANCE BASED PLASTIC DESIGN (PBPD)*

Nidiasari, Jati Sunaryati, Eem Ikhsan
Staff Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil
Universitas Andalas Kampus Limau Manis
email: nidia@ft.unand.ac.id, nidiasari@gmail.com

Abstact: Moment Resisting Frames (MRF) is a popular seismic resistant steel structures. It has high ductility, so it can withstand large inelastic deformations. The use of elastic design methods in the evaluation of non-linear static (Pushover analysis) and non-linear analysis (Time History Analysis) is still allowed even though the actual behavior of the structure in inelastic conditions cannot be described well. Performance-Based Plastic Design (PBPD) method evolved to study the behavior of the actual structure by setting the target drift and yield mechanisms of the structure so that the base shear used was equal to the effort to push the structure up to the target drift. Studies conducted on the 5 story steel structure design by SNI 1726: 2012 and PBPD methods. The analysis shows that the structure is given by the PBPD method reached the target drift and its performance is better than seismic design based on SNI 1726: 2012.

Keywords: Moment Resisting Frame, Performance-Based Plastic Design

Abstrak: Struktur rangka baja pemikul momen merupakan jenis struktur baja tahan gempa yang populer digunakan. Daktilitas struktur yang tinggi merupakan salah satu keunggulan struktur ini, sehingga mampu menahan deformasi inelastik yang besar. Dalam desain, penggunaan metode desain elastis berupa evaluasi *non-linear static (Pushover analysis)* maupun evaluasi non-linear analisis (*Time History Analysis*) masih digunakan sebagai dasar perencanaan meskipun perilaku struktur sebenarnya saat kondisi inelastik tidak dapat digambarkan dengan baik. Metode *Performance-Based Plastic Design (PBPD)* berkembang untuk melihat perilaku struktur sebenarnya dengan cara menetapkan terlebih dahulu simpangan dan mekanisme leleh struktur sehingga gaya geser dasar yang digunakan adalah sama dengan usaha yang dibutuhkan untuk mendorong struktur hingga tercapai simpangan yang telah direncanakan. Studi dilakukan terhadap struktur baja 5 lantai yang diberi beban gempa berdasarkan SNI 1726, 2012 dan berdasarkan metode PBPD. Hasil analisa menunjukkan bahwa struktur yang diberi gaya gempa berdasarkan metode PBPD mencapai simpangan maksimum sesuai simpangan rencana dan kinerja struktur yang dihasilkan lebih baik.

Kata kunci: Struktur rangka baja pemikul momen, *Performance-Based Plastic Design*

PENDAHULUAN

Struktur rangka baja tahan gempa didesain harus mampu menahan deformasi inelastik yang besar ketika diberi beban gempa. Peraturan yang berlaku masih mengizinkan penggunaan metode desain elastis berupa evaluasi *non-linear static (Pushover analysis)* maupun evaluasi *non-linear analisis (Time History Analysis)* sebagai dasar perencanaan. Metode elastis yang digunakan dalam desain menyebabkan perilaku pada struktur sebenarnya tidak dapat diprediksi dengan baik. Leelataviwat (1998) mengembangkan metode plastis berdasarkan konsep keseimbangan

energi, Goel dkk. (2001) mengembangkan metode ini menjadi *Performance-based Plastic Design (PBPD)* yang dapat lebih akurat memprediksi *drift* (simpangan) struktur sehingga kerusakan bisa dikontrol untuk mendapatkan performa struktur yang lebih baik.

MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi untuk mengetahui kinerja struktur baja pemikul momen jika diberi gaya lateral yang didesain berdasarkan *Performance-based Plastic Design*.

STUDI LITERATUR

Moment Resisting Frame (MRF)

Moment resisting frame (MRF) merupakan sistem struktur rangka baja yang paling banyak digunakan pada konstruksi baja tahan gempa. Sistem struktur ini merupakan sistem struktur portal yang paling sederhana terdiri dari elemen balok dan kolom yang terhubung kaku. Tahanan gaya lateral diperoleh dari momen lentur dan gaya geser yang bekerja pada sistem portal dan sambungan. Keunggulan sistem MRF dibandingkan sistem struktur rangka dengan pengaku yaitu memiliki daktilitas yang tinggi sehingga memiliki kemampuan penyerapan energi gempa yang baik. Daktilitas yang tinggi menyebabkan deformasi yang terjadi juga besar sehingga kekakuan struktur kecil. Oleh karena itu ukuran elemen stuktur pada sistem MRF lebih besar dibandingkan sistem struktur rangka baja dengan pengaku. Untuk mendapatkan desain yang baik dengan dimensi struktur yang tepat maka deformasi dan daktilitas struktur perlu dibatasi.

