TUGAS AKHIR

STUDI KERENTANAN BANGUNAN GEDUNG BETON BERTULANG AKIBAT GEMPA DENGAN ANALISIS *PUSHOVER* DAN *HAZUS* (*FRAGILITY STUDY OF REINFORCED CONCRETE BUILDING DUE TO EARTHQUAKE USING PUSHOVER AND HAZUS ANALYSIS*)

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

Rohma Faraodi
10511134

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Gusti Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *studi kerentanan bangunan gedung beton bertulang akibat gempa dengan analisis pushover dan HAZUS.* Tugas ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas akhir ini banyak mengalami hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi S.T,.M.T selaku dosen pembimbing, terimakasih atas bimbingan dan kesabarannya dalam proses Tugas Akhir. Serta terimakasih atas ilmunya, semoga menjadi catatan ilmu yang bermanfaat dan menjadi catatan amal yang tidak akan terputus.amin
2. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, Ph.D selaku penguji I dan juga selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis sebelumnya, terimaksih banyak atas ilmu-ilmu yang diberikan kepada penulis.
3. Ibu Atika Ulfah Jamal S.T,.M.Eng,.M.T selaku penguji II, terimakasih banyak atas ilmu dan bantuannya selama proses penyelesaian Tugas Akhir.
4. Bapak dan Ibu penulis sudah berjuang luar biasa demi penulis untuk kuliah hingga akhirnya Tugas Akhir selesai.
5. Dulur-dulur Yudha XXXIV Resimen Mahasiswa Batalyon 8 UII, senior, Keluarga Besar Alumni MENWA Batalyon 8 UII, terimaksih atas semangat dan dukungannya selama ini, KOMANDO !!!

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat banyak pihak yang membacanya

Yogyakarta, Juni 2017
Penulis,

Rohma Faraodi
10511134

Karya dan seluruh hidup saya, saya persembahkan hanya untuk orang tua saya

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 hasilkarya 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, 12 Maret 2017

Rohma Faraodi
(10511134)

DAFTAR ISI

	Halaman
Judul	i
Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xviii
ABSTACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 MANFAAT PENELITIAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 PENELITIAN TERDAHULU	5
2.1.1 Analisis Statik Non Linier (*Pushover*)	5
2.1.2 Kurva Kerentanan (*Fragility Curve*) Menurut HAZUS	5
2.3 KEASLIAN PENELITIAN	9
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 BANGUNAN TAHAN GEMPA	10
3.1.1 Desain Filosofi (*Philosophy of Design*)	11

3.1.2 Hierarki Kerusakan Bangunan 12
3.2 KETENTUAN UMUM BANGUNAN TAHAN GEMPA 14
3.3 WAKTU GETAR ALAMI FUNDAMENTAL 22
3.4 BEBAN STRUKTUR 24
3.4.1 Beban Gravitasi 24
3.4.2 Beban Lateral 25
3.5 KOMBINASI BEBAN 26
3.6 ANALISIS STRUKTUR 27
3.6.1 Analisis Statik Non Linier (*Pushover*) 28
3.6.2 Tahapan Utama Analisis *Pushover* 29
3.6.3 Analisis *Pushover* Dengan Metode *Capacity Spectrum* 29
3.6.4 Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas 30
3.6.5 *Demand Spectrum* 31
3.6.6 *Performance Point* 34
3.6.7 Batasan *Drift Ratio* 35
3.7 KURVA KERENTANAN 36
3.7.1 Deskripsi Model Tipe Bangunan 37
3.7.2 *Capacity Curve* 38
3.7.3 *Fragility Curve* 41
3.7.4 *Damage Probability* 43
3.8 PERSAMAAN ATENUASI 44
3.8.1 Menghitung *Spectral Displacement* (SD) 45
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 46
4.1 WAKTU DAN LOKASI PENGAMATAN 46
4.2 PENGAMBILAN DATA 46
4.3 DATA STRUKTUR 46
4.4 PROGRAM *SOFTWARE* 47
4.5 VARIABEL 48
4.6 MODEL STRUKTUR BANGUNAN 48
4.7 PEMODELAN STRUKTUR 51
4.7.1 Pelat 51

4.7.2 Balok 52
4.7.3 Corewall 52
4.7.4 Kolom 52
4.7.5 Tangga 52
4.7.6 Fondasi 52
4.8 PEMBEBANAN STRUKTUR 52
4.9 TAHAPAN PENELITIAN 53
4.10 DIAGRAM ALUR PENELITIAN 55
BAB V PERHITUNGAN BEBAN DAN ANALISIS STRUKTUR 56
5.1 PEMBEBANAN STRUKTUR 56
5.1.1 Beban Grafitasi 56
5.1.2 Beban Gempa Statik Ekuivalen 67
5.1.3 Beban Gempa Respon Spektrum 76
5.1.4 Penentuan Massa Struktur 78
5.1.5 Cek syarat V dinamik ≤ 0,85 V statik 79
5.2 PEMODELAN STRUKTUR 80
5.3 *PUSHOVER ANALYSIS* 82
5.3.1 Pendefinisian Sendi Plastis 82
5.3.2 Gaya Lateral *Pushover analysis* 85
5.3.3 Pembebanan Analisis *Pushover* Pada SAP 2000 87
5.4 HASIL *PUSHOVER ANALYSIS* 92
5.4.1 Kurva Kapasitas 92
5.4.2 Titik Kinerja Metode Spetrum Kapasitas 96
5.4.3 Level Kinerja Struktur 99
5.4.4 Mekanisme Sendi Plastis 100
5.5 KAJIAN KERENTANAN BANGUNAN 107
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 114
6.1 KESIMPULAN 114
6.2 SARAN 116
DAFTAR PUSTAKA 117
LAMPIRAN 119

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Sekarang 8

Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa 14

Tabel 3.2 Faktor Keutamaan Bangunan 16

Tabel 3.3 Faktor R dan C_d Untuk Sistem Penahan Gaya Seismik 17

Tabel 3.4 Koefisien Situs, F_a 19

Tabel 3.5 Koefisien Situs, F_v 20

Tabel 3.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan Pada Perioda Pendek 22

Tabel 3.7 Nilai Cu Untuk Batas Pada Waktu Getar yang Dihitung 22

Tabel 3.8 Nilai C_u untuk batas pada waktu getar yang dihitung 23

Tabel 3.9 Nilai Parameter Perioda Pendekatan C_t dan *x* 23

Tabel 3.10 Tingkatan Level Kinerja Menurut ATC-40 27

Tabel 3.11*Minimum Allowable* SR_A & SR_V *Value* 34

Tabel 3.12 Batasan *Drift Ratio* Menurut ATC-40 Untuk Level Kinerja Struktur 35

Tabel 3.13 Model Tipe Bangunan 37

Tabel 3.14 *Code Building Capacity Curve-High- Code Seismic Design Level* 38

Tabel 3.15 *Code Building Capacity Curve-Moderate- Code Seismic Design Level* 39

Tabel 3.16 *Code Building Capacity Curve-Low- Code Seismic Design Level* 40

Tabel 4.1 Tipe dan Tebal Pelat 47

Tabel 4.2 Tipe dan Dimensi Balok 47

Tabel 4.3 Tipe dan Dimensi Kolom 47

Tabel 5.1 Beban Pelat Lantai 2 dan 3 56

Tabel 5.2 Beban Pelat Talang 57

Tabel 5.3 Beban Dinding Setengah Bata 57
Tabel 5.4 Beban Dinding Partisi 57
Tabel 5.5 Beban Kolom Praktis 58
Tabel 5.6 Beban Pelat Tangga Bidang Miring 58
Tabel 5.7 Beban Pelat TanggaBidang Datar 58
Tabel 5.8 Momen Tumpuan Tangga Akibat Beban Mati dan Hidup 59
Tabel 5.9 Beban Titik (*dead load*) Akibat Rangka Atap Lantai 2 61
Tabel 5.10 Beban Titik (*dead load*) Akibat Rangka Atap Lantai 3 62
Tabel 5.11 Nilai Beban Pada Gording Akibat Beban Hidup (hujan) Lantai 2 65
Tabel 5.12 Nilai Beban Pada Gording Akibat Beban Hidup (hujan) Lantai 3 65
Tabel 5.13 Beban Titik (*live load*) Akibat Rangka Atap Lantai 2 65
Tabel 5.14 Beban Titik (*live load*) Akibat Rangka Atap Lantai 3 66
Tabel 5.15 Berat per lantai bangunan dari SAP 2000 67
Tabel 5.16 Berat Mati Tambahan Per Lantai Bangunan 68
Tabel 5.17 Berat Hidup Tambahan Per Lantai Bangunan 69
Tabel 5.18 Berat Total Per Lantai Bangunan 69
Tabel 5.19 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal 75
Tabel 5.20 Nilai Gaya Gempa Arah X dan Arah Y 76
Tabel 5.21 Nilai *Base Reaction* 79
Tabel 5.22 Data Kurva Kapasitas Arah X 93
Tabel 5.23 Data Kurva Kapasitas Arah Y 94
Tabel 5.24 *Performance Point* Metode ATC-40 98
Tabel 5.25 Nilai *Drift Ratio* 99
Tabel 5.26 Penjelasan Warna Pada Sendi Plastis 100
Tabel 5.27 Model Tipe Bangunan Yang Ditinjau 106
Tabel 5.28 Hasil Persamaan Atenuasi Joyner – Boore – Fumal 1997 108
Tabel 5.29 Nilai SA dan SD Hasil Persamaan Atenuasi 109
Tabel 5.30 Nilai SA dan Sd *Capacity Curve* 110
Tabel 5.31 Probabilitas Kerentanan Gedung 112
Tabel 5.32 *Cumulative Probability* 112

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1.1 Gedung STIE Kerjasama Jogja dan gedung BPKP 1
Gambar 3.1 Mekanisme Runtuh Pada Portal Terbuka 13
Gambar 3.2 Peta wilayah Indonesia, S_s 18
Gambar 3.3 Peta wilayah Indonesia, S_1 18
Gambar 3.4 Gambar Ilustrasi Level Kinerja Struktur 28
Gambar 3.5 Modifikasi *Capacity Curve* Menjadi *Capacity Spectrum* 31
Gambar 3.6 Modifikasi Respon Spektrum Format Standar Menjadi Format ADRS 32
Gambar 3.7 Reduksi Respon Spektrum 33
Gambar 3.8 Penentuan *Performance Point* 34
Gambar 3.9 Kurva Kerentanan Dengan Metode HAZUS 36
Gambar 3.10 Tingkat Kerusakan Dealam Metode HAZUS 36
Gambar 3.11 *Table structural fragility curve parameters- high code seismic design level* 41
Gambar 3.12 *Table structural fragility curve parameters- moderate code seismic design level* 42
Gambar 3.13 *Table structural fragility curve parameters- low code seismic design level* 42
Gambar 3.14 *Fragility Curve* 43
Gambar 3.15 Kurva Fungsi Atenuasi Joyner – Boore- Fumal 1997 44
Gambar 3.16 Nilai-nilai koefisien Atenuasi Joyner – Boore- Fumal 1997 45
Gambar 4.1 Denah Lantai 1 48
Gambar 4.2 Denah Lantai 2 49
Gambar 4.3 Denah Lantai 3 49
Gambar 4.4 Tampak Depan 50
Gambar 4.5 Tampak Samping Kiri 50

Gambar 4.6 Tampak Samping Kanan 50
Gambar 4.7 Tampak Belakang 51
Gambar 4.8 Diagram Tahapan Penelitian 55
Gambar 5.1 Output Tangga Pada SAP 2000 59
Gambar 5.2 Potongan Kuda-kuda Rangka Atap Lantai 2 60
Gambar 5.3 Potongan Kuda-kuda Rangka Atap Lantai 3 60
Gambar 5.4 Sketsa Rangka Atap Lantai 2 63
Gambar 5.5 Sketsa Rangka Atap Lantai 3 63
Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum 72
Gambar 5.7 *Define Response Spectrum Functions* 77
Gambar 5.8 *Response Spectrum Function Definition* 77
Gambar 5.9 *Analysis Case Data Response Spectrum* 78
Gambar 5.10 Pendefinisian *mass source* 79
Gambar 5.11 Pemodelan bangunan utama menggunakan SAP 2000 81
Gambar 5.12 Pemodelan struktur rangka atap lantai 2& 3 81
Gambar 5.13 *Frame hinges assignments* 83
Gambar 5.14 Pendefinisian *hinges* pada balok 83
Gambar 5.15 Dua sendi plastis pada balok 83
Gambar 5.16 Pendefinisian *hinges* pada kolom 84
Gambar 5.17 Dua sendi plastis pada kolom 85
Gambar 5.18 Gaya lateral statik lantai 1 85
Gambar 5.19 Gaya lateral statik lantai 2 86
Gambar 5.20 Gaya lateral statik lantai 3 86
Gambar 5.21 Gaya lateral statik atap 87
Gambar 5.22 Pengaturan *analysis cases* beban gravitasi 87
Gambar 5.23 *Load application control for nonlinier analysis* 88
Gambar 5.24 *Nonlinier parameters* beban gravitasi 88
Gambar 5.25 Pengaturan *analysis cases* beban lateral arah X (*push* X) 89
Gambar 5.26 Pengaturan *analysis cases* beban lateral arah Y (*push* Y) 89
Gambar 5.27 *Load application control* arah X (a) dan arah Y (b) 90
Gambar 5.28 *Result saved* pada arah X dan arah Y 91

Gambar 5.29 *Nonlinier parameters* pada arah X dan arah Y 91
Gambar 5.30 Kurva kapasitas arah X 92
Gambar 5.31 Kurva kapasitas arah Y 94
Gambar 5.32 Perbandingan kurva kapasitas arah X dan arahY 95
Gambar 5.33 Parameter metode ATC-40 pada arah X (a) dan arah Y (b) 97
Gambar 5.34 *Performance point* arah X 97
Gambar 5.35 *Performance point* arah Y 98
Gambar 5.36 Sendi plastis *pushover* arah X pada *step* 12 101
Gambar 5.37 Sendi plastis *pushover* arah X *step* 4 101
Gambar 5.38 Sendi plastis *pushover* arah X *step* 7 102
Gambar 5.39 Sendi plastis *pushover* arah X *step* 10 102
Gambar 5.40 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 15 103
Gambar 5.41 Sendi plastis *pushover* arah Y *step* 3 103
Gambar 5.42 Sendi plastis *pushover* arah Y*step* 4 104
Gambar 5.43 Sendi plastis *pushover* arah Y *step* 8 104
Gambar 5.44 Sendi plastis *pushover* arah Y *step* 9 105
Gambar 5.45 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 10 106
Gambar 5.46 *Response curve* dari nilai SA(sb Y) dan SD(sb X) 110
Gambar 5.47 *Capacity curve* 111
Gambar 5.48 Perpotongan antara *response curve* dan *capacity curve* 111
Gambar 5.49 Perpotongan antara *response curve* dan *capacity curve* 113

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Beban Mati	120
Lampiran 2	Beban Hidup	122
Lampiran 3	Gambar Denah Lantai 1	123
Lampiran 4	Gambar Denah Lantai 2	124
Lampiran 5	Gambar Denah Lantai 3	125
Lampiran 6	Gambar Tampak Depan	126
Lampiran 7	Gambar Tampak Samping Barat	127
Lampiran 8	Gambar Tampak Samping Timur	128
Lampiran 9	Gambar Potongan A-A	129
Lampiran 10	Gambar Potongan B-B	130
Lampiran 11	Gambar Potongan C-C	131
Lampiran 12	Gambar Potongan D-D	132
Lampiran 13	Gambar Detail Kolom	133
Lampiran 14	Gambar Detail Balok	134
Lampiran 15	Gambar Denah Tangga	135
Lampiran 16	Gambar Potongan Tangga	136

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ADRS	: *Acceleration Displacement Response Spectrum*
ATC-40	: *Applied Technology Council*
ay, dy	: Koordinat titik leleh efektif dari kurva kapasitas
api, dpi	: Koordinat percobaan titik performa
β_{eff}	: Rasio redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis (dalam %)
β_{ds}	: Log normal standar deviasi dari spectral displacement tingkat kerusakan
C	: Koefisien gempa
C_a	: Percepatan tanah puncak
C_d	: Faktor pembesaran defleksi
C_s	: Nilai koefisien respon seismik
C_u	: Koefisien batas atas periode yang dihitung pada Tabel 3.8
C_v	: Nilai koefisien gempa
CP	: *Collapse Pervention*
D	: Beban mati diakibatkan oleh konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga dan peralatan layan tetap
DOF	: *Degree Of Freedom*
E	: Beban gempa
E_c	: Modulus elastisitas beton
F_a	: Faktor percepatan pada getaran periode pendek
F_1	: Faktor percepatan pada getaran periode 1 detik
Fy	: Nilai kuat leleh baja
FEMA	: *Federal Emergency Management Agency*
h	: Kedalaman gempa
h_n	: Ketinggian struktur
HAZUS	: Hazard US

I_e	: Faktor keutamaan bangunan
IO	: *Immediate Occupancy*
K	: faktor modifikasi redaman
K300	: Beton dengan kuat tekan karakterisitik 25,05 MPa
L	: Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain
LS	: *Life Safety*
M	: *Magnitude*
N	: Jumlah lantai
PBSE	: *Performance Based Earthquake Evaluation*
PBSD	: *Performance Based Earthquake Desain*
PF_1	: faktor partisipasi ragam (*modal participation factor*) untuk ragam ke-1
P_i	: Gaya gravitasi total lantai i
PPPURG	: Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung
Qd	: Beban mati merata per meter.
R	: Koefisien Modifikasi Respon
rjb	: Jarak episenter (km) < 80 km
SA	: Batu keras
SB	: Batuan
SC	: Tanah Keras
SCWB	: *Strong Columb Weak Beam*
SD	: Tanah Sedang
SE	: Tanah lunak
SF	:Tanah khusus yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1.
S_{DS}	: Parameter percepatan spektral disain untuk perioda pendek
S_{D1}	: Parameter percepatan spektral disain untuk perioda 1 detik

SKBI	: Standar konstruksi bangunan Indonesia
S_{MS}	: Parameter spektrum respon percepatan pada perioda pendek
S_{M1}	: Parameter spektrum respon percepatan pada perioda 1 detik
SNI	: Standar Nasional Indonesia
S_a	: Spektrum percepatan
S_s	:Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek
S_1	: Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda 1 detik
STIE	: Sekolah tinggi ilmu ekonomi
T	: Waktu getar alami struktur
T_a	: Periode fundamental struktur
Tc	: Waktu getar struktur (*output* SAP 2000)
TB	: Tidak dibatasi
TI	: Tidak dibatasi
V	: Gaya geser dasar statik ekuivalen
V_i	: Gaya geser total lantai i
V_t	: Gaya geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan
W	: Berat struktur (akibat beban mati dan beban hidup tereduksi.
WCSB	: *Weak columb strong beam*
w_i/g	: Massa lantai i
α_1	: Koefisien massa ragam untuk ragam ke-1.
ϕ_{i1}	: Perpindahan pada lantai i ragam ke-1
Δ_{atap}	: Perpindahan atap (yang digunakan pada kurva kapasitas)

ABSTRAK

Yogyakarta merupakan kota dengan resiko gempa yang cukup tinggi di Indonesia. Hal itu dibuktikan dengan kejadian gempa yang melanda kotaYogyakarta pada tahun 2006 dengan kekuatan 5,5 SR. Gempa tersebut mengakibatkan bangunan-bangunan mengalami rusak parah bahkan sampai hancur total sehingga banyak menyebabkan korban meninggal dunia.
Semenjak kejadian gempa tersebut, bangunan tahan gempa mulai menjadi prioritas utama bagi pemerintah dan masyarakat Yogyakarta dalam upaya mengurangi dampak dari gempa bumi. Selain itu juga sangat diperlukan mengetahui tingkat kerentanan bangunan lama yang sudah terbangun terhadap gempa yang akan datang, sehingga diharapkan dapat diketahui probabilitas kerusakan bangunan akibat gempa sesuai SNI 1726-2012.

Tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa dianalisis dengan metode *pushover* terhadap *HAZU*S. Pemodelan 3D gedung yang diteliti menggunakan *software* ETABS versi 7.2.4 dan SAP 2000 versi 11. Metode yang dipakai adalah statik non linier (*pushover*) sesuai peraturan gempa SNI 1726-2012. Hasil dari analisis diketahui level kinerja bangunan dan probabilitas kerusakan bangunan.

Hasil penelitian menunjukkan gedung berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) dengan nilai total *vulnerability* sebesar 77,81% dimana besar *cumulative probability* untuk level *slight*, *moderate*, *extensive* dan *complete* secara berturut-turut sebesar 48,12 %, 25,53 %, 3,94 %, dan 0,23%.

Kata Kunci: Pushover, level kinerja, kurva kerentanan.

ABSTRACT

Yogyakarta is a city with high risk of earthquake disaster in Indonesia. It is proven by the earthquake happens in Yogyakarta city in 2006 with 5,5 SR strength. This is affected buildings hardly damaged even until it is fallen of and inflict victims. Since the last earthquake, earthquake resistant buildings becoming a priority and primary for the government also Yogyakarta citizen in reduces impact of earthquake. This idea is needed to knowing stages of old building susceptible that already constructed towards the incoming earthquake, with the result of that it can be discovered the probabilities damage construction affected by earthquake from the appropriate SNI 1726 – 2012.

Level of building fragility due to earthquake was analyzed by pushover and HAZUS method. The 3D building modeling was analyzed with ETABS version 7.2.4 and SAP 2000 version 11 software. The methods are used was using static non linier (pushover) matched with SNI 1726 – 2012. This analytic result show works level and probabilities of construction damage.

This analytic result show that the building is included in immediate occupancy level with total value of vulnerability 77,81 % and cumulative probability value of each level damage slight, moderate, extensive and complete sequentially are 48,12 %, 25,53 %, 3,94 %, dan 0,23%.

***Keyword**: pushover, performance level, fragility curve*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Kota Yogyakarta merupakan kota tujuan pendidikan, sehingga mendorong banyak instansi pendidikan mulai dari sekolah dasar hingga perguruan tinggi untuk membangun sarana gedung pendidikan yang mencukupi untuk melangsungkan kegiatan belajar mengajar. Akan tetapi, semakin berjalannya waktu lahan terbuka semakin berkurang dan semakin mahal. Mengatasi hal tersebut, bangunan bertingkat adalah salah satu solusi dalam pembangunan.

Permasalahan penting yang tidak dapat dihindari dari pembangunan gedung bertingkat tinggi adalah risiko kegagalan struktur akibat gempa bumi. Indonesia berada di dua dari tiga jalur gempa bumi yaitu jalur Sirkum Pasifik (*Circum Pacific Belt*) dan jalur Trans Asia (*Trans Asiatic Belt*). Gempa besar sering terjadi di Indonesia yang mengkibatkan banyak korban jiwa karena tertimpa bangunan mereka sendiri yang runtuh. Tidak terkecuali di kota Yogyakarta, pada tanggal 27 Mei 2006 pernah terjadi gempa bumi dengan intensitas 6,3 SR yang banyak mengakibatkan bangunan-bangunan rusak parah bahkan runtuh total, sehingga mengakibatkan banyak korban jiwa. Gambar 1.1 adalah contoh bangunan yang mengalami kegagalan struktur akibat gempa di Yogyakarta pada tahun 2006.



Gambar 1.1 Gedung STIE Kerjasama (kiri) Jogja dan gedung BPKP (kanan) setelah gempa Jogja (Sumber : wikipedia.org dan ciptakarya.pu.go.id)

Desain struktur bangunan merupakan perencanaan yang harus ditinjau dari beberapa pertimbangan dan beberapa tahapan perhitungan sehingga sesuai dengan fungsinya dan yang terpenting aman saat terjadi gempa. Masalah lain yang sangat penting yang harus menjadi pertimbangan dalam mendesain struktur bangunan adalah beban gempa yang semakin lama semakin meningkat, oleh karena itu, selalu dilakukan pembaharuan peraturan pembebanan gempa setiap waktu tertentu. Seperti yang diketahui bahwa SNI 1726-2012 merupakan pembaharuan dari SNI sebelumnya, yaitu SNI 1726-2002. Dengan adanya peraturan terbaru SNI 1726-2012, maka SNI 1726-2002 sudah tidak dipergunakan lagi dalam mendesain struktur bangunan. Akan tetapi, bangunan yang sudah terbangun menggunakan peraturan lama yaitu menggunakan SNI 1726-2002 akan berpotensi mengalami kegagalan struktur akibat beban gempa yang akan terjadi sehingga membahayakan penghuni atau pengguna bangunan tersebut.

Dilatarbelakangi hal tersebut, maka sangat diperlukan evaluasi kinerja struktur apakah struktur bangunan yang ditinjau masih aman terhadap peraturan (*code*) yang terbaru, sehingga dapat dilakukan sebagai penanggulangan dampak dari bencana gempa bumi. Selain itu, juga sangat diperlukan penelitian untuk memprediksi tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa, sehingga dapat diketahui nilai probabilitas kerusakan bangunan bila terjadi gempa. Sebagai obyek analisis tersebut digunakan salah satu bangunan gedung perkuliahan yang berada di Yogyakarta. Untuk mengetahui kinerja struktur saat terjadi gempa maka dilakukan analisis dengan metode *pushover* kemudian dilanjutkan dengan mencari tingkat kerentanan bangunan menurut *HAZUS.*

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam tugas akhir dapat dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Bagaimanakah kurva kapasitas dari bangunan yang ditinjau setelah dianalisis menggunakan *pushover*?

2. Bagaimanakah level kinerja (*performance level*) gedung yang ditinjau terhadap gempa sesuai SNI 1726-2012 ?
3. Bagaimanakah mekanisme sendi plastis/keruntuhan bangunan setelah dianalisis menggunakan *pushover* ?
4. Bagaimanakah kurva kerentanan (*fragility curve*) bangunan saat ditinjau menggunakan metode *HAZUS*?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. untuk menentukan kurva kapasitas dari bangunan yang ditinjau setelah dianalisis menggunakan *pushover*?
2. untuk menentukan level kinerja (*performance level*) gedung yang ditinjau terhadap gempa sesuai SNI 1726-2012 ?
3. untuk menentukan mekanisme sendi plastis/keruntuhan bangunan setelah dianalisis menggunakan *pushover* ?
4. untuk menghitung kurva kerentanan (*fragility curve*) bangunan saat ditinjau menggunakan metode *HAZUS*?

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Model struktur bangunan adalah *open frame*
2. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang
3. Klasifikasi tanah adalah tanah sedang
4. Bangunan masuk dalam kategori risiko IV
5. Analisis struktur ditinjau 3D menggunakan *software* ETABS untuk struktur atap dan SAP 2000 untuk struktur bangunan utama
6. Beban lateral yang diperhitungkan hanya beban gempa
7. Struktur fondasi tidak diperhitungkan
8. Peraturan yang digunakan adalah :
   a. Pembebanan struktur berpedoman pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung SKBI-1. 3.5.3.1987.

b. SNI 1726-2012 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Banguna Gedung dan Non Gedung.
c. *Applied Technology Council* (ATC 40)
d. FEMA HAZUS-MH *: The Federal Emergency Management Agency HAZUS- MH (Multy Hazard)*

9. *Hinges properties* dalam SAP 2000 *input* secara otomatis berdasarkan FEMA 356.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut ini.

1. Sebagai salah satu referensi dalam menentukan evaluasi kinerja struktur bangunan dalam upaya mitigasi bencana gempa.
2. Dapat digunakan sebagai salah satu referensi dasar perencanaan bangunan berdasarkan kinerja/performa bangunan.
3. Dapat digunakan sebagai salah satu cara evaluasi tingkat kerentanan bangunan terhadap gempa.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Sebagai acuan dalam menyusun tugas akhir, maka diperlukan referensi-referensi penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan agar tugas akhir ini dapat mendapatkan hasil yang lebih baik dan memperoleh hasil yang dapat dikomparasikan penelitian sebelumnya. Penelitian yang dijadikan referensi adalah penelitian mengenai topik berikut.

2.1.1 Analisis Statik Nonlinier (*Pushover*)

Analisis statik nonlinier (*Pushover*) merupakan salah satu cara untuk memberi solusi berdasarkan *Performance Based Seismic Design* yang pada intinya adalah untuk mencari Kapasitas struktur. Analisis pushover dilakukan dengan memberikan beban statik dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target perubahan bentuk (*displacement*) tertentu. Studi ini membahas tentang *assesment* kerentanan gedung beton bertulang yaitu analisa tentang hubungan *base shear* dengan *displacement* dan kerusakan-kerusakan yang terjadi.

2.1.2 Kurva Kerentanan (*Fragility Curve*) menurut HAZUS

Metode *HAZUS* merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan kerugian material suatu bangunan serta jumlah potensi korban jiwa maupun korban luka-luka pada penghuni bangunan dengan menggambarkan kurva kerentanan (*fragility curve*) pada bangunan yang ditinjau. Akan tetapi, dalam penelitian ini hanya akan dilakukan penelitian tentang kerentanan bangunan untuk mengetahui tingkat kemungkinan kerusakan bangunan terhadap gempa.

Beberapa penelitian sebelumnya yang membahas tentang analisis *pushover* dan kurva kerentanan menurut *HAZUS* yang digunakan sebagai tinjauan pustaka dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis *Pushover* Menggunakan SAP 2000 (Afandi, N.R., 2010).

Nur Rachmad Afandi (2010) mengadakan penelitian tentang kinerja struktur beton dengan analisis *pushover*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil *output* dari analisis *pushover* menggunakan program SAP 2000 pada gedung rumah sakit di Surakarta, untuk mengetahui pola keruntuhan yang terjadi akibat beban gempa, dan untuk mengetahui apakah hasil analisis *pushover* menunjukan bahwa struktur gedung mampu berperilaku linier menjadi nonlinier saat terjadi keruntuhan.

Dalam penelitian ini analisa perhitungan struktur menggunakan model bangunan 3D. Bangunan yang digunakan adalah bangunan rumah sakit di Surakarta. Peraturan yang digunakan adalah SNI 1726-2002, ATC 40 dan FEMA 356.

Hasil dari penelitian ini adalah gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *immediate occupancy* yakni ada kerusakan pada struktur dimana kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan sebelum terjadi gempa dan gedung dapat digunakan kembali, dari kurva kapasitas tinjauan arah Y memberikan gambaran perilaku struktur mulai dari tahap kondisi elastis, inelastis kemudian mengalami keruntuhan yang ditunjukan kurva dengan penurunan panjang, konsep *strong colum weak beam* telah terpenuhi. Hal ini ditunjukan terjadinya sendi plastis diawali dari balok yang kemudian saat mencapai *performance poin*t mayoritas elemen balok terbentuk sendi plastis kemudian pada elemen balok mencapai kondisi batas inelastis.

2. Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan *Pushover Analysis* (Oktopianto Y. dan Andayani R., 2013).

Yogi Oktopianto dan Relly Andayani (2013) mengadakan penelitian dengan tujuan mengevaluasi kinerja struktur beton bertulang terhadap gempa menggunakan metode *pushover* menggunakan peraturan SNI 1726-2002 dan FEMA 356.

Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa metode koefisien perpindahan FEMA 356 dan persyaratan batas ultimit SNI 1726-2002 menghasilkan nilai δT yang berbeda, hasil dari analisis menunjukan bahwa bangunan masuk dalam kategori *life safety* dimana gedung hanya bisa menahan gaya gempa sebesar 602179,63 Kg . Sedangkan SNI memberikan nilai taret perpindahan sebesar 0,011 m.

3. *Development of Pushover Analysis on HAZUS Method to Determine Building Damage Probability as an Earthquake Mitigation Efforts* (Muntafi Y., 2012).

Muntafi Y. (2012) melakukan penelitian dengan membuat model bangunan 4 lantai yang berada di lokasi gempa 3 yang kemudian dianalisis menggunakan *pushover* dan dilanjutkan dengan metode HAZUS untuk mengetahui tingkat kerentanan bangunan yang ditinjau.

Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan kesimpulan bahwa analisis *pushover* yang dikembangkan dengan metode *HAZUS* mampu memperkirakan tingkat kemungkinan kerusakan bangunan dari level *slight* sampai level *complete*. Dan juga didapatkan bahwa bangunan tipe C1M memiliki kemungkinan kerusakan dalam level *slight* dan *moderate* adalah 0,284 % dan 0,21 %, sedangkan untuk level *extensive* dan *complete* adalah 0 %.

Dari ketiga penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai referensi beserta perbedaan antara penelitian sebelumnya dan penelitian sekarang disajikan dalam Tabel 2.1.

.

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dengan sekarang

No	Judul Penelitian	Penulis (Tahun)	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Penelitian Sekarang
1	Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan SAP 2000	Nur Rachmad Afandi, (2010)	- Tinjauan struktur 3D - Menggunakan peraturan SNI 1726-2002, FEMA 356 dan ATC 40	- Tinjauan struktur 3D - Menggunakan peraturan SNI, 1726-2012, ATC 40 dan metode *HAZUS*
2	Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan *Pushover Analysis*	Yogi O. dan Relly A. (2013)	- Tinjauan struktur 3D - Menggunakan peraturan SNI 1726-2002 dan FEMA 356	
3	*Development of Pushover Analysis on HAZUS Method to Determine Building Damage Probability as an Earthquake Mitigation Efforts*	Yunalia Muntafi (2012)	- Objek bangunan yang diteliti hanya sebuah model	- Objek bangunan yang diteliti adalah bangunan yang diperoleh dari konsultan perencana

2.2 KEASLIAN PENELITIAN

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, penelitian mengenai evaluasi kinerja struktur bangunan dengan analisis *pushover* sudah banyak dilakukan, namun penelitian lebih lanjut terkait kajian kerentanan struktur bangunan akibat gempa masih sangat sedikit. Penelitian ini mengambil obyek salah satu bangunan gedung perkuliahan yang berlokasi di Yogyakarta. Analisis yang digunakan adalah analisis *pushover* dilanjutkan penilaian probabilitas kerentanan berdasarkan metode *HAZUS*.

Perbedaan dengan penelitian sebelumnya adalah dalam penelitian ini menggunakan obyek bangunan sudah terbangun dan analisis yang digunakan menggunakan analisis *pushover* yang dilanjutkan dengan penilaian probabilitas kerentanan berdasarkan *HAZUS*, sehingga keaslian penelitian dapat dipertanggung jawabkan.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 BANGUNAN TAHAN GEMPA

Tidak dipungkiri bahwa bencana alam gempa bumi sering terjadi di Indonesia mulai dari skala yang relatif kecil (*small*), sedang (*moderate*), kuat (*stong*) dan bahkan gempa besar (*great*). Gempa kecil biasanya sering terjadi, tetapi tidak dirasakan banyak orang dan tidak menimbulkan kerusakan (intensitas gempa $I_{mm} < V$). Gempa sedang umumnya terjadi hanya kadang-kadang, dan gempa ini berkemungkinan menyebabkan kerusakan ringan. Gempa kuat umumnya jarang terjadi, tetapi jika terjadi dapat menyebabkan kerusakan yang cukup besar. Gempa Bengkulu (2002) dan gempa Nabire (2004) adalah salah satu gempa kuat yang merusak baik struktur maupun bangunan non struktur. Skala gempa besar sangat jarang terjadi, tetapi jika terjadi tidak ada bangunan yang kuat menahan gempa tersebut, kecuali bangunan yang direncanakan sesuai standar yang berlaku (SNI 03-1726-2012). Telah terbukti pada gempa Aceh (2004) dan gempa Mentawai (2005) banyak bangunan rusak, roboh/runtuh walaupun jarak episenter yang sudah sangat jauh.

