

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG
“ASRAMA MAHASISWI UGM” YOGYAKARTA
MENGUNAKAN ANALISA *PUSHOVER* SESUAI
PEDOMAN ATC-40**

*Performance Evaluation Of The Building Structure “Asrama
Mahasiswa UGM” Yogyakarta Using Pushover Analysis Within
The Guidelines of ATC-40*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Dhani Marianda
12511207**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2016**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG
"ASRAMA MAHASISWI UGM" YOGYAKARTA
MENGUNAKAN ANALISA *PUSHOVER* SESUAI
PEDOMAN ATC-40**

*Performance Evaluation Of The Building Structure "Asrama
Mahasiswa UGM" Yogyakarta Using Pushover Analysis Within
The Guidelines of ATC-40*

disusun oleh

**Dhani Marianda
12511207**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

diuji pada tanggal 16 September 2016

oleh Dewan Penguji

Pembimbing I


Dr. Ir. Harsowo, M.Sc.

Pembimbing II


Atika Ulfah Jamal, S.T., M.Eng., MT.

Penguji I


Yunalis Muntafi, S.T., M.T.

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil




Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 18 September 2016

Yang membuat pernyataan,



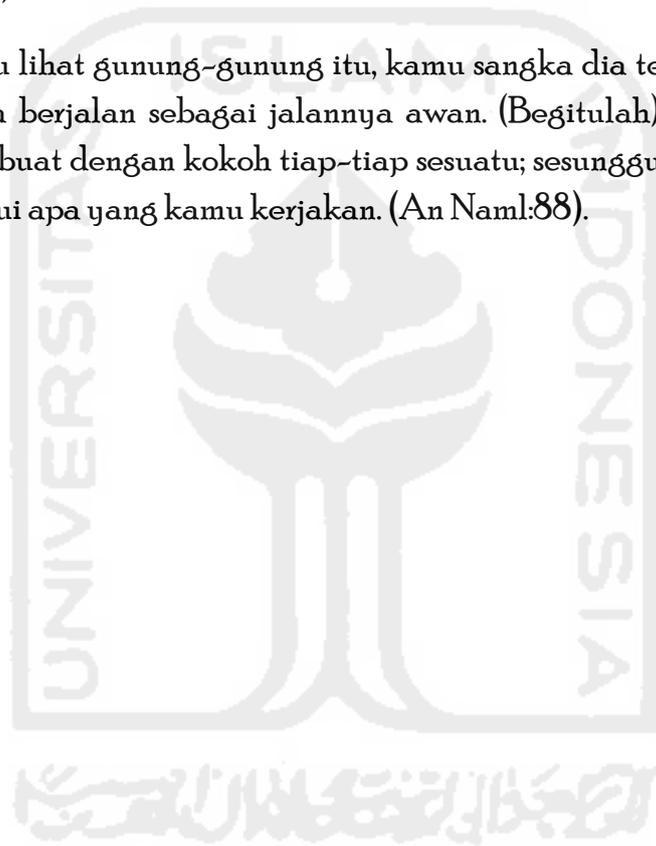
Dhani Marianda
(12511207)

MOTTO

"Setiap puncak yang baru didaki selalu mengajarkan sesuatu."

"Dan telah Kami jadikan di bumi ini gunung-gunung yang kokoh supaya bumi itu (tidak) goncang bersama mereka dan telah Kami jadikan (pula) di bumi itu jalan-jalan yang luas, agar mereka mendapat petunjuk" (QS. Al Anbiya: 31)

"Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap di tempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan. (An Naml:88).



KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum wr. wb.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan hidayah, kesempatan, dan kemudahan dalam menjalankan amanah sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul Evaluasi Kinerja Struktur Gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta Menggunakan Analisa *Pushover* Sesuai Pedoman ATC-40. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata 1 di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Atas kelancaran dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini, dengan penuh rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan yang telah diberikan selama penyusunan tugas akhir ini kepada pihak-pihak sebagai berikut:

1. Orang tua yang telah membesarkan saya, serta mendoakan saya sehingga dapat menempuh pendidikan hingga mencapai gelar S.T.
2. Bapak Dr.Ir.Harsoyo,M.Sc, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia Sekaligus Dosen Pembimbing 1 serta Penguji tugas akhir,
3. Ibu Atika Ulfah Jamal, ST,. M.Eng., MT, selaku Dosen Pembimbing 2 dan Penguji Tugas Akhir,
4. Ibu Yunalia Muntafi, ST,.MT, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir
5. Ibu Miftahul Fauziah, ST, MT, Ph.D, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
6. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
7. Kepala Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri (BPKLN) Kemendikas,
8. Koordinator Program Beasiswa Unggulan BPKLN,

9. Ibu Wiwik, selaku staff tata usaha teknik sipil UII yang banyak membantu dalam proses pendaftaran tugas akhir hingga pendadaran,
10. Teman-teman yang telah memberikan dukungan dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini,
11. Mas Faiz, selaku pengurus laboratorium komputer teknik sipil.

Penulis menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dan peningkatan tulisan ini di masa mendatang. Kritik dan saran dapat dikirim ke alamat email dhani18.marianda@gmail.com.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan berbagai pihak yang membacanya, khususnya dunia pendidikan Indonesia.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 September 2016

Penulis

Dhani Marianda

LEMBAR PERSEMBAHAN



“Allah akan meninggikan beberapa derajat orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan” (QS: Al Mujaadilah : 11)

“Barang siapa yang keluar menuntut ilmu maka sesungguhnya dia di jalan Allah SWT sampai dia kembali” (HR.Bukhari dan Mulim)

Tugas Akhir yang sederhana ini untuk :

Yang Pertama

Tugas akhir ini kutulis sebagai tanda terimakasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua yang telah membesarkanku, menyekolahkanku, dan mendoakanku hingga mencapai gelar ST, tanpa kalian mungkin aku tidak akan bisa mencapai pendidikan hingga saat ini. Mungkin tak banyak kata yang bisa ku ucapkan secara lisan, setidaknya lewat sebuah tulisan ini tersampaikan.

Yang Kedua

Dosen pembimbing tugas akhir Bapak Dr.Ir.Harsoyo,M.Sc., Ibu Atika Ulfah J. ST., MEng., MT dan dosen penguji tugas akhir Ibu Yunalia Muntafi,ST,MT yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, serta seluruh Dosen Prodi Teknik Sipil Ull yang telah banyak memberikan ilmu selama ini. InsyahAllah saya akan menggunakan ilmu-ilmu yang kalian berikan untuk bekerja nanti secara jujur, tanggung jawab dan amanah.

DAFTAR ISI

Judul	i
Lembar konsultasi	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN PENELITIAN	4
1.5 MANFAAT PENELITIAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 PENELITIAN TERDAHULU	7
2.2 RENCANA PENELITIAN	9
2.3 KEASLIAN PENELITIAN	9

BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 PROSES GEMPA BUMI	13
3.2 FILOSOFI BANGUNAN TAHAN GEMPA	14
3.3 KETENTAN UMUM PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERDASARKAN SNI 03-1726-2012	15
3.3.1 Penentuan Gempa Rencana dan Kategori Gedung	15
3.3.2 Spektrum Respons Desain	17
3.3.3 Kategori Desain Seismik	21
3.3.4 Gaya Lateral Ekuivalen	22
3.4 ANALISA GAYA GRAVITASI	25
3.4.1 Beban Mati	25
3.4.2 Beban Hidup	27
3.4.3 Beban Angin	28
3.5 ANALISA RESPON STRUKTUR	29
3.6 SENDI PLASTIS PADA STRUKTUR GEDUNG	29
3.7 <i>PERFORMANCE BASED EARTHQUAKE ENGINEERING</i> (<i>PBEE</i>)	32
3.8 ANALISA <i>PUSHOVER</i> MENGACU PADA ATC 40	33
3.8.1 Kurva Kapasitas	34
3.8.2 Redaman Ekuivalen	37
3.8.3 <i>Performance</i> Struktur	41
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	46
4.1 LOKASI PENELITIAN	46
4.2 PERALATAN DAN <i>SOFTWARE</i>	46
4.3 PROSEDUR PENELITIAN	47
4.4 DATA PENELITIAN	47
4.5 ALUR PENELITIAN	47
4.5.1 Pengumpulan Data	47
4.5.2 Pembebanan Struktur	47
4.5.3 Data Teknis	47

4.5.4 Tahapan Analisis <i>Pushover</i>	49
4.6 ANALISA STRUKTUR	51
4.6.1 Pemodelan Numerik Struktur	51
4.6.2 Pembebanan Gempa	52
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	54
5.1. PEMODELAN STRUKTUR	54
5.2. PEMBEBANAN STRUKTUR	55
5.2.1 Beban Mati	55
A Berat Sendiri Kuda-Kuda	55
B Pelat	66
C Dinding	67
5.2.2 Beban Hidup	67
5.2.3 Beban Gempa	68
A Perhitungan Berat Total Bangunan (Wt)	68
B Beban Gempa SNI 03-1726-2012	68
5.3. ANALISA BEBAN GEMPA	74
5.3.1 Analisa Beban Gempa Statik (Gaya geser dasar)	74
5.3.2 Analisa Beban Gempa Dinamik (Gaya geser dasar)	75
5.4. ANALISIS <i>PUSHOVER</i>	76
5.4.1 Pendefinisian Sendi Plastis	76
5.4.2 Gaya Lateral <i>Pushover Analysis</i>	79
5.4.3 Pembebanan Analisis <i>Pushover</i> di SAP V14	84
5.4.4 Hasil Analisis Statik Nonlinear (<i>Pushover</i>)	90
A Kurva Kapasitas	90
B Titik Kinerja Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)	92
C Posisi Sendi Plastis	96
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	99
6.1 KESIMPULAN	99
6.2 SARAN	99



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Rangkuman penelitian terdahulu dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan	10
Tabel 3.1	Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	15
Tabel 3.2	Faktor keutamaan gempa	17
Tabel 3.3	Koefisien situs F_a	19
Tabel 3.4	Koefisien situs F_v	19
Tabel 3.5	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	22
Tabel 3.6	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik	22
Tabel 3.7	Nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x	23
Tabel 3.8	Berat sendiri bahan bangunan	26
Tabel 3.9	Berat komponen gedung	26
Tabel 3.10	Beban hidup pada lantai gedung	27
Tabel 3.11	<i>Value for damping modification factor K</i>	39
Tabel 3.12	<i>Minimum allowed SR_A dan SR_V value</i>	40
Tabel 3.13	Batasan rasio <i>drift</i> atap menurut ATC-40	42
Tabel 3.14	Batasan tipe bangunan pada <i>capacity spectrum method</i>	42
Tabel 3.15	Level kinerja bangunan	43
Tabel 4.1	Penulangan pelat	48
Tabel 4.2	Penulangan balok	48
Tabel 4.3	Penulangan kolom	49
Tabel 5.1	Reaksi perletakan joint untuk berat sendiri kuda-kuda	65
Tabel 5.2	Beban dinding	67
Tabel 5.3	Berat bangunan perlantai	68

Tabel 5.4	Perhitungan distribusi gaya horizontal gempa SNI 03-1726-2012	73
Tabel 5.5	Gaya geser dasar	74
Tabel 5.6	Gaya lateral <i>pushover</i> arah x (F_x) dan arah y (F_y)	78
Tabel 5.7	Data <i>pushover curve</i> arah x dan y	88
Tabel 5.8	<i>Performance point</i> pemodelan Rusunawa UGM Putri metode ATC-40	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta zonasi gempa Indonesia	1
Gambar 1.2	Gedung fasilitas pendidikan yang runtuh akibat gempa Yogyakarta 2006	2
Gambar 3.1.	Skema pergerakan permukaan tanah	13
Gambar 3.2	S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)	17
Gambar 3.3	S_I , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R)	18
Gambar 3.4	Spektrum respons desain	21
Gambar 3.5	Penempatan gaya lateral ekuivalen	22
Gambar 3.6	Koefisien angin untuk jenis angin tertutup	28
Gambar 3.7	Respon struktur akibat gempa	29
Gambar 3.8	Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom	30
Gambar 3.9	Posisi sumbu lokal balok struktur	30
Gambar 3.10	Posisi sumbu lokal kolom struktur	31
Gambar 3.11	Posisi 0 dan 1 pada balok dan kolom	32
Gambar 3.12	Ilustrasi <i>pushover</i> dan <i>capacity curve</i>	34
Gambar 3.13	Proses konversi kurva kapasitas ke bentuk <i>capacity curve spectrum</i>	35
Gambar 3.14	Perubahan format respons spectra menjadi ADRS	36
Gambar 3.15	Penentuan <i>energy dissipated by damping</i> , Ed (ATC-40,1996)	38
Gambar 3.16	<i>Reduksi respon spectrum elastic</i> menjadi <i>demand spectrum</i>	40
Gambar 3.17	Penentuan <i>performance point</i>	41
Gambar 3.18	Kurva kriteria kinerja	44
Gambar 3.19	Ilustrasi keruntuhan gedung	45
Gambar 4.1	Lokasi penelitian	46

Gambar 4.2	Parameter <i>pushover</i> pada SAP 2000 V 14	50
Gambar 4.3	Pemodelan struktur dengan portal <i>open frame</i> 3D	51
Gambar 4.4	Tahapan Analisis <i>pushover</i>	53
Gambar 5.1	Denah struktur bangunan lantai 1	54
Gambar 5.2	Potongan bangunan tampak samping	55
Gambar 5.3	Potongan tipe kuda-kuda	56
Gambar 5.4	Koefisien angin	57
Gambar 5.5	Pemodelan struktur kuda-kuda 2D	58
Gambar 5.6	<i>Material property data</i>	59
Gambar 5.7	<i>Frames properties</i>	59
Gambar 5.8	<i>Joint restraints</i>	60
Gambar 5.9	<i>Define load patterns</i>	60
Gambar 5.10	<i>Joint forces</i>	61
Gambar 5.11	Beban mati (<i>dead load</i>) pada struktur	61
Gambar 5.12	Beban hidup (<i>live load</i>) pada struktur	62
Gambar 5.13	Beban angin (<i>wind load</i>) tekan dan hisap pada struktur	62
Gambar 5.14	<i>Frame releases</i>	63
Gambar 5.15	<i>Frame</i> setelah di <i>releases</i>	63
Gambar 5.16	<i>Steel frame design</i> Berdasarkan AISC-LRFD93	64
Gambar 5.17	<i>Set analysis option XZ plane</i>	64
Gambar 5.18	<i>Set load cases to run</i>	65
Gambar 5.19	Grafik respons spektrum berdasarkan SNI 03-1726-2012	70
Gambar 5.20	<i>Base reaction</i> akibat beban gempa statik ekuivalen	74
Gambar 5.21	Pendefenisian <i>hinge</i>	75
Gambar 5.22	Hasil pendefenisian <i>hinge</i> balok	76
Gambar 5.23	<i>Moment rotation data</i> kolom	77
Gambar 5.24	<i>P-M2-M3 interaction surface</i> pada kolom	77
Gambar 5.25	Titik penempatan beban lateral lantai 1 arah x dan y +3.2	78
Gambar 5.26	Titik penempatan beban lateral lantai 1 arah x dan y +6	79
Gambar 5.27	Titik penempatan beban lateral lantai 1 arah x dan y +8.8	79
Gambar 5.28	Titik penempatan beban lateral lantai 1 arah x dan y +11.6	79

Gambar 5.29	Titik penempatan beban lateral lantai 1 arah x dan y +14.6	80
Gambar 5.30	Titik penempatan beban lateral lantai 1 arah x dan y +15.27	80
Gambar 5.31	Titik penempatan beban lateral lantai 1 arah x dan y +16.07	80
Gambar 5.32	Pengaturan <i>analysis case</i> beban gravitasi	81
Gambar 5.33	<i>Load application control for nonlinear static analysis</i>	82
Gambar 5.34	<i>Load case data – nonlinear</i> GRAVITASI	82
Gambar 5.35	Pengaturan <i>analysis case</i> beban lateral <i>pushover</i> arah-x	83
Gambar 5.36	Pengaturan <i>load application control</i> beban lateral <i>pushover</i> Arah-x	84
Gambar 5.37	Pengaturan <i>analysis case</i> beban lateral <i>pushover</i> arah-x	84
Gambar 5.38	Pengaturan <i>nonlinear parameters</i> beban lateral <i>pushover</i> arah-x	85
Gambar 5.39	Pengaturan <i>analysis case</i> beban lateral <i>pushover</i> arah-y	85
Gambar 5.40	Pengaturan <i>load application control</i> beban lateral <i>pushover</i> arah-y	86
Gambar 5.41	Pengaturan <i>analysis case</i> beban lateral <i>pushover</i> arah-y	86
Gambar 5.42	Pengaturan <i>nonlinear parameters</i> beban lateral <i>pushover</i> arah-y	87
Gambar 5.43	Kurva <i>base shear vs displacement</i> arah-x	88
Gambar 5.44	Kurva <i>base shear vs displacement</i> arah-y	89
Gambar 5.45	<i>Performance point</i> arah X	90
Gambar 5.46	<i>Performance point</i> arah Y	91
Gambar 5.47	Sendi plastis pada balok lantai 3 Elv -0.7 m <i>pushover</i> arah x step 2	93
Gambar 5.48	Sendi plastis pada balok lantai 3 Elv +3.2 m <i>pushover</i> arah x step 2	94
Gambar 5.49	Sendi plastis pada balok lantai 3 Elv +6 m <i>pushover</i> arah x step 2	94
Gambar 5.50	Sendi plastis kolom portal A <i>pushover</i> arah x pada step 3	95
Gambar 5.51	Sendi plastis kolom portal B <i>pushover</i> arah x pada step 3	95
Gambar 5.52	Sendi plastis kolom portal B' <i>pushover</i> arah x pada step 3	95

Gambar 5.53	Sendi plastis kolom portal C <i>pushover</i> arah y pada step 3	96
Gambar 5.54	Sendi plastis kolom portal D <i>pushover</i> arah x pada step 3	96
Gambar 5.55	Sendi plastis kolom portal 1 <i>pushover</i> arah x pada step 8	97
Gambar 5.56	Sendi plastis kolom portal 2 <i>pushover</i> arah x pada step 8	97
Gambar 5.57	Sendi plastis kolom portal 3 <i>pushover</i> arah x pada step 8	97
Gambar 5.58	Sendi plastis kolom portal 4 <i>pushover</i> arah x pada step 8	98
Gambar 5.59	Sendi plastis kolom portal 5 <i>pushover</i> arah x pada step 8	98
Gambar 5.60	Sendi plastis balok TB <i>pushover</i> arah y step 1	99
Gambar 5.61	Sendi plastis kolom portal 12 <i>pushover</i> arah y pada step 6	99
Gambar 5.65	Sendi plastis kolom portal 0 <i>pushover</i> arah y pada step 6	100



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

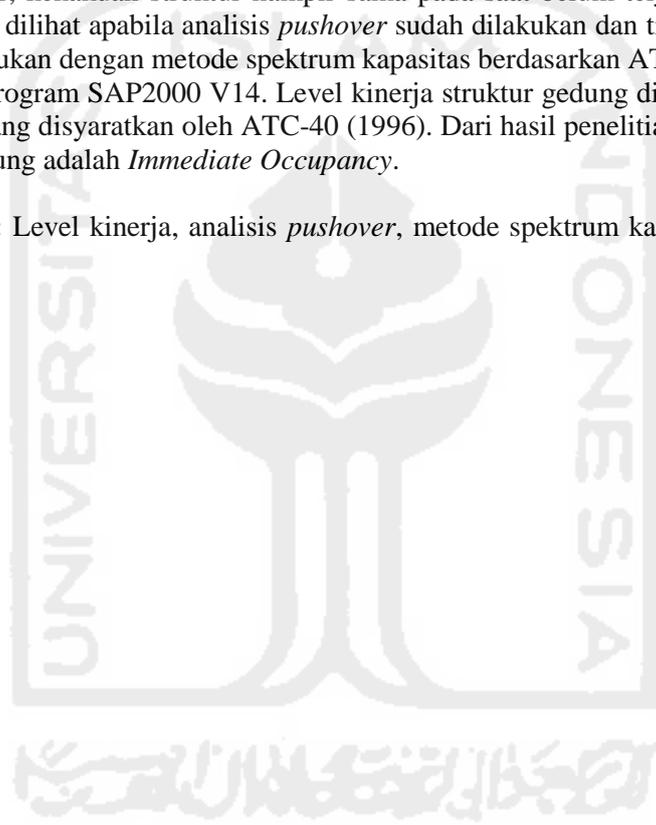
C_{r1}	Koefisien resiko terpetakan perioda respon spektral 1 detik
C_{rs}	Koefisien resiko terpetakan perioda respon spektral 0.2 detik
C_s	Koefisien respons seismik yang ditentukan
C_{vx}	Faktor distribusi vertikal (%)
E_D	Energi yang didisipasi oleh damping
E_{SO}	Energi regangan maksimum
F_a	Fungsi <i>site class</i> dan <i>mapped short-period spectral acceleration</i>
F_i	Nilai distribusi beban lateral yang terjadi pada lantai tingkat i
F_V	Fungsi <i>site class</i> dan <i>mapped short-period spectral acceleration</i>
F_x	<i>Lateral force</i> arah x
F_y	<i>Lateral force</i> arah y
g	percepatan gravitasi (dt)
H_i	Tinggi tiap lantai
I_e	Faktor keutamaan gempa
K	Eksponen yang terkait dengan perioda struktur, Halaman 24
K	Faktor modifikasi redaman, Halaman 39
R	Faktor modifikasi respons
$PF1$	<i>Modal participation</i> untuk modal pertama
S_1	Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik
S_a	<i>Spectral acceleration</i>
S_{ai}	<i>Spectral acceleration</i> pada periode ke- i
S_d	<i>Spectral displacement</i>
S_{di}	<i>Spectral displacement</i> pada periode ke- i
S_{D1}	Spektrum respon percepatan pada periode 1 detik pertama (g)
S_{Ds}	Spektrum respon percepatan pada periode pendek 0.2 detik (g)

S_{RA}	<i>Reduce of Spectrum Demand</i> untuk periode pendek atau percepatan yang konstan
S_{RV}	<i>Reduce of Spectrum Demand</i> untuk periode panjang atau kecepatan yang konstan
S_s	Percepatan batuan dasar pada periode pendek
T	Periode fundamental struktur (detik), Halaman 24
T	Waktu getar alami (detik), Halaman 36
T_{eff}	Waktu getar efektif
T_s	Waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan (detik)
V	Gaya geser dasar (KN)
W	Berat total bangunan (KN)
W_i	Berat lantai tingkat ke i
a_{pi}	Percepatan (<i>acceleration</i>) pada titik maksimum
a_y	Percepatan (<i>acceleration</i>) pada titik leleh
d_{pi}	Perpindahan (<i>acceleration</i>) pada titik maksimum
d_y	Perpindahan (<i>acceleration</i>) pada titik leleh
α_1	<i>modal mass coefficient</i> untuk mode pertama
β_{eq}	Redaman viskous efektif
β_{eq}	Redaman viskous ekuivalen
β_o	Redaman histeristik yang dipresentasikan sebagai redaman viskous ekuivalen
Δ_{roof}	Simpangan atap
δ	Perpindahan (<i>displacement</i>)
ϕ_{1l}	<i>Amplitude of firsts</i> untuk mode pertama

ABSTRAK

Dalam rangka mitigasi bencana, evaluasi kinerja struktur bangunan perlu dilakukan untuk meminimalisasi risiko yang ditimbulkan akibat gempa bumi. Dengan berpedoman pada *performance based evaluation design*, bangunan dievaluasi menggunakan analisis *pushover*. Analisis *pushover* merupakan salah satu metode evaluasi bangunan. Pada penelitian ini dievaluasi Gedung Asrama Mahasiswi UGM Yogyakarta. Tujuan dari evaluasi ini yaitu untuk mengetahui posisi sendi plastis pada bangunan dan mengetahui kinerja struktur bangunan tersebut terhadap pengaruh beban gempa. Apakah sudah sesuai dengan level kinerja *immediate Occupancy* yang artinya apabila terjadi gempa besar, terjadi kerusakan kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa. Posisi sendi plastis dapat dilihat apabila analisis *pushover* sudah dilakukan dan titik kinerja (*performance point*) ditentukan dengan metode spektrum kapasitas berdasarkan ATC-40 (1996) yang sudah ada dalam program SAP2000 V14. Level kinerja struktur gedung ditentukan melalui kriteria *drift ratio* yang disyaratkan oleh ATC-40 (1996). Dari hasil penelitian diketahui level kinerja struktur gedung adalah *Immediate Occupancy*.

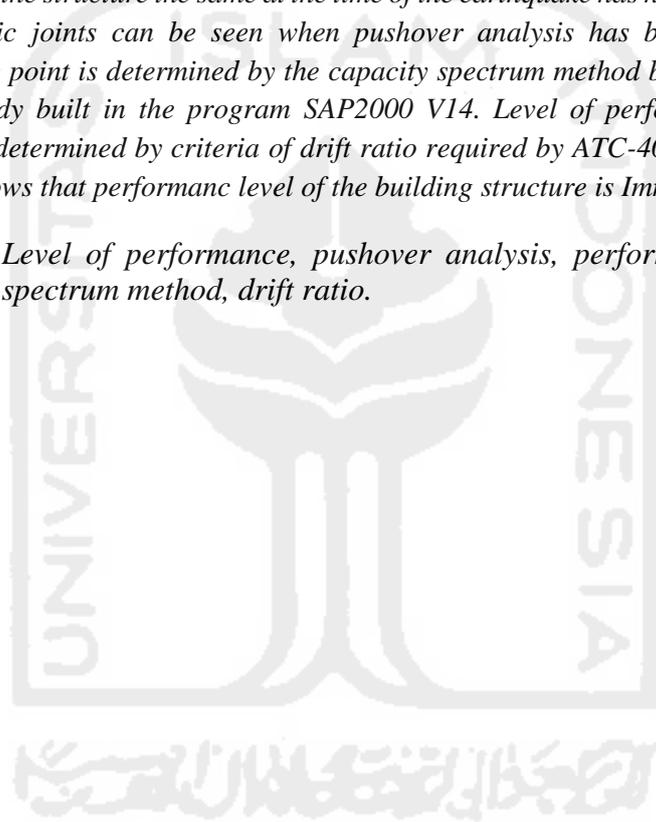
Kata kunci: Level kinerja, analisis *pushover*, metode spektrum kapasitas, *drift ratio*, sendi plastis



ABSTRACT

In order to disaster mitigation, evaluation of the performance of the structure needs to risk mitigation by earthquakes. Reference to the performance based evaluation design, a building is evaluated using pushover analysis. Pushover analysis is one of methods of evaluation of the buildings. This research concerned to evaluate of UGM Student Dormitory Building. The purpose is determine the position of plastic joints on the building and determine the performance of the building structure occure of earthquake load effects. Is it in accordance of earthquake with the Immediate Occupancy performance levels, is it minor damage effects or no means on the structure the same at the time of the earthquake has not occurred. The position of the plastic joints can be seen when pushover analysis has been conducted, and the performance point is determined by the capacity spectrum method based on ATC-40 (1996), which already built in the program SAP2000 V14. Level of performance of the building structure is determined by criteria of drift ratio required by ATC-40 (1996). Analysis of this research shows that performanc level of the building structure is Immediate Occupancy.

Keywords: *Level of performance, pushover analysis, performance point, capacity spectrum method, drift ratio.*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Bencana alam merupakan peristiwa alam yang bisa terjadi kapan saja dan dimana saja serta dalam kurun waktu yang tidak terduga. Bencana alam juga menimbulkan dampak negatif seperti kerugian material dan non material bagi kehidupan masyarakat.

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang banyak terjadi di Indonesia. Gempa bumi terjadi akibat pergeseran lempeng tektonik yang menghasilkan getaran yang merambat hingga ke permukaan tanah. Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa Pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa Asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) sehingga sangat berpotensi mengalami gempa. Peta gempa bumi Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta zonasi gempa Indonesia
(SNI-1726-2012)

Menurut peta daerah gempa bumi di Indonesia pada Gambar 1.1, Yogyakarta berada di daerah gempa yang cukup besar. Yogyakarta merupakan salah satu daerah istimewa di Indonesia yang terletak pada jalur gempa tersebut, maka ketika terjadi

gempa bumi, potensi terjadinya kerusakan bangunan cukup tinggi. Salah satu contoh, yaitu kerusakan bangunan fasilitas pendidikan akibat gempa Yogyakarta, terjadi pada tanggal 26 Mei 2006 yang dapat dilihat pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Gedung fasilitas pendidikan yang runtuh akibat gempa Yogyakarta 2006 (tephenomena.wordpress.com)

Gedung fasilitas pendidikan memiliki banyak sarana, salah satu sarannya berupa asrama yang berfungsi sebagai tempat tinggal. Gedung asrama merupakan bangunan yang memiliki penghuni yang banyak dibandingkan rumah tinggal pribadi. Penghuni asrama pada umumnya mahasiswa ataupun mahasiswi yang sedang menuntut ilmu di Yogyakarta. Salah satu gedung asrama di Yogyakarta yaitu “Asrama Mahasiswi UGM” dengan jumlah 5 lantai. Bangunan tersebut direncanakan harus tahan terhadap gempa yang berpedoman pada peraturan perencanaan bangunan tahan gempa. SNI 1726-2012 merupakan peraturan baru dalam perencanaan bangunan tahan gempa yang menggantikan peraturan lama SNI 1726-2002 dan peraturan-peraturan sebelumnya.

Perencanaan gempa pada bangunan “Asrama Mahasiswi UGM” tersebut menggunakan peraturan lama SNI 1726-2002. Evaluasi pada struktur diperlukan untuk mengetahui keamanan struktur bangunan tersebut yang disesuaikan dengan peraturan SNI terbaru yaitu SNI 03-1726-2012. Perubahan peraturan mengakibatkan perubahan

parameter desain resiko gempa, resiko gempa pada peraturan baru lebih besar dibandingkan peraturan yang lama.

Pengaruh gempa bumi terhadap struktur di analisis untuk mengetahui karakteristik gerakan gempa bumi dan karakteristik dinamik pada struktur dengan mempertimbangkan spektrum gempa bumi serta perilaku nonlinear dari struktur. Suatu bangunan mempunyai tingkat kerentanan yang berbeda dengan tingkat kinerja atau *level of performance* setelah terjadi gempa. (Yunus, 2015).

Pada saat ini, telah berkembang suatu konsep perencanaan untuk rekayasa gempa yaitu *Performance Based Earthquake Engineering* (PBEE). PBEE terbagi menjadi dua, yaitu *Performance Based Seismic Design* (PBSD) dan *Performance Based Seismic Evaluation* (PBSE). Evaluasi pada PBSE salah satunya adalah dengan analisa nonlinier *pushover*. Analisa pushover adalah analisa statik nonlinear untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan atau struktur. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan bangunan tercapai.

