

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiv
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xxv
ABSTRAK	xxxi
ABSTRACT.....	xxxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian.....	7
1.4. Batasan Penelitian	7
1.5. Manfaat Penelitian.....	9
1.6. Definisi Operasional.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1. Konsep bangunan tahan gempa berbasis kinerja.....	13
2.2. Perencanaan bangunan tahan gempa berbasis kinerja.....	13
2.3. Evaluasi Kegempaan Pada Bangunan	14
2.4. Penelitian Terdahulu.....	14

2.5.	Keaslian Penelitian	27
BAB III LANDASAN TEORI.....		28
3.1.	Filosofi Bangunan Tahan Gempa	28
3.2.	<i>Performance Based Design</i>	29
3.3.	Evaluasi Bangunan	34
3.4.	Prosedur Evaluasi Kekuatan Struktur Bangunan <i>Existing</i> Mengacu Pada FEMA 310.....	34
3.4.1.	<i>Tier</i> (Tahap) 1: <i>Screening Phase</i>	35
3.4.2.	<i>Tier</i> (Tahap) 2: <i>Evaluation Phase</i>	50
3.4.3.	<i>Tier</i> (Tahap) 3: <i>Detailed Evaluation Phase</i>	61
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		83
4.1.	Lokasi Penelitian	83
4.2.	Prosedur Penelitian.....	84
4.3.	Pengumpulan Data.....	84
4.4.	Metode Penelitian.....	84
4.4.1.	Penentuan Wilayah Kegempaan	84
4.4.2.	Pemodelan struktur.....	85
4.4.3.	Pembebanan Gempa.....	85
4.4.4.	Penentuan Tingkat Kinerja (<i>Level of Performance</i>)	85
4.4.5.	Evaluasi Tahap 1	85
4.4.6.	Evaluasi tahap 2 (analisis Linier Struktur Bangunan).....	87
4.4.7.	Evaluasi tahap 3 (Investigasi Komprehensif)	87
4.5.	Analisis Struktur	88
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		94
5.1.	Evaluasi Tier 1 (<i>Screening phase</i>).....	94
5.1.1.	RVS Menurut Prosedur FEMA 154 (2002)	94

5.1.2.	Screening Menurut FEMA 310 (1998)	99
5.1.3.	Kesimpulan Evaluasi Tahap 1 (<i>Tier 1 Evaluation</i>).....	110
5.2.	Evaluasi Tier 2 (<i>Step 2 Evaluation</i>).....	111
5.2.1.	Analisis Statik Linier.....	112
5.2.2.	Analisis Dinamik Respon Spektrum	128
5.3	EVALUASI TIER 3	136
5.3.1.	Beban Dorong Lateral	136
5.3.2.	Pemodelan SAP2000 Untuk Analisis Statik Nonlinier (<i>Pushover</i>)	138
5.3.3	Hasil Analisis Statik Nonlinier (<i>Pushover</i>).....	147
5.3.4	Analisis Statik <i>Pushover</i> dengan Cara Manual.....	209
5.3.5	Daktalitas dan Faktor Reduksi Gempa Aktual.....	226
5.3.6	Plastifikasi	234
5.3.7	Sendi Plastis	243
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	255
6.1.	Kesimpulan.....	255
6.2.	Saran.....	256
	Daftar pustaka.....	257

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian Sebelumnya dan Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan	19
Tabel 3. 1 Kategori Level Kinerja Struktur FEMA 273 (1997)	30
Tabel 3. 2 Kategori Level Kinerja Nonstruktur FEMA 273 (1997)	30
Tabel 3. 3 Batasan simpangan untuk level kinerja struktur (FEMA 356,2000)...	32
Tabel 3. 4 Batasan <i>drift</i> untuk berbagai level kinerja struktur (ATC-40, 1996) ..	33
Tabel 3. 5 Formulir yang harus digunakan pada evaluasi tahapan 1 (FEMA 310, 1998)	39
Tabel 3. 6 Nilai F_v sebagai fungsi <i>site class</i> dan <i>mapped spectral acceleration</i> pada periode 1 detik (S_1) (FEMA 310, 1998).....	41
Tabel 3. 7 Nilai F_a sebagai fungsi <i>site</i> dan <i>mapped short-period spectral acceleration</i> , (S_s) (FEMA 310, 1998)	42
Tabel 3. 8 Region of seismicity Definitions (FEMA 154, 2002)	42
Tabel 3. 9 Faktor Modifikasi (FEMA 310, 1998)	48
Tabel 3. 10 Nilai untuk Faktor Modifikasi C_{01} (FEMA 356, 2000)	68
Tabel 3. 11 Nilai untuk Faktor Massa Efektif C_{m1} (FEMA 356, 2000)	70
Tabel 3. 12 Nilai Faktor Modifikasi C_2 (FEMA 356, 2000)	70
Tabel 3. 13 <i>Global drift ratio performance criteria</i> (ATC 40).....	75
Tabel 3. 14 Kriteria nonlinier plastic rotation angle untuk balok.....	80
Tabel 3. 15 Kriteria nonlinier plastic rotation angle untuk balok.....	80
Tabel 5. 1 Form RVS gedung FTI Universitas Atma Jaya Yogyakarta.....	97
Tabel 5. 2 Hasil Isian Referensi Pengisian Formulir RVS	98
Tabel 5. 3 Variabel perhitungan gempa wilayah Yogyakarta dengan tanah sedang	100
Tabel 5. 4 Berat total struktur.....	101
Tabel 5. 5 Faktor Modifikasi Bangunan (FEMA 310)	101
Tabel 5. 6 Nilai gaya geser tiap tingkat (V_j).....	103
Tabel 5. 7 Persentase gaya lateral tiap tingkat	103
Tabel 5. 8 Nilai <i>Drift Ratio</i> (DR) tiap tingkat	105
Tabel 5. 9 Persentase perubahan <i>Drift Ratio</i> (DR) tiap tingkat.....	105
Tabel 5. 10 Nilai geser rata-rata dalam kolom	107