Menurut Widodo (2012), diperlukan perencanaan bangunan yang dapat mengurangi atau bahkan menghindari risiko kerusakan akibat gempa, sehingga dibutuhkan bangunan yang sangat kuat, sangat aman untuk menghindari kerusakan. Bangunan yang kuat seperti itu dimaksudkan agar bangunan masih dalam kondisi elastik saat terjadi gempa besar, sehingga bangunan tersebut sama sekali tidak mengalami kerusakan. Tetapi bangunan seperti ini secara umum tidak diinginkan karena begitu mahalnya biaya pembangunan. Sedangkan jika membangun bangunan yang sangat lemah dan relatif murah akan tetapi selalu rusak jika terjadi gempa, sehingga diperlukan berkali-kali membangun kembali bangunan tersebut yang akhirnya juga sama saja menjadi mahal. Disamping mahal

karena membangun berkali-kali, juga akan sangat membahayakan bagi para penghuninya.

Dari 2 kondisi bangunan yang telah dijelaskan yaitu bangunan sangat kuat tetapi juga sangat mahal dan bangunan sangat lemah tetapi murah, dimengerti bahwa bangunan yang dibangun hendaknya berada diantara kedua kondisi tersebut. Para ahli kemudian memutuskan bahwa bangunan yang dibangun harus relatif kuat menahan gempa tetapi biaya pembangunannya tidak terlalu mahal. Prinsip ini nantinya akan bermuara pada bangunan yang aman tetapi ekonomis. Bangunan seperti ini kemudian populer disebut *earthquake resistant building*, yaitu bangunan yang kuat terhadap bahaya gempa tetapi pembangunannya relatif tidak mahal.

3.1.1 Desain Filosofi (*Philosophy of Design*)

Di atas telah dijelaskan tentang filosofi bangunan tahan gempa (*earthquake resistant building*) yaitu bangunan yang relatif kuat terhadap bahaya gempa tetapi pembangunannya relatif tidak mahal. Bangunan gedung memiliki faktor keutamaan yang tergantung pada penting/tidaknya suatu bangunan. Semakin penting suatu bangunan maka semakin lama bangunan itu harus bertahan, berarti semakin besar gaya gempa yang harus diperhitungkan.

Dengan banyaknya hal yang dapat berkaitan tersebut, maka dapat dikelompokkan menurut kekuatan gempa dan perform bangunan dalam rangka melindungi manusia tetapi masih memperhitungkan tingkat ekonomisnya pembangunan. Pengelompokan tersebut dituangkan di dalam desain filosofi (*earthquake design philosophy*) suatu bangunan akibat beban gempa. Hoedajanto dan Imran (2009) menjelaskan, filosofi perencanaan bangunan tahan gempa mengikuti ketentuan berikut ini:

1. Pada gempa kecil, bangunan tidak boleh mengalami rusak sama sekali.
2. Pada gempa menengah, komponen struktural tidak diperbolehkan mengalami kerusakan, namun komponen non-struktural diijinkan mengalami kerusakan.
3. Pada gempa kuat, komponen struktural boleh mengalami kerusakan, namun bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan.

Setelah gempa kecil, maka bangunan harus masih dapat berfungsi dengan baik. Seandainya ada perbaikan, sifatnya sangat ringan,murah dan cepat sehingga tidak mengganggu fungsi bangunan. Setelah gempa sedang, maka bangunan harus masih berfungsi baik setelah diperbaiki. Pada gempa kuat, bangunan tidak boleh runtuh total sehingga penghuni dapat menyelamatkan diri dari reruntuhan bangunan saat terjadi gempa.

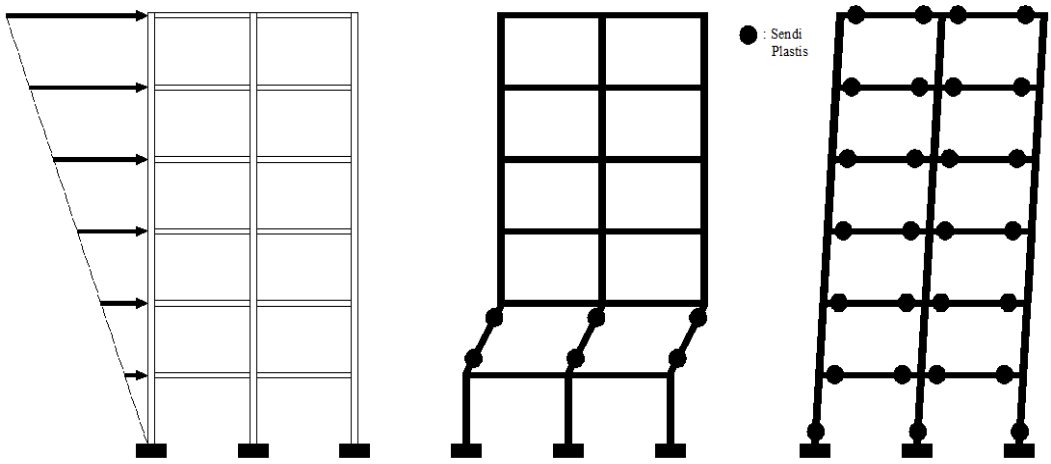
3.1.2 Hierarki Kerusakan Bangunan

Sangat penting bahwa perencanaan bangunan tahan gempa harus menggunakan perencanaan kapasitas yaitu menentukan urutan kegagalan struktur berdasarkan beban rencana. Pada metode ini elemen struktur tidak direncanakan sama kuat, tetapi perencana dapat memilih elemen struktur yang akan dibuat lebih lemah dibandingkan yang lain, sehingga proses disipasi energi (sendi plastis) akan terjadi pada bagian yang lemah.

Hierarki kerusakan elemen struktur secara logika dapat ditentukan dengan jelas yaitu agar struktur tetap berdiri tegak, maka kolom harus lebih kuat daripada balok. Hierarki kerusakan terus berlanjut sampai pada tanah pendukung. Dengan memperhatikan hal tersebut, maka dari filosofi desain akhirnya sudah sampai pada prinsip kolom kuat balok lemah (*Strong Column Weak Beam*, SCWB).

Secara logis prinsip SCWB akan mengakibatkan struktur bergoyang menurut *beam sway mechanism* seperti tampak pada Gambar 3.1 c). Pada SCWB, balok sengaja dibuat lebih lemah dari kolom-kolomnya dan oleh karenanya apabila level beban terlampaui, maka segera terjadi sendi-sendi plastis yang umumnya terjadi pada ujung-ujung balok dan ujung bawah kolom tingkat dasar. Di tempat-tempat itulah kemudian detail tulangan didesain dan dipasang dengan baik agar dapat menjadi elemen yang daktail/liat. Dengan sifat yang liat, maka elemen dan struktur akan dapat bertahan pada deformasi inelastik yang cukup besar tanpa adanya penurunan kekuatan yang berarti. Apabila demikian, pada bangunan dengan beban gempa yang cukup besar struktur akan tetap rusak tetapi tidak akan runtuh total.

Pada Gambar 3.1 b) menunjukkan mekanisme goyangan struktur yang lain yaitu *column sway mechanism*, yaitu produk desain yang mengacu pada kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam,*WCSB). Mekanisme keruntuhan struktur ini mengakibatkan struktur akan runtuh total (*totally collapse*) sehingga dilarang untuk dipakai.



a) Portal Terbuka

a) Column Sway Mechanism

c) Beam Sway Mechanism

Gambar 3.1 Mekanisme runtuh pada portal terbuka
(Sumber: Widodo, 2012)

Paulay dan Priesley (1992) menyatakan *capacity design* mempunyai karakteristik sebagai berikut ini.

1. Letak kemungkinan terjadinya sendi plastis sudah ditentukan dengan jelas. Hal ini dengan memilih pola penggoyangan menurut balok atau *beam sway mechanism* yang mana kolom direncanakan lebih kuat dibandingkan balok. Dengan kondisi seperti ini, maka sendi-sendi plastis akan terjadi pada ujung-ujung balok dan kaki kolom.
2. Lokasi yang direncanakan terjadi sendi plastis didetail secara baik sehingga walaupun terdeformasi inelastik tetapi tetap daktail. Pada kondisi tersebut tidak akan terjadi kerusakan secara prematur. Karena elemen daktail mampu menjaga kestabilan pada deformasi inelastik maka proses disipasi energi dapat berlangsung secara baik.

3. Elemen-elemen yang berpotensi getas dan tidak baik dalam melakukan disipasi energi seperti kolom sengaja diperkuat agar tidak terjadi sendi plastis. Cara memperkuat elemen tersebut adalah dengan cara memberikan kekuatan yang lebih besar daripada *overstrength* pada balok. Dengan demikian elemen kolom senantiasa tetap elastik selama beban gempa berlangsung.
4. *Shear failure* pada saat terjadinya inelastik harus dihindari dengan cara memasang *lateral confinement* yang cukup. Selain itu, *anchorage failure* dan bentuk-bentuk instabilitas yang lain (*beam column beam joint*) sangat dihindari dengan detail elemen yang baik.

3.2 KETENTUAN UMUM BANGUNAN TERHADAP GEMPA

1. Kategori Risiko

Sesuai SNI 03-1726-2012 Pasal 4.1.2 Tabel 1, bangunan gedung dan non gedung memiliki ketegori risiko berdasarkan jenis pemanfaatan gedung seperti yang dijelaskan dalam Tabel 3.1 berikut ini:

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, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III dan IV, tapi tidak dibatasi untuk : - Perumahan - Rumah toko atau rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung aparteman/ rumah susun - Pusat perbenlanjaan/ mall	II

Lanjutan Tabel 3.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Bioskop - Gedung pertemuan - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Stadion - Penjara - Fasilitas penitipan anak - Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori IV yang memiliki potensial untuk dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, kantor polisis, serta garasi kendaraan darurat	IV

Lanjutan Tabel 3.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Struktur tambahan termasuk (termasuk menara telekomunikasi, tanki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tanki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi saat keadaan darurat. Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV	IV

2. Faktor Keutamaan (I_e)

Sesuai SNI 03-1726-2012 Pasal 4.1.2 Tabel 2, bangunan dengan kategori risiko tertentu memiliki faktor keutamaan (I_e) bangunan seperti dijelaskan dalam Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Faktor keutamaan bangunan

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan (I_e)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

3. Koefisien Modifikasi Respon (R)

Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan ketinggian struktur dalam SNI 03-1726-2012 Pasal 7.2.2 seperti yang dijelaskan dalam Tabel 3.3 berikut ini:

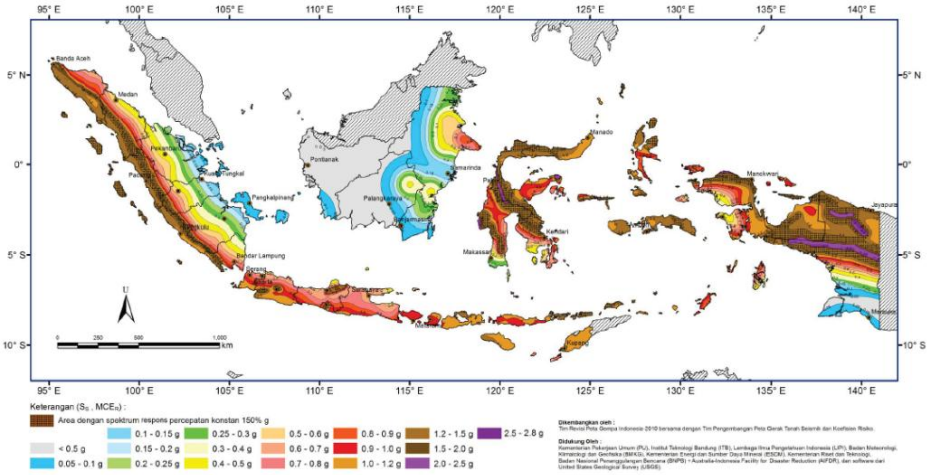
Tabel 3.3 Faktor R dan C_d untuk sistem penahan gaya seismik.

Sistem penahan-Gaya seismik	Ko Modifikasi Respon (R)	Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)	Batasan Sistem struktur dan Batasan Tinggi Struktur (m)				
			Kategori Disain Seismik				
			B	C	D[d]	E[d]	F[e]
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan							
1. Dinding geser beton bertulang khusus	7	$5\,1/2$	TB	TB	TB	TB	TB
2. Dinding geser beton bertulang biasa	6	5	TB	TB	TI	TI	TI
Sistem rangka pemikul momen							
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	$5\,1/2$	TB	TB	TB	TI	TI
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	$4\,1/2$	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	3	$2\,1/2$	TB	TI	TI	TI	TI

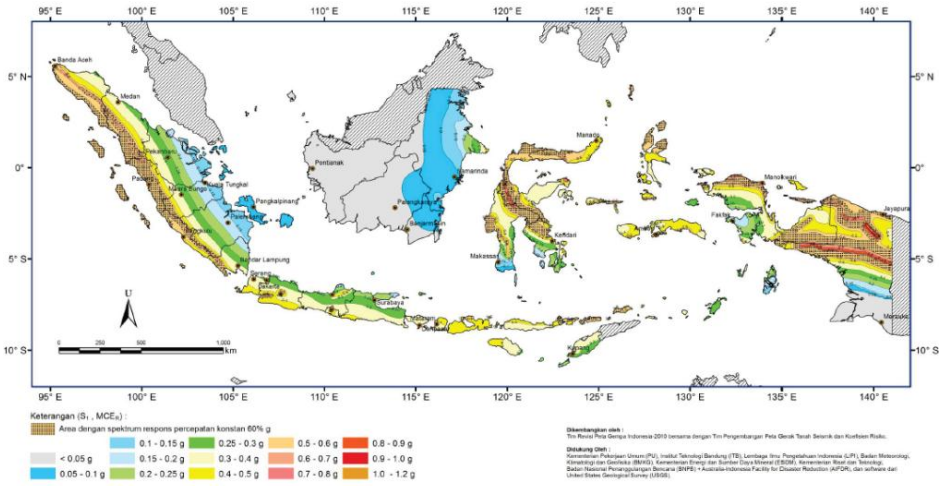
Keterangan : TB = Tidak dibatasi, TI = Tidak diijinkan

4. Wilayah Gempa

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respon spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0{,}04$ g dan $S_s \leq 0{,}15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukan ke dalam disain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam SNI 03-1726-2012 Pasal 6.6. Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 merupakan peta respon spektrum yang dipakai untuk mencari nilai S_s dan S_1.



Gambar 3.2 Peta wilayah Indonesia untuk S_s
(Sumber : SNI 03-1726-2012)



Gambar 3.3 Peta wilayah Indonesia untuk S_1
(Sumber : SNI 03-1726-2012)

5. Spektrum Respon

Untuk menentukan respon spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respon percepatan pada perioda pendek (S_{MSr}) dan perioda 1 detik (S_{M1r}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan sebagai berikut.

$S_{MSr} = F_a \,.\, S_s \,.\, C_{rs}$ (3.1)

$S_{M1r} = F_v \,.\, S_1 \,.\, C_{r1}$ (3.2)

Dengan:

S_s adalah parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek.

S_1 adalah parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda 1 detik

C_{rs} adalah koefisien terpetakan, periode respons spektral 0,2 detik

C_{r1} adalah koefisien terpetakan, periode respons spektral 0,1 detik

Faktor respon gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi, besarnya nilai faktor respon gempa diperoleh dari perhitungan S_s dan S_1, koefisien situs F_a dan F_v yang diperoleh dari Tabel 3.4 dan 3.5.

Tabel 3.4 Koefisien situs, F_a

Koefesien Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa MECR Terpetakan Pada Perioda Pendek, T = 0,2 detik, S_s				
	$S_s \leq 0{,}25$	$S_s = 0{,}5$	$S_s = 0{,}75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1{,}25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,0	1,1	1,1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS[b]				

Catatan :

1. Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
2. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik, lihat pasal 6.10.1 (SNI 03-1726-2012).
3. SA = Batuan keras, SB = Batuan, SC = Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak, SD = Tanah sedang, SE = Tanah lunak, SF = Tanah khusus yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1.

Tabel 3.5 Koefisien situs , F_v

Koefesien Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa MECR Terpetakan Pada Perioda 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0, 4$	$S_s \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS[b]				

Catatan :

1. Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
2. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon situs spesifik, lihat pasal 6.10.1 (SNI 03-1726-2012)
3. SA = Batuan keras, SB = Batuan, SC = Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak, SD = Tanah sedang, SE = Tanah lunak, SF = Tanah khusus yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1.

6. Parameter Percepatan Spektral Disain

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

$$S_{DSr} = \frac{2}{3} S_{MSr} \quad (3.3)$$

$$S_{D1r} = \frac{2}{3} S_{M1r} \quad (3.4)$$

Jika digunakan prosedur disain yang disederhanakan sesuai Pasal 8, nilai S_{DS} harus ditentukan sesuai 8.8.1 dan nilai SD1 tidak ditentukan (SNI 03-1726-2012).

7. Kategori Disain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori disain seismik. Struktur dengan kategori risiko I, II atau III yang berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1, lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori disain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik, S_1, lebih besardari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori disain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori disain seismiknya berdasarkan ketegori risikonya dan parameter respon spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1}.

Apabila S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori disain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 3.6 saja, di mana berlaku ketentuan di bawah ini.

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur , T_a, adalah kurang dari 0,8 T_s, di mana Ts ditentukan dengan rumus $T_s = \frac{SD1}{SDS}$.
2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s.
3. Persamaan $C_s = \frac{SDSr\ x\ Ie}{R}$ digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik, C_s.
4. Diafragma struktural adalah kaku atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Apabila digunakan alternatif prosedur penyederhanaan disain pada Pasal 8 (SNI 03-1726-2012), kategori disain seismik diperkenankan untuk ditentukan dari Tabel 3.6 dengan menggunakan nilai S_{DS} yang di tentukan dengan cara berikut.

$$S_{DSr} = \frac{2}{3}. F_a . S_s \qquad (3.5)$$

Tabel 3.6 Kategori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek.

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	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3.7 Kategori disain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik.

Nilai S_{DI}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

3.3 WAKTU GETAR ALAMI FUNDAMENTAL

Dalam SNI 03-1726-2012 dijelaskan dalam menentukan nilai periode fundamental sebagai berikut. Waktu getar alami struktur, T, dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji, T harus memenuhi syarat:

$$T < C_u T_a \quad (3.9)$$

Dengan C_u adalah koefisien batas atas periode yang dihitung pada Tabel 3.8, dan T_a adalah waktu getar alami pendekatan.

Waktu getar alami pendekatan, T_a, dalam detik, harus ditentukan dari persamaan sebagai berikut:

$$Ta = Ct\ h_n^x \quad (3.10)$$

Dengan h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.8 Nilai C_u untuk batas pada waktu getar yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral disain pada 1 detik, S_{D1}	Koef. C_u
≥ 0,4	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
≤ 0,1	1,7

Tabel 3.9 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan *x*

Tipe Struktur	C_t	*x*
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya seismik 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] (0,028)	0,8
Rangka beton pemiku momen	0,0466[a] (0,016)	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731[a] (0,03)	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488[a] (0,02)	0,75

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan waktu getar alami pendekatan (T_a), dalam detik, dari Persamaan 3.11) berukut untuk struktur dengan ketinggian tidak lebih melebihi 12 tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dari tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0{,}1\ N \quad (3.11)$$

Dangan N adalah jumlah tingkat.

3.4 BEBAN STRUKTUR

3.4.1 Beban Gravitasi

Dalam pembebanan struktur bangunan terdapat beban gravitasi yang terdiri dari beban mati dan beban hidup bangunan.

1. Beban Mati

Beban mati menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987 adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung. Tabel berat sendiri dan komponen gedung dapat dilihat di Lampiran 1.

2. Beban hidup

Beban hidup menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987 adalah semua beban yang terjadi akibat beban penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun tekanan jatuh butiran air. Beban hidup dapat menimbulkan lendutan pada struktur , sehingga harus dipertimbangkan menurut peraturan yang berlaku agar struktur tetap aman dan nyaman untuk digunakan. Beban yang disebabkan oleh isi benda-benda di dalam atau di atas suatu bangunan disebut beban penghunian (*occupancy load*). Beban tersebut mencakup beban peluang untuk berat manusia, perabot partisi yang dapat dipindahkan, lemari besi, buku dan sebagainya. Tabel berat hidup pada gedung dapat di lihat pada Lampiran 2.

3.4.2 Beban Lateral

Beban lateral adalah beban horizontal yang terjadi pada bangunan seperti beban gempa, beban angin dan lain-lain. Pada bangunan dengan tingkat yang semakin tinggi maka pengaruh beban lateral akan semakin besar. Beban lateral diantaranya adalah beban angin dan beban beban gempa.

A. Beban Gempa

Gempa bumi terjadi karena adanya kerusakan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba yang umumnya diikuti dengan patahan/sesar (*fault*). Timbulnya patahan atau sesar tersebut akibat adanya gerakan plat-plat tektonik kerak bumi yang saling bertumbukkan, bergeser atau saling menyusup satu dengan yang lain (subdaksi). Setelah terjadi patahan pada peristiwa gempa bumi, maka energi yang selama ini terakumulasi kemudian dipancarkan ke segala arah. Energi gelombang akibat gempa akan melewati massa batuan/tanah yang mempunyai kondisi geologis yang berbeda-beda antara tempat yang satu dengan yang lain. Oleh karena itu, rekaman gempa percepatan tanah akibat gempa di beberapa tanah akan berbeda-beda walaupun yang dicatat adalah gempa yang sama. Menurut Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987 yang dimaksud beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh deri gerakan tanah akibat gempa itu. Meskipun demikian beban yang sebenarnya adalah beban dinamik yang sifatnya beban berubah-ubah menurut waktu dan hanya pada rentang waktu tertentu.

1. Beban Gempa Statik Ekuivalen

Menurut Setyarno I. (2012), beban gempa statik ekuivalen adalah beban gempa yang telah disederhanakan menjadi beban horizontal yang bekerja pada setiap massa. Beban gempa yang sesungguhnya berasal dari gerakan atau percepatan tanah dasar bangunan yang kemudian menjalar pada elemen-elemen gedung seperti kolom dan balok. Dengan metode statik ekuivalen tanah dasar dianggap tetap (tidak bergetar) dan beban gempa diekuivalenkan menjadi beban lateral statik yang disebar pada elemen-elemen gedung (misal kolom atau lantai).

Menurut SNI 03-1726-2012, prosedur analisis yang digunakan pada bangunan yang memiliki 4 tingkat atau sama dengan atau kurang dari 19,8 meter adalah analisis statik ekuivalen.

2. Beban Gempa Dinamik

Beban gempa dinamik (beban dinamik) adalah beban (gempa) yang berubah-ubah menurut waktu (*time varying*), sehingga beban tersebut adalah fungsi dari waktu (Widodo, 2001). Menurut SNI 03-1726-2012, prosedur analisis yang digunakan pada bangunan yang melebihi 4 tingkat atau sama dengan atau lebih dari 19,8 meter adalah analisis dinamik.

B. Beban angin

Semakin tinggi dan luas bidang suatu bangunan, maka beban angin akan semakin besar pengaruhnya terhadap bangunan tersebut. Beban angin juga menjadi persoalan utama yang tidak bisa diabaikan dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi tidak hanya mengenai kekuatan struktur tetapi juga kenyamanan saat bangunan tersebut dihuni.

Menurut hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Oktoriyanto (2014) dengan objek bangunan Mataram City, beban angin yang terjadi di daerah Yogyakarta tidak berpengaruh besar terhadap respon struktur bangunan yang ditinjau, sehingga dalam tugas akhir ini beban angin diabaikan.

3.5 KOMBINASI BEBAN

Dengan mengacu pada kombinasi pembebanan SNI 03-1726-2012 (pasal 4.2.2) standar kombinasi beban sebagai berikut.

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L
3. 1,2 D + 1 (L atau 0,5 W)
4. 1,2 D + 1,0 W + L
5. 1,2 D + 1,0 E + L
6. 0,9 D + 1,0 W
7. 0,9 D + 1,0 E

dengan :

D = Beban mati diakibatkan oleh konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga dan peralatan layan tetap.

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain-lain.

E = Beban gempa.

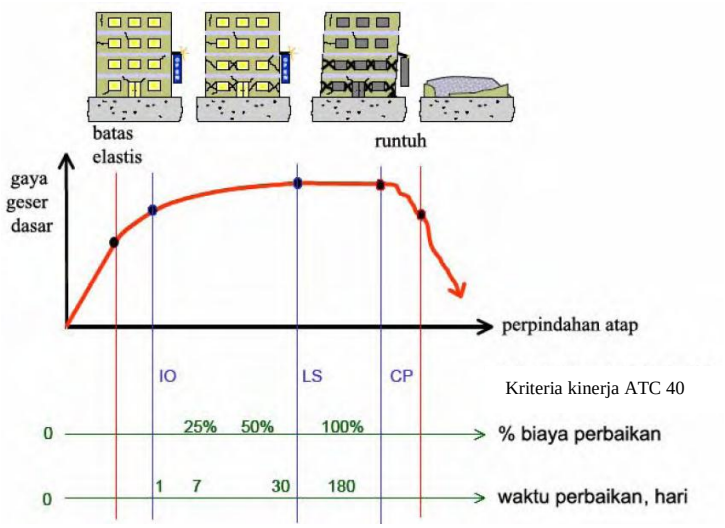
W = Beban angin.

3.6 ANALISIS STRUKTUR

Analisis struktur dapat dilakukan dengan cara metode analisis ekuivalen statik, analisis spektrum respon dan analisis riwayat waktu (*time history*). Dalam penelitian ini hanya dilakukan dengan metode ekuivalen statik nonlinier (*pushover*). Bangunan yang berada di derah yang intensitas gempanya tinggi harus didesain mampu menahan gempa. Konsep rekayasa gempa bisa digunakan *Performance Based Earthquake Desain* (PBSD) dan *Performance Based Earthquake Evaluation* (PBSE). *Performance Based Earthquake Evaluation* (PBSE) merupakan salah satu analisis untuk mengevaluasi kinerja struktur menggunakan statik non linier (*pushover*). Selanjutnya dari hasil evaluasi dapat diukur dari tingkatan kerusakan yang terjadi menurut kriteria kinerja. Kriteria kinerja struktur menurut ATC-40 adalah sebagai berikut

Tabel 3.10 Tingkatan level kinerja menurut ATC-40

Level kinerja	Keterangan
Immediate Occupancy (IO)	Bila gempa terjadi struktur mampu menahan gempa tersebut, struktur tidak mengalami kerusakan dan tidak mengalami kerusakan non struktural. Sehingga dapat langsung dipakai
Life Safety (LS)	Bila terjadi gempa, struktur mampu menahan gempa, dengan sedikit kerusakan struktural, manusia yang tinggal/ berada dalam bangunan tersebut terjaga keselamatannya dari gempa.
Collapse Pervention (CP)	Bila gempa terjadi, struktur mengalami kerusakan berat, tetapi bangunan belum runtuh



Gambar 3.4 Gambar iluatrasi lever kinerja struktur
(Sumber : Jurnal tentang evaluasi kinerja bangunan baja tahan gempa dengan SAP 2000, Dewobroto W.)

3.6.1 Analisis Statik Non Linier (*Pushover*)

Analisis statik non linier (*pushover*) merupakan prosedur analisa untuk mengatahui perilaku bangunan terhadap gempa. Analisa dilakukan dengan cara memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur yang ditingkatkan secara bertahap dengan suatu faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai dan biasanya titik tersebut terletak pada pusat massa atap. Analisa *pushover* menghasilkan kurva *pushover* yang ditunjukan pada Gambar 3.4 yang menggambarkan hubungan antara *base shear* (V) dengan perpindahan titik acuan pada atap (D). Kurva *pushover* dipengaruhi oleh distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai gaya dorong. Analisis *pushover* dilakukan dengan tujuan untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk mengetahui bagian struktur mana saja yang kritis.

Menurut Wiryanto Dewobroto (2010), analisis *pushover* dapat digunakan sebagai alat bantu perencanaan tahan gempa asalkan menyesuaikan keterbatasan yang ada, yaitu :

1. Analisis *pushover* masih berupa pendekatan, karena bagaimanapun beban gempa yang terjadi sifatnya bolak-balik melalui siklus tertentu, sedangkan dalam analisis pushover adalah beban statik satu arah (monotonik).

2. Pemilihan pola beban lateral yang digunakan adalah sangat penting.
3. Untuk membuat model analisa nonlinier akan lebih rumit dibandingkan model analisa linier. Model tersebut harus memperhitungkan karakteristik inelastik beban deformasi dari elemen-elemen yang penting dan efek P-Δ.

3.6.2 Tahapan Utama Analisis *Pushover*

Di dalam jurnal tentang evaluasi kinerja bangunan baja tahan gempa dengan SAP 2000 oleh Dewobroto dijelaskan tahapan utama dalam analisis *pushover* adalah :

1. Menentukan titik kontrol untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk membuat kurva *pushover*.
2. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekivalen denga distribusi dari gaya inertia, sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena itu, sifat gempa adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda-beda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oelh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada titik perpindahan. Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria awal yang sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relatif sangat banyak.

3.6.3 Analisis *Pushover* Dengan Metode *Capacity Spectrum* (ATC-40)

Metode *Capacity Spectrum* merupakan metode analisis *pushover* yang berpedoman pada ATC -40 (*Applied Technology Council*). Metode *capacity*

spectrum menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum, yaitu spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya dorong total (*base shear*) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan), dan spektrum *demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat gempa dengan periode ulang tertentu.

3.6.4 Kurva Kapsitas dan Spektrum Kapasitas

Kurva kapasitas didapatkan dengan cara memberikan gaya dorong secara perlahan terhadap struktur dan mencatat hasil hubungan gaya geser dasar dengan perpindahan kemudian dipetakan menjadi kurva yang disebut kurva kapasitas. Kurva kapasitas tersebut kemudian dikonversi ke dalam ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*). Konversi kurva kapasitas ke dalam ADRS melaui persamaan berikut :

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \tag{3.12}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{atap}}{PF_1 \phi_{atap,1}} \tag{3.13}$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \phi_{i1} \right) / g}{\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \phi_{i1}^2 \right) / g} \right] \tag{3.14}$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \phi_{i1} \right) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^{N} w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^{N} \left(w_i \phi_{i1}^2 \right) / g \right]} \tag{3.15}$$

Dengan :

PF_1 = faktor partisipasi ragam (*modal participation factor*) untuk ragam ke-1

α_1 = koefisien massa ragam untuk ragam ke-1

w_i/g = massa lantai i

ϕ_{i1} = perpindahan pada lantai i ragam ke-1

N = jumlah lantai

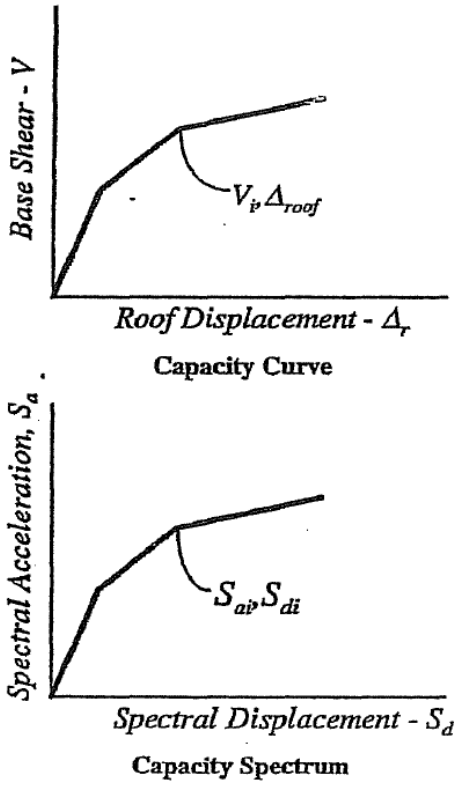
V = gaya geser dasar

W = berat struktur (akibat beban mati dan beban hidup tereduksi)

Δ_{atap} = perpindahan atap (yang digunakan pada kurva kapasitas)

S_a = spektrum percepatan

S_d = spektrum perpindahan



Gambar 3.5 Modifikasi *capacity curve* menjadi *capacity spectrum*
(Sumber : ATC-40 , 8-12)

3.6.5 *Demand Spectrum*

Respon spectrum elastic adalah kurva yang menunjukan hubungan antara koefisien gempa (C) dengan waktu getar struktur (T) yang nilainya ditentukan oleh nilai koefisen C_a (percepatan tanah puncak) dan C_v (nilai koefisien gempa

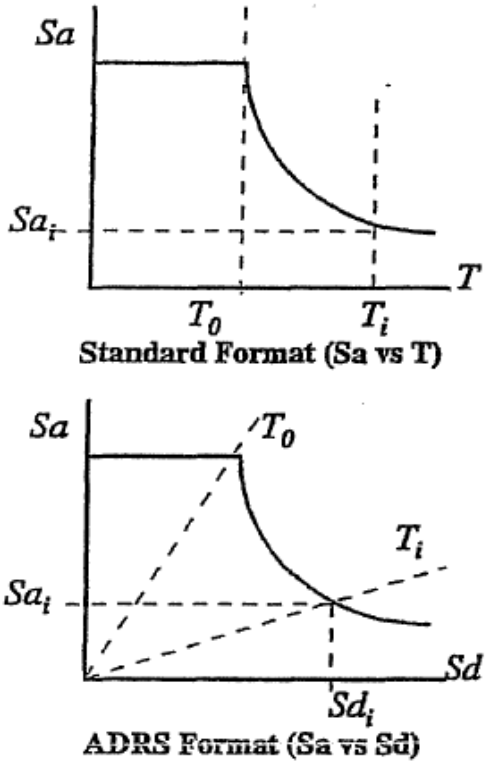
pada waktu periode struktur tanah adalah 1 detik) dimana nilai C_a dan C_v berbeda-beda tergantung jenis tanah.

Agar dapat dibandingkan dengan kurva kapasitas, maka respon spektrum perlu diubah dalam format ADRS (*Acceleration Displacement Response Spectrum*) melalui persamaan berikut ini:

$$S_d = S_a . T^2/4\pi^2 \quad (3.16)$$

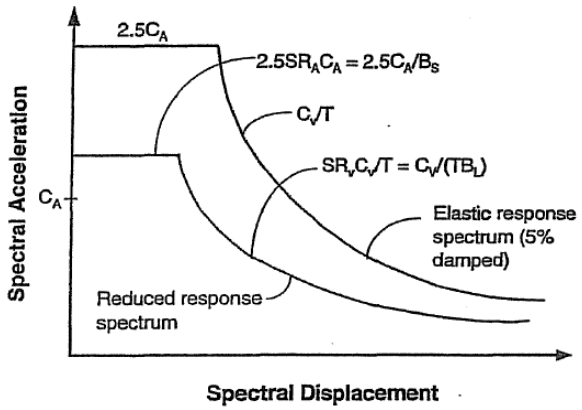
dengan

T = waktu getar alami bangunan



Gambar 3.6 Modifikasi respon spektrum format standar menjadi format ADRS (Sumber : ATC-40 , 8-12)

Respon spektrum dalam format ADRS memiliki tingkat redaman (*dumping*) sebesar 5%. Setelah diukur leleh, nilai redaman ini perlu direduksi dengan konstanta agar sesuai dengan *effective viscous* damping dari struktur.



