

## DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xxii
<i>ABSTRACT</i>	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 MANFAAT PENELITIAN	5
1.5 BATASAN PENELITIAN	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 POLA KERUNTUHAN STRUKTUR BANGUNAN	6
2.2 DESAIN KAPASITAS ( <i>CAPACITY DESIGN METHOD</i> )	6
2.3 KURVA KAPASITAS	6
2.4 PENELITIAN TERDAHULU	8
2.5 KEASLIAN PENELITIAN	11
BAB III LANDASAN TEORI	
3.1 FILOSOFI BANGUNAN TAHAN GEMPA	14
3.2 KATEGORI RISIKO DAN FAKTOR KEUTAMAAN	15
3.3 PEMBEBANAN	17
3.3.1 Beban Hidup	18
3.3.2 Beban Mati	18

3.3.3 Beban Gempa	18
3.3.4 Kombinasi Beban untuk Metode Ultimit	19
3.3.5 Faktor Redundansi, $\rho$ , untuk Kategori Desain Seismik D sampai F	19
3.3.6 Pengaruh Beban Gempa	20
3.3.7 Pengaruh Beban Gempa Horizontal	20
3.3.8 Pengaruh Beban Gempa Vertikal	21
3.4 SPEKTRUM RESPON	21
3.4.1 Parameter Percepatan Gempa	22
3.4.2 Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ )	23
3.4.3 Parameter Percepatan Spektral Disain	25
3.4.4 Spektral Respons Desain	25
3.4.5 Kategori Desain Seismik	26
3.4.6 Batasan Perioda Fundamental Struktur ( $T$ )	27
3.4.7 Perhitungan Geser Dasar Seismik	27
3.4.8 Distribusi Gaya Gempa	29
3.5 SIMPANGAN	30
3.6 PERUBAHAN DIMENSI KOLOM PADA BEDA TINGKAT	32
3.7 DESAIN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG	32
3.7.1 Redistribusi Momen	32
3.7.2 Perencanaan Balok Beton Bertulang	33
3.7.3 Perencanaan Kolom Beton Bertulang	35
3.7.4 Perencanaan Tulangan Geser	36
3.8 ANALISIS STATIK NONLINIER <i>PUSHOVER</i>	37
3.9 METODE KOEFISIEN PERPINDAHAN (FEMA 356)	38
3.10 WAKTU GETAR ALAMI EFEKTIF STRUKTUR ( $T_e$ )	42
3.11 SENDI PLASTIS	42
3.12 PEMODELAN SENDI	44
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	
4.1 PEMODELAN STRUKTUR	45

4.2 DESAIN STRUKTUR TAHAN GEMPA	47
4.2.1 Pembebanan	47
4.2.2 Analisis Struktur	48
4.2.3 Desain Balok Beton Bertulang	48
4.2.4 Desain Kolom Kolom Bertulang	48
4.3 ANALISIS NONLINIER <i>PUSHOVER</i>	48
4.3.1 Input Parameter FEMA 356 Kedalam <i>software</i> SAP2000	48
4.3.2 Input <i>plastic Hinge</i> pada SAP2000	50
4.3.3 Input <i>Load Case</i> Gravitasi pada SAP2000	52
4.3.4 Input <i>Load Case Push X</i> dan <i>Push Y</i> pada SAP2000	54
4.3.5 Pelaksanaan <i>Running Pushover Analysis</i>	55
4.4 BAGAN ALIR PENELITIAN	57
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
5.1 ANALISIS STRUKTUR LINIER	59
5.1.1 Penentuan Ukuran Balok dan Kolom	59
5.1.2 Pembebanan	63
5.1.3 Berat Total Bangunan	63
5.1.4 Perhitungan Beban Gempa	66
5.1.5 Redistribusi Momen Balok	73
5.1.6 Desain Tulangan Balok	74
5.1.7 Desain Tulangan Kolom	88
5.1.8 Simpangan	100
5.1.9 Kekakuan Tingkat	103
5.2 ANALISIS STRUKTUR MENGGUNAKAN <i>PUSHOVER ANALYSIS</i>	104
5.2.1 Pembebanan Analisis <i>Pushover</i> pada SAP2000 v14	104
5.2.2 Kurva Kapasitas ( <i>Capacity Curve</i> ) Gedung 1	111
5.2.3 Kurva Kapasitas ( <i>Capacity Curve</i> ) Gedung 2	119
5.2.4 Sendi Plastis Gedung 1	128
5.2.5 Sendi Plastis Gedung 2	131