Tabel 5. 11 Variabel mutu bahan untuk menentukan nilai V_c-max	107
Tabel 5. 12 Gaya aksial kolom pada tiap tingkat arah-x	108
Tabel 5. 13 Gaya aksial kolom pada tiap tingkat arah-y	108
Tabel 5. 14 Persentase perubahan <i>massa</i>	110
Tabel 5. 15 Hasil cek konfigurasi bangunan	111
Tabel 5. 16 Data gempa SNI 03 1726 2012	112
Tabel 5. 17 Distribusi beban gempa	112
Tabel 5. 18 Titik pusat massa tiap lantai	113
Tabel 5. 19 Nilai <i>storey-drift ratio</i> pada masing-masing tingkat	114
Tabel 5. 20 Nilai <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) Balok lantai 1 akibat momen	117
Tabel 5. 21 Nilai <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) Balok lantai 1 akibat geser..	119
Tabel 5. 22 Nilai <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) Kolom lantai 1 akibat momen, aksial, dan geser	121
Tabel 5. 23 Faktor keutamaan gempa, I_e	129
Tabel 5. 24 Gaya geser dasar (belum dikoreksi)	131
Tabel 5. 25 Beban lateral SNI 1726-2012 arah-X dan arah-Y	137
Tabel 5. 26 Beban lateral SNI 1726-2002 arah-X dan arah-Y	137
Tabel 5. 27 Beban lateral beban seragam arah-X dan arah-Y	138
Tabel 5. 28 Data <i>Pushover Curve</i> arah-X dan arah-Y (SNI 1726-2012)	150
Tabel 5. 29 <i>Performance point</i> dengan metode ATC-40 (SNI 1726-2012).....	153
Tabel 5. 30 Daktilitas struktur (μ) dan redaman (ξ) menurut NZNSEE (1996). 156	
Tabel 5. 31 Target perpindahan dengan metode FEMA 356	159
Tabel 5. 32 Nilai waktu getar alami efektif dengan metode Koefisien Perpindahan FEMA 356	160
Tabel 5. 33 Data <i>Pushover Curve</i> arah-X dan arah-Y (SNI 1726-2002)	164
Tabel 5. 34 <i>Performance point</i> dengan metode ATC-40 (SNI 1726-2002).....	167
Tabel 5. 35 Daktilitas struktur (μ) dan redaman (ξ) menurut NZNSEE (1996). 170	
Tabel 5. 36 Target perpindahan dengan metode FEMA 356	173
Tabel 5. 37 Nilai waktu getar alami efektif dengan metode Koefisien Perpindahan FEMA 356	174
Tabel 5. 38 Data <i>Pushover Curve</i> arah-X dan arah-Y (Beban Seragam).....	179

