

STUDI VARIASI DIMENSI BALOK TERHADAP KINERJA STRUKTUR DENGAN ANALISIS PUSHOVER BERDASARKAN FEMA 440 DAN SNI 1726:2012

Abdul Jalal

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
abduljalal@mhs.unesa.ac.id

Balok adalah penyalur beban pelat untuk diteruskan ke kolom, sehingga balok termasuk struktur utama pada konstruksi gedung bertingkat. Cara menentukan kekuatan struktur balok dengan menganalisis luas penampang balok berupa lebar dan tinggi balok. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dimensi balok yang mencapai level kinerja kategori Life Safety.

Jenis penelitian ini merupakan penelitian teoritis berdasarkan metode FEMA 440 dan SNI 1726: 2012 dengan memperlakukan struktur yang bersifat beraturan. Struktur tersebut kemudian ditinjau dari segi variasi dimensi balok dan dilakukan pengujian pemodelan menggunakan program SAP2000 v.19 secara pushover.

Berdasarkan hasil analisis pushover target perpindahan atap struktur tipe 1, didapatkan nilai struktur 1= 0,481 m, struktur 2= 0,511 m, struktur 3= 0,551 m, struktur 4= 0,595 m, struktur 5= 0,628 m. Pada perpindahan atap struktur tipe 2 didapatkan nilai struktur 1= 0,474 m, struktur 2= 0,500 m, struktur 3= 0,535 m, struktur 4= 0,569 m, struktur 5= 0,493 m. Struktur yang menggunakan lebar balok sama dengan $\frac{1}{2}$ kali tinggi balok, kondisi life safety tercapai pada inersia balok 0,00242 m⁴ dengan lebar 0,241 meter dan tinggi 0,482 meter yang sesuai dengan tinggi balok sebesar 1/12,222 bentang balok dan struktur yang menggunakan lebar balok sama dengan $\frac{2}{3}$ kali tinggi balok, kondisi life safety tercapai pada inersia balok 0,00272 m⁴ dengan lebar 0,314 meter dan tinggi 0,470 meter yang sesuai dengan tinggi balok sebesar 1/12,755 bentang balok.

Kata Kunci: Pushover, nonlinier, Life Safety.

Abstract

A beam is a plate loader to be forwarded to a column, so the beam includes the main structure of a multilevel building construction. How to determine the strength of the beam structure by analyzing the cross-section area of the width and height of the beam. The purpose of this research is determines the dimensions of the beam that reaches the level performance of the Life Safety category.

The type of this research is a theoretical study based on the FEMA 440 and SNI 1726: 2012 methods by treating uniform structures. Then the structure is reviewed in terms of beam dimension and examination modeling use SAP2000 v.19 program by pushover.

Based on the result of pushover analysis the displacement target of the type 1 roof structure, the structural value 1 = 0.481 m, structure 2 = 0.511 m, structure 3 = 0.551 m, structure 4 = 0.595 m, structure 5 = 0,628 m. At the displacement of the roof of type 2 structure, structural value 1 = 0,474 m, structure 2 = 0,500 m, structure 3 = 0,535 m, structure 4 = 0,569 m, structure 5 = 0,493 m. The structures using the beam width is equal to $\frac{1}{2}$ times the height of the beam, the life safety condition achieve on the inertia of beam 0,00242 m⁴ with width 0,241 meter and height 0,482 meter corresponding with beam height of 1 / 12,222 beam span and structures using the same beam $\frac{2}{3}$ times the height of beam, life safety condition achieve in inertia beam 0,00272 m⁴ with width 0,314 meter and height 0,470 meter corresponding to height of beam as big as 1 / 12,755 beam span.

Keywords: Pushover, nonlinier, life safety.

Keywords: Pushover, nonlinier, base shear force.

PENDAHULUAN

Konstruksi bangunan bertingkat mempunyai beberapa komponen struktur utama yang salah satunya adalah balok. Balok adalah penyalur beban pada pelat untuk diteruskan ke kolom, sehingga balok termasuk struktur utama pada konstruksi gedung bertingkat. Dalam menentukan struktur balok kuat adalah dengan cara menganalisis dari luas penampang balok berupa lebar, tinggi, dan panjang balok.