Gambar 3.7 Reduksi respon spektrum
(Sumber : ATC-40 , 8-16)

Pada Gambar 1.1 dijelaskan bahwa untuk respon spektrum dengan percepatan yang konstran direduksi dengan SR_A sedangkan untuk respon spektrum dengan kecepatan konstan direduksi dengan SR_V, dengan persamaan sebagai berikut :

$$SR_A = \frac{3{,}21-0{,}68.\ln.(\beta eff)}{2{,}12}$$

$$= \frac{3{,}21-0{,}68.\ln.(\frac{63{,}7k.(aydpi-dyapi)}{api.dpi}+5)}{2{,}12} \quad (3.17)$$

$$SR_V = \frac{2{,}31-0{,}41ln.(\beta eff)}{1{,}65}$$

$$= \frac{2{,}31-0{,}41ln.\left(\frac{63{,}7k.(aydpi-dyapi)}{api.dpi}\right)+5}{1{,}65} \quad (3.18)$$

dengan

ay, dy = koordinat titik leleh efektif dari kurva kapasitas

api, dpi = koordinat percobaan titik performa

K = faktor modifikasi redaman

Beff = rasio redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis (dalam %)

Nilai K (faktor modifikasi redaman) diperoleh dari ATC-40 bab 8-17 pada Tabel 8.1, dimana terdapat β_0 (hysteric damping yang dipresentasikan setara dengan

redaman viscos) yang harus diketahui terlebih dulu berdasarkan persamaan (Chopra,1995) yang dijelaskan dalam ATC -40 persamaan 8-5a bab 8-14.

Dengan catatan bahwa SRA dan SRV harus lebih besar atau minimal sama dengan nilai yang terdapat pada Tabel 3.11.

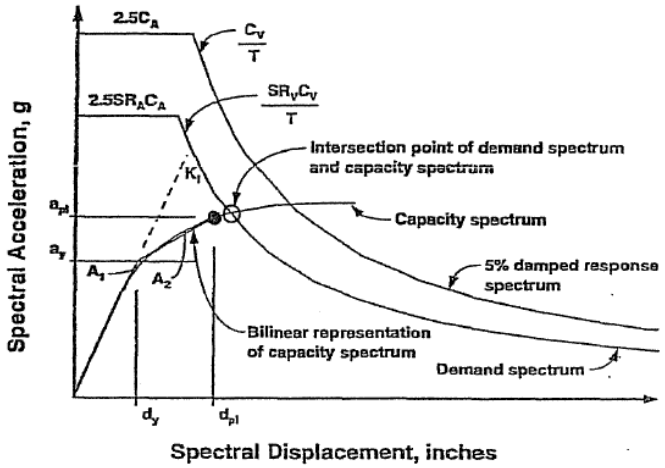
Tabel 3.11 *Minimum allowable* SR_A & SR_V *value*

Structural Behavior Type	SR_A	SR_V
Type A	0,33	0,50
Type B	0,44	0,56
Type C	0,56	0,67

Sedangkan untuk menentukan jenis/ type perilaku struktur (*Structural Behavior Type*) ditentukan berdasarkan pada ATC-40 pada tabel 8-4 bab 8-19.

3.6.6 *Performance Point*

Performance point adalah titik dimana *capacity curve* berpotongan dengan *response spectrum curve* seperti yang digunakan dalam *capacity spectrum method*. Pada *performance point* dapat diketahui periode bangunan dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis.



Gambar 3.8 Penentuan *performance point*
(Sumber : ATC-40 , gambar 8-28)

3.6.7 Batasan *Drift Ratio*

Drift ratio merupakan nilai yang digunakan untuk menentukan level kinerja struktur. Batasan *drift ratio* menurut ATC-40 disajikandalam Tabel 3.11 berikut ini.

Tabel 3.12 Batasan *Drift ratio* menurut ATC-40 untuk level kinerja struktur

Batasan simpangan antar tingkat	Level kinerja struktur			
	Immediate occupancy	*Damage control*	*Life safety*	*Structural stability*
Simpangan total maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0{,}33\frac{V_i}{P_i}$
Simpangan inelastis maksimum	0,005	0,005 – 0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Nilai *drift ratio* dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Maksimal } drift = \frac{\delta_t}{H} \tag{3.19}$$

$$\text{Maksimal inelastis } drift = \frac{\delta_t - \delta_1}{H} \tag{3.20}$$

Keterangan :

δ_t = *displacement* yang didapat pada *performance point*

δ_1 = *displacement* pelehan pertama

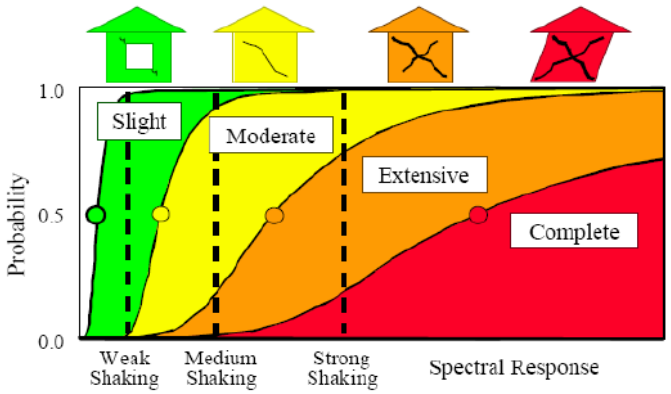
H = tinggi total bangunan

V_i = gaya geser total lantai i

P_i = gaya gravitasi total lantai i

3.7 Kurva Kerentanan (*Fragility Curve*) Menurut Metode HAZUS

Metode HAZUS telah banyak digunakan dalam memperkirakan kerusakan bangunan yang disebabkan oleh guncangan akibat gempa dengan merekomendasikan kurva kapasitas dan kurva kerapuhan untuk wilayah Amerika Serikat. Sedangkan untuk wilayah lain diperlukan analisis struktural pada bangunan untuk mendapatkan kurva kapasitas yang nantinya dipergunakan dalam membangun kurva kerapuhan seismik. Kurva kerentanan dengan metode HAZUS diilustrasikan pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Kurva kerentanan dengan metode HAZUS
(Sumber : HAZUS)

Damage State		Description
	Slight	Small plaster cracks at corners of door and window openings and wall-ceiling intersections; small cracks in masonry chimneys and masonry veneers. Small cracks are assumed to be visible with a maximum width of less than 1/8 inch (cracks wider than 1/8 inch are referred to as "large" cracks).
	Moderate	Large plaster or gypsum-board cracks at corners of door and window openings; small diagonal cracks across shear wall panels exhibited by small cracks in stucco and gypsum wall panels; large cracks in brick chimneys; toppling of tall masonry chimneys.
	Extensive	Large diagonal cracks across shear wall panels or large cracks at plywood joints; permanent lateral movement of floors and roof; toppling of most brick chimneys; cracks in foundations; splitting of wood sill plates and/or slippage of structure over foundations.
	Complete	Structure may have large permanent lateral displacement or be in imminent danger of collapse due to cripple wall failure or failure of the lateral load resisting system; some structures may slip and fall off the foundation; large foundation cracks. Three percent of the total area of buildings with Complete damage is expected to be collapsed, on average.

Gambar 3.10 Tingkat kerusakan dalam metode HAZUS
(Sumber : HAZUS)

3.7.1 Deskripsi Model Tipe Bangunan

Di dalam HAZUS dijelaskan 36 jenis tipe bangunan yang yang didasarkan pada FEMA, yaitu dijelaskan pada Tabel 3.12 di bawah ini:

Tabel 3.13 Model tipe bangunan

No	*Label*	*Description*	*Height*			
			Range		*Typical*	
			Name	*Stories*	*Stories*	*Ft*
1	W1	*Wood, Light Frame (≤ 5,000 sq. ft.)*		1-2	1	14
2	W2	*Wood, Commercial and Industrial (> 5,000 sq. ft.)*		All	2	24
3	S1L	*Steel Moment Frame*	*Low-Rise*	1-3	2	24
4	S1M		*Mid-Rise*	4-7	5	60
5	S1H		*High-Rise*	+8	13	156
6	S2L	*Steel Brace Frame*	*Low-Rise*			
7	S2M		*Mid-Rise*			
8	S2H		*High-Rise*			
9	S3	*Steel Light Frame*		All	1	15
10	S4L	*Steel Frame With Cast-in-Place Concrete Shear Wall*	*Low-Rise*	1-3	2	24
11	S4M		*Mid-Rise*	4-7	5	60
12	S4H		*High-Rise*	+8	13	156
13	S5L	*Steel Frame With Unreinforced Masonry Infill Wall*	*Low-Rise*	1-3	2	24
14	S5M		*Mid-Rise*	4-7	5	60
15	S5H		*High-Rise*	+8	13	156
16	C1L	*Concrete Moment Frame*	*Low-Rise*	1-3	2	20
17	C1M		*Mid-Rise*	4-7	5	50
18	C1H		*High-Rise*	+8	12	120
19	C2L	*Concrete Shear Wall*	*Low-Rise*	1-3	2	20
20	C2M	*Concrete Shear Wall*	*Mid-Rise*			
21	C2H		*High-Rise*			
22	C3L	*Concrete Frame With Unreinforced Masonry Infill Walls*	*Low-Rise*	1-3	2	20
23	C3M		*Mid-Rise*	4-7	5	50
24	C3H		*High-Rise*	+8	12	120
25	PC1	*Precast Concrete Tilt-Up Walls*		All	1	15
26	PC2L	*Precast Concrete Frame With Concrete Shear Walls*	*Low-Rise*	1-3	2	20
27	PC2M		*Mid-Rise*	4-7	5	50
28	PC2H		*High-Rise*	+8	12	120
29	RM1L	*Reinforced Masonry Bearing Walls With Wood or Metal Deck Diaphragms*	*Low-Rise*	1-3	2	20
30	RM1M		*Mid-Rise*	4+	5	50
31	RM2L	*Reinforced Masonry Bearing Walls With Precast Concrete Diaphragms*	*Low-Rise*	1-3	2	20
32	RM2M		*Mid-Rise*	4-7	5	50
33	RM2H		*High-Rise*	+8	12	120
34	URML	*Unreinforced Masonry Bearing Walls*	*Low-Rise*	1-2	1	15
35	URMM		*Mid-Rise*	3+	3	35
36	MH	*Mobile Homes*		*All*	1	10

3.7.2 *Capacity Curve*

Untuk membuat *capacity curve* ini digunakan parameter dari HAZUS yaitu pada tabel *Code Building Capacity Curve*. Pada *Code Building Capacity Curve* terdapat 3 macam tabel, yaitu *high code seismic design level*, *moderate code seismic design level* dan *low code seismic design level*, digunakan sesuai dengan tipe resiko bangunan yang ditinjau. Berikut adalah tabel *Code Building Capacity Curve.*

Tabel 3.14 *Code building capacity curve-high- code seismic design level*

No	*Building Type*	*Yield Capacity Point*		*Ultimate Capacity Point*	
		D_y (in.)	A_y (g)	D_u (in.)	A_u (g)
1	W1	0,48	0,40	11,51	1,20
2	W2	0,63	0,4	12,53	1,00
3	S1L	0,61	0,25	14,67	0,749
4	S1M	1,78	0,156	28,4	0,468
5	S1H	4,66	0,098	55,88	0,293
6	S2L	0,63	0,40	10,02	0,80
7	S2M	2,43	0,333	25,88	0,667
8	S2H	7,75	0,254	61,97	0,508
9	S3	0,63	0,40	10,02	0,80
10	S4L	0,19	0.16	2,59	0,36
11	S4M	0,55	0,133	4,91	0,30
12	S4H	1,74	0,102	11,76	0,228
13	S5L				
14	S5M				
15	S5H				
16	C1L	0,20	0,125	3,52	0,375
17	C1M	0,58	0,104	6,91	0,312
18	C1H	1,01	0,049	9,05	0,147
19	C2L	0,24	0,20	3,60	0,50
20	C2M	0,52	1,67	5,19	0,417
21	C2H	1,47	1,27	11,02	0,317
22	C3L				
23	C3M				
24	C3H				
25	PC1	0,36	0,30	4,32	0,60
26	PC2L	0,24	0,20	2,88	0,40
27	PC2M	0,52	1,67	4,15	0,333
28	PC2H	1,47	1,27	8,82	0,254
29	RM1L	0,32	0,267	3,84	0,533
30	RM1M	0,69	0,222	5,54	0,444
31	RM2L	0,32	0,267	3,84	0,533
32	RM2M	0,69	0,222	5,54	0,444
33	RM2H	0,96	0,169	11,76	0,338
34	URML				
35	URMM				
36	MH	0,18	0,15	2,16	0,30

Tabel 3.15 *Code building capacity curve-moderate- code seismic design level*

No	*Building Type*	*Yield Capacity Point*		*Ultimate Capacity Point*	
		D_y (in.)	A_y (g)	D_u (in.)	A_u (g)
1	W1	0,36	0,30	6,48	0,90
2	W2	0,31	0,20	4,7	0,50
3	S1L	0,31	0,125	5,5	0,375
4	S1M	0,89	0,078	10,65	0,234
5	S1H	2,33	0,049	20,96	0,147
6	S2L	0,31	0,20	3,76	0,40
7	S2M	1,21	0,167	9,70	0,333
8	S2H	3,87	0,127	23,24	0,254
9	S3	0,31	0,2	3,76	0,40
10	S4L	0,19	0.16	2,59	0,36
11	S4M	0,55	0,133	4,91	0,30
12	S4H	1,74	0,102	11,76	0,228
13	S5L				
14	S5M				
15	S5H				
16	C1L	0,20	0,125	3,52	0,375
17	C1M	0,58	0,104	6,91	0,312
18	C1H	1,01	0,049	9,05	0,147
19	C2L	0,24	0,20	3,60	0,50
20	C2M	0,52	1,67	5,19	0,417
21	C2H	1,47	1,27	11,02	0,317
22	C3L				
23	C3M				
24	C3H				
25	PC1	0,36	0,30	4,32	0,60
26	PC2L	0,24	0,20	2,88	0,40
27	PC2M	0,52	1,67	4,15	0,333
28	PC2H	1,47	1,27	8,82	0,254
29	RM1L	0,32	0,267	3,84	0,533
30	RM1M	0,69	0,222	5,54	0,444
31	RM2L	0,32	0,267	3,84	0,533
32	RM2M	0,69	0,222	5,54	0,444
33	RM2H	0,96	0,169	11,76	0,338
34	URML				
35	URMM				
36	MH	0,18	0,15	2,16	0,30

Tabel 3.16 *Code building capacity curve-low- code seismic design level*

No	*Building Type*	*Yield Capacity Point*		*Ultimate Capacity Point*	
		D_y (in.)	A_y (g)	D_u (in.)	A_u (g)
1	W1	0,24	0,20	4,32	0,60
2	W2	0,16	0,10	2,35	0,25
3	S1L	0,15	0,062	2,29	0,187
4	S1M	0,44	0,039	4,44	0,117
5	S1H	1,16	0,024	8,73	0,073
6	S2L	0,16	0,10	1,57	0,20
7	S2M	0,61	0,083	4,04	1,67
8	S2H	1,94	0,063	9,68	1,27
9	S3	0,16	0,10	1,57	0,20
10	S4L	0,10	0,080	1,08	0,18
11	S4M	0,27	0,067	2,05	0,15
12	S4H	0,87	0,051	4,90	0,114
13	S5L	0,12	0,10	1,20	0,20
14	S5M	0,34	0,083	2,27	1,67
15	S5H	1,09	0,063	5,45	1,27
16	C1L	0,10	0,062	1,47	1,87
17	C1M	0,29	0,052	2,88	1,56
18	C1H	0,50	0,024	3,77	0,073
19	C2L	0,12	0,10	1,50	0,250
20	C2M	0,26	0,083	2,16	0,208
21	C2H	0,74	0,063	4,59	0,159
22	C3L	0,12	0,10	1,35	0,225
23	C3M	0,26	0,083	1,95	0,188
24	C3H	0,74	0,063	4,13	0,143
25	PC1	0,18	0,15	1,80	0,30
26	PC2L	0,12	0,10	1,2	0,20
27	PC2M	0,26	0,083	1,73	1,67
28	PC2H	0,74	0,063	3,67	1,27
29	RM1L	0,16	0,133	1,6	0,267
30	RM1M	0,35	0,111	2,31	0,222
31	RM2L	0,16	0,133	1,6	0,267
32	RM2M	0,35	0,111	2,31	0,222
33	RM2H	0,98	0,085	4,90	0,169
34	URML	0,24	0,20	2,40	0,400
35	URMM	0,27	0,111	1,81	0,222
36	MH	0,18	0,15	2,16	0,30

3.7.3 *Fragility Curve*

Untuk membuat *fragility curve* ini digunakan parameter dari HAZUS yaitu pada tabel *Structural Fragility Curve Parameters*. Sama halnya dengan *Code Building Capacity Curve*, *Structural Fragility Curve Parameters* juga terdapat 3 macam tabel, yaitu *high code seismic design level*, *moderate code seismic design level* dan *low code seismic design level*, digunakan sesuai dengan tipe resiko bangunan yang ditinjau. Berikut adalah Gambar tabel *Structural Fragility Curve Parameters* menurut HAZUS (Tabel 5.9a-c):

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State				Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)						Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
W1	168	126	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000	0.50	0.80	1.51	0.81	5.04	0.85	12.60	0.97
W2	288	216	0.0040	0.0120	0.0400	0.1000	0.86	0.81	2.59	0.88	8.64	0.90	21.60	0.83
S1L	288	216	0.0060	0.0120	0.0300	0.0800	1.30	0.80	2.59	0.76	6.48	0.69	17.28	0.72
S1M	720	540	0.0040	0.0080	0.0200	0.0533	2.16	0.65	4.32	0.66	10.80	0.67	28.80	0.74
S1H	1872	1123	0.0030	0.0060	0.0150	0.0400	3.37	0.64	6.74	0.64	16.85	0.65	44.93	0.67
S2L	288	216	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800	1.08	0.81	2.16	0.89	6.48	0.94	17.28	0.83
S2M	720	540	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533	1.80	0.67	3.60	0.67	10.80	0.68	28.80	0.79
S2H	1872	1123	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400	2.81	0.63	5.62	0.63	16.85	0.64	44.93	0.71
S3	180	135	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.54	0.81	1.08	0.82	3.24	0.91	9.45	0.90
S4L	288	216	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.86	0.89	1.73	0.89	5.18	0.98	15.12	0.87
S4M	720	540	0.0027	0.0053	0.0160	0.0467	1.44	0.77	2.88	0.72	8.64	0.70	25.20	0.89
S4H	1872	1123	0.0020	0.0040	0.0120	0.0350	2.25	0.64	4.49	0.66	13.48	0.69	39.31	0.77
S5L														
S5M														
S5H														
C1L	240	180	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800	0.90	0.81	1.80	0.84	5.40	0.86	14.40	0.81
C1M	600	450	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533	1.50	0.68	3.00	0.67	9.00	0.68	24.00	0.81
C1H	1440	864	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400	2.16	0.66	4.32	0.64	12.96	0.67	34.56	0.78
C2L	240	180	0.0040	0.0100	0.0300	0.0800	0.72	0.81	1.80	0.84	5.40	0.93	14.40	0.92
C2M	600	450	0.0027	0.0067	0.0200	0.0533	1.20	0.74	3.00	0.77	9.00	0.68	24.00	0.77
C2H	1440	864	0.0020	0.0050	0.0150	0.0400	1.73	0.68	4.32	0.65	12.96	0.66	34.56	0.75
C3L														
C3M														
C3H														
PC1	180	135	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.54	0.76	1.08	0.86	3.24	0.88	9.45	0.99
PC2L	240	180	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.72	0.84	1.44	0.88	4.32	0.98	12.60	0.94
PC2M	600	450	0.0027	0.0053	0.0160	0.0467	1.20	0.77	2.40	0.81	7.20	0.70	21.00	0.82
PC2H	1440	864	0.0020	0.0040	0.0120	0.0350	1.73	0.64	3.46	0.66	10.37	0.68	30.24	0.81
RM1L	240	180	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.72	0.84	1.44	0.86	4.32	0.92	12.60	1.01
RM1M	600	450	0.0027	0.0053	0.0160	0.0467	1.20	0.71	2.40	0.81	7.20	0.76	21.00	0.75
RM2L	240	180	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.72	0.80	1.44	0.81	4.32	0.91	12.60	0.98
RM2M	600	450	0.0027	0.0053	0.0160	0.0467	1.20	0.71	2.40	0.79	7.20	0.70	21.00	0.73
RM2H	1440	864	0.0020	0.0040	0.0120	0.0350	1.73	0.66	3.46	0.65	10.37	0.66	30.24	0.72
URML														
URMM														
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.48	0.91	0.96	1.00	2.88	1.03	8.40	0.92

Gambar 3.11 *Table structural fragility curve parameters- high code seismic design level*
(Sumber : HAZUS)

Building Properties			Interstory Drift at				Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State				Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.50	0.84	1.25	0.86	3.86	0.89	9.45	1.04
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.86	0.89	2.14	0.95	6.62	0.95	16.20	0.92
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600	1.30	0.80	2.24	0.75	5.08	0.74	12.96	0.88
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400	2.16	0.65	3.74	0.68	8.46	0.69	21.60	0.87
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300	3.37	0.64	5.83	0.64	13.21	0.71	33.70	0.83
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600	1.08	0.93	1.87	0.92	5.04	0.93	12.96	0.93
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400	1.80	0.70	3.12	0.69	8.40	0.69	21.60	0.89
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300	2.81	0.66	4.87	0.64	13.10	0.69	33.70	0.80
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525	0.54	0.88	0.94	0.92	2.52	0.97	7.09	0.89
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.86	0.96	1.50	1.00	4.04	1.03	11.34	0.92
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.44	0.75	2.50	0.72	6.73	0.72	18.90	0.94
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262	2.25	0.66	3.90	0.67	10.50	0.70	29.48	0.90
S5L S5M S5H														
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600	0.90	0.89	1.56	0.90	4.20	0.90	10.80	0.89
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400	1.50	0.70	2.60	0.70	7.00	0.70	18.00	0.89
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300	2.16	0.66	3.74	0.66	10.08	0.76	25.92	0.91
C2L	240	180	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600	0.72	0.91	1.52	0.97	4.17	1.03	10.80	0.87
C2M	600	450	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400	1.20	0.81	2.53	0.77	6.95	0.73	18.00	0.91
C2H	1440	864	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300	1.73	0.66	3.64	0.68	10.00	0.70	25.92	0.87
C3L C3M C3H														
PC1	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525	0.54	0.89	0.94	0.92	2.52	0.97	7.09	1.04
PC2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.96	1.25	1.00	3.37	1.03	9.45	0.88
PC2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.82	2.08	0.79	5.61	0.75	15.75	0.93
PC2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263	1.73	0.68	3.00	0.69	8.08	0.77	22.68	0.89
RM1L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.96	1.25	0.99	3.37	1.05	9.45	0.94
RM1M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.81	2.08	0.82	5.61	0.80	15.75	0.89
RM2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525	0.72	0.91	1.25	0.96	3.37	1.02	9.45	0.93
RM2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350	1.20	0.81	2.08	0.80	5.61	0.75	15.75	0.88
RM2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263	1.73	0.67	3.00	0.69	8.08	0.70	22.68	0.86
URML URMM														
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.48	0.91	0.96	1.00	2.88	1.03	8.40	0.92

Gambar 3.12 *Table structural fragility curve parameters- moderate code seismic design level*
(Sumber : HAZUS)

Building Properties			Interstory Drift at				Spectral Displacement (inches)							
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State				Slight		Moderate		Extensive		Complete	
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.50	0.93	1.25	0.98	3.86	1.02	9.45	0.99
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750	0.86	0.97	2.14	0.90	6.62	0.89	16.20	0.99
S1L	288	216	0.0060	0.0096	0.0203	0.0500	1.30	0.77	2.07	0.78	4.38	0.78	10.80	0.96
S1M	720	540	0.0040	0.0064	0.0135	0.0333	2.16	0.68	3.44	0.78	7.30	0.85	18.00	0.98
S1H	1872	1123	0.0030	0.0048	0.0101	0.0250	3.37	0.66	5.37	0.70	11.38	0.76	28.08	0.92
S2L	288	216	0.0050	0.0080	0.0200	0.0500	1.08	0.96	1.73	0.89	4.32	0.86	10.80	0.98
S2M	720	540	0.0033	0.0053	0.0133	0.0333	1.80	0.70	2.88	0.73	7.20	0.85	18.00	0.98
S2H	1872	1123	0.0025	0.0040	0.0100	0.0250	2.81	0.66	4.49	0.67	11.23	0.74	28.08	0.92
S3	180	135	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.54	0.98	0.87	0.99	2.17	1.01	5.91	0.90
S4L	288	216	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.86	1.05	1.38	0.98	3.47	0.89	9.45	0.98
S4M	720	540	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.44	0.76	2.31	0.78	5.78	0.90	15.75	0.99
S4H	1872	1123	0.0020	0.0032	0.0080	0.0219	2.25	0.70	3.60	0.75	9.01	0.90	24.57	0.98
S5L	288	216	0.0030	0.0060	0.0150	0.0350	0.65	1.11	1.30	1.04	3.24	0.99	7.56	0.95
S5M	720	540	0.0020	0.0040	0.0100	0.0233	1.08	0.77	2.16	0.79	5.40	0.87	12.60	0.98
S5H	1872	1123	0.0015	0.0030	0.0075	0.0175	1.68	0.70	3.37	0.73	8.42	0.89	19.66	0.97
C1L	240	180	0.0050	0.0080	0.0200	0.0500	0.90	0.95	1.44	0.91	3.60	0.85	9.00	0.97
C1M	600	450	0.0033	0.0053	0.0133	0.0333	1.50	0.70	2.40	0.74	6.00	0.86	15.00	0.98
C1H	1440	864	0.0025	0.0040	0.0100	0.0250	2.16	0.70	3.46	0.81	8.64	0.89	21.60	0.98
C2L	240	180	0.0040	0.0076	0.0197	0.0500	0.72	1.04	1.37	1.02	3.55	0.99	9.00	0.95
C2M	600	450	0.0027	0.0051	0.0132	0.0333	1.20	0.82	2.29	0.81	5.92	0.81	15.00	0.99
C2H	1440	864	0.0020	0.0038	0.0099	0.0250	1.73	0.68	3.30	0.73	8.53	0.84	21.60	0.95
C3L	240	180	0.0030	0.0060	0.0150	0.0350	0.54	1.09	1.08	1.07	2.70	1.08	6.30	0.91
C3M	600	450	0.0020	0.0040	0.0100	0.0233	0.90	0.85	1.80	0.83	4.50	0.79	10.50	0.98
C3H	1440	864	0.0015	0.0030	0.0075	0.0175	1.30	0.71	2.59	0.74	6.48	0.90	15.12	0.97
PC1	180	135	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.54	1.00	0.87	1.05	2.17	1.12	5.91	0.89
PC2L	240	180	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.72	1.08	1.15	1.03	2.89	0.98	7.88	0.96
PC2M	600	450	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.20	0.81	1.92	0.79	4.81	0.84	13.12	0.99
PC2H	1440	864	0.0020	0.0032	0.0080	0.0219	1.73	0.71	2.77	0.75	6.93	0.89	18.90	0.98
RM1L	240	180	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.72	1.11	1.15	1.10	2.89	1.10	7.88	0.92
RM1M	600	450	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.20	0.87	1.92	0.84	4.81	0.79	13.12	0.96
RM2L	240	180	0.0040	0.0064	0.0161	0.0438	0.72	1.05	1.15	1.07	2.89	1.09	7.88	0.91
RM2M	600	450	0.0027	0.0043	0.0107	0.0292	1.20	0.84	1.92	0.81	4.81	0.77	13.12	0.96
RM2H	1440	864	0.0020	0.0032	0.0080	0.0219	1.73	0.69	2.77	0.72	6.93	0.87	18.90	0.96
URML	180	135	0.0030	0.0060	0.0150	0.0350	0.41	0.99	0.81	1.05	2.03	1.10	4.73	1.08
URMM	420	315	0.0020	0.0040	0.0100	0.0233	0.63	0.91	1.26	0.92	3.15	0.87	7.35	0.91
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700	0.48	0.91	0.96	1.00	2.88	1.03	8.40	0.92

Gambar 3.13 *Table structural fragility curve parameters- low code seismic design level* (Sumber : HAZUS)

Diperoleh dari tabel diatas, kemudian dapat dihitung probabilitas kejadian (*probability of being in or exceeding a damage state*) dengan persamaan berikut.

$$P[ds|Sd] = \Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln\left(\frac{Sd}{\bar{S}d, ds}\right)\right] \quad (3.19)$$

dengan

$P[ds|Sd]$ = *probability of being in or exceeding a damage state*

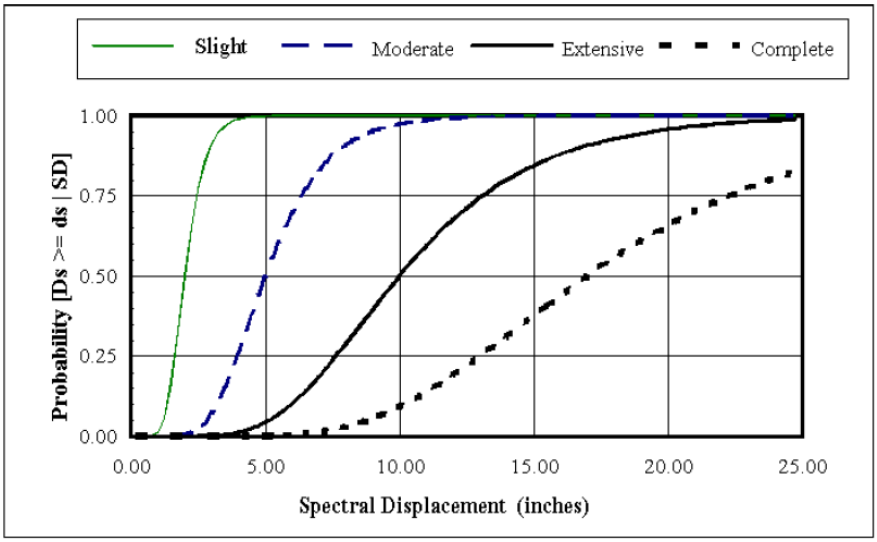
Sd = *given spectral displacement (inches)*

$\bar{S}d, ds$ = *the median value of spectral displacement at which the building reaches the treshold of damage state*

β_{ds} = *the standart deviation of the natural logarithm of spectral displacement for damage state*

Φ = *standart normal cumulatif distribution function*

Dari perhitungan (*probability of being in or exceeding a damage state*) didapatkan nilai *cumulative probability* yang kemudian digunakan untuk membuat *fragility curve* (kurva kerentanan). Gambar 3.14 adalah contoh *fragility curve* dari *HAZUS.*



Gambar 3.14 *Fragility curve*
(Sumber : *HAZUS*)

3.8 Persamaan Atenuasi

Persamaan atenuasi adalah suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas (i) gerakan tanah setempat , *magnitude* (M) dan jarak (R) dari sumber titik dalam daerah sumber gempa. Persamaan atenuasi digunakan untuk mencari nilai S_a dalam *response curve* dalam proses menentukan kurva kerentanan bangunan. Penentuan persamaan atenuasi didasarkan pada karakteristik atenuasi yang sesuai dengan gempa yang ditinjau yaitu gempa Jogja tahun 2006. Gempa Jogja menurut data penelitian studi peta gempa tahun 2010 memiliki nilai M sebesar 6,3 Mw. Dari data tersebut, persamaan atenuasi yang cukup sesuai dengan karakteristik gempa Jogja adalah persamaan atenuasi menurut Joyner – Boore – Fumal tahun 1997 yang menyinggung besarnya *magnitude* gempa antara 5,5 Mw – 7,5 Mw.

Persamaan atenuasi menurut Joyner-Boore-Fumal tahun 1997 adalah sebagai berikut :

$$Ln[Y] = b1 + b2(M-6) + b3(M-6)^2 + b5.Ln(r) + bv.Ln(VS/VA) \quad (3.20)$$

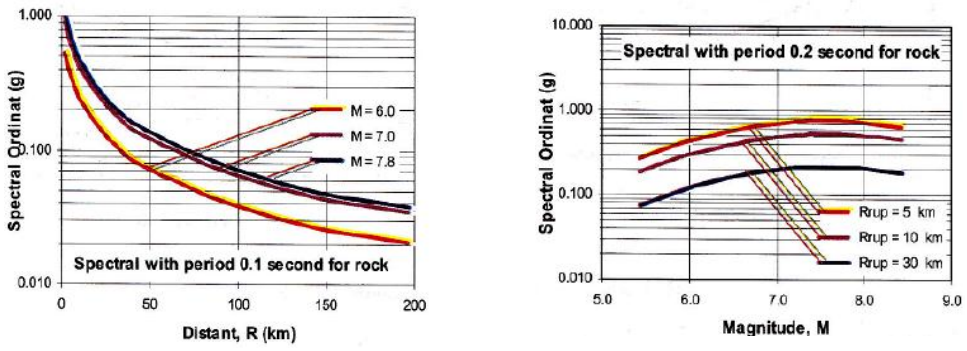
Dengan :

$$R = \sqrt{rjb^2 + h^2} \quad (3.21)$$

h = kedalaman (km)

rjb = jarak episenter (km) < 80 km

VS = kecepatan gelombang dasar permukaan (m/s)



Gambar 3.15 Kurva fungsi atenuasi Joyner – Boore – Fumal tahun 1997.

(Sumber : Lecture 6 atenuasi, spectra percepatan & respon spektrum, Muntafi Y.)

Dari persamaan atenuasi Joyner-Boore-Fumal tahun 1997 ditentukan koefisien atenuasi Joyner – Boore – Fumal 1997 yang ditunjukan pada Gambar 3.16.

Period (s)	b1ss	b1rs	b1all	b2	b3	b5	bv	VA	h	s
0.00	-0.313	-0.117	-0.242	0.527	0.000	-0.778	-0.371	1396.00	5.57	0.520
0.10	1.006	1.087	1.059	0.753	-0.226	-0.934	-0.212	1112.00	6.27	0.479
0.20	0.999	1.170	1.089	0.711	-0.207	-0.924	-0.292	2118.00	7.02	0.502
0.30	0.598	0.803	0.700	0.769	-0.161	-0.893	-0.401	2133.00	5.94	0.522
0.40	0.212	0.423	0.311	0.831	-0.120	-0.867	-0.487	1954.00	4.91	0.538
0.50	-0.122	0.087	-0.025	0.884	-0.090	-0.846	-0.553	1782.00	4.13	0.556
0.60	-0.401	-0.203	-0.314	0.928	-0.069	-0.830	-0.602	1644.00	3.57	0.569
0.75	-0.737	-0.562	-0.661	0.979	-0.046	-0.813	-0.653	1507.00	3.07	0.587
1.00	-1.133	-1.009	-1.080	1.036	-0.032	-0.798	-0.698	1406.00	2.90	0.613
1.50	-1.552	-1.538	-1.550	1.085	-0.044	-0.796	-0.704	1479.00	3.92	0.649
2.00	-1.669	-1.801	-1.743	1.085	-0.085	-0.812	-0.655	1795.00	5.85	0.672

Gambar 3.16 Nilai-nilai koefisien atenuasi Joyner – Boore – Fumal 1997.

b_{1ss} digunakan untuk gempa *strike – slip*, b_{1rs} digunakan untuk gempa *reverse – slip* dan b_{1all} digunakan untuk gempa yang lain. Data gempa Jogja tahun 2006 menunjukan bahwa mekanisme gempa adalah *shallow crustal earthquake – strike slip*, sehingga koefisien gempa Jogja menggunakan $b_{1ss.}$

3.8.1 Menghitung *Spectral Displacement* (SD) Dari Data *Spectral Acceleration* (SA)

Setelah nilai *spectral acceleration* (SA) diketahui melaui persamaan atenuasi Joyner – Boore – Fumal tahun 1997, selanjutnya adalah menghitung nilai *spectral displacement* yang nantinya akan digunakan untuk membuat *respons curve* dimana SD sebagai sumbu X dan SA sebagai sumbu Y.

