

TESIS

**EVALUASI DINAMIK NONLINEAR KINERJA
SEISMIC SISTEM GANDA KHUSUS BETON
BERTULANG DENGAN PERFORM-3D**



OLEH:

YOSEPH SATRIO RESKY A.P

225119323

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2024**



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL

PERSETUJUAN TESIS

Nama : Yoseph Satrio Resky A.P
Nomor Mahasiswa : 225119323
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Evaluasi Dinamik Nonlinear Kinerja Seismik Sistem
Ganda Khusus Beton Bertulang Dengan Perform-3D

Dosen Pembimbing

Tanggal

Tanda Tangan

Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng

27/4/24



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Yoseph Satrio Resky A.P
Nomor Mahasiswa : 225119323
Konsentrasi : Struktur
Judul tesis : Evaluasi Dinamik Nonlinear Kinerja Seismik Sistem
Ganda Khusus Beton Bertulang Dengan Perform-3D

Dosen Penguji

Tanggal

Tanda Tangan

Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng.

27/4/24

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.

27/4/2024

Prof. Dr. Ir. Ade Lisantono, M.Eng.

28/04/2024

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Sipil



FAKULTAS
TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tesis dengan Judul :

EVALUASI DINAMIK NONLINEAR KINERJA SEISMIK SISTEM GANDA KHUSUS BETON BERTULANG DENGAN PERFORM-3D

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain, ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tesis ini. Apabila terbukti di kemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 25 Mei 2024



Yoseph Satrio Resky A.P

NPM: 225 119 323

INTISARI

Kinerja bangunan yang direncanakan dapat diketahui secara eksplisit melalui evaluasi dinamik nonlinear, pada kasus ini sistem struktur ganda khusus menjadi objek utama dalam menilai kinerja seismiknya. Sistem struktur yang direncanakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 1726-2019, SNI 1727-2020 dan SNI 2847-2019. Kriteria penerimaan pada penelitian ini mengacu pada ASCE 41-17, FEMA 273 dan FEMA 356. Parameter nonlinear elemen struktur menggunakan perilaku inelastik yang berasal dari perilaku inelastik penampang, parameter inelastik penampang ini diperoleh menggunakan perangkat lunak bantu yaitu XTRACT untuk mendapatkan nilai momen dan rotasi inelastik pada level penampang balok dan kolom. Parameter inelastik dinding geser dimodelkan berdasarkan pendekatan *fiber* yaitu menggunakan parameter inelastik level material. Kinerja seismik sistem struktur sangat bergantung pada kinerja masing-masing elemen struktur, pemodelan nonlinear sistem struktur menggunakan perangkat lunak bantu PERFORM-3D. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak PERFORM-3D adalah kinerja masing-masing komponen dari hasil pendefinisian level *usage ratio*. Hasil analisis nonlinear dinamik pada penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja sistem struktur berada pada kinerja *life safety (LS)* pada level gempa DBE dan berada pada kinerja *Collapse Prevention (CP)* pada level gempa MCE. Bagian lemah dari elemen struktur dapat dilihat melalui besaran kontribusi elemen dalam mendisipasi energi gempa, Balok B1 menjadi elemen dengan kontribusi terbesar dalam arah ortogonal X-X dan Balok B2 dan Kolom K1SW menjadi elemen dengan kontribusi terbesar arah ortogonal Y-Y.

Kata Kunci : Dinamik Nonlinear, Disipasi, Inelastik, Kinerja, PERFORM-3D.

ABSTRACT

The performance of a planned building can be known explicitly through nonlinear dynamic evaluation, in this case a dual system structure is the main object in assessing its seismic performance. The planned structural system refers to the Indonesian National Standard SNI 1726-2019, SNI 1727-2020 and SNI 2847-2019. The acceptance criteria in this study refer to ASCE 41-17, FEMA 273 and FEMA 356. The nonlinear parameters of structural elements use inelastic behavior derived from the inelastic behavior of the cross-section, these cross-sectional inelastic parameters are obtained using auxiliary software, XTRACT, to obtain the value of inelastic moments and rotations at the beam and column cross-section levels. The inelastic parameters of the shear wall are modeled based on the fiber approach using material-level inelastic parameters. The seismic performance of the structural system is highly dependent on the performance of each structural element, nonlinear modeling of the structural system using PERFORM-3D auxiliary software. The result of the analysis using PERFORM-3D software is the performance of each component from the results of defining the level usage ratio. The results of the nonlinear dynamic analysis in this study show that the structural system performance is at the life safety (LS) performance at the DBE earthquake level and is at the Collapse Prevention (CP) performance at the MCE earthquake level. The weak part of the structural elements can be seen through the magnitude of the contribution of the elements in dissipating earthquake energy, Beam B1 being the element with the largest contribution in the X-X orthogonal direction and Beam B2 and Column K1SW being the elements with the largest contribution in the Y-Y orthogonal direction.