Untuk menentukan dimensi / luas penampang balok bisa mengacu pada SNI 2847; 2013 ps1 9.5.2.2 tabel 9.5(a) yang menyatakan untuk balok kedua ujung menerus tebal minimum balok adalah $L/21$ dan tebal maksimum menurut pasal 8.12.3 (a) SNI 2847; 2013

adalah $1/12 L$, atau mengacu pada buku karangan Vis W.C and Kusuma G. (1993:104), yang menyatakan bahwa dimensi balok bisa diperkirakan dari $1/10 L - 1/15 L$ sedangkan untuk lebar balok diperkirakan dari $1/2 h - 2/3 h$. Struktur bangunan di variasikan berdasarkan dimensi balok meliputi Dimensi balok tipe 1 $S_1 = 300 \times 600$ mm, $S_2 = 275 \times 550$ mm, $S_3 = 250 \times 500$ mm, $S_4 = 230 \times 460$ mm, $S_5 = 215 \times 430$ mm, dan tipe 2 $S_1 = 400 \times 600$ mm, $S_2 = 370 \times 550$ mm, $S_3 = 340 \times 500$ mm, $S_4 = 300 \times 460$ mm, $S_5 = 290 \times 430$ mm.

Analisis konstruksi bangunan tahan gempa diatas menggunakan analisis pushover yang berdasarkan FEMA 440 dan SNI 1726 2012 yaitu analisis untuk menetapkan kondisi apa yang terjadi pada bangunan saat terjadi gempa maksimum. Analisis struktur diatas digunakan

untuk mengetahui dimensi balok yang berada pada keadaan *Life Safety* saat terjadi gempa maksimum yaitu nilai *maximum total drift*nya adalah 0,002..

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dimensi balok yang mencapai level kinerja kategori *Life Safety* berdasarkan FEMA 440 dan SNI 1726 2012.

Menurut SNI 1726; 2012, analisis beban dorong static adalah suatu analisis statis 2 dimensi atau 3 dimensi linear dan nonlinear, dimana pengaruh suatu gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban– beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur gedung , kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk elastis-plastis yang besar sampai mencapai kondisi diambang keruntuhan. Tujuan analisis beban dorong adalah mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap beban gempa rencana, yaitu memperoleh nilai faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi gempa aktual struktur, memperlihatkan kurva kapasitas , dan memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi (Pranata, 2006).

Untuk mencari target perpindahan yang terjadi pada struktur bangunan berdasarkan FEMA 440 Displacement Modification adalah,

$$\partial_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_s^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

Keterangan,

C_0 = Faktor partisipasi modal pertama .

C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan antara perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier. Untuk periode kurang dari 0,2 s, C_1 bisa diambil = 0,2. Untuk periode lebih dari 1 s, C_1 bisa diambil = 1.

C_2 = koefisien yang memperhitungkan efek pinching dari hubungan dengan deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan. Untuk periode getar kurang dari 0,2 s, nilai C_2 = 0,2 dapat dipakai. Untuk periode getar lebih dari 0,7 s, C_2 dapat dianggap sama dengan 1.

S_a = akselerasi puncak respons spektrum berkorespondensi periode getar efektif. (m/s^2).

T_e = periode getar alami efektif (s).

g = percepatan gravitasi ($9,8 m/s^2$).

Dan dengan,

$$R = S_a C_m W / V_y \quad (2)$$

Keterangan,

V_y = gaya geser dasar saat leleh, didapatkan dari idealisasi kurva pushover menjadi kurva bilinear (kN).

W = total beban mati dan beban hidup tereduksi.

C_m = faktor massa efektif.

S_a = akselerasi puncak respons spektrum yang berkorespondensi dengan periode getar efektif (m/s^2).

Perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja (performance based seismic design) mulai populer sejak diterbitkan dokumen Vision 2000 dan NEHRP yang didefinisikan sebagai strategi perencanaan, pelaksanaan dan perawatan/perkuatan sedemikian agar suatu bangunan mampu berkinerja pada kondisi gempa yang ditetapkan, yang diukur besarnya kerusakan dan dampak perbaikan yang diperlukan (Dewobroto, 2006:7).

Menghitung kondisi life safety pada gedung ;

$$\text{Maximum total drift} = \partial_T / H \quad (3)$$

Keterangan:

∂_T = Perpindahan atap pada saat Demand Spectrum berada di wilayah Surabaya(m)

H = Tinggi struktur bangunan

Tabel 1.0 Batas Rasio Perpindahan Atap

	Performance Level			
	IO	Damage Control	Life Safety	Struktural Stability
Interstory Drift Limit				
Maximum Total Drift	0.01	0.01 – 0.02	0.02	0.33 V_i/P_i
Maximum Inelastic Drift	0.005	0.005- 0.015	No Limit	No Limit

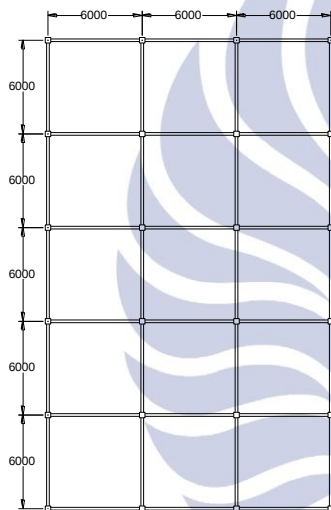
(Sumber : ATC 40)