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 KESIMPULAN	133
6.2 SARAN DAN REKOMENDASI	134
DAFTAR PUSTAKA	135
LAMPIRAN	



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Perbandingan penelitian sebelumnya dan sekarang	12
<b>Tabel 3.1</b>	Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung	15
<b>Tabel 3.2</b>	Faktor keutamaan gempa	17
<b>Tabel 3.3</b>	Beban mati pada lantai	18
<b>Tabel 3.4</b>	Beban mati pada atap	18
<b>Tabel 3.5</b>	Koefisien situs, $F_a$	24
<b>Tabel 3.6</b>	Koefisien situs, $F_v$	24
<b>Tabel 3.7</b>	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	26
<b>Tabel 3.8</b>	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik	26
<b>Tabel 3.9</b>	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	27
<b>Tabel 3.10</b>	Nilai parameter perioda pendekatan $C_t$ dan $x$	27
<b>Tabel 3.11</b>	Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk sistem penahan gaya gempa	28
<b>Tabel 3.12</b>	Simpangan antar lantai ijin, $\Delta_a$	31
<b>Tabel 3.13</b>	Nilai untuk faktor modifikasi $C_0^1$	40
<b>Tabel 3.14</b>	Nilai untuk faktor massa efektif	40
<b>Tabel 3.15</b>	Nilai faktor modifikasi $C_2$	41
<b>Tabel 4.1</b>	Informasi model bangunan yang akan dianalisis	45
<b>Tabel 5.1</b>	Beban lantai	63
<b>Tabel 5.2</b>	Beban atap	63
<b>Tabel 5.3</b>	Berat total bangunan gedung 1	64
<b>Tabel 5.4</b>	Berat total bangunan gedung 2	65
<b>Tabel 5.5</b>	Parameter respon spektrum yang digunakan untuk wilayah Yogyakarta	68
<b>Tabel 5.6</b>	Penentuan kategori desain seismic	69
<b>Tabel 5.7</b>	Parameter perhitungan gaya lateral statik ekuivalen	72
<b>Tabel 5.8</b>	Perhitungan distribusi gaya lateral statik ekuivalen gedung 1	72
<b>Tabel 5.9</b>	Perhitungan distribusi gaya lateral statik ekuivalen gedung 2	73
<b>Tabel 5.10</b>	Rekapitulasi redistribusi momen pada gedung 1	73

<b>Tabel 5.11</b> Rekapitulasi redistribusi momen pada gedung 2	74
<b>Tabel 5.12</b> Rekap Tulangan Lentur untuk bangunan gedung 1	83
<b>Tabel 5.13</b> Rekap Tulangan Lentur untuk bangunan gedung 2	83
<b>Tabel 5.14</b> Rekap tulangan geser gedung 1 dan gedung 2	85
<b>Tabel 5.15</b> Rekapitulasi tulangan kolom gedung 1	95
<b>Tabel 5.16</b> Rekapitulasi tulangan kolom gedung 2	96
<b>Tabel 5.17</b> Rasio tulangan pada gedung 1	96
<b>Tabel 5.18</b> Rasio tulangan pada gedung 2	96
<b>Tabel 5.19</b> Rekapitulasi tulangan geser kolom gedung 1	99
<b>Tabel 5.20</b> Rekapitulasi tulangan geser kolom gedung 2	100
<b>Tabel 5.21</b> Rekapitulasi perhitungan <i>drift ratio</i> pada gedung 1 arah X	101
<b>Tabel 5.22</b> Rekapitulasi perhitungan <i>drift ratio</i> pada gedung 1 arah Y	101
<b>Tabel 5.23</b> Rekapitulasi perhitungan <i>drift ratio</i> pada gedung 2 arah X	101
<b>Tabel 5.24</b> Rekapitulasi perhitungan <i>drift ratio</i> pada gedung 2 arah Y	101
<b>Tabel 5.25</b> Kekakuan tingkat gedung 1	104
<b>Tabel 5.26</b> Kekakuan tingkat gedung 2	104
<b>Tabel 5.27</b> Data <i>pushover</i> gedung 1 arah X	112
<b>Tabel 5.28</b> Data <i>pushover</i> gedung 1 arah Y	113
<b>Tabel 5.29</b> Target perpindahan dengan metode FEMA 356 pada gedung 1	113
<b>Tabel 5.30</b> Nilai waktu getar alami efektif dengan metode koefisien perpindahan FEMA 356 (gedung 1)	114
<b>Tabel 5.31</b> Data <i>pushover</i> gedung 2 arah X	119
<b>Tabel 5.32</b> Data <i>pushover</i> gedung 2 arah Y	120
<b>Tabel 5.33</b> Target perpindahan dengan metode FEMA 356 pada gedung 2	121
<b>Tabel 5.34</b> Nilai waktu getar alami efektif dengan metode koefisien perpindahan FEMA 356 (gedung 1)	122