Tabel 5. 39 <i>Performance point</i> dengan metode ATC-40 (Beban Seragam)	182
Tabel 5. 40 Daktilitas struktur (μ) dan redaman (ξ) menurut NZNSEE (1996).	186
Tabel 5. 41 Target perpindahan dengan metode FEMA 356	189
Tabel 5. 42 Nilai waktu getar alami efektif dengan metode Koefisien Perpindahan FEMA 356	190
Tabel 5. 43 Data <i>Pushover Curve</i> arah-X dan arah-Y (SNI 1726-2012) - Fiber	195
Tabel 5. 44 <i>Performance point</i> dengan metode ATC-40 (SNI 1726-2012-fiber)	198
Tabel 5. 45 Daktilitas struktur (μ) dan redaman (ξ) menurut NZNSEE (1996).	201
Tabel 5. 46 Target perpindahan dengan metode FEMA 356	204
Tabel 5. 47 Nilai waktu getar alami efektif dengan metode Koefisien Perpindahan FEMA 356	205
Tabel 5. 48 Perbandingan titik kinerja hasil analisis <i>pushover</i> dengan Metode ATC-40 (1996) arah-X	208
Tabel 5. 49 Perbandingan titik kinerja hasil analisis <i>pushover</i> dengan Metode ATC-40 (1996) arah-Y	208
Tabel 5. 50 Perbandingan titik kinerja hasil analisis <i>pushover</i> dengan Metode FEMA 356 (2000) Arah-X	208
Tabel 5. 51 Perbandingan titik kinerja hasil analisis <i>pushover</i> dengan Metode FEMA 356 (2000) Arah-Y	209
Tabel 5. 52 Berat Bangunan, Massa dan Mode Shape Bangunan FTI UAJY....	210
Tabel 5. 53 Transfer <i>Base Shear Coeff.</i> ke a_y	211
Tabel 5. 54 Transfer <i>roof displacement</i>	211
Tabel 5. 55 Nilai <i>SD</i> dan <i>SA</i>	211
Tabel 5. 56 Tabel <i>SD-SA Spectrum Demand</i>	213
Tabel 5. 57 Proses iterasi penentuan <i>performance point</i>	215
Tabel 5. 58 Proses Iterasi Cara 2	217
Tabel 5. 59 Berat Bangunan, Massa dan Mode Shape Bangunan FTI UAJY....	218
Tabel 5. 60 Transfer <i>Base Shear Coeff.</i> ke a_y	219
Tabel 5. 61 Transfer <i>roof displacement</i>	219
Tabel 5. 62 Nilai <i>SD</i> dan <i>SA</i>	219
Tabel 5. 63 tabel <i>SD-SA Spectrum Demand</i>	221

Tabel 5. 64 Proses iterasi penentuan <i>performance point</i>	223
Tabel 5. 65 Proses Iterasi Cara 2	224
Tabel 5. 66 Daktilitas struktur aktual (R_{μ}) dan faktor reduksi gempa aktual (R_{aktual}).....	226
Tabel 5. 67 Daktilitas struktur aktual (R_{μ}) dan faktor reduksi gempa aktual (R_{aktual}).....	228
Tabel 5. 68 Daktilitas struktur aktual (R_{μ}) dan faktor reduksi gempa aktual (R_{aktual}).....	229
Tabel 5. 69 Daktilitas struktur aktual (R_{μ}) dan faktor reduksi gempa aktual (R_{aktual}).....	231
Tabel 5. 70 Perbandingan nilai R_{μ} dan R_{aktual} pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan.....	233
Tabel 5. 71 Plastifikasi pada pembebanan <i>pushover</i> arah-X.....	235
Tabel 5. 72 Plastifikasi pada pembebanan <i>pushover</i> arah-Y.....	235
Tabel 5. 73 Kriteria batasan kinerja <i>plastic rotation</i> menurut FEMA 356	243
Tabel 5. 74 <i>Hinge result</i> pada Balok L4_30x65_12 (+) As.2 Lantai 4.....	246
Tabel 5. 75 <i>Hinge result</i> pada Balok L4_30x65_12 (-) As.2 Lantai 4.....	246
Tabel 5. 76 <i>Hinge result</i> pada Kolom L5_K1 40x40_3 Lantai 5.....	250

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pertemuan plat-plat tektonik (<i>www.google.com</i>).....	1
Gambar 1. 2 Zona subduksi pulau jawa (Press dan Siever, 1978)	2
Gambar 1. 3 Peta seismisitas Indonesia 1900-2009 (Irsyam et al, 2010).....	3
Gambar 3. 1 Matrix hubungan Level desain gempa dengan Level Kinerja Bangunan.	29
Gambar 3. 2 <i>Performance Level</i> (FEMA 451, 1997 dalam PBE Design)	32
Gambar 3. 3 Simpangan pada atap dan rasio simpangan pada atap (ATC- 40,1996)	33
Gambar 3. 4 Ketentuan Pengisian Form RVS (FEMA 154, 2002)	37
Gambar 3. 5 Contoh Formulir Pengumpulan data RVS (kondisi gempa tinggi), FEMA 154 (2002).....	38
Gambar 3. 6 Desain respon spectrum FEMA 302 (1997)	40
Gambar 3. 7 Bangunan bersebelahan dengan tinggi yang berbeda	44
Gambar 3. 8 Defleksi pada <i>Soft Story</i> (FEMA 310, 1998).....	45
Gambar 3. 9 Ketidakberaturan geometri (FEMA 310, 1998).....	45
Gambar 3. 10 Perbedaan massa pada salah satu lantai (FEMA 310, 1998).....	46
Gambar 3. 11 Jenis respon struktur (Widodo, 2007).....	50
Gambar 3. 12 Gaya lateral pada setiap tingkat bangunan	51
Gambar 3. 13 3 Gaya beban horizontal pada setiap tingkat bangunan.....	53
Gambar 3. 14 Penampang balok bertulang rangkap pada saat tegangan lentur tercapai.....	57
Gambar 3. 15 Gaya Aksial konsentrik pada kolom.....	59
Gambar 3. 16 Batas deformasi elemen atau komponen (FEMA 356, 2000).....	63
Gambar 3. 17 Performance Point pada Capacity Spectrum Method (sumber : Dewobroto, 2006)	65
Gambar 3. 18 Typical Capacity Curve (ATC-40)	66
Gambar 3. 19 Konversi Kurva Kapasitas ke Spektrum Kapasitas (ATC-40, 1996)	67