METODE

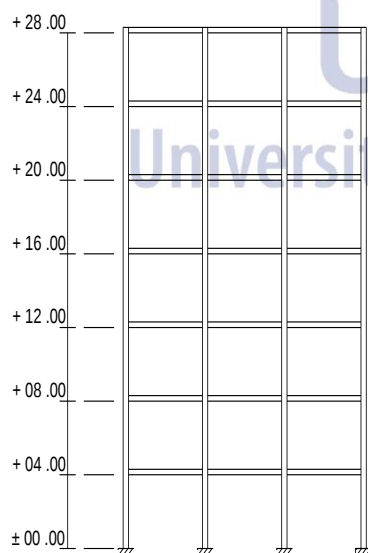
Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data penelitian. Struktur bangunan yang digunakan dalam penelitian terdiri dari 8 lantai. Berikut adalah data struktur bangunan gedung yang digunakan dalam penelitian:
 - a. Jenis struktur = beton bertulang
 - b. Fungsi gedung = perkantoran
 - c. Lokasi gedung = Surabaya

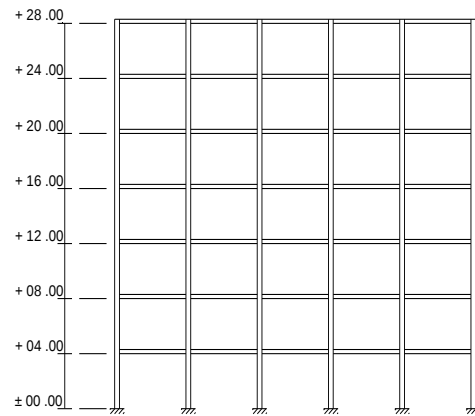
- d. Kelas situs tanah = tanah lunak(SE)
- e. Jumlah lantai = 7 lantai
- f. Tinggi (H) = 28 meter
- g. Lebar (X) = 18 meter
- h. Panjang (Y) = 30 meter
- i. Tinggi tiap lantai = 4 meter
- j. Mutu beton (f_c') = 30 MPa
- k. Mutu tulangan = 240 MPa (sengkan)
= 400 MPa (*longitudinal*)
- l. Ukuran kolom = 600 mm x 600 mm
- m. Tebal pelat = 140 mm
- n. Dimensi balok tipe 1 $S_1 = 300 \times 600$ mm, $S_2 = 275 \times 550$ mm, $S_3 = 250 \times 500$ mm, $S_4 = 230 \times 460$ mm, $S_5 = 215 \times 430$ mm, dan tipe 2 $S_1 = 400 \times 600$ mm, $S_2 = 370 \times 550$ mm, $S_3 = 340 \times 500$ mm, $S_4 = 300 \times 460$ mm, $S_5 = 290 \times 430$ mm.



Gambar 1. Denah struktur tipe 1 dan tipe 2



Gambar 2. Lebar bangunan tipe 1 dan tipe 2



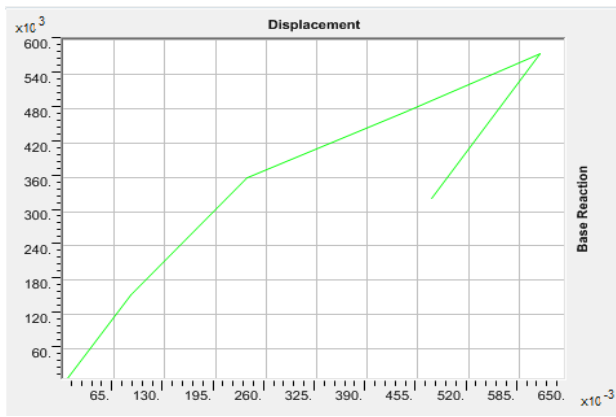
Gambar 3. Panjang bangunan tipe 1 dan tipe 2