Persamaan untuk menghitung *spectral Displacement* (SD) adalah sebagai berikut :

$$SD = 9{,}8 \times SA \times T^2 \qquad (3.22)$$

Dengan :

SA = *Spectral Acceleration* (inch)

SD = *spectral displacement* (inch)

T = *Time period* (s)

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 WAKTU DAN LOKASI PENGAMATAN

Dalam penelitian ini waktu tidak berpengaruh dalam pengamatan karena penelitian ini bersifat analisis struktur (bukan observasi) yang tidak membutuhkan pengambilan data yang berubungan dengan waktu, hanya saja waktu berhubungan dengan jadwal penelitian. Lokasi dalam pengamatan ini direncanakan di Yogyakarta karena model struktur dalam penelitian ini diambil dari salah satu gedung perkuliahan yang berlokasi Yogyakarta.

4.2 PENGAMBILAN DATA

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data yang berhubungan dengan gedung yang diteliti di antaranya denah struktur bangunan, mutu bahan/material, alat-alat yang digunakan,dan beban-beban yang bekerja pada gedung yang diteliti.

4.3 DATA STRUKTUR

1. Mutu beton

   a. K300 = 0,835 . 30 =25,05 MPa

   b. Berat jenis beton = 2400 kg/m^3

   c. Modulus elastisitas beton (E_c)

   = 4700. $\sqrt{f'c}$ = 4700.$\sqrt{25,05}$ = 23523 MPa

2. Mutu baja tulangan

   Baja tulangan dengan diameter ≥ 10 mm dipakai jenis baja tulangan berulir (*deformed bar*) dengan kekuatan leleh (*yield strength*) 320 MPa. Sedangkan untuk baja tulangan dengan diameter < 10 mm dipakai jenis baja tulangan polos dengan kekuatan leleh (*yield strength*) 240 MPa.

a. Tulangan utama (D >10 mm)

f_y = 320 MPa

b. Tulangan geser

f_y = 320 MPa

3. Dimensi elemen struktur

a. Pelat

Tabel 4.1 Tipe dan tebal pelat

No	Tipe Pelat	Tebal (mm)
1	Pelat lantai	120
2	Pelat tangga	120
3	Pelat bordes	120

c. Balok

Tabel 4.2 Tipe dan dimensi balok

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	B1	300/450
2	B2	250/350
3	B3	250/400
4	Sloof	300/400
5	Ring Balk	250/450

d. Kolom

Tabel 4.3 Tipe dan dimensi kolom

Kolom	Dimensi (mm)
K1	300/500
Kp	120/120

4.4 PROGRAM *SOFTWARE*

Beberapa alat digunakan dalam penelitian ini dengan maksud mempermudah proses penelitian, alat tersebut berupa perangkat komputer dan *software*:

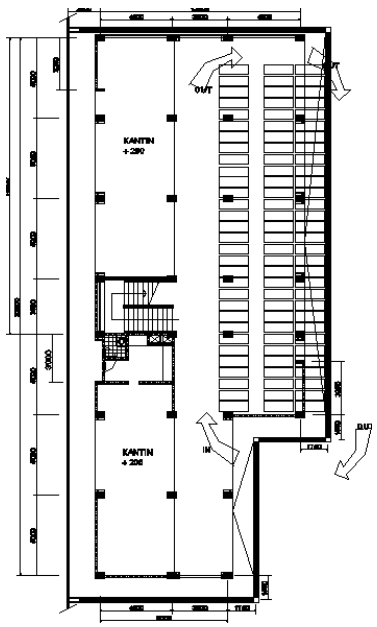
1. Program ETABS 9.7.2 dan SAP 2000 v.11 yang berfungsi sebagai alat pemodelan struktur bangunan yang ditinjau guna meramalkan respon struktur bangunan akibat beban-beban yang terjadi sehingga dapat diketahui gaya-gaya yang terjadi
2. Microsoft Excel 2010 yang digunakan untuk menganalisis data.
3. AutoCad 2007 yang digunakan untuk menggambar denah bangunan, tampak gedung dan lain-lain.

4.5 VARIABEL

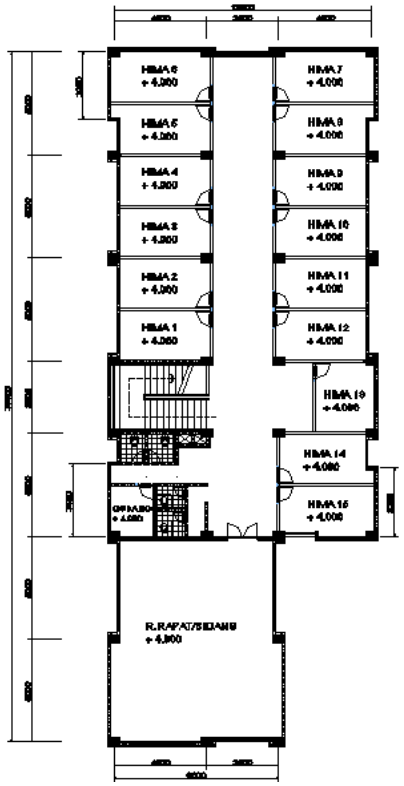
Variabel dalam penelitian ini adalah analisis *pushover*, perpindahan (*displecement*), rasio simpangan antar tingkat (*drift ratio*) , gaya geser dasar (*base shear*), kurva kapasitas, kurva spektrum respon, dan kurva kerentanan.

4.6 MODEL STRUKTUR BANGUNAN

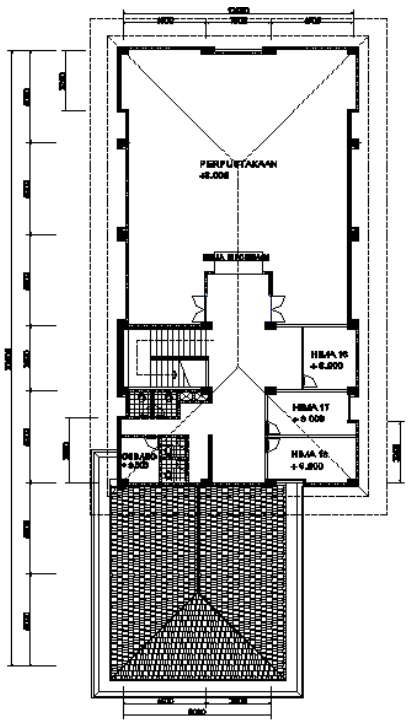
Model struktur bangunan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah gedung berlantai 3 dengan tinggi total bangunan 17,076 m dengan tinggi lantai 1 adalah 4,0 m, lantai 1 (dua) 4,0 m, dan lantai 3 (tiga) 4,115 m. Gambar bangunan yang ditinjau adalah sebagai berikut.



Gambar 4.1 Denah lantai 1



Gambar 4.2 Denah lantai 2



Gambar 4.3 Denah lantai 3



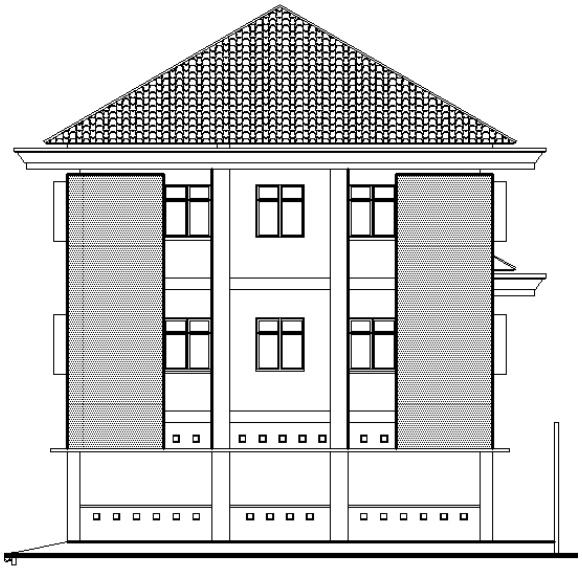
Gambar 4.4 Tampak depan



Gambar 4.5 Tampak samping kiri



Gambar 4.6 Tampak samping kanan



Gambar 4.7 Tampak belakang

Detail Gambar bangunan terlampir pada Lampiran 3-16.

4.7 PEMODELAN STRUKTUR

Dalam pembuatan pemodelan struktur dibuat dalam 3D sesuai bentuk bangunan yang ditinjau menggunakan *software* ETABS pada struktur atap dan program SAP 2000 pada struktur bangunan utama. Penggunaan pada setiap elemen pada program harus sesuai dengan sifat gaya yang sebenarnya.

4.7.1 Pelat

Dalam program SAP 2000, pemodelan pelat baik pelat lantai maupun pelat atap dapat dimodelkan menjadi 3 macam, yaitu:

1. Membran

Elemen *membran* adalah elemen pemoelan luasan yang menahan gaya searah bidang pelat.

2. Plate

Elemen *plate* adalah elemen pemodelan luasan yang menahan gaya tegak lurus dengan bidang pelat.

3. Shell

Shell adalah elemen pemodelan luasan yang sifatnya gabungan antara *membran* dan *plate*.

Tipe pelat yang digunakan dalam pemodelan pelat lantai dan atap adalah dengan menggunakan *shell*, karena walaupun elemen pelat baik lantai maupun pelat atap hanya menerima beban arah tegak lurus bidangnya saja (elemen *plate*), namun mengingat pula bahwa pemodelan 3D ini juga akan bergerak ke arah transversal (horisontal) dimana bisa terjadi gaya searah bidang pelat, maka dipakailah elemen shell. Sedangkan ketebalan pelat mempengaruhi tipe *thin* dan *thick.* Untuk pelat masih didominasi oleh lentur, sehingga dipilih tipe *thin*.

4.7.2 Balok

Balok dimodelkan sebagai elemen frame dengan hubungan yang kaku, sehingga momen-momen maksimum tempat terjadinya sendi plastis ada pada kedua ujung balok.

4.7.3 *Corewall*

Pemodelan *corewall* menggunakan tipe *shell*, karena selain memikul beban searah bidang dinding juhga memikul beban vertikal atau gravitasi, sehingga bisa timbul deformasi tegak lurus pada bidangnya.

4.7.4 Kolom

Kolom dimodelkan sebagai elemen frame dengan hubungan yang kaku.

4.7.5 Tangga

Struktur tangga dihitung sebagai pelat dengan perletakan sendi dan rol, sehingga struktur ini tidak berpengaruh terhadap kekakuan struktur utama.

4.7.6 Fondasi

Pemodelan fondasi dilakukan dengan menganggap bahwa fondasi memberikan kekangan translasi dan rotasi yang cukup pada semua arah sumbu bangunan, selain itu perencanaan fondasi direncanakan menggunakan *pile cap* yang menahan momen.

4.8 PEMBEBANAN STRUKTUR

Perencanaan pembebanan pada beban mati dan beban hidup menggunakan acuan PPPURG SKBI-1-3.53.1987. Sedangkan beban gempa menggunakan beban gempa SNI 1726-2012.

4.9 TAHAPAN PENELITIAN

Suatu penelitian harus memiliki tahapan-tahapan dalam pengerjaannya agar penelitian dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku sehingga mendapat hasil yang baik. Tahapan dalam penelitian ini adalah:

1. Kategori Risiko

   Sesuai SNI 03-1726-2012 pasal 4.1.2 atau yang telah dijelaskan sebelumnya pada Tabel 3.1, bangunan kampus (fasilitas pendidikan) termasuk dalam kategori risiko IV

2. Faktor Keutamaan (I_e)

   Sesuai SNI 03-1726-2012 pasal 4.1.2 atau yang telah dijelaskan sebelumnya pada Tabel 3.2, bangunan dalam kategori risiko IV memiliki faktor keutamaan 1,50

3. Jenis Tanah

   Jenis tanah di lokasi bangunan yang ditinjau adalah tanah sedang

4. Koefisien Modifikasi Respon (R)

   Menentukan sistem struktur yang digunakan sesuai dengan batasan sistem struktur dan ketinggian struktur seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada Tabel 3.3

5. Wilayah Gempa

   Menentukan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3

6. Spektrum Respon

   Menentukan parameter spektrum respon percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya pada Subbab 3.2.5

7. Parameter Percepatan Spektral Disain

Menentukan parameter percepatan spektral disain untuk perioda pendek, S_{DS} dan perioda 1 detik sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya pada Subbab 3.2.6

8. Kategori Disain Seismik

Menentukan parameter S_{DS} sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya pada Subbab 3.2.7

9. Parameter Respons

Menentukan parameter respons sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya pada Subbab 3.2.9

10. Menentukan Beban

Menentukan beban struktur yang terdiri dari sebagai berikut ini.

a. Beban gravitasi (beban mati dan beban hidup)
b. Beban gempa

11. Memodelkan struktur bangunan yang ditinjau dengan program ETABS untuk struktur atap dan SAP 2000 untuk strukur bangunan utama sesuai data yang ada

12. Input beban (beban mati, beban hidup dan beban gempa) pada pemodelan struktur

13. *Running analysis* dengan *analysis case dead, live*, modal, Eqx, Eqy, Rsx dan RSy

14. Cek syarat bahwa V dinamik $\leq$ 0,85 V statik

15. Analisis struktur dengan metode *pushover*

16. *Running analysis pushover* menggunakan program SAP 2000 v.11

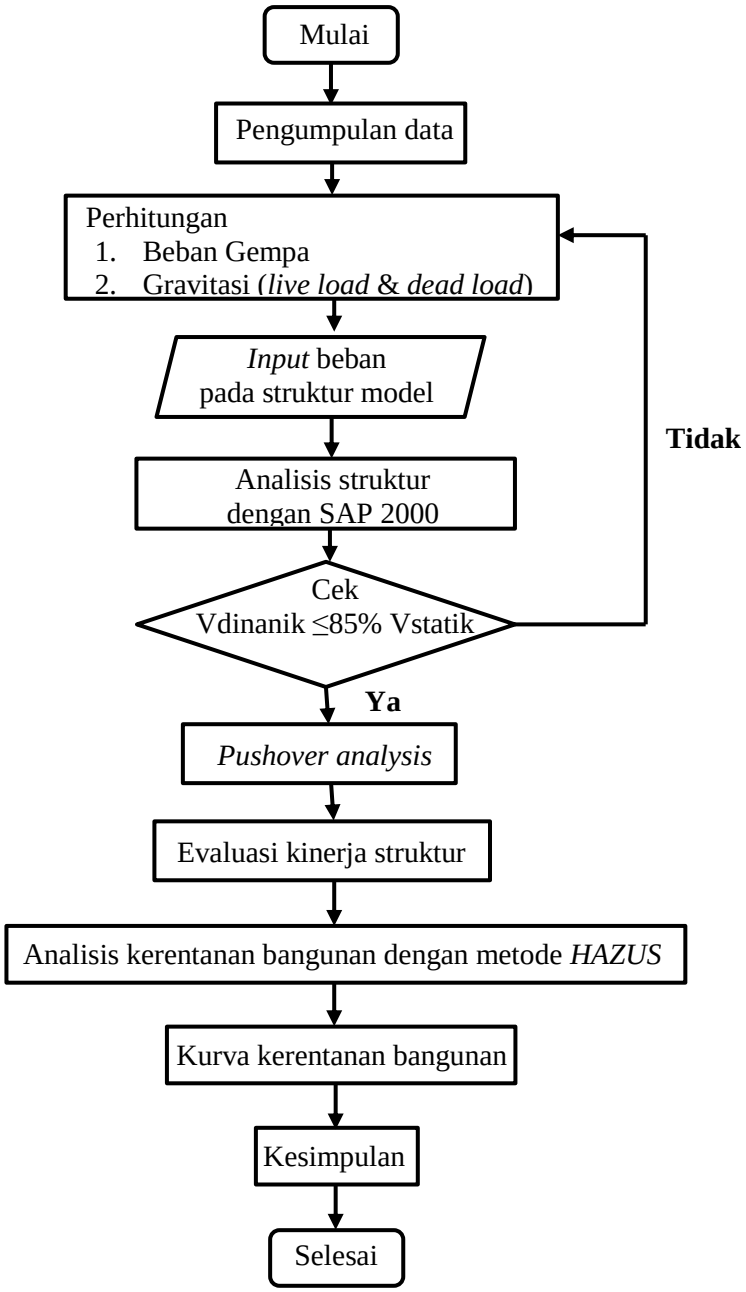
17. Melakukan evaluasi kinerja struktur

18. Melakukan analisis tingkat kerentanan dengan metode *HAZUS*

19. Menarik kesimpulan dari hasil analisis

4.10 DIAGRAM ALUR PENELITIAN

Skema penelitian ini mengikuti alur seperti yang ditunjukan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Diagram tahapan penelitian

BAB V
PERHITUNGAN BEBAN DAN ANALISIS STRUKTUR

5.1 PEMBEBANAN STRUKTUR

5.1.1 Beban Gravitasi

Beban gravitasi terdiri dari 2 beban, yaitu beban mati dan beban hidup berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987.

5.1.1.1 Beban Mati

Beban sendiri semua elemen struktur seperti kolom, balok, pelat lantai dan struktur lainnya sudah dimodelkan langsung pada program SAP 2000 dan akan dihitung otomatis oleh SAP 2000, maka beban mati yang harus ditambahkan pada setiap elemen struktur adalah sebagai berikut.

1. Pelat Lantai

Perhitungan beban pada pelat lantai 2 dan 3 disajikan dalam Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Beban pelat lantai 2 dan 3

Unit	Tebal (m)	BJ (kg/m^3)	Berat (kg/m^2)
Keramik	0,01	1700	17
Spesi	0,025	1900	47,5
Rabat Beton	0,05	2200	110
Pasir	0,04	1600	64
Ducting AC			25
Palfond			18
Qd Pelat lantai			171,5 kg/m^2

2. Pelat Talang

Perhitungan beban pada pelat talang disajikan dalam Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Beban pelat talang

Unit	Tebal (m)	BJ (kg/m^3)	Berat (kg/m^2)
Lapisan kedap air	0,025	1900	47,5
Qd Pelat talang			47,5 kg/m^2

3. Dinding Setengah Bata

Perhitungan beban dinding setengah bata disajikan dalam Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Beban dinding setengah bata

Lantai		Tinggi (m)	BJ (kg/m^2)	Berat (kg/m)
1	60%	3.55	250	887,5
2	60%	3.55	250	887,5
3	60%	3.665	250	916,25

Beban dinding setengah bata dihitung sebagai beban merata yang membebani pada balok pada setiap lantai yang terdapat dinding setengah bata.

4. Dinding Partisi

Perhitungan beban dinding partisi disajikan dalam Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Beban dinding partisi

Lantai	Tinggi	BJ (Kg/m^2)	Berat (Kg/m)
2	3	50	150
3	3	50	150

Beban dinding partisi dihitung sebagai beban merata yang membebani pada balok pada setiap lantai yang terdapat dinding partisi.

5. Kolom Praktis (Kp) 120/120

Perhitungan beban kolom praktis disajikan dalam Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Beban kolom praktis

Lantai	Luas Kolom	Tinggi	BJ (kg/m^3)	Berat (kg)
1	0,0144	3,55	2400	122,688
2	0,0144	3,55	2400	122,688
3	0,0144	3,665	2400	126,6624

Beban kolom praktis dihitung sebagai beban titik yang membebani pada balok yang terdapat kolom praktis diatasnya.

6. Tangga

Perhitungan beban pelat tangga disajikan dalam Tabel 5.6 dan 5.7 berikut.

Tabel 5.6 Beban pelat tangga bidang miring

Unit	Tebal	BJ (kg/m^3)	Berat (kg/m^2)
Keramik	0,01	1700	17
Spesi	0,025	1900	47,5
Trap beton	½ x Opt x Ant	2400	72
Qd Pelat tangga bidang miring			136,5 kg/m^2

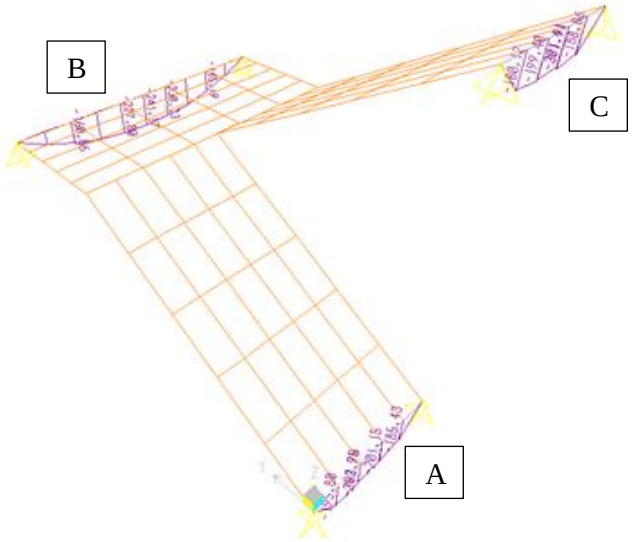
Tabel 5.7 Beban pelat tangga bidang datar (bordes)

Unit	Tebal	BJ (kg/m^3)	Berat (kg/m^2)
Keramik	0,01	1700	17
Spesi	0,025	1900	47,5
Qd pelat tangga bidang datar (bordes)			64,5 kg/m^2

Dalam penelitian ini, struktur tangga tidak menjadi satu kesatuan dengan struktur bangunan utama melainkan terpisah, sehingga perlu diketahui gaya-gaya momen yang terjadi pada setiap tumpuan tangga yang nantinya membebani pada balok. Hasil momen setiap tumpuan pada tangga akibat beban mati dan beban hidup disajikan dalam tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Momen tumpuan tangga akibat beban mati dan hidup

Titik	Beban	Momen Max (kgm)	Lebar Tangga (m)	Q (kg/m)
A	Mati	203,95	1,75	532,767
	Hidup	51,35		134,139
B	Mati	241,17	3,5	157,499
	Hidup	-26,21		-17,117
C	Mati	201,41	1,75	526,132
	Hidup	47,51		124,108

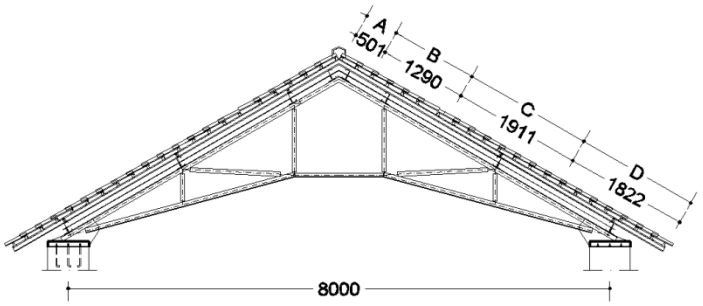


Gambar 5.1 Output tangga pada SAP 2000

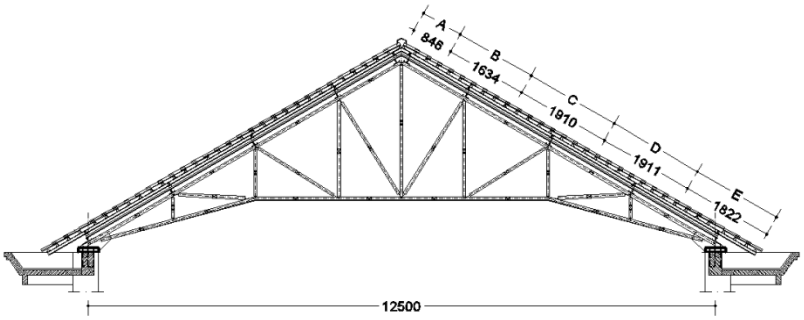
Dalam penelitian ini momen akibat berat balok sendiri diabaikan, sehingga nilai momen tersebut langsung dibebankan pada balok (balok bordes dan balok B3) sebagai beban merata, tanpa dikurangi momen akibat beban balok sendiri.

7. Rangka Atap

Rangka atap terdapat pada penutup atap lantai 2 dan penutup atap lantai 3. Rangka atap terdiri dari kuda-kuda baja siku dengan profil baja 60.60 dan 70.70, gording canal C 150.50.3,2, jurai double canal C 150.50.3,2, usuk dan reng baja ringan dan penutup atap genteng beton. Rangka atap dimodelkan 3D dalam program ETABS sehingga berat sendiri elemen rangka atap sudah terhitung otomatis, maka perlu beban mati tambahan yang harus ditambahkan pada struktur atap.



Gambar 5.2 Potongan kuda-kuda rangka atap lantai 2



Gambar 5.3 Potongan kuda-kuda rangka atap lantai 3

Beban mati penutup atap = 100 kg/m^2

Beban penutup atap tersebut membebani pada setiap gording, sehingga besar beban yang membebani gording adalah:

a) Atap lantai 2

Gording 1 = 100 kg/m^2 x panjang D
= 100 kg/m^2 x 1,822 m
= 182,2 kg/m

Gording 2 = 100 kg/m^2 x panjang C
= 100 kg/m^2 x 1,911 m
= 191,1 kg/m

Gording 3 = 100 kg/m^2 x panjang B
= 100 kg/m^2 x 1,290 m
= 129 kg/m

Gording 4 = 100 kg/m^2 x (2 x panjang A)
= 100 kg/m^2 x (2 x 0,501 m
= 100,2 kg/m

b) Atap lantai 3

Gording 1 = 100 kg/m^2 x panjang E
= 100 kg/m^2 x 1,822 m
= 182,2 kg/m

Gording 2 = 100 kg/m^2 x panjang D
= 100 kg/m^2 x 1,911 m
= 191,1 kg/m

Gording 3 = 100 kg/m^2 x panjang C
= 100 kg/m^2 x 1,911 m
= 191,1 kg/m

Gording 4 = 100 kg/m^2 x panjang B
= 100 kg/m^2 x 1,634 m
= 163,4 kg/m

Gording 5 = 100 kg/m^2 x (2 x panjang A)
= 100 kg/m^2 x (2 x 0,846 m)
= 169,2 kg/m

Beban setiap gording yang telah diketahui besarnya kemudian dimasukan pada elemen setiap gording canal C sebagai beban merata.

Akibat beban mati yang bekerja pada setiap gording tersebut maka akan terjadi reaksi pada semua tumpuan pada setiap kuda-kuda. Reaksi pada setiap kuda-kuda tersebut menjadi beban titik yang bekerja pada ring balk. Besar beban titik pada setiap kuda-kuda disajikan dalam Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Beban titik (*dead load*) akibat rangka atap lantai 2

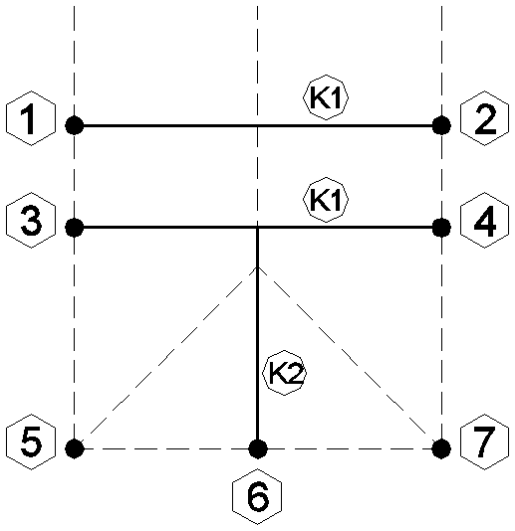
Titik Tumpuan	Gaya Vertikal (Ton)	Gaya Horizontal (Ton)
1	2,71	0,04
2	2,69	-
3	1,95	-0,06
4	1,98	-

Lanjutan Tabel 5.9 beban titik (*dead load*) akibat rangka atap lantai 2

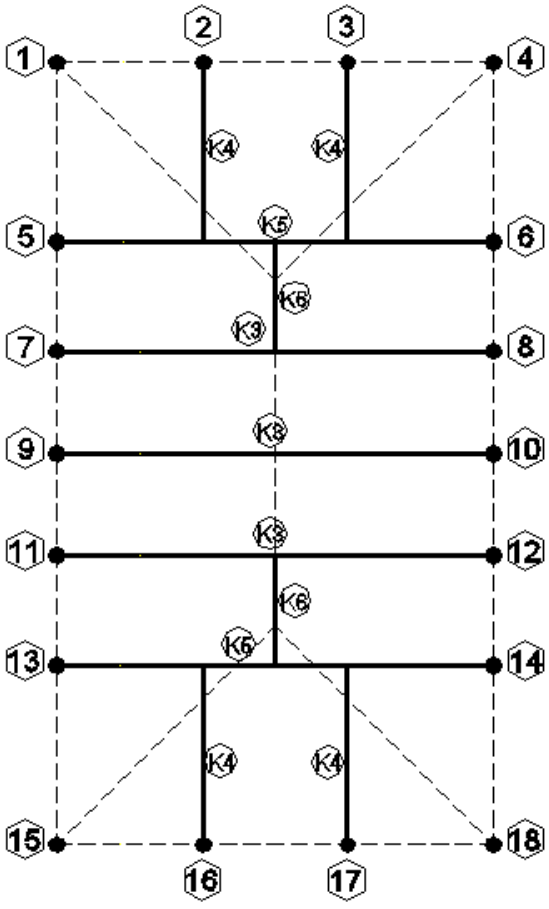
Titik Tumpuan	Gaya Vertikal (Ton)	Gaya Horizontal (Ton)
5	0,91	0,02
6	1,78	-
7	0,94	-

Tabel 5.10 Beban titik (*dead load*) akibat rangka atap lantai 3

Titik Tumpuan	Gaya Vertikal (Ton)	Gaya Horizontal (Ton)
1	2,58	-
2	1,52	-
3	1,41	-
4	2,6	-
5	2,68	-0,00804
6	2,69	-
7	2,68	0,00564
8	2,67	-
9	2,96	0,00499
10	2,95	-
11	2,68	0,00526
12	2,67	-
13	2,69	-0,00785
14	2,69	-
15	2,58	-
16	1,47	-
17	1,47	-
18	2,65	-



Gambar 5.4 Sketsa rangka atap lantai 2



Gambar 5.5 Sketsa rangka atap lantai 3

5.1.1.2 Beban Hidup

Menurut PPPURG 1987 beban hidup dibedakan atas fungsi bangunan. Fungsi bangunan pada penelitian ini adalah sebagai ruang perkuliahan dan perpustakaan, sehingga didapat beban hidup sebagai berikut.

a) Beban hidup pada lantai

Qd Lantai 2	= 250 kg/m^2
Qd Lantai 3	= 250 kg/m^2
Qd Lantai 3 (ruang perpustakaan)	= 400 kg/m^2

b) Beban hidup pada tangga dan bordes

Qd tangga dan bordes	= 300 kg/m^2

c) Beban hidup talang

Qd talang (hujan)	= 100 kg/m^2
Qd talang (orang)	= 100 kg/m^2

d) Beban hidup atap

Beban hidup atap terdiri dari beban hujan dan beban orang (pekerja).

Beban hujan sebesar 100 kg/m^2 bekerja sebagai beban merata yang membebani setiap gording. Sedangkan beban orang (pekerja) sebesar 100 kg bekerja sebagai beban titik yang membebani pada bagian tengah setiap gording.

1. Beban hujan

   Cara bekerja beban hidup pada atap yaitu beban hujan sama dengan pembebanan beban mati atap yang sudah dijelaskan sebelumnya pada subbab beban mati pada rangka atap hanya saja beban yang digunakan adalah beban hidup. Besarnya beban hidup yang membebani setiap gording disajikan dalam Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Nilai Beban pada gording akibat beban hidup (hujan) lantai 2

Gording	Beban (kg)
1	182,2
2	191,1
3	129
4	100,2

Tabel 5.12 Nilai Beban pada gording akibat beban hidup (hujan) lantai 3

Gording	Beban (kg)
1	182,2
2	191,1
3	191,1
4	163,4
5	169,2

2. Beban orang (Pekerja)

   Beban orang sebesar 100 kg berupa beban titik yang bekerja pada bagian tengah bentang setiap gording.

Sama halnya pada beban mati yang telah dibahas sebelumnya, akibat beban hidup (hujan dan pekerja) yang bekerja pada setiap gording tersebut maka akan terjadi reaksi pada semua tumpuan pada setiap kuda-kuda. Reaksi pada setiap kuda-kuda tersebut menjadi beban titik yang bekerja pada ring balk. Besar beban titik pada setiap kuda-kuda disajikan dalam Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Beban titik (*live load*) akibat rangka atap lantai 2

Titik Tumpuan	Gaya Vertikal (ton)	Gaya Horizontal (ton)
1	3,13	0,05
2	3,1	-
3	2,06	-0,07

Lanjutan Tabel 5.13 Beban titik (*live load*) akibat rangka atap lantai 2

Titik Tumpuan	Gaya Vertikal (ton)	Gaya Horizontal (ton)
4	2,09	-
5	0,95	0,02
6	1,92	-
7	0,94	-

Tabel 5.14 Beban titik (*live load*) akibat rangka atap lantai 3

Titik Tumpuan	Gaya Vertikal (ton)	Gaya Horizontal (ton)
1	2,61	-
2	1,62	-
3	1,5	-
4	2,64	-
5	2,74	-0,00865
6	2,75	-
7	2,76	0,00534
8	2,75	-
9	3,09	0,00682
10	3,09	-
11	2,76	0,00496
12	2,75	-
13	2,75	-0,00847
14	2,75	-
15	2,62	-
16	1,56	-
17	1,56	-
18	2,62	-

5.1.2 Beban Gempa Statik Ekuivalen

5.1.2.1 Berat Total Bangunan

Berat bangunan sangat mempengaruhi besar atau kecilnya gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut, semakin besar berat bangunan maka semakin besar pula gaya gempa yang akan terjadi pada bangunan tersebut, dan sebaliknya.

Berat bangunan tiap dapat diketahui secara otomatis dari output SAP 2000 setelah elemen tiap-tiap lantai dikelompokkan dengan cara menyeleksi setiap lantai kemudian pilih *Assign – Assign to Group*, lakukan dengan cara yang sama pada setiap lantai. Setelah masing-masing lantai sudah dibuat grup, maka berat bangunan per lantai dapat diketahui melalui SAP 2000 dengan cara *Display – Show Table – Other Difinition – Group Data – Masses dan Weight*.
Berat per lantai bangunan disajikan dalam Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Berat tiap lantai bangunan dari SAP 2000

Grup	Berat Per Lantai (ton)
Lantai 1	82,967
Lantai 2	229,744
Lantai 3	207,772
Atap	73,388

Berat yang diketahui dari SAP 2000 tersebut adalah hanya berat dari elemen yang dimodelkan dalam SAP 2000, belum termasuk elemen yang tidak dimodelkan dan juga belum termasuk beban tambahan yang membebani elemen bangunan, sehingga untuk mengetahui berat total bangunan semua harus ditambahkan berat mati tambahan dan 50% berat hidup bangunan.

Berat mati tambahan dan berat hidup tambahan disajikan dalam Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.16 Berat mati tambahan tiap lantai bangunan

Lantai	Elemen	Berat (ton)
Lantai 1	Dinding Setengah Bata	39,06
	Sloof 150/200	0,918
	Kolom Praktis 120/120	1,645
Total Berat Mati Tambahan Lantai 1		41,623 Ton
Lantai 2	Pasir Urug	11,159
	Rabat Beton	38,361
	Spesi	16,565
	Balok Anak	3,881
	Keramik	5,928
	Dinding Setengah Bata	78,720
	Dinding Partisi	3,468
	Tangga	9,007
	Kolom Praktis	1,41
	Plafond	5,928
Total Berat Mati Tambahan Lantai 2		174,427 Ton
Lantai 3	Pasir Urug	8,722
	Rabat Beton	29,983
	Spesi	12,947
	Keramik	4,634
	Dinding Setengah Bata	66,732
	Dinding Partisi	0,787
	Tangga	9,007
	Kolom Praktis	2,267
	Beban Reaksi Atap Lantai 2	12,92
Total Berat Mati Tambahan Lantai 3		151,880 Ton
Atap	Plafond	4,634
	Beban Reaksi Atap Lantai 3	43,64
Total Berat Mati Tambahan Atap		48,274 Ton

Tabel 5.17 berat hidup tambahan tiap lantai bangunan

Lantai	Berat Hidup Tereduksi 50% (ton)
Lantai 1	45,393
Lantai 2	43,591
Lantai 3	61,610
Atap	22,460

Total berat bangunan per lantai adalah hasil penjumlahan berat bangunan per lantai (*Output* SAP 2000) + berat mati tambahan per lantai + berat hidup tambahan per lantai.

