

ANALISIS PUSHOVER STRUKTUR BAJA PADA WILAYAH GEMPA KUAT (6) DENGAN STUDI KASUS STRUKTUR BANGUNAN BAJA BERATURAN

Iskandar

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe

E-mail : isk_ab@yahoo.com

ABSTRACT

Criteria for earthquake resistant buildings are not only aware of the strength and ductility, but also on the performance of the building when the earthquake struck. To determine the behavior and performance of buildings, conducted research on building a 3D model of the building with a steel structure and a 5-story regular shapes by using an open frame structure system. The building was planned in accordance with the regulations for buildings steel SNI-03-1729 2002 and earthquake resistant building codes SNI 1726 – 2002. Building site is in a strong earthquake region (region 6). For performance evaluation was conducted using pushover analysis using SAP 2000 software, taking into account several design parameters, the drift ratio of the structure during a strong earthquake (X_{roof}), shear force performance (V_{bp}), effective period structures (T_{eff}), effective of dumping structure (β_{eff}). Based on the analysis of the magnitude of the natural period of the structure is 0.748 seconds, the value is smaller than SNI 1726 – 2002 permit limits, so the structure is considered not very flexible, so the plan dimension of the structure is quite good. Shear force structure designed 3654.402 kN. Building performance evaluation results provide a target displacement in the X direction: 0.238 m and Y directions: 0.317 m, while according to SNI 1726 – 2002 gives the target displacement in the x direction: 0.338 m and y direction: 0.320 m. All values in the target displacement is a maximum value of 0.368 m (SNI 1726 – 2002).

Keywords : steel building, earthquake, performance, pushover analysis

PENDAHULUAN

Bangunan yang berada pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap gempa. Gempa kuat yang terjadi menimbulkan respon non-linier pada struktur gedung. Analisa nonlinier yang dapat dilakukan antara lain analisa statis nonlinier dan analisa dinamis nonlinier. Analisa statis nonlinier adalah analisa yang menggunakan beban statis yang ditingkatkan hingga struktur mencapai keruntuhan. Sedangkan analisa dinamis nonlinier adalah analisa yang menggunakan input akselerogram untuk mendapatkan respon dinamis suatu struktur. Ada beberapa metoda yang dipakai untuk mengetahui respon non-linier struktur gedung, dimana metoda yang lebih mudah untuk dilakukan adalah metoda statik non-linier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elasto-plastis yang besar sampai mencapai kondisi diambang keruntuhan.

Dengan tersedianya perangkat keras dan perangkat lunak seperti SAP2000 dan ETABS telah mempermudah pekerjaan para ahli struktur untuk melakukan analisa dinamik dengan cepat dan efisien. Struktur bangunan dapat direkayasa menggunakan teknologi canggih yang terdapat dalam software seperti SAP2000 dan ETABS. Dengan mempelajari kerusakan bangunan setelah terjadi gempa dan selanjutnya mempelajari hasil analisa dengan menggunakan teknologi komputer canggih yang dilengkapi dengan tampilan grafis, para ahli struktur dapat mengidentifikasi kelemahan perilaku bangunan dengan menggunakan model matematik pada fase perencanaan. Kelemahan tersebut dapat diperbaiki sebelum dibangun.

Dalam penelitian ini, serangkaian analisis respon struktur dilakukan terhadap sistem struktur bangunan baja dengan bentuk beraturan, didesain sesuai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung [SNI 1726-2002] dan Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung [SNI 03-1729-2002]. Perilaku seismik struktur-struktur ini dievaluasi dengan menggunakan analisis kinerja dengan menggunakan *pushover analysis*. Analisis Pushover (*pushover analysis*) merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan bangunan terhadap beban gempa. Dengan analisis pushover ini dapat diperkirakan gaya maksimum serta deformasi yang terjadi pada bangunan. Analisis yang digunakan adalah analisis statik non-linier (*pushover analysis*) dengan metoda spektrum kapasitas untuk mendapatkan kinerja struktur akibat pengaruh gempa rencana. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perilaku struktur bangunan baja ketika menerima beban gempa kuat. Adapun gempa kuat yang dimaksudkan adalah bangunan dianggap berada pada wilayah yang percepatan gempanya besar, yaitu pada wilayah 5 dan 6. Dalam penelitian ini direncanakan bangunan berada pada wilayah gempa 6.