Kata Kunci : Nonlinear Dyanamic, Dissipating, Inelastic, performance, PERFORM-3D.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan segala Rahmat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tesis dengan judul "Evaluasi Dinamik Nonlinear Kinerja Seismik Sistem Ganda Khusus Beton Bertulang Dengan Perform-3D".

Tujuan dari penyusunan Tesis ini adalah untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tinggi program Strata-2 (S-2), pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dalam penyusunan laporan Tesis ini, tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penyusun banyak mengucapkan terima kasih kepada :

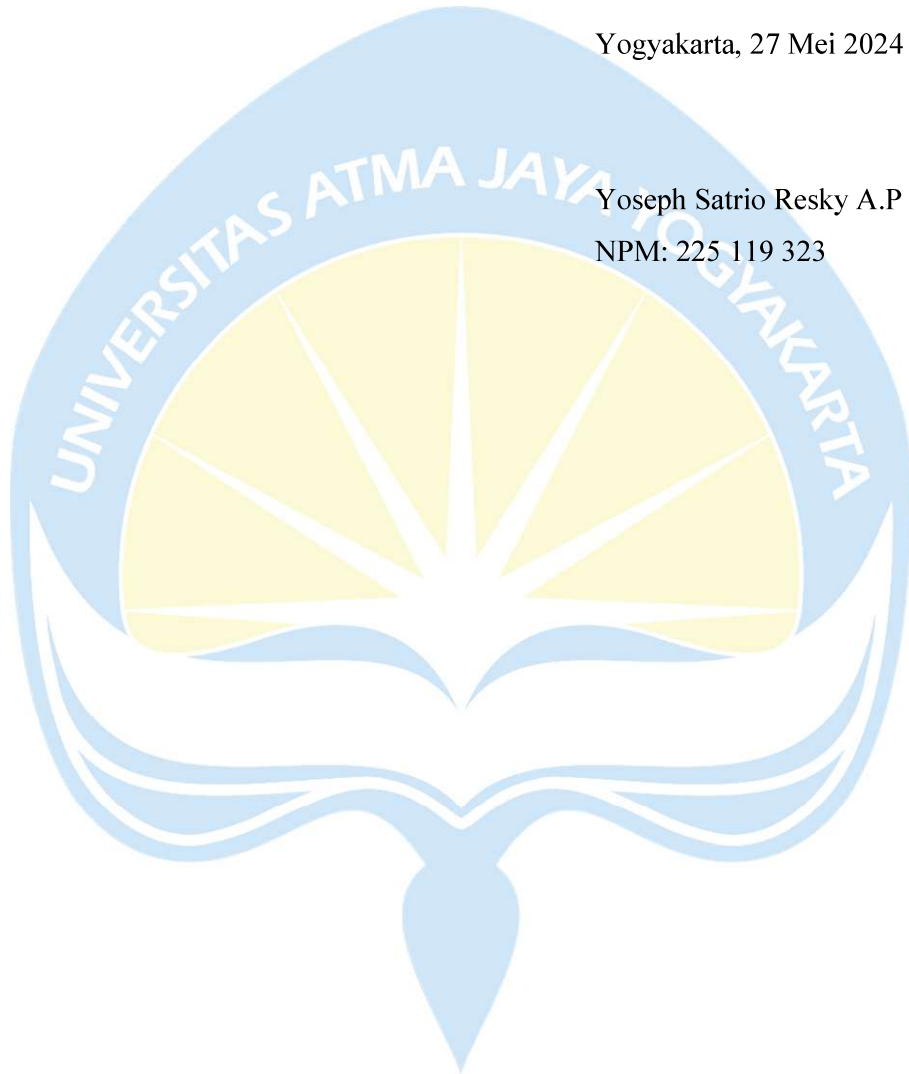
1. Prof. Ir.AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Phd., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil.
2. Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah sabar memberikan banyak bantuan dan saran sehingga laporan Tesis ini dapat selesai.
3. Segenap Dosen Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah mendidik dan membagikan banyak pengetahuan kepada penyusun.
4. Keluarga penyusun yang selalu memberikan dukungan moral dan material serta doa yang tak pernah putus.
5. Rekan-rekan Program studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pak Hendry David Zacharias, Kaka Rivaldo Siahaya.
6. Saudara Gilang Arya Perdana, yang membantu memberikan saran dan kritik dalam penulisan dan penyusunan laporan tesis ini.
7. Seluruh staf Tata Usaha dan Bagian Operasional Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
8. Semua pihak yang secara tidak langsung mendukung dalam proses penyusunan dan proses penyelesaian laporan tesis ini.