Gambar 3. 20 Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan (<i>FEMA 356, 2000</i>)	68
Gambar 3. 21 Perilaku Pasca Leleh Sistem Struktur (<i>FEMA 356, 2000</i>)	71
Gambar 3. 22 Hubungan Beban-Deformasi dan Kriteria Batas Penerimaan Deformasi pada Komponen (<i>FEMA 356, 2000</i>).....	72
Gambar 3. 23 Parameter Waktu Getar Fundamental Efektif dari Kurva <i>Pushover</i> (<i>FEMA 356</i>).....	73
Gambar 3. 24 Penentuan <i>Energy Dissipated</i> dari redaman, Ed.....	74
Gambar 3. 25 Diagram beban-simpangan (diagram <i>V-d</i>) struktur gedung	76
Gambar 3. 26 Grafik Hubungan daktilitas (μ) dengan redaman (β).....	76
Gambar 3. 27 Penentuan Faktor Reduksi Kekuatan (Aguirre 2004 oleh Jamal 2012)	77
Gambar 3. 28 Kemungkinan pola terbentuknya sendi plastis ,Widodo (2007) dalam Jamal (2011).....	78
Gambar 3. 29 <i>Default</i> Sendi Plastis M3 dan P-MM.....	79
Gambar 3. 30 Contoh kurva kapasitas balok dengan menggunakan <i>auto section hinge</i>	81
Gambar 3. 31 Contoh kurva kapasitas <i>fiber section hinge</i> pada kolom	82
Gambar 5. 1 Nilai <i>Respons Spektra</i> SNI 1726-2012 (www.puskim.pu.go.id)....	94
Gambar 5. 2 Spektral percepatan untuk wilayah gempa Yogyakarta dengan jenis tanah sedang.....	100
Gambar 5. 3 Letak titik pusat massa lantai basement s/d lantai 4	113
Gambar 5. 4 Letak titik pusat massa lantai atap	114
Gambar 5. 5 Simpangan struktur pada masing-masing tingkat akibat gempa ekuivalen statik	115
Gambar 5. 6 <i>Storey-drift ratio</i> pada masing-masing tingkat akibat gempa ekuivalen statik	115
Gambar 5. 7 DCR momen lentur balok lantai 1 akibat gempa ekuivalen statik	125
Gambar 5. 8 DCR gaya geser balok lantai 1 akibat gempa ekuivalen statik.....	125
Gambar 5. 9 (a) DCR momen lentur kolom portal As 5, (b) DCR gaya geser kolom portal As 5 dan (c) DCR gaya aksial kolom portal As 5 akibat gempa ekuivalen statik.....	126

Gambar 5. 10 <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) pada beberapa kolom menggunakan beban statik ekuivalen	127
Gambar 5. 11 <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) pada beberapa balok menggunakan beban statik ekuivalen	127
Gambar 5. 12 <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) pada gaya geser balok menggunakan beban statik ekuivalen	128
Gambar 5. 13 Kurva spektrum respon kota Yogyakarta pada Program SAP2000 untuk tipe tanah sedang.....	129
Gambar 5. 14 Pengaturan beban gempa dinamik linier arah-x	130
Gambar 5. 15 Pengaturan beban gempa dinamik linier arah-y	130
Gambar 5. 16 DCR momen lentur balok lantai 1 (respon spektrum).....	132
Gambar 5. 17 DCR gaya geser balok lantai 1 (respon spektrum)	132
Gambar 5. 18 (a) DCR momen lentur kolom portal As 5, (b) DCR gaya geser kolom portal As 5 dan (c) DCR gaya aksial kolom portal As 5 akibat gempa respon spectrum.....	133
Gambar 5. 19 <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) pada beberapa kolom (respon spektrum)	134
Gambar 5. 20 <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) pada beberapa balok (respon spektrum)	134
Gambar 5. 21 <i>Demand Capacity Ratio</i> (DCR) pada gaya geser balok (respon spektrum)	135
Gambar 5. 22 Nilai gaya geser dasar (V) hasil SAP2000.....	137
Gambar 5. 23 Nilai beban dorong lateral tiap join pada tiap lantai.....	138
Gambar 5. 24 <i>Load case</i> POGRAV.....	139
Gambar 5. 25 Pendefinisian <i>Load case</i> POGRAV.....	139
Gambar 5. 26 <i>Load case</i> POLAT	140
Gambar 5. 27 Pendefinisian <i>Load case</i> POLAT-Y	140
Gambar 5. 28 Modifikasi <i>Load application</i> untuk POLAT-Y.....	141
Gambar 5. 29 Modifikasi <i>Result saved</i> untuk POLAT-Y	142
Gambar 5. 30 Modifikasi <i>modal case</i>	142
Gambar 5. 31 <i>Frame hinge assignments</i> pada balok.....	143
Gambar 5. 32 Modifikasi sendi plastis pada balok.....	143

