

**KAJIAN ANALISIS *PUSHOVER* UNTUK *PERFORMANCE BASED DESIGN*
PADA GEDUNG FAKULTAS ILMU SOSIAL DAN POLITIK (FISIP)
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

***(Study of Analysis Pushover for Performance Based Design on Faculty of Social
and Political Sciences Building of Brawijaya University)***

Reza Dwipa Sandhi, Ari Wibowo, Agoes SMD
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia-Telp (0341)566710, 587711
E-mail: rezadwipa95@gmail.com

ABSTRAK

Analisa statis non-linear (*pushover analysis*) digunakan untuk mengetahui perilaku struktur akibat gempa besar dan merupakan salah satu *performance based design* dengan konsep memberikan suatu pola beban lateral statik terhadap bangunan secara bertahap sampai memenuhi target perpindahan lateral yang direncanakan. Hasil dari metode ini adalah kurva *base shear-roof displacement* yang selanjutnya diproses untuk menentukan titik kinerja (*performance point*) dan tingkat kinerja struktur dengan menggunakan dua prosedur berdasarkan ATC-40 1997 yaitu prosedur A dan prosedur B.

Pada analisis ini dilakukan pemodelan dari gedung fakultas ilmu sosial dan politik Universitas Brawijaya, lalu gedung tersebut dianalisis untuk mengetahui simpangan antar lantainya, tingkat kinerja dari bangunan, dan titik performa yang dihasilkan dengan dua macam respon spektrum desain berdasarkan SNI-1726-2002 dan SNI-1726-2012. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan program SAP2000 v19 dan berdasarkan ketentuan yang ada di ATC 40 1997.

Hasil yang diperoleh dari *pushover analysis* ini untuk prosedur A adalah dimana dihasilkan titik performa (0.315, 0.0602) untuk gempa desain respon spektrum SNI-1726-2002 dan (0.205, 0.0379) gempa desain respon spektrum SNI-1726-2012. Sedangkan titik performa (*performance point*) untuk prosedur B dimana dihasilkan titik performa (0.277, 0.08) untuk gempa desain respon spektrum SNI-1726-2002 dan (0.184, 0.053) gempa desain respon spektrum SNI-1726-2012. Mekanisme runtuh yang terjadi dimulai dari balok terlebih dahulu baru kemudian kolom sehingga bangunan masih relatif aman untuk dihuni (*beam sidesway mechanism*). Berdasarkan ATC-40 1997 semua hasil analisis baik prosedur A maupun prosedur B dengan dua peraturan berdasarkan SNI 2002 dan 2012 tingkat kinerja struktur adalah *Immediate Occupancy*.

Kata kunci: *performance based design, pushover analysis, performance point, performance level, analisis dinamik, respon spektrum desain*

ABSTRACT

Non-linear static analysis (pushover analysis) is used to determine the behavior of structures due to large earthquakes and is one of a performance based design with the concept of providing a static lateral load pattern to the building gradually to fulfill the planned lateral displacement target. The result of this method is the base shear-roof displacement curve which in the next step is processed to determine the performance point and the performance level of the structure using two procedures based on ATC-40 1997 (procedure A and procedure B).

In this analysis, modeling of UB Faculty of Social and Political Science faculty was conducted, then the building was analyzed to know the inter-floor drift, the performance level of the building, and the performance point produced with two kinds of response spectrum based on SNI-1726-2002 and SNI-1726- 2012. The analysis was performed using the SAP2000 v19 program and based on ATC 40 1997.

The result of this pushover analysis for procedure A is where the performance point is (0.315, 0.0602) for the spectrum response design SNI-1726-2002 and (0.205, 0.0379)for the spectrum response design SNI-1726-2012. For procedure B where produced performance point (0.277, 0.08) for for the spectrum response design on SNI-1726-2002 and (0.184, 0.053)for the spectrum response design on SNI-1726-2012. The collapsed mechanisms that occurs starts from the beam first nd then the column so the building is still relatively safe to live (beam sideways mechanism).Based on ATC-40 1997 all the results of analysis both procedure A and procedure B with two regulations based on SNI 2002 and 2012, the performance level of structures is Immediate Occupancy.

Keywords: *performance-based design, pushover analysis, performance point, performance level, dynamic analysis, spectrum design response*

PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang sering terjadi di Indonesia, karena hampir setiap tahun Indonesia diterpa gempa, baik yang ringan maupun yang terhitung besar, fenomena alam ini cukup menelan banyak korban jiwa dan kerugian materiil serta kerusakan pada fasilitas umum yang ada. Masalah yang ditimbulkan akibat gempa bumi tersebut sangat kompleks, baik dari segi hancurnya bangunan maupun fisik korban dan psikologis korban. Oleh karena itu perlu adanya tindakan pencegahan dengan cara membuat perencanaan struktur bangunan tahan gempa agar dapat menahan serta meminimalisir kerusakan akibat gempa.