Dewobroto (2005), menyebutkan bahwa perencanaan struktur bangunan tahan gempa dengan konsep desain kinerja struktur tergolong merupakan hal yang baru. Konsep dari desain kinerja struktur ini lebih menekankan pada kinerja (*performance*) daripada kekuatan (*strength*) dari struktur. Indikator kinerja yang ditinjau adalah perpindahan lateral maksimum yang dinyatakan dengan perpindahan puncak (*roof drift*) dari struktur tersebut.

Dua elemen penting dari konsep desain kinerja struktur adalah *demand* dan *capacity*. *Demand* adalah representasi dari pergerakan tanah pada saat gempa terjadi. Sedangkan *capacity* adalah representasi dari kemampuan struktur untuk memikul beban gempa.

Konsep yang digunakan sebagai konsep perencanaan struktur pada penelitian ini adalah konsep desain kinerja struktur. Keutamaan konsep ini adalah penekanannya pada kinerja (*performance*) struktur daripada kekuatan (*strength*) struktur. Untuk mengetahui kinerja struktur terhadap beban gempa, maka ditentukan batas deformasi struktur sebagai indikator kinerja struktur. Batas deformasi ini adalah perpindahan lateral maksimum yang terjadi pada puncak/atap (*roof drift*) struktur tersebut.

Adapun perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Hal penting dari perencanaan berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas, sehingga pemilik, penyewa, asuransi, pemerintahan atau penyandang dana mempunyai kesempatan untuk menetapkan kondisi apa yang dipilih, selanjutnya ketetapan tersebut digunakan insinyur perencana sebagai pedomannya. (Budiono, B., 2004).

Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan target kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Mengacu pada FEMA-273 (1997) yang menjadi acuan klasik bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur, adalah :

- Segera dapat dipakai (IO = Immediate Occupancy),
- Keselamatan penghuni terjamin (LS = Life-Safety),
- Terhindar dari keruntuhan total (CP = Collapse Prevention).

Menurut A kinerja pa bahaya ge yang tidak sehingga ti

Analisa Sta

Analisa sta bangunan l Kecuali unt dapat men tersedia ac

Analisa dila secara bert suatu titik a pusat massa

Tujuan anali serta untuk bagian-bagi banyak stuc (ketika diba tinggi.

Adapun taha

1. Menei perpi
2. Memb yang terjac
3. Estim kontr maks
4. Menge merup seper terdap itulah dokun

Target Perpinc Gaya dan de kontrol yang perpindahan n level kinerja

Menurut Aisyah S. Dkk (2011), menyatakan bahwa titik kinerja pada wilayah 6 lebih tinggi daripada kinerja pada wilayah gempa 4, karena beban gempa yang lebih tinggi. Struktur lebih rentan terhadap bahaya gempa pada wilayah 6 yang mempunyai PGA 1,5 kali PGA pada wilayah gempa 4. Struktur yang tidak memenuhi persyaratan teknis memerlukan penambahan kekakuan dan kekeutan struktur sehingga tingkat kinerja mencapai tingkat minimum, yaitu *collapse prevention* atau *life safety*.

Analisa Statik Nonlinier (*Pushover*)

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa pushover atau analisa beban dorong statik. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisa ini memerlukan program komputer untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Beberapa program komputer komersil yang tersedia adalah SAP2000, ETABS, GTStrudl, Adina.

Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap.

Tujuan analisis pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisa statik pushover dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisa dinamik *nonlinier*) untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

Adapun tahapan utama dalam analisa pushover adalah :

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva pushover.
2. Membuat kurva pushover berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi dari gaya inertiya, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja. Oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dikerjakan oleh komputer (fasilitas pushover dan evaluasi kinerja yang terdapat secara built-in pada program SAP2000, mengacu pada FEMA-356). Oleh karena itulah mengapa pembahasan perencanaan berbasis kinerja banyak mengacu pada dokumen FEMA.

Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen/elemen dihitung terhadap "perpindahan tertentu" di titik kontrol yang disebut sebagai "target perpindahan" dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana. Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika

perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan δ_t . Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja.

Kinerja Batas Ultimit Menurut SNI-1726-2003

Untuk kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antargedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela delatasi). Sesuai SNI-1726-2003 simpangan dan simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ sebagai berikut :

- untuk struktur gedung beraturan : $\xi = 0.7 R$ (9)
- untuk struktur gedung tidak beraturan

$$\zeta = \frac{0.7 R}{\text{Faktor Skala}}$$

di mana R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut dan Faktor Skala adalah seperti yang ditetapkan dalam SNI-1726-2003.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung menurut rumusan diatas tidak boleh melampaui 0.02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan. Kriteria simpangan ultimit tersebut selanjutnya digunakan sebagai target perpindahan versi SNI-1726-2003, sedangkan evaluasi kriteria penerimaan masih mengacu pada FEMA 356 yang sudah built-in pada program komputer SAP2000.