Balok dan kolom merupakan komponen utama pada sistem MRF. Struktur akan leleh pada lokasi yang menerima deformasi inelastik yang besar. Leleh yang terjadi pada kolom harus dihindari karena dapat menyebabkan kegagalan pada struktur. Oleh karena itu struktur MRF didesain dengan konsep kolom kuat-balok lemah untuk memaksa sendi plastis terjadi di balok. Namun jika struktur direncanakan dengan metode desain elastis maka konsep desain kolom kuat-balok lemah ini tidak menjamin sendi plastis tidak terjadi di kolom

jika terjadi gempa kuat. Kolom leleh disebabkan metode desain elastis tidak akurat menggambarkan distribusi gaya lateral pada kondisi inelastik.

Performance-based Plastic Design

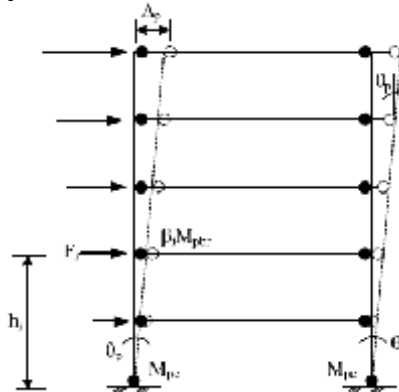
Metode *Performance-based plastic design (PBPD)* merupakan konsep desain yang memperhitungkan perilaku inelastik struktur dengan sedikit atau tanpa iterasi pada saat desain awal dilakukan. Metode desain ini merupakan aplikasi dari konsep keseimbangan energi dengan menetapkan terlebih dahulu mekanisme leleh rencana sehingga diperoleh performa struktur sesuai yang direncanakan ketika menerima gempa kuat.

Distribusi dan tingkat kerusakan struktur tergantung pada desain gaya geser dasar (*base shear*) agar simpangan dan mekanisme leleh yang direncanakan tercapai (Gambar 1).

Desain gaya geser dasar pada metode konvensional (metode elastis) dihitung dengan mereduksi kekuatan elastik terhadap kekuatan inelastik dengan suatu faktor modifikasi respon.

$$V = C_s W = S_{DS} \left(\frac{1}{R} \right) W \quad (1)$$

dimana C_s = koefisien respon gempa, S_{DS} = percepatan spektrum desain, I = faktor keutamaan gempa, R = faktor modifikasi respon dan W = berat seismik efektif. Setelah dimensi struktur diperoleh, simpangan yang diperoleh dikalikan dengan nilai faktor amplifikasi defleksi (C_d)



Gambar 1. Mekanisme leleh (Liao,2010).

Gaya geser dasar metode PBPD diperoleh dengan dasar konsep keseimbangan energi yaitu berdasarkan asumsi energi yang dibutuhkan untuk mendorong struktur secara monotonik hingga tercapai deformasi maksimum yang direncanakan sama dengan besarnya energi gempa elastik-plastik pada sistem SDOF dengan asumsi hubungan ini tepat diterapkan pada sistim MDOF. Leelataviwat (1998) dan Lee dan Goel (2001) mengembangkan konsep keseimbangan energi sebagai dasar dalam desain struktur yang diberi beban monotonik hingga tercapai simpangan maksimum dan mekanisme leleh yang direncanakan. Besarnya kerja luar yang dibutuhkan diasumsikan sebesar γ kali energi input elastik, E . Nilai faktor modifikasi γ tergantung perioda struktur yang dipengaruhi oleh besarnya energi gempa.

$$E = \frac{1}{2}MS_v^2 \quad (2)$$

$$\gamma E = E_e + E_p \quad (3)$$

M adalah massa total struktur, S_v adalah pseudo-velocity, γ adalah faktor modifikasi

tergantung faktor daktilitas struktur (μ_s) dan faktor reduksi daktilitas (R_μ).