Seiring dengan semakin berkembangnya teknologi konstruksi di Indonesia ditandai dengan semakin banyak tumbuh dan berkembangnya gedung bertingkat tinggi, menuntut para praktisi di bidang konstruksi untuk memiliki ketrampilan yang memadai dalam hal perencanaan gedung bertingkat tinggi. Oleh karena itu perencanaan yang tepat dalam sebuah bangunan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan oleh para praktisi khususnya dengan desain tahan gempa.

Perencanaan bangunan tahan gempa menggunakan analisa statis non-linear (*pushover analysis*) untuk mengetahui perilaku struktur akibat gempa besar. *Pushover analysis* merupakan suatu *performance based design* yang bertujuan untuk mencari kapasitas dari suatu struktur. Dasar dari *pushover analysis* ini sederhana, yaitu dengan memberi suatu pola beban dalam arah lateral pada pusat massa tiap lantai dari suatu bangunan. Penambahan beban akan ditingkatkan bertahap sampai tercapai keruntuhan pada elemen struktur karena terdapat sendi plastis pada elemen balok maupun kolom atau mencapai target perpindahan (*displacement*) tertentu.

TUJUAN

Tujuandari analisis ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui *Mode Shape* (pola ragam getar) dari struktur bangunan.
2. Mengetahui waktu getar alami efektif struktur bangunan.
3. Mengetahui besarnya deformasi lateral pada struktur bangunan.
4. Mengetahui perbandingan antara analisis dinamik dan analisis statik non-linear *pushover analysis* dengan prosedur A dan prosedur B berdasarkan pada ketentuan SNI-1726-2002 dan SNI-1726-2012
5. Mengetahui *performance point* berdasarkan ketentuan ATC-40.
6. Mengetahui tingkat pelayanan dari struktur gedung.

TINJAUAN PUSTAKA

Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran kerak bumi yang menimbulkan guncangan pada bangunan atau benda yang berada di atasnya. Getaran kerak bumi dapat terjadi akibat pergerakan lempeng bumi, akibat aktivitas gunung berapi dan akibat kelongsoran tanah. Gempa yang diakibatkan gerakan lempeng bumi disebut gempa tektonik. Gempa yang diakibatkan aktivitas gunung berapi disebut gempa vulkanis. Gempa yang diakibatkan longsor atau ledakan disebut gempa terban. (Sri Murni Dewi, 2009)beton.

Diantara beberapa jenis gempa, gempa tektonik adalah gempa yang paling luas dan besar pengaruhnya. Gempa ini terjadi akibat letupan atau pelepasan energi regangan akibat pergesekan antara lempeng bumi. Besar energi yang dilepaskan mempengaruhi besarnya magnitude gempa yang ditimbulkan.

Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan yang di desain tahan gempa harus memiliki beberapa criteria meliputi kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur (keruntuhan). Konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut :

1. Saat diterpa gempa dengan skala ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan (*servicable*) sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.
2. Saat diterpa gempa dengan skala medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Saat diterpa gempa dengan skala besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap (Iswandi Imran & Fajar Hendrik , 2013).

Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons

Konsep spektrum respons gempa bumi, yaitu untuk melihat karakteristik dari gerakan tanah dan efeknya terhadap struktur. Spektrum respons gempa bumi merupakan plot respons maksimum dari semua sistem berderajat tunggal yang mungkin terhadap gerakan tanah tertentu. Selain itu, spektrum respons bisa juga digunakan sebagai pendekatan dinamik pada struktur khususnya perencanaan bangunan tahan gempa dan perhitungan gaya lateral dalam peraturan perencanaan.

Secara umum ada tiga jenis respons spektrum tergantung pada jenis respons yang digunakan, yaitu:

1. Spektrum respons perpindahan (*deformation response spectrum*) Spektrum respons perpindahan u_0 adalah plot perpindahan terhadap waktu getar alami T_n untuk ζ_n tertentu.
2. Spektrum respons kecepatan semu (*pseudo-velocity response spectrum*) Spektrum respons kecepatan semu \dot{u}_0 adalah plot kecepatan terhadap waktu getar alami T_n untuk ζ_n tertentu.
3. Spektrum respons percepatan semu (*pseudo-acceleration response spectrum*) Spektrum respons percepatan semu adalah plot percepatan terhadap waktu getar alami T_n untuk ζ_n tertentu.

Absis dari spektrum adalah waktu getar alami dari sistem dan ordinat adalah respons maksimum. Pada analisis ini dihasilkan *base shear* dan *displacement* maksimum yang terjadi baik dalam arah sumbu X maupun sumbu Y pada struktur bangunan gedung yang dianalisis.