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Kurva kapasitas	7
<b>Gambar 3.1</b> Level-level kerusakan bangunan	15
<b>Gambar 3.2</b> Peta parameter $S_s$ (percepatan batuan dasar pada perioda pendek)	22
<b>Gambar 3.3</b> Peta parameter $S_1$ (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik)	23
<b>Gambar 3.4</b> Spektrum respon desain	26
<b>Gambar 3.5</b> Parameter simpangan antar lantai	30
<b>Gambar 3.6</b> Kolom dengan dimensi seragam	32
<b>Gambar 3.7</b> Kolom dengan variasi dimensi	32
<b>Gambar 3.8</b> Distribusi tegangan dan regangan penampang tulangan tunggal	33
<b>Gambar 3.9</b> Gaya lateral pada analisis <i>pushover</i>	38
<b>Gambar 3.10</b> Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan	39
<b>Gambar 3.11</b> Perilaku Pasca Leleh Sistem Struktur	41
<b>Gambar 3.12</b> Parameter Waktu Getar Fundamental Efektif dari Kurva <i>Pushover</i>	42
<b>Gambar 3.13</b> Mekanisme runtuh pada portal terbuka	43
<b>Gambar 3.14</b> Hubungan <i>Force-Deformation</i>	44
<b>Gambar 4.1</b> Denah bangunan yang akan diteliti	46
<b>Gambar 4.2</b> Gambar tampak bangunan dengan dimensi kolom Seragam pada tiap tingkat	46
<b>Gambar 4.3</b> Gambar tampak bangunan dengan variasi dimensi kolom pada tiap dua	47
<b>Gambar 4.4</b> Input parameter SAP2000	49
<b>Gambar 4.5</b> Pembuatan parameter baru	49
<b>Gambar 4.6</b> Input parameter FEMA 356	50
<b>Gambar 4.7</b> <i>Frame hinge assignments</i>	51
<b>Gambar 4.8</b> <i>Auto Hinge Assignment Data</i>	51
<b>Gambar 4.9</b> Pembuatan kasus pembebanan Gravitasi	52

<b>Gambar 4.10</b> <i>Load Application Control for Nonlinear Static Analysis</i>	52
<b>Gambar 4.11</b> <i>Result Saved for Nonlinear Static Load Cases</i>	53
<b>Gambar 4.12</b> Input pembebanan <i>PushX</i>	54
<b>Gambar 4.13</b> <i>Load application control for nonlinear static analysis pada PushX</i>	54
<b>Gambar 4.14</b> <i>Result Saved for Nonlinear Static Load Cases pada PushX</i>	55
<b>Gambar 4.15</b> <i>Running analisis pushover</i>	56
<b>Gambar 4.16</b> Bagan alir penelitian	57
<b>Gambar 5.1</b> Penampang balok	59
<b>Gambar 5.2</b> Grafik spektrum respon desain	69
<b>Gambar 5.3</b> Super posisi Gaya Geser pada balok	84
<b>Gambar 5.4</b> Diagram Mn-Pn arah x untuk gedung 1	92
<b>Gambar 5.5</b> Diagram Mn-Pn arah y untuk gedung 1	93
<b>Gambar 5.6</b> Diagram Mn-Pn arah x untuk gedung 2 pada lantai 1 dan 2	93
<b>Gambar 5.7</b> Diagram Mn-Pn arah y untuk gedung 2 pada lantai 1 dan 2	94
<b>Gambar 5.8</b> Diagram Mn-Pn arah x untuk gedung 2 pada lantai 3 dan 4	94
<b>Gambar 5.9</b> Diagram Mn-Pn arah y untuk gedung 2 pada lantai 3 dan 4	95
<b>Gambar 5.10</b> Simpangan antar lantai pada gedung 1 dan gedung 2 arah X	102
<b>Gambar 5.11</b> Simpangan antar lantai pada gedung 1 dan gedung 2 arah Y	102
<b>Gambar 5.12</b> Pengaturan <i>analysis case</i> beban gravitasi	105
<b>Gambar 5.13</b> Pengaturan <i>Analysis Case</i> beban lateral arah X	106
<b>Gambar 5.14</b> Pengaturan <i>Analysis Case</i> beban lateral arah Y	107
<b>Gambar 5.15</b> <i>Load Application Control for Nonlinear Static Analysis</i>	108
<b>Gambar 5.16</b> <i>Result Save for Nonlinear Static Load Cases</i>	108