Dalam studi ini, bangunan gedung “Asrama Mahasiswi UGM” akan dievaluasi secara *pushover analysis*. Gedung ini merupakan salah satu gedung baru yang berada di Jalan Gambir, Pedukuhan Santren, Karang Asem, Desa Catur tunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman Yogyakarta. Gedung ini menarik dievaluasi secara *pushover analysis* karena Yogyakarta merupakan daerah rawan gempa, selain itu gedung ini memiliki tinggi 16.07 m yang memungkinkan *pushover analysis* dapat dilakukan sesuai dengan peraturan SNI 03-1726-2012.

Sesuai dengan peraturan tersebut, ATC-40, PPURG 1987, dan SNI 03-1726-2012 akan digunakan pada penelitian ini untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Pada penelitian ini, rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Dimana posisi terjadinya sendi plastis pada bangunan gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta?

2. Bagaimana level kinerja struktur bangunan gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui posisi terjadinya sendi plastis pada bangunan gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta.
2. Mengetahui level kinerja struktur bangunan gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta.

1.4 BATASAN PENELITIAN

Untuk memberikan arah dalam melaksanakan penelitian dan agar tidak terjadi pengembangan masalah menjadi kompleks, maka dilakukan pembatasan-pembatasan sebagai berikut ini.

1. Bangunan yang diteliti adalah Gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta.
2. Penelitian difokuskan pada evaluasi kinerja struktur pada kondisi *existing* terhadap bahaya bencana gempa bumi yaitu *drift ratio* dan *level performance* bangunan.
3. Pondasi dan kondisi dianggap cukup kuat.
4. Elemen Struktur
 - a. Mutu beton
 - pada kolom ($F'c$) = 28.43 MPa
 - pada balok ($F'c$) = 28.43 MPa
 - pada pelat ($F'c$) = 28.43 MPa
 - b. Mutu baja tulangan,
 - Pelat : $F_y = 390 \text{ MPa} < \phi 10 \text{ mm}$
 - Balok dan kolom : $F_y = 390 \text{ MPa} > \phi 10 \text{ mm}$
 - $F_{ys} = 240 \text{ MPa} < \phi 10 \text{ mm}$
5. Analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.
 - a. Pemodelan gedung 3 dimensi.
 - b. Tumpuan yang digunakan dalam pemodelan numerik adalah jepit.

- c. Pemodelan numerik dibuat sebagai *open frame*.
- d. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*.
- e. Plat lantai dimodelkan sebagai *shell-thin*.
- f. Memperhitungkan *shear wall*.
- g. Pembebanan yang digunakan dalam analisis sesuai pada PPURG 1987.
- h. Tidak dilakukan peninjauan redistribusi momen.
- i. Daktilitas bangunan dianggap elastik.
- j. Jumlah tingkat yang dianalisis adalah 5 tingkat dengan lantai atap.
- k. Gaya lateral yang ditinjau adalah beban gempa horizontal, beban angin diabaikan.
- l. Rangka atap tidak dimodelkan. Beban mati, hidup, dan beban angin pada atap diteruskan sebagai beban terpusat pada tumpuan kuda-kuda.
- m. Pengaruh beban angin hanya diperhitungkan pada atap.
- n. Beban atap dimodelkan sebagai beban titik pada struktur gedung.
- o. Analisis yang digunakan adalah analisis non linier pada bangunan gedung.
- p. Analisis non linier yang digunakan dalam evaluasi adalah analisis non linier static (*pushover analysis*).
- q. Analisis static *pushover* yang digunakan sesuai prosedur ATC-40 yang telah *built-in* dalam program SAP2000 V14.
- r. Analisis momen *curvature* balok dan kolom sebagai input dalam property sendi untuk mendefinisikan perilaku non linier dilakukan secara *auto* pada program SAP2000 V14 sesuai dengan FEMA 356.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diambil setelah diadakannya penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Untuk masyarakat : dapat mengetahui kerusakan apa saja yang terjadi pada bangunan gedung jika terjadi gempa, dan diharapkan mampu mencari tempat yang aman jika berada di dalam gedung saat terjadi gempa.

2. Untuk akademisi : mengetahui perilaku struktur bangunan terhadap beban gempa dengan analisis *pushover*, serta memberikan wawasan baru dalam menilai keamanan suatu bangunan gedung.
3. Untuk praktisi : hasil evaluasi dapat menjadikan acuan dalam perencanaan perbaikan, perkuatan dan rehabilitasi struktur agar struktur mampu bertahan pada saat terjadi gempa.



BA II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

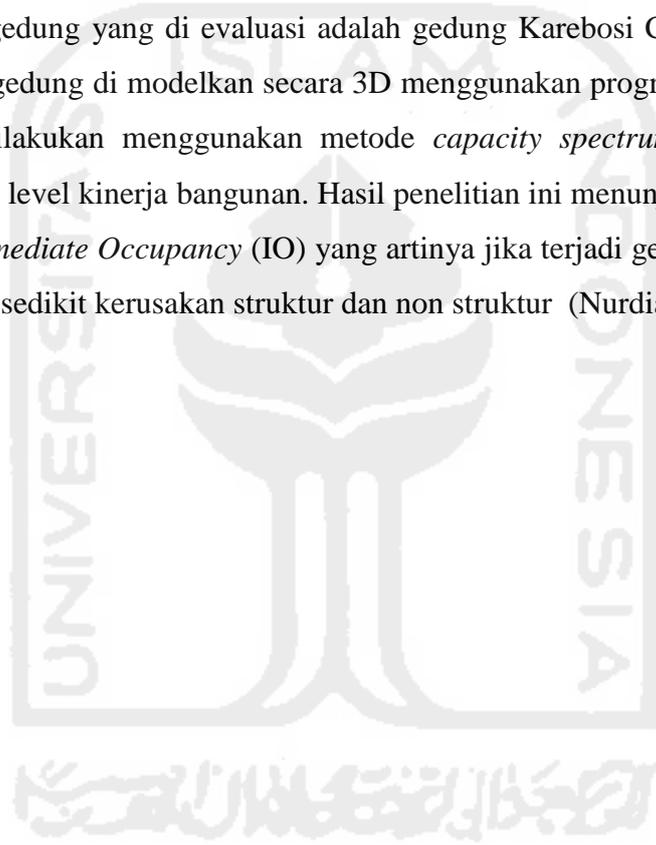
Penelitian tentang evaluasi struktur bangunan telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Di dalam studi pustaka ini hanya disajikan beberapa penelitian. Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui kinerja struktur bangunan terhadap gaya gempa dan menggunakan analisis *pushover* untuk memprediksi kinerja struktur terhadap gempa.

Penelitian tentang evaluasi struktur bangunan Gedung kuliah umum Dr.Sardjito (4 tingkat) menggunakan analisis *pushover* untuk mengetahui perilaku dan kinerja pada bangunan tersebut. Evaluasi dilakukan tiga tahap sesuai FEMA 310 (1998), yaitu tahap *screening* (tahap 1) dengan *rapid visual screening* (RVS) menurut FEMA 154 (2002) dan evaluasi lebih rinci berdasarkan FEMA 310 (1998), evaluasi tahap 2 (analisa linier) dan evaluasi tahap 3 (analisis nonlinier). Evaluasi tahap lanjutan dilakukan apabila dari tahap sebelumnya ditemukan kelemahan struktur bangunan. Evaluasi tahap 2 menggunakan beban gempa statik ekuivalen untuk prosedur statik linier dan beban respon spektrum untuk prosedur analisis dinamik. Untuk tahap 3 digunakan analisis *pushover* untuk prosedur nonlinier. Hasil evaluasi diketahui level kinerja bangunan untuk gempa 500 tahun adalah *Immediate Occupancy* (Jamal, 2011).

Analisis statik nonlinear (*pushover analysis*) dapat dilakuakn untuk mengevaluasi kinerja seismik bangunan gedung. Dalam penelitian yang dilakukan Yunalia Muntafi (2012), bangunan gedung yang di evaluasi adalah gedung kantor Dinas Pekerjaan Umum (DPU), terdiri dari empat lantai yang berlokasi di wilayah kabupaten Wonogiri. Evalauasi dilakukan menggunakan metode *capacity spectrum* (ATC 40) prosedur B untuk mengetahui level kinerja bangunan. Tahapan analisis perhitungan dilakukan dengan memberi beban lateral pada tiap lantai dan meningkatkan faktor pengalinya secara bertahap, hingga bangunan hancur atau

didapat gaya lateral maksimum. Hasil penelitian ini menunjukkan level kinerja gedung *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya jika terjadi gempa, gedung hanya mengalami sedikit kerusakan struktur dan non struktur (Muntafi, 2012).

Analisa *pushover* dilakukan untuk menganalisa perilaku inelastis struktur bangunan dengan memberikan pola beban statik yang besarnya ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Dalam Penelitian yang dilakukan Ulfa Nurdianti (2013), bangunan gedung yang di evaluasi adalah gedung Karebosi Condotel, Makassar. Bangunan gedung di modelkan secara 3D menggunakan program SAP 2000 V15. Evaluasi dilakukan menggunakan metode *capacity spectrum* (ATC-40) untuk mengetahui level kinerja bangunan. Hasil penelitian ini menunjukkan level kinerja gedung *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya jika terjadi gempa, gedung hanya mengalami sedikit kerusakan struktur dan non struktur (Nurdianti, 2013).



2.2 RENCANA PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah mengevaluasi bangunan gedung riil yaitu gedung Asrama Mahasiswi UGM Yogyakarta dengan menggunakan analisa statik nonlinear (*pushover*). Metode yang digunakan dalam analisis *pushover* mengacu pada ATC-40 prosedur A, semua analisis struktur tersebut menggunakan bantuan program komputer SAP2000 V14.

2.3 KEASLIAN PENELITIAN

Berdasarkan referensi yang ada, belakangan ini sudah banyak penelitian mengenai evaluasi kinerja gedung terhadap pengaruh gempa bumi. Penelitian tersebut meliputi analisis kinerja struktur bangunan dan pemodelannya, yaitu perilaku elemen-elemen struktur utama baik yang berbahan baja maupun beton bertulang. Pemodelan, analisis dan disain biasanya dilakukan dengan menggunakan program komputer seperti SAP2000 V14, ETABS, dan program struktur lainnya. Pada penelitian terhadap *performance level* struktur Gedung Asrama Putri Universitas Gadjah Mada belum pernah dilakukan, oleh karena itu keaslian penelitian ini dapat dijamin. Namun jika ada kesamaan atau kemiripan dengan penelitian sebelumnya, penelitian tersebut akan dijadikan referensi.

Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian terdahulu dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan

Peneliti	Tahun	Lokasi	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode/Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
Jamal Atika Ulfah	2012	Gedung Kuliah Umum Sardjito UII	Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Kuliah Umum "Prof.Dr.Sardjito" Universitas Islam Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> 1.Evaluasi struktur bangunan pada kondisi <i>existing</i> melalui <i>rapid visual screening</i> sesuai FEMA 154 dan FEMA 310 2.Evaluasi struktur bangunan terhadap bahaya gempa dengan analisis linear dan nonlinear mengacu pada FEMA 310 3.Memprediksi <i>performance level</i> gedung 4.Mengetahui daerah sendi plastis, nilai faktor daktilitas dan reduksi gempa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengumpulan data 2. Survei RVS 3. Analisis linear bangunan 4. Analisis nonlinear <i>pushover</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1.Hasil evaluasi RVS sesuai FEMA 154 (2002) diperoleh skor akhir 1.2. 2.Hasil analisis linear (FEMA 310) diperoleh nilai DCR untuk beberapa balok dan kolom lebih besar dari 2, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut dengan analisis <i>pushover</i>. 3.Hasil analisis nonlinear menggunakan analisa <i>pushover</i> dan Metode Spektru Kapasitas (ATC-40, 1996), diperoleh bahwa rasio simpangan structural yang terjadi masih lebih kecil dari batas simpangan yang disyaratkan oleh FEMA 356 dan ATC-40 untuk level Immediate Occupancy, yaitu 1%. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluasi struktur bangunan mengacu pada ATC-40 2. Fungsi bangunan berbeda 3. Evaluasi yang digunakan hanya analisa statik nonlinear <i>pushover</i> 4.Gedung yang dievaluasi berbeda

Lanjutan Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian terdahulu dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan

Peneliti	Tahun	Lokasi	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode/Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
Muntafi Yunalia	2012	Kabupaten Wonogiri	Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis <i>Pushover</i>	Mengevaluasi kinerja struktur	<p>1. Menggunakan metode <i>capacity spectrum</i> ATC-40 prosedur B untu level kinerja bangunan.</p> <p>2. Analisis dilakukan dengan memberi beban lateral tiap lantai dan meningkatkan faktor pengalinya secara bertahap.</p>	Hasil penelitian didapat level kinerja gedung <i>Immediate Occupancy</i> (IO) yang artinya jika terjadi gempa, gedung hanya mengalami sedikit kerusakan struktur dan non struktur	1. Fungsi bangunan yang digunakan berbeda.

Lanjutan Tabel 2.1 Rangkuman Penelitian terdahulu dan perbedaan penelitian yang akan dilakukan

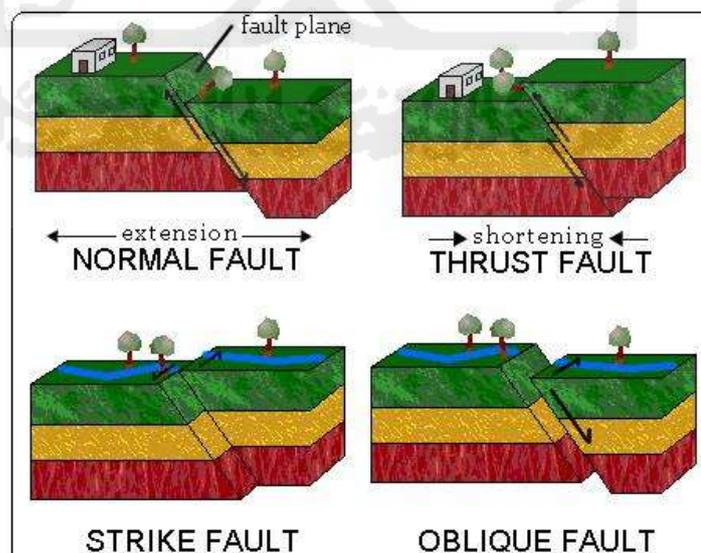
Peneliti	Tahun	Lokasi	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode/Pendekatan	Hasil Penelitian	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan
Nurdianti Ulfa	2013	Gedung Karebosi Condotel, Makassar	Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan <i>Pushover</i> Analisis Pada Tanah Medium	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui kurva kapasitas 2. Menentukan titik kinerja struktur gedung pada kondisi <i>inelastis</i> 3. Menentukan level kinerja struktur gedung pada saat titik kinerja tercapai 4. Menganalisa skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi akibat pengaruh beban gempa 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemodelan struktur bangunan 2. Menentukan letak sendi plastis 3. Menentukan titik kontrol gaya geser dasar 4. Analisa <i>pushover</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO) 2. Distribusi sendi plastis pada saat kinerja tercapai tidak ada komponen melewati batas IO 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fungsi bangunan 2. Lokasi penelitian

BAB III LANDASAN TEORI

3.1. PROSES GEMPA BUMI

Gempa bumi adalah pelepasan energi pada muka bumi, merambat melalui permukaan tanah. Terjadinya gempa bumi disebabkan oleh benturan antara plat tektonik. Lempeng samudera yang rapat massanya lebih besar bertumbukkan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak ini menyebabkan penumpukan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya zona-zona itu terjadi tekanan, tarikan dan geseran. Pada batas elastisitas lempeng terlampaui maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa (Prawirodikromo Widodo, 2012).

Pergeseran antar plat tektonik menyebabkan plat tektonik bergerak. Pergerakan plat tektonik mengakibatkan permukaan tanah bergeser seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Skema Pergerakan Permukaan Tanah
(Supriyadi02.wordpress.com)

Mekanisme pergeseran/benturan antara plat tektonik adalah sebagai berikut :

1. *subduction*, yaitu peristiwa dimana salah satu lempeng turun ke bawah,
2. *extrusion*, yaitu peristiwa penarikan satu lempeng terhadap lempeng yang lain,
3. *intrusion*, yaitu kedua plat tektonik saling mendekat dan saling bergerak kebawah,
4. *transcursion*, yaitu terjadi gerakan vertikal satu lempeng terhadap lempeng lain.

Bila gempa bumi terjadi, maka struktur bangunan akan ikut terpengaruh oleh getaran gempa. Selanjutnya struktur bangunan akan merespon gempa tersebut. Struktur akan memberikan gaya-gaya dalam akibat gempa. Apabila gaya gempa < gaya dalam struktur, maka struktur tersebut dapat menahan beban gempa. Sebaliknya bila gaya gempa lebih dari gaya dalam struktur, maka struktur tidak dapat menahan beban gempa.

3.2. FILOSOFI BANGUNAN TAHAN GEMPA

Struktur bangunan tahan gempa adalah struktur yang apabila terjadi gempa. Bangunan yang kuat terhadap gempa bukan berarti mencegah semua kerusakan bangunan bila terjadi gempa yang dahsyat, bangunan seperti ini sulit dilaksanakan karena memerlukan biaya yang sangat mahal. Tujuan utama dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah menyelamatkan nyawa manusia, mengurangi semaksimal mungkin biaya yang harus dikeluarkan bila harus melakukan perbaikan bangunan yang rusak akibat gempa.

Adapun prinsip-prinsip disain filosofi bangunan tahan gempa adalah (Pawirodikromo Widodo, 2012) :

1. pada gempa kecil (*light, atau minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih dibolehkan,
2. pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relative jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti dengan yang baru.

3. pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*).

3.3. KETENTUAN UMUM PERENCANAAN KETAHANAN GEMPA UNTUK STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG BERDASARKAN SNI 03-1726-2012

3.3.1 Penentuan Gempa Rencana dan Kategori Gedung

Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Nilai faktor keutamaan ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Berikut kategori risiko gedung dan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berdasarkan SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain : 1. fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan, 2. fasilitas sementara, 3. gudang penyimpanan, 4. rumah jaga dan struktur kecil lainnya.	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk : 1. perumahan, 2. rumah toko dan rumah kantor, 3. pasar, 4. gedung perkantoran, 5. gedung apartemen/rumah susun, 6. pusat perbelanjaan/mall, 7. fasilitas manufaktur,	II

Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. bioskop, 2. gedung pertemuan, 3. stadion, 4. fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat, 5. fasilitas penitipan anak, 6. penjara, 7. bangunan untuk orang jompo, <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan misal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. pusat pembangkit listrik biasa, 2. fasilitas penanganan air, 3. fasilitas penanganan limbah, 4. pusat telekomunikasi, <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	IV
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. bangunan-bangunan monumental, 2. gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, 3. rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat, 4. fasilitas pemadaman kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat, tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya, 5. fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat, 	

Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
6. pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat, 7. struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	IV

(SNI 03-1726-2012)

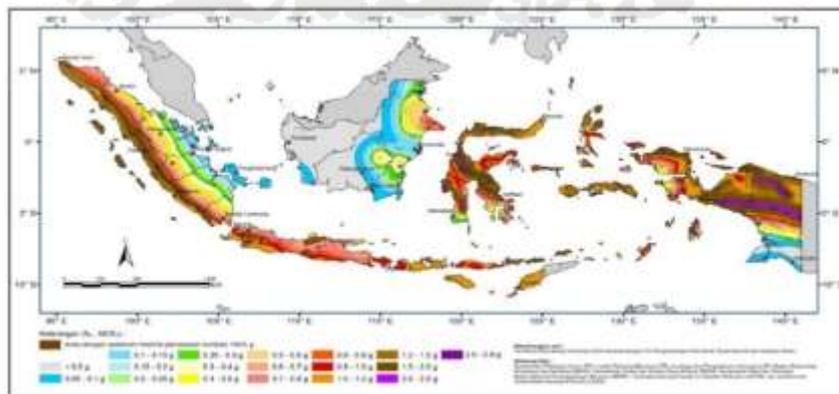
Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

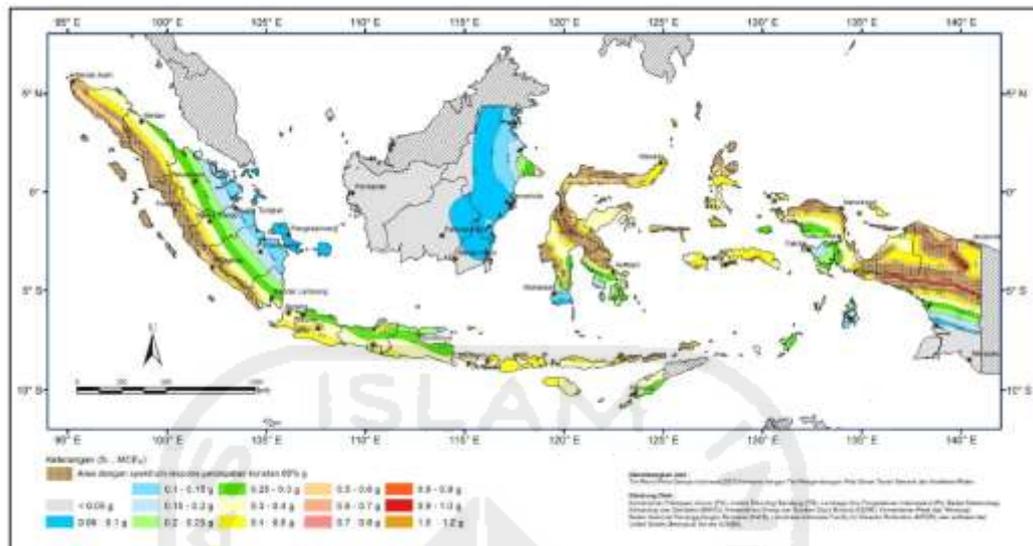
(SNI 03-1726-2012)

3.3.2 Spektrum Respons Desain

Parameter S_s dan S_l harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2% terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2% dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Nilai S_s dan S_l dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



Gambar 3.2 S_s , Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (SNI 03-1726-2012)



Gambar 3.3 S_I , Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (SNI 03-1726-2012)

Penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0.2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{MI}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.1)$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I \quad (3.2)$$

Keterangan :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek

S_I = parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik

Koefisien situs F_a dan F_v dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Koefisien Situs F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0.2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
SA (batuan keras)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB (batuan)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
SD (tanah sedang)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
SE (tanah lunak)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
SF (tanah khusus)	SS ^b				

(SNI 03-1726-2012)

Catatan :

1. Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
2. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Tabel 3.4 Koefisien Situs F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
SA (batuan keras)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB (batuan)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD (tanah sedang)	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE (tanah lunak)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF (tanah khusus)	SS ^b				

(SNI 03-1726-2012)

Catatan :

1. Untuk nilai-nilai antara S_I dapat dilakukan interpolasi linier
2. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.4)$$

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-spesifik tidak digunakan, maka kurva spectrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3.4 dan mengikuti ketentuan di bawah ini.

1. Perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

2. Perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} .
3. Perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.6)$$

Keterangan :

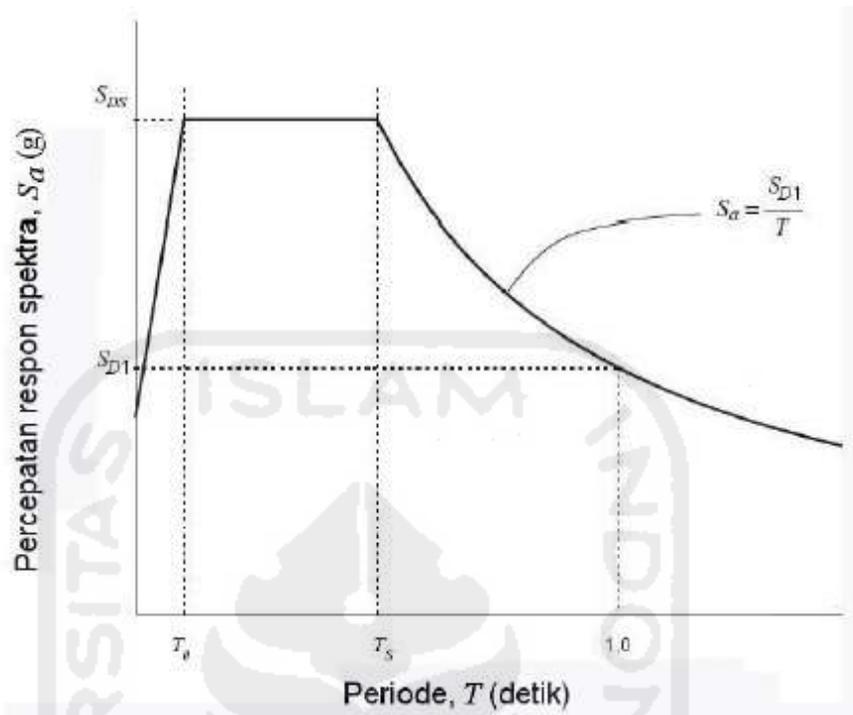
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$



Gambar 3.4 Spektrum Respons Desain (SNI 03-1726-2012)

3.3.3 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti SNI 03-1726-2012 Pasal 6.5. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik (S_I), lebih besar dari atau sama dengan 0.75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik *E*. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik (S_I), lebih besar dari atau sama dengan 0.75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik *F*. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek (S_{DS}).

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	B
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	C
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

(SNI 03-1726-2012)

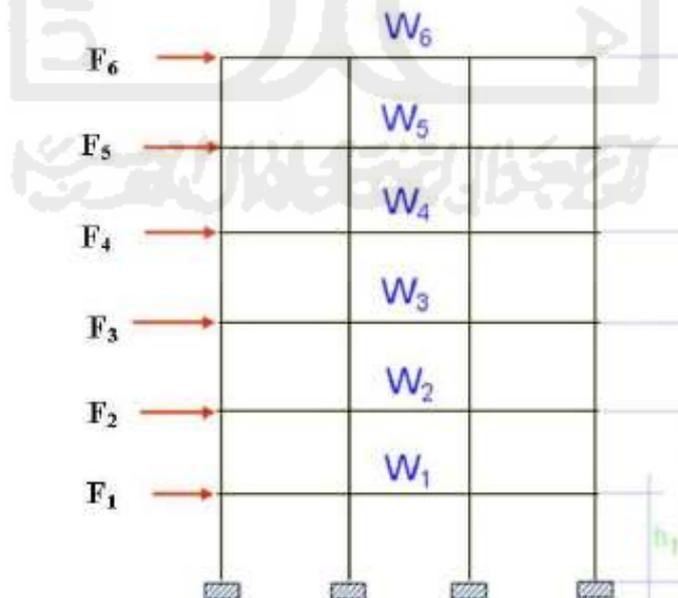
Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	B
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	C
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

(SNI 03-1726-2012)

3.3.4 Gaya Lateral Ekuivalen

Gaya lateral ekuivalen yaitu gaya geser dasar (V) yang ditempatkan pada tiap lantai, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Penempatan gaya lateral ekuivalen.
(SNI 03-1726-2012)

Keterangan :

W_{1-6} = Berat bangunan tiap lantai

F_{1-6} = Gaya geser dasar seismik yang ditempatkan pada tiap lantai

A. Gaya Dasar Seismik

Gaya geser dasar (V) ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (3.9)$$

Keterangan :

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan

W = berat bangunan

1. Penentuan Periode Pendekatan

$$T_a \text{ atau } T = C_t \cdot (h_n)^x \quad (3.10)$$

Keterangan :

h_n = tinggi total struktur

C_t dan x ditentukan dalam Tabel 3.7

Tabel 3.7 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing aksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

(SNI 03-1726-2012)

2. Perhitungan koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik (C_s), harus ditentukan sesuai persamaan

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} \quad (3.11)$$

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan Persamaan 3.11 tidak perlu melebihi berikut ini :

$$C_{S \max} = \frac{S_{D1}}{T(R/I_e)} \quad (3.12)$$

$$C_{S \min} = 0,004S_{DS} I_{E \geq 0,01} \quad (3.13)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang perioda pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda sebesar 1 detik

T = perioda fundamental struktur (detik) yang ditentukan

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

3. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3.14)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_i^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (3.15)$$

Keterangan :

C_{vx} = faktor distribusi vertikal (%)

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, dinyatakan dalam kilonewton (KN)

W_i dan W_x = bagian berat seismik atau berat total struktur (W) yang ditempatkan pada tingkat i atau x

h_i dan h_x = tingi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter (m)

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, $k= 1$

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, $k= 2$

untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

4. Distribusi Horisontal Gaya Gempa

Gaya geser desain gempa di semua tingkat (V_x) harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.16)$$

Keterangan :

F_i adalah bagian dari gaya geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i

V_x didistribusikan pada tiap tingkat yang ditinjau.