Metoda Spektrum Kapasitas

Menurut ATC-40 (1996), metode spectrum kapasitas merupakan metoda utama ATC 40, meskipun dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang, tetapi ternyata banyak juga diaplikasikan pada konstruksi lain. Dalam Metoda Spektrum Kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya-perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Proses tersebut sama dengan Metode Koefisien Perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplot-kan dalam format ADRS (*acceleration displacement response spectrum*).

Adapun pada metode kapasitas spektrum ini yang merupakan bagian dari konsep desain kinerja struktur ini mengubah kurva kapasitas (V_b vs x_{roof}) yang merupakan kurva MDOF menjadi kurva kapasitas spektrum yang merepresentasikan respon struktur inelastik SDOF (S_a^* vs S_d). Sementara demand spectrum didapat dari perubahan kurva tradisional spektrum (S_a^* vs T) menjadi ADRS spektrum (S_a^* vs S_d).

Metode ini secara khusus telah built-in dalam program SAP2000, proses konversi kurva pushover ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva Respons Spektrum Rencana dengan parameter seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 berikut :

Setelah p
perlu men
roof di

Untuk stab
nilai 0.33

beban yan
adalah inte
maximum t

Kriteria ting
atas dapat

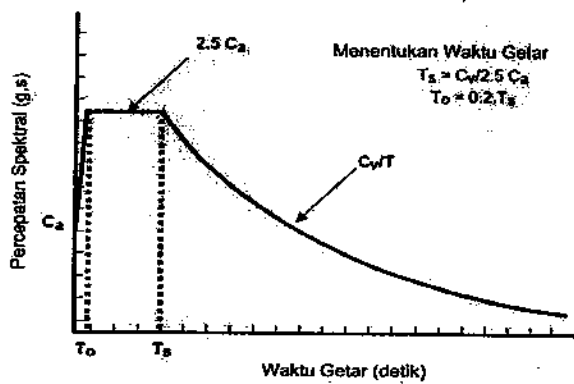
1. Imme
terjadi,
memp
2. Dama
dimana
dengar
3. Life Sa
perbaik
teranca
4. Structu
ataupu
pada si

METODOLC

Pemodelan

Pemodelaan
frame) deng
bantuan pro
bangunan i
lantai dasar

target
tingkat
gedung
gedung
bahaya
elastasi).
pangan
ngali ξ



Gambar 1. Parameter data Respons Spektrum Rencana

Setelah *performance point* diketahui, maka untuk menentukan *performance level* dari struktur kita perlu mencari nilai *roof drift ratio* dengan persamaan:

$$\text{roof drift ratio} = \left(\text{ratio} = \frac{x_{\text{roof}}}{H_{\text{total}}} \right) \quad (3 - 5)$$

Untuk stabilitas struktur, *maximum total drift* lantai ke-i pada *performance point* tidak boleh melebihi nilai $0.33 \frac{V_i}{P_i}$ dimana V_i adalah total gaya geser lateral pada lantai ke-i dan P_i adalah total beban yang bekerja pada lantai ke-i termasuk beban mati dan beban hidup. *Maximum total drift* adalah *interstory drift* pada *performance point*, sedangkan *maximum inelastic drift* adalah besarnya *maximum total drift* di luar titik leleh efektif.

Kriteria tingkat kinerja struktur yang dinyatakan sebagai *performance level* berdasarkan ATC-40 di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Immediate Occupancy (IO)* adalah 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.
2. *Damage Control (DC)* adalah kondisi antara *Immediate Occupancy (IO)* dan *Life Safety (LS)*, dimana kerusakan yang terjadi dibatasi agar dapat diperbaiki, struktur yang direncanakan dengan baik biasanya termasuk dalam kategori ini.
3. *Life Safety (LS)* adalah 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. *Structural Stability (SS)* adalah kondisi dimana struktur telah mengalami kerusakan parsial ataupun total, kerusakan yang terjadi telah menyebabkan degradasi kekuatan dan kekakuan pada sistem penahan gaya lateral.