Dengan segala keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, penyusun menyadari laporan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak senantiasa diharapkan untuk peningkatan penelitian berikutnya.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 27 Mei 2024

Yoseph Satrio Resky A.P
NPM: 225 119 323



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN TESIS	ii
PENGESAHAN TESIS	iii
INTISARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Tujuan penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Struktur.....	5
2.2 Desain Berbasis Preskriptif.....	6
2.2.1 Pembebanan Gravitasi.....	6
2.2.2 Pembebanan Gempa.....	6
2.2.3 Kombinasi Pembebanan.....	7
2.2.4 Ketidakberaturan Struktur	7
2.2.5 Proporsi Penyerapan Gaya Gempa Sistem Ganda	7
2.2.6 Partisipasi Massa Ragam Struktur	7
2.2.7 Perbandingan Gaya Geser dasar Statis dan Dinamis	8
2.2.8 Simpangan Antar Lantai	8
2.2.9 Stabilitas Struktur Terhadap P-Delta	8
2.2.10 Detail Penulangan Elemen Struktur	8
2.3 Desain Berbasis Kinerja.....	9

2.3.1 Parameter Nonlinear Elemen Struktur	9
2.3.2 Kriteria penerimaan dan Level Gempa	15
2.3.3 Analisis <i>Time history</i>	16
2.4 Kinerja Struktur.....	17
2.4.1 <i>Operation</i>	19
2.4.2 <i>Immediate Occupancy (IO)</i>	19
2.4.3 <i>Life Safety (LS)</i>	20
2.4.4 <i>Collapse Prevention (CP)</i>	20
2.5 Penelitian Terdahulu	21
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Uraian Umum.....	25
3.2 Data Analisis Linear Penelitian.....	29
3.3 Sistematika Penulisan	34
3.4 Jadwal Penelitian.....	35
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Analisis Linear	36
4.1.1 Pembebanan Gravitasi.....	36
4.1.2 Pembebanan Gempa.....	37
4.1.3 Kombinasi Pembebanan.....	41
4.1.4 Pemodelan ETABS	42
4.2 Kontrol Analisis Linear.....	43
4.2.1 Kontrol Ketidakberaturan Horizontal Struktur	44
4.2.2 Kontrol Ketidakberaturan Vertikal Struktur	46
4.2.3 Kontrol Proporsi Penyerapan Gaya Gempa Sistem Ganda.....	48
4.2.4 Kontrol Partisipasi Massa Ragam	49
4.2.5 Kontrol Perbandingan Geser Dasar Statis Dan Dinamis	49
4.2.6 Kontrol Retak pada Dinding Geser	49
4.2.7 Kontrol Simpangan Antar Lantai	50
4.2.8 Kontrol Pengaruh P-Delta Terhadap Stabilitas Struktur	51
4.2.9 Detail Penulangan Elemen Struktur	52
4.3 Analisis Nonlinear.....	58
4.3.1 Sifat Inelastik Material Tidak Terkekang (XTRACT).....	58