Berat total bangunan bangunan disajikan dalam Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5.18 Berat total per lantai bangunan

Grup	Output SAP 2000 (ton)	Mati Tambahan (ton)	Hidup Tambahan (ton)	Total (ton)
Lantai 1	82,967	41,623	45,393	169,983
Lantai 2	229,744	174,427	43,591	447,762
Lantai 3	207,772	151,880	61,610	421,263
Atap	73,388	48,274	22,460	144,122
Berat Total Bangunan Keseluruhan				1183,130

5.1.2.2 Spektrum Respon Disain

Data bangunan yang diperlukan dalam mendesain respon spektrum adalah sebagai berikut :

1. Lokasi Bangunan : Sleman, Yogyakarta
2. Fungsi Bangunan : Fasilitas Pendidikan
3. Jenis Tanah : Tanah sedang
4. Parameter Percepatan Gempa

   Percepatan batuan dasar pada perioda pendek (S_s) dan percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (S_1). Nilai S_s dan S_1, ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berdasarkan SNI 03-1726-2012. Nilai S_s dan S_1 juga dapat diperoleh secara lebih tepat melalui www.puskim.co.id.

Dari www.puskim.co.id diperoleh nilai S_s dan S_1 sebagai berikut.

S_s = 1,218 *g*.

S_1 = 0,446 *g*.

5. Koefisien Resiko Terpetakan

Perioda respon spektral 0,2 dt (C_{RS}) dan perioda respon spektral 1,0 dt (C_{R1}). Nilai C_{RS}, ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11 pada SNI 03-1726-2012 halaman 137 dan 138. Dari SNI 03-1726-2012 diperoleh nilai C_{RS} dan C_{R1} sebagai berikut.

C_{rs} = 0,926.

C_{r1} = 0,95

6. Koefisien Situs (*Site Coefficient*)

Penentuan respon spektral percepatan gempa dipermukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik (F_a dan F_v) dapat dilihat pada SNI 03-1726-2012 Tabel 4 dan Tabel 5 halaman 22. Dari SNI 03-1726-2012 dengan cara interpolasi diperoleh nilai F_a dan F_v sebagai berikut.

F_a = 1,013

F_v = 1,554

7. Parameter respon spektrum

Hubungan koefisien-koefisien situs dan parameter respon spektra sebagai berikut.

a) Percepatan pada perioda pendek (S_{MS}), lihat Persamaan (3.1)

S_{MSr} = F_a x S_s x C_{rs}

= 1,013 x 1,218 x 0,926

= 1,1425

b) Percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}), lihat Persamaan (3.2)

S_{M1r} = F_v x S_1 x C_{r1}

= 1,554 x 0,446 x 0,95

= 0,658

c) Parameter Percepatan Spektral Desain

1. Spektral Desain Untuk Perioda Pendek (S_{DS}), lihat Persamaan (3.3)

S_{DSr} = 2/3 x S_{MSr}

= 2/3 x 1,1425

= 0,76

2. Spektral Desain Untuk Perioda 1 detik, lihat Persamaan (3.4)

S_{D1r} = 2/3 x S_{M1r}

= 2/3 x 0,658

= 0,44

d) Spektrum respon percepatan desain, berdasarkan SNI 03-1726-2012 pada persamaan 9 halaman 23 sebagai berikut.

1. Jika $T < T_o$,

$S_a = S_{DSr}(0,4 + 0,6\frac{T}{T0})$

$= 0,76\ (0,4 + 0,6\ \frac{0}{0,1153})$

= 0,3046

2. Jika $T_o < T < T_S$, maka $S_a = S_{DSr} = 0,76$
3. Jika $T > T_o$,

$Sa = \frac{SD1r}{T}$

$= \frac{0,44}{T}$

= 0,565

$T_0 = 0,2\ x\ \frac{SD1r}{SDsr}$

$= 0,2\ x\ \frac{0,44}{0,76}$

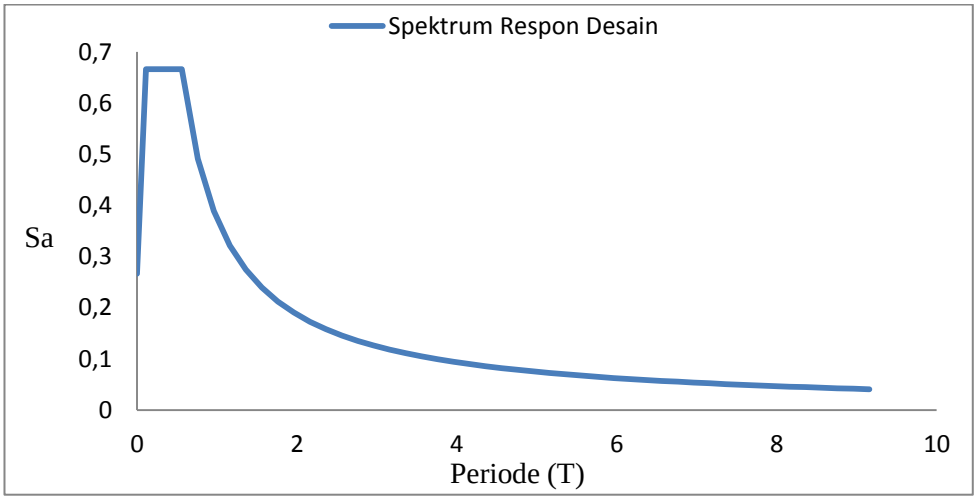
= 0,1153

$T_s = \frac{SD1}{SDs}$

$= \frac{0,44}{0,76}$

= 0,5763

Berdasarkan parameter yang ada didapatkan grafik respon spektrum menurut SNI 03-1726-2012, ditunjukkan pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Grafik respon spektrum

5.1.2.3 Periode Pendekatan Fundamental

Dalam SNI 03-1726-2012 dijelaskan dalam menentukan nilai periode fundamental. Penentuan nilai periode berdasarkan Persamaan (3.9) dan (3.10) pada bab sebelumnya.

1. Tinggi Bangunan

   Lantai 1 = 2,4 meter

   Lantai 2 = 4 meter

   Lantai 3 = 4 meter

   Atap = 14,515 meter

2. Menentukan waktu getar struktur, lihat Persamaan (3.9)

   T_a = Ct x h_n^x

   = 0,0466 x $14.515^{0,9}$

   = 0,52

3. Menentukan nilai T_a maksimum, lihat Persmaan (3.10)

   $T_{a\ Max}$ = C_u x T_a

   Koefisien batas atas terhitung = 1,4

   = 1,4 x 0,518

   = 0,725

Setelah dilakukan analisis menggunakan SAP 2000 diperoleh T_c = 1,11 detik. Diketahui nilai T_a = 0,518 dan $T_{a\ Max}$ = 0,725 sedangkan T_c = 1,11. Dari hasil tersebut menunjukan bahwa nilai $T_a < Tc > Ta_{\ Max}$, maka periode fundamental struktur yang dipakai adalah, T_{pakai} = 0,725 detik.

5.1.2.4 Perhitungan Koefisien Respon Seismik

Nilai koefisien respon seismik (C_s) diperoleh berdasarkan SNI 03-1726-2012 Persamaan 22 halaman 54 sebagai berikut.

1. Nilai C_s

$$C_s = \frac{SDSr\ x\ Ie}{R}$$
$$= \frac{0{,}76\ x\ 1{,}5}{1}$$
$$= 1{,}1425$$

2. Nilai C_s tidak perlu melebihi $C_{s\ max}$

$$Cs\ max = \frac{SDIr\ x\ Ie}{T\ x\ R}$$
$$= \frac{0{,}44\ x\ 1{,}5}{0{,}725\ x\ 1}$$
$$= 0{,}9085$$

3. Nilai C_s tidak kurang dari

$$C_{s\ min} = 0{,}044 \text{ x } S_{DSr} \text{ x } I_e \geq 0{,}01$$
$$= 0{,}044 \text{ x } 0{,}762 \text{ x } 1{,}5$$
$$= 0{,}0502$$

Nilai C_s tidak perlu melebihi C_s max dan tidak kurang dari C_s min, jadi didapatkan C_s pakai = 0,9085

5.1.2.5 Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik

1. Perhitungan gaya geser dasar seismik (V) berdasarkan SNI 03-1726-2012 Persamaan 21 halaman 54 sebagai berikut.

$$V = C_s \text{ x } W_t$$
$$= 0{,}9085 \text{ x } 1183{,}13$$
$$= 1074{,}961 \text{ Ton}$$

5.1.2.6 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral (Fx) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan berdasarkan SNI 03-1726-2012 sebagai berikut.

1. Nilai k

   a. untuk struktur perioda 0,5 detik atau kurang, nilai k = 1

   b. untuk struktur perioda 2,5 detik atau lebih, nilai k = 2

   c. untuk struktur perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, nilai k harus sebesar 2 atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

   Maka nilai *k* yang digunakan untuk *T* = 0,725 detik dicari menggunakan interpolasi, sebagai berikut.

   $\frac{(0,725-0,50}{2,5-0,5} = \frac{X}{2}$

   $\frac{0,225}{2} = \frac{X}{2}$

   k = 1 + x → k = 1,225

2. Nilai C_{vx}

   $C_{vx\ lantai\ 1} = \frac{Wx \times hx^k}{\sum_{i=1}^{n} Wi \times hi^k}$

   $= \frac{169,9834 \times 2,4^{1,225}}{16076,0075}$

   = 0,0309 (3,09 %)

   $C_{vx\ lantai\ 2} = \frac{Wx \times hx^k}{\sum_{i=1}^{n} Wi \times hi^k}$

   $= \frac{447,7623 \times 6,4^{1,225}}{16076,0075}$

   = 0,2705 (27,05 %)

   $C_{vx\ lantai\ 3} = \frac{Wx \times hx^k}{\sum_{i=1}^{n} Wi \times hi^k}$

$$= \frac{421{,}2626 \times 10{,}4^{1{,}225}}{16076{,}0075}$$

$$= 0{,}4612 \ (46{,}12\ \%)$$

$$C_{vx\ atap} = \frac{Wx \times hx^{k}}{\sum_{i=1}^{n} Wi \times hi^{k}}$$

$$= \frac{144{,}1218 \times 14{,}515^{1{,}225}}{16076{,}0075}$$

$$= 0{,}2374 \ (23{,}74\ \%)$$

3. Nilai Gaya Gempa Lateral (F_x)

$F_{x\ lantai\ 1}$ $= C_{vx}$ x V
$= 0{,}0309$ x $1074{,}961$
$= 33{,}209$ Ton

$F_{x\ lantai\ 2}$ $= C_{vx}$ x V
$= 0{,}2705$ x $1074{,}961$
$= 290{,}789$ Ton

$F_{x\ lantai\ 3}$ $= C_{vx}$ x V
$= 0{,}4612$ x $1074{,}961$
$= 495{,}807$ Ton

$F_{x\ atap}$ $= C_{vx}$ x V
$= 0{,}2374$ x $1074{,}961$
$= 255{,}155$ Ton

Hasil perhitungan nilai gaya gempa horizontal (F) dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Perhitungan nilai gaya gempa horizontal

Tingkat	Berat (ton)	H (m)	h^k	W x h^k	C_{vx}	F (ton)
Lantai 1	169,9834	2,4	2,922	496,644	0,0309	33,209
Lantai 2	447,7623	6,4	9,712	4348,746	0,2705	290,789
Lantai 3	421,2626	10,4	17,601	7414,781	0,4612	495,807
Atap	144,1218	14,515	26,476	3815,835	0,2374	255,155
Total	1183,130			16076,007	1	1074,961

Beban gempa (F) untuk masing-masing arah harus diangap penuh (100 %) untuk arah yang ditinjau dan 30 % untuk arah tegak lurusnya. Beban gempa yang dimasukan 2 arah tersebut sebagai antisipasi datangnya gempa dari arah yang tak terduga, misalnya dari arah 15°, 30°,45° dan lain-lain. Beban gempa yang dimasukkan pada pada pusat massa bangunan ditunjukan pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Nilai gaya gempa arah X dan arah Y

Lantai	100% arah yang ditinjau dan 30% arah tegak lurus			
	F_x (Ton)	F_y = 30% F_x (Ton)	F_y (Ton)	F_x = 30% F_y (Ton)
Lantai 1	33,209	9,963	33,209	9,963
Lantai 2	290,789	87,237	290,789	87,237
Lantai 3	495,807	148,742	495,807	148,742
Atap	255,155	76,547	255,155	76,547

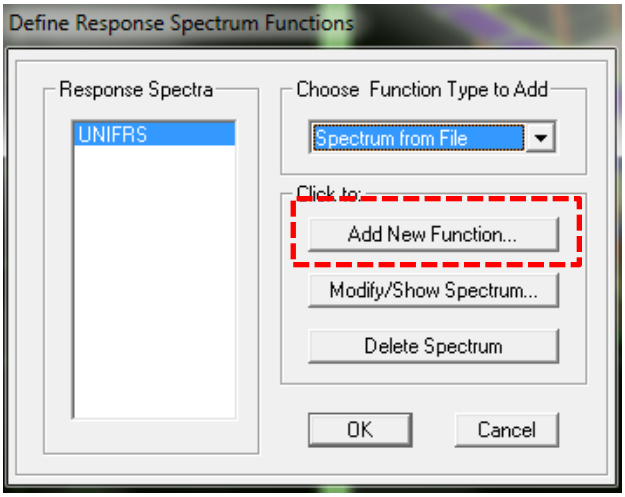
5.1.3 Beban Gempa Respon Spektrum

Grafik respon spektrum dari gempa yang ditinjau diperlukan dalam proses menentukan titik kinerja metode spektrum kapasitas **(***performent point*) yang nantinya akan berpotongan dengan kurva kapasitas dari hasil *pushover*, dan dari titik perpotongan tersebut dapat diketahui nilai *performent point*. Data respon spektrum adalah berupa nilai T (detik) dan Sa (g).

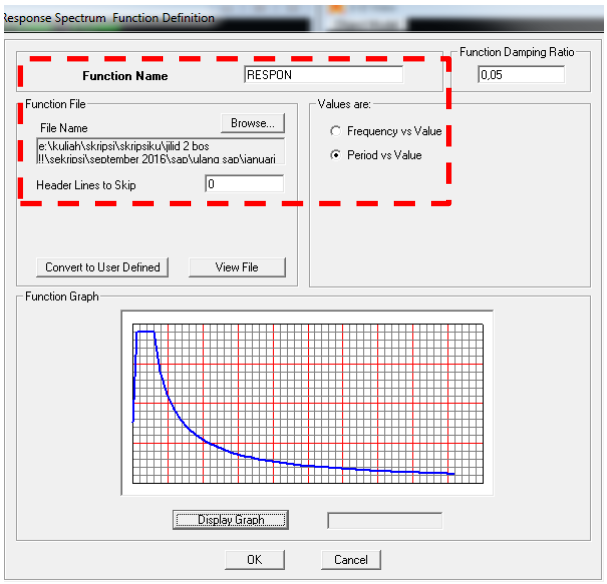
5.1.3.1 *Input* Data Respon Spektrum

Input data respon spektrum dilakukan dengan cara *import* data dari luar dari file teks berisi koordinat grafik respon spektrum yang sudah dibuat sebelumnya. Berbeda dengan input analisis statik, yang dimasukan pada respon spektrum melalui *function* dengan cara *Define – Functions – Response Spectrum*. Pada *Choose Function Type To Add* pilih *Spectrum From File*, lalu klik *Add New Function* (Gambar 5.7) kemudian pada kotak input yang muncul klik *Browse* dan cari file berisi koordinat grafik respon spektrum yang tersimpan dalam tipe *Text File* (*.txt). Selanjutnya beri nama RESPON pada *Function Name*, pilih *Period vs*

Value pada dialog *Value Are*. Pilih *Display Graph* untuk menampilkan grafik respon spektrum (Gambar 5.8). Klik OK.



Gambar 5.7 *Define Response Spectrum Functions*

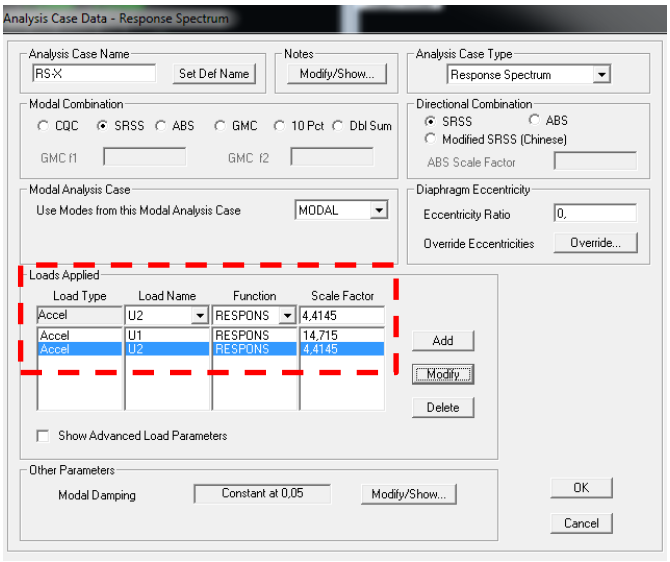


Gambar 5.8 *Response Spectrum Function Definition*

5.1.3.1 Definisi Tipe Analisis Respon Spektrum

Mendefinisikan tipe analisis respon spektrum dilakukan dengan cara *Define – Alalysis Cases* kemudian pilih *Add New Case.* Kemudian pada kotak dialog seperti Gambar 5.9, beri nama RS-X dan RS-Y pada dialog *Analysis Case Name*, pada dialog *Analysis Case Type* pilih *Response Spectrum*, pada dialog *Model Combination* dipilih SRSS (*Square Root Of The Sum Of Squares*) karena

nilai waktu getar alami yang berdekatan dari hasil setelah *running* RS-X dan RS-Y adalah > 15%. Namun jika ternyata waktu getar alami yang berdekatan dari hasil setelah *running* RS-X dan RS-Y adalah < 15% maka pada dialog *Model Combination* diubah menjadi CQC (*Complete Quadratic Combination*). Untuk RS-X pada dialog *Load Name* pilih U1 *Scale Factor* diisikan angka 14,715 dari $\frac{Ie}{R}$ x 9,81, dan U2 dengan nilai 30% dari U1, sedangkan untuk RS-Y nilai U2 adalah 14,715 dan U1 dengan nilai 305 dari U2.

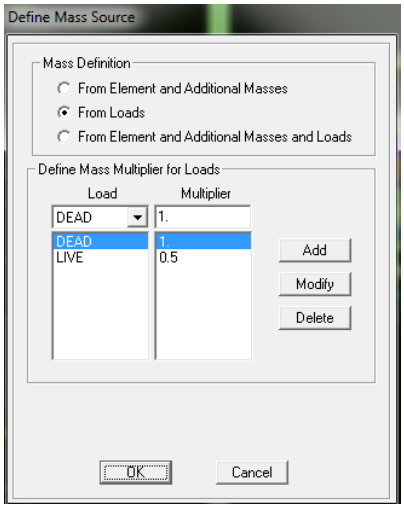


Gambar 5.9 *Analysis Case Data Response Spectrum*

5.1.4 Penentuan Massa Struktur (*Mass Source*)

Dalam analisis beban statik pembebanan pada struktur langsung berasal dari beban tersebut.Sedangkan dalam analisis dinamik respons struktur,secara garis besar beban berasal dari percepatan gempa dikalikan dengan massa struktur. Oleh karena itu pendefinisian massa struktur (*mass source*) tidak kalah penting penting dalam analisis, karena bila tidak tepat maka gaya atau beban gempa yang dihasilkan akan terlalu besar atau terlalu kecil.

Penentuan massa struktur dalam analisis mempengaruhi waktu getar struktur (T_c), sehingga dapat mempengaruhi besar kecilnya gaya gempa baik statik maupun dinamik. Pendefinisan massa struktur dilakukan dengan cara *Define – Mass Source* yang ditunjukan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Pendefinisian *mass source*

Dalam penelitian ini digunakan *From Load* sehingga massa yang terhitung adalah dari beban mati tambahan (*load*) dan juga termasuk dari berat sendiri (*selfweight*).

5.1.5 Cek syarat V dinamik ≤ 0,85 V statik

Sebelum melakukan analisis *pushover* dilakukan pengecekan terlebih dahulu apakah nilai V dinamik ≤ 0,85 V statik dengan cara *Display – Show Table* dan selanjutnya pilih *Table:Base Reaction* pada *Analysis Result*, selanjutnya pilih output case EQx, EQy, RS-X dan RS-Y. Output base reaction (V) disajikan dalam Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Nilai *base reaction* (V)

Output Case	*Case Type*	Fx (kg)	Fy (kg)
EQx	Statik	1074960	322489
EQy	Statik	322489	1074960
RS-X	Respon spektrum	593980,91	192594,11
RS-Y	Respon spektrum	180386,26	635142,06

a. Arah X

V statik (EQx) = 1397449 kg

V dinamik (RS-X) = 786575,02 kg

0,85 V statik = 1187831,65 kg

Cek (V din/ V statik) = 786575,02 kg / 1397449 kg

= 0,5629 < 0,85 → tidak memenuhi syarat

Evaluasi *scale factor* = 0,85 V statik / V dinamik

= 1187831,65 / 786575,02

= 1,510

b. Arah Y

V statik (EQy) = 1397449 kg

V dinamik (RS-Y) = 815528,32 kg

0,85 V statik = 1187831,65 kg

Cek (V din/ V statik) = 815528,32 kg / 1397449 kg

= 0,5836 < 0,85 → tidak memenuhi syarat

Evaluasi *scale factor* = 0,85 V statik / V dinamik

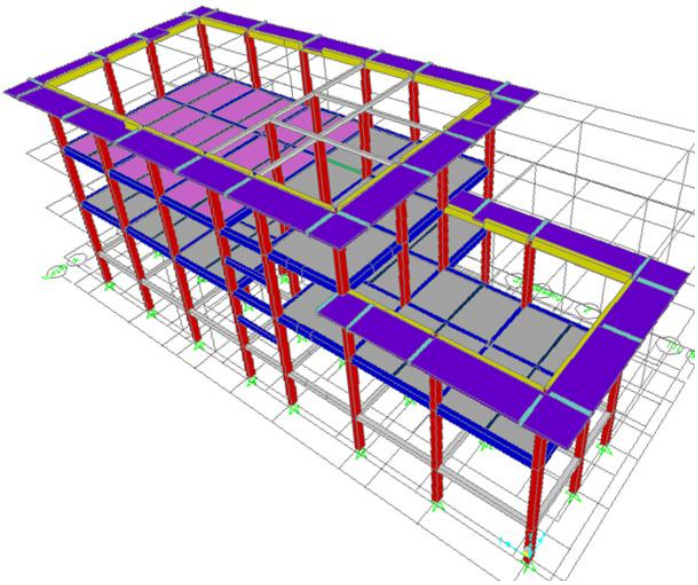
= 1187831,65 / 815528,32

= 1,457

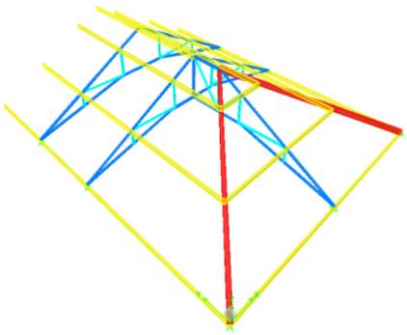
Nilai evaluasi *scale factor* arah X dan Y digunakan sebagai faktor pengali nilai U1 dan U2 pada *analysis case* seperti yang telah dijelaskan pada subbab 5.1.3.1.

5.2 PEMODELAN STRUKTUR

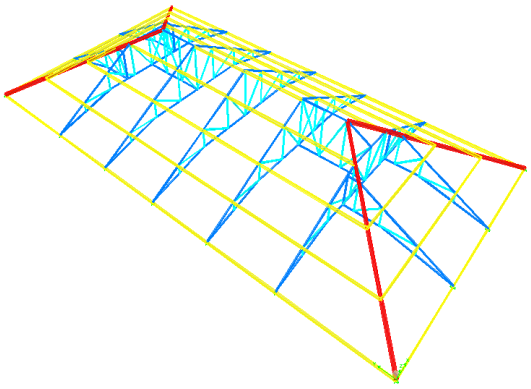
Struktur bangunan utama dimodelan secara 3D menggunakan program SAP 2000 v 11 yang ditunjukan pada Gambar 5.11 dan struktur rangka atap dimodelkan 3D menggunakan program ETABS 9.7.2 yang ditunjukan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Pemodelan bangunan utama menggunakan SAP 2000



Gambar 5.12a Pemodelan struktur rangka atap lantai 2



Gambar 5.12b Pemodelan struktur rangka atap lantai 3

5.3 PUSHOVER ANALYSIS

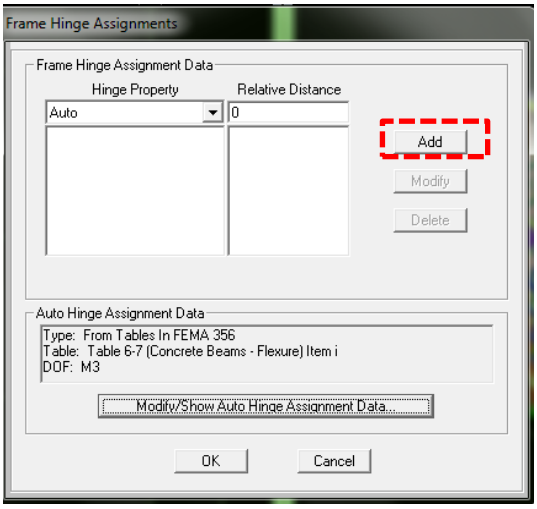
5.3.1 Pendefinisian Sendi Plastis

Pendefisian sendi plastis elemen struktur diperoleh dari grafik *momen-curvatur* (momen rotasi) yang menggambarkan kemampuan deformasi dari elemen struktur. *Momen-curvature* pada elemen struktur didapat secara *auto* pada program SAP2000 v.11 berdasarkan ketentuan FEMA 356 (2000).

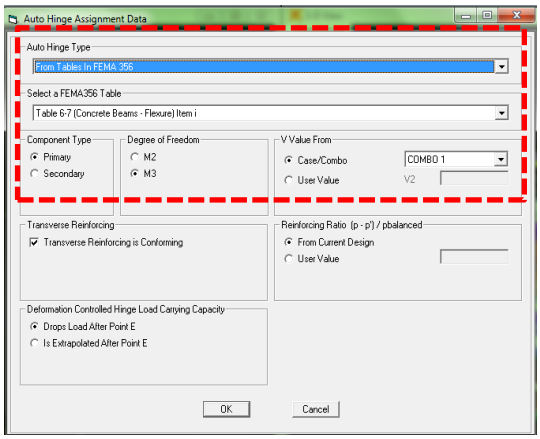
5.3.1.1 Pendefinisian Sendi Plastis Pada Balok

Penempatan sendi plastis pada balok dilakukan dengan cara sebagai berikut.

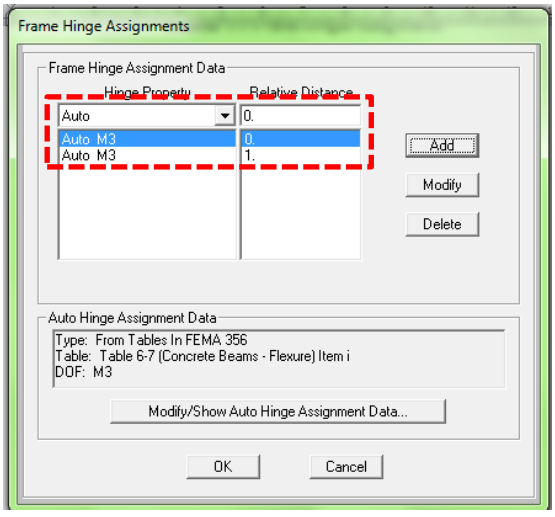
1. Memilih semua elemen balok pada bangunan yang dimodelkan dengan cara *Select – Select – Properties – Frame Section* – piliih semua frame balok.
2. Melakukan pendefisian dengan melalui menu *Assign-Frame-Hinges*, ditunjukkan pada Gambar 5.13. Klik tombol *Add*.
3. Pada kotak dilaog *Auto Hinges Type* pilih *From Table In FEMA 356*, pada kotak dialog *Select a FEMA 356 Table* pilih *Table 6-7 (Concrete Beams-flexure) item i*, pada kotak dialog *Component Type* pilih *Primary*, pada dialog *Degree Freedom* pilih *M3*, dan pada kotak dialog *V Value From* menggunakan *Case Combo 1* yang berupa 1 Dead + 0,5 Live, ditunjukan pada Gambar 5.14
4. Membuat 2 sendi plastis yaitu *Relative Distance* 0 dan *Relative Distance* 1 pada kotak dialog *Frame Hinges Assignment*, yang berarti sendi plastis pada balok diletakkan pada ujung elemen struktur, ditunjukkan pada Gambar 5.15.



Gambar 5.13 *Frame hinges assignments*



Gambar 5.14 Pendefinisian *hinges* pada balok

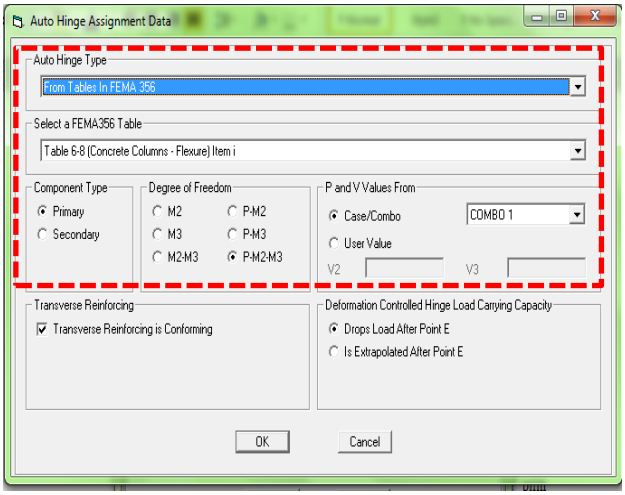


Gambar 5.15 Dua sendi plastis pada balok

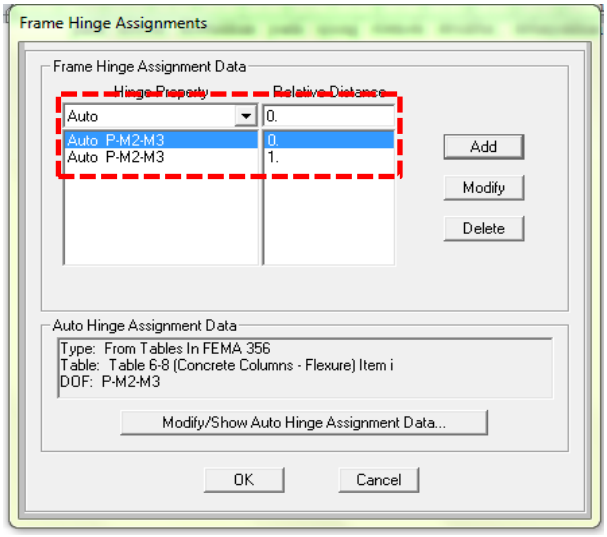
5.3.1.2 Pendefinisian Sendi Plastis Pada Kolom

Penempatan sendi plastis pada balok dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Memilih semua elemen kolom pada bangunan yang dimodelkan dengan cara *Select – Select – Properties – Frame Section* – piliih semua frame kolom.
2. Melakukan pendefisian dengan melalui menu *Assign-Frame-Hinges*, ditunjukkan sama pada Gambar 5.13. Klik tombol *Add*.
3. Pada kotak dilaog *Auto Hinges Type* pilih *From Table In FEMA 356*, pada kotak dialog *Select a FEMA 356 Table* pilih *Table 6-8 (Concrete Columns-flexure) item i*, pada kotak dialog *Component Type* pilih *Primary*, pada dialog *Degree Freedom* pilih *P-M2-M3*, dan pada kotak dialog *V Value From* menggunakan *Case Combo 1* yang berupa 1 Dead + 0,5 Live, ditunjukan pada Gambar 5.16
4. Membuat 2 sendi plastis yaitu *Relative Distance* 0 dan *Relative Distance* 1 pada kotak dialog *Frame Hinges Assignment*, yang berarti sendi plastis pada kolom diletakkan pada ujung elemen struktur, ditunjukkan pada Gambar 5.17.



Gambar 5.16 Pendefinisian *hinges* pada kolom

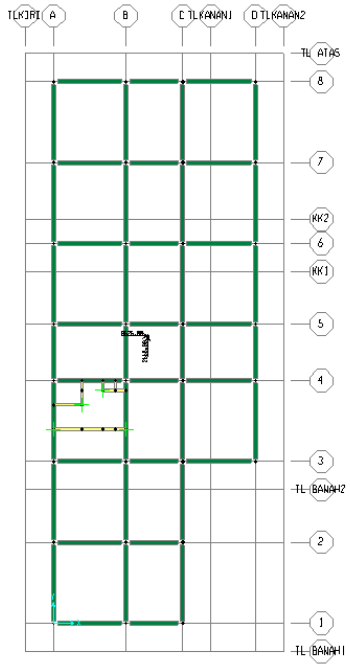


Gambar 5.17 Dua sendi plastis pada kolom

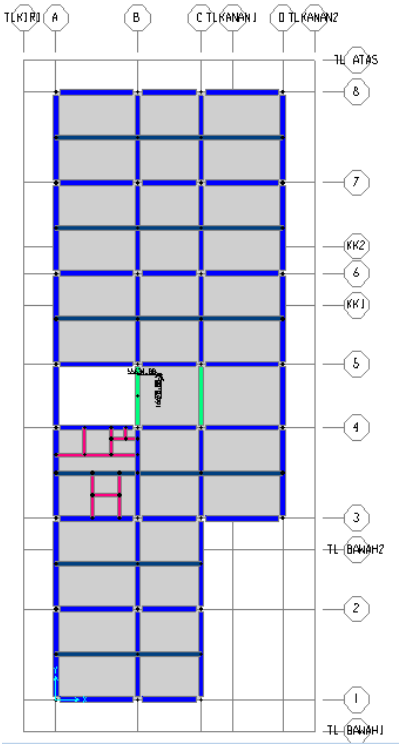
5.3.2 Gaya Lateral *Pushover Analysis*

Pushover analysis dilakukan dengan memberikan gaya lateral horisontal statik berupa beban titik yang diletakkan di setiap lantai pada pusat massa bangunan arah x dan y. Besar gaya lateral statik sudah diketahui pada Tabel 5.19.

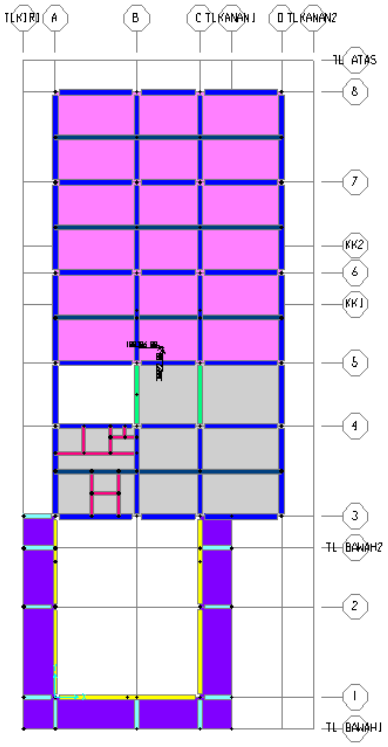
Letak penempatan gaya lateral statik dapat dilihat pada Gambar 5.18 – Gambar 5.21.