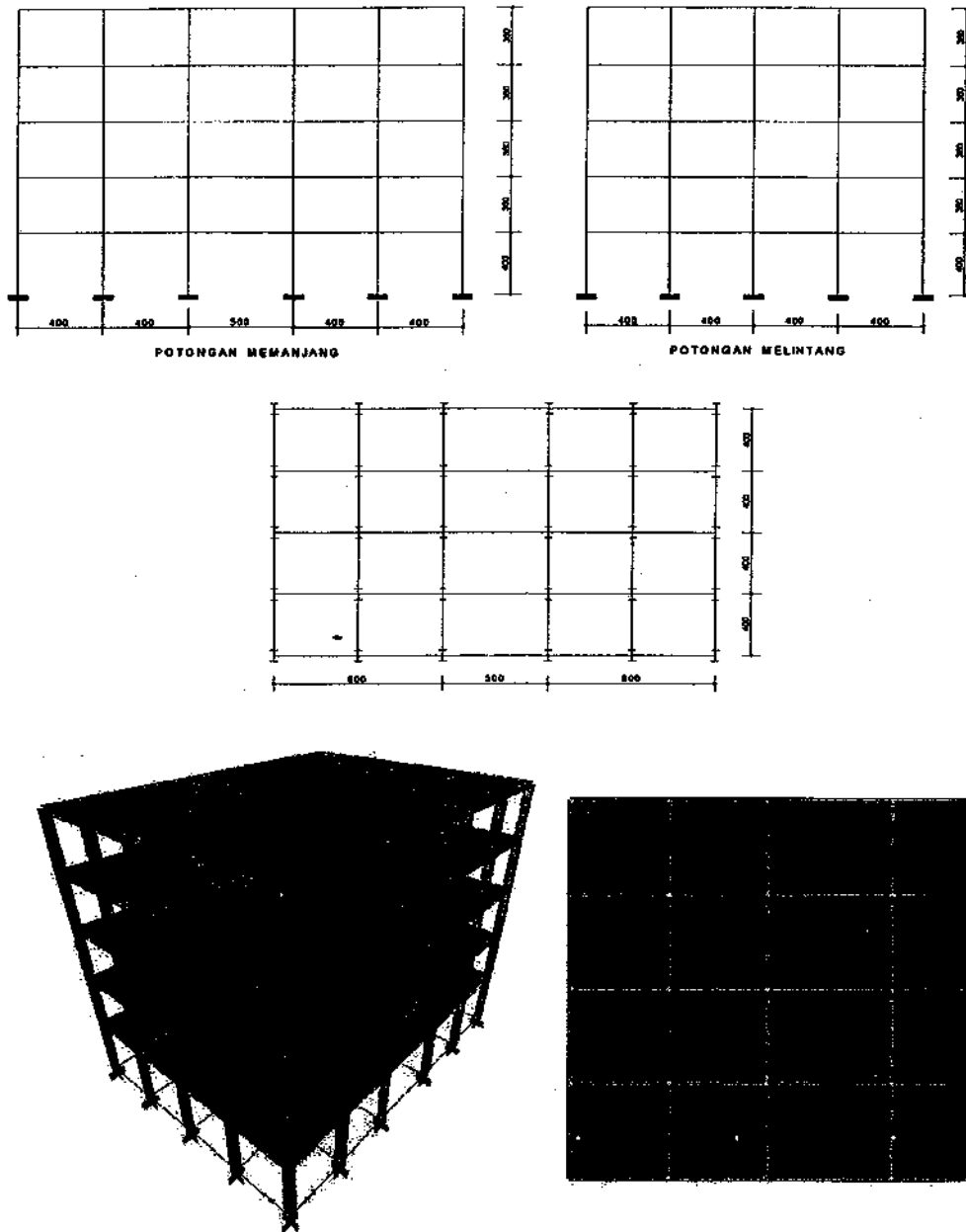
METODOLOGI

Pemodelan Struktur Bangunan

Pemodelaan struktur pada penelitian ini ini dimodelkan sebagai struktur rangka terbuka (*open frame*) dengan komponen batas dalam tiga dimensi (sumbu x, y, dan z). Pemodelan menggunakan bantuan program SAP2000 ver. 9.03. Pemodelan struktur adalah dengan jumlah lantai 5, bentuk bangunan masuk dalam kategori struktur dengan bentuk beraturan, ketinggian antar lantai, untuk lantai dasar dengan ketinggian 4000 mm sedangkan lantai berikutnya dengan ketinggian konstan

seperti
at yang
)02 kali
sebagai
mengacu
eskipun
an pada
in kurva
tersebut
dalam
n kinerja
di kurva
mentara
di ADRS
pushover
program.
dengan
man: 43