3.4. ANALISA GAYA GRAVITASI

3.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan-peralatan tetap yang merupakan bagian dari gedung. Adapun beban mati tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Berat sendiri bahan bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
1	Baja	7850	Kg/m ³
2	Batu alam	2600	Kg/m ³
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500	Kg/m ³
4	Batu karang (berat tumpuk)	700	Kg/m ³
5	Batu pecah	1450	Kg/m ³
6	Besi tuang	7250	Kg/m ³
7	Beton	2200	Kg/m ³

Lanjutan Tabel 3.8 Berat sendiri bahan bangunan

No	Bahan Bangunan	Beban	Satuan
8	Beton bertulang	2400	Kg/m ³
9	Kayu (kelas I)	1000	Kg/m ³
10	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650	Kg/m ³
11	Pasangan bata merah	1700	Kg/m ³
12	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200	Kg/m ³
13	Pasangan batu cetak	2200	Kg/m ³
14	Pasangan batu karang	1450	Kg/m ³
15	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600	Kg/m ³
16	Pasir (jenuh air)	1800	Kg/m ³
17	Pasir, kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850	Kg/m ³
18	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700	Kg/m ³
19	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000	Kg/m ³
20	Timah hitam	11400	Kg/m ³

(PPURG, 1987 hal 5)

Tabel 3.9 Berat komponen gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
1	Adukan, per cm tebal :		
	> Dari semen	21	Kg/m ²
	> Dari kapur, semen merah atau tras	17	Kg/m ²
2	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14	Kg/m ²
3	Dinding pasangan bata merah :		
	> Satu batu	450	Kg/m ²
	> Setengah batu	250	Kg/m ²
4	Dinding pasangan batako		
	> Berlubang :		
	-- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200	Kg/m ²
	-- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120	Kg/m ²
	> Tanpa lubang :		
-- Tebal dinding 15 cm	300	Kg/m ²	
-- Tebal dinding 10 cm	200	Kg/m ²	
5	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya), tanpa penggantung langit-langit atau pengaku, terpadu dari :		
	> Semen asbes (<i>etrnity</i> dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4mm	11	Kg/m ²
	> Kaca, dengan tebal 3-4 mm	10	Kg/m ²
6	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,8 m	40	Kg/m ²

Lanjutan Tabel 3.9 Berat komponen gedung

No	Komponen Gedung	Beban	Satuan
7	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50	Kg/m ²
8	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	40	Kg/m ²
9	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gording	10	Kg/m ²
10	Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24	Kg/m ²
11	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11	Kg/m ²

(PPURG, 1987 hal 5-6)

3.4.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung dan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah sehingga dapat mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap. Beban hidup tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Beban hidup pada lantai gedung

No	Lantai Gedung	Beban	Satuan
1	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam no 2	200	Kg/m ²
2	lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125	Kg/m ²
3	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250	Kg/m ²
4	Lantai ruang olahraga	400	Kg/m ²
5	Lantai ruang dansa	500	Kg/m ²
6	Lantai dan balkon dalam ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam 1 s/d 5, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400	Kg/m ²
7	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500	Kg/m ²
8	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 3	300	Kg/m ²
9	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam no 4, 5, 6, 7	500	Kg/m ²
10	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam no 3, 4, 5, 6, 7	250	Kg/m ²

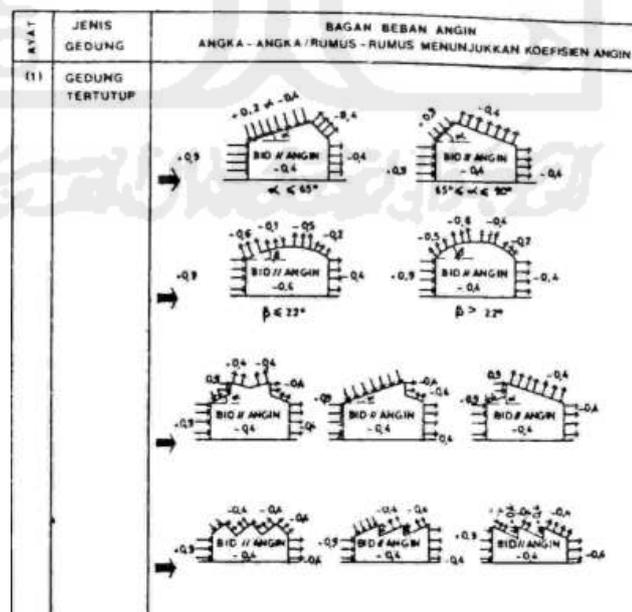
Lanjutan Tabel 3.10 Beban hidup pada lantai gedung

No	Lantai Gedung	Beban	Satuan
11	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum	400	Kg/m ²
12	Lantai gedung parkir bertingkat : > Untuk lantai bawah > Untuk lantai tingkat lainnya	800 400	Kg/m ² Kg/m ²
13	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai yang berbatasan dengan minimum	300	Kg/m ²

(PPURG, 1987 hal 12)

3.4.3 Beban Angin

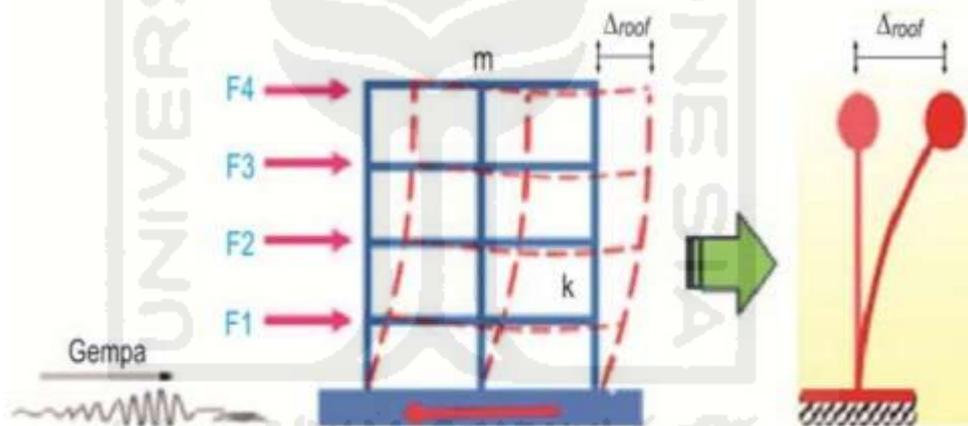
Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan negati atau angin tekan dan hisap. Besarnya tekanan tekan dan hisap ini ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup dan koefisien angin. Salah satu koefisien angin dapat dilihat pada Gambar 3.6 tentang koefisien untuk jenis gedung tertutup.



Gambar 3.6 Koefisien angin untuk jenis gedung tertutup
(PPURG, 1987 hal 26)

3.5. ANALISA RESPONS STRUKTUR

Analisa respon struktur adalah *Base shear* tiap lantai, merupakan fungsi dari massa (m) dan kekakuan (k) dari tiap lantai tersebut, dapat dilihat pada Gambar 3.7. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser/*displacement* dari kedudukan semula. Apabila sifat geometri struktur simetris maka simpangan yang terjadi hanya pada satu bidang (2-dimensi) yaitu simpangan suatu massa pada pada setiap saat hanya mempunyai posisi/ordinat tunggal sehingga dapat dianggap sebagai satu kesatuan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan parameter *displacement* yang diukur adalah pada atap. Saat gaya gempa bekerja, gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya luar tersebut melebihi kemampuan / kapasitas gedung, gedung akan berperilaku in-elastis apabila sifat struktur cukup daktail tetapi langsung hancur apabila kurang daktail.

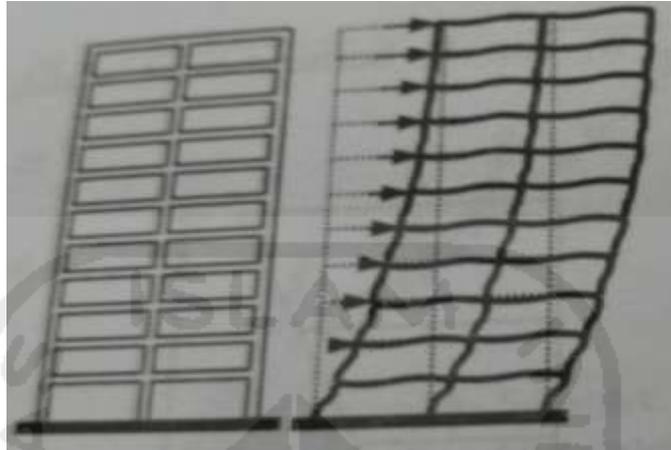


Gambar 3.7 Respon struktur akibat gempa (Muntafi, 2012)

3.6. SENDI PLASTIS PADA STRUKTUR GEDUNG

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan / kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) di balok dan kolom pada gedung tersebut (Gambar 3.8). Sendi plastis merupakan bentuk ketidak mampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain “*kolom kuat dan balok lemah*”. Apabila terjadi suatu

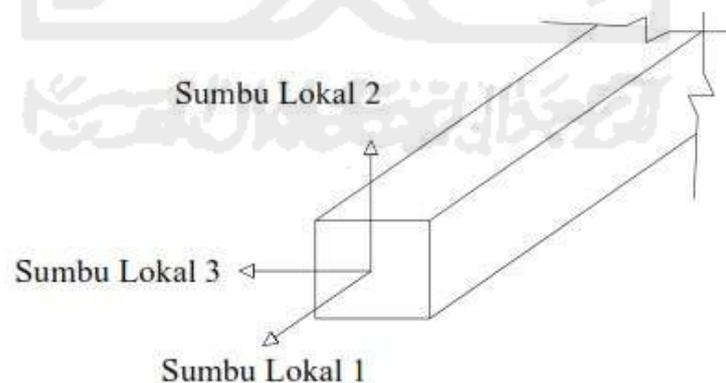
keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur.



Gambar 3.8 Sendi Plastis yang terjadi pada balok dan kolom
(Pawirodikromo Widodo, 2012)

1. *Hinge* Propertis balok

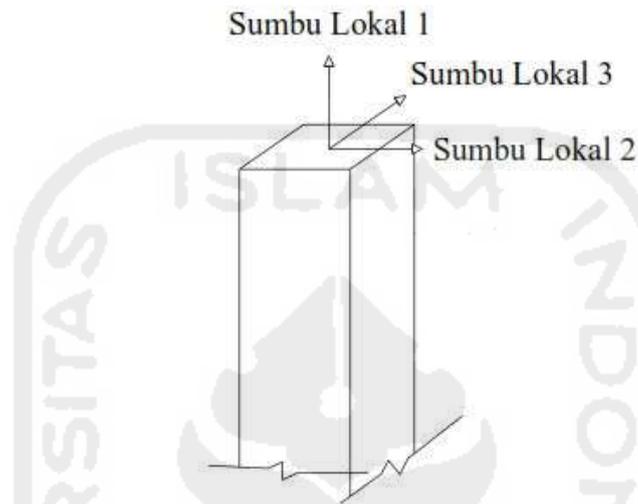
Data *hinge* properties dimasukkan pada penampang daerah balok yaitu lokasi sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Posisi Sumbu Lokal Balok struktur

2. *Hinge* Propertis Kolom Dalam *hinge* properties untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya

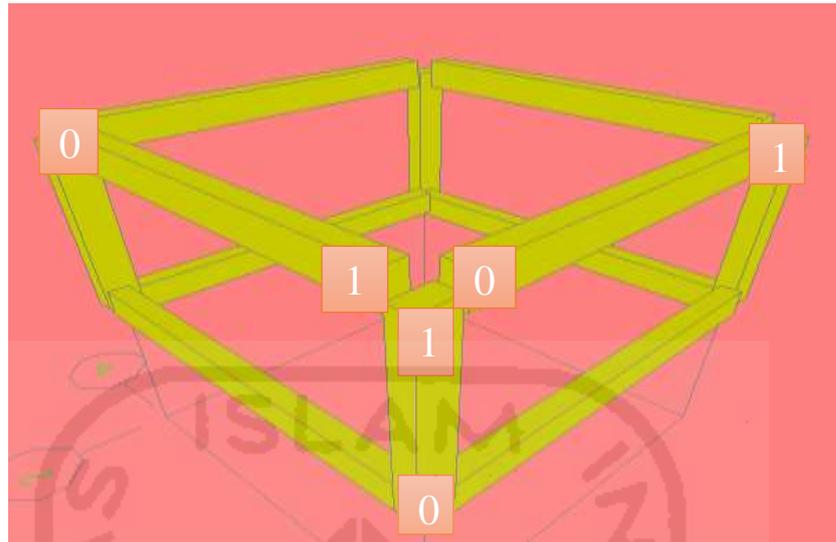
aksial (P) dan momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Posisi Sumbu Lokal Kolom struktur

3. Penentuan letak sendi plastis

Setelah mendefinisikan data hinge properties balok dan kolom adalah penentuan letak terjadinya sendi plastis yang diinginkan, dapat dilihat pada gambar. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok, kedua ini terletak dimuka kolom. Sama halnya dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom, kedua posisi ini terletak pada tepi muka balok dan dapat dilihat pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Posisi 0 dan 1 pada balok dan kolom

3.7. PERFORMANCE BASED EARTHQUAKE ENGINEERING (PBEE)

ATC 40 (1996) menawarkan suatu pendekatan baru dalam perencanaan gempa terhadap struktur bangunan tahan gempa yaitu konsep *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)* adalah suatu metode untuk mendesain, mengevaluasi, merancang dan memonitor fungsi dan *maintance* fasilitas-fasilitas *engineering* yang kinerjanya dibawah target dan respon bebannya ekstrim untuk memenuhi kebutuhan dan keinginan *owner dan* masyarakat sekitar. Metode PBEE memungkinkan seorang *engineer* untuk dapat lebih dahulu menetapkan sasaran kinerja struktur dari beberapa magnitudo beban gempa. Respon yang terjadi diharapkan tidak melebihi batas ketentuan penerimaan maksimum. Pada PBEE, batas yang dimaksud adalah kategori level kinerja *life safaty (LS)*. (Pawirodikromo Widodo, 2012)

Metode PBEE terdiri atas dua konsep yaitu *Performance Based Seismic Design (PBSD)* dan *Performance Based Sesimic Evaluation (PBSE)*. *Performance Based Seismic Design* adalah suatu konsep yang menetapkan tingkat kinerja (*performance level*) yang diharapkan dapat dicapai saat struktur dilanda gempa dengan intensitas tertentu, sedangkan *Performance Based Seismic Evaluation* adalah suatu konsep yang digunakan untuk mengevaluasi struktur bangunan yang

sudah ada, apakah memenuhi level kinerja yang telah direncanakan pada desain awal sehingga dapat diketahui tindakan apa yang hendaknya dilakukan, seperti perkuatan ataupun rehabilitasi. Konsep *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)* menggunakan perbandingan dasar antara kurva *pushover* dengan kurva *demand* pada suatu bagian, kelompok, atau struktur secara keseluruhan. (Pawirodikromo Widodo, 2012)

3.8. ANALISIS PUSHOVER MENGACU PADA PROSEDUR ATC-40

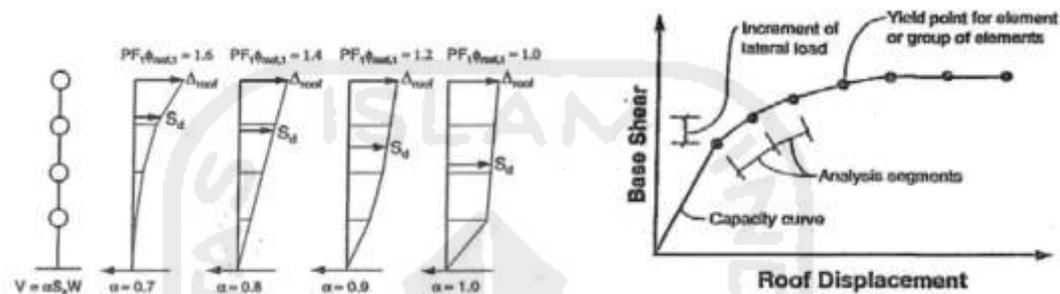
Analisis statik nonlinear merupakan analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa. Analisa nonlinear sangat tepat digunakan karena ketika terjadi gempa yang cukup besar pada struktur terjadi plastifikasi di beberapa tempat, sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linear, akan tetapi berperilaku nonlinear. Analisis statik nonlinear dikenal pula analisis *Pushover*, digunakan sebagai metode alternatif dalam melaksanakan *performance based earthquake engineering*.

Kebutuhan (*demand*) dan kapasitas (*capacity*) adalah dua hal yang perlu dipahami untuk dapat menggunakan prosedur berbasis kinerja (*performance*) dengan baik. Kebutuhan (*demand*) adalah representasi dari pergerakan tanah dasar akibat gempa bumi sedangkan kapasitas adalah mewakili kemampuan struktur dalam memikul beban gempa. Jadi kinerja (*performance*) adalah kemampuan kapasitas struktur untuk memikul kebutuhan (*demand*). Dengan kata lain, struktur bangunan harus memikul kapasitas yang cukup sehingga kinerjanya sebanding dengan tujuan desain yang salah satunya adalah mampu memikul beban gempa rencana.

Metode Spektrum kapasitas (ATC-40) menggunakan kurva kapasitas (*capacity curve*) dengan kurva kebutuhan (*demand spectrum*). Hasil analisis statik non linear adalah kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*).

3.8.1. Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (*capacity curve*) merupakan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear, V*) dan simpangan atap (*roof displacement, Δ_{roof}*), dapat dilihat pada Gambar 3.12. Hubungan tersebut kemudian dipetakan menjadi suatu kurva kapasitas struktur (*capacity spectrum*).



Gambar 3.12 Ilustrasi *Pushover* dan *Capacity Curve* (ATC-40, 1996)

1. Konversi Kurva Kapasitas menjadi spektrum kapasitas (ADRS)

Untuk dapat menggunakan metode spektrum kapasitas dengan baik, sangat diperlukan untuk mengonversi kurva kapasitas yang merupakan kurva gaya geser (V) dasar terhadap perpindahan atap/lantai (Δ_{roof}) menjadi kurva spektrum kapasitas yang merupakan kurva percepatan (S_a) terhadap *displacement* (S_d). Melalui Persamaan 3.17 sampai 3.20 akan diubah kurva kapasitas menjadi spektrum kapasitas seperti.

$$PF = \frac{\Delta_{roof}}{PF1\phi_{roof,1}} \quad (3.17)$$

$$\alpha_1 = \frac{[\sum_1^n (wi\phi)/g]^2}{[\sum_1^n wi/g][\sum_1^n (wi\phi^2)/g]} \quad (3.18)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3.19)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1\phi_{roof,1}} \quad (3.20)$$

Keterangan :

V = gaya geser dasar

Δ_{roof} = *roof displacement* (simpangan atap/lantai)
(V dan Δ_{roof} membentuk kurva kapasitas)

S_a = kurva *spectral acceleration*

S_d = *spectral displacement*
(S_a dan S_d membentuk spektrum kapasitas)

PF1 = *modal participation* untuk modal pertama

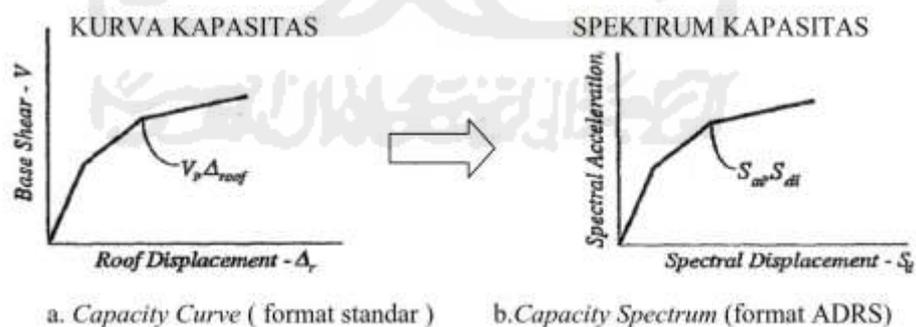
α_1 = *modal mass coefficient* untuk modal pertama

ϕ_{il} = *amplitude of first* untuk level i

W = berat mati bangunan ditambah beban hidup

W_i/g = massa pada level i

Kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan banyak (*multi degree of freedom system, MDOF*) terhadap perpindahan yang umumnya di puncak bangunan, sedangkan spektrum *demand* dibuat untuk struktur (*single degree of freedom, SDOF*), maka kurva kapasitas harus diubah menjadi spektrum kapasitas dengan satuan yang sama dengan spektrum *demand* seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Proses konversi kurva kapasitas ke bentuk *capacity curve spectrum* (ATC-40, 1996)

2. Konversi kurva *Response Spectrum (Demand Spectrum)* ke dalam format ADRS

Respons spectrum elastic adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara koefisien gempa (C) dengan waktu getar struktur (T) yang nilainya ditentukan oleh koefisien C_a (percepatan tanah puncak, *peak ground acceleration*) dan C_v (nilai koefisien gempa pada waktu periode struktur tanah adalah 1 detik). Nilai C_a dan C_v berbeda-beda untuk masing-masing jenis tanah. Agar dapat dibandingkan dengan kurva kapasitas, maka *respons spectrum* perlu diubah formatnya menjadi *Acceleration Displacement Response Spectrum (ADRS)* melalui persamaan.

$$S_d = \left[\frac{T_i^2}{4\pi^2} \right]^2 \cdot S_{a_i} \cdot g \quad (3.21)$$

atau

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_{d_i}}{S_{a_i}}} \quad (3.22)$$

Keterangan :

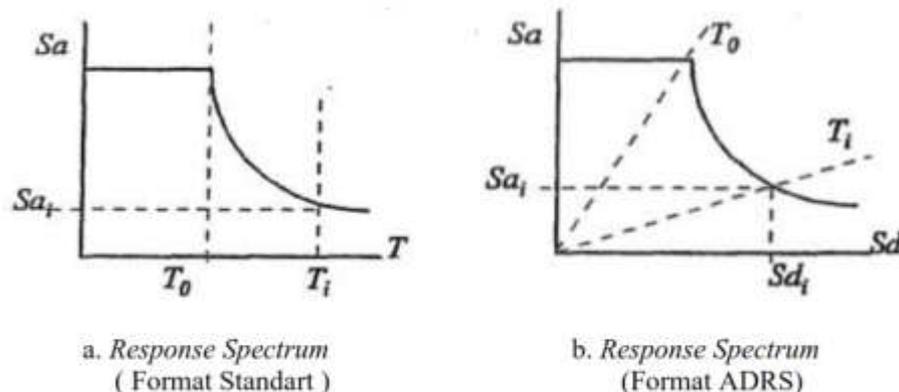
S_{d_i} = *spectral displacement* pada periode ke- i

T = waktu getar alami(dt)

S_{a_i} = *spectral acceleration* pada periode ke- i

g = percepatan gravitasi (dt)

T adalah waktu getar alami dari struktur bangunan. Perubahan format ini dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Perubahan format respons spectra menjadi ADRS (ATC-40, 1996)

Metode ini secara khusus telah *built-in* dalam program SAP2000, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva respon spektrum.

3.8.2. Redaman Ekuivalen (β_{eq})

Redaman ekuivalen merupakan kombinasi dari redaman elastis (*viscous damping*) yang menyatu dengan struktur bangunan, besarnya tergantung pada material yang digunakan dan redaman histerisis.

1. Perhitungan Redaman Viskous Efektif (β_{eff})

Redaman viskous adalah kombinasi redaman yang terjadi pada struktur dan redaman histeritik (*hysteretic damping*) yang terjadi pada saat struktur dalam batas inelastis. Redaman histeretik ini berhubungan dengan area di dalam *loops* yang terbentuk pada saat gaya geser dasar di plot terhadap perpindahan struktur.

Redaman viskous ekivalen (β_{eq}) yang berhubungan dengan perpindahan *dpi* (perpindahan pada titik maksimum) yang ditunjukkan pada Gambar 3.15, dan dapat diperkirakan dengan Persamaan 3.23.

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05 \quad (3.23)$$

Keterangan :

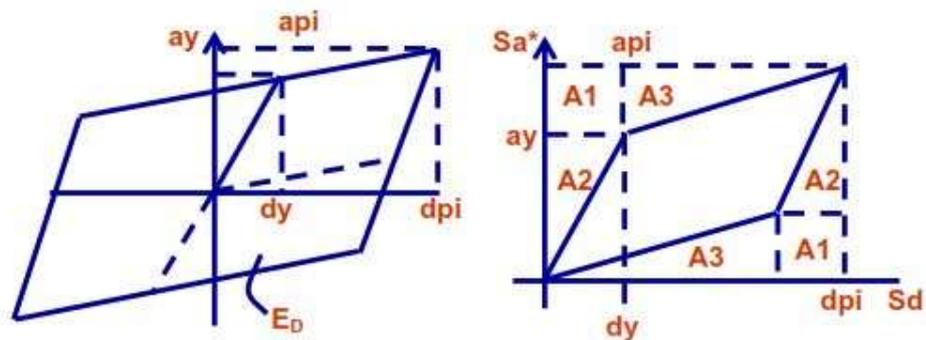
β_0 = redaman histeritik yang direpresentasikan sebagai redaman viskous ekivalen

0.05 = 5% redaman viskous yang terdapat dalam struktur

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SO}}$$

E_D = energi yang didisipasi oleh damping

E_{SO} = energi regangan maksimum



Gambar 3.15 Penentuan *energy dissipated by damping*, E_D (ATC-40,1996)
(ATC-40, 1996)

Energi disipasi :

$$\begin{aligned}
 E_D &= 4 (api \ dpi - 2A1 - 2A2 - 2A3) \\
 &= 4(api \ dpi - 2dy (api-ay) - ay \ dy - (dpi-dy) (api-ay)) \\
 &= 4 (ay \ dpi - dy \ api)
 \end{aligned} \tag{3.24}$$

Energi regangan :

$$E_{SO} = \frac{api \ dpi}{2} \tag{3.25}$$

Jadi selanjutnya β_0 ditulis sebagai persen redaman kritis, dihitung dengan persamaan 3.26.

$$\begin{aligned}
 \beta_0 &= \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{SO}} \\
 &= \frac{1}{4\pi} \frac{4 (ay \ dpi - dy \ api)}{\frac{api \ dpi}{2}} \\
 &= \frac{2 \ ay \ dpi - dy \ api}{\pi \ api \ dpi}
 \end{aligned} \tag{3.26}$$

$$\beta_0 = \frac{0.637 (ay \ dpi - dy \ api)}{api \ dpi} \tag{3.27}$$

$$\beta_0 = \frac{63.7 (ay \ dpi - dy \ api)}{api \ dpi} \tag{3.28}$$

Maka dengan demikian :

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 = \frac{63.7 (ay \ dpi - dy \ api)}{api \ dpi} + 5 \tag{3.29}$$

Redaman viskous efektif (β_{eff}) kemudian dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\beta_{eff} &= k\beta_0 + 5 = \frac{63.7 (ay\ dpi - dy\ api)}{api\ dpi} + 5 \\ &= \frac{63.7k (ay\ dpi - dy\ api)}{api\ dpi} + 5\end{aligned}\quad (3.30)$$

Biasanya untuk beton bertulang *harga* faktor modifikasi redaman pada, $k = 0.33$.

Nilai faktor modifikasi redaman dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Keterangan :

ay = percepatan (*acceleration*) pada titik leleh

api = percepatan (*acceleration*) pada titik maksimum

dy = perpindahan (*acceleration*) pada titik leleh

dpi = perpindahan (*acceleration*) pada titik maksimum

K = faktor modifikasi redaman.

β_0 = Rasio redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis (dalam %)

Tabel 3.11 Value For Damping Modification Factor K

Struktur Behavior Type	β_0	K
Type A	≤ 16.25	1
	>16.25	$1.13 - \frac{0.51(ay\ dpi - dy\ api)}{api\ dpi}$
Type B	≤ 25	0.67
	>25	$0.845 - \frac{0.446(ay\ dpi - dy\ api)}{api\ dpi}$
Type C	Any Value	0.33

(ATC-40, 1996)

Pada analisis dengan program SAP 2000 V14 dengan metode spektrum respon kapasitas secara otomatis akan menentukan nilai β_{eff} dari struktur yang ditinjau.

2. Reduce of Spectrum Demand

Konsep *reduce of spectrum demand* bertujuan untuk mendapatkan spektrum inelastik, untuk periode pendek atau percepatan yang konstan direduksi dengan nilai SRA dan untuk periode panjang atau kecepatan yang konstan direduksi dengan nilai SRV. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.12. SRA dan SRV dipengaruhi oleh redaman viskous efektif (β_{eff}), dapat dilihat pada persamaan melalui

Persamaan 3.31 sampai 3.34. SRA dan SRV *spectral reduction factor* dihitung untuk mempertimbangkan tingkat redaman (*damping*) sebesar 5% setelah struktur leleh, nilai redaman ini perlu direduksi dengan konstanta agar sesuai dengan *effective viscous damping* dari struktur. *Reduksi Respon Spectrum Elastic* menjadi *Demand Spectrum* dapat dilihat pada Gambar 3.16.

$$SRA = \frac{3.21 - 0.68 \ln \left[\frac{63.7K(aydy - dyapi)}{apidpi} \right] + 5}{2.12} \quad (3.31)$$

$$SRV = \frac{2.31 - 0.41 \ln \left[\frac{63.7K(aydy - dyapi)}{apidpi} \right] + 5}{1.65} \quad (3.32)$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana :

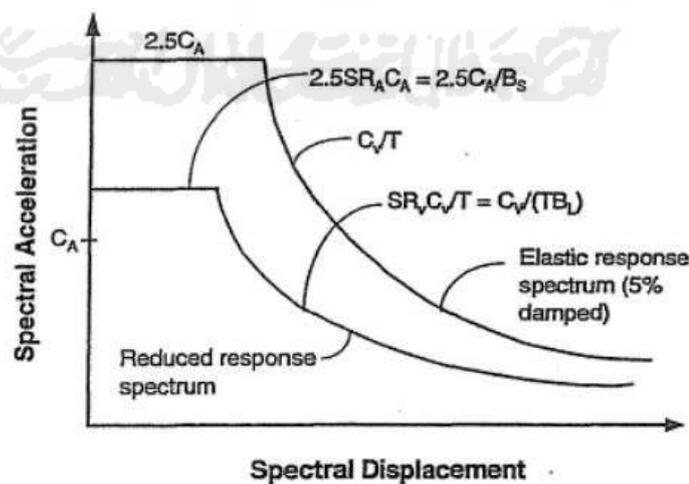
$$SRA = \frac{3.21 - 0.68 \ln \beta_{eff}}{2.12} \quad (3.33)$$

$$SRV = \frac{2.31 - 0.41 \ln \beta_{eff}}{1.65} \quad (3.34)$$

Tabel 3.12 *Minimu Allowed* SRA dan SRV Value

Struktur Behavior Type	SRA	SRV
Type A	0.33	0.5
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

(ATC-40, 1996)



Gambar 3.16 *Reduksi Respon Spectrum Elastic* menjadi *Demand Spectrum* (ATC-40, 1996)

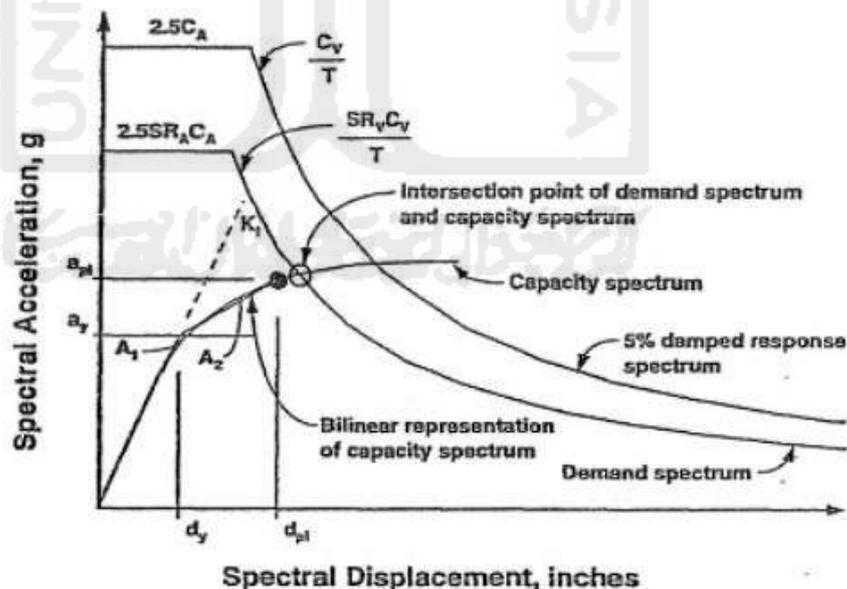
Reduce spectrum demand pada SRV diharapkan mengakibatkan persilangan dengan *capacity curve* sehingga didapatkan *performance point*.