Analisis Statik Non-Linear Pushover

Merupakan suatu *performance based design* yang bertujuan untuk mencari kapasitas suatu struktur. Pada dasarnya, analisis dilakukan dengan memberikan beban dalam arah lateral yang nilainya ditingkatkan berangsur-angsur (*incremental*) secara proposional pada struktur hingga mencapai target *displacement* atau mencapai mekanisme diambang keruntuhan karena terjadinya sendi plastis pada elemen balok maupun kolom. Prosedur analisisnya menjelaskan bagaimana mengidentifikasi elemen-elemen struktur yang akan mengalami kegagalan terlebih dahulu. Seiring dengan peningkatan beban akan ada elemen-elemen lain yang mengalami leleh dan deformasi *inelastic*.

1. Prosedur A

Pada prosedur ini, dilakukan dengan bantuan *spreadsheets* serta menggunakan *trial* dalam menentukan koordinat titik *ay-dy*, *api-dpi* yang akan digunakan sebagai titik performa dengan menggunakan rumusan tertentu.

Untuk merubah kurva kapasitas kedalam koordinat spektral menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S_a = \frac{v}{\alpha_1} \dots \dots \dots (1)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof}} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan :

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \frac{w_i \phi_{li}}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^N \frac{w_i \phi_{li}^2}{g} \right]} \dots \dots \dots (3)$$

$$PF_i = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{w_i \phi_{li}}{g}}{\sum_{i=1}^N \frac{w_i \phi_{li}^2}{g}} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan :

S_a : percepatan spektral (*spectral acceleration*)

S_d : perpindahan spektral (*spectral displacement*)

PF_1 : faktor partisipasi moda (*modal participation factor*) untuk moda pertama

α_1 : koefisien massa moda (*modal mass coefficient*) untuk moda pertama

ϕ_{li} : amplitudo moda (*amplitude of mode*) pertama pada level i

V : gaya geser dasar (*base shear*)

W : beban gravitasi

Δ_{roof} : perpindahan pada atap (*roof displacement*)

$\frac{w_i}{g}$: massa pada level i

2. Prosedur B

Pada prosedur ini, dilakukan dengan bantuan program sap2000 v19. *Output* yang dihasilkan dari program ini yaitu berupa titik performa (*performance point*) *base shear-displacement*, S_a - S_d , dan T_{eff} - B_{eff} .

Kurva *demand* berdasarkan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 diplotkan pada program dan kemudian menghasilkan titik performa saat berpotongan dengan kurva kapasitas dari analisis *pushover* yang dijalankan.

Selain menghasilkan titik performa, pada prosedur ini juga didapat urutan terjadinya sendi plastis pada struktur bangunan. Hal tersebut saat berguna untuk mengontrol bagian tertentu yang sangat lemah dan kemudian diharapkan akan direncanakan lebih baik agar struktur bangunan memiliki daya tahan yang lebih kuat.

METODE PENELITIAN

Data Teknis Bangunan Gedung

Gedung yang dianalisis yaitu gedung Fakultas Ilmu Sosial dan Politik (FISIP) Universitas Brawijaya yang terletak di Jalan Veteran Kota Malang memiliki 8 lantai dengan luas $\pm 1212 \text{ m}^2$ dan tinggi mencapai 29.4 m (tanpa atap).

Faktor keutamaan gedung untuk SNI 1726-2002 (I) yaitu 1, sedangkan faktor keutamaan gedung untuk SNI 1726-2012 (I) yaitu 1.5.

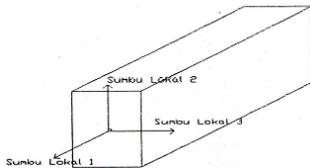
Analisis Struktur dengan Software SAP2000

Struktur akan dimodelkan secara tiga dimensi dengan beban gempa 2 (dua) arah, 100% beban pada sumbu lemah/ searah sumbu y dan 30% beban pada sumbu kuat/ searah sumbu x. Analisis yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Fakultas Ilmu Sosial Politik Universitas Brawijaya adalah analisis statik non-linier *pushover* dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 v19. Analisis ini akan mengacu pada peraturan ATC-40.

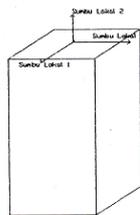
A. Input data struktur

Model struktur 3 dimensi sesuai dengan spesifikasi yang dipakai pada struktur tersebut. Struktur menggunakan perletakan jepit dengan *properties* balok dan kolom. Idealisasi elemen struktur sebagai berikut:

1. Sistem koordinat global adalah sebuah koordinat 3 dimensi, memenuhi aturan tangan kanan dan *rectangular*. Tiga sumbunya dinyatakan dalam X, Y, dan Z yang saling tegak lurus dan memenuhi aturan tangan kanan. SAP2000 selalu mengasumsikan sebagai sumbu vertikal dengan Z ke arah atas, sedangkan bidang X-Y adalah horisontal.
2. Tiap – tiap bagian (*joint, element, constrain*) model struktur memiliki koordinat lokalnya sendiri untuk mendefinisikan *properties*, beban dan respon untuk bagiannya. Sumbu dari sistem koordinat lokal dinyatakan dengan sumbu 1,2 dan 3. Dalam analisis ini sumbu lokal *joint, equal constrain*. Sumbu lokal untuk elemen, sumbu 1 arahnya aksial, sumbu 2 arahnya keatas (Z) kecuali jika elemen itu vertikal (kolom) maka sumbu 2 searah -X. Bidang lokal 1 – 2 adalah vertikal. Sumbu 3 arahnya horisontal.
- 3.