3600 mm. Untuk tebal pelat lantai dibuat sama pada setiap lantai yaitu 150 mm. Untuk dimensi kolom dan balok pendekatan yang digunakan adalah berdasarkan panjang bentang dan kondisi bangunan yang direncanakan, sehingga untuk kolom digunakan Profil WF 400x400 dan balok digunakan profil WF 400x200. Mutu baja profil yang digunakan $f_y = 240$ MPa. Untuk denah dan tampak model dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah (bidang XY), tampak samping (bidang YZ dan XZ) dan Model 3D Pada Software

Pembebanan Struktur

Karena fokus Penelitian ini adalah melihat pengaruh gaya gempa terhadap struktur rencana, maka pembebanan struktur untuk analisis hanya dilakukan terhadap beban-beban berikut:

a. Be
b. Be
sel
1.3
sel
c. Bel
Tal
Kombi
Bangu.
a.
b.
c.
d. C

Penentu
Penentu
alami s
penentu

Analisis
Pada an
(perform
Perenca
dorong s
dimana
menangk

Analisis s
yang dip
akan kita
Dari hasil
saat dian
kapasitas

Kondisi p
bekerja pa

a. s
b. c
c. p
d. r

HASIL DA

Periode Al
Periode ak
periode ala

- a. Beban mati (D) yaitu berat dari seluruh bagian dari suatu struktur yang bersifat tetap.
- b. Beban hidup (L) dalam perencanaan struktur ini direncanakan untuk gedung perkantoran, sehingga berdasarkan *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, SKBI-1.3.53.1987, beban hidup pada lantai sebesar 250 kg/m^2 ($2,5 \text{ kN/m}^2$) dan untuk lantai atap sebesar 100 kg/m^2 ($1,0 \text{ kN/m}^2$).
- c. Beban gempa (E), dalam desain gedung ini dihitung dengan metoda statik ekuivalen berdasarkan *Tata Cara Perhitungan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, SNI-03-1726-2003.

Kombinasi beban rencana pada struktur sesuai dengan *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-1729-2002, sebagai berikut :

- a. $1,4 D$
- b. $1,2 D + 1,6 L$
- c. $1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- d. $0,9 D \pm 1,0 E$

Penentuan Waktu Getar Alami Struktur

Penentuan waktu getar alami struktur dilakukan melalui iterasi untuk mendapatkan waktu getar alami struktur mode pertama. Dalam penentuan waktu getar alami struktur merupakan bagian dari penentuan beban gempa dengan cara statik ekuivalen.

Analisis Statik Non-Linier

Pada analisis statik non-linier ini, perencanaan gempa menggunakan konsep desain kinerja struktur (*performance based design*) dengan metoda *pushover analysis*. Berdasarkan *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*, SNI-03-1726-2003, analisis beban dorong statik (*static pushover analysis*) merupakan cara analisis statik dua dimensi dan non-linier, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai.

Analisis statik non-linier ini dilakukan dengan menggunakan software SAP 2000. Semua parameter yang diperlukan untuk analisis terlebih dahulu diset dan disesuaikan dengan kondisi struktur yang akan kita analisis. Pada analisis statik ini, penambahan beban diatur secara otomatis oleh program. Dari hasil *pushover analysis* dapat ditentukan urutan terjadinya sendi plastis pada struktur hingga saat diambang keruntuhan dan grafik V_b-X_{roof} . Grafik V_b-X_{roof} selanjutnya diubah menjadi kurva kapasitas spektrum yang digunakan untuk mencari *performance point*.

Kondisi pada saat *performance point* dianggap sebagai kondisi riil yang terjadi saat gempa kuat bekerja pada struktur. Dengan mengetahui titik tersebut, maka dapat diketahui besarnya :

- a. simpangan struktur saat terjadi gempa kuat (X_{roof})
- b. gaya geser dasar *performance* (V_{bp})
- c. periode efektif struktur (T_{eff})
- d. redaman efektif struktur (β_{eff})

HASIL DAN PEMBAHASAN

Periode Alami Struktur

Periode alami struktur bangunan mencerminkan tingkat kefleksibelan struktur tersebut. Besarnya periode alami struktur dibatasi oleh *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan*