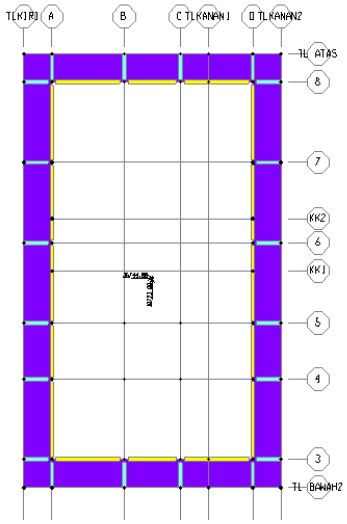
Gambar 5.18 Gaya lateral statik lantai 1



Gambar 5.19 Gaya lateral statik lantai 2



Gambar 5.20 Gaya lateral statik lantai 3



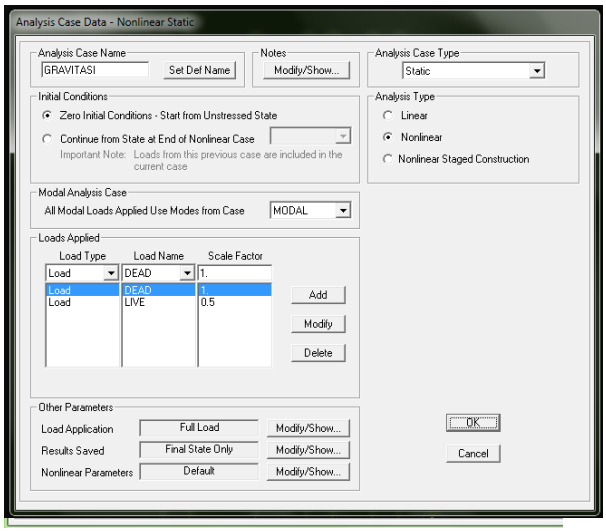
Gambar 5.21 Gaya lateral statik atap

5.3.3 Pembebanan Analisis *Pushover* Pada SAP 2000 v.11

Pembebanan analisis *pushover* dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama analisis belum mempertimbangkan kondisi nonlinier dimana struktur diberi beban mati dan beban hidup (gravitasi). Tahap kedua analisis dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral diberikan secara bertahap.

5.3.3.1 Pembebanan Gravitasi

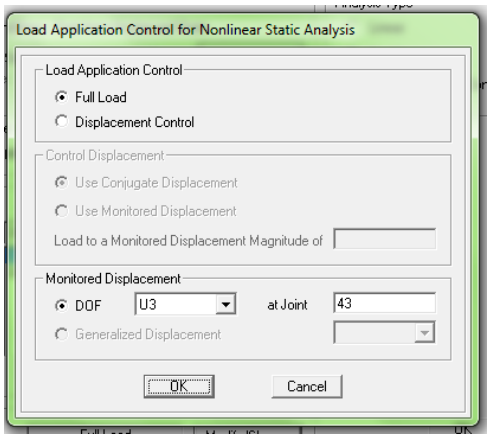
Pembebanan gravitasi dilakukan melalui menu *Define – Analysis Cases – Add New*, ditampilkan dalam Gambar 5.22.



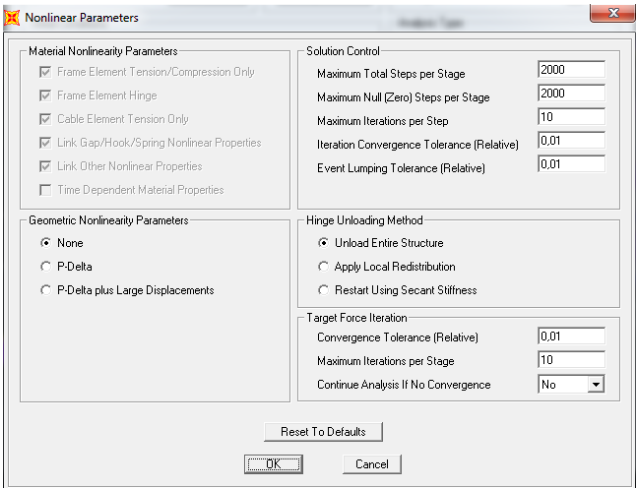
Gambar 5.22 Pengaturan *analysis cases* beban gravitasi

Berdasarkan Gambar 5.22 modifikasi pada *Analysis Cases data* sebagai berikut.

a. *Initial conditions* dipilih *Zero initial conditional*, yang dimaksudkan pembebanan dilakukan pada kondisi awal sebelum menerima beban.
b. Beban yang bekerja pada *Load applied* yaitu beban mati (*dead*) dengan faktor pengali 1, dan beban hidup (*live*) dengan faktor pengali 0,5.
c. *Analisis type* dipilih *nonlinier*
d. Pada kotak dialog *Other parameter*, *Load application – Modify/Show*, nilai DOF = U3, ditampilkan dalam Gambar 5.23.
e. Pada kotak dialog *Other parameter*, *Result saved* dibiarkan *default*
f. Pada kontak dialog *Other parameter*, *Nonlinier parameters – Modify/Show* ditampilkan dalam Gambar 5.24.



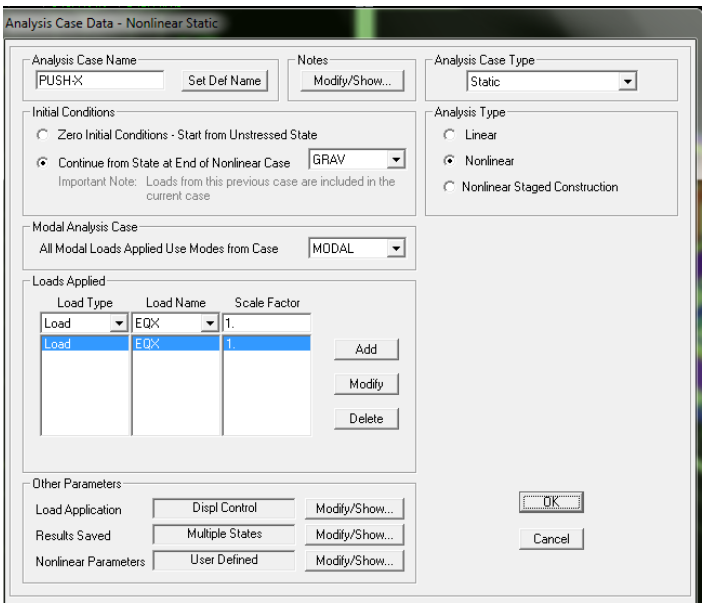
Gambar 5.23 *Load application control for nonlinier analysis*



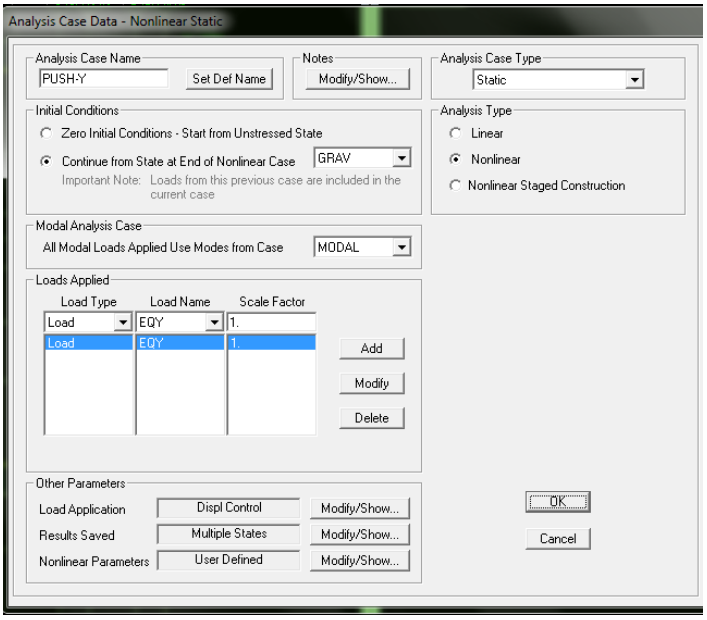
Gambar 5.24 *Nonlinier parameters* beban gravitasi

5.3.3.2 Pembebanan Lateral

Pembebanan lateral ditinjau pada 2 arah yaitu lateral arah X dan lateral arah Y. Sama halnya pada pembebanan gravitasi, pembebanan lateral dilakukan melalui menu *Define – Analysis Cases – Add New.*



Gambar 5.25 Pengaturan *analysis cases* beban lateral arah X (*push* X)

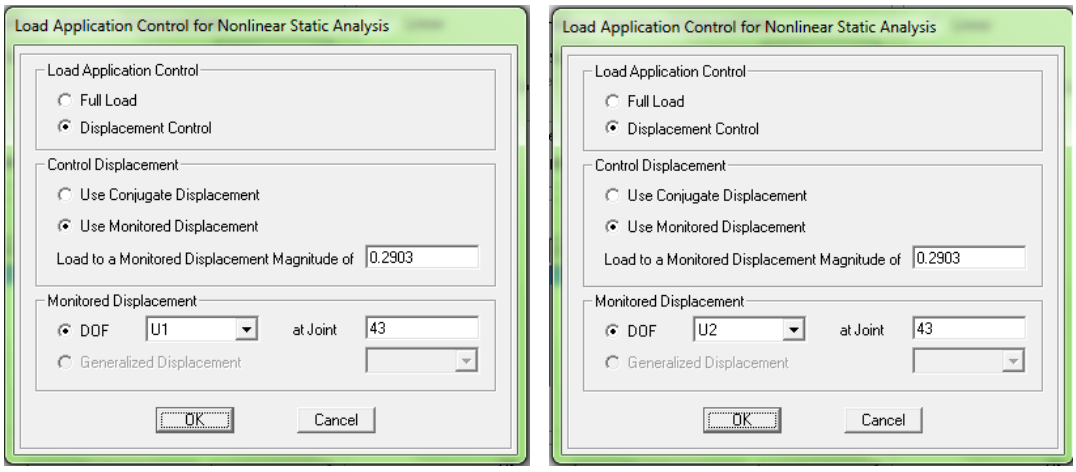


Gambar 5.26 Pengaturan *analysis cases* beban lateral arah Y (*push* Y)

Berdasarkan Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 modifikasi pada *Analysis case data* sebagai berikut.

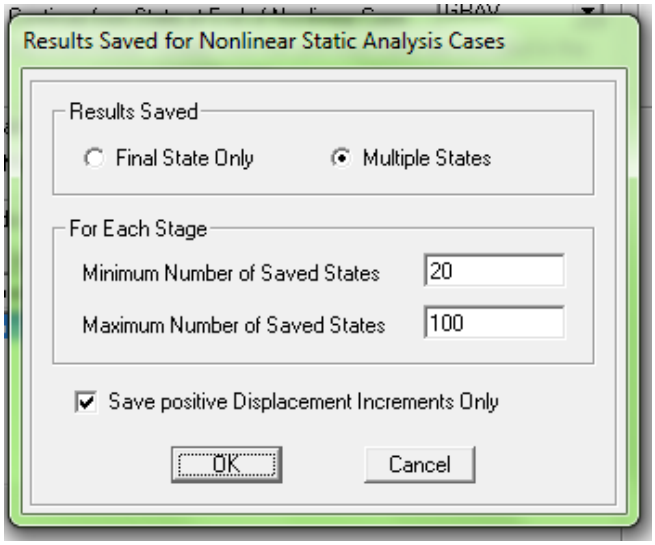
a. *Initial conditions* dipilih *Contineu from state at end of nonlinier case* = GRAV.
b. Beban yang bekerja pada *Load applied* adalah beban gempa statik dengan faktor pengali 1, untuk arah X beban gempa statik EQx dan arah Y beban gempa statik EQy.
c. *Analisis type* dipilih *nonlinier.*
d. Pada kotak dialog *Other parameter, Load application–Modify/Show*. Pada *Control displacement* pilih *Use Monitores Displacement* (0,2903) yang berarti 2% dari tinggi bangunan (14,515 m). *Monitored Displacement* dipilih U1 arah X dan U2 pada arah Y pada joint 43 yaitu pada joint atap, lihat Gambar 5.27.
e. Pada kotak dialog *Other parameter, Result Saved* – Modify/Show - *klik Multi States* untuk lebih jelasnya dapat lihat Gambar 5.28.

Pada dialog *Other Parameters, Nonlinier parameters* – klik *Modify/Show*. Nilai parameter pada *Solution control* diubah seperti pada Gambar 5.29

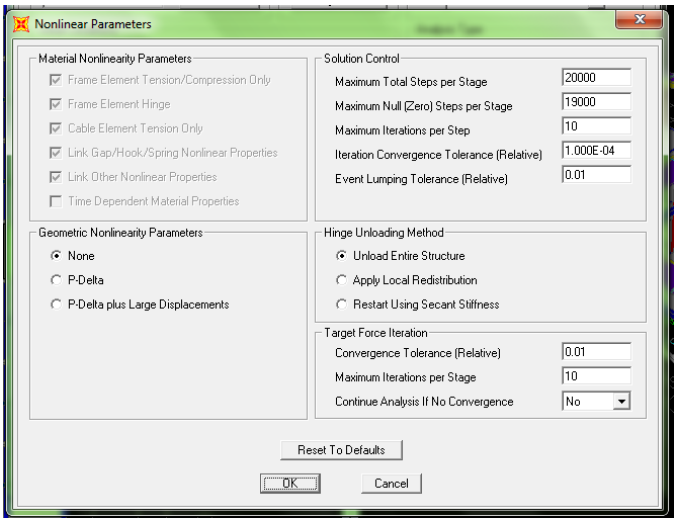


(a) (b)

Gambar 5.27 *Load application control* arah X (a) dan arah Y (b)



Gambar 5.28 *Result saved* pada arah X dan arah Y



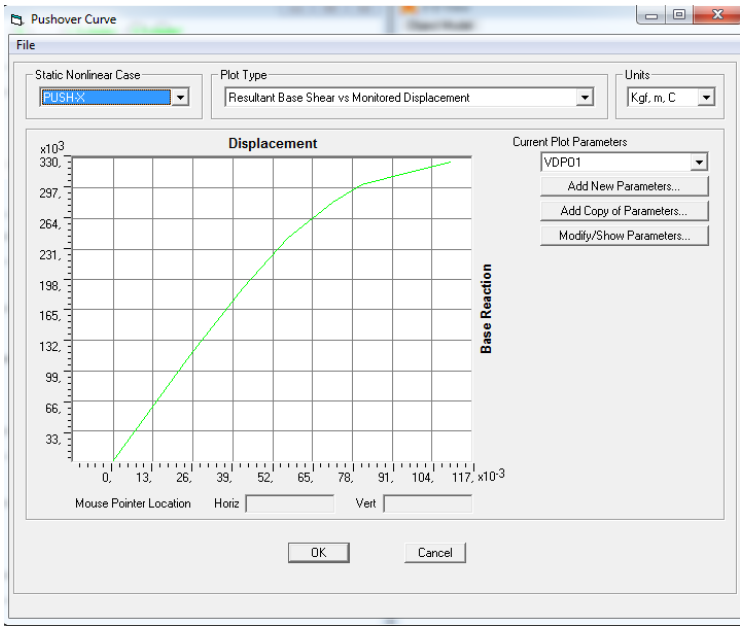
Gambar 5.29 *Nonlinier parameters* pada arah X dan arah Y

5.4 HASIL *PUSHOVER ANALYSIS*

Hasil analisis *pushover* yaitu berupa kurva kapasitas dan titik kinerja sesuai dengan metode ATC-40 kemudian akan didapat hasil akhir berupa level kinerja struktur.

5.4.1 Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (*Displacement, D*) dan gaya geser dasar (V) yang diakibatkan oleh beban statik sebagai beban dorong tiap lantai sampai pada kondisi ultimit bangunan atau target *displacement* yang telah ditentukan. Kurva kapasitas berbentuk nonlinier akibat peningkatan beban yang mengakibatkan elemen struktur berubah dari kondisi elastik menjadi inelastik selanjutnya mengalami keruntuhan struktur. Kurva kapasitas dapat diketahui melalui SAP 2000 dengan cara *Display – Show Statik Pushover Curve*. Kurva kapasitas arah X dan arah Y ditunjukan pada Gambar 5.30 dan Gambar 5.31.

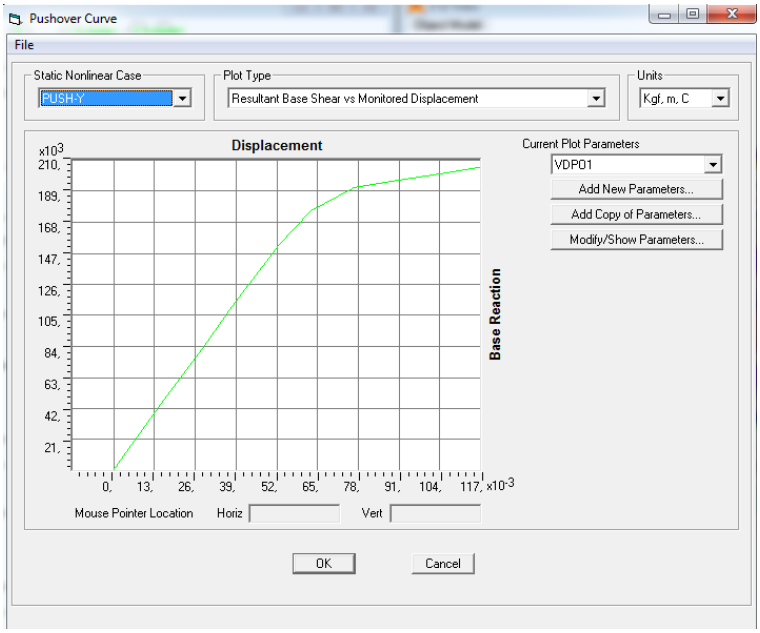


Gambar 5.30 Kurva kapasitas arah X

Dari kurva kapasitas arah X, melalui SAP 2000 diperoleh tabel hubungan antara *displacement* (D) dan *baseshear* (V) dengan cara *File – Display Tables*, ditunjukan pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Data kurva kapasitas arah X

Step	*Displacement* (m)	*Base Forces* (ton)
0	-0,000189	0
1	0,014326	66,467
2	0,025093	115,770
3	0,042373	189,381
4	0,056978	243,206
5	0,071771	281,889
6	0,081117	300,629
7	0,097974	315,848
8	0,110121	325,013
9	0,110125	325,027
10	0,110128	325,029
11	0,110128	325,029
12	0,110129	325,030



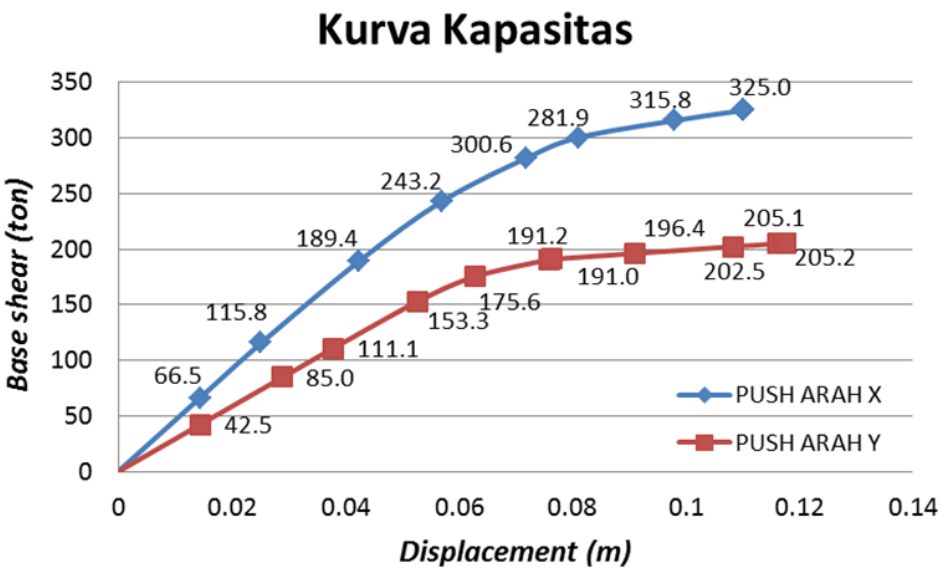
Gambar 5.31 Kurva kapasitas arah Y

Tabel 5.23 Data kurva kapasitas arah Y

Step	*Dispacement* (m)	*Base Forces* (ton)
0	-0,000144	0
1	0,014371	424,84
2	0,028886	849,68
3	0,037815	111,103
4	0,052783	153,293
5	0,062879	175,628
6	0,076012	190,966
7	0,076426	191,206
8	0,090941	196,362
9	0,108358	202,517
10	0,116234	205,127
11	0,117085	205,181
12	0,117086	205,181
13	0,11746	205,194
14	0,117554	205,223
15	0,117566	205,203

Berdasarkan Gambar 5.30 pushover pada pembebanan arah X, analisis berhenti pada langkah (*step*) 12, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol sebesar 0,110129 m dan gaya geser dasar sebesar 325,030 ton. Sedangkan pada Gambar 5.31 menunjukkan pushover pada pembebanan arah Y analisis berhenti pada langkah (*step*) 15, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol sebesar 0,117566 m dan gaya geser dasar sebesar 205,203 ton.

Analisis tidak dapat dilanjutkan lagi untuk mencapai titik kontrol yang ditentukan yaitu sebesar 0,2903 m karena telah terlampauinya kapasitas deformasi pada tiap elemen struktur yang sebelumnya telah didefinisikan pada properti sendi plastis. Perbandingan kurva kapasitas arah X dan Y dapat dilihat pada Gambar 5.32.



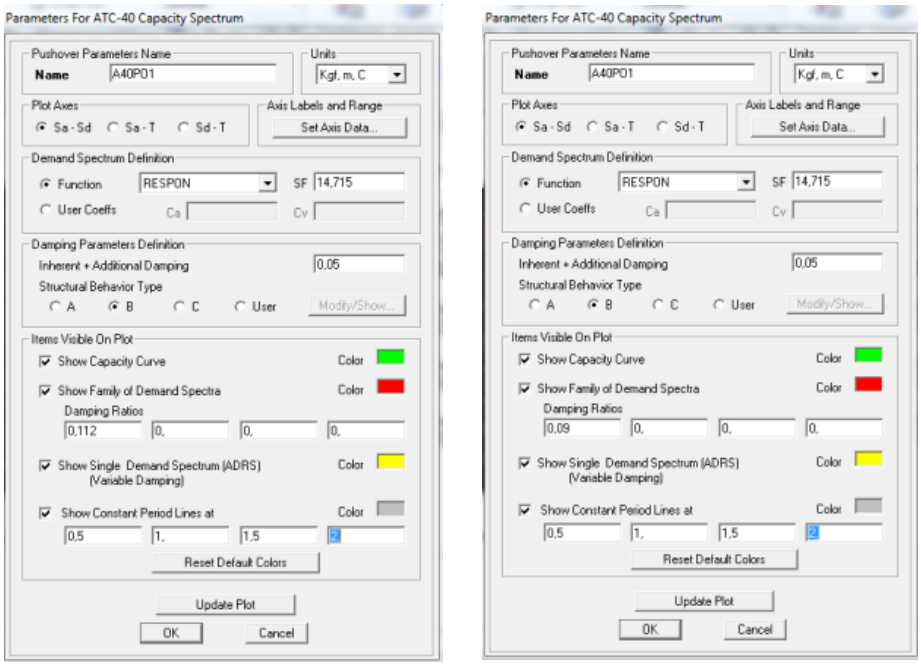
Gambar 5.32 Perbandingan kurva kapasitas arah X dan arahY

Berdasarkan Gambar 5.32, kurva kapasitas arah Y membentuk sudut kemiringan lebih kecil dibandingkan dengan kurva kapasitas arah X. Menurut FEMA 356 (2000), kemiringan kurva dapat memberikan gambaran terhadap kekakuan bangunan. Kurva kapasitas yang memiliki kemiringan cenderung tegak menunjukkan bahwa bangunan memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kurva kapasitas cenderung ke bawah.

5.4.2 Titik Kinerja Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

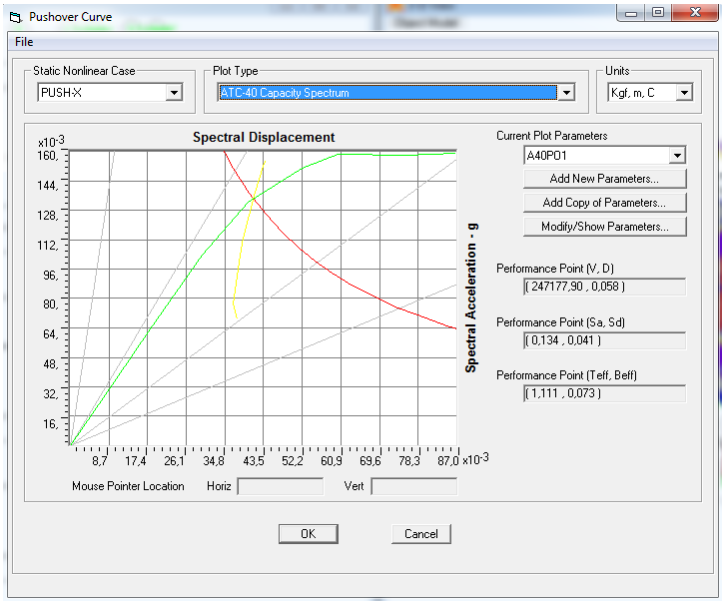
Dalam metode spektrum kapasitas, kurva kapasitas (kurva *pushover*) yang dihasilkan dalam analisis pushover yaitu hubungan perpindahan dan gaya geser dasar oleh program SAP 2000 dikonversi ke dalam bentuk spektrum kapasitas dengan format ADRS (*Acceleration Displacement Respon Spectrum*), yaitu dalam hubungan S_a dan S_d. Parameter spektrum respon yang digunakan sebagai seismic demand oleh program SAP 2000 juga dikonversi ke dalam format ADRS sebagai *spectrum demand.*

Nilai skala faktor yang dimasukkan ke dalam parameter respon spektrum ATC-40 yang digunakan untuk koreksi ordinat spektrum respon adalah sebesar $\frac{I}{R}g$, dengan resiko bangunan (I) = 1,5, reduksi beban gempa (R) = 1 dan g sebesar 9,81 sehingga didapat angka koreksi ordinat spektrum respon sebesar 14,715. Untuk tipe perilaku struktur ditentukan sesuai Tabel 8-4 ATC-40 dimana struktur B merupakan struktur dengan kondisi eksisting sedang (*average*) dan durasi goyangan struktur yang pendek (*short*). Modifikasi parameter spektrum kapasitas pada program SAP 2000 dilakukan melalui *Display – Show Static Pushover Curve* – pada *plot type* pilih ATC-40 *Capacity Spectrum* – klik *Modify/Show Parameter*, dapat dilihat pada Gambar 5.33. Kurva spektrum kapasitas dan *spectrum demand* disajikan pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35.

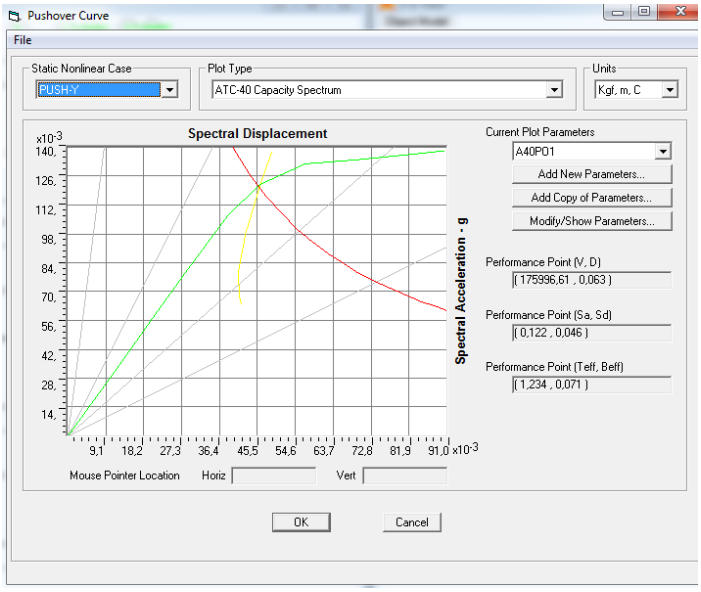


(a) (b)

Gambar 5.33 Parameter metode ATC-40 pada arah X (a) dan arah Y (b)



Gambar 5.34 *Performance point* arah X



Gambar 5.35 *Performance point* arah Y

Pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 menunjukan titik perpotongan kurva kapasitas (garis hijau) dengan *spectrum demand* (garis merah), titik perpotongan ini disebut titik kinerja (*performance point*). Titik kinerja menunjukan besar kapasitas struktur dapat memenuhi demand berupa beban gempa sesuai SNI 03-1726-2012. Nilai *performance point*, waktu getar alami efektif dan redaman viskous efektif berdasarkan metode ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24 *Performance point* metode ATC-40

Arah Beban *Pushover*	*Base Shear* (kg)	*Performance Point*					
		V_t (kg)	δ (m)	Sa	Sd	T eff	B eff
Arah X	325030,04	247177,50	0,058	0,134	0,041	1,111	0,073
Arah Y	205203,96	175995,61	0,063	0,122	0,046	1,234	0,071

Dari Tabel 5.24 dapat dilihat bahwa besarnya nilai gaya geser dasar akibat beban lateral arah X sebesar V_t = 247177,5 kg < V_1 = 325030,04 kg dan akibat beban lateral arah Y sebesar V_t = 175995,61 kg < V_1 = 205203,96 kg. Berdasarkan spektrum kapasaitas (ATC-40), perilaku struktur arah X dan arah Y pada gempa rencana masih dalam kondisi elastis.

Menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 12.6.4.4 bahwa batasan maksimum simpangan adalah 0,02H = 0,02 x 14,515 m = 0,2903 m. Target *displacement* hasil analisis *pushover* akibat beban lateral arah X adalah sebesar δ = 0,058 m < 0,2903 m, dan akibat beban lateral arah Y adalah sebesar δ = 0,063 m < 0,2903 m, sehingga struktur tersebut memenuhi syarat keamanan.

5.4.3 Level Kinerja Struktur

Level kinerja struktur dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift ratio* yang didapat saat titik kinerja tercapai. Menurut ATC-40, batasan *drift ratio* ditentukan dari perbandingan *roof drift* dengan tinggi total bangunan.

Nilai *drift ratio* disajikan dalam Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Nila*i drift ratio*

Arah Pembebanan	Elev. Titik Kontrol (m)	ATC-40	
		δ_t (m)	*Drif ratio* (%)
Arah X	14,515	0,058	0,40
Arah Y	14,515	0,063	0,434

Berikut adalah hitungan untuk memperoleh drift ratio.

1) Maksimum drift arah X

$$\frac{\delta_t}{H} = \frac{0{,}058}{14{,}515} = 0{,}004 < 0{,}01$$

Menurut ATC-40 seperti yang sudah disajikan dalam Tabel 3.10, nilai *drift ratio* adalah < 0,01 maka level kinerja struktur termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy.*

2) Maksimum drift arah Y

$$\frac{\delta_t}{H} = \frac{0{,}063}{14{,}515} = 0{,}00434 < 0{,}01$$

Nilai *drift ratio* adalah < 0,01, maka level kinerja struktur termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy.*

Hal ini menunjukan bahwa apabila gempa terjadi, gedung akan mengalami beberapa kerusakan kecil pada struktur, sehingga bangunan belum dapat beroperasi dan diperlukan beberapa perbaikan pada struktur yang mengalami kerusakan.

5.4.4 Mekanisme Sendi Plastis

Dari hasil analisis *pushover* dengan memberikan beban lateral arah X dan arah Y, maka struktur bangunan akan mengalami leleh (sendi plastis) sampai struktur tersebut tidak mampu menahan gaya yang terjadi, sehingga akhirnya struktur akan runtuh. Perilaku struktur saat beban yang bekerja relatif kecil, maka momen yang bekerja di setiap penampangnya masih dalam keadaan elastis, namun setelah beban ditingkatkan secara bertahap akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang mencapai keadaan plastis.

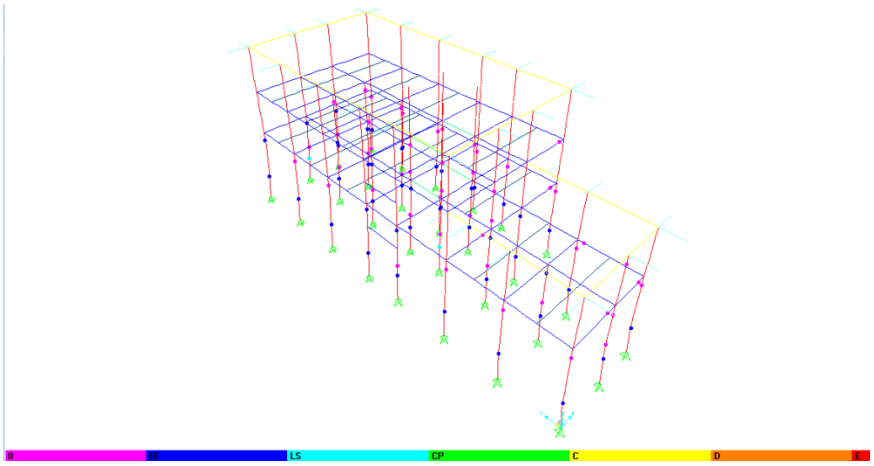
Dalam program SAP 2000, perilaku elemen sendi plastis ditunjukkan dalam bentuk warna yang setiap warna menunjukkan kondisi sendi plastis yang berbeda-beda. Penjelasan mengenai kondisi sendi plastis sesuai warna pada program SAP 2000 disajikan dalam Tabel 5.26 .

Tabel 5.26 Penjelasan warna pada sendi plastis

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B		Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadi pelelehan pertama pada struktur
IO		Kerusakan kecil pada struktur (tidak berarti), kekakuan struktur hampir sama saat sebelum terjadi gempa
LS		Kerusakan mulai dari kecil hingga sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan
CP		Kerusakan parah pada struktur, kekuatan dan kekakuan berkurang banyak
C		Batas maksimum gaya geser masih mampu ditahan gedung
D		Degradasi kekuatan struktur besar, kondisi struktur tidak stabil hampir runtuh
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan runtuh.

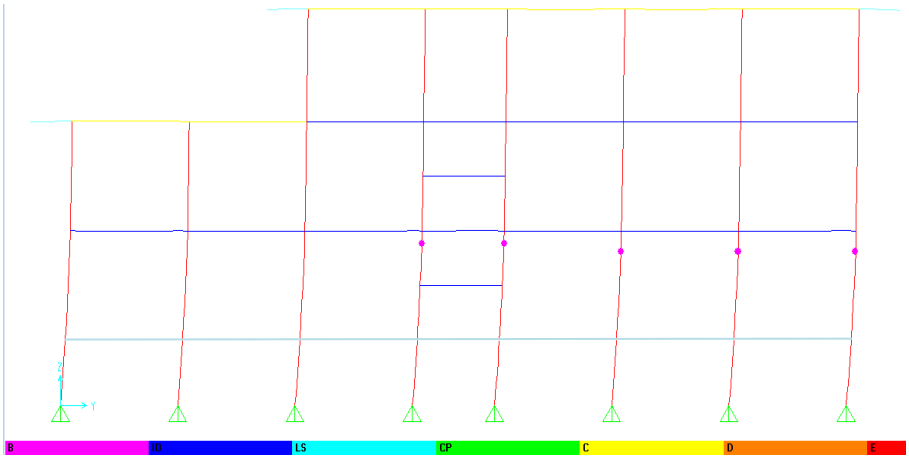
5.4.4.1 Sendi Plastis Struktur *Pushover* Arah X

Dalam program SAP 2000, sendi plastis dapat ditunjukan melalui cara *Display – Show Deformed Shape* dan pilih pembebanan *push* X.