Gambar 1. Posisi sumbu lokal dari balok struktur



Gambar 2. Posisi sumbu lokal dari kolom struktur

4. Elemen balok pada portal diasumsikan tidak terjadi leleh karena aksial. Leleh pada balok hanya karena momen terhadap sumbu lokal 3. Batasan kondisi plastis diberikan berdasarkan momen leleh pada balok.
5. Elemen kolom pada portal diasumsikan terjadi interaksi aksial dan momen pada kolom. Batasan kondisi lastis kolom didasarkan kurva P – M.
6. Struktur yang dianalisis diasumsikan mempunyai pelat lantai yang kaku (*rigid floor*), karena itu bangunan akan bergerak bersamaan saat dikenai gempa. Batasan ini dalam program SAP2000 diberikan melalui

data blok *constrain* dengan tipe *equal*. *Equal constraint* dapat diberikan pada 6 dof (*degree of freedom*) dari masing – masing *joint*. Dalam analisis ini semua *joint* pada lantai yang sama diberi *constraint* dalam arah sumbu global X.

7. Elemen – elemen portal dimodelkan sebagai garis – garis yang berhubungan pada *joint*. Dalam kenyataan elemen struktur seperti balok dan kolom memiliki dimensi yang secara berpotongan dan pengaruhnya terkadang cukup berarti terhadap kekakuan struktur secara keseluruhan. Dalam SAP2000 keadaan berpotongan antara balok – kolom ini dapat dimodelkan dengan memerikan 2 *end offset* untuk tiap elemen menggunakan parameter i_{off} dan j_{off} yang terkait dengan ujung i dan j dari elemen portal.

B. Input *pushover analysis*

Dalam program SAP2000, input untuk analisis *pushover* dilakukan menggunakan prosedur B. Adapun idealisasi struktur untuk analisis *pushover* pada SAP2000 adalah sebagai berikut:

1. Tipe *hinge properties* yang dipakai untuk balok adalah momen M3, yang berarti sendi plastis terjadi hanya karena momen searah sumbu lokal 3.
2. Pada analisis *pushover* dari SAP2000 untuk memasukan nilai batasan momen leleh balok ada 2 pilihan yaitu nilai batas momen leleh positif dan momen leleh negatif.
3. Tipe *hinge properties* untuk kolom bawah adalah P-M-M yang artinya sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial dan momen. Kekuatan kolom dimasukkan dalam bentuk kurva P-M.
4. Beban untuk analisis statik *pushover* adalah berupa beban *joint* dalam arah lateral yang diberikan dipusat massa masing–masing lantai, oleh karena itu pada *static pushover* dipilih *push to load level defined by pattern*.
5. Efek non – linear dari geometri struktur pada analisis *pushover* diberikan melalui efek P – Δ .
6. Metode perhitungan yang dipilih untuk dilakukan jika terjadi sendi plastis adalah *apply local redistribution*.
7. Panjang sendi plastis pada analisis *pushover* hanya dapat dinyatakan sebagai panjang relatif 0 dan 1, yang berarti sendi plastis terletak di *joint – joint* pertemuan balok dan kolom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Periode dan Frekuensi

Hasil periode dan frekuensi yang didapat dengan bantuan program SAP2000 v19 sebagai berikut:

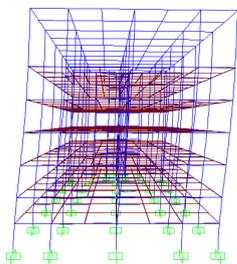
Tabel 1
Perbandingan Periode dan Frekuensi Struktur Bangunan

Pola Getar	Periode (detik)	Frekuensi
1	1.13441	0.88151
2	1.03304	0.96802
3	0.89882	1.11258
4	0.37349	2.67746
5	0.3321	3.01113
6	0.29027	3.44503
7	0.2307	4.33464
8	0.20771	4.81429
9	0.1928	5.18671
10	0.18898	5.29145
11	0.17574	5.69038
12	0.16499	6.0611

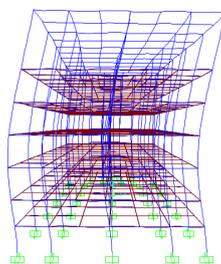
Dari nilai periode yang dihasilkan melalui program sap2000 v19 didapat nilai periode atau waktu getar alami dengan selisih setiap periode nilainya kurang dari 15%. Karena hal tersebut maka metode yang dilakukan yaitu dengan *Complete Quadratic Combination* atau CQC.