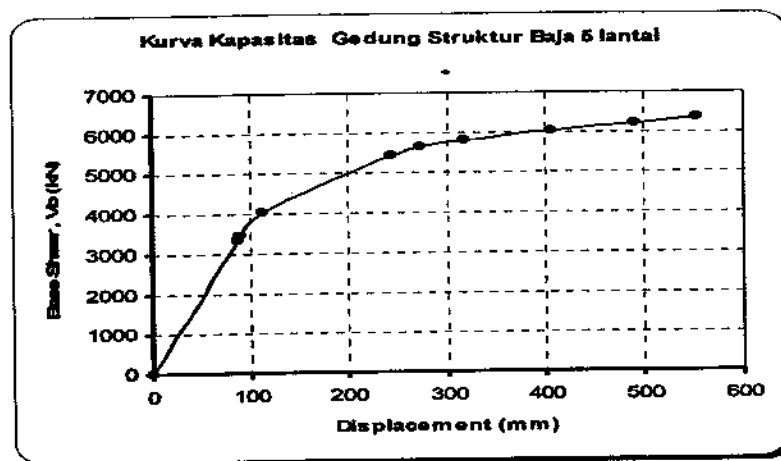
Gedung (SNI 03-1726-2003) berdasarkan besarnya koefisien ζ yang ditentukan oleh wilayah gempa dan jenis struktur. Struktur dianalisis dengan pembebanan gempa wilayah 6 sehingga besarnya nilai ζ adalah 0.102. Berdasarkan SNI besarnya waktu getar alami struktur diperoleh = 0.91 detik. Berdasarkan hasil analisis program dapat diketahui besarnya periode alami struktur. Berikut adalah 0,748 detik, nilainya lebih kecil dari batas izin SNI, sehingga struktur dianggap tidak terlalu fleksibel. Dengan demikian berarti perencanaan dimensi struktur tersebut cukup baik.

Gaya Geser dasar dengan Metode Statik ekuivalen

Perencanaan beban gempa statik ekuivalen ini dengan diawali penentuan gaya geser pada lantai dasar V_b (*base shear*) dengan persamaan (2-2). C adalah nilai faktor respon gempa yang didapatkan dari spektrum respon gempa rencana sesuai dengan daerah gempa wilayah 6 dan menurut waktu getar alami yaitu 0.9. I adalah faktor keutamaan (1), R adalah faktor reduksi gempa (8.5), dan W_t adalah berat total gedung termasuk beban hidup yang sesuai. Gaya geser struktur adalah 3654,402 kN

Kurva Kapasitas

Berdasarkan hasil analisis pushover pada model gedung diperoleh kurva kapasitas (*capacity curve*) dan skema kelelahan berupa sendi plastis yang terjadi. Hasil analisis pushover diperoleh kurva kapasitas seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva kapasitas

Untuk gedung yang lebih tinggi, dihasilkan perpindahan (*displacement*) pada lantai atap yang semakin besar. Hal ini berhubungan dengan fleksibilitas struktur ketika terjadi gempa. Gedung-gedung tinggi memiliki tingkat fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan gedung dengan jumlah lantai yang lebih kecil yang cenderung kaku dalam menahan beban gempa. Ketika gedung tinggi menerima beban lateral seperti gempa, maka gedung akan berusaha untuk mempertahankan dirinya dengan menyerap energi gempa sebesar mungkin. Besarnya energi gempa yang diserap bergantung pada besarnya kekakuan dan kekuatan yang dimiliki oleh struktur. Semakin banyak elemen-elemen struktur yang dapat menyerap energi gempa tersebut, maka semakin besar pula simpangan pasca-elastik yang terjadi sampai struktur berada pada-batas keruntuhan (*collapse*), sehingga dihasilkan perpindahan (*displacement*) pada lantai atap yang semakin besar pula.

Batas Kinerja Ultimit Menurut SNI 1726 2003

Berdasarkan beban gempa nominal yang diperoleh dari analisa struktur dengan cara respon spektrum diperoleh simpangan pada lantai paling atas ditunjukkan pada tabel 1, yaitu :

Tabel 1. Kinerja Ultimit Bangunan

Level	Elevasi (m)	Simpangan Nominal (m)		Simpangan Ultimit		Nilai batas 0,02*H (m)
		Arah X	Arah Y	$\xi.R.X$	$\xi.R.Y$	
Atap	18,40	0,05186	0,06388	0,3383	0,31969	0,368

Untuk gedung beraturan maka $\xi.R = 0,7 * 8,5 = 5,95$. Berdasarkan hasil pada Tabel 1 di atas diketahui bahwa simpangan maksimum ultimit masih lebih kecil dari batas maksimum, jadi struktur memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan oleh SNI 1726 -2003.