3.8.3 Performance Struktur

1. Perhitungan Performance Point

Performance point adalah titik dimana *capacity curve* berpotongan dengan *response spectrum curve* seperti yang dipergunakan dalam *capacity spectrum method* (ATC-40, 1996). Untuk memperoleh gambaran lebih jelas, dapat dilihat pada Gambar 3.16. Dalam melakukan analisis *pushover* dengan program SAP 2000 V14 secara otomatis akan menentukan titik kinerja dari struktur yang ditinjau. Pada perhitungan manual, *performance point* tidak dapat diperoleh secara langsung tapi melalui iterasi.

Pada *Performance point* yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 dapat diperoleh informasi mengenai periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut respons-respons struktur lainnya seperti nilai simpangan tingkat dan posisi sendi plastis dapat diketahui.



Gambar 3.17 Penentuan *Performance Point*
(ATC-40, 1996)

2. Batasan *Drift Ratio* Menurut ATC-40

ATC 40 (1996) memberikan batasan rasio *drift* atap dan batasan tipe bangunan yang dievaluasi pada *performance point (PP)* dalam rangka mengevaluasi kinerja struktur daktail dengan analisis statik nonlinear. Parameter yang digunakan adalah maksimum total drift dan maksimum inelastik *drift*. Batasan rasio *drift* atap dan batasan tipe bangunn sesuai ATC-40 disajikan dalam Tabel 3.13 dan Tabel 3.14

Tabel 3.13 Batasan Rasio *drift* atap menurut ATC-40

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0.01	0.01 s.d 0.02		$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Inelastik Drift	0.005	0.005 s.d 0.015	no limit	no limit

Dimana V_i adalah gaya geser total pada lantai i dan P_i adalah gaya gravitasi total pada lantai i .

(ATC-40, 1996)

Tabel 3.14 Batasan tipe bangunan pada *capacity spectrum method*

Shaking duration	Essentially new building	Average exiting building	Poor exiting building
Short	A	B	C
Long	B	C	C

(ATC-40,1996)

3. Kriteria Struktur Tahan Gempa

Kinerja pada dokumen ATC 40 memasukkan beberapa pertimbangan kondisi kerusakan (*damage sates*) untuk beberapa level gerakan tanah. Dokumen ATC 40 dapat digunakan sebagai acuan, baik dalam melakukan desain atau perencanaan struktur maupun untuk mengevaluasi struktur yang sudah ada. Kinerja bangunan pada ATC 40 dibagi menjadi 6 kategori level kinerja struktur dan dalam bentuk kurva yang dapat dilihat pada Gambar 3.18, sedangkan pembagian level kinerja bangunan ATC 40 disajikan pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Level Kinerja Bangunan

Building Performance Level						
<i>Nonstructural Performance Levels</i>	Structure Performance Levels					
	<i>SP-1 Immediate Occupancy</i>	<i>SP-2 Damage Control</i>	<i>SP-3 Life Safety</i>	<i>SP-4 Limited Safety (Range)</i>	<i>SP-5 Structural Stability</i>	<i>SP-6 Not Considered</i>
<i>NP-A Operational</i>	1-A <i>Operational</i>	2-A	NR	NR	NR	NR
<i>NP-B Immediate Occupancy</i>	1-B <i>Immediate Occupancy</i>	2-B	3-B	NR	NR	NR
<i>NP-C Life Safety</i>	1-C	2-C	3-C <i>Life Safety</i>	4-C	5-C	6-C
<i>NP-D Hazards Reduced</i>	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
<i>NP-E Not Considered</i>	NR	NR	3-E	4-E	5-E <i>Structural Stability</i>	<i>Not Applicable</i>

(ATC-40, 1996)

Penjelasan lebih lanjut kriteria kinerja struktur menurut ATC 40 sebagai berikut :

1. *Immediate Occupancy, SP-1 :*

bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

2. *Damage Control, SP-2 :*

Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencanan dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.

3. *Life Safety, SP-3 :*

Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat dipakai kembali jika sudah dilakukan

perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.

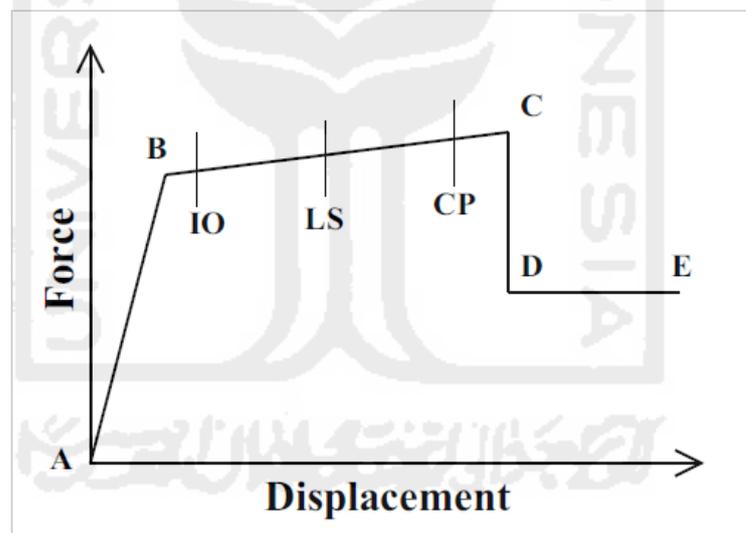
4. *Limited Safety*, SP-4 :

Kondisi bangunan tidak sebagai level *life safety* dan tidak seburuk level *structural stability*, termasuk ketika level *life safety* tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.

5. *Structural Stability*, SP-5 :

Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan nonstruktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.

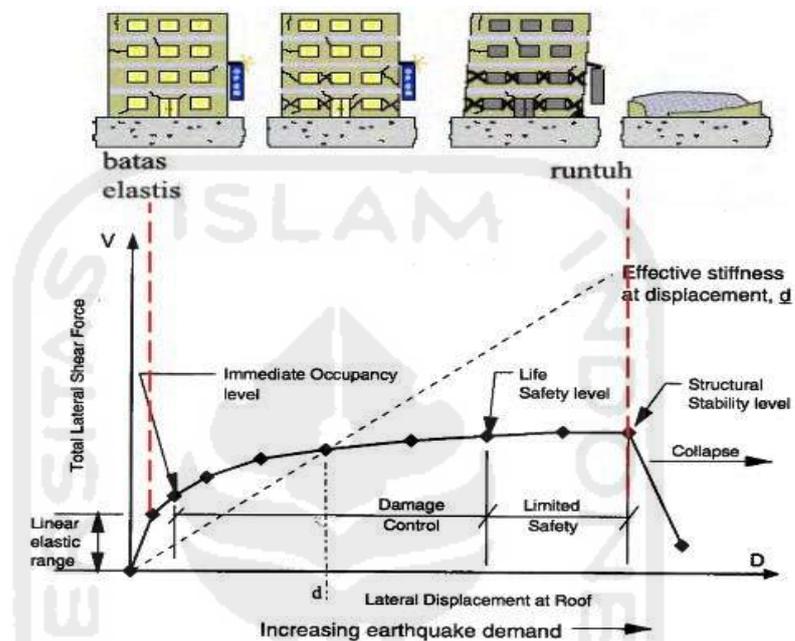
6. *Not Considered*, SP-6 : Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.



Gambar 3.18 Kurva kriteria kinerja
(ATC-40, 1996)

Bila struktur mengalami gempa atau gaya geser dasar (V_b), dengan kondisi gempa tersebut kurang dari gempa rencana (V_n), maka komponen struktur masih dalam keadaan elastik (A-B). Titik B menunjukkan keadaan leleh pertama. Ketika $V_b > V_y$, struktur dalam keadaan plastis (B-C). Titik C merupakan batasan maksimum struktur dalam menahan gempa (V_b). V terus meningkat, maka terjadi

degradasi pada struktur (C-D). Titik D menandakan bahwa struktur tidak mampu menahan gempa (V_b), tetapi masih mampu menahan beban gravitasi. Bila beban ditingkatkan, struktur akan runtuh (Gambar 3.19).

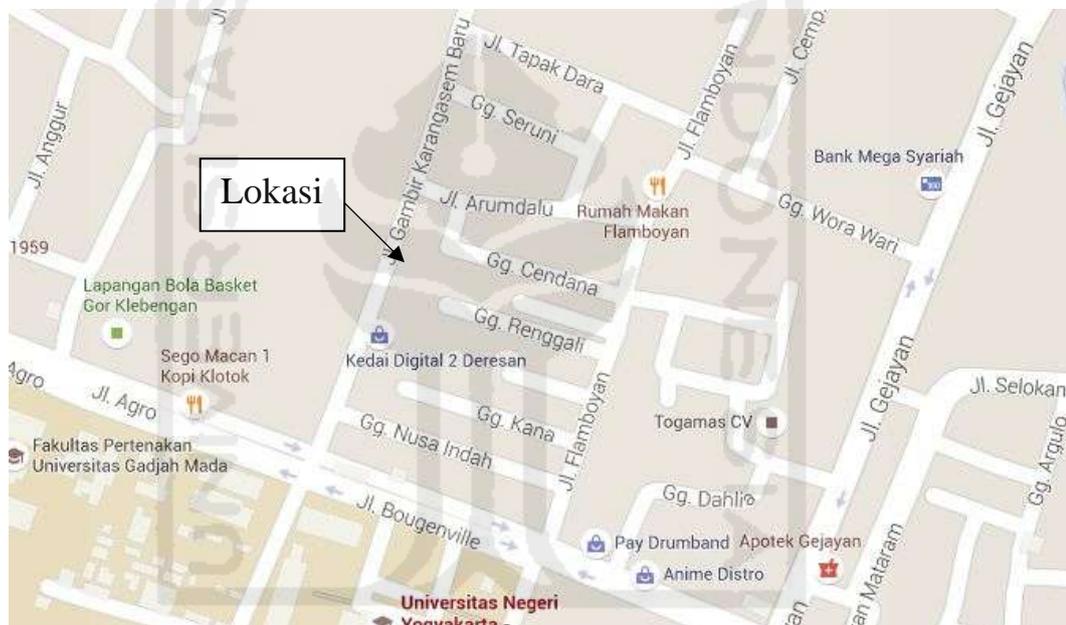


Gambar 3.19 Ilustrasi keruntuhan gedung (ATC-40, 1996)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 LOKASI PENELITIAN

Objek penelitian adalah gedung “Asrama Putri UGM” Yogyakarta, terletak di Jalan Gambir, Pedukuhan Santren, Karang Asem, Dusun Catur tunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman Yogyakarta seperti pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Lokasi penelitian
(googlemap.com)

4.2 PERALATAN DAN SOFTWARE

Penyelesaian tugas akhir dibantu dengan peralatan-peralatan dan *software* penunjang agar tugas akhir ini berjalan dengan baik, adapun peralatan dan *software* yang digunakan sebagai berikut.

1. Program SAP 2000 V14 digunakan untuk pemodelan struktur, dan menganalisis struktur.
2. Microsoft Excel 2016 untuk analisis data.

3. Laptop.
4. Peralatan tulis.
5. Printer

4.3 PROSEDUR PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan analisa statik nonlinier yaitu analisa *pushover* dengan bantuan program komputer SAP 2000 V 14. Langkah-langkah dalam penelitian ini berpedoman pada ATC-40 *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*.

4.4 DATA PENELITIAN

Data yang dibutuhkan dalam penelitian berupa data sekunder :

1. *as building drawing*,
2. deksripsi umum bangunan,
3. dekripsi umum struktur,
4. tipe bangunan,
5. mutu bahan dan material,
6. kegunaan bangunan.

4.5 ALUR PENELITIAN

4.5.1 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam perancangan meliputi data struktural, jenis tanah, beban gempa, serta bahan material bangunan. Data ini digunakan untuk pemodelan dan pembebanan struktur yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan SAP 2000 V14.

4.5.2 Pembebanan Struktur

Perencanaan pembebanan dalam Tugas Akhir ini direncanakan berdasarkan SKBI-1.3.53.1987 Pedoman Perencanaan untuk Rumah dan Gedung.

4.5.3 Data Teknis

1. Fungsi Bangunan : Rumah Susun
2. Mutu beton
 - a. 28.43 MPa

b. Modulus elastis beton

$$4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{28.43} = 25060.3012 \text{ MPa}$$

3. Mutu baja tulangan

a. Tulangan utama (> D10)

$$F_y = 390 \text{ MPa}$$

b. Tulangan utama (< D10)

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

4. Dimensi elemen struktur

Dimensi pelat, balok, dan kolom dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3 di bawah ini.

a. Pelat

Tabel 4.1 Penulangan pelat

Tipe	Dimensi (mm)	Posisi	Tulangan
LANTAI 1	100	Tumpuan	D8-150
		Lapangan	D8-150
LANTAI 2-5	130	Tumpuan	D8-150
		Lapangan	D8-150
ATAP	120	Tumpuan	D13-100
		Lapangan	D13-100
TANGGA	150	Tumpuan	D13-150
		Lapangan	D13-150
BORDES	150	Tumpuan	D13-150
		Lapangan	D13-150

b. Balok

Tabel 4.2 Penulangan balok

Kode	Dimensi (mm)	TULANGAN		
		ATAS	BAWAH	SENGKANG
B1A	200 X 400	5D16	3D16	D8-100
B1B	200 X 400	5D16	3D16	D8-100
B1C	200 X 400	5D16	3D16	D8-100

Lanjutan Tabel 4.2 Penulangan balok

Kode	Dimensi (mm)	Tulangan		
		Atas	Bawah	Senggang
B2A	250 X 450	4D16	3D16	D8-100
B2B	250 X 450	4D16	2D16	D8-100
B2C	250 X 450	4D16	3D16	D8-150
B3C	250 X 450	6D16	6D16	D8-150
TB	150 X 250	2D16	2D16	D8-200
RB	200 X 300	3D16	2D16	D8-150

c. Kolom

Tabel 4.3 Penulangan Kolom

Tipe	Dimensi (mm)	Tulangan		
		Lantai 1 dan 2	Lantai 3 dan 4	Lantai 5
K1A	300/500	18D16	-	-
K1	300/500	-	12D16	12D16
K3	300/300	10D16	10D16	10D16
K4	300/500	18D16	14D16	14D16
K5	300/500	14D16	12D16	12D16
K6	300/500	12D16	12D16	12D16
K7	300/500	14D16	14D16	14D16
KP	150/150	4D12	4D12	4D12

4.5.4. Tahapan Analisis *Pushover*

Dalam penelitian ini evaluasi kinerja dibatasi oleh komponen struktur dengan analisa non linier. Analisa non linier meliputi analisa statik non linier *pushover*. Berikut adalah tahapan analisa *pushover*.

1. Analisis *momen curvature* elemen balok dan kolom sebagai input data *hinge properties* dilakukan secara *auto* pada program SAP 2000 V14.
2. Analisis beban dorong statik (*pushover analysis*) dilakukan untuk mendapatkan titik kinerja struktur gedung.
3. Melakukan evaluasi kinerja struktur gedung dengan meninjau titik perpotongan antara kurva demand dan kurva kapasitas. Apabila kinerja struktur hasil analisis tidak memenuhi persyaratan untuk bangunan tersebut maka dilakukan mitigasi terhadap struktur tersebut.

4. Menentukan *Capacity Curve* dilakukan dengan pemodelan *Open Frame*.
5. Spektrum *demand* untuk *pushover analysis* yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrum elastis, yaitu menggunakan spektrum untuk wilayah gempa berdasarkan lokasi bangunan tersebut.
6. Input data parameter *pushover* pada program SAP 2000 V14 pada Gambar 4.2, sesuai ATC-40 (1996) adalah sebagai berikut.
 - a) *Demand spectrum defenition* digunakan Respon spektrum untuk jenis tanah sedang. Koefisien koreksi ordinat spektrum respon yang digunakan sebesar $\frac{1}{R}g = \frac{1}{1}9.81 = 9.81$
 - b) Tipe prilaku struktur ditentukan Tipe A, sesuai Tabel ATC-40.

Gambar 4.2 Parameter pushover

Langkah-langkah penyelesaian penelitian ini dapat dilihat pada *flow chart* Gambar 4.4 tahapan analisis *pushover* Halaman 55.

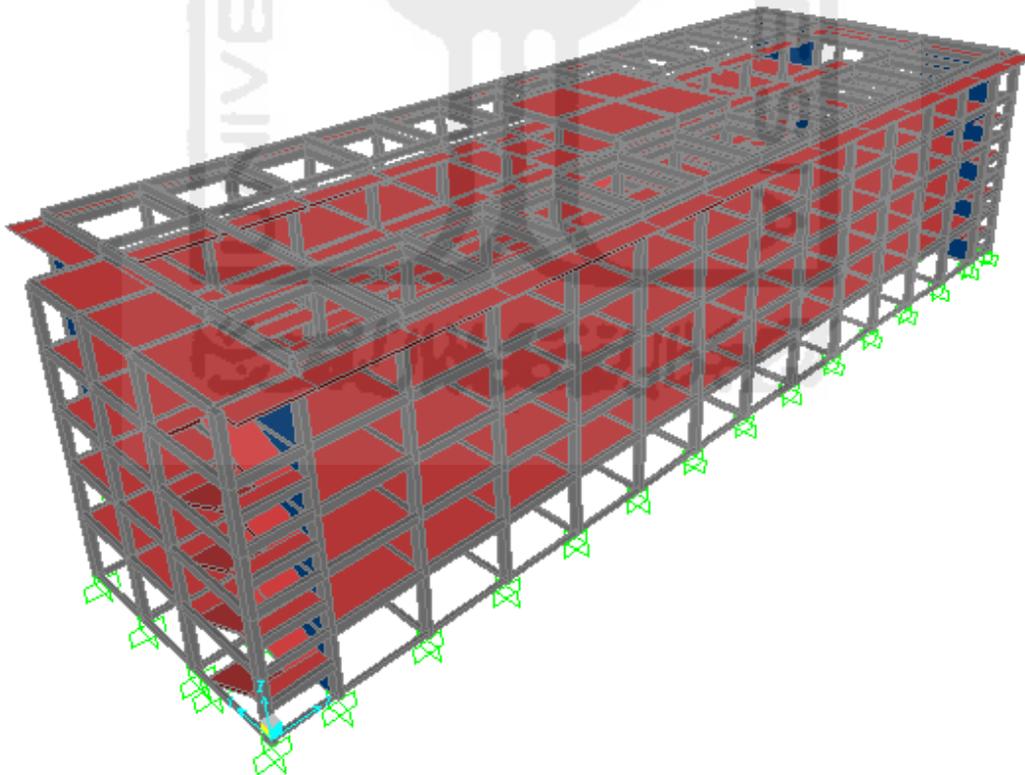
4.6 ANALISA STRUKTUR

Dalam melakukan analisa struktur pada penelitian ini, diperlukan beberapa ketentuan yang akan digunakan yaitu pemodelan numerik struktur dan pembebanan gempa yang akan dijelaskan sebagai berikut.

4.6.1 Pemodelan Numerik Struktur

Penelitian ini menggunakan analisis *nonlinier pushover* dengan bantuan program SAP 2000 V14. Pemodelan berupa portal *open frame*, dimana hanya *shear wall* (dinding geser) yang dimodelkan dalam pemodelan struktur 3D seperti pada Gambar 4.3. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan numerik pada gedung “Asrama Mahasiswi UGM” Yogyakarta.

1. Balok dan kolom diasumsikan sebagai *frame*. Ditunjukkan dalam Gambar 4.3.
2. Plat lantai dimodelkan sebagai *shell*.
3. *Shear wall* dimodelkan sebagai *shell*.
4. Rangka atap tidak dimodelkan, beban mati, beban hidup dan beban angin pada atap diteruskan sebagai beban terpusat pada tumpuan kuda-kuda.

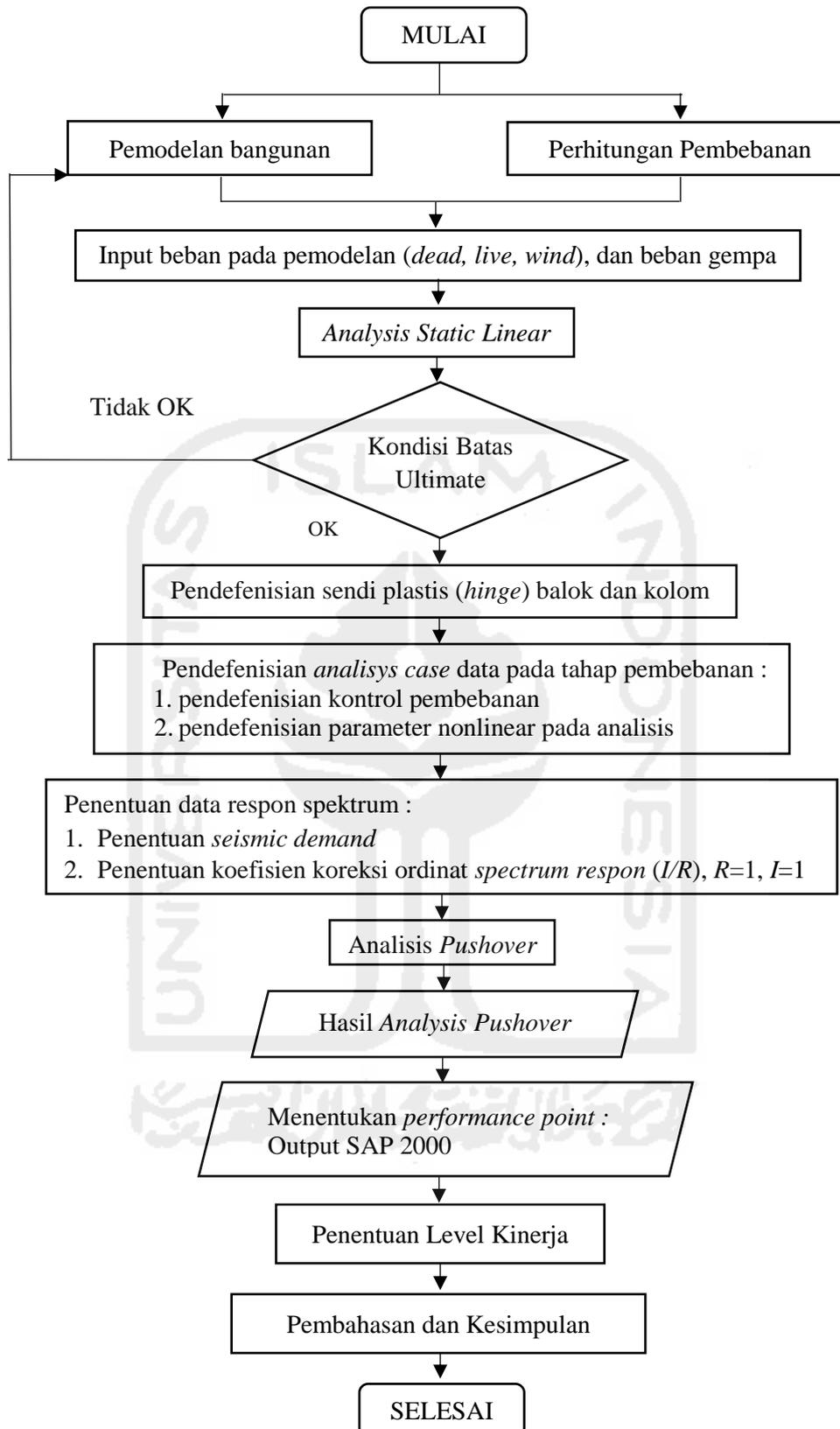


Gambar 4.3 Pemodelan struktur dengan portal *open frame* 3D

4.6.2 Pembebanan Gempa

Pembebanan gempa yang digunakan pada struktur adalah pembebanan gempa statik.





Gambar 4.4 Tahapan analisis *pushover*

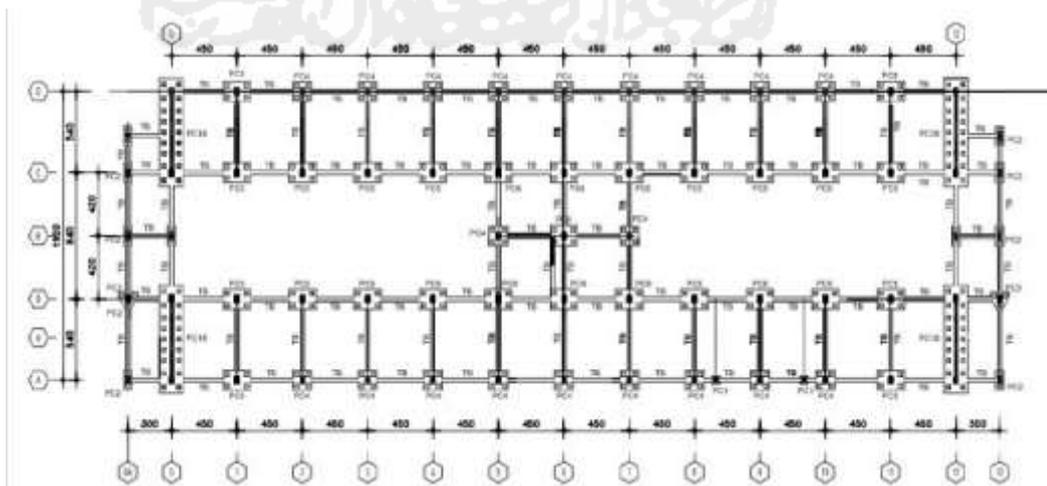
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 PEMODELAN STRUKTUR

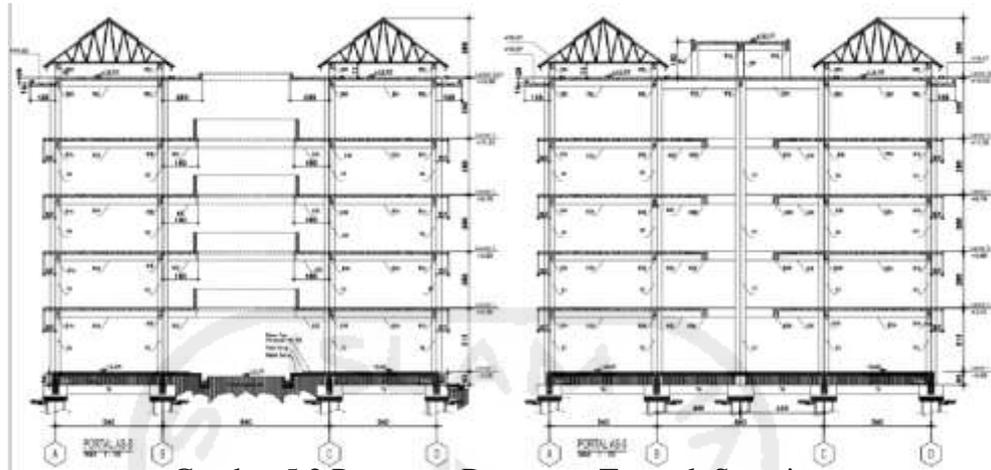
Pemodelan struktur gedung dilakukan secara 3D dengan menggambar semua elemen balok, kolom, pelat, dan *shear wall*. Denah struktur bangunan lantai 1 dan potongan bangunan tampak samping dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.

Data teknis yang digunakan dalam analisis tugas akhir adalah sebagai berikut:

- a. Lokasi bangunan : Yogyakarta
- b. Jenis bangunan : Rumah Susun Sederhana Sewa (RUSUNAWA)
- c. Konstruksi bangunan : Struktur beton bertulang
- d. Jenis tanah : Tanah sedang
- e. Spesifikasi Material
 - Mutu beton ($f'c$) : 28.43 MPa
 - Mutu tul pokok (f_y): 390 MPa
 - Mutu tul geser (f_y): 240 MPa



Gambar 5.1 Denah Struktur Bangunan Lantai 1



Gambar 5.2 Potongan Bangunan Tampak Samping

5.2 PEMBEBANAN STRUKTUR

Pembebanan struktur meliputi perhitungan beban mati tambahan (*finishing*), beban hidup, dan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dengan penjelasan sebagai berikut.

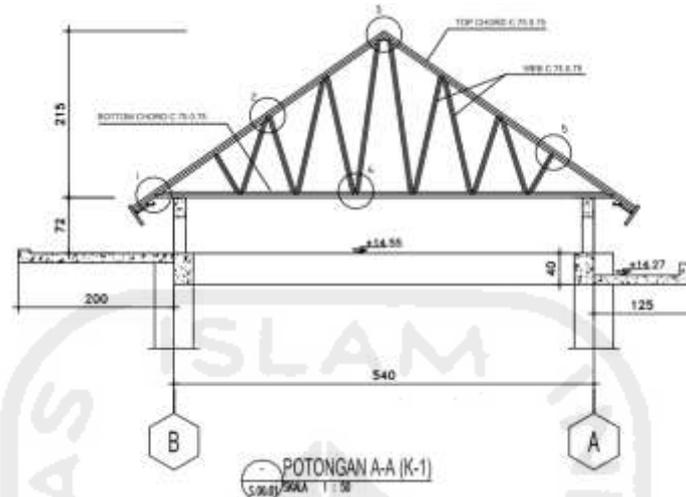
5.2.1 Beban Mati

Pada beban mati sendiri seperti balok, kolom, dan pelat lantai tidak dimasukkan karena sudah dimodelkan langsung dan akan dihitung otomatis oleh SAP 2000 V14. Elemen yang perlu ditambahkan dalam pembebanan struktur adalah beban mati tambahan.

A. Berat Sendiri Kuda-kuda

Berat sendiri kuda-kuda dihitung sendiri terpisah oleh gedung sesuai dengan struktur kuda-kuda pada gambar kerja. Gambar potongan kuda-kuda dapat dilihat pada Gambar 5.3.