Gambar 5. 33 <i>Frame hinge assignments</i> pada kolom	144
Gambar 5. 34 Modifikasi sendi plasti pada kolom	144
Gambar 5. 35 Pendefinisian property <i>Fiber</i>	145
Gambar 5. 36 <i>Frame hinge property data</i>	145
Gambar 5. 37 <i>Frame hinge property data</i>	146
Gambar 5. 38 Pembagian pias <i>fiber</i> pada penampang kolom K1_40x40	146
Gambar 5. 39 <i>Assign hinge</i> pada kolom 40x40	147
Gambar 5. 40 Kurva kapasitas arah-X SNI 1726-2012	148
Gambar 5. 41 Kurva kapasitas arah-Y SNI 1726-2012	148
Gambar 5. 42 Perbandingan kurva kapasitas <i>pushover</i> (SNI 1726-2012)	149
Gambar 5. 43 Modifikasi parameter spektrum kapasitas ATC-40	151
Gambar 5. 44 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-X dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dengan menggunakan spektrum respon SNI 1726-2012	152
Gambar 5. 45 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-Y dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dengan menggunakan spektrum respon SNI 1726-2012	152
Gambar 5. 46 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada struktur (V_y) pembebanan arah-X (SNI 1726-2012)	154
Gambar 5. 47 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada truktur (V_y) pembebanan arah-Y (SNI 1726-2012)	155
Gambar 5. 48 Hubungan V_t , V_y , δ_t , dan δ_y (SNI 1726-2012)	155
Gambar 5. 49 Parameter analisis <i>Pushover</i> Metode FEMA 356	157
Gambar 5. 50 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-X	158
Gambar 5. 51 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-Y	158
Gambar 5. 52 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-X (SNI 1726-2012)	161
Gambar 5. 53 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-Y (SNI 1726-2012)	161
Gambar 5. 54 Kurva kapasitas arah-X SNI 1726-2002	162

Gambar 5. 55 Kurva kapasitas arah-Y SNI 1726-2002.....	163
Gambar 5. 56 Perbandingan kurva kapasitas <i>pushover</i> (SNI 1726-2002)	164
Gambar 5. 57 Modifikasi parameter spektrum kapasitas ATC-40.....	166
Gambar 5. 58 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-X dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dengan menggunakan spektrum respon SNI 1726-2002	166
Gambar 5. 59 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-Y dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dengan menggunakan spektrum respon SNI 1726-2002	167
Gambar 5. 60 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada struktur (V_y) pembebanan arah-X (SNI 1726-2002).....	169
Gambar 5. 61 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada struktur (V_y) pembebanan arah-Y (SNI 1726-2002).....	169
Gambar 5. 62 hubungan V_t, V_y, δ_t , dan δ_y (SNI 1726-2002)	170
Gambar 5. 63 Parameter analisis <i>Pushover</i> Metode FEMA 356.....	171
Gambar 5. 64 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-X	172
Gambar 5. 65 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-Y	173
Gambar 5. 66 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-X (SNI 1726-2002).....	175
Gambar 5. 67 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-Y (SNI 1726-2002).....	176
Gambar 5. 68 Kurva kapasitas arah-X Beban Seragam	177
Gambar 5. 69 Kurva kapasitas arah-Y Beban Seragam	177
Gambar 5. 70 Perbandingan kurva kapasitas <i>pushover</i> (Beban Seragam).....	178
Gambar 5. 71 Modifikasi parameter spektrum kapasitas ATC-40.....	181
Gambar 5. 72 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-X dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 (Beban Seragam).....	181
Gambar 5. 73 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-Y dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 (Beban Seragam).....	182

Gambar 5. 74 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada truktur (V_y) pembebanan arah-X (Beban Seragam)	184
Gambar 5. 75 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada truktur (V_y) pembebanan arah-Y (Beban Seragam)	184
Gambar 5. 76 hubungan V_t , V_y , δ_t dan δ_y (beban seragam)	185
Gambar 5. 77 Parameter analisis <i>Pushover</i> Metode FEMA 356.....	187
Gambar 5. 78 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-X	188
Gambar 5. 79 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-Y	188
Gambar 5. 80 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-X	191
Gambar 5. 81 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-Y	191
Gambar 5. 82 Kurva kapasitas arah-X SNI 1726-2012 - Fiber	192
Gambar 5. 83 Kurva kapasitas arah-Y SNI 1726-2012 - Fiber	193
Gambar 5. 84 Kurva kapasitas <i>pushover</i> arah-X (SNI 1726-2012) – Fiber	194
Gambar 5. 85 Kurva kapasitas <i>pushover</i> arah-Y (SNI 1726-2012) – Fiber	194
Gambar 5. 86 Modifikasi parameter spektrum kapasitas ATC-40.....	197
Gambar 5. 87 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-X dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dengan menggunakan spektrum respon SNI 1726-2012-fiber	197
Gambar 5. 88 Kurva <i>pushover</i> dan titik kinerja pembebanan arah-Y dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 dengan menggunakan spektrum respon SNI 1726-2012-fiber	198
Gambar 5. 89 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada truktur (V_y) pembebanan arah-X (SNI 1726-2012-fiber).....	200
Gambar 5. 90 Gaya geser dasar saat terjadi pelelehan pada truktur (V_y) pembebanan arah-Y (SNI 1726-2012-fiber).....	200
Gambar 5. 91 Hubungan V_t , V_y , δ_t dan δ_y (SNI 1726-2012-fiber)	201
Gambar 5. 92 Parameter analisis <i>Pushover</i> Metode FEMA 356.....	202