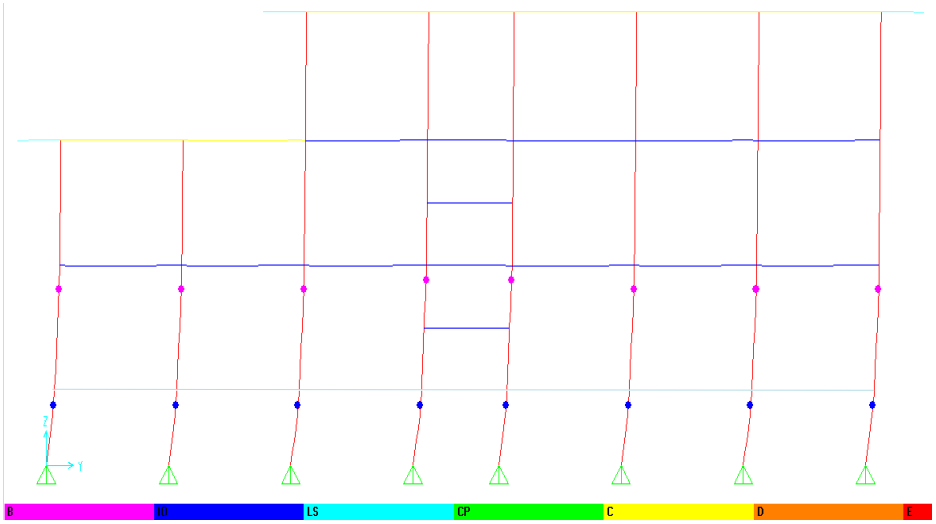
Gambar 5.36 Sendi plastis *pushover* arah X pada *step* 12

Analisis pushover arah X berhenti pada langkah (*step*) 12, yang berarti distribusi sendi plastis sudah pada kondisi maksimum berdasarkan kontrol perpindahan sebesar 0,110129 m. Kondisi tersebut dapat disebabkan karena adanya ketidak stabilan dari adanya sendi plastis yang terbentuk.

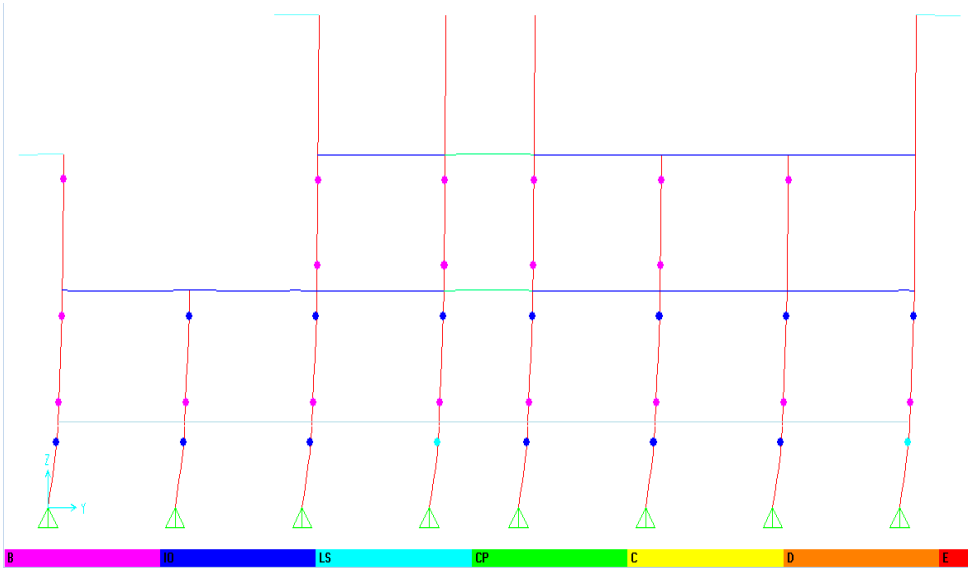


Gambar 5.37 Sendi plastis *pushover* arah X *step* 4

Mulai *step* 4 sendi plastis langsung terjadi pada beberapa kolom pada posisi warna merah muda (B), pada *step* 7 mulai terjadi sendi plastis pada kolom dengan warna biru tua (IO). Mulai *step* 10 kolom mulai terjadi sendi plastis dengan warna biru muda (LS).



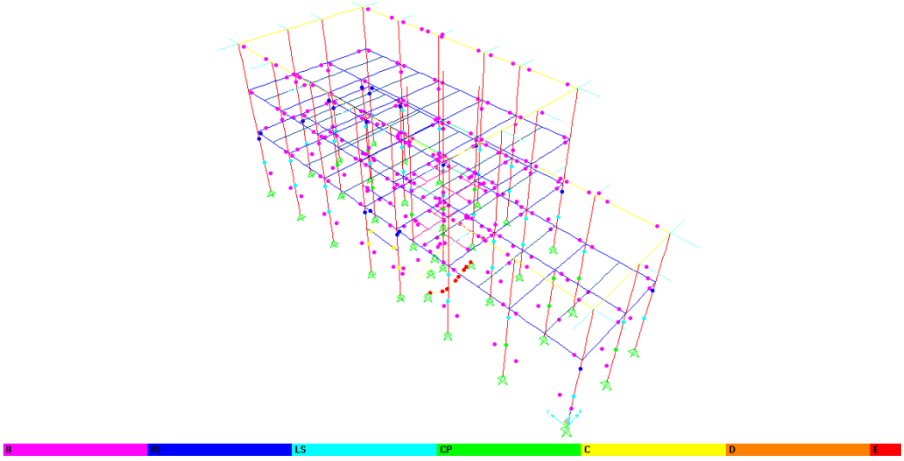
Gambar 5.38 Sendi plastis *pushover* arah X *step* 7



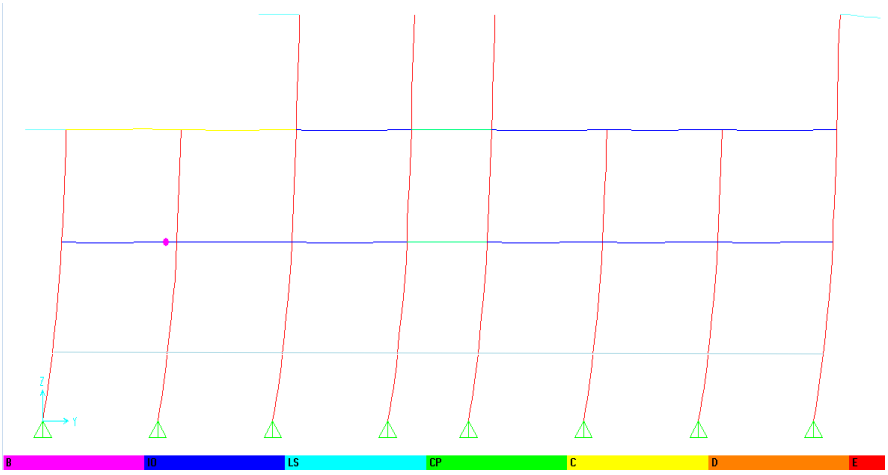
Gambar 5.39 Sendi plastis *pushover* arah X *step* 10

5.4.4.2 Sendi Plastis Struktur *Pushover* Arah Y

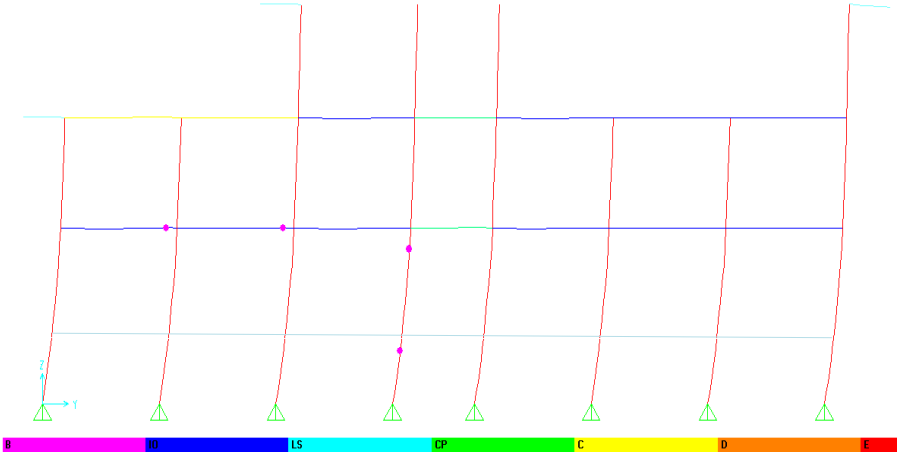
Pada *step* 3 mulai terjadi sendi plastis pada balok dalam posisi warna merah muda (B), sedangkan pada *step* ini sendi plastis pada kolom belum terjadi. Mulai pada *step* 4 sampai *step* 7 mulai terjadi sendi plastis pada kolom dengan warna merah muda (B). Pada *step* 8 beberapa kolom mulai terjadi sendi plastis dengan warna biru tua (IO). Mulai *step* 9 sendi plastis pada kolom mulai dalam posisi biru muda (LS). Pada *step* 10 sendi plastis pada kolom mulai dalam posisi kuning (C).



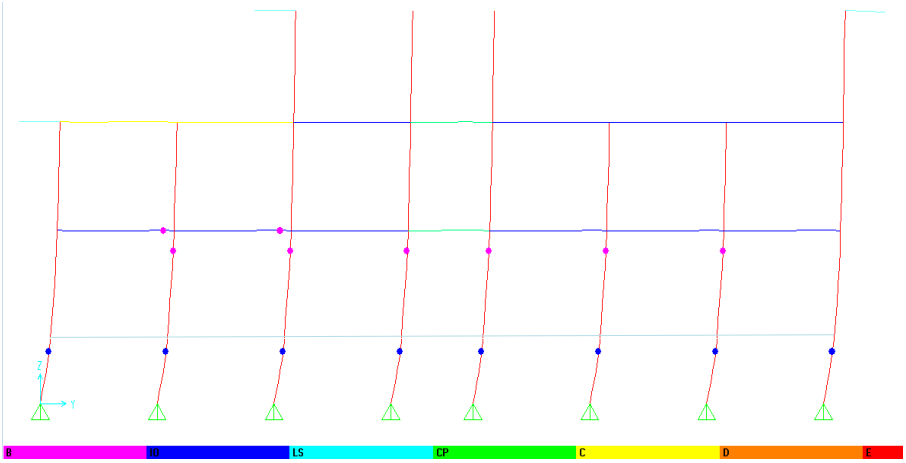
Gambar 5.40 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 15



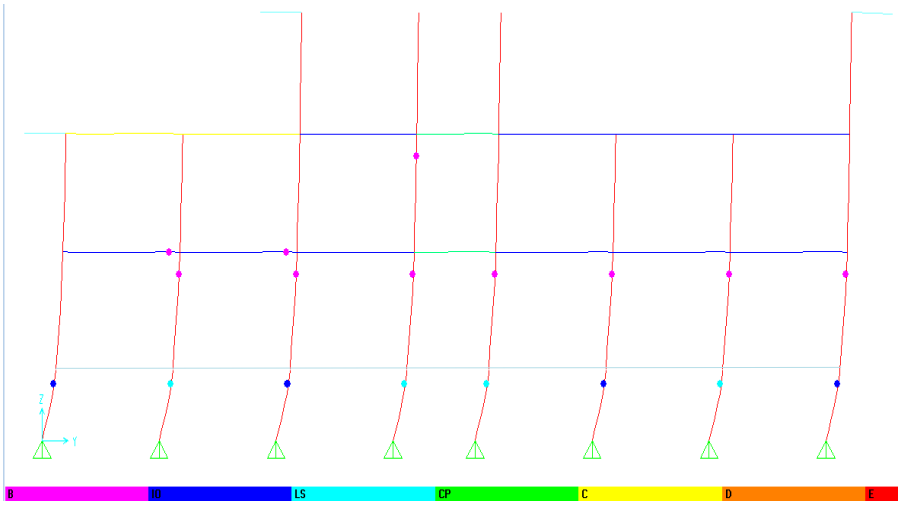
Gambar 5.41 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 3



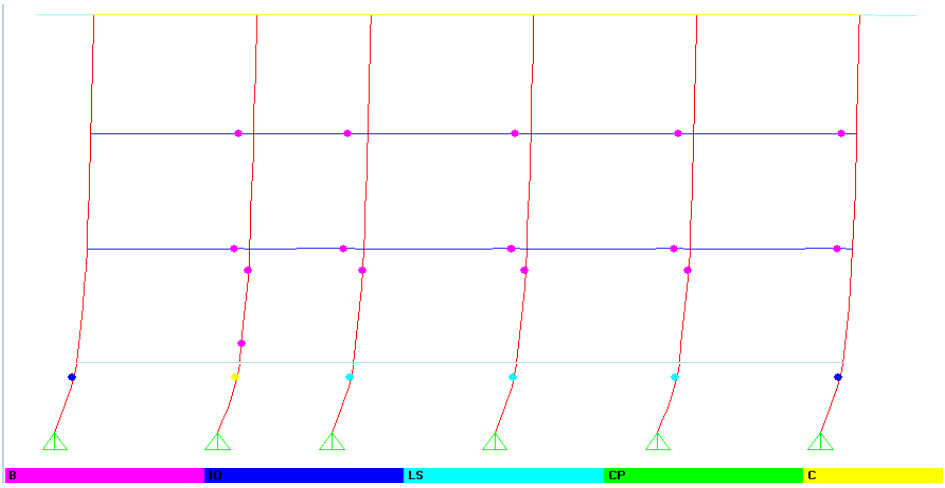
Gambar 5.42 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 4



Gambar 5.43 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 8



Gambar 5.44 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 9



Gambar 5.45 Sendi plastis *pushover* arah Y pada *step* 10

Berdasarkan skema kelelehan sendi plastis akibat *pushover* arah X, elemen yang mengalami sendi plastis pertama langsung terjadi pada kolom dan kolom mengalami sendi plastis level biru muda (IO) lebih dulu dibandingkan pada balok. Hal ini menunjukan bahwa bangunan tersebut mungkin tidak bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) akan tetapi bisa saja bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*).

Pada *pushover* arah Y, elemen yang mengalami sendi plastis pertama terjadi pada balok, akan tetapi pada *step* ke 10 yang mengalami *collapse* adalah pada elemen kolom. Hal ini menunjukan bahwa bangunan tersebut mungkin tidak bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) akan tetapi bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*).

Dari hasil *pushover* arah X dan Y, diketahui bahwa bangunan yang ditinjau berkemungkinan tidak bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) akan tetapi bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*). Untuk menentukan apakah bangunan bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) atau bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*) perlu dilakukan analisis lebih mendalam.

5.5 KAJIAN KERENTANAN BANGUNAN

Kerentanan suatu bangunan dapat diketahui dalam metode HAZUS dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Deskripsi model tipe bangunan yang ditinjau

   Bangunan yang tinjau adalah struktur rangka beton bertulang penahan momen, seperti yang sudah dijelaskan pada Tabel 3.12 maka model bangunan yang ditinjau adalah *Concrete Moment Frame* dengan *range Low-Rise* karena bangunan hanya 3 lantai, jadi label bangunan yang ditinjau adalah C1L.

Tabel 5.27 Model tipe bangunan yang ditinjau

No	Label	*Description*	*Height*			
			Range		*Typical*	
			Name	*Stories*	*Stories*	*Feet*
16	C1L	*Concrete Moment Frame*	*Low-Rise*	1-3	2	20
17	C1M		*Mid-Rise*	4-7	5	50
18	C1H		*High-Rise*	+8	12	120

2. Menentukan *design seismic level*

Dalam menentukan *design seismic level* suatu bangunan yang ditinjau adalah berdasarkan peraturan perencanaan yang digunakan saat bangunan didesain awal. Bangunan yang didesain menggunakan Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 sampai terbitnya SNI T-15-1991-03 atau SNI 03-2847-1992 masuk dalam *low code*. Bangunan yang didesain menggunakan SNI 03-2847-2002 masuk dalam kategori *moderate code*. Sedangkan untuk bangunan yang didesain menggunakan SNI 03-2847-2012 dan seterusnya masuk dalam kategori *high code*.

Bangunan yang ditinjau didesain awal menggunakan SNI 2002 sehingga design seismic level adalah *moderate seismic level*.

3. Membuat *response curve*

Respon curve adalah hubungan antara *spectral displacement*, S_d (sb X) dan *spectral acceleration*, S_a (sb Y). *Spectral acceleration* dapat dicari dengan

menggunakan rumus atenuasi. Seperti yang sudah dibahas pada bab sebelumnya, rumus atenuasi yang sesuai dengan karakteristik gempa Jogja 2006 adalah persamaan atenuasi menurut Joyner – Boore –Fumal 1997. Sebelum menghitung persamaan atenuasi, dilakukan langkah-langkah berikut.

a. Menentukan koordinat gedung

   Melalui www.puskim.co.id diketahui koordinat gedung yang ditunjau terletak pada koordinat 7,7734 BT 110,3873 LS.

b. Menentukan koordinat episenter

   Dari data BMG, episenter gempa jogja berada pada koordinat 8,03 BT 110,32 LS.

c. Mencari selisih koordinat gedung dan episenter

   Koordinat gedung = 7,7734º BT 110,3873º LS

   Koordinat episenter = 8,03º BT 110,32º LS –

   Selisih = 0,2566º BT

   = 0,0673º LS

d. Mencari jarak episenter

   Jarak 1º setara dengan 111,261 Km, sehingga dapat diketahui jarak bujur dan lintang.

   Bujur = 0,2566º x 111,261 = 28,549 Km

   Lintang = 0,0673 º x 111,261 = 7,4878 Km

   Jarak episenter ke gedung dapat diketahui dengan cara berikut.

   r_{jb} $= \sqrt{28{,}549^2 x 7{,}4878^2}$

   $= \sqrt{871{,}1125}$

   = 29,515 Km

e. Persamaan atenuasi Joyner – Boore – Fumal 1997

   Ln [Y] = b1+b2(M-6) + b3 $(M-6)^2$ + b5 x ln (r) + bv x ln (VS/VA).

   Nilai M = 6,3 Mw, nilai VS = 330,19 m/s sedangkan nilai r dihitung dengan cara berikut.

   r $= \sqrt{rjb^2 + h^2}$

$$= \sqrt{29{,}515^2 + 5{,}57^2}$$

$$= 30{,}0361$$

Untuk koefisien lainnya digunakan koefisien sesuai Gambar 3.16.

Hasil persamaan atenuasi disajikan dalam Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Hasil persamaan atenuasi Joyner – Boore – Fumal 1997

Period	r	ln (r)	b1	b2	b5	bv
0,00	30,0361	3,4024	-0,313	0,527	-0,778	-0,371
0,10	30,1738	3,4069	1,006	0,753	-0,934	-0,212
0,20	30,3385	3,4124	0,999	0,711	-0,924	-0,292
0,30	30,1069	3,4047	0,598	0,769	-0,893	-0,401
0,40	29,9208	3,3985	0,212	0,831	-0,867	-0,487
0,50	29,8027	3,3946	-0,122	0,884	-0,846	-0,553
0,60	29,7303	3,3921	-0,401	0,928	-0,83	-0,602
0,75	29,6744	3,302	-0,737	0,979	-0,813	-0,653
1,00	29,6573	3,3897	-1,133	1,036	-0,798	-0,698
1,50	29,7743	3,3936	-1,552	1,085	-0,796	-0,704
2,00	30,0893	3,4041	-1,669	1,085	-0,812	-0,655

Lanjutan Tabel 5.28 Hasil persamaan atenuasi Joyner – Boore – Fumal 1997

Period	VA	h	ln (VS/VA)	ln (Y)	SA
0,00	1396	5..57	-1,4416	-2,267	0,104
0,10	1112	6.27	-1,2142	-1,713	0,180
0,20	2118	7.02	-1,8585	-1,417	0,243
0,30	2133	5.94	-1,8656	-1,478	0,228
0,40	1954	4.91	-1,7779	-1,630	0,196
0,50	1782	4.13	-1,6852	-1,804	0,165
0,60	1644	3.57	-1,6052	-1,978	0,138
0,75	1507	3.07	-1,5182	-2,212	0,109
1,00	1406	2.9	-1,4483	-2,522	0,080
1,50	1479	3.92	-1,4994	-2,738	0,065
2,00	1795	5.85	-1,6930	-2,999	0,050

f. Menghitung SD

Menghitung SD menggunakan persamaan (3.22).

SD $= 9,8 \times SA \times T^2$

SD(0,00) $= 9,8 \times 0,104 \times 0,00^2$

$= 0$

SD(0,10) $= 9,8 \times 0,180 \times 0,10^2$

$= 0,018$

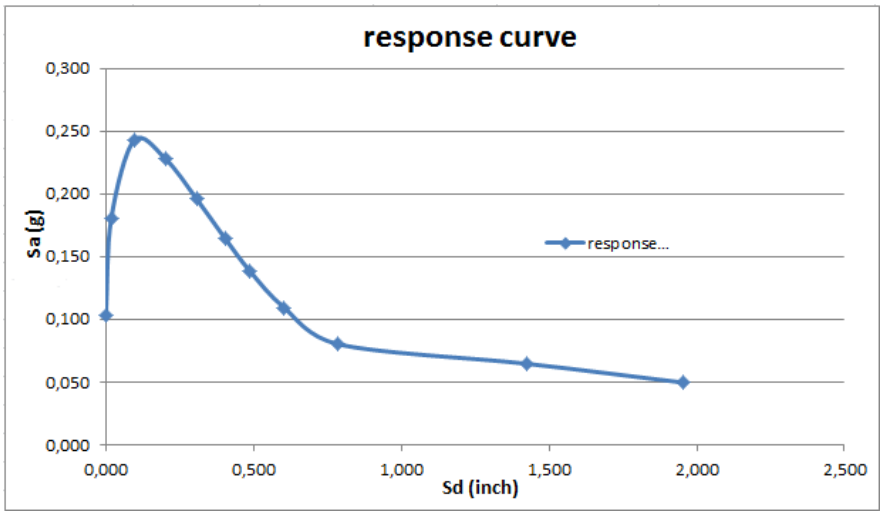
SD(2,00) $= 9,8 \times 0,050 \times 2,00^2$

$= 1,954$

Nilai SA dan SD disajikan dalam Tabel 5.29.

Tabel 5.29 Nilai SA dan SD hasil persamaan atenuasi

Period (s)	SA (g)	SD (inch)
0,00	0,104	0,000
0,10	0,180	0,018
0,20	0,243	0,095
0,30	0,228	0,201
0,40	0,196	0,307
0,50	0,165	0,403
0,60	0,138	0,488
0,75	0,109	0,603
1,00	0,080	0,787
1,50	0,065	1,427
2,00	0,050	1,954



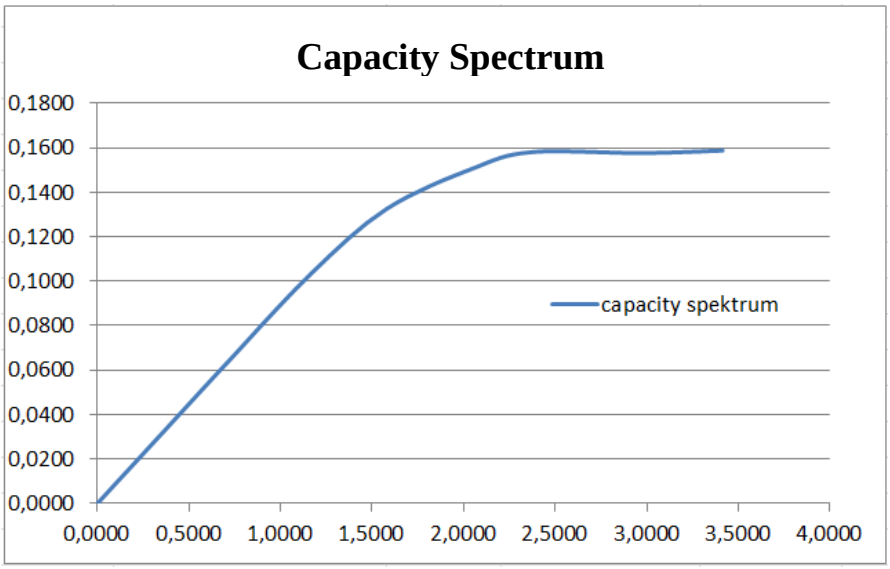
Gambar 5.46 *Response curve* dari nilai Sa(sb Y) dan Sd(sb X)

4. *Capacity spectrum*

Capacity spectrum diperoleh dari hasil *pushover* yaitu kurva hubungan antara Sa (g) dan Sd (Inch) yang disajikan dalam Tabel 5.30.

Tabel 5.30 Nilai Sa dan Sd *capacity spectrum*

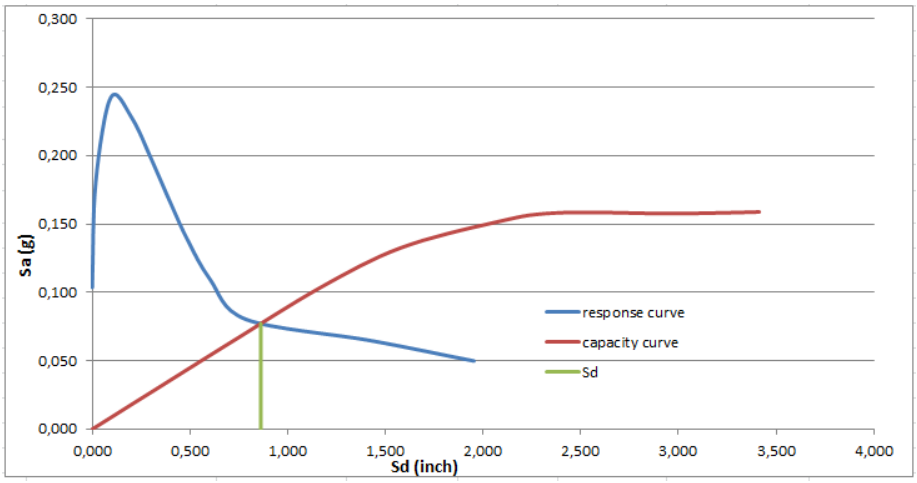
Sa (g)	Sd (inch)
0	0
0,0363	0,4057
0,0632	0,7066
0,1035	1,1672
0,1325	1,5775
0,1508	2,0501
0,1581	2,3697
0,1577	2,9727
0,1588	3,4134
0,1588	3,4136
0,1588	3,4136
0,1588	3,4137
0,1588	3,4137



Gambar 5.47 *Capacity spectrum*

5. Perpotongan antara *response curve* dan *capacity spectrum*

   Gambar 5.50 menunjukan perpotongan antara *response curve* dan *capacity spectrum*. Dari perpotongan tersebut diperoleh nilai SD = 0,863.



Gambar 5.49 Perpotongan antara *response curve* dan *capacity spektrum*

6. *Fragility curve*

Nilai SD = 0,863 dari hasil perpotongan antara *response curve* dan *capacity curve* digunakan untuk mengetahui kemungkinan kejadian di masa mendatang, yaitu sebagai *fragility curve.* Untuk membuat *fragility curve* digunakan koefisien-koefisien sesuai dengan *code seismic* dan model tipe bangunan seperti pada Gambar 3.11.

Probabilitas kerentanan dihitung menggunakan Persamaan (3.19).

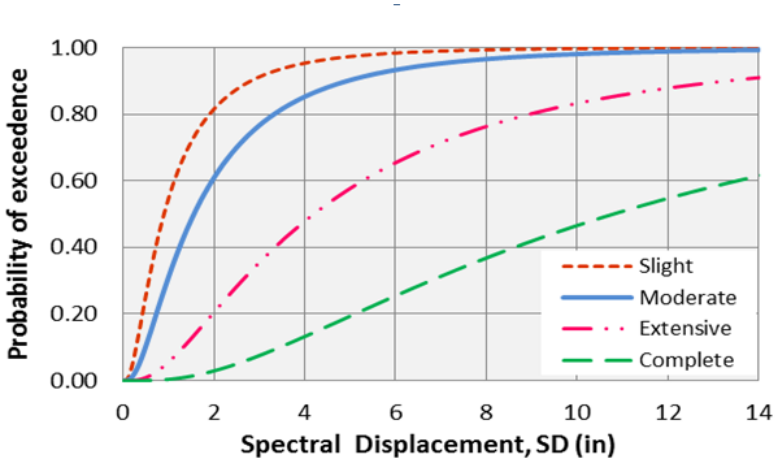
Hasil probabilitas kerentanan disajikan dalam Tabel 5.31 berikut.

Tabel 5.31 Probabilitas kerentanan gedung

Slight						
Sd	S ds	β_{ds}	Sd / S ds	Ln (Sd / S ds)	Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}	Φ[Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}]
0,863	0,9	0,89	0,9588	-0,04198	-0,04716	0,4812
Moderate						
Sd	S ds	β_{ds}	Sd / S ds	Ln (Sd / S ds)	Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}	Φ[Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}]
0,863	1,56	0,9	0,553	-0,592	-0,6578	0,2553
Extensive						
Sd	S ds	β_{ds}	Sd / S ds	Ln (Sd / S ds)	Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}	Φ[Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}]
0,863	4,2	0,9	0,2054	-1,5824	-1,7582	0,0394
Complete						
Sd	S ds	β_{ds}	Sd / S ds	Ln (Sd / S ds)	Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}	Φ[Ln (Sd / S ds)/ β_{ds}]
0,863	1,8	0,89	0,0799	-2,5258	-2,8391	0,0023

Tabel 5.32 *Cumulative probability*

Cumulatif probability	*Slight*	*Moderate*	*Extensive*	*Complete*	*None*
	0,4811	0,2553	0,0394	0,0023	0,2218
	48,12 %	25,53 %	3,94 %	0,23 %	22,18%



Gambar 5.49 *Fragility curve*

Gambar 5.51 menunjukkan bahwa gedung yang diteliti dengan dengan desain *moderate code* memiliki *fragility curve* yang cukup landai, ini menunjukkan bahwa kemungkinan bangunan tidak rusak lebih besar dibandingkan kemungkinan rusak. Nilai Sd pada angka 0,1 inch *spectral displacement* pertama sama sekali tidak terjadi kerusakan.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas pembebanan arah X dan arah Y. Kurva kapasitas pembebanan arah X berhenti pada langkah (*step*) 12 pada perpindahan titik kontrol sebesar 0,110129 m dan gaya geser dasar sebesar 325,030 ton. Sedangkan pada kurva kapasitas pembebanan arah Y analisis berhenti pada langkah (*step*) 15, yaitu pada saat perpindahan titik kontrol sebesar 0,117566 m dan gaya geser dasar sebesar 205,203 ton. Terdapat perbedan antara kurva kapasitas pembebanan arah X dan arah Y dimana kurva kapasitas pembebanan arah Y membentuk sudut lebih kecil dibandingkan kurva kapasitas pembebanan arah X, yang menunjukan bahwa struktur arah X memiliki kekakuan yang lebih tingi dibandingkan arah Y. Kekakuan arah X bisa dipengaruhi karena sumbu kolom terkuat berada pada arah X, kolom arah X memiliki momen inersia lebih besar dibandingkan arah Y, sehingga momen inersia yang lebih besar mempengaruhi kekakuan struktur arah X.
2. Dari hasil perhitungan drift ratio diperoleh nilai drift ratio pada pembebanan arah X adalah 0,004 < 0,01, sehingga dapat disimpulkan bahwa level kinerja struktur pada arah X adalah *Immediate Occupancy*. Sedangkan nilai drift ratio pembebanan arah Y adalah 0,00434 < 0,01, sehingga dapat disimpulkan bahwa level kinerja struktur arah Y adalah *Immediate Occupancy.*
3. Akibat pembebanan lateral arah X dan Y secara bertahap, bangunan mengalami sendi plastis baik pada balok maupun kolom. Mekanisme sendi plastis yang terjadi setelah analisis pushover adalah sebagai berikut.

a. Pada pembebanan arah X, pada *step* 4 sendi plastis langsung terjadi pada kolom dalam posisi warna merah muda (B). Pada step 7 kbeberapa kolom mulai dalam posisi warna biru tua (IO). Mulai *step* 10 sendi plastis pada salah satu kolom mulai dalam posisi biru muda (LS).

   Berdasarkan skema kelelehan sendi plastis akibat *pushover* arah X, elemen yang mengalami sendi plastis pertama langsung terjadi pada kolom. Hal ini menunjukan bahwa bangunan tersebut mungkin tidak bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) akan tetapi bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*).

b. Pada pembebanan arah Y, sendi plastis mulai terjadi mulai *step* 3 yang terjadi pada beberapa balok dengan posisi warna merah muda (B), sedangkan kolom pada step tersebut belum mengalami sendi plastis. Mulai pada *step* 4 sampai *step* 7 kolom mulai mengalami sendi plastis dalam posisi warna merah muda (B). Pada *step* 8 beberapa kolom mulai mengalami sendi plastis dalam posisi warna biru tua (IO). Mulai *step* 9 sendi plastis pada kolom mulai dalam posisi biru muda (LS). Pada step 10 kolom mulai mengalami sendi plastis pada posisi warna kuning (C)

   Pada *pushover* arah Y, elemen yang mengalami sendi plastis pertama terjadi pada balok, akan tetapi pada *step* ke 10 yang mengalami *collapse* adalah pada elemen kolom. Hal ini menunjukan bahwa bangunan tersebut mungkin tidak bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) akan tetapi bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*). Dari Hasil pushover arah X dan Y, diketahui bahwa bangunan yang ditinjau tidak aman terhadap gempa karena bersifat kolom lemah balok kuat.

   Dari Hasil pushover arah X dan Y, diketahui bahwa bangunan yang ditinjau berkemungkinan tidak bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) akan tetapi bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*). Untuk menentukan apakah bangunan bersifat SCWB (*Strong Column Weak Beam*) atau bersifat kolom lemah balok kuat (*Weak Column Strong Beam*) perlu dilakukan analisis lebih mendalam.

4. Setelah dilakukan analisis tingkat kerentanan bangunan berdasarkan *HAZUS*, diperoleh bentuk kurva kerentanan yang cukup landai.

   Dari nilai *cumulative probability* menunjukkan bangunan diperkirakan mengalami kerusakan tingkat *slight* dengan probabilitas sebesar 48,12 %, diperkirakan mengalami kerusakan tingkat *moderate* dengan probabilitas sebesar 25,53 %, diperkirakan mengalami kerusakan tingkat *extensive* dengan probabilitas sebesar 3,94 %, diperkirakan mengalami kerusakan tingkat *complete* dengan probabilitas sebesar 0,23% sehingga nilai total *vulnerability* adalah 48,12 %, bangunan tidak mengalami kerusakan sama sekali sebesar 22,19 %.