Untuk menghitung beban angin tekan dan angin hisap pada struktur kuda-kuda, terlebih dahulu menentukan sudut kuda-kuda guna mendapatkan koefisien angin tekan dan hisap. Tabel koefisien angin ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Gambar 5.3 Potongan Tipe Kuda-kuda

a. Perhitungan Beban

Berat penutup atap seng gelombang	: 0.0981 KN/m ²
Beban plafond	: 0,007554 KN/m
Profil gording	: C 75.0.75 mm → q = 0.005592 KN/m
Jarak antar gording	: 0,8629m
Jarak antar kuda-kuda	: 1.25m

b. Beban Mati

Penutup Atap	: 1.25 m x 0.8629 m x 0.0981 KN/m ²	= 35,010 KN
Gording	: 0,9 m x 0,005592 KN/m	= 0.00482 KN
Plafond	: 0,007554 KN/m x 0,9 m	= 0.66443 KN
		————— +
PD		= 0.77512 KN

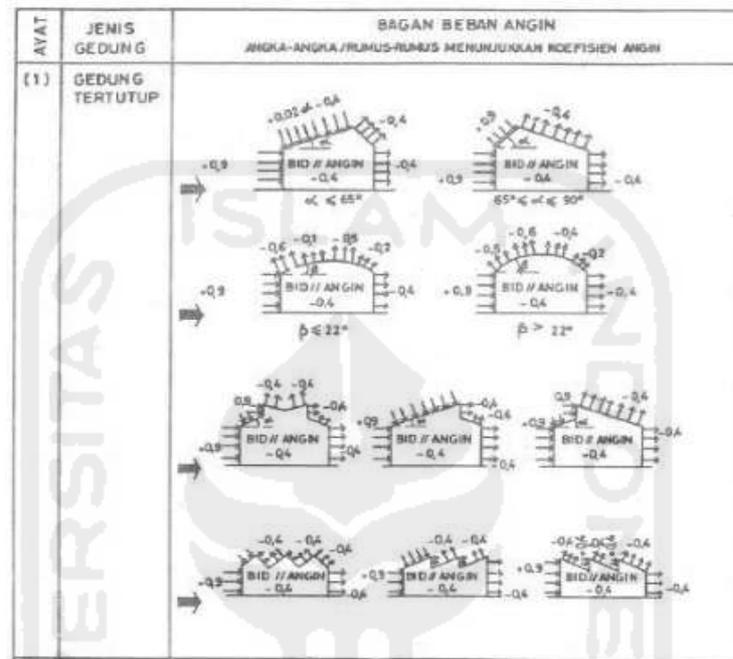
c. Beban Hidup

$$PL : 0.981 \text{ KN/m}^2 \times 1.25 \text{ m} \times 0.8629 \text{ m} = 1.05813 \text{ KN}$$

d. Beban Angin

$$\text{Sudut kuda-kuda } (\alpha) : 38.53^\circ$$

Tekan tiup angin : 25 kg/m² = 0.24525 KN/m²
 Koefisien angin tekan : $(0,02 \times 38.53^\circ) - 0,4 = 0,3706$
 Koefisien angin hisap : 0,4



Gambar 5.4 Koefisien Angin

(Sumber: Pasal 4.3 Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987)

➤ Angin Tekan (Q_T)

$$\begin{aligned}
 W_1 &= L_{\text{antar gording}} \times B_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Koef}_{\text{tekan}} \times q_w \\
 &= 0,8629 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,3706 \times 0,24525 \text{ KN/m}^2 \\
 &= 0,09803 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Angin Vertikal (} V_T \text{)} = W_1 \times \cos 38.53 = 0.75234 \text{ KN}$$

$$\text{Beban Angin Horizontal (} V_H \text{)} = W_1 \times \sin 38.53 = 0.599086 \text{ KN}$$

➤ Angin Hisap (Q_H)

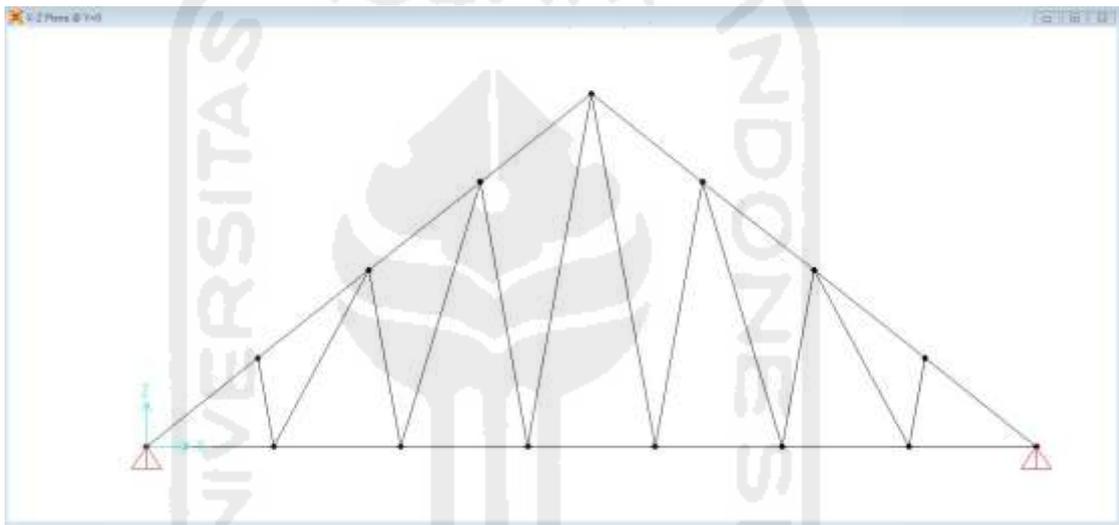
$$\begin{aligned}
 W_2 &= L_{\text{antar gording}} \times B_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Koef}_{\text{tekan}} \times q_w \\
 &= 0,8629 \text{ m} \times 1,25 \text{ m} \times 0,4 \times 0,24525 \text{ KN/m}^2 \\
 &= 0,105813 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Beban Angin Vertikal (} V_T \text{)} = W_2 \times \cos 38.53 = 0.81203 \text{ KN}$$

$$\text{Beban Angin Horizontal (} V_H \text{)} = W_2 \times \sin 38.53 = 0.646612 \text{ KN}$$

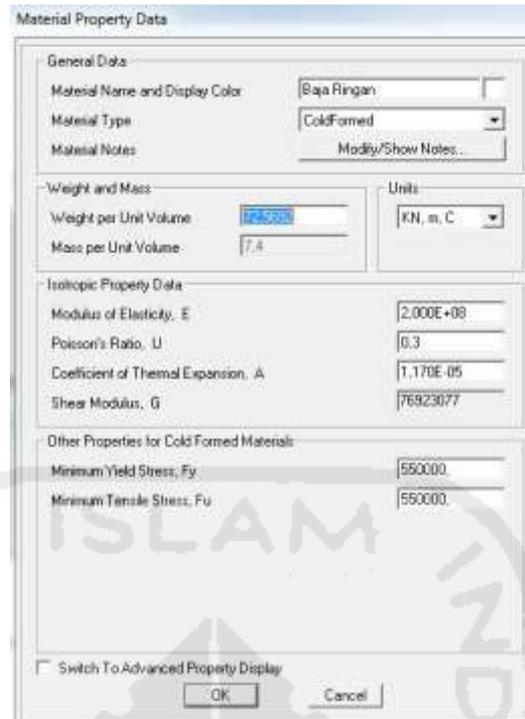
Setelah dilakukan perhitungan beban secara manual, reaksi perletakan joint didapatkan dengan melakukan analisis kuda-kuda pada SAP 2000 V14. Langkah-langkah analisis menggunakan program SAP 2000 V14 untuk mencari reaksi perletakan joint berat sendiri kuda-kuda adalah sebagai berikut:

1. Langkah pertama adalah memilih satuan ke KNm,C. Kemudian memodelkan struktur kuda-kuda secara 2D dengan SAP 2000 V14, seperti pada Gambar 5.5.



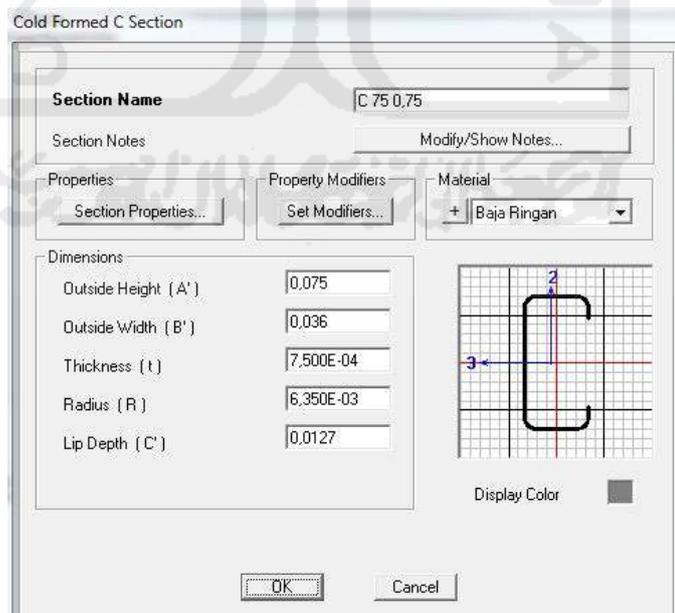
Gambar 5.5 Pemodelan Struktur Kuda-kuda 2D

2. Kemudian menentukan material dengan cara *Define>Materials>Add New Material*. Isi material dengan mutu baja BJ 37, tegangan putus minimum (f_u) 550 MPa, tegangan leleh minimum (f_y) 550 MPa, ditunjukkan pada Gambar 5.6.



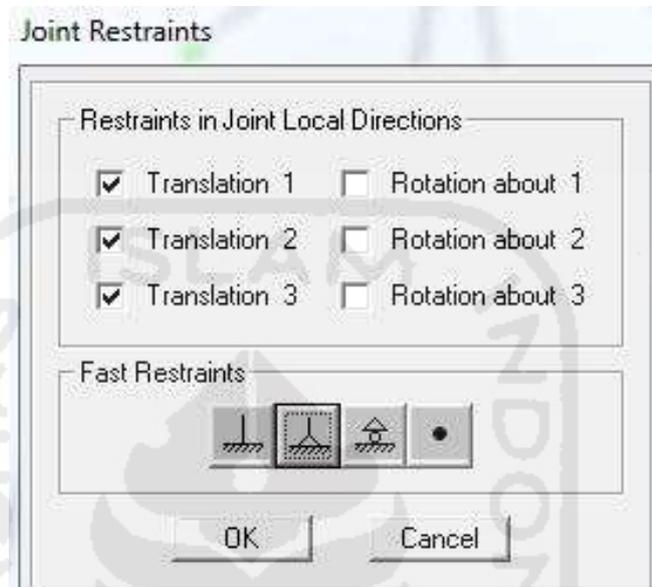
Gambar 5.6 *Material Property Data*

- Menentukan profil baja ringan, *Define>Section Properties>Frame Section>Add New Property*. Pada analisis ini menggunakan jenis *Steel C Section* dengan ukuran profil 75. *Frame properties* profil baja ditunjukkan pada Gambar 5.7.



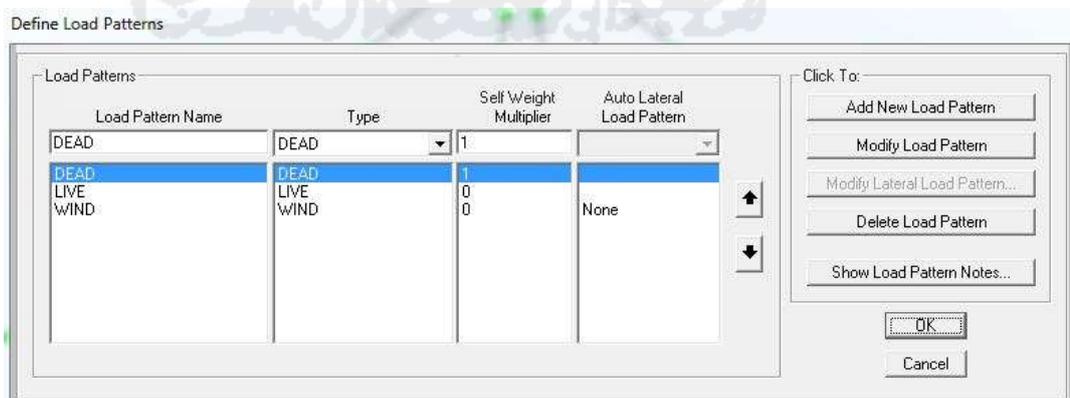
Gambar 5.7 *Frame Properties*

4. Memberi tumpuan pada frame dengan cara klik joint-joint yang dimodelkan sebagai tumpuan, kemudian Assign>Joint>Restraint>Pilih . Assign joint restraints ditunjukkan pada Gambar 5.8.



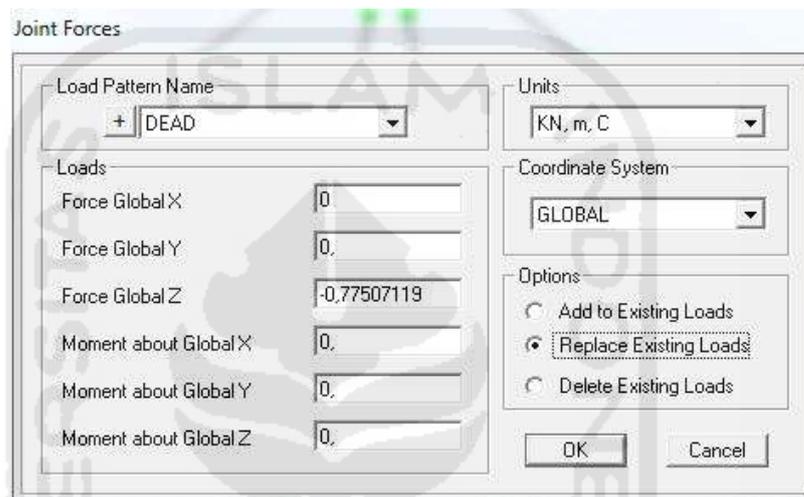
Gambar 5.8 Joint Restraints

5. Menentukan jenis beban dengan Define>Load Patterns kemudian tentukan bebannya yaitu beban mati, beban hidup, dan beban angin. Pilih faktor pengali 1 untuk beban mati pada Self Weight Multiplier. Load patterns dapat dilihat pada Gambar 5.9.



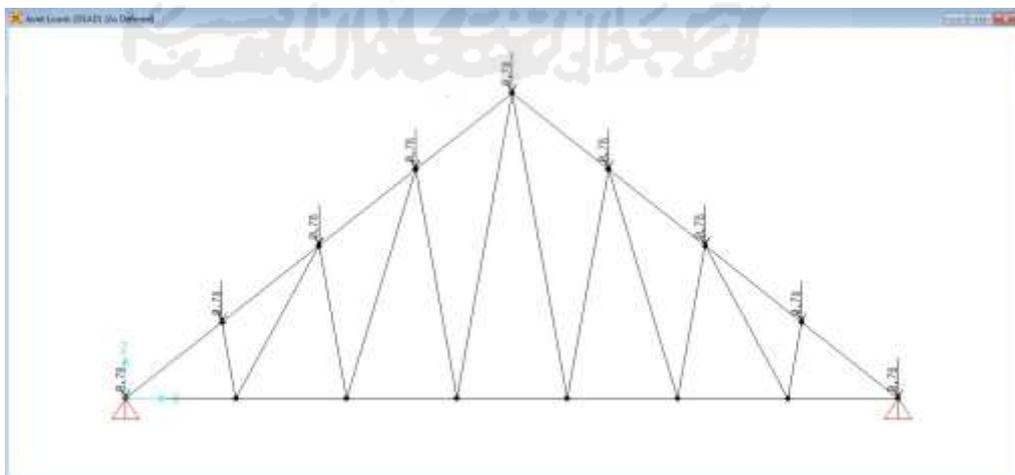
Gambar 5.9 Define Load Patterns

6. Karena hanya akan mencari reaksi tumpuan pada *joint*, maka tidak diperlukan *Load Combination*. Langkah selanjutnya adalah memasukkan nilai beban mati, hidup, dan angin yang sebelumnya telah dihitung. Sebagai contoh pada beban mati didapat 3.75 KN, klik pada joint-joint yang akan diberi beban kemudian *Assign > Joint Loads > Forces*. Masukkan beban sesuai dengan *Load Pattern Name > Dead* pada arah Z. *Joint force* ditunjukkan pada Gambar 5.10.

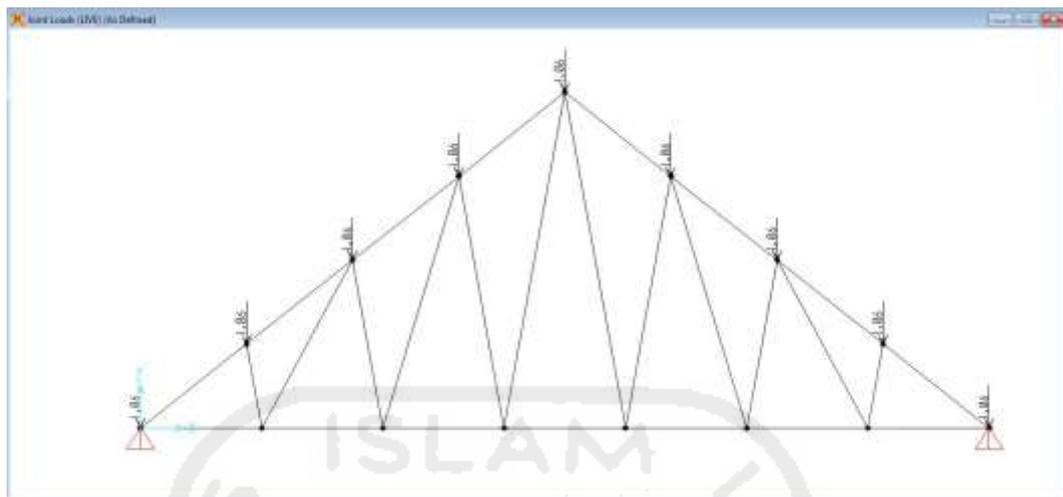


Gambar 5.10 *Joint Forces*

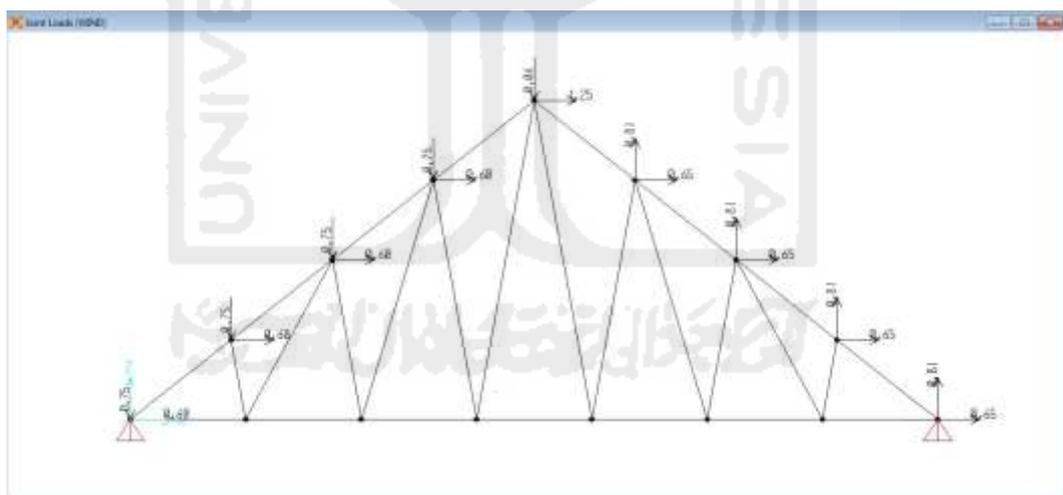
7. Nilai beban mati, beban hidup, dan beban angin yang diletakkan pada joint-joint struktur rangka atap dapat dilihat pada Gambar 5.11 sampai Gambar 5.13.



Gambar 5.11 Beban Mati (*Dead Load*) Pada Struktur

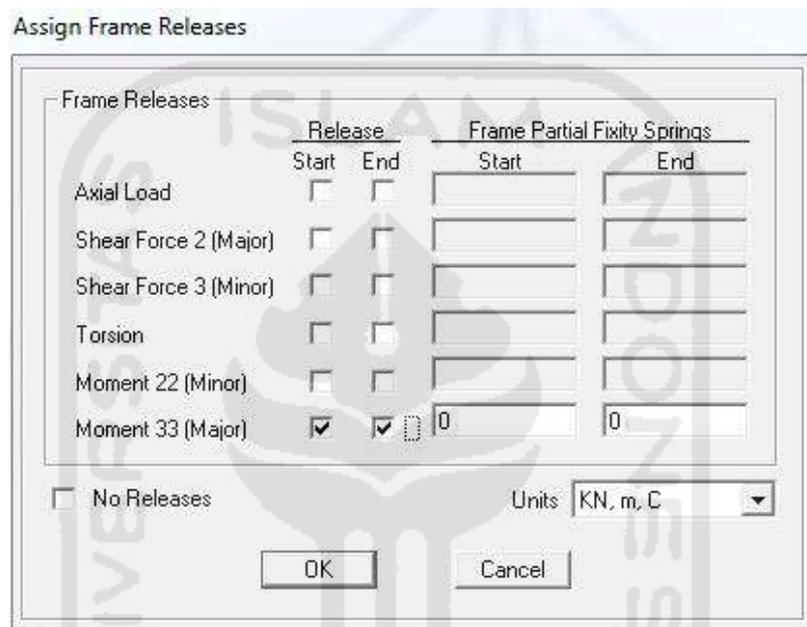


Gambar 5.12 Beban Hidup (*Live Load*) Pada Struktur

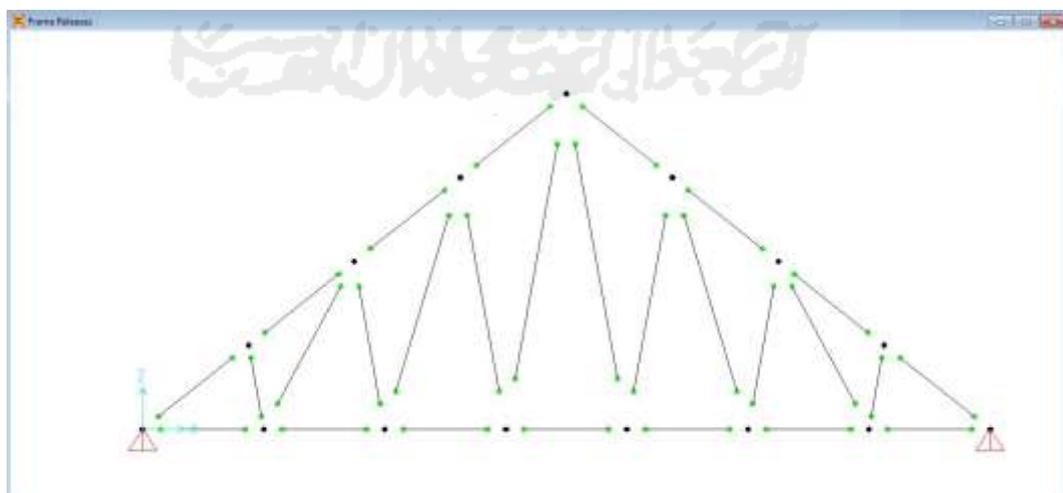


Gambar 5.13 Beban Angin (*Wind Load*) Tekan dan Hisap Pada Struktur

7. Setelah input semua beban kemudian dilakukan analisis model struktur. Pertama dilakukan *Frame Releases* dengan cara pilih semua frame, kemudian *Assign > Frame > Releases/Partial Fixity*. Centang *Moment 33* seperti pada Gambar 5.14, kemudian klik OK. Model struktur akan menjadi seperti pada Gambar 5.15.



Gambar 5.14 *Frame Releases*



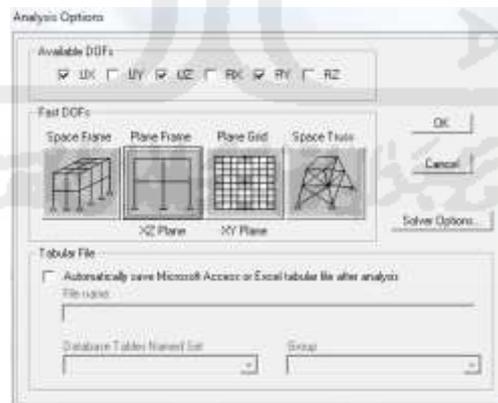
Gambar 5.15 *Frame Setelah di Release*

8. Menentukan acuan perencanaan yang akan digunakan dengan cara *Design > Steel Frame Design > View/Revise Preferences*. Pada struktur ini mengacu pada AISC-LRFD93 yang ditunjukkan pada Gambar 5.16.



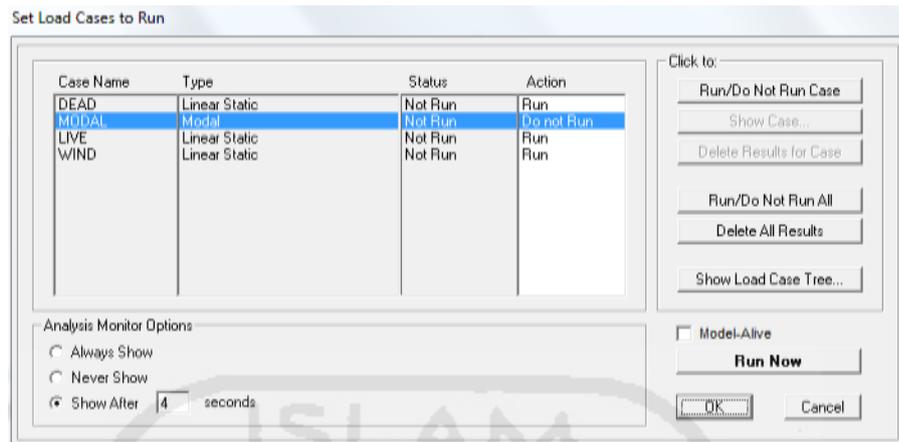
Gambar 5.16 *Steel Frame Design* Berdasarkan AISC-LRFD93

9. Struktur akan dianalisis secara 2D seperti tampilan pada Gambar 5.17, klik *Analyze>Set Analysis Options>pilih XZ Plane>OK*.



Gambar 5.17 *Set Analysis Options XZ Plane*

10. Selanjutnya melakukan analisis pada kotak dialog *set load case to run* pada Gambar 5.18. Klik *Analyze>Run Analysis>Do Not Run Case MODAL>Run Now*.



Gambar 5.18 *Set Load Cases to Run*

11. Pembacaan reaksi struktur dengan klik pada  pilih *Joint*. Kemudian pilih *Case DEAD, LIVE, atau WIND* pada *Joint Reaction Forces* untuk mengetahui reaksi tumpuan. Selanjutnya beban-beban tersebut akan digunakan sebagai berat sendiri kuda-kuda yang dimodelkan sebagai beban titik pada ring balok atap dalam analisis struktur gedung pada penelitian ini. Hasil reaksi perletakan joint untuk berat sendiri kuda-kuda terdapat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Reaksi Perletakan Joint Untuk Berat Sendiri Kuda-Kuda

Beban	Joint	V	H
		kN	kN
DEAD	1	3.613	2.908
	3	3.613	2.908
LIVE	1	4.762	3.797
	3	4.762	3.797
WIND	1	0.626	0.3126
	3	0.805	0.3102

B. Pelat

a) Pelat Lantai

Pasir	$= 0,03 \text{ m} \times 17.658 \text{ KN/m}^3$	$= 0.52974 \text{ KN/m}^2$	
Spesi	$= 0.02 \text{ m} \times 19.1295 \text{ KN/m}^3$	$= 0.3825 \text{ KN/m}^2$	
Keramik	$= 0.1716 \text{ KN/m}^2$	$= 0.1716 \text{ KN/m}^2$	
Plafon Asbes	$= 0.10791 \text{ KN/m}^2$	$= 0.10791 \text{ KN/m}^2$	
Penggantung	$= 0.06867 \text{ KN/m}^2$	$= 0.06867 \text{ KN/m}^2$	
Ducting AC	$= 0.1962 \text{ KN/m}^2$	$= 0.1962 \text{ KN/m}^2$	
			+
	$Q_d \text{ lantai}$	$= 1.4568 \text{ KN/ m}^2$	

b) Pelat Atap (*Finishing* lantai atap)

Waterproofing (3 cm)	$= 0,03 \text{ m} \times 18.6390 \text{ KN/m}^3$	$= 0,55917 \text{ KN/m}^2$	
Plafon Asbes	$= 0.10791 \text{ KN/m}^2$	$= 0.10791 \text{ KN/m}^2$	
			+
	$Q_d \text{ atap}$	$= 0.75537 \text{ KN/ m}^2$	

c) Pelat Tangga

Spesi	$= 0.000513 \times 19.1295 \text{ KN/m}^3$	$= 0.0098134 \text{ KN/m}^2$	
Keramik	$= 0.1716 \text{ KN/m}^2$	$= 0.1716 \text{ KN/m}^2$	
Anak Tangga	$= 0.2052 \times 23.544 \text{ KN/m}^2$	$= 4.83122 \text{ KN/m}^2$	
			+
	$Q_d \text{ tangga}$	$= 5.0127 \text{ KN/ m}^2$	

d) Pelat Bordes

Spesi	$= 0.02 \text{ m} \times 19.1295 \text{ KN/m}^3$	$= 0.3825 \text{ KN/m}^2$	
Keramik	$= 0.1716 \text{ KN/m}^2$	$= 0.1716 \text{ KN/m}^2$	
			+
	$Q_d \text{ bordes}$	$= 0.5543 \text{ KN/ m}^2$	

C. Dinding

Digunakan pasangan bata merah setengah batu, $Q_t = 16.667 \text{ KN/m}^2$ dengan contoh perhitungan lantai 2 sebagai berikut.

Tinggi tembok = tinggi lantai – tinggi balok

$$= 2.8 \text{ m} - 0,45 \text{ m}$$

$$= 2.75 \text{ m}$$

$Q_t = \text{BJ pas bata} \times (\text{H dinding} - \text{H balok}) \times \text{tebal dinding}$

$$= 16.667 \text{ KN/m}^2 \times (2,8 \text{ m} - 0.4 \text{ m}) \times 0.15 \text{ m}$$

$$= 6.00372 \text{ KN/m}$$

Perhitungan beban dinding pada lantai 1 sampai 5 terdapat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Beban Dinding

Lantai	Berat Vol (KN/m ³)	H Dinding(m)	Tebal Dinding (m)	Q _{dinding} (KN/m)
Dak Atap 15.27	16.677	0.32	0.15	0.800496
5	16.677	2.6	0.15	6.500372
4	16.677	2.4	0.15	6.00372
3	16.677	2.4	0.15	6.00372
2	16.677	2.4	0.15	6.00372
1	16.677	2.95	0.15	7.3795
Σ Beban Dinding				3.088

5.2.2 Beban Hidup

Fungsi bangunan sebagai Rusunawa

- a. Beban hidup pada lantai

$$Q_L = 250 \text{ kg/m}^2 = 2.4525 \text{ KN/m}^2$$

- b. Beban hidup plat tangga dan bordes

$$Q_L = 300 \text{ kg/m}^2 = 2.943 \text{ KN/m}^2$$

- c. Beban hidup pada atap

$$Q_L = 100 \text{ kg/m}^2 = 0,981 \text{ KN/m}^2$$

5.2.3 Beban Gempa

A. Perhitungan Berat Total Bangunan (W_t)

Besarnya beban gempa sangat dipengaruhi oleh berat dari struktur bangunan, sehingga perlu dihitung berat dari masing-masing lantai bangunan. Pada penelitian ini berat bangunan didapat dari perhitungan manual. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Berat Bangunan Perlantai

Lantai	H (m)	W (KN)
Tandon Air	16.07	430.25482
Ring Balok +15.27	15.27	560.84633
Dak Atap +14.55	14.6	1178.187671
5	11.6	8592.457366
4	8.8	8440.218919
3	6	8440.218919
2	3.2	8822.655883
1	-0.7	7849.112955
Total		44313.95287

B. Beban Gempa SNI 03-1726-2012

Diketahui lokasi bangunan berada di daerah Yogyakarta dengan jenis tanah keras, jumlah tingkat 5 lantai, dengan atap. Tinggi bangunan 16.07 m, dan bangunan direncanakan dengan tingkat daktilitas penuh. Analisis beban gempa pada struktur bangunan gedung ini menggunakan statik ekuivalen.