2. Memodelkan Struktur 3 dimensi dalam SAP2000 versi 19 dengan sumbu global X, Y dan Z.
3. Menghitung dan memasukkan beban tambahan struktur, yaitu beban mati dan beban hidup.
4. Menghitung dan memasukkan gaya lateral gempa statik ekuivalen rencana sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 .
5. Respon spektrum desain kota Surabaya dengan kelas situs tanah SE (tanah lunak) sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012 pada SAP2000.
6. Pembebanan nonlinier *pushover*, yaitu dari pembebanan gravitasi (beban hidup dan beban mati) nonlinier dan pembebanan lateral nonlinier dari gaya lateral gempa statik ekuivalen yang telah didistribusikan ke dalam struktur.
7. Menentukan target perpindahan untuk pembebanan nonlinier *pushover*.
8. Hasil analisis *pushover* dengan SAP2000 berupa kurva kapasitas dan target perpindahan berdasarkan FEMA 440 *displacement modification*.
9. Menentukan nilai *maximum total drift* pada masing-masing struktur.
10. Membuat kurva yang terbentuk oleh hubungan antara *maximum total drift* dengan inersia balok.
11. Membuat titik perpotongan antara kurva yang terbentuk dengan nilai *maximum total drift* pada kondisi life safety untuk mengetahui inersia balok yang berada dalam kondisi life safety.
12. Melakukan perhitungan pada inersia balok pada kondisi *life safety* untuk menentukan dimensi balok nya.
13. Simpulan

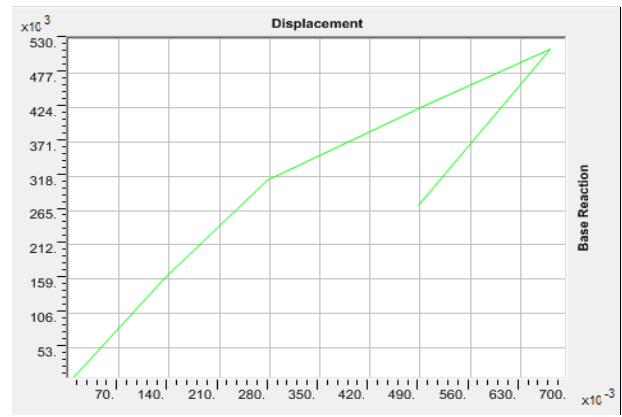
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Kapasitas dan Target Perpindahan

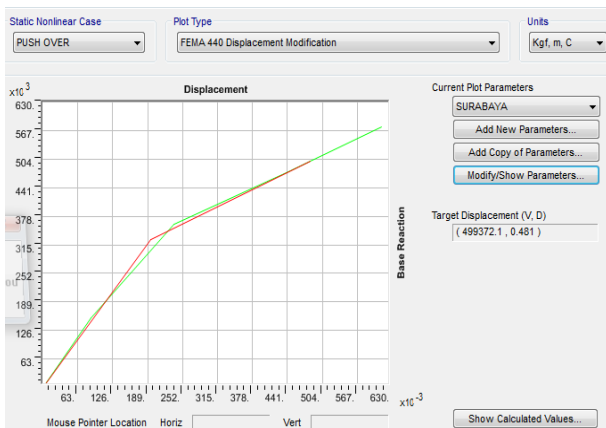
Hasil analisis *pushover* dengan SAP2000 didapatkan kurva kapasitas sebagai berikut:



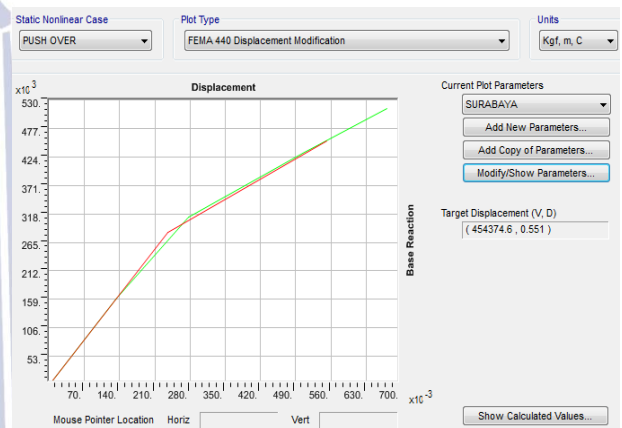
Gambar 4. Kurva Kapasitas Struktur 1 tipe 1



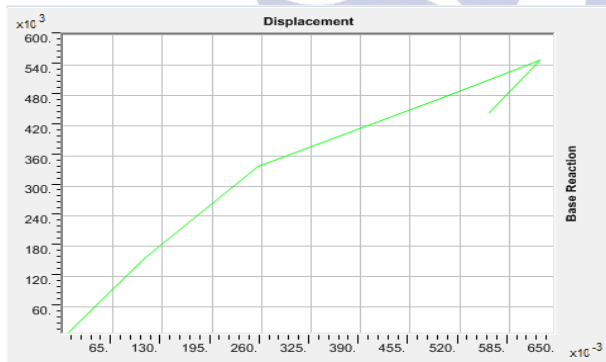
Gambar 8. Kurva Kapasitas Struktur 3 tipe 1