Gambar 5. 93 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-X	203
Gambar 5. 94 Kurva <i>pushover</i> Metode FEMA 356 akibat beban lateral arah-Y	203
Gambar 5. 95 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-X (SNI 1726-2012-fiber).....	206
Gambar 5. 96 Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebananan arah-Y (SNI 1726-2012-fiber).....	206
Gambar 5. 97 Perbandingan kurva kapasitas pembebanan <i>Pushover</i> arah-X ...	207
Gambar 5. 98 Perbandingan kurva kapasitas pembebanan <i>Pushover</i> arah-Y ...	207
Gambar 5. 99 <i>Capacity curve</i>	210
Gambar 5. 100 Transfer <i>capacity curve SA- SD curve</i>	212
Gambar 5. 101 Transfer Respon spektrum ke SD-SA Spektrum demand	213
Gambar 5. 102 Iterasi pada penentuan <i>Performance Point</i>	215
Gambar 5. 103 Proses Iterasi Sa*-Sd	217
Gambar 5. 104 <i>Capacity curve</i>	218
Gambar 5. 105 Transfer <i>capacity curve SA- SD curve</i>	220
Gambar 5. 106 Transfer Respon spektrum ke SD-SA Spektrum demand	221
Gambar 5. 107 Iterasi pada penentuan <i>Performance Point</i>	223
Gambar 5. 108 Proses Iterasi Sa*-Sd	225
Gambar 5. 109 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebananan arah-X	227
Gambar 5. 110 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebananan arah-Y	227
Gambar 5. 111 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebananan arah-X	228
Gambar 5. 112 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebananan arah-Y	229
Gambar 5. 113 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebananan arah-X	230
Gambar 5. 114 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebananan arah-Y	230

Gambar 5. 115 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebanan arah-X	231
Gambar 5. 116 Penentuan daktilitas dan faktor reduksi gempa aktual untuk pembebanan arah-Y	232
Gambar 5. 117 Posisi sendi plastis step 2 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y Pada As-2	236
Gambar 5. 118 Posisi sendi plastis step 6 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y Pada As-2	237
Gambar 5. 119 Posisi sendi plastis step 8 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y Pada As-2	237
Gambar 5. 120 Posisi sendi plastis step 14 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y Pada As-2	238
Gambar 5. 121 Posisi sendi plastis step 17 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y Pada As-2	239
Gambar 5. 122 Sendi plastis pada step 17 arah Y pada As 1	239
Gambar 5. 123 Sendi plastis pada step 11 arah X pada As A	240
Gambar 5. 124 Posisi sendi plastis step 11 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-X	240
Gambar 5. 125 Posisi sendi plastis step 11 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-X pada As-B	241
Gambar 5. 126 Posisi sendi plastis step 17 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y	241
Gambar 5. 127 Posisi sendi plastis step 17 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y Pada As-2	242
Gambar 5. 128 Posisi sendi plastis Balok L4_30x65_12 step 17 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y pada As-2	244
Gambar 5. 129 <i>Hinge result</i> pada Balok L4_30x65_12 As.2 Lantai 4 (lihat inset pada Gambar 5.128).....	244
Gambar 5. 130 Grafik <i>Moment rotation</i> pada Balok L4_30x65_12 As.2 Lantai 4 (lihat inset pada Gambar 5.128).....	245
Gambar 5. 131 Grafik <i>Moment curvature</i> pada Balok L4_30x65_12 As.2 Lantai 4 (lihat inset pada Gambar 5.128).....	245