<b>Gambar 5.17</b> <i>Nonlinear Parameter</i>	109
<b>Gambar 5.18</b> Modifikasi parameter metode Koefisien Perpindahan	110
<b>Gambar 5.19</b> Kurva <i>pushover</i> arah X dengan metode koefisien perpindahan (FEMA 356) pada gedung 1	111
<b>Gambar 5.20</b> Kurva <i>pushover</i> arah Y dengan metode koefisien perpindahan (FEMA 356) pada gedung 1	112
<b>Gambar 5.21</b> parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebanan arah X (gedung 1)	115
<b>Gambar 5.22</b> Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebanan arah Y (gedung 1)	115
<b>Gambar 5.23</b> Ilustrasi gaya geser yang terjadi pada pembebanan arah X terhadap berat total bangunan (gedung 1)	116
<b>Gambar 5.24</b> Ilustrasi gaya geser yang terjadi pada pembebanan arah Y terhadap berat total bangunan (gedung 1)	117
<b>Gambar 5.25</b> Perbandingan kurva kapasitas gedung 1	117
<b>Gambar 5.26</b> Kurva <i>pushover</i> arah X dengan metode koefisien perpindahan (FEMA 356) pada gedung 2	118
<b>Gambar 5.27</b> Kurva <i>pushover</i> arah Y dengan metode koefisien perpindahan (FEMA 356) pada gedung 2	119
<b>Gambar 5.28</b> Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebanan arah X (gedung 2)	122
<b>Gambar 5.29</b> Parameter waktu getar alami efektif dari kurva <i>pushover</i> pada pembebanan arah Y (gedung 2)	123
<b>Gambar 5.30</b> Ilustrasi gaya geser yang terjadi pada pembebanan arah X terhadap berat total bangunan (gedung 2)	124
<b>Gambar 5.31</b> Ilustrasi gaya geser yang terjadi pada pembebanan arah Y terhadap berat total bangunan (gedung 2)	124
<b>Gambar 5.32</b> Perbandingan kurva kapasitas gedung 2	125
<b>Gambar 5.33</b> Perbandingan kurva kapasitas gedung 1 dan gedung 2 arah x	126
<b>Gambar 5.34</b> Perbandingan kurva kapasitas gedung 1 dan gedung 2 arah y	126

<b>Gambar 5.35</b> Sendi plastis struktur gedung 1 arah X	127
<b>Gambar 5.36</b> Sendi plastis struktur gedung 1 arah Y	128
<b>Gambar 5.37</b> Sendi plastis struktur gedung 2 arah X	129
<b>Gambar 5.38</b> Sendi plastis struktur gedung 2 arah Y	130
<b>Gambar 5.39</b> <i>Soft Story</i> pada gedung 2	131



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Denah Bangunan pada Kedua Gedung
- Lampiran 2. Detail Balok Induk (B1) Lantai 1
- Lampiran 3. Detail Balok Induk (B1) Lantai 2
- Lampiran 4. Detail Balok Induk (B1) Lantai 3
- Lampiran 5. Detail Balok Induk (B1) Lantai 4
- Lampiran 6. Detail Balok Anak (Ba1) Lantai 1
- Lampiran 7. Detail Balok Anak (Ba1) Lantai 2
- Lampiran 8. Detail Balok Anak (Ba1) Lantai 3
- Lampiran 9. Detail Balok Anak (Ba1) Lantai 4
- Lampiran 10. Detail Kolom 1 dan Kolom 2
- Lampiran 11. Sendi Plastis Arah X Gedung 1 pada Step-1 dan Step-2
- Lampiran 12. Sendi Plastis Arah X Gedung 1 pada Step-3 dan Step-4
- Lampiran 13. Sendi Plastis Arah X Gedung 1 pada Step-5 dan Step-6
- Lampiran 14. Sendi Plastis Arah X Gedung 1 pada Step-7 dan Step-8
- Lampiran 15. Sendi Plastis Arah Y Gedung 1 pada Step-1 dan Step-2
- Lampiran 16. Sendi Plastis Arah Y Gedung 1 pada Step-3 dan Step-4
- Lampiran 17. Sendi Plastis Arah Y Gedung 1 pada Step-5 dan Step-6
- Lampiran 18. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-1 dan Step-2
- Lampiran 19. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-3 dan Step-4
- Lampiran 20. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-5 dan Step-6
- Lampiran 21. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-7 dan Step-8
- Lampiran 22. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-9 dan Step-10
- Lampiran 23. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-11 dan Step-12