6.2 SARAN

Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai *pushover* dan kajian kerentanan bangunan, guna mendapatkan hasil yang lebih baik diberikan saran sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada bangunan yang lebih kompleks dan lokasi bangunan yang berada pada daerah yang sangat rawan terjadi gempa untuk analisis *pushover* dan kajian kerentanan bangunan, sehingga diharapkan didapatkan hasil yang lebih signifikan.
2. Menggunakan *software* analisis struktur (SAP 2000, ETABS, dll) versi terbaru yang akan mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Untuk menggunakan *hardware* dengan spesifikasi tinggi, diharapkan supaya mempercepat proses *running pushover* dan kemungkinan kegagalan *running* lebih kecil.
4. Menggunakan metode analisis lain misalnya metode koefisien perpindahan untuk analisis *pushover.*
5. Melanjutkan penelitian ke probabilitas pada tiap-tiap level kerusakan, sehingga didapatkan hasil yang lebih komprehensif.
6. Melanjutkan penelitian lebih lanjut tentang evaluasi SCWB ((*Strong Column Weak Beam)* terhadap konsep secara analitik.

DAFTAR PUSTAKA

ATC-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Volume I, California, Seismic Safety Commission State of California.

Afandi, R,N., 2010, Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis *Pushove*r Menggunakan Program SAP 2000, *Tugas Akhir* . (Tidak Diterbitkan). Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

BSN, 2012, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2012, Badan Standarisasi Nasional.

Departemen PU, 1987, Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1. 3.5.3.1987, Yayasan Badan Penerbit PU.

Dewobroto, Wiryanto.,2005, "Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover", *Civil Engineering National Conference : Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*, Unika Soegijapranata, Semarang.

Faisal, E. 2016., Evaluasi Kinerja Struktur Gedung UPT Rusunawa Grha Bina Harapan Yogyakarta, Tesis, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia

FEMA-356, 2000, *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*, Virginia, American Society of Civil Engineers .

FEMA-440, 2005, *Improvement of Nonliniear Static Seismic Analysis Procedures*, Virginia, American Society of Civil Engineers .

Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2003, "HAZUS-MH MR4 Technical Manual", Washington, DC, U.S.A.

Irsyam, M., 2010, Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Jamal, A.U.,2011, Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Kuliah Umum "Dr. Sardjito:, Tesis, Universitas Islam Indonesia,Yogyakarta.

Muntafi, Yunalia., 2012, Development of Pushover Analysis on HAZUS Method to Determine Building Damage Probability as an Earthquake Mitigation Efforts, *Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Planning, Islamic University of Indonesia*, Yogyakarta.

Muntafi, Yunalia., 2017, Teknik Kegempaan, Atenuasi, Spektra Percepatan dan Respon Spektrum, Yogyakarta, 2017.

Musli, M., Mahesworo, P., Madijono, R., Siswoyo., Pramono, S., Dewi, K., Budiarta., Sativa,O., Sulistyo, B., Swastikarani, R., Oktavia, N., Moehajirin., Effendi, N., Wijaya., Subadyo, B., Mujianto., Suwarto, Pengukuran Vs30 Menggunakan Metode MASW Untuk Wilayah Yogyakarta, Jakarta Pusat, 19 September 2016.

Oktopianto, Y dan Andayani, R., 2013, Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis, *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil)*, Vol. 5 Oktober 2013, Depok.

Purbolaras, Satyarno , Pratomo., 2012, Belajar SAP 2000, Seri 2, Zamil Publishing, Yogyakarta.

Widodo., 2001, Respon Dinamik Struktur Elastik, UII Press, Jogjakarta.

Widodo., 2012, Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

Wikipedia, 2016, Gedung Runtuh Akibat Gempa Jogja 2006, http//id.wikipedia.org/wiki/Gedung-Runtuh-Akibat-Gempa-Jogja-2006, Diakses pada tanggal 25 Januari 2016.

Lampiran 1 : beban mati

BAHAN BANGUNAN

Baja	7.850 kg/m^3
Batu alam	2.600 kg/m^3
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m^3
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m^3
Batu pecah	1.450 kg/m^3
Besi tuang	7.250 kg/m^3
Beton ([1])	2.200 kg/m^3
Beton bertulang ([2])	2.400 kg/m^3
Kayu (Kelas I) ([3])	1.000 kg/m^3
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m^3
Pasangan bata merah	1.700 kg/m^3
Pasagang batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m^3
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m^3
Pasangaan batu karang	1.450 kg/m^3
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600 kg/m^3
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m^3
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m^3
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m^3
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m^3
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m^3

KOMPONEN GEDUNG

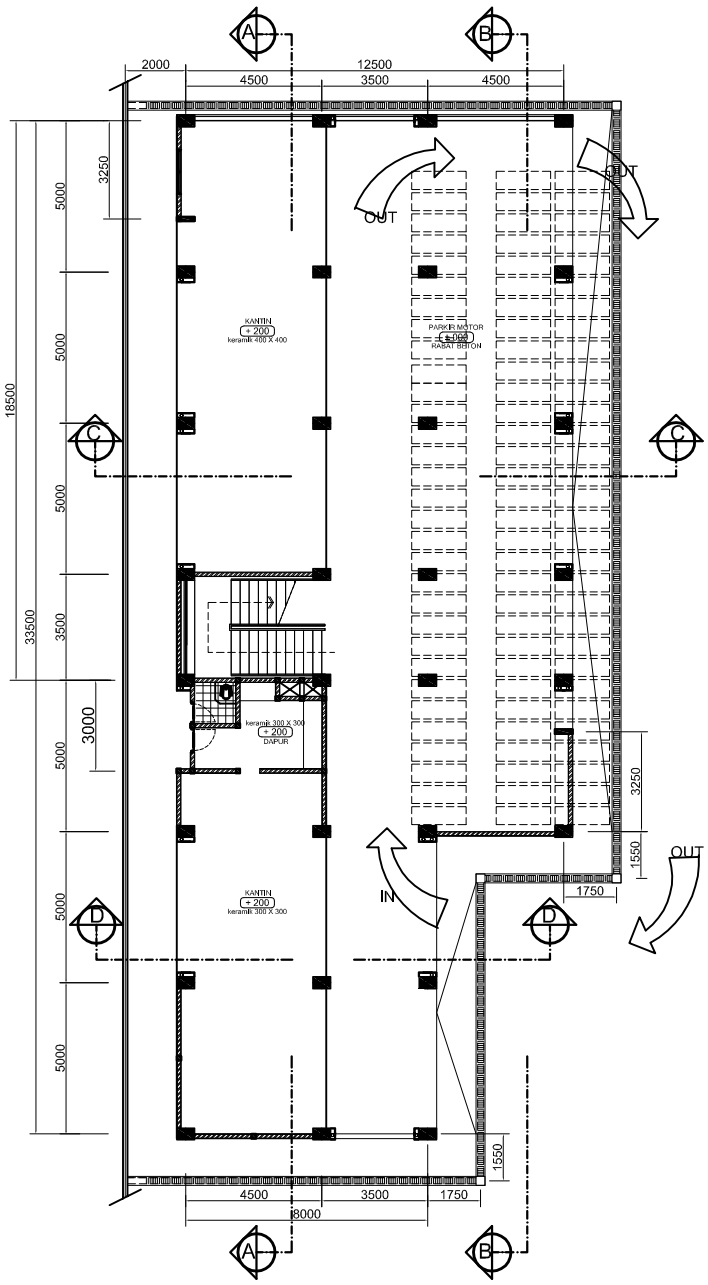
Adukan, per cm tebal:	
– dari semen	21 kg/m^2
– dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m^2
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m^2
Dinding pasangan bata merah	
– satu batu	450 kg/m^2
– setengah batu	250 kg/m^2

Dinding pasangan batako:	
Berlubang:	
– tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m²
– tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m²
Tanpa lubang	
– tebal dinding 15 cm	300 kg/m²
– tebal dinding 10 cm	200 kg/m²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
– semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m²
– kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	10 kg/m²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m²	40 kg/m²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7 kg/m²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m² bidang atap	50 kg/m²
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m² bidang atap	40 kg/m²
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 kg/m²
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m²

Lampiran 2 : beban hidup

a.	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m²
b.	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/m²
c.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m²
d.	Lantai ruang olah raga.	400 kg/m²
e.	Lantai ruang dansa	500 kg/m²
f.	Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m²
g.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500 kg/m²
h.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300 kg/m²
i.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	500 kg/m²
j.	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	250 kg/m²
k.	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/m²
l.	Lantai gedung parkir bertingkat: – untuk lantai bawah – untuk lantai tingkat lainnya	800 kg/m² 400 kg/m²
m.	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300 kg/m²

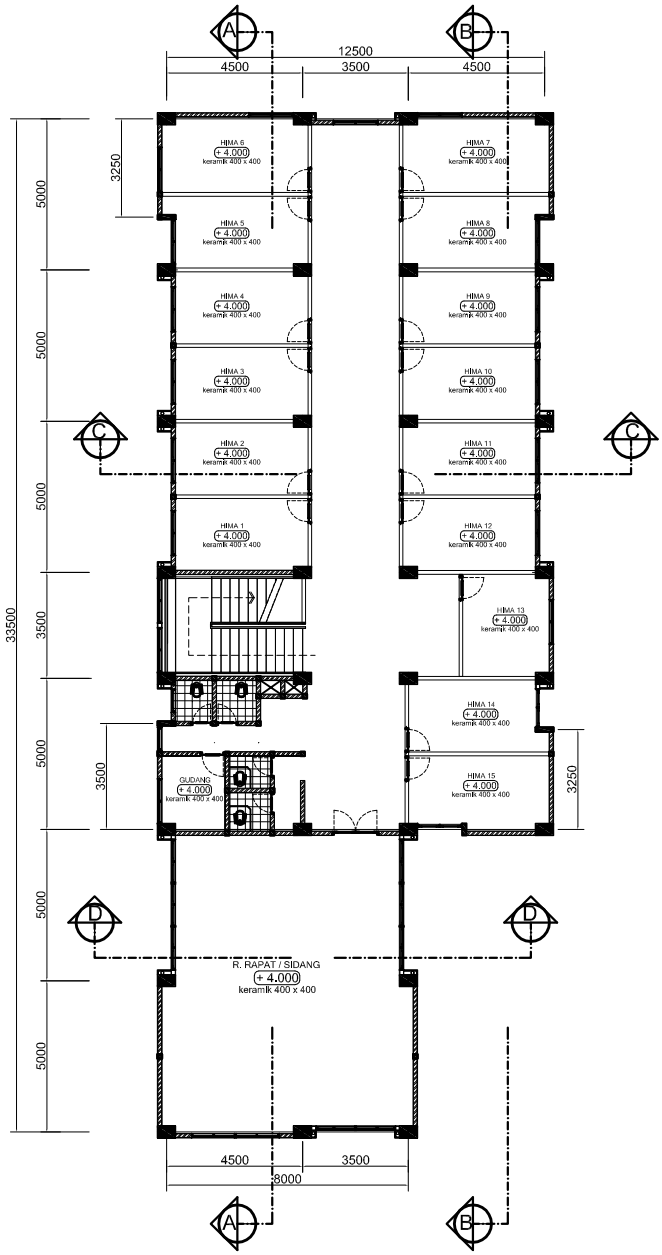
Lampiran 3 : Denah Lantai 1



DENAH LANTAI 1

Skala 1 : 250

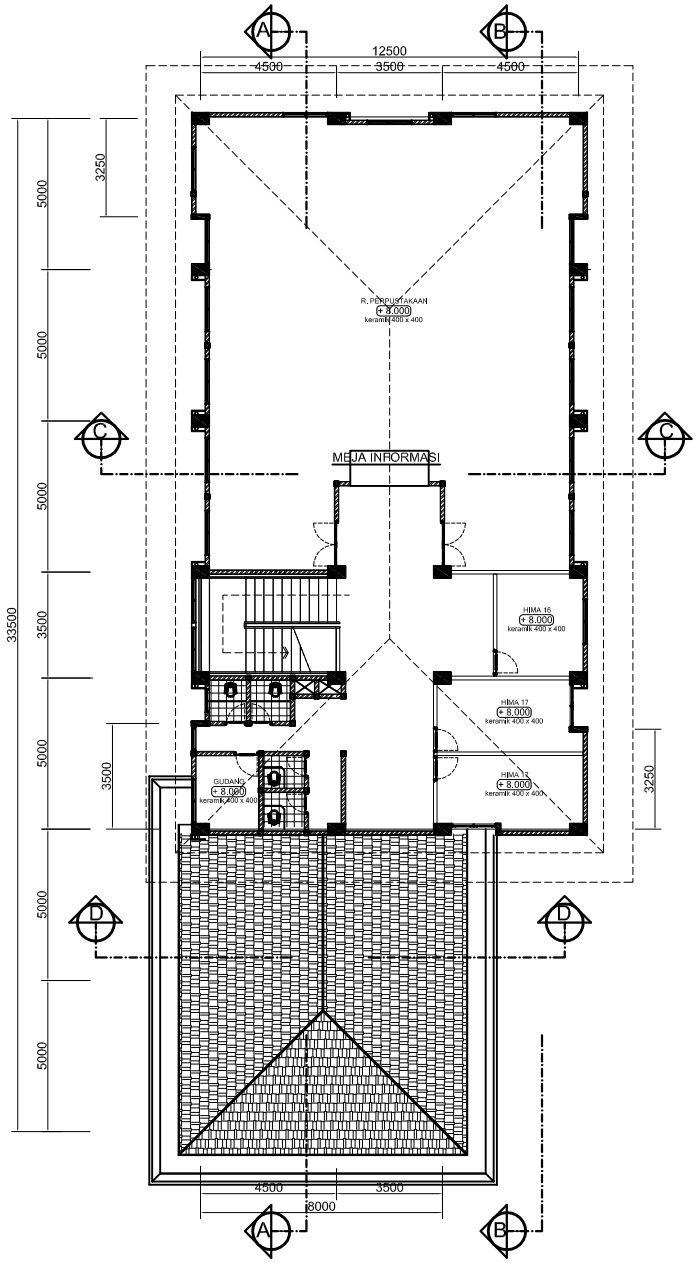
Lampiran 4 : Denah Lantai 2



DENAH LANTAI 2

Skala 1 : 150

Lampiran 5 : Denah Lantai 3



DENAH LANTAI 3

Skala 1 : 150

Lampiran 6 : Tampak Depan

TAMPAK DEPAN / UTARA

Skala 1 : 150

Lampiran 7 : Tampak Samping Barat



TAMPAK SAMPING / BARAT

Skala 1 : 150

Lampiran 8 : Tampak Samping Timur

TAMPAK SAMPING / TIMUR

Skala 1 : 150

Lampiran 9 : Potongan A-A

POTONGAN A -- A

Skala 1 : 150

Lampiran 10 : Potongan B-B

POTONGAN B -- B

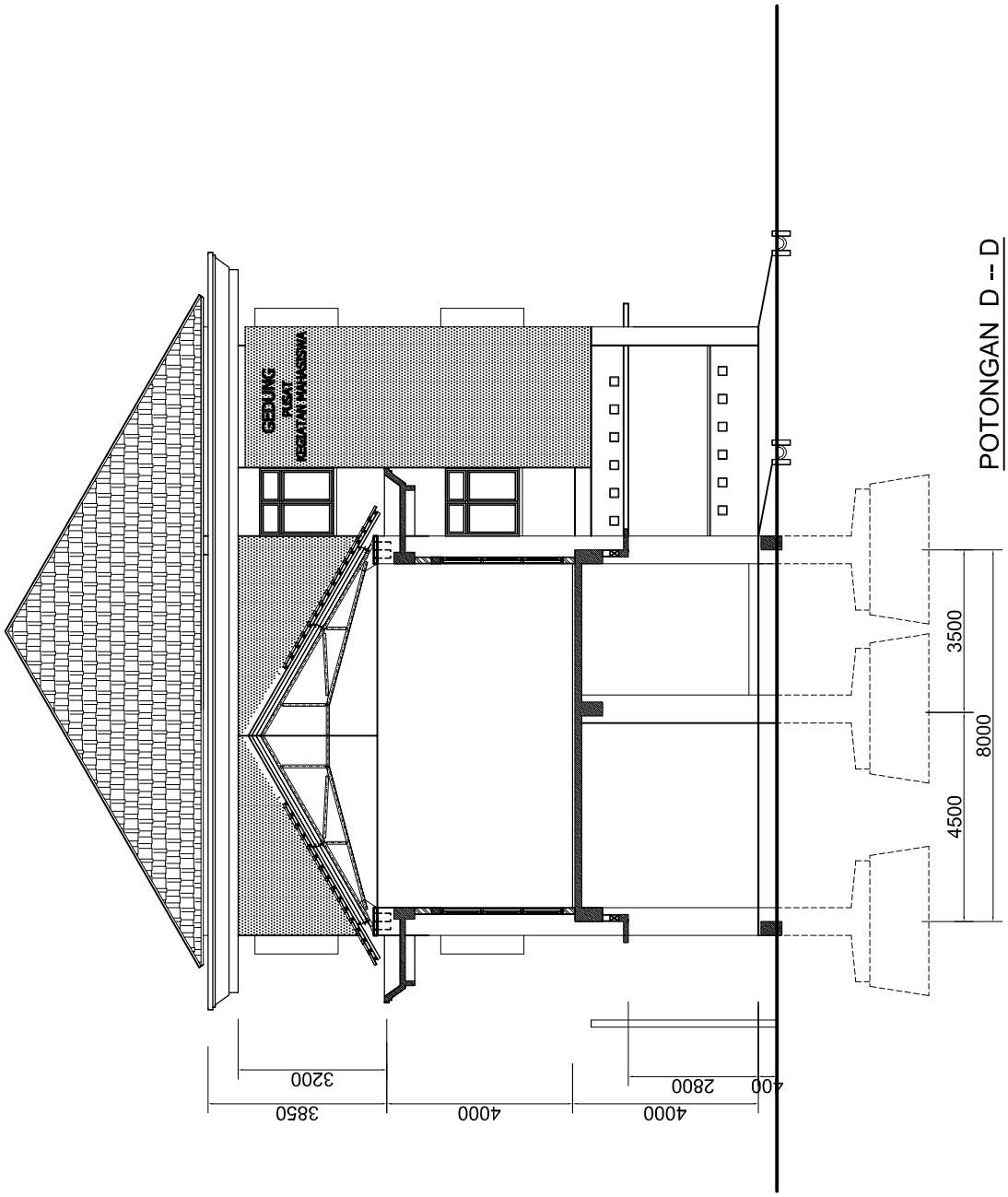
Skala 1 : 150

Lampiran 11 : Potongan C-C

POTONGAN C -- C

Skala 1 : 150

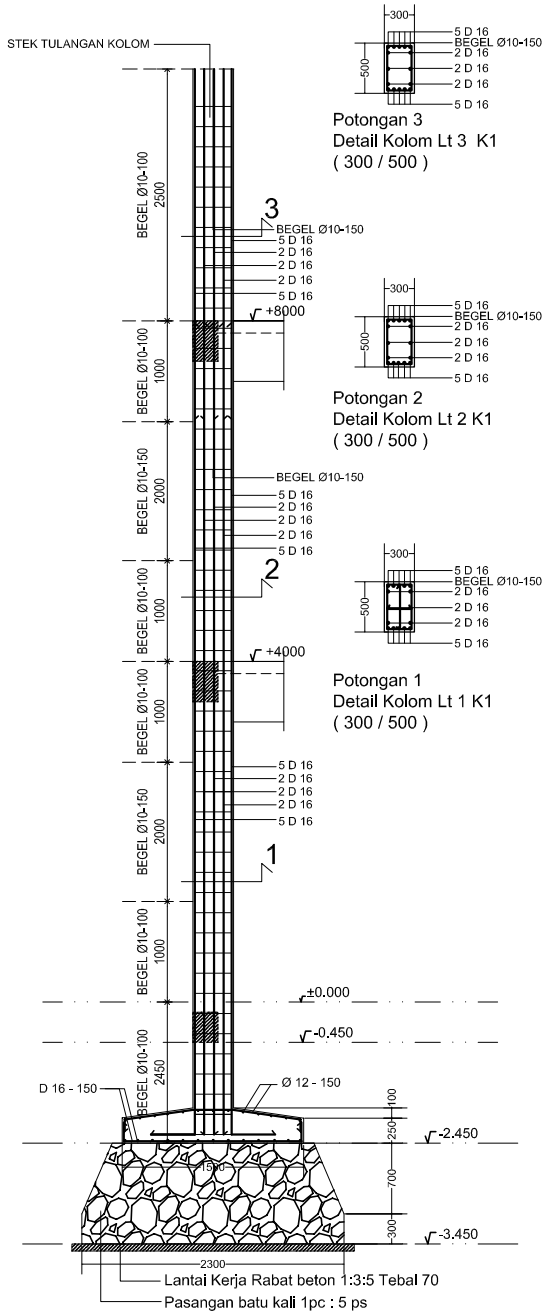
Lampiran 12 : Potongan D-D



POTONGAN D -- D

Skala 1 : 150

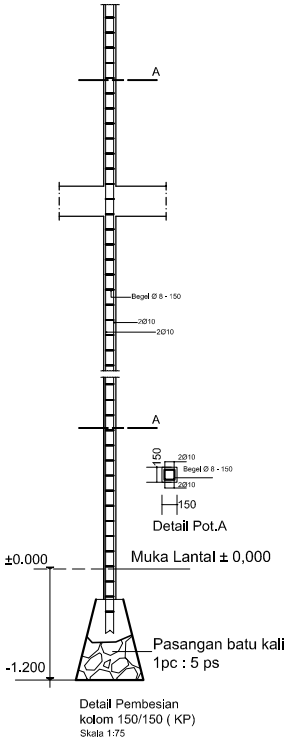
Lampiran 13 : Detail kolom



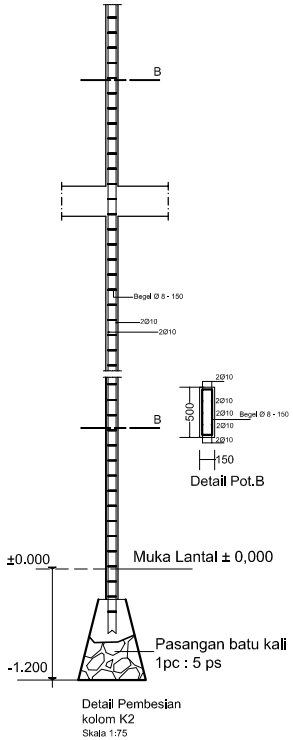
Potongan 3
Detail Kolom Lt 3 K1
(300 / 500)

Potongan 2
Detail Kolom Lt 2 K1
(300 / 500)

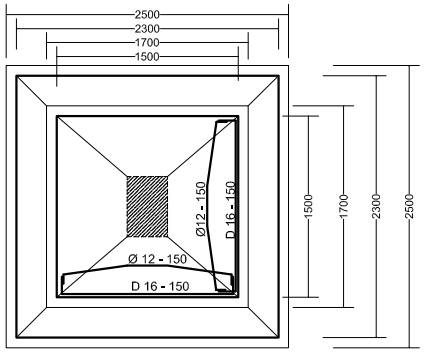
Potongan 1
Detail Kolom Lt 1 K1
(300 / 500)



Detail Pembesian
kolom 150/150 (KP)
Skala 1:75

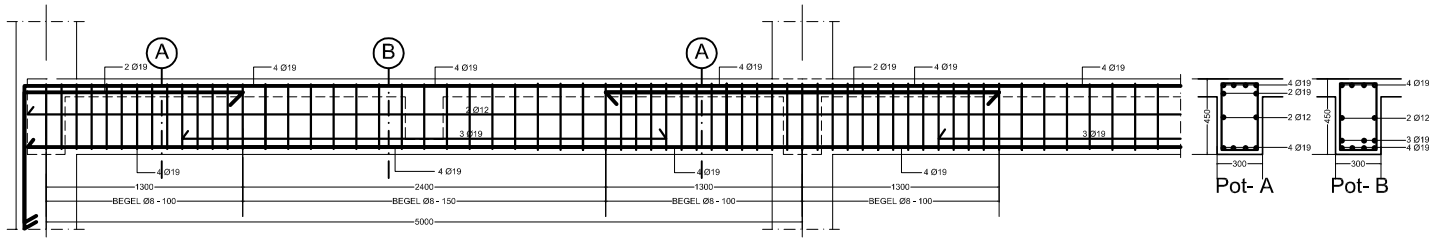


Detail Pembesian
kolom K2
Skala 1:75



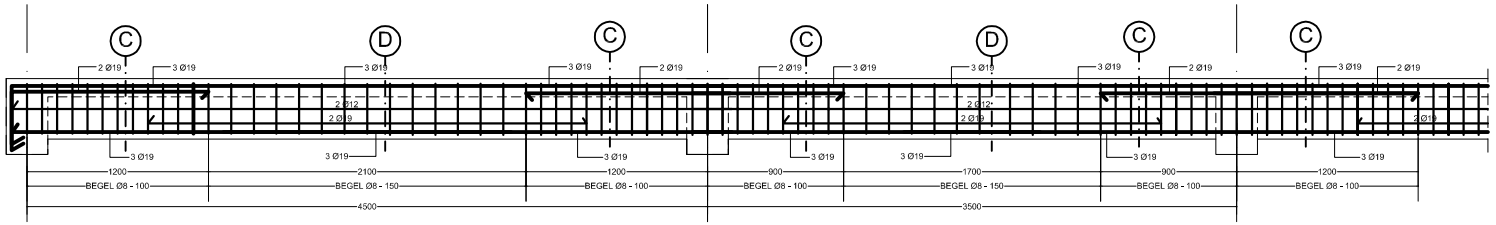
Detail Foot Plat F1 (1500 / 1500)
& Kolom K1 (300 / 500)
Skala 1 : 75

Lampiran 14 : Detail balok



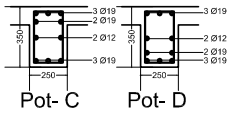
Pembesian Balok Lantai B1 (300/450)

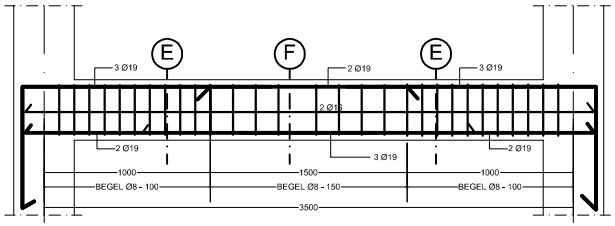
SKALA 1:50

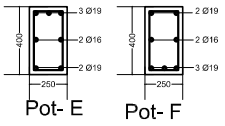


Pembesian Balok Lantai B2 (250/350)

SKALA 1:50







Pembesian Balok Lantai B3 (250/400)

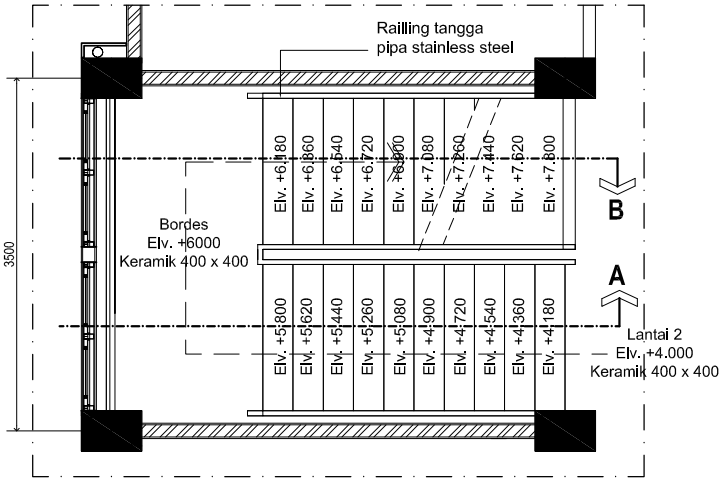
SKALA 1:50

BEGEL Ø8 - 100
1300
BEGEL Ø8 - 150
2400
5000
3 Ø16
1
Pembesian Balok Sloof S1 (250/300)
SKALA 1:50
300
250
3 Ø16
Pot- 1

BEGEL Ø8 - 100
130
BEGEL Ø8 - 150
2400
5000
2 Ø12
2
Pembesian Balok Latai BL (150/200)
SKALA 1:50
200
150
Pot- 2

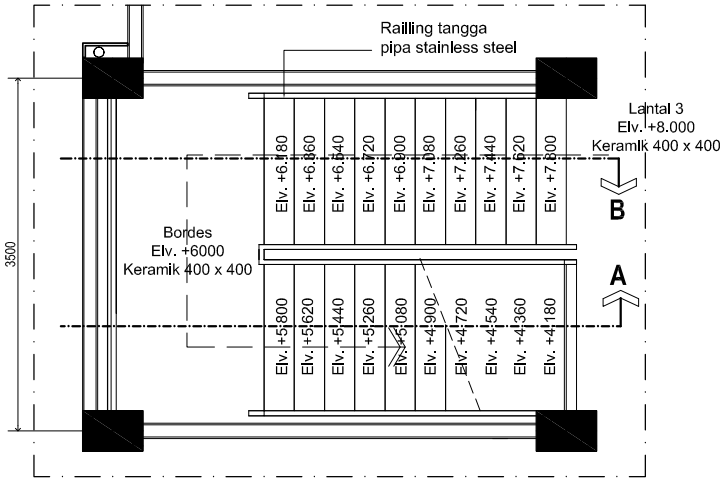
BEGEL Ø8 - 100
1000
BEGEL Ø8 - 150
1500
3500
3 Ø19
2 Ø19
3
4
Pembesian Balok Bordes (200/400)
SKALA 1:50
400
200
2 Ø16
Pot- 3
Pot- 4

Lampiran 15 : Denah tangga



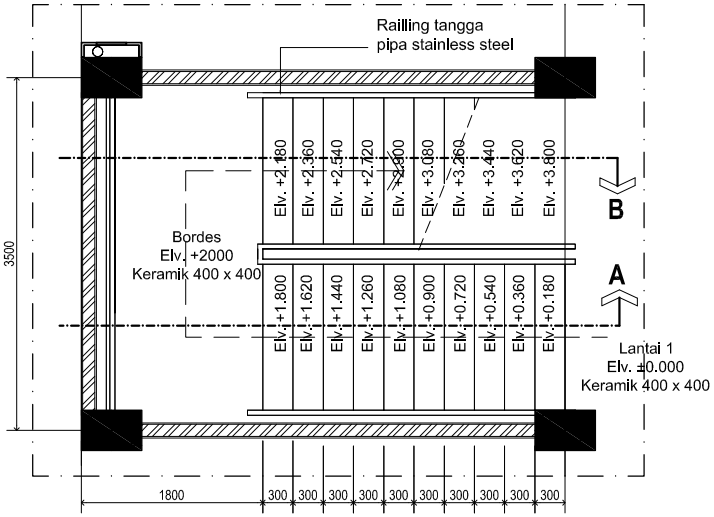
DENAH TANGGA LT. 2

Skala 1 : 50



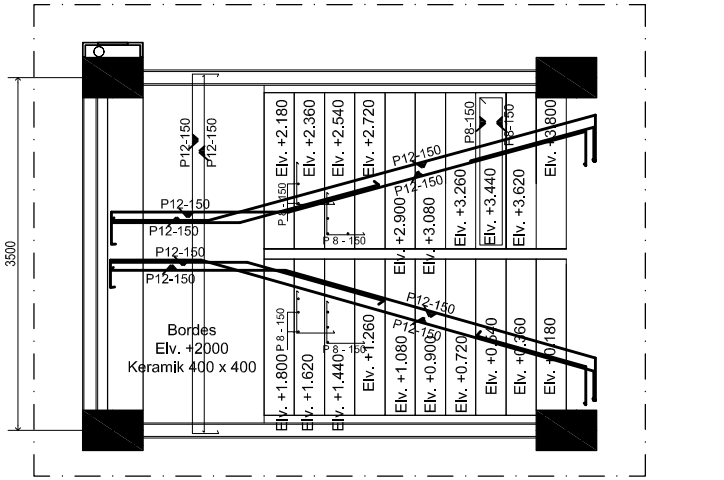
DENAH TANGGA LT. 3

Skala 1 : 50



DENAH TANGGA LT. 1

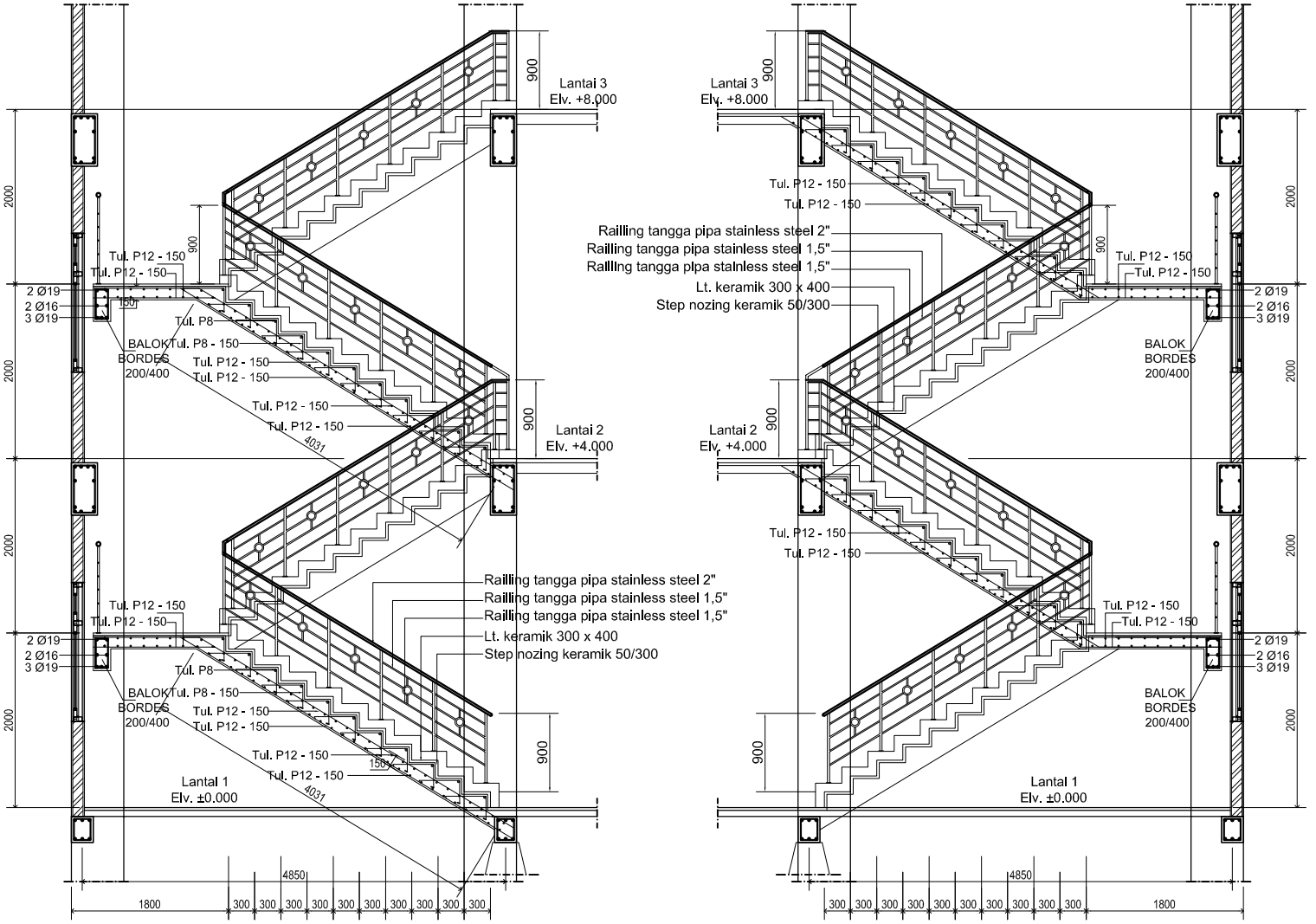
Skala 1 : 50



DETAIL PEMBESIAN PLAT TANGGA & BORDES

Skala 1 : 50

Lampiran 16 : Detail potongan tangga



DETAIL POTONGAN –A

Skala 1 : 50

DETAIL POTONGAN –B

Skala 1 : 50