Gambar 5. 132	Level kinerja momen rotasi balok	247
Gambar 5. 133	<i>Plastic rotation angel</i> pada balok lantai 3	248
Gambar 5. 134	Hasil momen curvature (a) nilai dari Response2000 moment curvature positif dan negatif pada balok (b) dan nilai dari SAP2000 moment curvature negatif dan positif pada balok L4_30x65_12 ..	248
Gambar 5. 135	Posisi sendi plastis Kolom L5_K1 40x40_3 step 17 untuk pembebanan <i>pushover</i> arah-Y pada As-2	249
Gambar 5. 136	<i>Hinge result</i> pada Kolom L5_K1 40x40_3 Lantai 5 (lihat inset pada Gambar 5.135).....	249
Gambar 5. 137	Momen rotation pada Kolom L5_K1 40x40_3 Lantai 5 (lihat inset pada Gambar 5.135)	250
Gambar 5. 138	Level kinerja momen rotasi kolom	251
Gambar 5. 139	<i>Plastic rotation angel</i> pada kolom As 3	251
Gambar 5. 140	Hasil momen curvature (a) nilai dari Response2000 moment curvature positif dan negatif pada kolom (b) dan nilai dari SAP2000 moment curvature positif pada kolom L5_40x40_3.....	252
Gambar 5. 141	Potongan melintang as 3 pada lantai 5	253
Gambar 5. 142	Eksentrisitas pada kolom	253
Gambar 5. 143	Kolom pendek pada lantai 1	254
Gambar 5. 144	Contoh kerusakan pada kolom pendek	254

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *As Built Drawing* Gedung Fakultas Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Lampiran 2. Perhitungan nilai N-SPT

Lampiran 3. Perhitungan Berat Struktur

Lampiran 4. Form evaluasi *Tier 1* FEMA 310 (1998) pada Gedung Fakultas Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Lampiran 5. Perhitungan Nilai DCR Balok dan Kolom

Lampiran 6. Hasil output sendi plastis SAP2000

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

- A_c = jumlah dari luas total penampang kolom pada lantai yang ditinjau
- A_g = luas total penampang kotor
- A_s = luas tulangan tarik
- A'_s = luas tulangan tekan
- A_{st} = luas total tulangan baja, yaitu $A_s + A'_s$
- A_v = luas tulangan geser yang berada dalam jarak s
- C = nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana menurut Gambar 3.17 untuk waktu getar alami (T_I)
- CQC = *complete quadratic combination*
- C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (*first mode participation factor*) atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356
- C_1 = nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respon gempa rencana menurut Gambar 2 SNI 03-1726-2002 untuk waktu getar alami fundamental T
- C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier,
- C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356
- C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta
- C_C = gaya tekan pada beton
- C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356
- C_S = gaya tekan pada tulangan
- C_t = faktor modifikasi berdasarkan rekaman gempa yang sesuai dengan tipe bangunan
- DCR = *Demand Capacity Ratio*
- D = death load (beban mati)

- DR = *drift ratio* berdasarkan quick check FEMA 154 (2003)
- d' = tebal selimut beton desak
- d = tinggi efektif balok
- d_y = perpindahan (*displacement*) pada titik leleh
- d_{pi} = perpindahan maksimum
- E = beban gempa ditetapkan berdasarkan SNI-1726-2002
- E_c = modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f'c}$
- E_s = modulus elastisitas baja
- EX = *earthquake* X (beban gempa arah X)
- EY = *earthquake* Y (beban gempa arah Y)
- F_a = fungsi site class dan mapped short-period spectral acceleration
- F_i = nilai distribusi beban lateral yang terjadi pada lantai tingkat i
- F_v = fungsi site class dan mapped spectral acceleration pada periode 1 detik
- f = frekuensi
- $f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
- f_y = tegangan leleh baja tulangan (MPa)
- g = percepatan gravitasi 9.81 m/det^2
- H = tinggi dari lantai dasar sampai atap (m)
- h = tinggi tingkat (m), halaman 46
- h_n = tinggi bangunan (m)
- h_b = tinggi balok dihitung dari tepi dasar sampai ke pusat tulangan tarik
- I = faktor keutamaan gedung menurut Tabel 1 SNI 03-1726-2012
- I = momen inersia (cm^4)
- I_1 = Faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung
- I_2 = Faktor keutamaan untuk menyesuaikan perioda ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian umur gedung tersebut
- I_p = faktor keutamaan komponen yang nilainya antara 1.00 sampai 1.5
- j = jumlah tingkat yang ditinjau
- k = kekakuan
- k = faktor modifikasi redaman yang nilainya ditentukan sesuai dengan Tabel 8.1 ATC-40 (1996)

- K_i = kekakuan awal bangunan pada arah yang ditinjau
 K_e = kekakuan lateral efektif bangunan
 k_b = I/l untuk balok yang ditinjau (m^3)
 k_c = I/h untuk kolom yang ditinjau (m^3)
 L = beban hidup yang ditetapkan sesuai dengan ketentuan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987
 IO = *immadiate occupancy*
 l = jarak pusat kolom ke pusat kolom (m)
 L = panjang bentang balok (cm)
 LS = *life safety*
 M_n = kapasitas momen nominal balok
 M_u = momen pada kondisi ultimate
 M_y = momen pada kondisi leleh
 M_{yf} = momen pada kondisi leleh pertama
 m = jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar
 m = faktor modifikasi komponen, diambil nilai 2.0 untuk bangunan yang dievaluasi dengan target level kinerja life safety, dan 1.3 untuk bangunan dengan target level kinerja Immediate Occupancy, halaman 48
 N = masa layan bangunan, halaman 23
 N = jumlah lantai
 n = jumlah tingkat
 n = nomor lantai tingkat paling atas, halaman 51
 n_b = angka ekivalensi
 n_a = nomor lantai tingkat paling atas
 n_c = jumlah kolom
 n_f = jumlah rangka pada arah pembebanan
 N_i = nilai hasil test penetrasi standar lapisan tanah ke-i
 N = nilai hasil test penetrasi standar tanah rata-rata
 $P_{FI}(I)$ = modal participation untuk mode pertama
 P_n = beban aksial
 P_{nb} = beban aksial yang berkaitan dengan keruntuhan balance
 P_{nt} = kekuatan tarik nominal penampang