Berdasarkan gambar 2 (hubungan CW dan Δ) maka persamaan 2 dapat dituliskan sebagai :

$$\gamma \left(\frac{1}{2} C_{eu} W \Delta_{eu} \right) = \frac{1}{2} C_y W (2\Delta_{max} - y) \quad (4)$$

$$\gamma \frac{\Delta_e}{\Delta_y} = \frac{(2\Delta_{max} - \Delta_y)}{\Delta_e} \quad (5)$$

Jika :

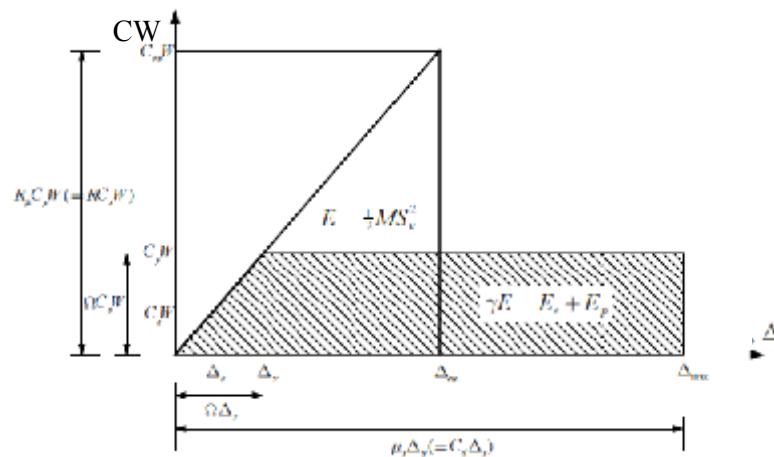
$$\Delta_e = R_\mu \Delta_y \quad (6)$$

$$\Delta_{max} = \mu_s \Delta_y \quad (7)$$

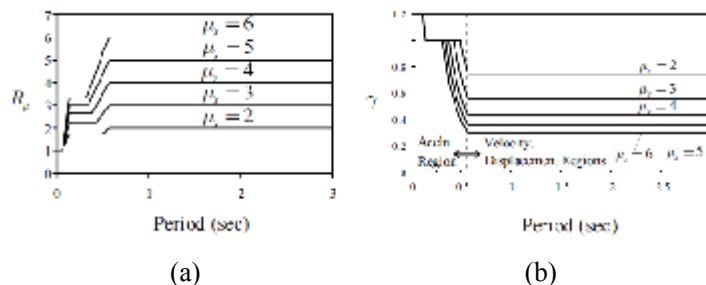
Maka diperoleh persamaan faktor modifikasi energi :

$$\gamma = \frac{2\mu_s - 1}{R_\mu^2} \quad (8)$$

Nilai R_μ merupakan faktor reduksi daktilitas yang diperoleh berdasarkan nilai μ_s . Gambar 3 merupakan grafik yang digunakan untuk mendapatkan nilai R_μ dan γ yang diambil dari penelitian Chao dan Goel (2005).



Gambar 2. Idealisasi respon struktur dan metode keseimbangan energi (Chao dan Goel, 2005).



Gambar 3. (a). Faktor reduksi daktilitas oleh Newmark dan Hall (1982), (b). Faktor modifikasi energi. (Chao dan Goel, 2005).

Persamaan gaya geser dasar (V) dihitung dengan persamaan:

$$\frac{V}{W} = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\gamma S_{DS}^2}}{2} \quad (9)$$

α adalah parameter non-dimensi yang nilainya tergantung kekakuan struktur, modal properties dan simpangan

$$\alpha = \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{i+1}) h_i \right) \cdot \left(\frac{w_n h_n}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \right)^{0.75T-0.2} \cdot \left(\frac{0.01n^2}{T^2 g} \right) \quad (10)$$

ketika $i = n$, $\beta_{n+1} = 0$; w_i dan w_j merupakan berat struktur pada lantai ke- i dan j ; h_i dan h_j adalah tinggi lantai ke- i dan j ; w_n = berat struktur paling atas dan h_n = adalah tinggi total struktur dihitung dari permukaan tanah, T = perioda struktur.

Distribusi gaya lateral yang direkomendasikan pada metode PBPD berdasarkan distribusi gaya geser maksimum terhadap respon dinamik sehingga diperoleh nilai gaya geser lantai yang lebih realistis dan seragam terhadap tinggi struktur. Agar diperoleh gaya lateral yang mendekati respon inelastik maka digunakan persamaan :

$$F_i = (\beta_i - \beta_{i+1}) \cdot \left(\frac{w_n h_n}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \right)^{0.75T-0.2} \cdot V \quad (11)$$

Analisa Pushover

Analisa *pushover* menerapkan prinsip analisa plastis dimana struktur diberi beban lateral yang terus bertambah hingga perpindahan yang ditargetkan tercapai. Seperti namanya, struktur benar benar didorong (*push*) untuk mendapatkan tahanan beban lateral yang diikuti oleh leleh secara bertahap hingga terjadi deformasi plastis .