Evaluasi Kinerja Struktur

Adapun target perpindahan dari berbagai kriteria dapat dirangkum sebagai berikut :

Tabel 2. Target Perpindahan

Kriteria	Target Perpindahan (m)		Nilai batas 0,02*H (m)
	Arah X	Arah Y	
Spektrum Kapasitas ATC-40	0,238 (65%)	0,317 (86%)	0,368 (100%)
Kinerja Batas SNI 1726	0,338 (92%)	0,320 (87%)	

Hasil evaluasi kinerja menurut ATC-40 memberikan target perpindahan, untuk arah x yaitu 0,238 m dengan base force (V) = 5477,757 kN, $T_{eff} = 1,016$ detik dan $\beta_{eff} = 0,224$ (22,4%). Kemudian untuk arah y, displacement = 0,317 m. Base force (V) = 5815,584 kN, $T_{eff} = 1,040$ detik dan $\beta_{eff} = 0,213$ (21,3%).

Berdasarkan hasil analisis pushover yang diteruskan untuk mendapatkan perilaku inelastik pasca keruntuhan, maka hasil distribusi sendi plastis dapat dilihat pada Tabel 3 berikut :

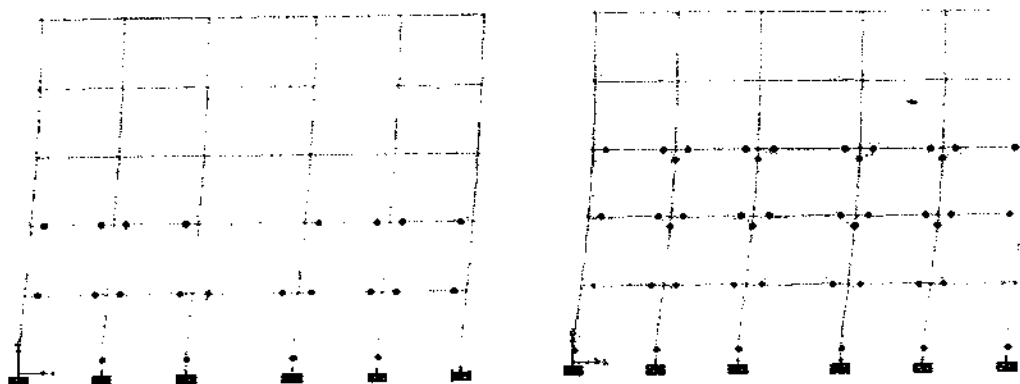
Tabel 3. Distribusi Sendi Plastis Pada Arah x

Step	Displ. (m)	Base Force (kN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	790	0	0	0	0	0	0	0	790
1	88.0000	3291.643	790	0	0	0	0	0	0	0	790
2	106.2926	3975.880	780	10	0	0	0	0	0	0	790
3	131.3093	4775.926	720	70	0	0	0	0	0	0	790
4	139.9452	4929.246	680	110	0	0	0	0	0	0	790
5	146.5552	5002.891	670	120	0	0	0	0	0	0	790
6	238.5492	5477.758	600	130	60	60	0	0	0	0	790
7	353.0993	5839.640	570	90	120	10	0	0	0	0	790
8	407.5308	6004.914	570	80	100	30	0	10	0	0	790

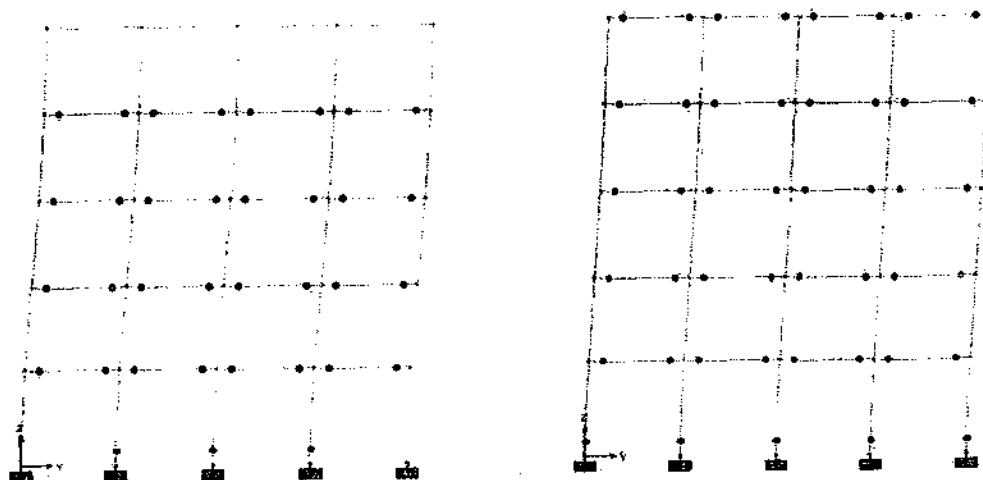
Tabel 4. Distribusi Sendi Plastis Pada Arah y