- P_o = resiko gempa
 P_{ot} = gaya aksial pada kolom
 q_c = nilai tahanan konus tanah (kg/cm^2)
 Q_{CE} = Kuat yang diharapkan pada setiap komponen
 Q_e = Gaya geser elastik struktur
 Q_s = Gaya geser pada saat terjadi pelelehan pertama
 Q_{UD} = Kuat perlu akibat beban gravitasi dan beban gempa
 Q_y = Gaya geser pada titik leleh
 R = faktor reduksi gempa menurut Tabel 3 SNI 03-1726-2012
 R = rasio “kuat elastik perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”
 R_{aktual} = faktor reduksi gempa aktual
 R_e = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”
 R_p = faktor modifikasi respon komponen yang nilainya bervariasi antara 1.0 sampai 5.0
 R_μ = daktilitas struktur
 r = faktor bilinear positif
 S = final score (skor akhir dalam formulir RVS FEMA 154, 2003)
 $SRSS$ = *square root of the cum of squares*
 S_1 = percepatan respon spectra pada periode 1 detik
 S_a = *spectral acceleration* (g)
 SD = spektrum simpangan (g)
 SD_1 = spektrum respon percepatan pada periode 1.0 detik pertama (g)
 SD_s = spektrum respon percepatan pada periode pendek 0.2 detik (g)
 S_s = percepatan respon periode pendek S_u
 S_{ui} = kuat geser niralir lapisan tanah ke-i (kPa)
 S_u = kuat geser niralir lapisan tanah rata-rata (kPa)
 T = periode fundamental (detik)
 T = Gaya tarik pada tulangan
 T = waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastis
 T_e = waktu getar efektif (detik)
 T_i = periode alami awal elastis (detik) pada arah yang ditinjau
 T_R = periode ulang gempa

- T_s = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan (detik)
- t_i = tebal lapisan tanah ke-i (m)
- V = gaya lateral (KN)
- V_I = gaya geser dasar nominal sebagai respon ragam yang pertama terhadap pengaruh gempa rencana
- V_{avg} = tegangan geser rata-rata pada kolom (kN)
- V_j = gaya geser pada tingkat ke-j (KN)
- V_c = gaya geser dalam kolom (kN)
- V_c = kuat geser yang disumbangkan oleh beton, halaman 61
- V_n = kekuatan geser nominal balok
- V_s = kuat geser yang disumbangkan oleh tulangan geser
- V_x = gaya geser dasar akibat beban elastik statik ekuivalen untuk arah-X
- V_y = gaya geser pada saat leleh, dari idealisasi kurva pushovermenjadi bilinear
- V_y = gaya geser dasar akibat beban elastik statik ekuivalen untuk arah-Y, halaman 132
- v_s = kecepatan rambat gelombang geser tanah (m/detik)
- v_{si} = kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i (m/detik)
- W = berat total bangunan (KN)
- W_i = berat lantai tingkat ke-i, termasuk beban hidup yang sesuai
- W_j = jumlah berat pada semua lantai diatas tingkat ke-j(KN)
- W_t = berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai
- z = tinggi dalam struktur yang diukur dari pengikatan komponen
- Z_i = ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral
- α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastis efektif, dimana hubungan gaya-lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear
- a_y = percepatan (acceleration) pada titik leleh
- a_{pi} = percepatan (acceleration) maksimum
- α_1 = modal mass coefficient untuk mode pertama
- β_{eff} = redaman viskous efektif
- β_{eq} = redaman viskous ekuivalen

- β_0 = redaman histeristik yang direpresentasikan sebagai redaman viskous ekuivalen
- β = nilai redaman pada demandspektra
- β_1 = rasio antara a dengan c
- Δ_{roof} = simpangan atap
- δ_u = perpindahan (displacement) lateral ultimit
- δ_y = perpindahan (displacement) pada saat leleh
- ε_c = regangan desak beton
- \emptyset = amplitude untuk mode pertama
- γ = faktor reduksi dari pelelehan pertama ke code
- μ = faktor daktilitas struktur gedung
- δ_T = target perpindahan
- $\zeta_{(zeta)}$ = koefisien pengali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada wilayah gempa
- Ω = faktor reduksi karena *overstrength*