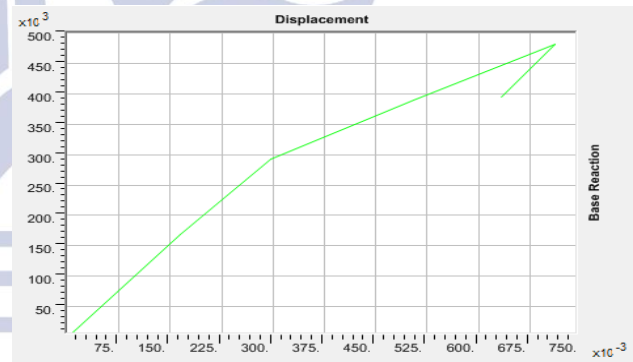
Gambar 5. Target Perpindahan Struktur 1 Tipe 1



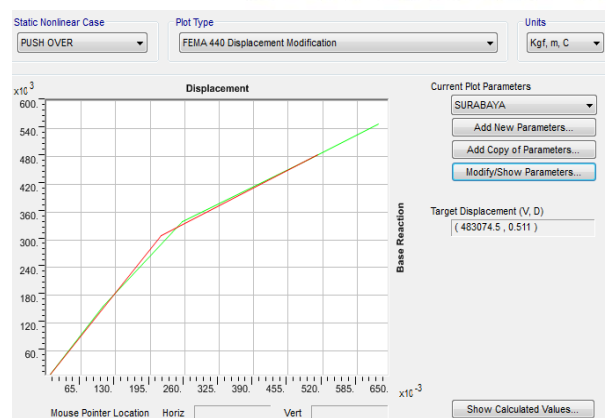
Gambar 9. Target Perpindahan Struktur 3 Tipe 1



Gambar 6. Kurva Kapasitas Struktur 2 tipe 1



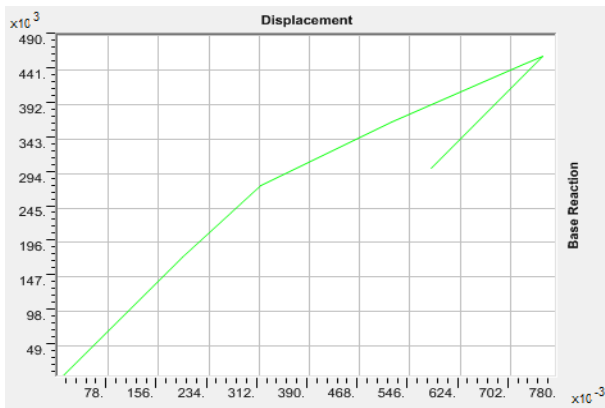
Gambar 10. Kurva Kapasitas Struktur 4 tipe 1



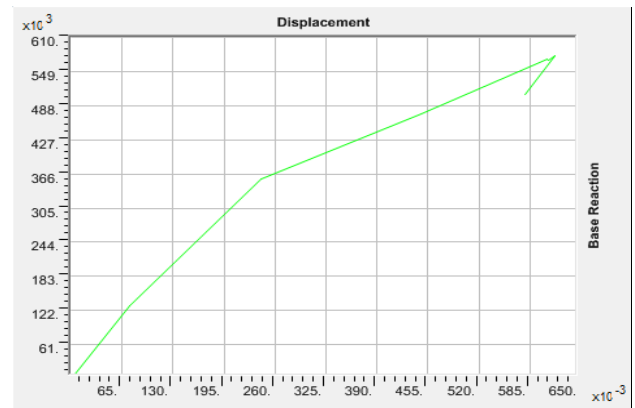
Gambar 7. Target Perpindahan Struktur 2 Tipe 1



Gambar 11. Target Perpindahan Struktur 4 Tipe 1



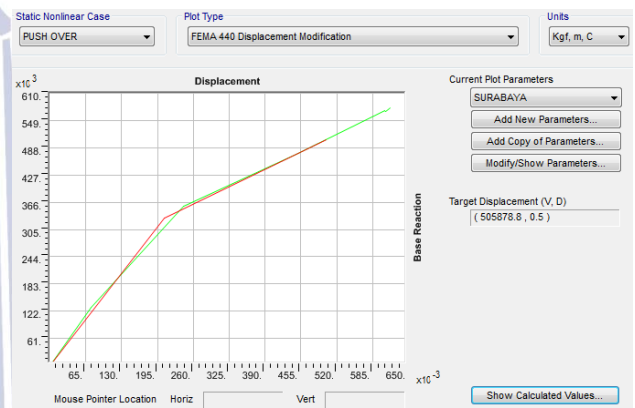
Gambar 12. Kurva Kapasitas Struktur 5 tipe 1