Pola Ragam Getar (*Mode Shape*)

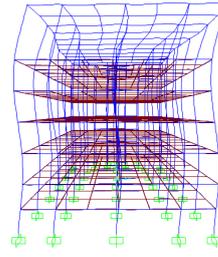
Pada setiap gambar *mode shape* selain perbedaan besarnya nilai periode dan frekuensi yang terjadi pada struktur gedung yang dianalisis, semakin tinggi urutan *mode shape* yang terjadi pada struktur bangunan maka semakin banyak perubahan simpangan yang terjadi. Perbandingan *mode shape* yang ditampilkan untuk arah translasi searah sumbu Y sebagai berikut.



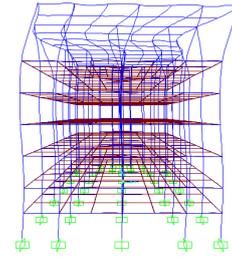
Gambar 3.
Mode Shape 1



Gambar 4.
Mode Shape 4



Gambar 5.
Mode Shape 7



Gambar 6.
Mode Shape 10

Rasio Partisipasi Massa

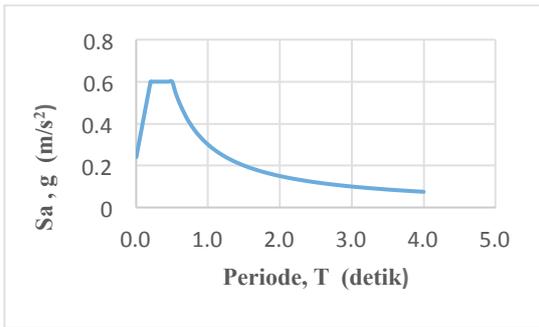
Tabel 2
Perbandingan Rasio Partisipasi Massa

Mode	Periode	SumUX	SumUY
1	1.134	0.0001	0.699
2	1.033	0.755	0.700
3	0.899	0.756	0.755
4	0.373	0.756	0.847
5	0.332	0.871	0.847
6	0.290	0.871	0.868
7	0.231	0.871	0.893
8	0.208	0.871	0.904
9	0.193	0.924	0.904
10	0.189	0.925	0.912
11	0.176	0.925	0.912
12	0.165	0.925	0.924

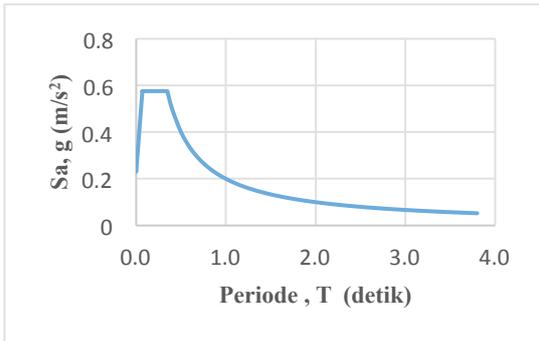
Dengan menggunakan 12 pola ragam, didapatkan hasil bahwa untuk arah sumbu X pada pola getar ke-9 menunjukkan partisipasi massa sebesar 92.4%, lalu untuk arah sumbu Y pada pola getar ke-8 menunjukkan partisipasi massa sebesar 90.4%. Hal ini menunjukkan bahwa struktur berperilaku baik dan memenuhi persyaratan partisipasi massa sesuai dengan SNI 1726-2012, sehingga struktur dapat digunakan menjadi objek analisis gempa.

Analisis Dinamik Respons Spektrum

Karena pada analisis ini membandingkan kedua peraturan yaitu yang berdasarkan pada SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012, maka terdapat 2 respons spektrum yang dihasilkan untuk daerah tempat analisis dilakukan. Hal ini dapat dilihat pada gambar kurva dibawah ini.



Gambar 7. Respons Spektrum SNI 1726-2002



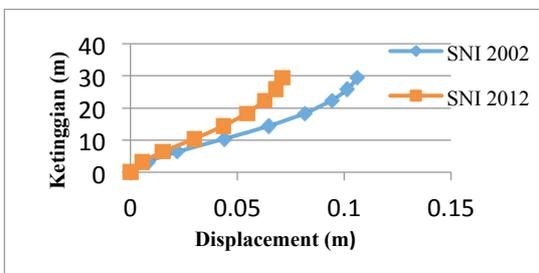
Gambar 8. Respons Spektrum SNI 1726-2012

Setelah kurva respons spektrum di setiap peraturan di *input* pada SAP2000 v19, maka didapat hasil gaya gempa dasar seperti berikut ini:

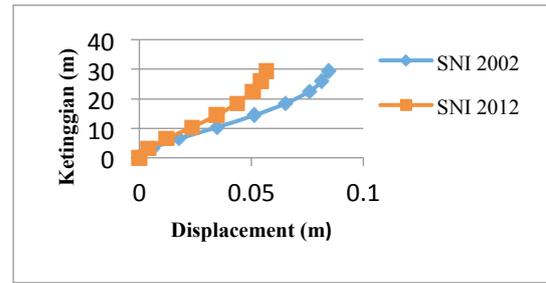
Tabel 3
Gaya Gempa Dasar

Peraturan	Vx (kg)	Vy (kg)
SNI-1726-2002	1.918.618,73	1.646.556,86
SNI-1726-2012	1.353.712,72	1.147.584,64

Dari gaya gempa yang dihasilkan pada setiap peraturan menyebabkan terjadinya simpangan antar lantai pada struktur bangunan tersebut. Besarnya simpangan berbanding lurus dengan besarnya gaya gempa dasar yang dihasilkan pada setiap peraturan. Untuk hasil perbandingan simpangan baik arah X maupun arah Y dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 9. Perbandingan simpangan antar lantai arah X



Gambar 10. Perbandingan simpangan antar lantai arah Y

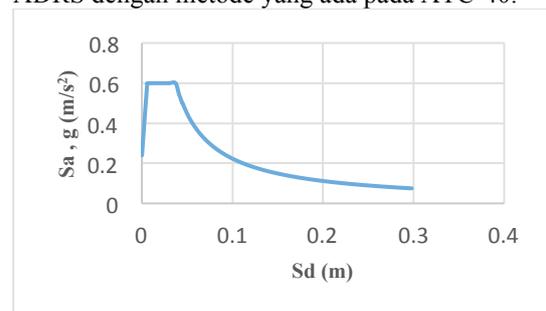
Static Non-Linear Pushover Analysis

Langkah pertama pada analisis ini adalah dengan menentukan kurva kapasitas. Kurva kapasitas (*Capacity curve*) adalah kurva yang menggambarkan kapasitas struktur yang diberi beban lateral lalu diberikan beban terpusat pada atap yang ditingkatkan secara bertahap sampai kepada batasan deformasi yang ditetapkan. *Capacity curve* diperoleh dengan mengkonversi kurva *displacement-base shear* menjadi kurva ADRS.

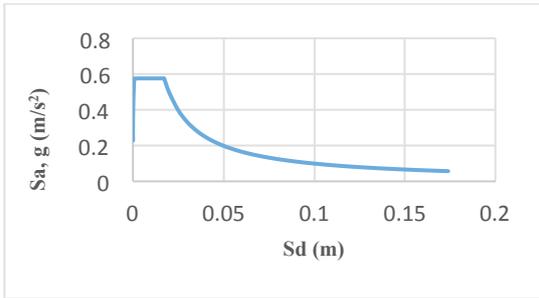
Tabel 4.
Data *Capacity Curve*

Step	Displacement m	Base Force Kgf	Sa g	Sd m
0	0.000043	0	0	0.00003
1	0.011962	289842.79	0.045541	0.00781
2	0.093509	2181879.54	0.342822	0.06105
3	0.146469	3407783.62	0.535438	0.09563
4	0.19308	4437788.7	0.697275	0.12606
5	0.240313	5358539.81	0.841945	0.15690
6	0.287144	6160094.16	0.967887	0.18748
7	0.333807	6807016.57	1.069533	0.21794
8	0.380164	7242622.09	1.137976	0.24821
9	0.425635	7556039.73	1.187221	0.27790
10	0.450043	7701800.68	1.210123	0.29383

Langkah selanjutnya adalah dengan mengkonversi kurva respon spektrum menurut SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012 kedalam kurva ADRS dengan metode yang ada pada ATC-40.