1. Parameter Percepatan Gempa

- a) Percepatan Batuan Dasar Pada Perioda Pendek (S_S)

Didapat dari peta respon spektra percepatan 0,2 dt (S_S) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun SNI 03-1726-2012 yang terdapat pada gambar 3.3, $S_S = 0.9 - 1.0 g = 1 g$.

- b) Percepatan Batuan Dasar Pada Perioda 1 detik (S_I)

Didapat dari peta respon spektra percepatan 1 dt (S_I) di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun SNI 03-1726-2012, $S_I = 0.3 - 0.4 g = 0,4 g$.

c) Koefisien Resiko Terpetakan

Perioda respons spektral 0,2 dt (Cr_s), $Cr_s = 1$.

Perioda Respons Spektral 1 dt (Cr_l), $Cr_l = 1$.

d) Koefisien Situs (*Site Coefficient*)

Faktor Amplifikasi Seismik pada Getaran Perioda Pendek (F_a) = 1.1

Faktor Amplifikasi Seismik pada Getaran Perioda 1 detik (F_v) = 1.6

e) Parameter Respons Spektrum

Hubungan koefisien-koefisien situs dan parameter respon spektra tersebut adalah :

Percepatan pada Perioda Pendek (S_{MS})

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_S \\ &= 1.1 \times 1 = 1.1 \end{aligned}$$

Percepatan pada Perioda 1 detik (S_{Ml})

$$\begin{aligned} S_{Ml} &= F_v \times S_I \\ &= 1.6 \times 0,4 = 0,64 \end{aligned}$$

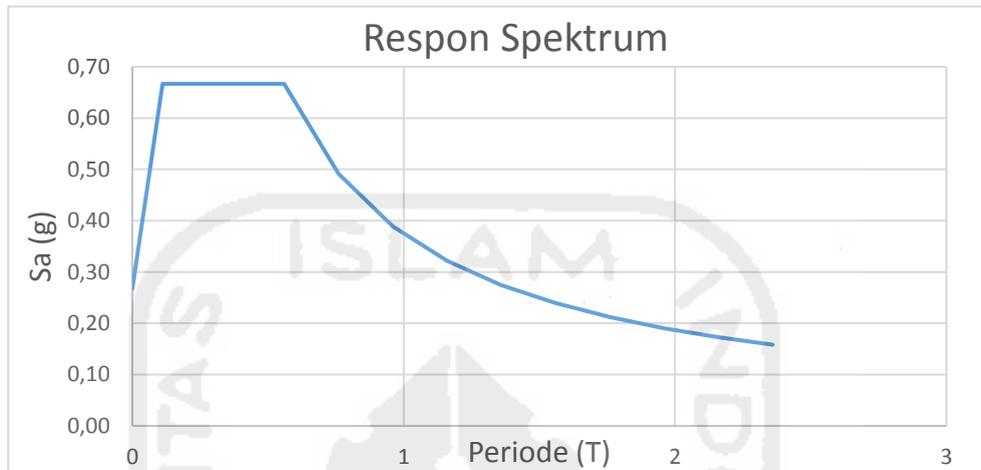
2. Parameter Percepatan Spektral Desain

a) Spektral Desain untuk Perioda Pendek (S_{DS})

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \times Cr_s \\ &= \frac{2}{3} \times 1.1 \times 1 \\ &= 0.733 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{DI} &= \frac{2}{3} \times S_{Ml} \times Cr_l \\ &= \frac{2}{3} \times 0.64 \times 1 \\ &= 0.427 \end{aligned}$$

Didapatkan grafik respons spektrum menurut SNI 03-1726-2012 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Respons Spektrum Berdasarkan SNI 03-1726-2012

b) Spektrum Respons Desain

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= 0,2 \frac{0,427}{0,733}$$

$$= 0,1164$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$= \frac{0,427}{0,733}$$

$$= 0,5818$$

3. Periode Fundamental Pendekatan

- a) Menentukan Waktu Getar Struktur (T)

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0466 \times 16,07^{0,9} \\ &= 0,5672 \text{ detik} \end{aligned}$$

Dimana :

h_n : ketinggian struktur (m)

C_t & x : koefisien didapat dari Tabel 15 SNI 03-1726-2012

- b) Spektrum Respons Percepatan Desain

Untuk Periode $\geq T_0$ dan $\leq T_S$, $S_a = S_{DS}$

$$S_a = 0.733$$

- c) Nilai Periode Maksimum

$$\begin{aligned} T_{max} &= C_u \times T_a \\ &= 1.4 \times 0.5672 = 0.7941 \text{ detik} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

- a) Tingkat Daktilitas Struktur, $R = 1$

- b) Faktor Keutamaan Struktur. $I = 1$

$$\begin{aligned} \text{c) } C_S &= \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0.427}{\left(\frac{1}{1}\right)} \\ &= 0.4267 \end{aligned}$$

Nilai C_S yang dihitung menurut persamaan diatas tidak perlu melebihi,

$$\text{d) } C_S \text{ maks} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$= \frac{0.427}{0.5672 \left(\frac{1}{1} \right)}$$

$$= 0.75212 > 0.4267$$

C_s harus tidak kurang dari,

$$\begin{aligned} \text{e) } C_s \text{ Min} &= 0.044 \cdot S_{Ds} \cdot I_e \geq 0,01 \\ &= 0.044 \times 0.733 \times 1.5 \\ &= 0.0322 \geq 0.01 \end{aligned}$$

Jadi, nilai C_s yang digunakan adalah 0.4267

5. Gaya Geser Dasar

Perhitungan gaya geser dasar seismik dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V &= C_s \cdot W_t \\ &= 0.4267 \times 44313.95287 \\ &= 18907.28656 \text{ KN} \end{aligned}$$

6. Gaya Horizontal Gempa Ekuivalen Statik (F_i)

Gaya gempa lateral yang terdapat pada setiap tingkat ditentukan dengan persamaan dibawah ini :

$$F_i = C_v \cdot V$$

dengan,

$$C_v = \frac{W_i H_i^k}{\sum W_i H_i^k}$$

dimana:

F_i = Gaya Horizontal Gempa (ton)

W_i = Berat Struktur Tiap Tingkat i (ton)

H_i = Tinggi Tiap Tingkat i (m)

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur

Nilai k merupakan eksponen terkait dengan periode struktur. Untuk struktur yang mempunyai periode 0,5 detik atau kurang, $k = 1$. Untuk struktur yang

mempunyai periode 2,5 detik atau lebih, $k = 2$. Sedangkan untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 – 2,5 detik, $k =$ hasil interpolasi. Maka nilai k yang digunakan untuk $T = 0,5672$ detik dicari menggunakan interpolasi adalah sebagai berikut:

$$\frac{x}{0,5672 - 0,5} = \frac{1}{2,5 - 0,5}$$

$$\frac{x}{0,0672} = \frac{1}{2}$$

$$x = 0,0336$$

$$k = 1 + 0,0102 = 1,0336$$

Perhitungan distribusi gaya lateral pada tiap lantai berdasarkan beban gempa SNI 03-1726-2012 dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Perhitungan Distribusi Gaya Horizontal Gempa SNI 03-1726-2012

Lantai	Fx dan Fy (Lateral Force Arah X dan Arah Y)
Tandon Air	467.37123
Ring Balok	577.90599
Dak Atap	1159.0069
5	6663.9765
4	4919.9227
3	3311.5489
2	1807.5540
Total	18907.28656

Kontrol :

$$V = \sum F_i$$

$$18907.28656 = 18907.28656 \rightarrow \text{OK}$$

5.3 ANALISA BEBAN GEMPA

5.3.1 Analisa Beban Gempa Statik (Gaya geser dasar)

Gaya geser dasar (*base shear*) hasil analisis struktur menggunakan metode statik ekuivalen ditunjukkan pada Gambar 5.20.

OutputCase	CaseType	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m	GlobalX m	GlobalY m
EQx 2012	LnStatic	-18907.296	-18907.296	2.503E-11	-10.5954	-100871.434	244954.8847	0	0
EQy 2012	LnStatic	2.782E-10	-18907.296	-2.585E-11	108316.4301	-84.585	-640884.18	0	0

Gambar 5.20 *Base Reaction* akibat beban gempa statik ekuivalen

Dari Gambar 5. dapat diketahui bahwa gaya geser dasar akibat beban gempa untuk arah-X (V_x) dan arah-Y (V_y) sebesar $V_x = V_y = 18907.296$ KN.

5.3.2 Analisa Beban Gempa Dinamik (Gaya geser dasar)

Gaya geser dasar (*base reaction*) akibat pembebanan gempa respon spektrum (RSP) dapat dilihat Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Gaya geser dasar

Output case	Case type	Step type	Global FX	Global FY
Text	Text	text	KN	KN
RSP	LineRespSpec	Max	15019.298	16233.887

Evaluasi gempa arah-X

$$F_x\text{-statik} = 19090.86195 \text{ KN}$$

$$F_x\text{-RS} = 15019.298 \text{ KN} < 85\% F_y \text{ statik} = 16227.23266 \text{ KN}$$

Jadi spectrum respon pada arah x dalam analisis ragam spectrum perlu diperbesar:

$$\frac{16227.2326}{15019.298} = 1.08$$

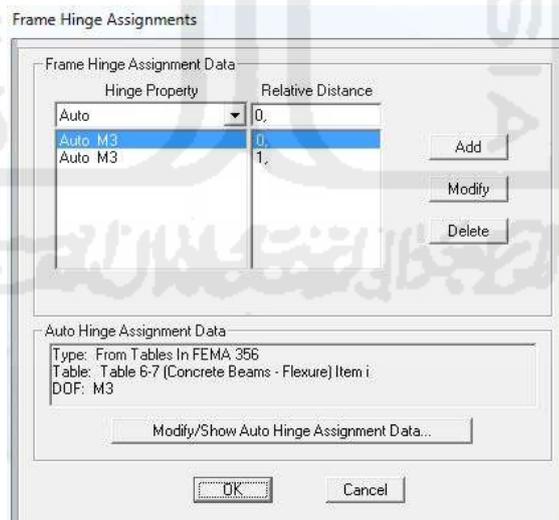
5.4 ANALYSIS PUSHOVER

5.4.1 Pendefinisian Sendi Plastis

Pendefinisian sendi plastis elemen struktur diperoleh dari moment rotasi (*momen-curvature*) yang menggambarkan kemampuan deformasi dari elemen struktur. Dalam Tugas Akhir ini *momen curvature* yang digunakan secara auto pada program SAP 2000 V14 berdasarkan ketentuan FEMA 356 (2000).

1. Pendefinisia Sendi Plastis pada Balok.

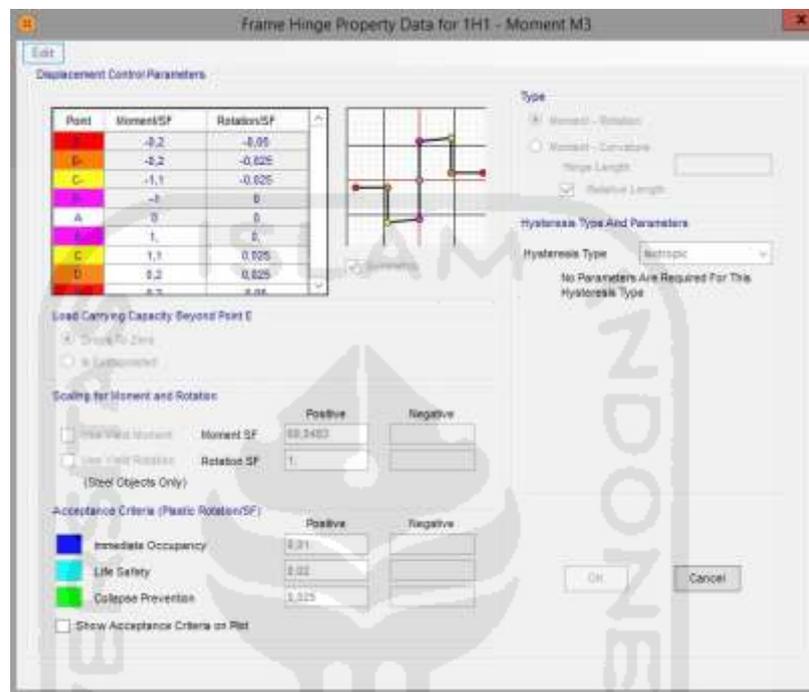
Penempatan sendi plastis pada balok pada SAP 2000 V14 dilakukan dengan cara mengklik balok-balok pada bangunan yang sudah dimodelkan sebelumnya, lalu klik menu *Assign – Frame – Hinges*. Pada kotak dialog *Frame Hinges Assignments* buat 2 sendi plastis untuk *Relative Distance* 0 dan. klik add untuk *Relative Distance* 0 – *Auto Hinge Type* pilih “FEMA 356” – *Select a FEMA 356 Table* pilih “*Table 6-7 (Concrete Beams-Flexure) Item i*” – *Degree of Freedom* pilih M3 – Ok. Lakukan Hal yang sama untuk *Relative Distance* 1. Hal ini dimaksudkan bahwa sendi plastis diletakkan pada setiap ujung elemen struktur. Pendefinisian *Hinge* dapat dilihat pada Gambar 5.21



Gambar 5.21 Pendefinisian *Hinge*

Untuk mengetahui dan meng-*edit* properti sendi plastis pada balok dapat dilakukan dengan cara klik menu *Define – Section Properties – Hinge Properties –*

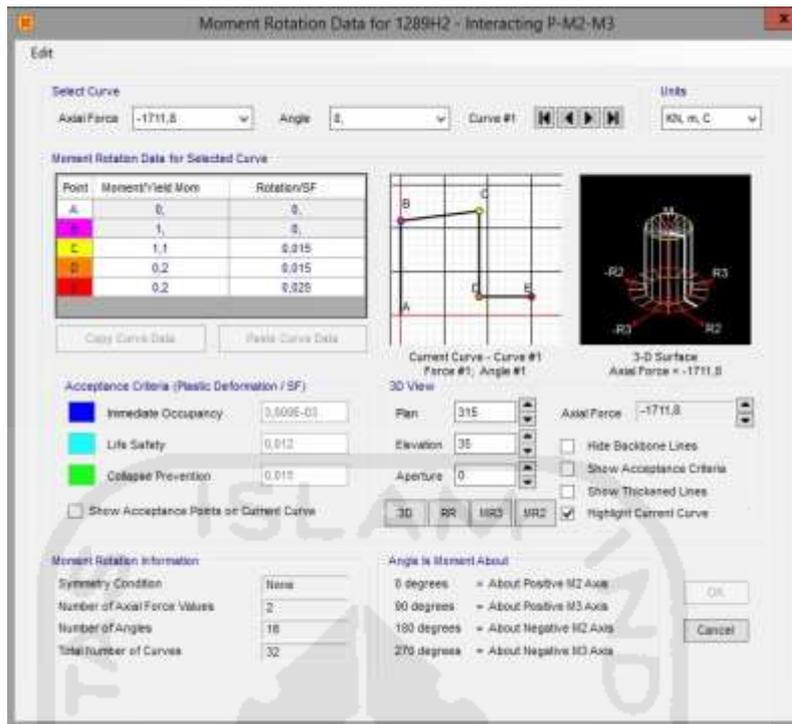
Show Hinge Details. Pilih sendi plastis yang akan dilihat propertinya, klik *Modify/show property – Modify/Show Hinge Property* untuk melihat hasil properti sendi plastis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.22.



Gambar 5.22 Hasil pendefinisian *hinge* balok

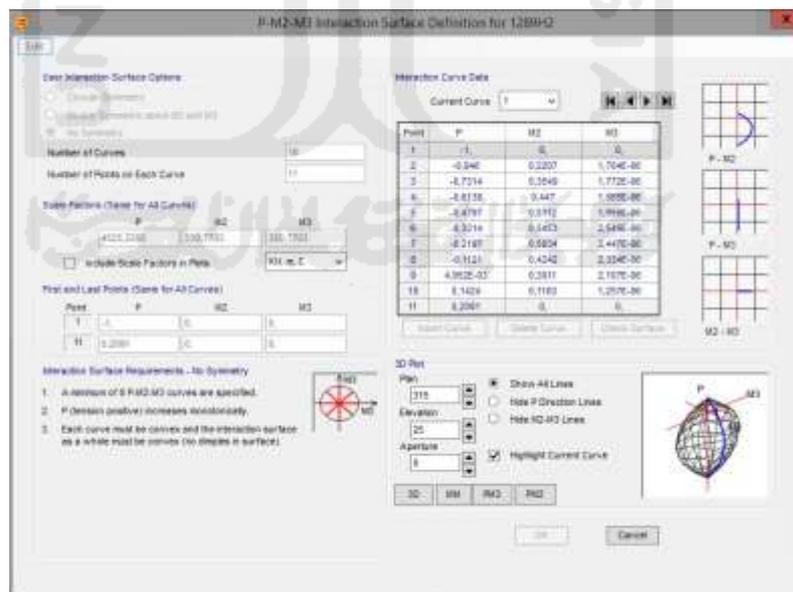
2. Pendefinisian Sendi Plastis pada Kolom

Penempatan sendi plastis pada kolom sama seperti cara pada balok. Namun untuk *Degree of Freedom* nya menggunakan P-M2-M3 yang artinya kolom menerima gaya aksial dan momen arah 2 dan 3. Properti sendi plastis kolom dapat dilihat pada menu *Define – Section Properties – Hinge Properties*. Pilih Sendi plastis yang akan dilihat, klik *Modify/show property – Modify/Show Hinge Property*. Klik opsi *Modify/Show Moment Rotation Curve Data* untuk melihat data-data momen rotasi, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.23.



Gambar 5.23 Moment Rotation Data Kolom

Untuk melihat kurva interaksi pada kolom dapat dilakukan dengan cara klik *Define – Section Properties – Hinge Properties* dan klik opsi *Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data* ditunjukkan pada Gambar 5.24.



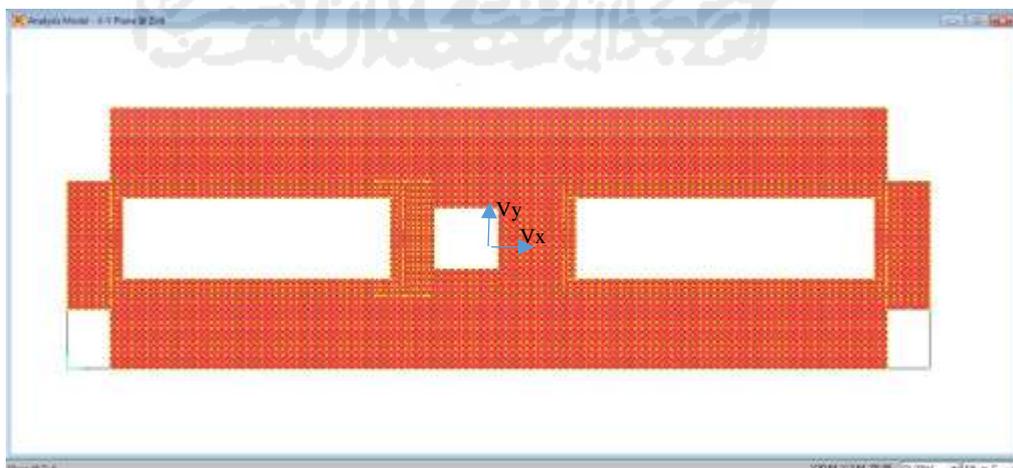
Gambar 5.24 P-M2-M3 Interaction Surface pada kolom

5.4.2 Gaya Lateral *Pushover Analysis*

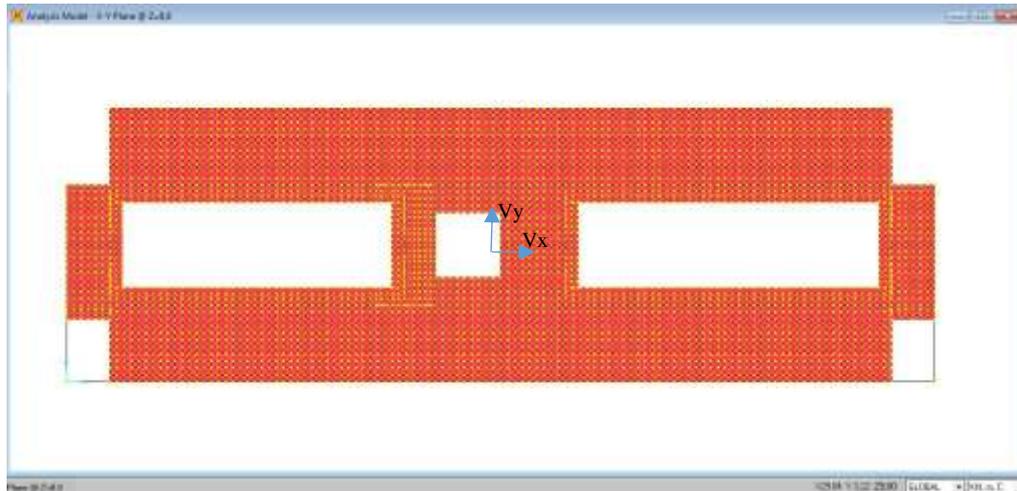
Analisis statik nonlinier atau *pushover* dilakukan dengan cara memberikan gaya lateral horisontal statik berupa beban titik yang diletakkan di setiap lantai pada kolom bangunan baik arah x dan y . Gaya lateral yang dimasukkan adalah gaya gempa yang telah dihitung pada sub bab sebelumnya. Gaya geser dasar gempa $V_x = V_y = 19090.86195$ KN yang kemudian di distribusikan pada setiap kolom arah x dan y setiap lantai, dapat dilihat pada Tabel 5.6. Letak Penempatan gaya statik lateral ini dapat dilihat dari Gambar 5.25 sampai Gambar 5.31.

Tabel 5.6 Gaya lateral *pushover* Arah X (F_x) dan Arah Y (F_y)

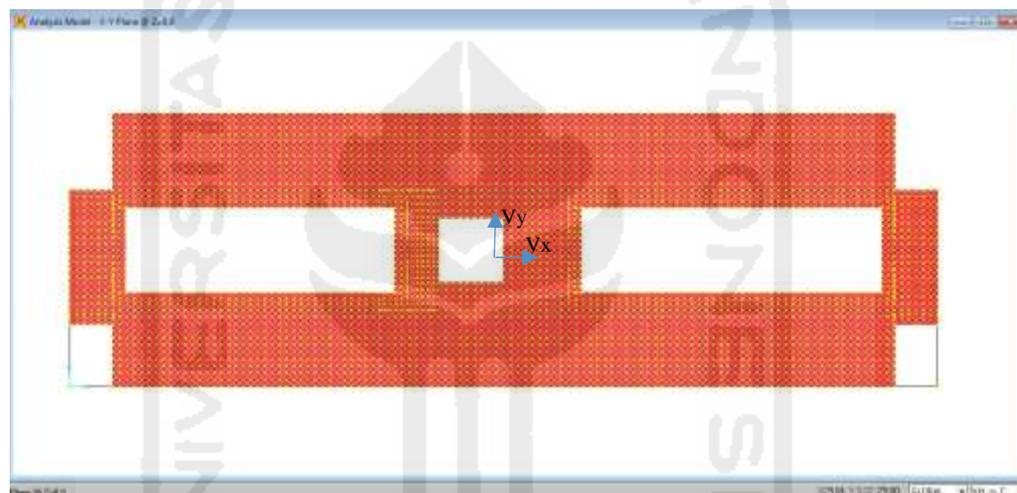
Lantai	Lateral Force Arah X (F_x) Dan Arah Y (F_y)
Tandon Air	467.37123
Ring Balok +15.27	577.90599
Dak Atap +14.6	1159.0069
5	6663.9765
4	4919.9227
3	3311.5489
2	1807.55402



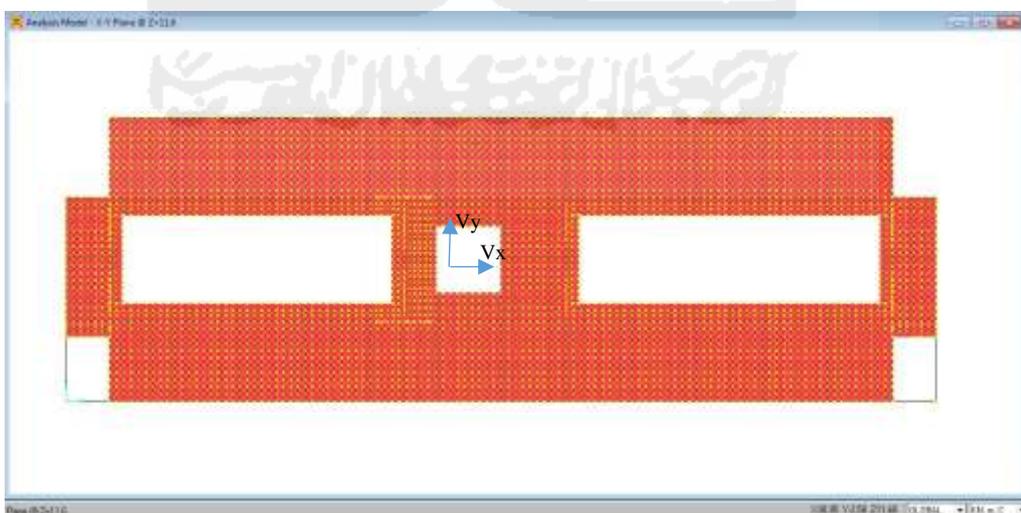
Gambar 5.25 Titik penempatan beban lateral lantai 2 arah x dan y +3.2



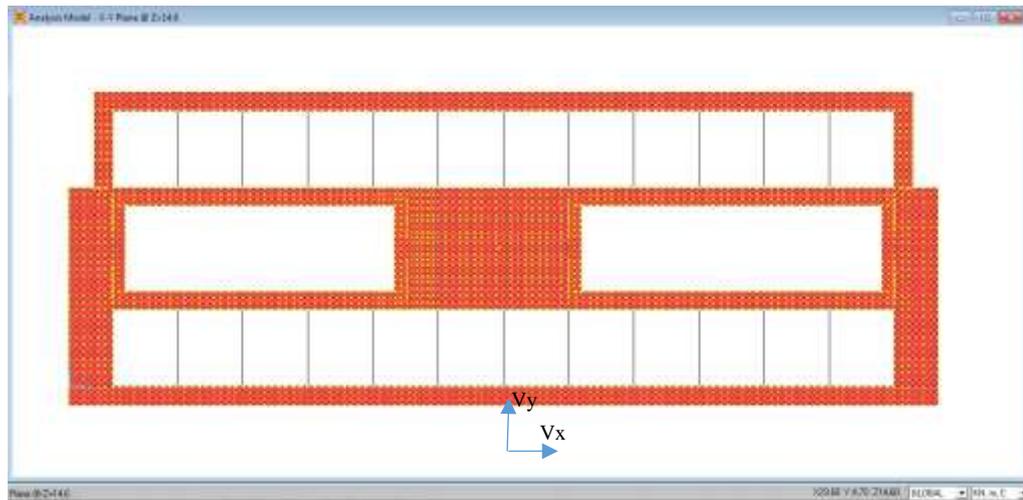
Gambar 5.26 Titik penempatan beban lateral lantai 3 arah x dan y +6



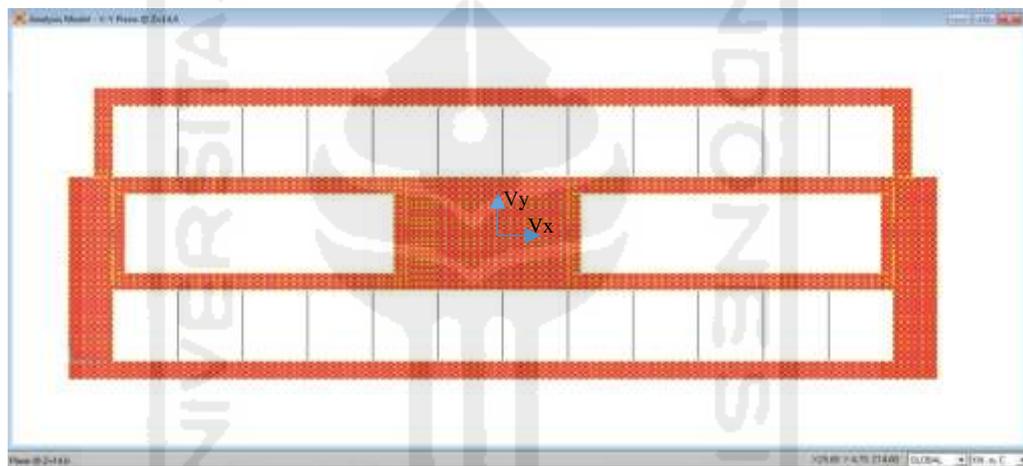
Gambar 5.27 Titik penempatan beban lateral lantai 4 arah x dan y +8.8



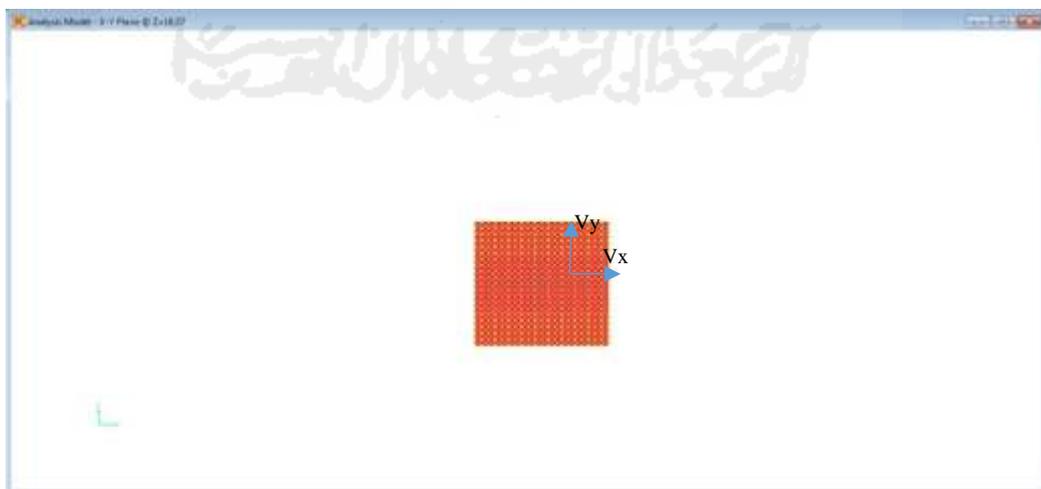
Gambar 5.28 Titik penempatan beban lateral lantai 5 arah x dan y +11.6



Gambar 5.29 Titik penempatan beban lateral ring balok arah x dan y +15.27



Gambar 5.30 Titik penempatan beban lateral ring balok arah x dan y +15.27

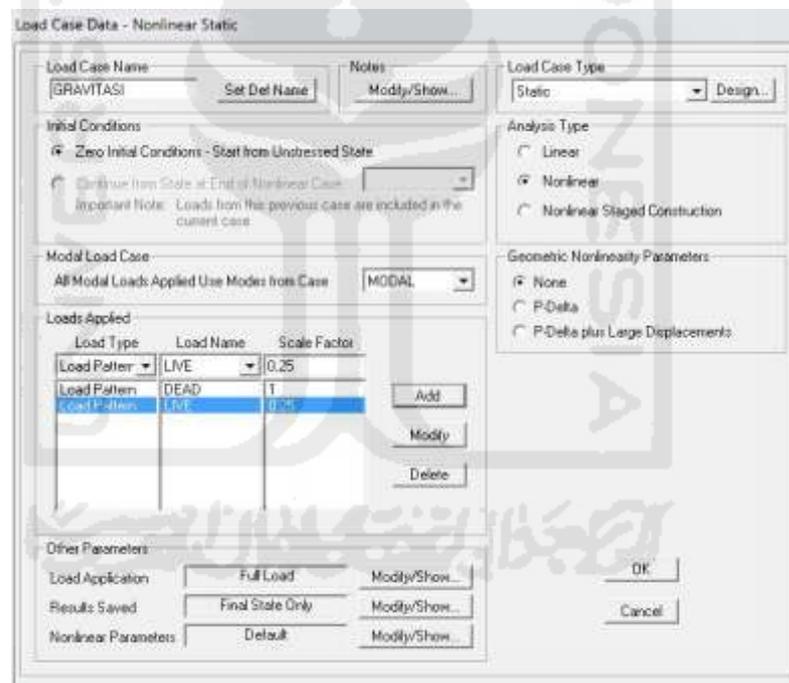


Gambar 5.31 Titik penempatan beban lateral tandon air arah x dan y +16.07

5.4.3 Pembebanan Analisis *Pushover* di SAP 2000 V14

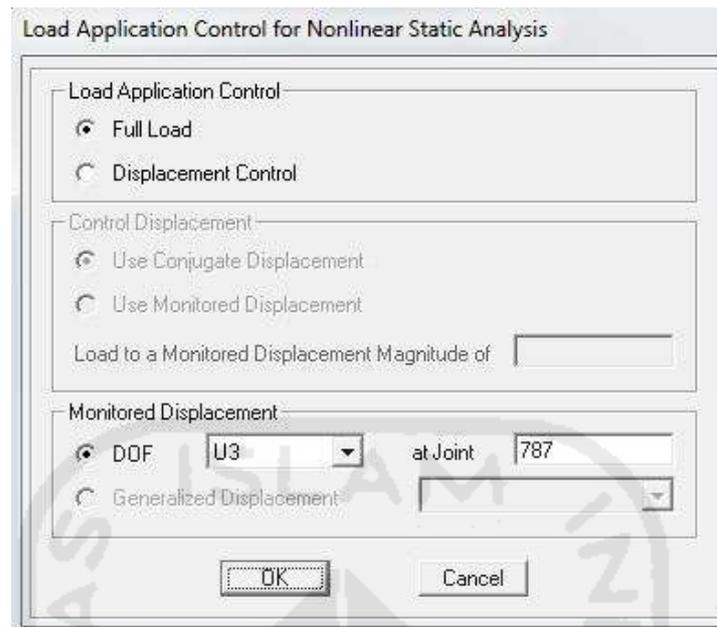
1. Pembebanan Gravitasi

Pembebanan gravitasi dilakukan melalui menu *Define – Load Case*, kemudian pilih opsi *Add New Load Case*. *Load Case Name* beri nama GRAVITASI, untuk *Initial Condition* dipilih *Zero Initial Condition* yaitu pembebanan dilakukan pada saat kondisi awal sebelum menerima beban. Pada opsi *Analysis Type* pilih *Nonlinear* karena akan dilakukan analisis nonlinear. Pada *load applied*, beban yang bekerja yaitu beban gravitasi digunakan 2 macam yaitu beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*). Untuk beban mati pada *scale factor* diberi 1 dan untuk beban hidup diberi 0.25. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5.32 Pengaturan *analysis case* beban gravitasi

Pada kotak dialog *Load Application* dipilih opsi *Full Load* dan *monitored displacement* diambil arah U3 (arah Z) di joint 787 yaitu pada joint atap, untuk lebih jelas dapat dilihat pada., untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.33.