Analisis statik nonlinear *Pushover* merupakan analisis yang dilakukan untuk menggambarkan perilaku keruntuhan dan kapasitas dari suatu struktur secara keseluruhan, mulai dari kondisi elastis, plastis, hingga elemen-elemen struktur mengalami keruntuhan akibat gempa. Dengan kata lain, analisis *pushover* digunakan sebagai sarana untuk memperlihatkan kondisi/ respon inelastis (*nonlinier*) suatu bangunan saat mengalami gempa.

Analisis ini dilakukan dengan cara memberikan pola beban lateral statik pada struktur yang ni-

lainya terus ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target perpindahan (*displacement*) dari suatu titik acuan. Pada analisis ini yang menjadi acuan adalah titik pada lantai atap dan besarnya deformasi maksimum yang boleh terjadi pada struktur ditetapkan terlebih dahulu oleh perencana.

Dalam analisis *pushover*, struktur dikenai beban lateral statik hingga mengalami leleh di satu atau lebih lokasi pada elemen struktur. Urutan terjadinya leleh ini merupakan urutan terjadinya sendi plastis pada struktur.

Dari urutan terjadinya sendi plastis ini dapat diketahui lokasi pada elemen struktur yang mengalami keruntuhan terlebih dahulu. Sendi plastis terus berlangsung dan bermunculan hingga batas deformasi pada struktur tercapai.

Desain struktur berdasarkan SNI 1726:2012 dan PBPD

Analisa struktur dilakukan terhadap struktur baja 5 lantai tipe MRF. Struktur dimodelkan sebagai sistem rangka pemikul momen khusus. Data material dan dimensi model struktur yang digunakan dalam analisa dapat dilihat pada Tabel 1. Penentuan dimensi struktur untuk kedua metode dilakukan dengan bantuan *software* berbasis elemen hingga.

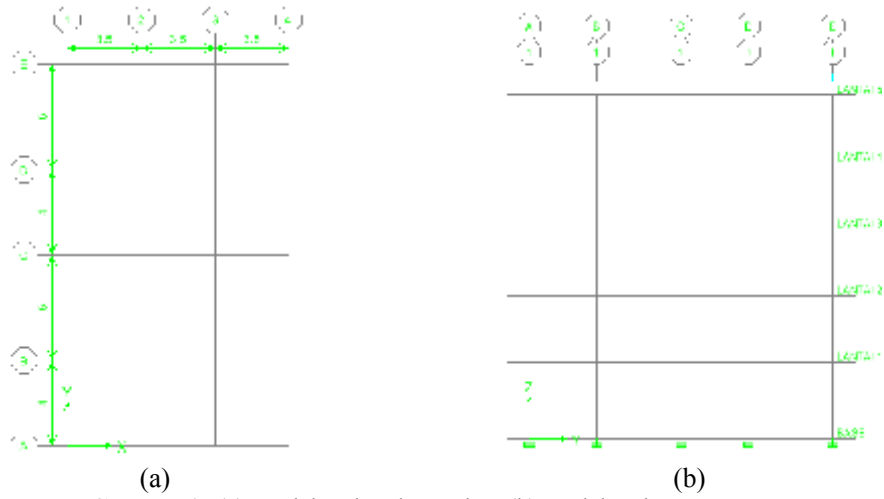
Dimensi penampang model struktur identik untuk setiap model struktur. Beban mati dan beban hidup diasumsikan sama untuk kedua model, sedangkan beban gempa dihitung berdasarkan SNI 1726-2012 dan PBPD.