4.3.2 Sifat Inelastik Material Terkekang (XTRACT)	58
4.3.3 Sifat Inelastik Baja Tulangan (XTRACT)	59
4.3.4 Analisis Perilaku Nonlinear Penampang.....	60
4.3.5 Paramater Pencarian Data Rekaman Gempa.....	61
4.3.6 Penskalaan Rekaman Gempa Dengan Spektra Desain	65
4.3.7 Parameter Inelastik dan Elastik Model Perform-3D Struktur	69
4.3.8 Pemodelan Pada PERFORM-3D	92
4.3.9 Analisis Pada PERFORM-3D.....	93
4.3.10 Perbandingan Periode Alami ETABS dan PERFORM-3D	95
4.4 Hasil Analisis Pada Level Gempa DBE.....	97
4.4.1 Simpangan Antar Lantai Maksimum Level Gempa DBE	97
4.4.2 Simpangan Lantai Maksimum Level Gempa DBE.....	99
4.4.3 Simpangan Antar Lantai Residual Level Gempa DBE.....	100
4.4.4 Gaya Geser Dasar Struktur Level Gempa DBE.....	102
4.4.5 Rasio Disipasi Inelastik Elemen Level Gempa DBE	104
4.4.6 Tingkat Kinerja Struktrur Level Gempa DBE	109
4.5 Hasil Analisis Pada Level Gempa MCE	116
4.5.1 Simpangan Antar Lantai Maksimum Level Gempa MCE.....	116
4.5.2 Simpangan Lantai Maksimum Level Gempa MCE	118
4.5.3 Simpangan Antar Lantai Residual Level Gempa MCE	119
4.5.4 Gaya Geser Dasar Struktur Level Gempa MCE	120
4.5.5 Rasio Disipasi Inelastik Elemen Level Gempa MCE	123
4.5.6 Tingkat Kinerja Struktrur Level Gempa MCE.....	127
4.6 Pembahasan Hasil Analisis	134
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	136
5.1 Kesimpulan	136
5.2 Saran.....	137
DAFTAR PUSTAKA	138

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Level Kinerja ASCE 41-17 terhadap level gempa FEMA 273.....	15
Tabel 2. 2 Level Gempa Desain (<i>Seismik Hazard</i>)	15
Tabel 2. 3 Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian saat ini	23
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	35
Tabel 4. 1 Beban Mati Plat Lantai 2-12	36
Tabel 4. 2 Beban Mati Plat Atap.....	36
Tabel 4. 3 Beban Mati Tambahan dari Dinding.....	37
Tabel 4. 4 Distribusi Gempa Statik Ekvivalen Arah X-X.....	40
Tabel 4. 5 Distribusi Gempa Statik Ekvivalen Arah Y-Y	41
Tabel 4. 6 Ketentuan Inersia Crack Pada Pemodelan Awal.....	42
Tabel 4. 7 Kontrol Ketidakberaturan Struktur	44
Tabel 4. 8 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b	45
Tabel 4. 9 Cek Ketidakberaturan Sudut Dalam	45
Tabel 4. 10 Cek Ketidak Beraturan Vertikal 1a dan 1b	46
Tabel 4. 11 Cek Ketidakberaturan Berat Massa.....	47
Tabel 4. 12 Ketidakberaturan Geometri Vertikal.....	47
Tabel 4. 13 Cek Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat...	48
Tabel 4. 14 Rekap Penyerapan Gaya Gempa Struktur.....	48
Tabel 4. 15 Partisasi Massa Ragam	49
Tabel 4. 16 Perbandingan Geser Dasar Statis dan Dinamis.....	49
Tabel 4. 17 Detail Penulangan Plat Lantai.....	52
Tabel 4. 18 Detail Penulangan Plat Atap	53
Tabel 4. 19 Detail Penulangan Balok B1 500/700	54
Tabel 4. 20 Detail Penulangan Balok B2 500/700	55
Tabel 4. 21 Detail Penulangan Kolom K1	56
Tabel 4. 22 Detail Penulangan Dinding Geser.....	57
Tabel 4. 23 Parameter Rekaman Gempa dari Buku Peta Deagregasi	61
Tabel 4. 24 Tabel Rekaman Gempa Sesuai Parameter	65
Tabel 4. 25 Data Rekaman Gempa Dua Arah Horizontal.....	67
Tabel 4. 26 Parameter Inelastik Beton Terkekang	70
Tabel 4. 27 Parameter Inelastik Beton Tidak Terkekang.....	72