Gambar 5.33 Load application control for nonlinear static analysis

Kemudian pada *Nonlinear Parameters*, klik *Modify/Show*. Nilai parameter pada *Solution Control* diubah seperti yang terlihat pada Gambar 5.34.

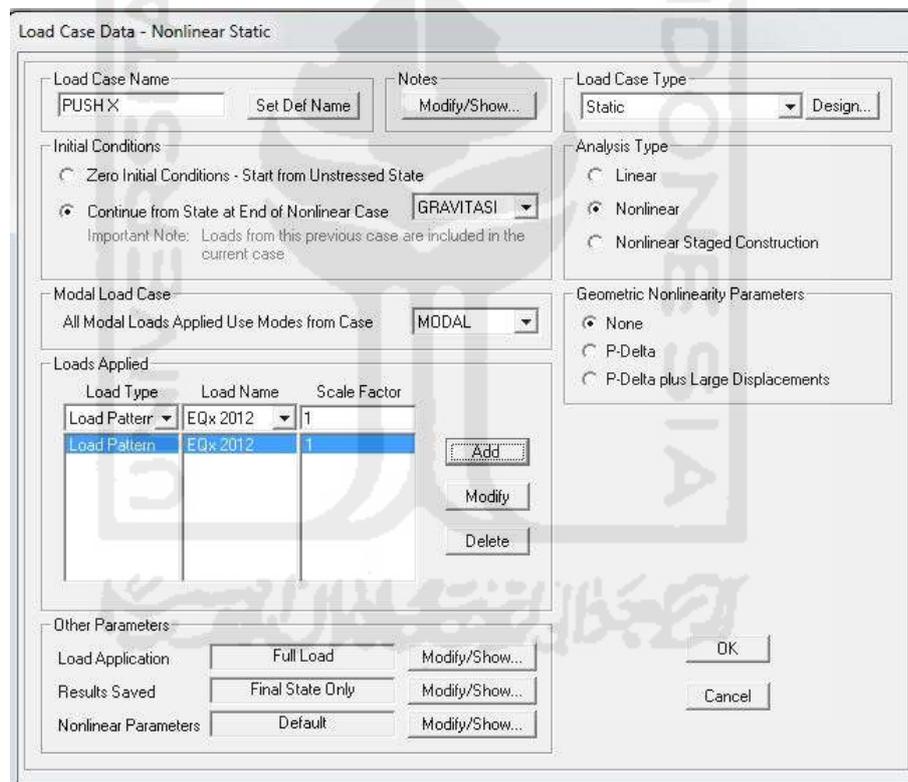


Gambar 5.34 Load case data – nonlinear static GRAVITASI

2. Pembebanan Lateral

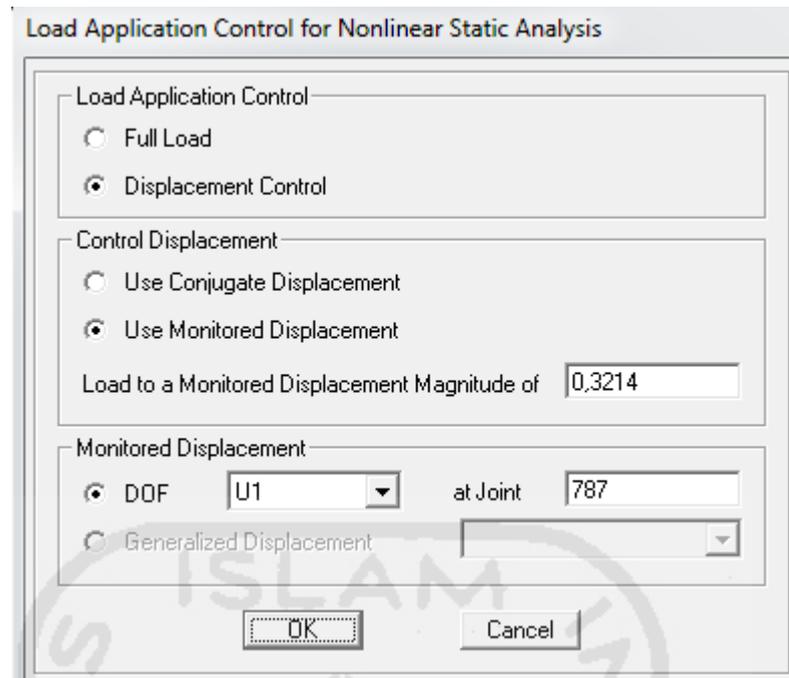
Setelah mendefinisikan beban gravitasi, langkah berikutnya adalah mendefinisikan beban lateral sebagai beban *pushover*. Pada analisis ini dibuat 2 pembebanan arah lateral. Masih pada *Load Case*, buat *Case* baru dengan mengklik *Add New Case*. *Load Case Name* diberi nama PUSH X untuk pembebanan arah X

Pada *Analysis Type* dipilih opsi *Nonlinear*. Pada *Initial Condition* dipilih opsi *Continue Form State at End of Nonlinear Case* : GRAVITASI. Kemudian memasukkan beban PUSH X untuk beban pushover dari arah X di dalam *Load Applied* dengan *Scale Factor* = 1. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.35.



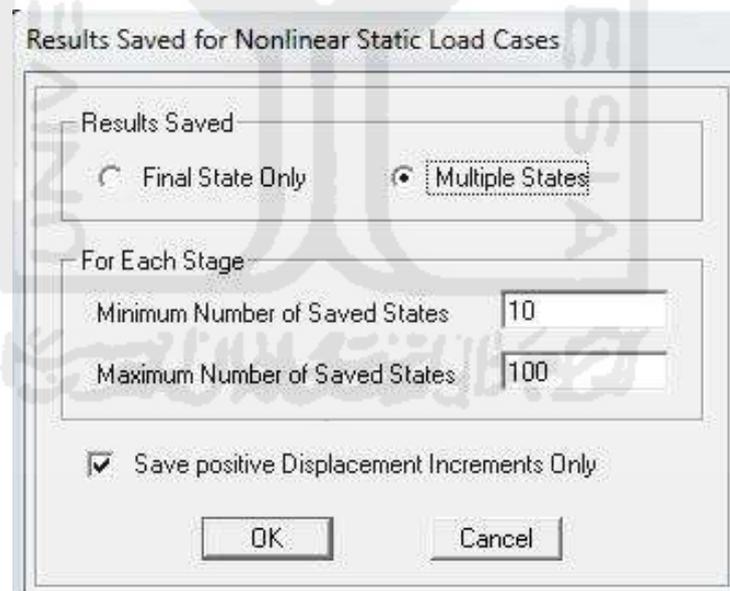
Gambar 5.35 Pengaturan *analysis case* beban lateral *pushover* arah-x

Pada kotak dialog *Load Applied* dipilih opsi *Displacement Control* dan *Use Monitored Displacement* dengan *Monitored Displacement* sebesar 2% dari tinggi bangunan, yaitu $16.07 \times 2\% = 0.3214$ m. Lalu *monitored Displacement* dipilih U1 untuk arah x pada join 787 yaitu pada join atap, dapat dilihat pada Gambar 5.36.



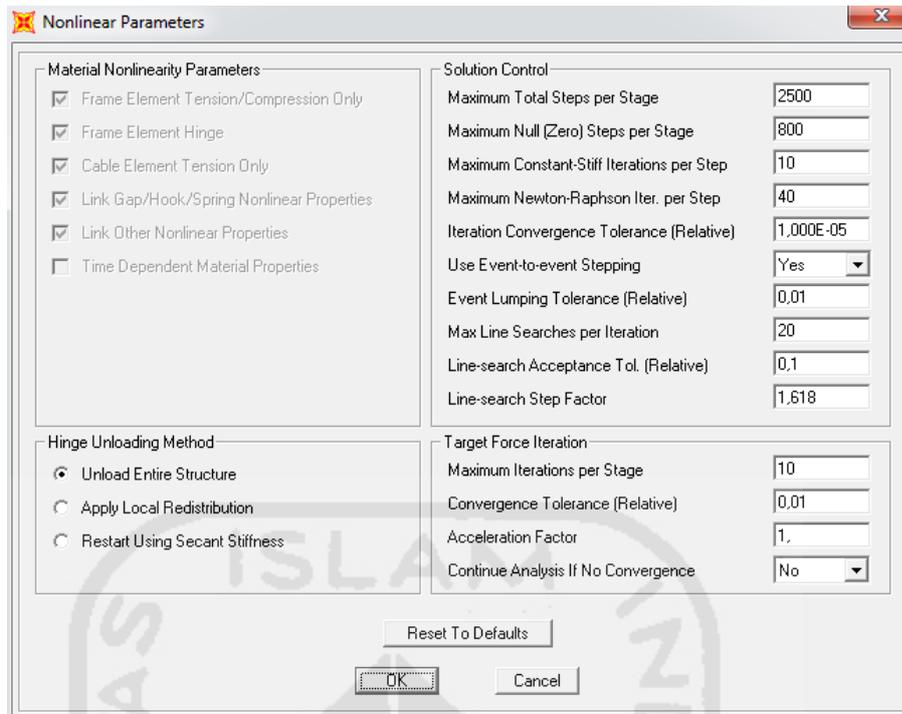
Gambar 5.36 Pengaturan *load application control* beban lateral *pushover* arah-x

Pada parameter *Result Saved* diambil opsi *Multiple States* dengan *Minimum Number of Saved States* = 10 dan *Maximum* = 100, dapat dilihat pada Gambar 5.37.



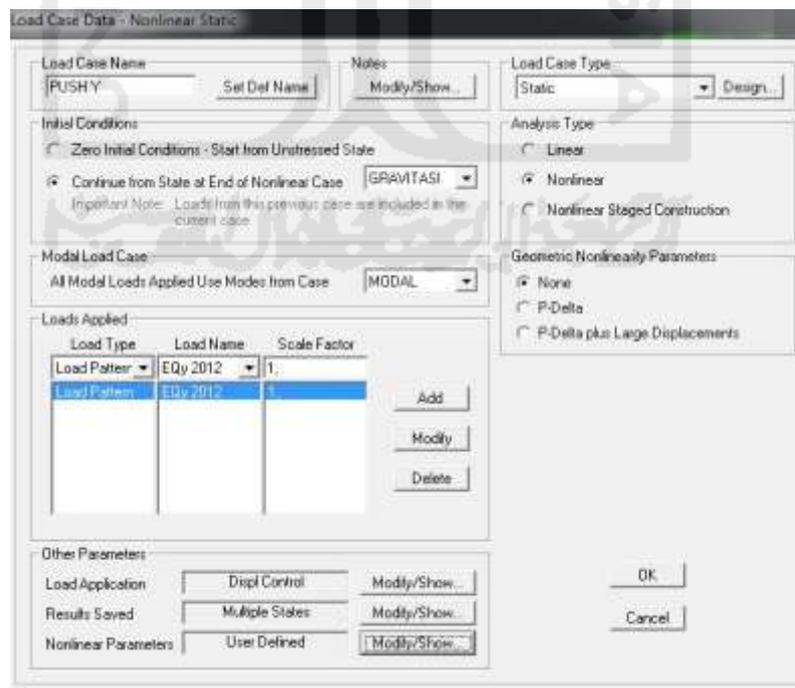
Gambar 5.37 Pengaturan *analysis case* beban lateral *pushover* arah-x

Kemudian pada *Nonlinear Parameters*, klik *Modify/Show*. Nilai parameter pada *Solution Control* diubah seperti terlihat pada Gambar 5.38.



Gambar 5.38 Pengaturan *nonlinear parameters* beban lateral *pushover* arah-x

Setelah mendefinisikan mendefinisikan beban lateral arah x, lakukan cara yang sama untuk pendefinisian beban lateral arah y. Pendefinisian beban lateral arah y dapat dilihat pada Gambar 5.39 sampai Gambar 5.42.



Gambar 5.39 Pengaturan *analysis case* beban lateral *pushover* arah-y

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

Monitored Displacement

DOF at Joint

Generalized Displacement

Gambar 5.40 Pengaturan *load application control* beban lateral *pushover* arah-y

Results Saved for Nonlinear Static Load Cases

Results Saved

Final State Only Multiple States

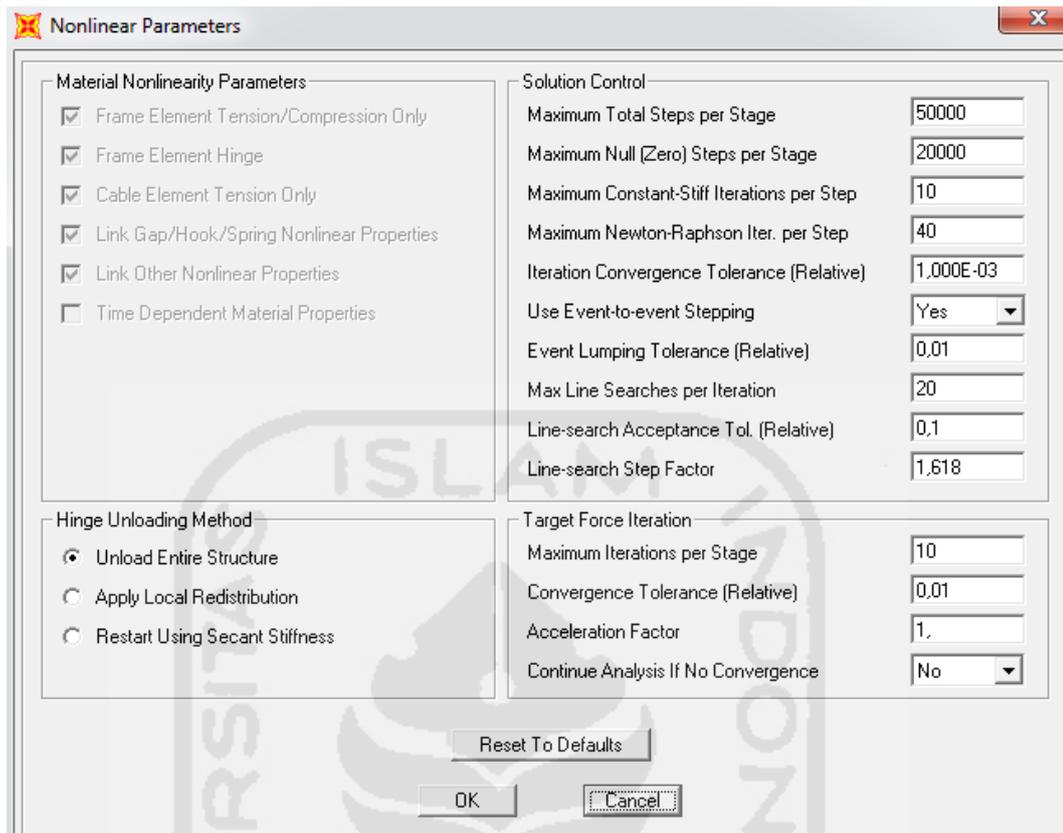
For Each Stage

Minimum Number of Saved States

Maximum Number of Saved States

Save positive Displacement Increments Only

Gambar 5.41 Pengaturan *analysis case* beban lateral *pushover* arah-y



Gambar 5.42 Pengaturan *nonlinear parameters* beban lateral *pushover* arah-y

3. Beban Respon Spektrum

Seismic demand pada analisis *pushover* menggunakan beban dari respon spektrum gempa SNI 1726 2012 untuk menentukan titik kinerja (*Performance Point*). Pada saat *pushover* kondisi bangunan dianggap elastik dengan nilai reduksi beban gempa, $R = 1$ dan faktor keutamaan bangunan, $I = 1$, nilai *Scale Factor* yang harus dimasukkan pada *Demand Spectrum Definition* sebesar $= \frac{1}{R} g = \frac{1}{1} 9.81 = 9.81$

5.4.4 Hasil Analisis Statik Nonlinear (*Pushover*)

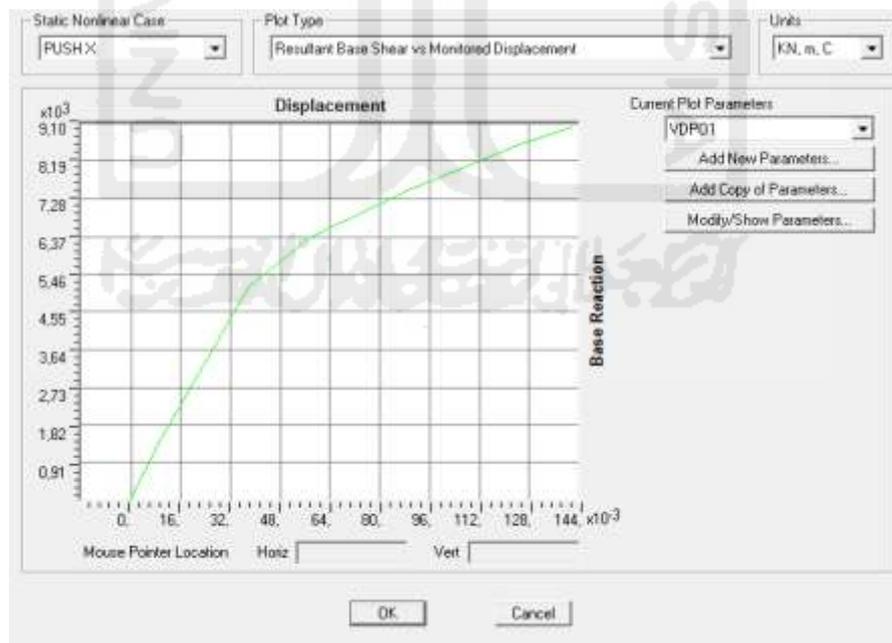
Hasil analisis *pushover* yaitu kurva kapasitas bangunan dan titik kinerja dengan metode ATC-40. Hasil akhir analisis *pushover* adalah berupa level kinerja struktur.

A. Kurva Kapasitas

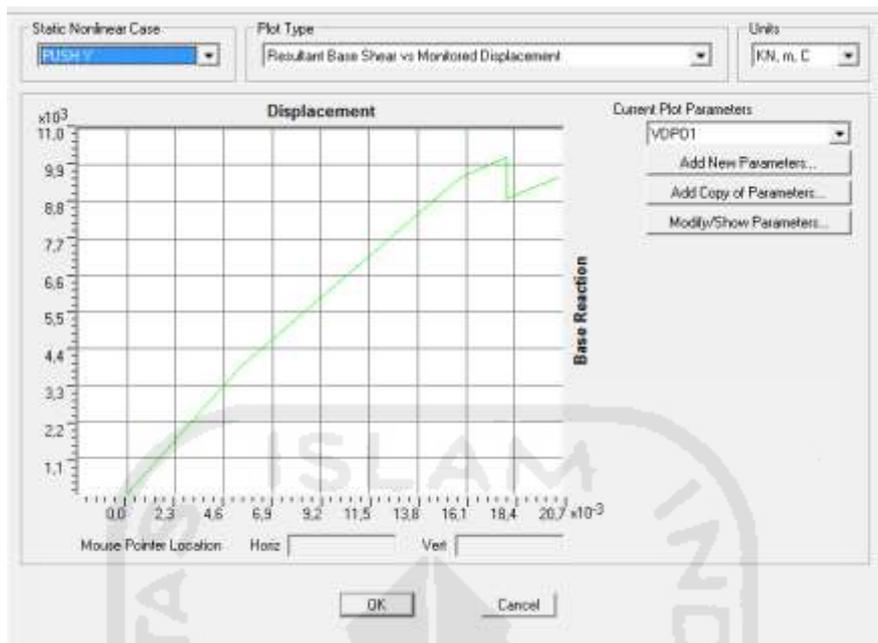
Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* ditunjukkan pada Gambar 4.43 dan Gambar 4.44. Nilai perpindahan dan gaya geser dasar dapat diketahui dari data kurva kapasitas dalam Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Data *pushover curve* arah X dan Y

Arah X			Arah Y		
Step	Displacement (m)	Base Force	Step	Displacement (m)	Base Force
0	0	0	0	0	0
1	0.010205	1527.549	1	0.005294	3785.577
2	0.037779	5166.557	2	0.015795	9520611
3	0.057587	6339.236	3	0.018003	10132
4	0.090074	7534.617	4	0.018006	8864.637
5	0.125478	8620.987	5	0.018498	9030.920
6	0.141557	9001.867	6	0.020535	9562.195
7	0.141575	9001.903			
8	0.142313	9016.255			



Gambar 5.43 Kurva *base shear vs displacement* arah-x



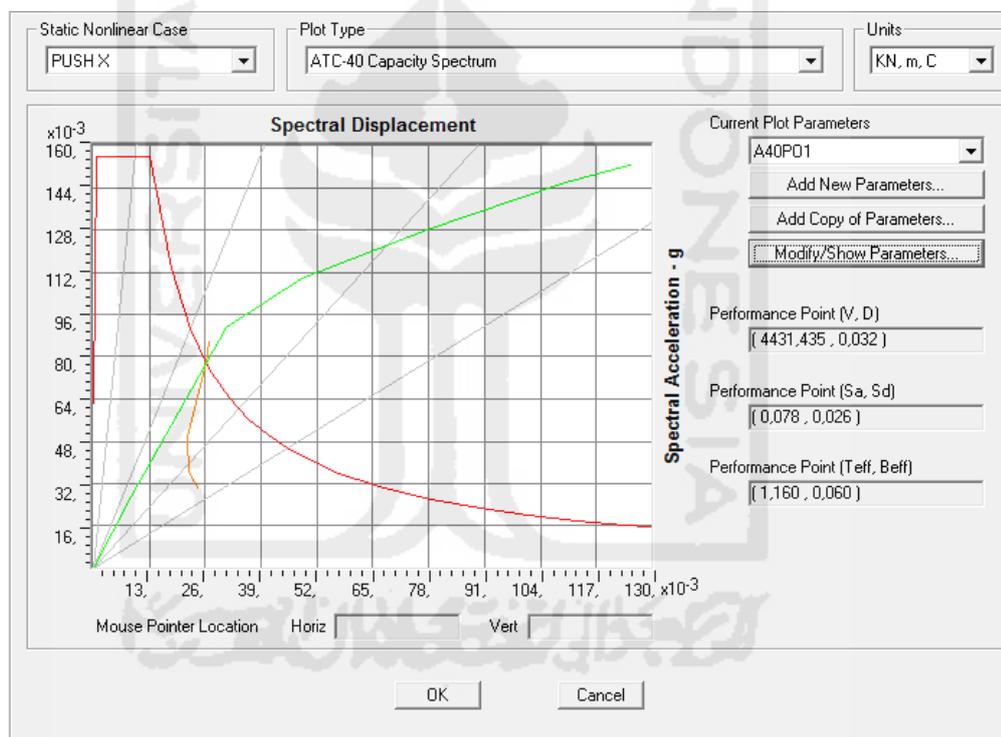
Gambar 5.44 Kurva *base shear vs displacement* arah-y

Pada analisis *pushover* pembebanan arah-X, analisis berhenti pada langkah (step) 8, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol sebesar 0.142 m dan gaya geser dasar sebesar 9016.255 kN. Sedangkan pada analisis *pushover* pembebanan arah-Y, analisis berhenti pada langkah (step) 6, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol sebesar 0,020 m dan gaya geser dasar sebesar 9562.195 kN. Berdasarkan Tabel 5.7, terlihat bahwa adanya dinding geser pada portal arah Y berpengaruh pada nilai perpindahan titik kontrol, nilai perpindahan yang terjadi relatif sangat kecil, hal ini dikarenakan pada portal arah Y memiliki kekakuan yang lebih tinggi dari portal arah X.

Gambar 5.43 dan Gambar 5.44 menunjukkan bahwa kurva memiliki kecenderungan berbentuk nonlinier, hal ini dikarenakan adanya peningkatan beban yang mengakibatkan elemen struktur bangunan mengalami perubahan dari kondisi elastis menjadi kondisi plastis.

B. Titik Kinerja Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Salah satu metode dalam menentukan titik kinerja bangunan adalah dengan metode spektrum kapasitas sesuai ATC-40. Metode spektrum kapasitas menggunakan kurva kapasitas yang telah dikonversi ke dalam format ADS (*acceleration Displacement Response Spectrum*) yaitu hubungan antara S_a dan S_d dan kurva *seismic demand* yang dikonversi ke dalam bentuk *spectrum demand*. Konversi dilakukan otomatis oleh program SAP 2000 V14 yang membentuk *spectrum demand*. Titik kinerja (*performance point*) hasil analisis *pushover* ditunjukkan pada Gambar 5.45 dan Gambar 5.46.



Gambar 5.45 *Performance point* arah X



Gambar 5.46 *Performance point* arah Y

Pada Gambar 4.45 dan 4.46 terlihat nilai gaya geser dasar dan *displacement* pada saat tercapainya kinerja bangunan. Titik kinerja tersebut menunjukkan besarnya kapasitas struktur dalam memenuhi *demand* yang berupa beban gempa sesuai SNI 1726 2012. Nilai gaya geser dasar, *displacement*, S_a , S_d , waktu getar alami efektif, dan redaman viskous efektif yang terjadi pada saat titik kinerja tercapai ditunjukkan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 *Performance point* hasil analisis *pushover*

Arah Beban <i>Pushover</i>	Base Shear (KN)	<i>Performance Point</i>					
		V (KN)	δ (m)	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
Arah X	18907.296	4431.435	0.032	0.078	0.026	1.160	0.06
Arah Y	18907.296	4590.946	0.0067	0.091	0.0046	0.443	0.057

Nilai *drift ratio* menurut ATC-40 ditentukan dari perbandingan perpindahan pada titik kontrol (*roof drift*) dengan tinggi total bangunan, dimana untuk nilai *drift ratio* arah X = $0.032/16.07 = 0.001991 < 0.005$ (*Maximum inelastic drift*).