Step	Displ. (m)	Base Force (kN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	790	0	0	0	0	0	0	0	790
1	88.0000	3322.338	790	0	0	0	0	0	0	0	790
2	91.5425	3456.082	782	8	0	0	0	0	0	0	790
3	113.6159	4052.366	702	88	0	0	0	0	0	0	790
4	243.7505	5432.185	650	44	96	0	0	0	0	0	790
5	274.4789	5653.758	624	70	96	0	0	0	0	0	790
6	317.3165	5815.584	600	62	128	0	0	0	0	0	790
7	405.3165	6027.271	600	46	144	0	0	0	0	0	790
8	493.3165	6238.975	600	0	134	56	0	10	0	0	790
9	553.9315	6384.765	600	0	94	88	0	6	0	0	790

Bedasarkan hasil evaluasi kinerja, dapat dilihat bahwa Kinerja batas ultimit menurut SNI 1726-2003 adalah 0,338 m (arah x) dan 0,320 m (arah y), dan nilai ini lebih besar dari perpindahan pada ATC-40, yaitu 0,143 m (arah-x) dan 0,124 m (arah-y). Selanjutnya berdasarkan distribusi sendi plastis pada kondisi tersebut pada step 3, kondisi struktur bangunan belum melewati batas LS (life safety). Jadi Kinerja struktur pada arah x dan y masih bagus. Berikut ini diperlihatkan pembentukan sendi plastis pada masing-masing elemen struktur berdasarkan arah x dan y :



Gambar 4. Pola Sendi Plastis pada arah x, untuk step 4 dan 8



Gambar 5 Pola Sendi Plastis pada arah y, untuk step 4 dan 9

KESIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan beban gempa nominal yang diperoleh dari analisa struktur dengan cara respon spektrum diperoleh simpangan pada lantai paling atas, yaitu : untuk arah x 0,05186 m dan untuk arah y 0,06388 m, dan nilai simpangan maksimum ultimit tersebut masih lebih kecil dari batas maksimum (0,368 m), jadi struktur memenuhi persyaratan kinerja yang ditetapkan oleh SNI 1726-2003.
2. Hasil evaluasi kinerja terhadap gedung dengan struktur baja menurut ATC-40 memberikan target perpindahan, untuk arah x yaitu 0,238 m dengan base force (V) = 5477,757 kN, $T_{eff} = 1,016$ detik dan $\beta_{eff} = 0,224$ (22,4%). Kemudian untuk arah y, displacement = 0,317 m. Base force (V) = 5815,584 kN, $T_{eff} = 1,040$ detik dan $\beta_{eff} = 0,213$ (21,3%).
3. Penentuan titik kinerja (target peralihan) merupakan parameter yang sangat penting untuk melakukan evaluasi terhadap perilaku struktur bangunan ketika dibebani dengan beban.

Saran

Adapun beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Perlu dilakukan juga pemodelan dengan memberikan variasi jumlah lantai pada bangunan serta bentuk denah yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pada bangunan yang menggunakan beton prategang, untuk melihat bagaimana kinerjanya dan perilakunya terhadap beban gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council, *ATC 40 - Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City, California, U.S.A., 1996
- ASCE, *FEMA 356 - Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000
- Aisyah, S., dan Megantara, Y. (2011), Pemodelan struktur Bangunan Bertingkat beton bertulang Rangka terbuka Simetris di daerah rawan Gempa dengan metode Analisis Pushover, Prossiding Seminar Nasional AVoER ke-3, 26-27 Oktober 2011, Palembang, Indonesia.
- Budiono, B. (2004). *Analisis Push-Over Pada Gd. 48 Lantai The Peak*, Seminar HAKI, Jakarta.
- Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover*, Civil Engineering National Conference: Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism - Unika Soegijapranata, Semarang 17-18 Juni 2005
- SNI 03 - 1729 - 2002, (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*.
- SNI 1726-2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.