Tabel 4. 28 Parameter Inelastik Baja Tulangan	73
Tabel 4. 29 Parameter Penampang Balok B1.....	77
Tabel 4. 30 Parameter Penampang Balok B2.....	77
Tabel 4. 31 Parameter Penampang Balok B3.....	77
Tabel 4. 32 Parameter Penampang Balok <i>Embedded</i>	78
Tabel 4. 33 Parameter Penampang Balok B1.....	79
Tabel 4. 34 Daftar Material Fiber pada Dinding Geser	80
Tabel 4. 35 Daftar Monitor Kapasitas Material	81
Tabel 4. 36 Parameter Penampang (Diasumsikan Elastik)	81
Tabel 4. 37 Parameter Plat Lantai dan Atap	82
Tabel 4. 38 Parameter Inelastik Balok B1	83
Tabel 4. 39 Parameter Inelastik Balok B2	84
Tabel 4. 40 Parameter Inelastik Kolom K1	86
Tabel 4. 41 Daftar <i>Compound</i> Balok B1 500/700.....	87
Tabel 4. 42 Daftar <i>Compound</i> Balok B2 500/700.....	88
Tabel 4. 43 Daftar <i>Compound</i> Balok B3 500/700.....	88
Tabel 4. 44 Daftar <i>Compound</i> Balok SW-B2-SW	88
Tabel 4. 45 Daftar <i>Compound</i> Balok SW-B2	88
Tabel 4. 46 Daftar <i>Compound</i> Kolom K1 700/700.....	90
Tabel 4. 47 Daftar <i>Compound</i> Kolom K1 pada Tumpuan	90
Tabel 4. 48 Perbandingan Nilai Periode Alami Struktur	95
Tabel 4. 49 Kontribusi Sistem Rangka Arah X - SC	102
Tabel 4. 50 Kontribusi Sistem Rangka Arah Y - SC	103
Tabel 4. 51 Kontribusi Sistem Rangka Arah X - BO.....	103
Tabel 4. 52 Kontribusi Sistem Rangka Arah Y - BO.....	103
Tabel 4. 53 Kontribusi Sistem Rangka Arah X - MT	104
Tabel 4. 54 Kontribusi Sistem Rangka Arah Y - MT	104
Tabel 4. 55 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah X - SC	106
Tabel 4. 56 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah Y - SC	106
Tabel 4. 57 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah X - BO.....	107
Tabel 4. 58 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah Y - BO.....	108
Tabel 4. 59 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah X - MT	109
Tabel 4. 60 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah Y - SC	109

Tabel 4. 61 Tingkat Kinerja Gempa Arah X - SC.....	111
Tabel 4. 62 Tingkat Kinerja Gempa Arah Y – SC	111
Tabel 4. 63 Drift Rasio - SC.....	111
Tabel 4. 64 Tingkat Kinerja Gempa Arah X - BO	113
Tabel 4. 65 Tingkat Kinerja Gempa Arah Y - BO	113
Tabel 4. 66 Drift Rasio - BO	113
Tabel 4. 67 Tingkat Kinerja Gempa Arah X - MT	115
Tabel 4. 68 Tingkat Kinerja Gempa Arah Y - MT	115
Tabel 4. 69 Drift Rasio - MT	115
Tabel 4. 70 Kontribusi Sistem Rangka Arah X - SC	121
Tabel 4. 71 Kontribusi Sistem Rangka Arah Y - SC	121
Tabel 4. 72 Kontribusi Sistem Rangka Arah X - BO.....	122
Tabel 4. 73 Kontribusi Sistem Rangka Arah Y - BO.....	122
Tabel 4. 74 Kontribusi Sistem Rangka Arah X - MT	123
Tabel 4. 75 Kontribusi Sistem Rangka Arah Y - MT	123
Tabel 4. 76 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah X - SC	124
Tabel 4. 77 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah Y - SC	125
Tabel 4. 78 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah X - BO.....	126
Tabel 4. 79 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah Y - BO.....	126
Tabel 4. 80 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah X - MT	127
Tabel 4. 81 Kontribusi Elemen Disipasi Energi Arah Y - SC	127
Tabel 4. 82 Tingkat Kinerja Gempa Arah X - SC.....	129
Tabel 4. 83 Tingkat Kinerja Gempa Arah Y – SC	129
Tabel 4. 84 Drift Rasio - SC.....	129
Tabel 4. 85 Tingkat Kinerja Gempa Arah X - BO	131
Tabel 4. 86 Tingkat Kinerja Gempa Arah Y - BO	131
Tabel 4. 87 Drift Rasio - BO.....	131
Tabel 4. 88 Tingkat Kinerja Gempa Arah X - MT	133
Tabel 4. 89 Tingkat Kinerja Gempa Arah Y - MT	133
Tabel 4. 90 Drift Rasio - MT	133
Tabel 4. 91 Kinerja Berdasarkan Level Gempa DBE - X.....	134
Tabel 4. 92 Kinerja Berdasarkan Level Gempa DBE - Y.....	134
Tabel 4. 93 Kinerja Berdasarkan Level Gempa MCE - X	134

Tabel 4. 94 Kinerja Berdasarkan Level Gempa MCE - Y	134
Tabel 4. 95 Kontribusi Elemen Arah Ortogonal X-X.....	135
Tabel 4. 96 Kontribusi Elemen Arah Ortogonal Y-Y	135