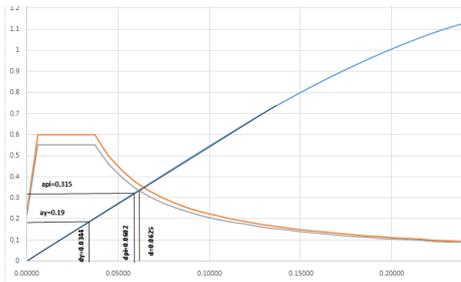


Gambar 11. Demand spectrum curve berdasarkan SNI 1726-2002

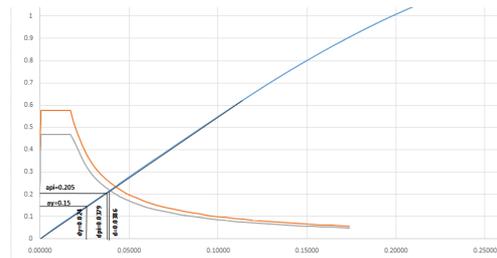


Gambar 12. Demand spectrum curve berdasarkan SNI 1726-2012

1. Prosedur A Pushover Analysis



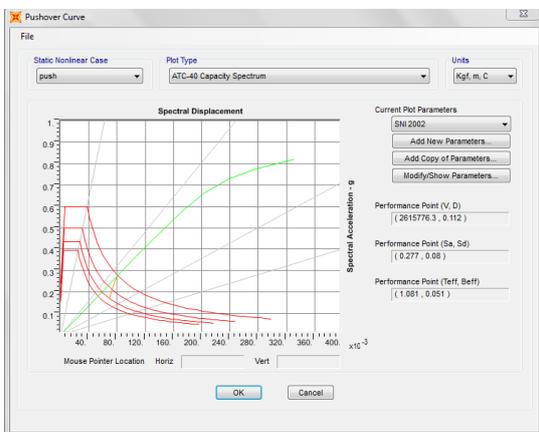
Gambar 13. Prosedur A SNI 1726-2002



Gambar 14. Prosedur A SNI 1726-2012

Titik performa pada prosedur A pushover analysis didapat nilai Sa-Sd yaitu (0.315,0.0602) untuk SNI 1726-2002 dan (0.205,0.0379) untuk SNI 1726-2012.

2. Prosedur B Pushover Analysis



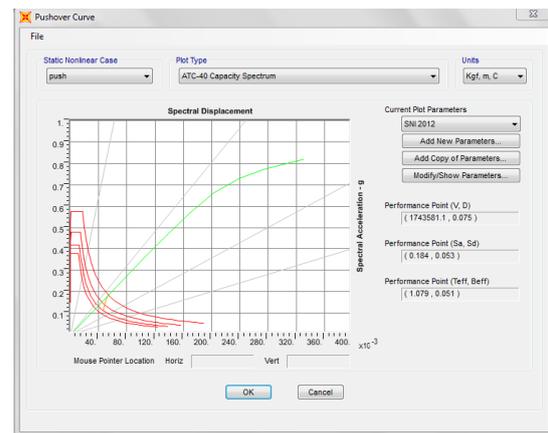
Gambar 15. Prosedur B SNI 1726-2002

Dari hasil analisis dengan menggunakan sap2000 v19 berdasarkan demand spectrum curve SNI 2002 diatas bahwa hasil performance point dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 5

Performance point berdasarkan SNI 1726-2002

V (ton), D (m)	Sa (g), Sd (m)	Teff (detik), Beff
2615,78 (ton) ; 0.112 (m)	0.277 (g) ; 0.08 (m)	1.081 (detik) ; 0.051



Gambar x. Prosedur B SNI 1726-2012

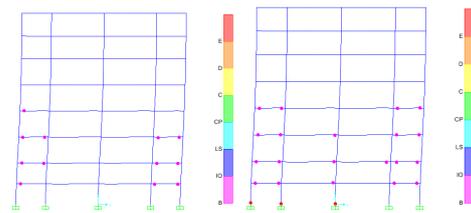
Dari hasil analisis dengan menggunakan sap2000 v19 berdasarkan demand spectrum curve SNI 2012 diatas bahwa hasil performance point dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 6.

Performance point berdasarkan SNI 1726-2002

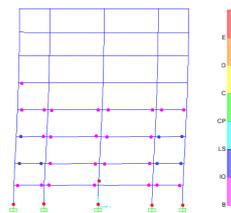
V (ton), D (m)	Sa (g), Sd (m)	Teff (detik), Beff
1743,58 (ton) ; 0.075 (m)	0.184 (g) ; 0.053 (m)	1.079 (detik) ; 0.051

Sendi Plastis



Gambar 16. Portal sumbu Y pada step 6

Gambar 17. Portal sumbu Y pada step 7

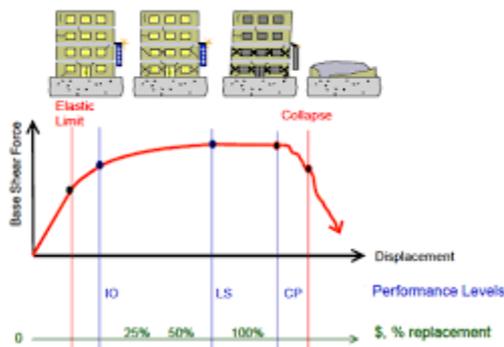


Gambar 18. Portal sumbu Y pada step 10

Sendi plastis mulai terjadi pada balok saat memasuki *step* 6, kemudian saat memasuki *step* 7 mulai terjadi sendi plastis pada kolom lantai 1 dekat tumpuan. Pada *step* 10 sendi plastis yang semula level B-IO kemudian mulai berubah level menjadi IO-LS dan terdapat sendi plastis pada semua kolom lantai 1 dekat tumpuan dan ada sendi plastis pada kolom lantai 2.

Berdasarkan keadaan struktur bangunan yang dianalisis mekanisme keruntuhan yang terjadi adalah mekanisme kelelahan pada balok (*beam sidesway mechanism*).