- Lampiran 24. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-13 dan Step-14
- Lampiran 25. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-15 dan Step-16
- Lampiran 26. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-17 dan Step-18
- Lampiran 27. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-19 dan Step-20
- Lampiran 28. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-21 dan Step-22
- Lampiran 29. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-23 dan Step-24
- Lampiran 30. Sendi Plastis Arah X Gedung 2 pada Step-25 dan Step-26
- Lampiran 31. Sendi Plastis Arah Y Gedung 2 pada Step-1 dan Step-2
- Lampiran 32. Sendi Plastis Arah Y Gedung 2 pada Step-3 dan Step-4
- Lampiran 33. Sendi Plastis Arah Y Gedung 2 pada Step-5 dan Step-6
- Lampiran 34. Sendi Plastis Arah Y Gedung 2 pada Step-7 dan Step-8
- Lampiran 35. Sendi Plastis Arah Y Gedung 2 pada Step-9 dan Step-10
- Lampiran 36. Sendi Plastis Arah Y Gedung 2 pada Step-11 dan Step-12
- Lampiran 37. Sendi Plastis Arah Y Gedung 2 pada Step-13 dan Step-14



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	: Standardisasi Nasional Indonesia
FEMA 356 (2000)	: <i>Federal Emergency Management Agency</i>
SAP	: Structur Annalysys Program
Ie	: faktor keutamaan
Ss	: percepatan batuan dasar pada perioda pendek
S <sub>1</sub>	: percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik
Fa	: faktor amplifikasi getaran pada getaran perioda : pendek
Fv	: faktor amplifikasi percepatan getaran perioda 1 : detik
S <sub>DS</sub>	: parameter respons spektral percepatan desain pada : perioda pendek
S <sub>D1</sub>	: parameter respons spektral percepatan desain pada : perioda 1 detik
T	: perioda getar fundamental struktur
C <sub>s</sub>	: koefisien respons seismik
W	: berat seismik efektif
S <sub>DS</sub>	: parameter percepatan spektrum respons desain : dalam rentang perioda pendek
R	: faktor modifikasi respons
C <sub>vx</sub>	: faktor distribusi
V	: gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur, : dinyatakan dalam kilonewton (kN)
W <sub>i</sub> dan w <sub>x</sub>	: bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang : ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x, : dinyatakan dalam meter (m)
H <sub>i</sub> dan h <sub>x</sub>	: tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x, dinyatakan : dalam meter (m)
K	: eksponen yang terkait dengan perioda struktur
D	: beban mati dari struktur dan perlengkapan, tidak

	: termasuk pemasangan tali
E	: beban gempa
$T_e$	: waktu getar alami efektif yang memperhitungkan : kondisi inelastik
$C_0$	: koefisien faktor bentuk
$C_1$	: faktor modifikasi yang menghubungkan : perpindahan inelastik maksimum dengan : perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier
$T_s$	: waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva : respons spectrum pada titik dimana terdapat transisi : bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan : konstan.
R	: rasio “kuat elastic perlu terhadap koefisien kuat : leleh terhitung
$S_a$	: akselerasi respons spectrum yang berkesesuaian : dengan waktu getar alami efektif pada arah yang di : tinjau
$V_y$	: gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi : kurva <i>pushover</i> menjadi linier
W	: total beban mati yang di reduksi
$C_m$	: factor masa efektif
$C_2$	: koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” : dari hubungan beban-deformasi akibat degradasi : kekakuan dan kekuatan
$C_3$	: koefisien untuk memperhitungkan pembesaran : lateral akibat adanya efek P-delta
$\alpha$	: rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan : elastic efektif, dimana hubungan gaya lendutan : didealisasikan sebagai kurva bilinear
g	: percepatan gravitasi 9,81 m/det <sup>2</sup>
$A_g$	: luas penampang lintang bruto
a	: tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen

b	: lebar penampang (m)
As	: luas tulangan tarik (m <sup>2</sup> )
fy	: tegangan tarik baja (mPa)
fc'	: tegangan tekan beton (mPa)
T	: resultan gaya dalam tarik baja
d	: tinggi efektif (jarak serat teratas terhadap tulangan)
n	: jumlah tulangan