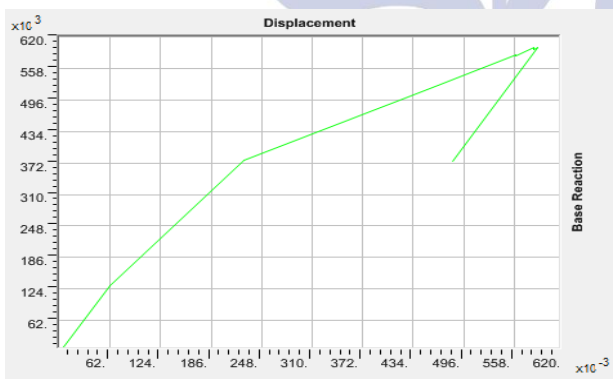
Gambar 16. Kurva Kapasitas Struktur 2 tipe 2



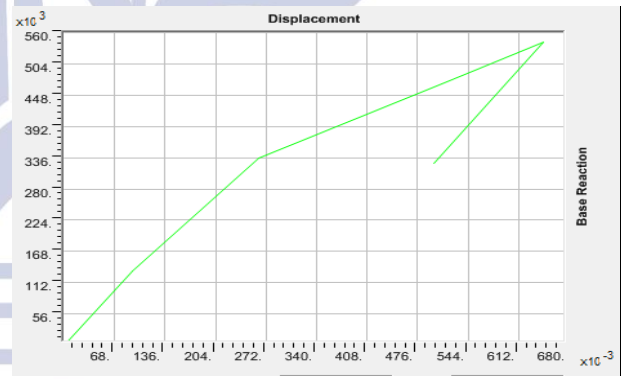
Gambar 13. Target Perpindahan Struktur 5 Tipe 1



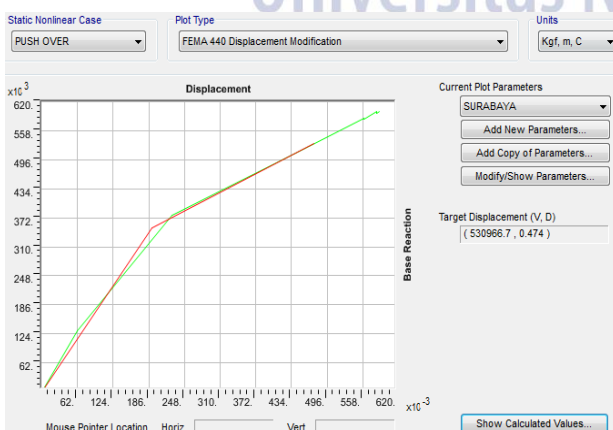
Gambar 17. Target Perpindahan Struktur 2 Tipe 2



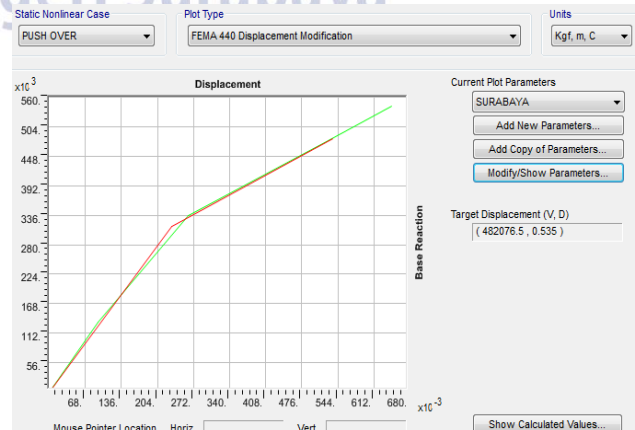
Gambar 14. Kurva Kapasitas Struktur 1 tipe 2



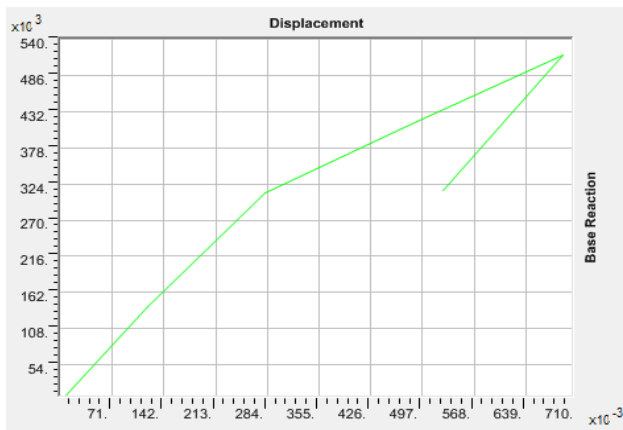
Gambar 18. Kurva Kapasitas Struktur 3 tipe 2