Nilai *drift ratio* arah Y = $0.0067/16.07 = 0.000416 < 0.005$ (*Maximum inelastic drift*). Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa menurut level kinerja bangunan Asrama Putri UGM menurut metode ATC-40 adalah *Immediate Occupancy*, yaitu bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

C. Mekanisme Terjadinya Sendi Plastis

Mekanisme terjadinya sendi plastis pada komponen struktur bangunan dapat diketahui dari hasil analisis *pushover*. Pola terbentuknya sendi plastis pada komponen struktur bangunan dapat diketahui mulai dari kondisi batas linier, *immediate occupancy*, *life safety* sampai struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

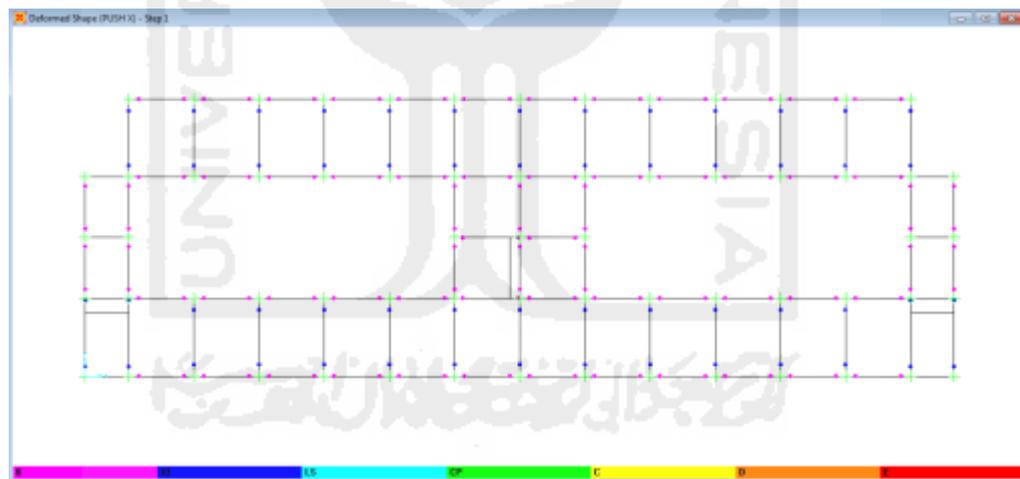
Tabel 5.9 Keterangan tanda titik pada lokasi terjadinya sendi plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linear yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur
IO		Terjadinya kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS		Terjadi kerusakan mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C		Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D		Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i>
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

Pada penelitian ini, analisis *pushover* berhenti ketika terjadinya sendi plastis pada komponen struktur kondisi batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung. Terbentuknya sendi plastis pada saat analisis *pushover* ditunjukkan dari munculnya tanda titik warna pada komponen struktur bangunan. Semakin bertambahnya langkah (*step*) pada saat analisis *pushover* maka akan terjadi perubahan kondisi sendi plastis pada komponen struktur. Keterangan tanda titik warna yang menunjukkan lokasi terjadinya sendi plastis dapat dilihat pada Tabel 5.9. Mekanisme terjadinya sendi plastis pada portal arah X dan Y diuraikan sebagai berikut.

1. Pushover Arah X

Komponen struktur yang mengalami sendi plastis pertama kali untuk *pushover* arah x adalah pada balok-balok *tie beam* (TB) yang ditunjukkan pada Gambar 5.47. Pada Gambar 5.48 dapat dilihat bahwa sendi plastis pada balok TB terjadi hampir semua balok-baloknya.

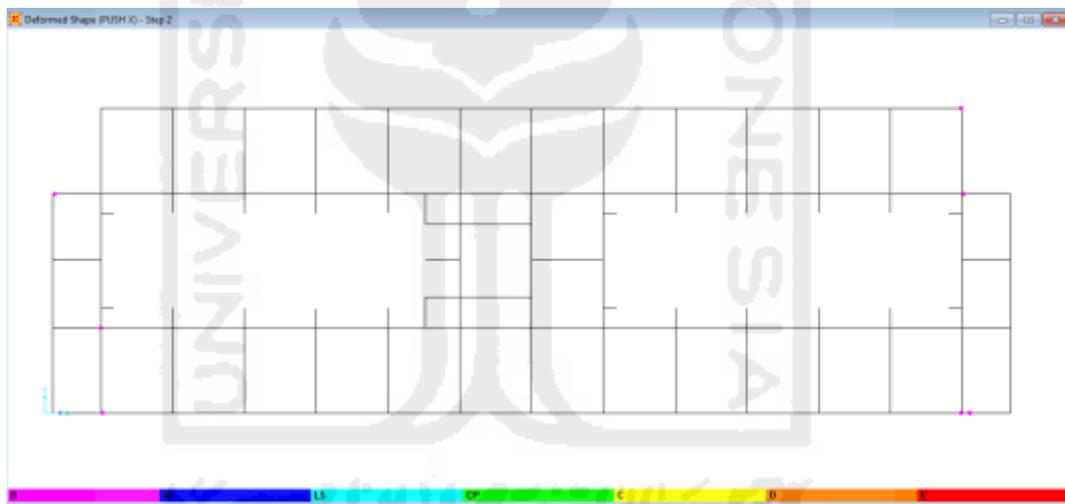


Gambar 5.47 Sendi plastis pada balok *tie beam* Elv -0.7 m *pushover* arah x step 2

Pada step 2 juga terjadi sendi plastis di balok lantai 2 elevasi +3.2 m dan lantai 3 elevasi +6 m yang dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19. Namun sendi plastis yang terjadi hanya sebagian balok saja.

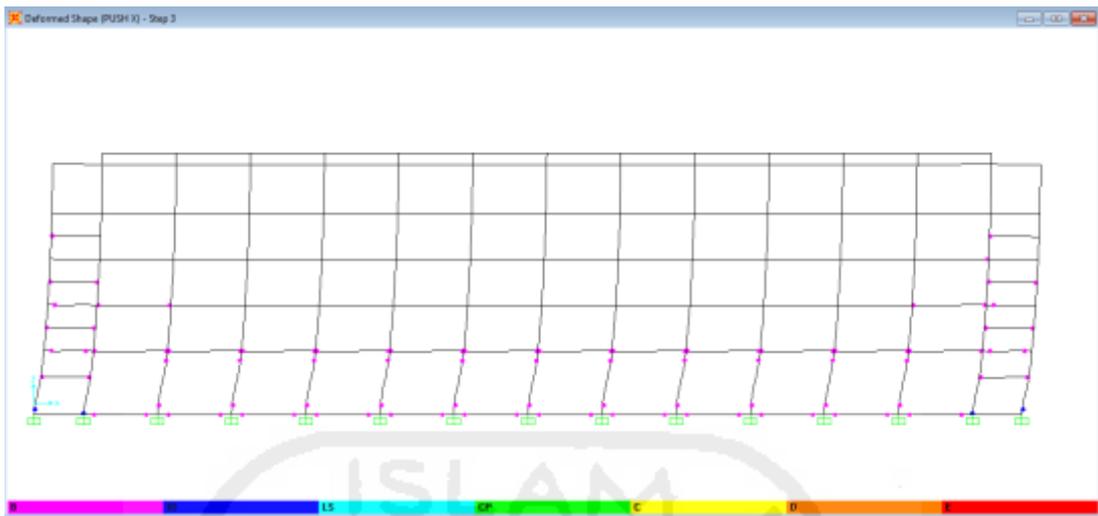


Gambar 5.48 Sendi plastis pada balok lantai 2 Elv +3.2 m *pushover* arah x step 2

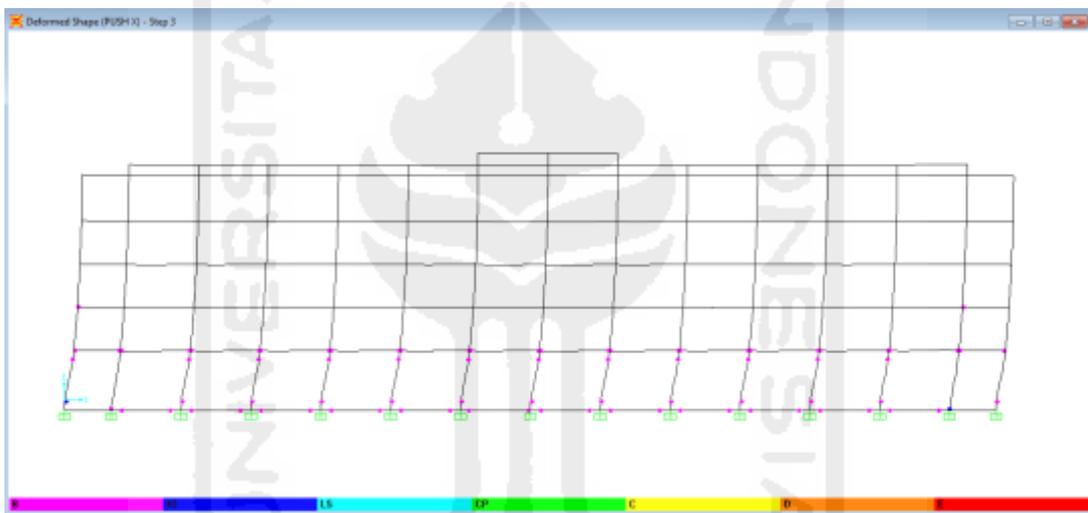


Gambar 5.49 Sendi plastis pada balok lantai 3 Elv +6 m *pushover* arah x step 2

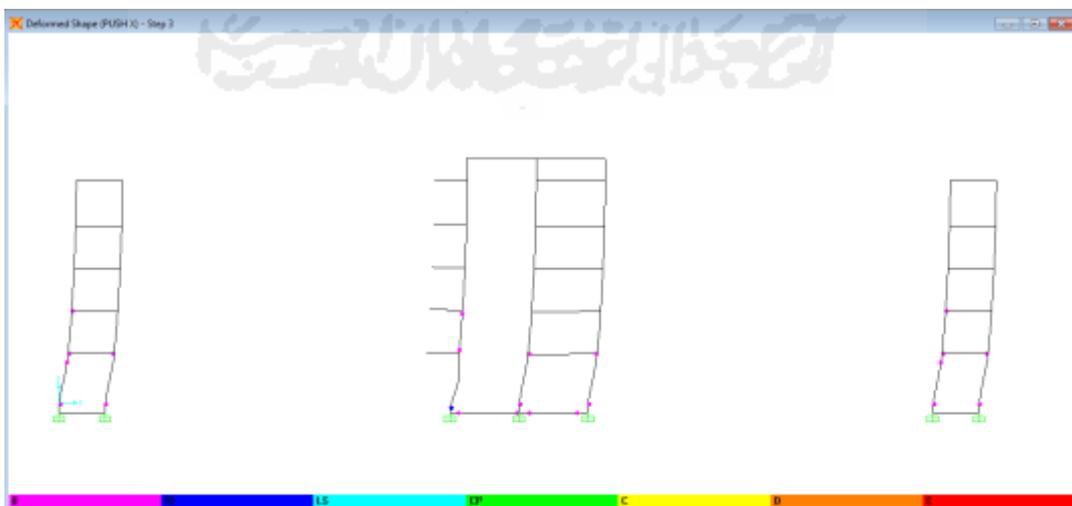
Pada step ke 3 sendi plastis pada balok masih sama yaitu pada balok TB, lantai 2 dan 3. Namun terjadi tambahan sendi plastis pada kolom-kolom lantai 1 dan 2 di beberapa portal yang dapat dilihat pada Gambar 4.20 sampai Gambar 4.24.



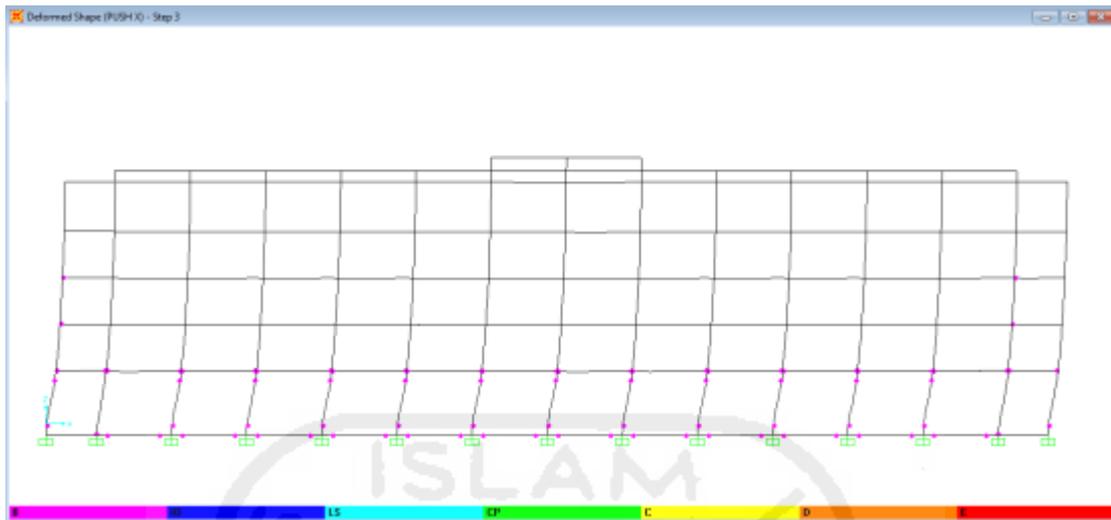
Gambar 5.50 Sendi plastis kolom portal A *pushover* arah x pada step 3



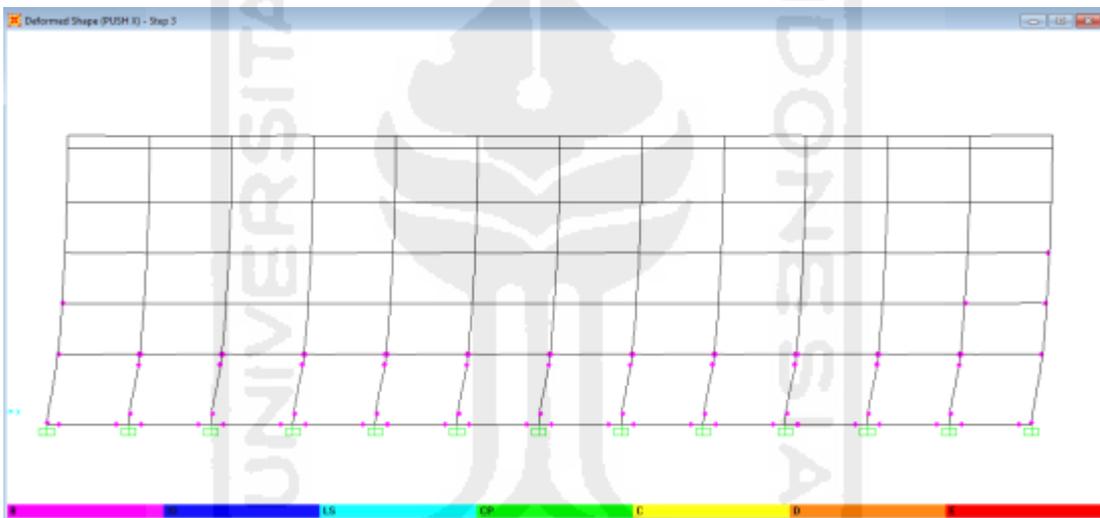
Gambar 5.51 Sendi plastis kolom portal B *pushover* arah x pada step 3



Gambar 5.52 Sendi plastis kolom portal B' *pushover* arah x pada step 3

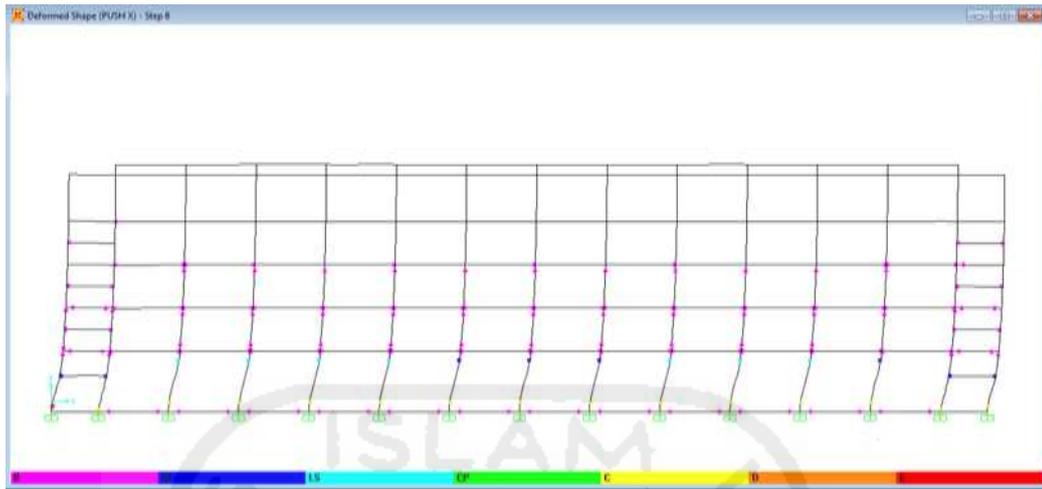


Gambar 5.53 Sendi plastis kolom portal C *pushover* arah y pada step 3

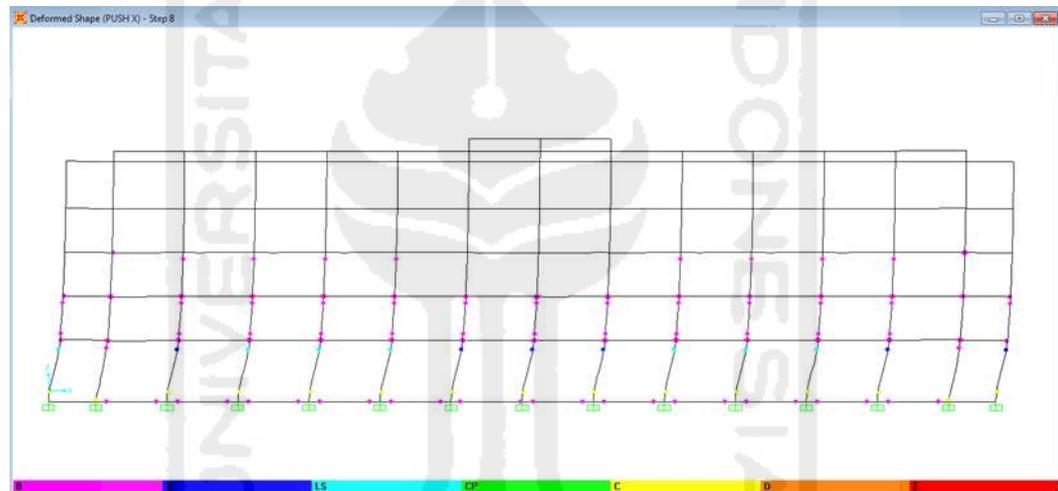


Gambar 5.54 Sendi plastis kolom portal D *pushover* arah x pada step 3

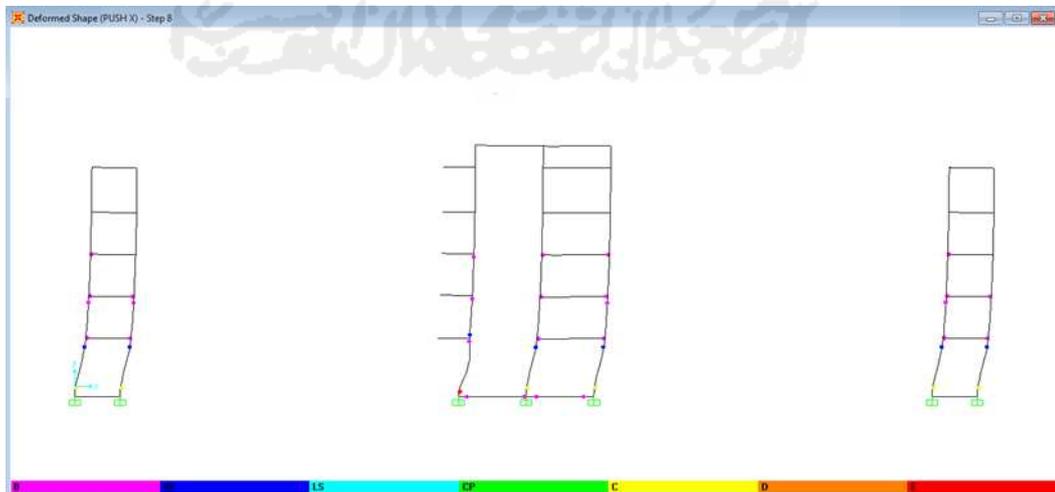
Pada step 4 sampai step ke 8 posisi sendi plastis pada pada balok masih terjadi di balok TB, lantai 2 dan 3. Pada kolom juga masih terjadi di lantai 1 dan 2 masing-masing portal. Namun pada step ke 8 sudah banyak titik mengalami kondisi LS, C, dan bahkan E yang dapat dilihat pada Gambar 5.55 sampai Gambar 5.59. Keterangan titik-titik tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9.



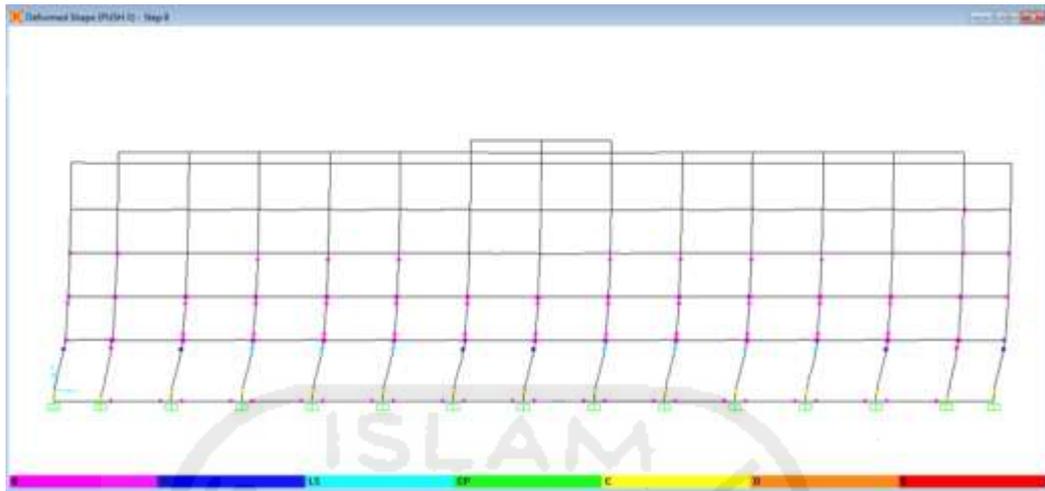
Gambar 5.55 Sendi plastis kolom portal 1 *pushover* arah x pada step 8



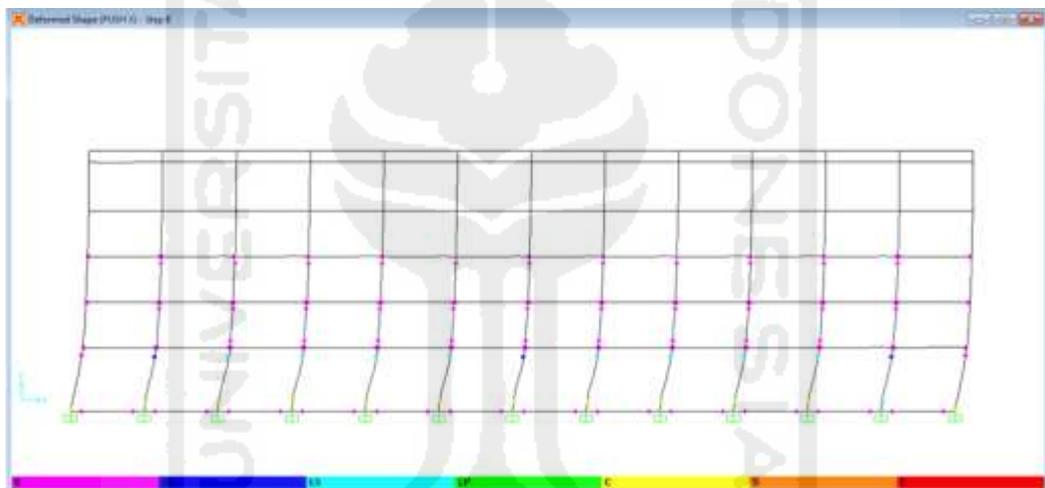
Gambar 5.56 Sendi plastis kolom portal 2 *pushover* arah x pada step 8



Gambar 5.57 Sendi plastis kolom portal 3 *pushover* arah x pada step 8



Gambar 5.58 Sendi plastis kolom portal 4 *pushover* arah x pada step ke 8



Gambar 5.59 Sendi plastis kolom portal 5 *pushover* arah x pada step 8

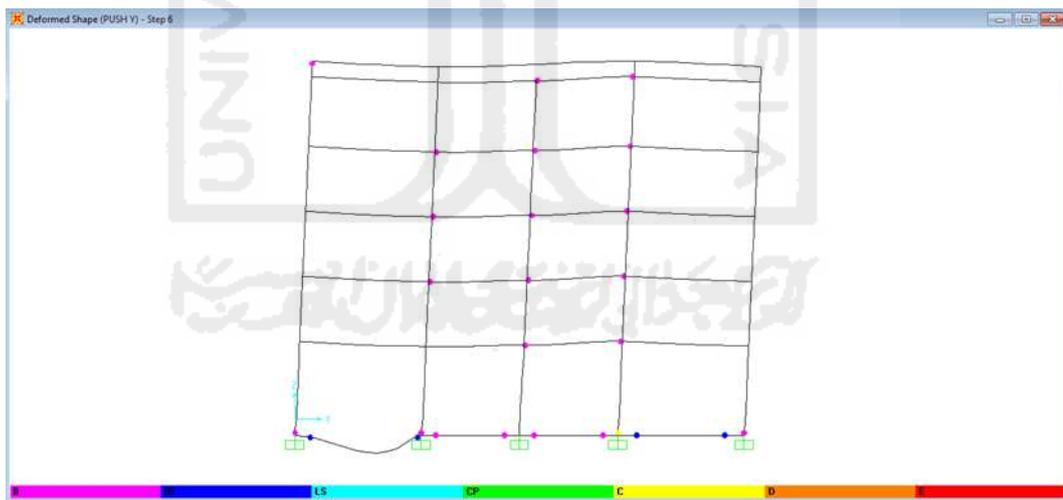
2. Pushover Arah Y

Komponen struktur yang mengalami sendi plastis pertama kali untuk *pushover* arah y adalah sama dengan arah x yaitu pada balok-balok TB, namun sendi plastis pertama sudah muncul pada step 1, yang ditunjukkan pada Gambar 5.60.

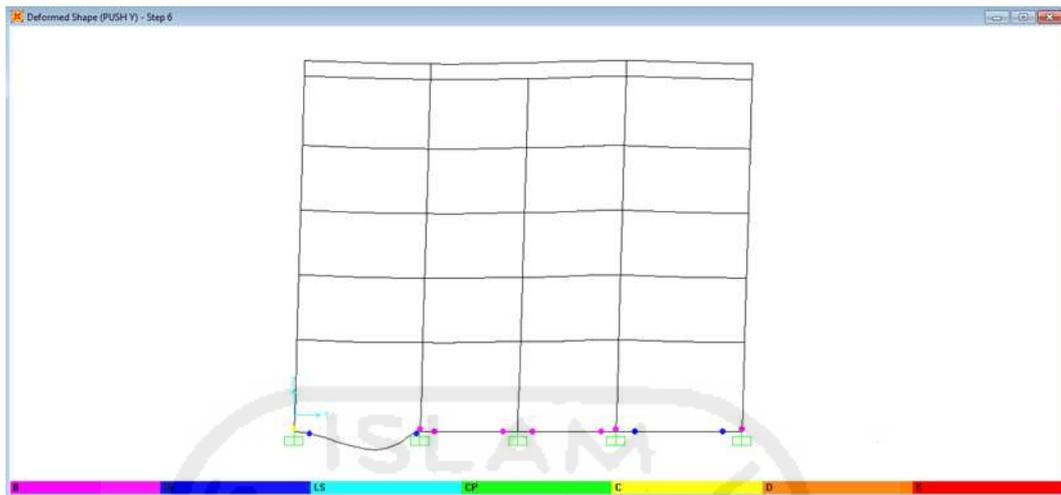


Gambar 5.60 Sendi plastis balok TB *pushover* arah y step 1

Pada step 2 sampai step 6 sendi plastis pada balok hanya terjadi pada balok TB dan 1 balok di lantai 2, 3, 4, dan 5. Sedangkan pada kolom terjadi 2 titik yang mengalami kondisi *Collapse* yang dapat dilihat pada Gambar 5.61 dan Gambar 5.62.



Gambar 5.61 Sendi plastis kolom portal 12 *pushover* arah y pada step ke 6



Gambar 5.62 Sendi plastis kolom portal 0 *pushover* arah y pada step ke 6



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi yang dilakukan terhadap kinerja gedung “Asrama Mahasiswi Putri UGM” Yogyakarta, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Terjadinya sendi plastis dimulai dari balok *tie beam* sampai pada komponen balok dan kolom.
 - a. Sendi plastis hasil analisis *pushover* arah x terjadi di balok *tie beam* di elevasi -0.7m untuk step 1. Kemudian step 2 sendi plastis terjadi di balok lantai 2 elevasi +3.2 m dan lantai 3 elevasi +6 m. Step 3 terjadi sendi plastis di kolom-kolom lantai 1 dan 2. Pada step 4 sampai step 8 sendi plastis masih terjadi di balok dan kolom yang sama. Namun pada step 8 pada kolom sudah banyak titik mengalami kondisi *collapse*.
 - b. Sendi plastis hasil analisis *pushover* arah y terjadi juga di balok *tie beam* di elevasi -0.7m untuk step 1. Kemudian step 2 sampai step 6 sendi plastis hanya terjadi di balok TB dan 1 balok di lantai 2, 3, 4, dan lantai 5. Sedangkan pada kolom terjadi 2 titik yang mengalami kondisi *collapse* pada step 6.
2. Level kinerja bangunan Asrama Mahasiswi Putri UGM menurut metode ATC-40 adalah *Immediate Occupancy*, yaitu bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.

a. SARAN

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai evaluasi kinerja pada struktur Gedung Asrama Mahasiswa Putri UGM Putri Yogyakarta, maka diberikan beberapa saran sebagai berikut ini.

1. Untuk *running pushover* perlu menggunakan komputer dengan *hardwere* yang bagus, karena dalam *running* membutuhkan waktu yang lama.

2. Metode FEMA 356 dan FEMA 440 dapat digunakan sebagai peraturan dalam analisis *pushover*, untuk membandingkan hasilnya dengan ATC-40.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Jakarta.
- California Seismic Safety Commission, 1996, *Applied Technology Council, Seismin Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, Report ATC-40, (Redwood City : ATC-40)*.
- Googlemap.com
- Jamal Atika Ulfah, 2011, Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Kuliah Umum “Prof.Dr.Sardjito” Universitas Islam Indonesia, *Thesis*, (Tidak Dipublikasikan), Universitas Islam Indoneisa, Yogyakarta.
- Muntafi Yunalia, 2012, Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Anlasis *Pushover*, *Simposium Nasional RAPI XI FT UNS*.
- Nurdianti Ulfa, 2013, *Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analysis Pada Tanah Medium*, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, 2013.
- Pawirodikromo Widodo, 2012, *Seismologi Teknik Dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Penerbit Yayasan PU, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Supriyadi02.wordpress.com, 2016, 28 Februari, 03.00 WIB.
- Thephenomena.wordpress.com, 2006, 27 Mei.
- Widodo, 2001, *Respons Dinamik Struktur*, UII Press, Yogyakarta.
- Yunus, 2015, Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Apartemen Dan Hotel Mataram City, *Thesis*, (Tidak Dipublikasikan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.