PERENCANAAN GAYA LATERAL

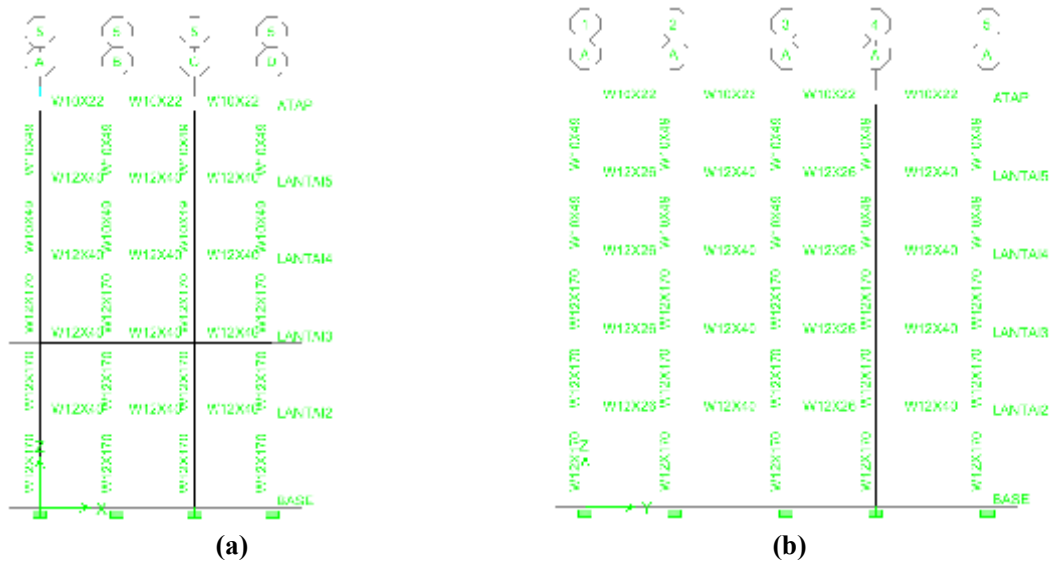
Analisa gempa elastis SNI-1726:2012

Beban gempa yang digunakan merupakan beban gempa dinamik berdasarkan respon spektra wilayah gempa kota Padang dengan kondisi tanah lunak. Gaya geser dasar (V) didapat dengan menggunakan Persamaan 1 yaitu $200,885.10^3$ kg. Distribusi gaya lateral tiap lantai dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$F_i = V \cdot \left(\frac{w_i \cdot h_i}{\sum w_i \cdot h_i} \right) \quad (12)$$



Gambar 4. (a) Model arah x dan arah y, (b) model arah z.



Gambar 5. (a) Dimensi penampang baja arah x dan (b) arah y.

Tabel 1. Data material dan dimensi struktur

Material	Baja BJ-50	$f_y = 290 \text{ MPa}$. $f_u = 500 \text{ MPa}$ $E = 200.000 \text{ MPa}$
Dimensi model struktur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jumlah lantai 2. Lebar bangunan 3. Panjang bangunan 4. Tinggi total 5. Tinggi antar lantai <ul style="list-style-type: none"> - Lantai 1 - Lantai 2-4 - Lantai atap 	<ol style="list-style-type: none"> : 5 lantai : 10,5 meter : 18 meter : 18 meter : 4 meter : 3,5 meter : 3,5 meter
Fungsi bangunan	Kantor	

Tabel 2. Parameter desain SNI -1726:2012

Daerah	Padang
Kelas situs	E
S_s	2
S_1	0,6
S_{MS}	1,8
S_{M1}	1,44
F_a	0,9
F_v	2,4
S_{DS}	1,2
S_{D1}	0,96
I	1
R	8
$C_s=S_{DS} \cdot (I/R)$	0,15
$V=C_s \cdot W$	200,885.10 ³ kg
$Ta=C_t \cdot h_n^x$	0,731

Tabel 3. Distribusi gaya lateral tiap lantai

Lantai	F (kg)
Lantai 1	18,228
Lantai 2	34,114
Lantai 3	49,882
Lantai 4	65,554
Lantai atap	33,107

Analisa gempa PBPD

Beban gempa rencana diperoleh dengan memperhitungkan terlebih dahulu target simpangan struktur pada saat inelastik (θ_p).

Besarnya nilai θ_p tergantung simpangan leleh struktur (θ_y , Tabel 4) dan simpangan maksimum struktur (θ_u). Simpangan maksimum diambil 2 % berdasarkan 10% kemungkinan resiko struktur mengalami keruntuhan akibat gempa dalam 50 tahun.

Berdasarkan perbandingan nilai θ_u dan θ_y dapat dihitung faktor reduksi daktilitas, R_u dan faktor modifikasi energi gempa γ .

Desain gaya lateral diperoleh dengan menggunakan faktor rasio β_i yang merupakan fungsi

eksponensial perbandingan gaya geser akibat gempa pada lantai-i dengan lantai-n terhadap distribusi gaya geser maksimum struktur terhadap beberapa model gempa (Tabel 5).