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Infografis Kejadian Bencana Indonesia Tahun 2023	1
Gambar 2. 1 Model Diafragma Tipikal.....	5
Gambar 2. 2 Spektrum Respon Desain	6
Gambar 2. 3 Model Mander Kurva Beton Tidak Terkekang	10
Gambar 2. 4 Model Mander Kurva Tegangan-Regangan Beton Terkekang	11
Gambar 2. 5 Model Bilinear Perilaku Baja Tulangan.....	13
Gambar 2. 6 Kurva Gaya-Perpindahan Sendi Platis ASCE 41-17.....	14
Gambar 2. 7 Model <i>fiber Section Approach</i> pada elemen dinding geser.....	14
Gambar 2. 8 Mekanisme Rekaman Pecepatan Gempa	16
Gambar 2. 9 Penskalaan akselerogram terhadap spektra desain.....	17
Gambar 2. 10 Tingkat kinerja Struktur	18
Gambar 2. 11 Ilustrasi Tingkat Kinerja Struktur	18
Gambar 2. 12 Ilustrasi Kinerja Struktur <i>Operation</i>	19
Gambar 2. 13 Ilustrasi Kinerja Struktur <i>Immediate Ocupancy</i>	19
Gambar 2. 14 Ilustrasi Kinerja Struktur <i>Life Safety</i>	20
Gambar 2. 15 Ilustrasi kinerja <i>Collapse Prevention</i>	20
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian	28
Gambar 3. 2 Denah Struktur Gedung Rencana	29
Gambar 3. 3 Denah Lantai Atap Gedung Kantor.....	30
Gambar 3. 4 Denah Fungsi Ruangan	30
Gambar 3. 5 Tampak 1 Elevasi Gedung	31
Gambar 3. 6 Tampak 2 Elevasi Gedung	31
Gambar 3. 7 Tampak 3D pada <i>Software</i> ETABS v.21	32
Gambar 3. 8 Ilustrasi 3D pada <i>Software</i> Sketchup	32
Gambar 4. 1 Model Beton Terkekang XTRACT.....	11
Gambar 4. 2 Kurva Respon Spektrum Rencana.....	38
Gambar 4. 3 Model Gedung Kantor 12 Lantai	42
Gambar 4. 4 Beban Mati dan Hidup pada lantai	43
Gambar 4. 5 Denah Lantai dan Atap Gedung Kantor.....	43
Gambar 4. 6 KBH 1a dan 1b.....	45

Gambar 4. 7 KBH 2	45
Gambar 4. 8 KBH 3	45
Gambar 4. 9 KBH 4	46
Gambar 4. 10 KBH 5	46
Gambar 4. 11 Cek Diskontinuitas Arah Bidang.....	48
Gambar 4. 12 Kontrol Retak Dinding Geser.....	50
Gambar 4. 13 Simpangan dan Batas Simpangan Arah X dan Y.....	51
Gambar 4. 14 Kontrol Terhadap Batas Stabilitas Struktur Arah X dan Y.....	51
Gambar 4. 15 Rencana Penulangan Plat Lantai	52
Gambar 4. 16 Rencana Penulangan Plat Atap	53
Gambar 4. 17 Parameter Inelastik Beton Tidak Terkekang	58
Gambar 4. 18 Parameter Inelastik Beton Tekekang Balok B1	58
Gambar 4. 19 Parameter Inelastik Beton Tekekang Balok B2	59
Gambar 4. 20 Parameter Inelastik Beton Tekekang Kolom K1.....	59
Gambar 4. 21 Parameter Inelastik Baja Tulangan	59
Gambar 4. 22 Analisis Momen vs Kurvatur Balok B1 dan B2.....	60
Gambar 4. 23 Momen Positif Arah X Kolom K1	60
Gambar 4. 24 Peta Deagregasi Magnitudo Sesar Dangkal	61
Gambar 4. 25 Peta Deagregasi Jarak Sesar Dangkal	62
Gambar 4. 26 Peta Deagregasi Magnitudo <i>Benioff</i>	62
Gambar 4. 27 Peta Deagregasi Jarak <i>Benioff</i>	63
Gambar 4. 28 Peta Deagregasi Magnitudo <i>Megathrust</i>	63
Gambar 4. 29 Peta Deagregasi Jarak <i>Megathrust</i>	64
Gambar 4. 30 Respon Spektra Level DBE dan MCE	66
Gambar 4. 31 Penskalaan Rekamana Gempa Level DBE	66
Gambar 4. 32 Penskalaan Rekamana Gempa Level MCE.....	66
Gambar 4. 33 Penskalaan Sumber Shallow Crustal Level DBE Utara - Selatan..	67
Gambar 4. 34 Penskalaan Sumber Shallow Crustal Level DBE Timur - Barat....	67
Gambar 4. 35 Penskalaan Sumber Benioff Level DBE Utara - Selatan	68
Gambar 4. 36 Penskalaan Sumber Benioff Level DBE Timur - Barat	68
Gambar 4. 37 Penskalaan Sumber Megathrust Level DBE Utara - Selatan	68
Gambar 4. 38 Penskalaan Sumber Megathrust Level DBE Timur – Barat	68
Gambar 4. 39 Penskalaan Sumber Shallow Crustal Level MCE Utara - Selatan .	68