Penentuan Tingkat Layan Struktur Bangunan



Gambar 19. Tingkat layan struktur bangunan

Sumber : FEMA 356

Pada penentuan tingkat layan struktur bangunan berdasarkan FEMA 356 dapat dilihat dari bentuk kurva kapasitas serta kategori tingkat layannya yaitu IO, LS, dan CP.

Sedangkan penentuan tingkat layan struktur bangunan menurut ATC-40 yang digunakan pada analisis ini yaitu mengacu pada besarnya maksimum *total drift*.

Tabel 7.

Batasan rasio drift menurut ATC-40

Parameter	Performance Level			
	IO	DC	LS	SS
Maksimum total drift	0.01	0.01 s.d 0.02	0.02	0.33
Maksimum total inelastik drift	0.0005	0.005 s.d 0.015	No limit	No Limit

Sumber : ATC-40 1997 tabel 11-2

Cara menghitung maksimum *total drift* dilakukan dengan rumus berikut:

$$\text{Maksimum drift} = \frac{D}{H} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan :

D : Simpangan pada titik performa (m)

H : Tinggi bangunan (m)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian yang telah dilaksanakan, adapun kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Pola ragam getar struktur diperoleh 12 ragam, dengan perilaku yang baik yaitu pola pertama bertranslasi arah x pola kedua bertranslasi arah y dan pola ketiga berotasi arah z.
2. Waktu getar atau periode gedung yang didapat dengan program SAP2000 untuk $T_y = 1.13441$ detik dan $T_x = 1.03304$ detik sudah memenuhi syarat dan tidak melebihi batas hasil koefisien yaitu $T = 1.465512$ detik. Sehingga T_x dan T_y dapat ditetapkan sebagai waktu getar alami struktur.
3. Berdasarkan beban gempa dinamik respon spektrum menurut SNI 1726-2002 besarnya deformasi lateral yang terjadi pada struktur bangunan yaitu sebesar 0.10604 m untuk arah x dan 0.084463 m untuk arah y, sedangkan berdasarkan beban gempa dinamik respon spektrum menurut SNI 1726-2012 besarnya deformasi lateral yang terjadi pada struktur bangunan yaitu sebesar 0.07101 m untuk arah x dan 0.05646 m untuk arah y.
4. Untuk analisis dinamik, simpangan antar lantai yang terjadi dengan mengacu pada SNI 1726-2002 lebih besar dibandingkan SNI 1726-2012. Hal tersebut terjadi karena beban gempa dinamik yang dihasilkan SNI 1726-2002 lebih besar dibandingkan dengan SNI 1726-2012. Untuk analisis *pushover* menggunakan hasil *output* dari sap2000, nilai Sa-Sd yang mengacu pada SNI 1726-2002 lebih besar dibanding SNI 1726-2012.
5. Titik performa (*performance point*) dengan menggunakan respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2002 pada prosedur A nilai Sa-Sd didapat pada titik (0.315, 0.0602) sedangkan dengan prosedur B nilai Sa-Sd didapat pada titik (0.277, 0.08). Dengan menggunakan respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012 pada prosedur A nilai Sa-Sd didapat pada titik (0.205, 0.0379) sedangkan dengan prosedur B nilai Sa-Sd didapat pada titik (0.184, 0.053).
6. Berdasarkan ATC-40 1997, tingkat pelayanan gedung adalah *immediate occupancy* dengan menggunakan respon spektrum dari SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012.

SARAN

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlunya data-data struktur secara mendetail, sehingga hasil analisis dapat sesuai dengan keadaan sebenarnya
2. Perlunya pemahaman parameter-parameter yang terdapat pada SAP2000 non-linear serta referensi yang valid mengenai analisis statik non-linier *pushover* dengan menggunakan

- program SAP2000 agar dihasilkan *output* yang sesuai dengan yang diharapkan.
3. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan profil beton, serta mutu beton yang berbeda. Apakah akan mempengaruhi tingkat pelayanan dan *performance point* dari struktur
 4. Perlunya melakukan pendefinisian lebih mendetail untuk sambungan (*joint*), serta *hinge properties* agar memperoleh hasil yang lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, R. (2009). *Perbandingan Analisis Statik Dan Analisis Dinamik Pada Portal Bertingkat Banyak Sesuai Sni 03-1726-2002*. Medan: Universitas Sumatera Utara
- American Society of Civil Engineer (ASCE). (2000). *FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Virginia: ASCE.
- Applied Technology Council (ATC). (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. California: California Seismic Safety Commission.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2002). *SNI 1726:2002 Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2012). *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dewi, Sri Murni (2009) *Teknik Gempa*. Malang: Bargie Media press.
- Febriana, A. (2016). *Analisis Pushover untuk Performance Based Design (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Iswandi Imran, Fajar Hendrik. (2013). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (2010). *Desain Spektra Indonesia*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum. <http://puskim.pu.go.id/> (diakses 28 juli 2017).