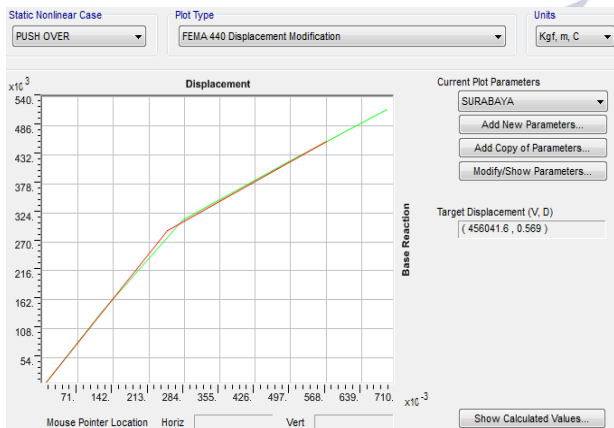
Gambar 15. Target Perpindahan Struktur 1 Tipe 2



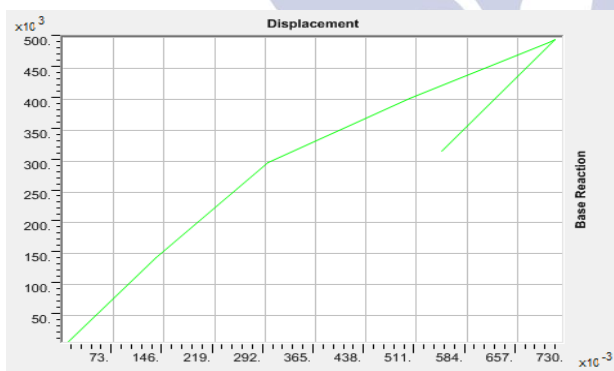
Gambar 19. Target Perpindahan Struktur 3 Tipe 2



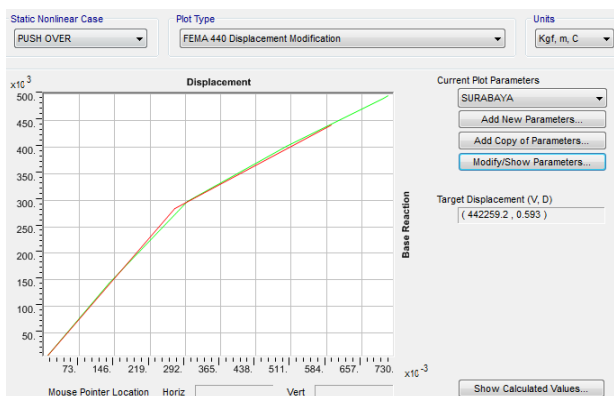
Gambar 20. Kurva Kapasitas Struktur 4 tipe 2



Gambar 21. Target Perpindahan Struktur 4 Tipe 2



Gambar 22. Kurva Kapasitas Struktur 5 tipe 2



Gambar 23. Target Perpindahan Struktur 5 Tipe 2

Maximum Total Drift

Target Perpindahan Atap berdasarkan FEMA 440 Displacement Modification:

$$\text{Maximum Total Drift} = \frac{\delta t}{H}$$

$$\text{Maximum Inelastic Drift} = \frac{\delta t - \delta 1}{H}$$

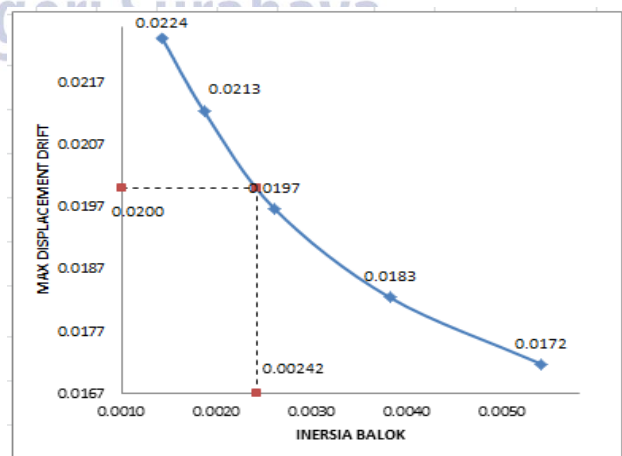
Tabel 2. Perpindahan Atap Berdasarkan FEMA 440 Displacement Modification

Tipe Struktur	Target Displacement	Tinggi gedung	Maximum Total Drift
Struktur 1 tipe 1 300 x 600 mm	0,481	28	0,0172
Struktur 2 tipe 1 275 x 550 mm	0,511	28	0,0183
Struktur 3 tipe 1 250 x 500 mm	0,551	28	0,0191
Struktur 4 tipe 1 230 x 460 mm	0,595	28	0,213
Struktur 5 tipe 1 215 x 430 mm	0,628	28	0,0224
Struktur 1 tipe 2 400 x 600 mm	0,474	28	0,0169
Struktur 2 tipe 2 370 x 550 mm	0,500	28	0,0179
Struktur 3 tipe 2 340 x 500 mm	0,535	28	0,0191
Struktur 4 tipe 2 300 x 460 mm	0,569	28	0,0203
Struktur 5 tipe 2 290 x 430 mm	0,593	28	0,0212

Hasil analisis pushover dengan metoda FEMA 440 Displacement Modification menunjukkan bahwa semua struktur tidak dalam kondisi life safety, dimana kondisi life safety terjadi ketika maximum total drift adalah 0,020.