Gambar 4. 40 Penskalaan Sumber Shallow Crustal Level MCE Timur – Barat ..	68
Gambar 4. 41 Penskalaan Sumber Benioff Level MCE Utara - Selatan	69
Gambar 4. 42 Penskalaan Sumber Benioff Level MCE Timur – Barat.....	69
Gambar 4. 43 Penskalaan Sumber Megathrust Level MCE Utara - Selatan	69
Gambar 4. 44 Penskalaan Sumber Megathrust Level MCE Timur – Barat.....	69
Gambar 4. 45 <i>Input Shape Relation (Trilinear)</i>	70
Gambar 4. 46 <i>Input Strength Loss</i>	71
Gambar 4. 47 <i>Input Strain Capacities (Compression)</i>	71
Gambar 4. 48 Model Material Beton Terkekang	72
Gambar 4. 49 Model Material Beton Tidak Terkekang	73
Gambar 4. 50 Model Material Baja Tulangan	74
Gambar 4. 51 Input Parameter Elastik Dinding Geser.....	75
Gambar 4. 52 Input Parameter Elastik Plat Lantai dan Atap	75
Gambar 4. 53 Input Pengukur Regangan Aksial.....	76
Gambar 4. 54 Input Parameter Penampang Balok	79
Gambar 4. 55 Input Parameter Penampang Kolom	80
Gambar 4. 56 Input Parameter Dinding Geser.....	82
Gambar 4. 57 Input Parameter Plat Lantai dan Atap	83
Gambar 4. 58 Input Perilaku Inelatik Balok	85
Gambar 4. 59 Input Perilaku Inelastik Kolom	87
Gambar 4. 60 <i>Compound</i> Elemen Balok.....	89
Gambar 4. 61 <i>Compound</i> Elemen Kolom	91
Gambar 4. 62 <i>Compound</i> Elemen Dinding Geser.....	91
Gambar 4. 63 Pemodelan Element Struktur pada PERFORM-3D	92
Gambar 4. 64 Mendefinsikan <i>Load Case</i> Beban Gravitasi.....	93
Gambar 4. 65 Mendefinsikan <i>Load Case</i> Beban Gempa.....	93
Gambar 4. 66 Mendefinisikan <i>Analysis Series</i>	94
Gambar 4. 67 Cek <i>Mode Shape 1</i>	95
Gambar 4. 68 Cek <i>Mode Shape 2</i>	96
Gambar 4. 69 Cek <i>Mode Shape 3</i>	96
Gambar 4. 70 Simpangan Antar Lantai Maksimum Gempa SC	97
Gambar 4. 71 Simpangan Antar Lantai Maksimum Gempa BO	98
Gambar 4. 72 Simpangan Antar Lantai Maksimum Gempa MT	98