Tabel 4. Asumsi rasio simpangan leleh (Liao,2010)

Sistem Rangka Bangunan	Beton Bertulang	Baja			
	SMF	M F	EB F	STM F	CB F
Rasio simpangan leleh, θ_y (%)	0,5	1	0,5	0,75	0,3

Tabel 5. Nilai β_i

Lantai	β_i
Lantai atap	1
lantai 5	2,391
lantai 4	3,316
lantai 3	3,911
lantai 2	4,219

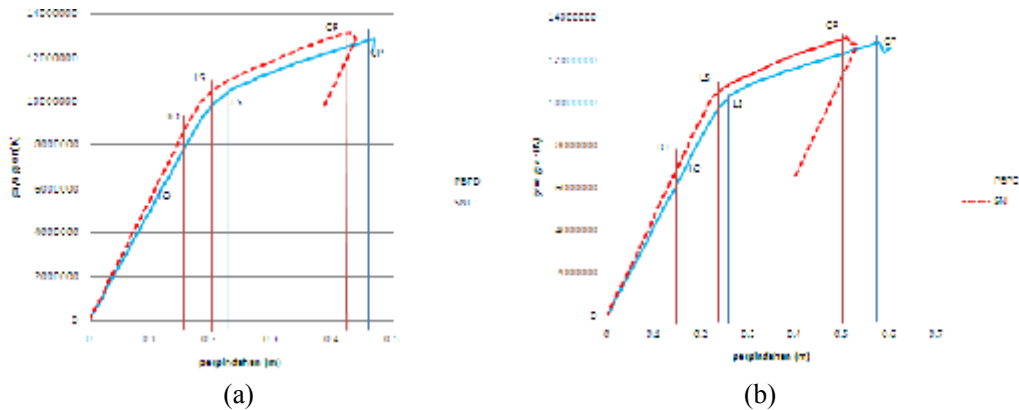
Tabel 6. Parameter desain PBPD

Daerah	Padang
Kelas situs	E
θ_u	2%
θ_y	1%
θ_p	1%
μ_s	2
γ	0,75
T	0,713
α	1,927
V/W	0.454

Tabel 7. Distribusi gaya lateral tiap lantai

Lantai	F (kg)
F lantai atap	144.10 ³
F lantai 5	200,4.10 ³
F lantai 4	133,1.10 ³
F lantai 3	85,7.10 ³
F lantai 2	130,1.10 ³

ANALISA DAN KESIMPULAN



Gambar 6. Kurva pushover gempa (a) arah x dan (b) arah y.

Berdasarkan analisis *pushover* diperoleh nilai daktilitas aktual struktur arah x dan y dengan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012 masing-masing sebesar 2,13 dan 2,12 dan berdasarkan PBD masing-masing sebesar 2,02 dan 2,12 yang diperoleh dari perbandingan simpangan struktur saat leleh pertama dengan saat struktur mengalami keruntuhan. Berdasarkan nilai daktilitas struktur, struktur yang didesain dengan SNI 1726: 2012 memiliki daktilitas aktual yang lebih besar. Namun jika ditinjau berdasarkan kinerja struktur, metode PBD menunjukkan kinerja yang lebih baik yang dilihat dari batas kinerja IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life Safety*) dan CP (*Collapse Prevention*) (Gambar 6a dan Gambar 6b).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana melalui pembiayaan penelitian dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas kontrak No. 031/PL/SPK/PNP/FT-Unand/2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Ulfah, Tiffany. 2014. *Studi Analisis Perilaku Struktur Baja Beraturan yang Didisain Berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 1726-2012*. Universitas Andalas.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012*. Jakarta.

Sejal, P.Dalal, dkk. 2012. *Comparison of Steel Moment Resisting Frame Designed by Elastic Design and Performance Based Plastic Design Method Based on The Inelastic Response Analysis*. Vol. 2, No. 4. 2012: 1081-1082.

Liao., WC. 2010. *Performance-Based Plastic Design of Earthquake Resistant Reinforced Concrete Moment Frames. A Partial Fulfillment Dissertation*. University of Michigan.

Chao, SH Goel SC. 2005. *Performance-Based Seismic Design Of EBF Using Target Drift And Yield Mechanism As Performance Criteria*. Universitas Michigan.

Lee.SS, Goel.SC, Chao.SH.2004. *Performance-based Seismic Design of Steel Moment Frames Using Target Drift and Yield Mechanism*. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Aug 1-6, 2004. Paper No.266. Canada.

Leelataviwat.S, Goel.SC, Stojadinovic.B.2002. *Energy-based Seismic Design of Structures using Yield Mechanism and Target Drift*. Journal of Structural Engineering/ August 2002 : 1046-1054.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2001. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002*. Jakarta.