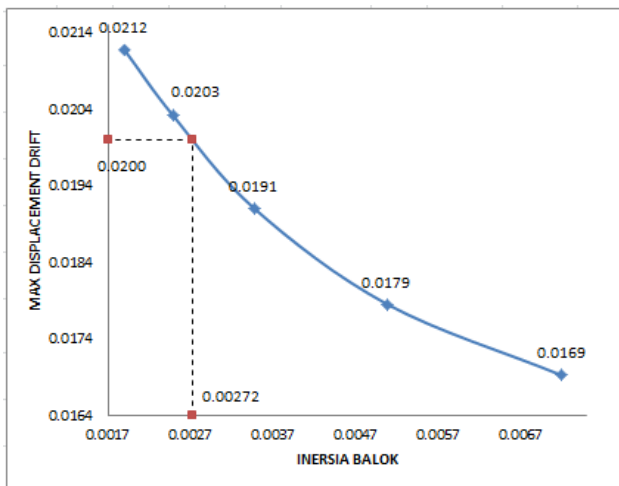
Kurva Struktur berdasarkan Maximum Total Drift

Hubungan antara Maximum Total Drift dengan Inersia Balok.



Gambar 24. Kurva Maximum Total Drift

Kurva yang terbentuk oleh hubungan antara inersia balok dengan maximum total drift. Nilai inersia balok terbentuk oleh rumus, $I = (1/12) \times ((1/2) \times h) \times h^3 = (1/24) \times h^4$, dan inersia balok mengacu pada ketinggian balok. Selain itu untuk mendapatkan nilai inersia balok yang berada pada *performance level life safety* dengan menentukan titik *maximum total drift* dengan menarik garis tengah sampai memotong kurva kemudian hasil perpotongan tersebut garis ditarik ke titik inersia balok sehingga inersia balok. Inersia balok yang dihasilkan pada kondisi life safety adalah 0,00242 m⁴ dengan tinggi balok adalah 0,491 m dan lebar balok 0,245 m.



Gambar 25. Kurva *Maximum Total Drift*

Kurva yang terbentuk oleh hubungan antara inersia balok dengan maximum total drift. Nilai inersia balok terbentuk oleh rumus, $I = (1/12) \times ((2/3) \times h) \times h^3 = (1/18) \times h^4$, dan inersia balok mengacu pada ketinggian balok. Selain itu untuk mendapatkan nilai inersia balok yang berada pada *performance level life safety* dengan menentukan titik *maximum total drift* dengan menarik garis tengah sampai memotong kurva kemudian hasil perpotongan tersebut garis ditarik ke titik inersia balok sehingga inersia balok. Inersia balok yang dihasilkan pada kondisi life safety adalah 0,00272 m⁴ dengan tinggi balok adalah 0,470 m dan lebar balok 0,314 m.

tercapai pada inersia balok 0,00272 dengan lebar 0,314 dan tinggi 0,470 meter yang sesuai dengan tinggi balok sebesar 1/12,755 bentang balok.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2012. "SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung".
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. "Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain".
- Dewobroto, Wiryanto. 2006. "Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000". Jurnal Teknik Sipil, Vol.3(1): hal 7-24
- Federal Emergency Management Agency 440. 2005. "FEMA Improvement Of Nonlinear Stati Seismic Analisis Prosedure".
- Pranata, Yolsafat Aji. 2006. "Studi Analisis Beban Dorong untuk Beton Bertulang". Jurnal Teknik Sipil, Vol. 2(1): hal 1-73.
- Vis, W.C dan Kusuma G. 1993 . "Dasar – Dasar Perencanaan Beton Bertulang". Erlangga: Jakarta

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil dari analisis *pushover* maka bisa ditarik kesimpulan :

1. Untuk struktur yang menggunakan lebar balok sama dengan ½ kali tinggi balok, kondisi *life safety* tercapai pada inersia balok 0,00242 dengan lebar 0,241 dan tinggi 0,482 meter yang sesuai dengan tinggi balok sebesar 1/12,222 bentang balok.
2. Untuk struktur yang menggunakan lebar balok sama dengan 2/3 kali tinggi balok, kondisi *life safety*