Gambar 4. 73 Simpangan Maksimum Atap Arah X – SC	99
Gambar 4. 74 Simpangan Maksimum Atap Arah Y – SC	99
Gambar 4. 75 Simpangan Maksimum Atap Arah X – BO	99
Gambar 4. 76 Simpangan Maksimum Atap Arah Y – BO	100
Gambar 4. 77 Simpangan Maksimum Atap Arah X – MT	100
Gambar 4. 78 Simpangan Maksimum Atap Arah Y – MT	100
Gambar 4. 79 Simpangan Residual Arah X dan Y – SC	101
Gambar 4. 80 Simpangan Residual Arah X dan Y – BO.....	101
Gambar 4. 81 Simpangan Residual Arah X dan Y – MT	101
Gambar 4. 82 Gaya Geser Dasar Arah X – SC.....	102
Gambar 4. 83 Gaya Geser Dasar Arah Y – SC.....	102
Gambar 4. 84 Gaya Geser Dasar Arah X – BO	103
Gambar 4. 85 Gaya Geser Dasar Arah Y – BO	103
Gambar 4. 86 Gaya Geser Dasar Arah X – MT.....	104
Gambar 4. 87 Gaya Geser Dasar Arah Y – MT.....	104
Gambar 4. 88 Disipasi Energi Gempa Sistem Struktur Arah X & Y – SC.....	105
Gambar 4. 90 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa SC Arah X.....	105
Gambar 4. 91 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa SC Arah Y.....	106
Gambar 4. 92 Disipasi Energi Gempa Sistem Struktur Arah X & Y- BO.....	107
Gambar 4. 94 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa BO Arah X.....	107
Gambar 4. 95 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa BO Arah Y	107
Gambar 4. 96 Disipasi Energi Gempa Sistem Struktur Arah X & Y- MT	108
Gambar 4. 98 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa MT Arah X.....	108
Gambar 4. 99 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa MT Arah Y.....	108
Gambar 4. 100 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State SC 3D – X</i>	110
Gambar 4. 101 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State SC 3D – Y</i>	110
Gambar 4. 102 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State SC 2D – X & Y</i>	111
Gambar 4. 103 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State BO 3D – X</i>	112
Gambar 4. 104 erilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State BO 3D – Y</i>	112
Gambar 4. 105 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State BO 2D – X & Y</i>	113
Gambar 4. 106 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State MT 3D – X</i>	114
Gambar 4. 107 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State MT 3D – Y</i>	114
Gambar 4. 108 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State MT 2D – X & Y</i>	115

Gambar 4. 109 Simpangan Antar Lantai Maksimum Gempa SC.....	116
Gambar 4. 110 Simpangan Antar Lantai Maksimum Gempa BO	117
Gambar 4. 111 Simpangan Antar Lantai Maksimum Gempa MT.....	117
Gambar 4. 112 Simpangan Maksimum Atap Arah X – SC	118
Gambar 4. 113 Simpangan Maksimum Atap Arah Y – SC	118
Gambar 4. 114 Simpangan Maksimum Atap Arah X – BO	118
Gambar 4. 115 Simpangan Maksimum Atap Arah Y – BO	118
Gambar 4. 116 Simpangan Maksimum Atap Arah X – MT.....	119
Gambar 4. 117 Simpangan Maksimum Atap Arah Y – MT.....	119
Gambar 4. 118 Simpangan Residual Arah X dan Y – SC	119
Gambar 4. 119 Simpangan Residual Arah X dan Y – BO.....	120
Gambar 4. 120 Simpangan Residual Arah X dan Y – MT	120
Gambar 4. 121 Gaya Geser Dasar Arah X – SC	121
Gambar 4. 122 Gaya Geser Dasar Arah Y – SC	121
Gambar 4. 123 Gaya Geser Dasar Arah X – BO	121
Gambar 4. 124 Gaya Geser Dasar Arah Y – BO	122
Gambar 4. 125 Gaya Geser Dasar Arah X – MT.....	122
Gambar 4. 126 Gaya Geser Dasar Arah Y – MT.....	122
Gambar 4. 127 Disipasi Energi Gempa Sistem Struktur Arah X - SC	124
Gambar 4. 129 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa SC Arah X.....	124
Gambar 4. 130 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa SC Arah Y.....	124
Gambar 4. 131 Disipasi Energi Gempa Sistem Struktur Arah X - BO.....	125
Gambar 4. 133 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa BO Arah X.....	125
Gambar 4. 134 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa BO Arah Y	125
Gambar 4. 135 Disipasi Energi Gempa Sistem Struktur Arah X - MT	126
Gambar 4. 137 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa MT Arah X.....	126
Gambar 4. 138 Grafik Kontribusi Disipasi Elemen Gempa MT Arah Y.....	127
Gambar 4. 139 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State SC 3D – X</i>	128
Gambar 4. 140 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State SC 3D – Y</i>	128
Gambar 4. 141 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State SC 2D – X & Y</i>	129
Gambar 4. 142 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State BO 3D – X</i>	130
Gambar 4. 143 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State BO 3D – Y</i>	130
Gambar 4. 144 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State BO 2D – X & Y</i>	131

Gambar 4. 145 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State MT 3D – X</i>	132
Gambar 4. 146 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State MT 3D – Y</i>	132
Gambar 4. 147 Perilaku Sendi Plastis <i>Yield Limit State MT 2D – X & Y</i>	133

