

**TUGAS AKHIR**

**RESPONS STRUKTUR GEDUNG 16 LANTAI SISTEM  
GANDA DENGAN KETIDAKBERATURAN STRUKTUR  
MENGUNAKAN METODE ANALISIS *TIME HISTORY***

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik  
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Disusun oleh:**

**Imam Taufik**

**20170110043**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2021**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imam Taufik  
NIM : 20170110043  
Judul : Respons Struktur Gedung 16 Lantai Sistem Ganda  
dengan Ketidakberaturan Struktur Menggunakan  
Metode *Time History Analysis*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, 5 April 2021

Yang membuat pernyataan



Imam Taufik

## HALAMAN PERSEMBAHAN

(1)

سافرُ تجدُ عوضاً عمَّن تفارقهُ  
وانصبُ فإنَّ لذيدَ العيشِ في النَّصبِ

(2)

إني رأيتُ وقوفَ الماءِ يفسدهُ  
إن سآحَ طآبَ وإن لم يجرِ لم يطبِ

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:  
Tuhan Yang Maha Baik dan Maha Penolong  
Ibu dan bapak yang saya cintai  
Adikku yang saya cintai  
Diri saya sendiri

Terima kasih atas perjuangan saya  
Terima kasih atas dukungan dari kedua orang tua  
Terima kasih atas dukungan dari tim dosen pembimbing yaitu:  
Dr. Ir. Seplika Yadi, S.T. M.T.  
Dr. Eng. Pinta Astuti, S.T. M.Eng.

Yogyakarta, 5 April 2021

Imam Taufik

## PRAKATA



*Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk respons struktur gedung 16 lantai sistem ganda dengan ketidakberaturan struktur menggunakan metode analisis *time history*.

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Ir. Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Dr. Eng. Pinta Astuti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I.
3. Dr. Ir. Seplika Yadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II.
4. Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji.
5. Ir. Yoga Aprianto Harsoyo, S.T., M.Eng. IPM. yang telah membantu Tugas Akhir ini.
6. Kedua Orang Tua saya yang telah memberi dukungan.
7. Adhemi, Nanang, Regie, Adji, Wahyu, Dimas, Ruby, Aldian, Bagas, Helmi, muharor, dan teman teknik sipil kelas A yang telah memberi dukungan.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan. *Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*.

Yogyakarta, 5 April 2021

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG.....	xx
DAFTAR SINGKATAN .....	xxiv
DAFTAR ISTILAH .....	xxv
ABSTRAK .....	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Lingkup Penelitian .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.1.1 Studi Literatur .....	5

2.1.2	Penelitian Terdahulu dan Sekarang.....	7
2.2	Landasan Teori.....	11
2.2.1	Sistem Dinamika Struktur.....	11
2.2.2	Sistem Struktur.....	15
2.2.3	Pembebanan .....	16
2.2.4	Prosedur Penggunaan <i>Time History</i> .....	25
2.2.5	Skala <i>Time History</i> .....	27
2.2.6	<i>Modal Analysis</i> .....	28
2.2.7	Gaya Deser Dasar dan Penentuan Faktor Skala.....	29
2.2.8	Simpangan Antar Tingkat .....	31
2.2.9	Pengaruh P-delta .....	32
2.2.10	Pengaruh Torsi Tak Terduga.....	33
2.2.11	Ketidakteraturan Struktur Horizontal.....	34
2.2.12	Ketidakteraturan Struktur Vertikal.....	36
BAB III METODE PENELITIAN.....		38
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	38
3.1.1	Data Umum Gedung .....	39
3.1.2	Data Material dan Penampang Struktur.....	40
3.1.3	Data Tanah .....	43
3.1.4	Data Beban Struktur.....	44
3.1.5	Data Beban Gempa .....	45
3.2	Tahap Pemodelan Struktur.....	47
3.3	Skala <i>Time History</i> .....	48
3.4	Kombinasi Pembebanan Terpakai.....	59
3.5	Analisis <i>Linear Time History</i> menggunakan <i>ETABS</i> .....	63
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....		64

4.1	<i>Modal Analysis</i> .....	64
4.2	Gaya Geser Dasar.....	70
4.2.1	Analisis Statik Gaya Geser Dasar (V).....	70
4.2.2	Analisis Gaya Geser Dasar Elastik ( $V_E$ ) .....	72
4.2.3	Analisis Gaya Geser Dasar Inelastik ( $V_I$ ) .....	80
4.2.4	Menentukan Faktor Skala ( $\eta$ ).....	80
4.2.5	Besaran Gempa Setelah Disesuaikan Dengan Faktor Skala .....	81
4.3	Respons Percepatan Gempa .....	89
4.4	Respons Perpindahan .....	96
4.5	Efek P-Delta .....	109
4.6	Ketidakteraturan Horizontal.....	123
4.7	Ketidakteraturan Vertikal.....	134
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		142
5.1	Kesimpulan .....	142
5.2	Saran.....	143
DAFTAR PUSTAKA .....		145
LAMPIRAN.....		148

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian terdahulu dan sekarang .....	8
Tabel 2.2 Kategori risiko gempa (BSN, 2019a).....	17
Tabel 2.3 Faktor keutamaan gempa (BSN, 2019a) .....	18
Tabel 2.4 Klasifikasi situs tanah (BSN, 2019a) .....	19
Tabel 2.5 Koefisien nilai $F_a$ (BSN, 2019a).....	21
Tabel 2.6 Koefisien nilai $F_v$ (BSN, 2019a).....	21
Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (BSN, 2019a).....	23
Tabel 2.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (BSN, 2019) .....	23
Tabel 2.9 Koefisien nilai $C_u$ (BSN, 2019).....	28
Tabel 2.10 Simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) (BSN, 2019a).....	32
Tabel 2.11 Ketidakberaturan struktur horizontal (BSN, 2019a) .....	34
Tabel 2.12 Ketidakberaturan struktur vertikal (BSN, 2019a) .....	36
Tabel 3.1 Data material beton dan baja.....	40
Tabel 3.2 Data dimensi kolom .....	40
Tabel 3.3 Data dimensi balok.....	41
Tabel 3.4 Data dimensi plat lantai.....	42
Tabel 3.5 Data dimensi <i>shear wall</i> .....	42
Tabel 3.6 Data penampang retak dan pendefinisan <i>section</i> .....	42
Tabel 3.7 Data beban mati tambahan (SIDL) pada balok (BSN, 2020a).....	44
Tabel 3.8 Data beban mati tambahan (SIDL) pada plat lantai (BSN, 2020a).....	44
Tabel 3.9 Data beban mati tambahan (SIDL) pada plat tangga dan plat bordes (BSN, 2020a).....	44
Tabel 3.10 Data beban hidup (LL) (BSN, 2020a).....	45
Tabel 3.11 Data ground motion terpilih.....	47
Tabel 3.12 Periode $T_{lower}$ dan $T_{upper}$ .....	48
Tabel 4.1 Periode fundamental .....	64
Tabel 4.2 Ragam partisipasi massa .....	64
Tabel 4.3 Kontrol nilai periode .....	70



Tabel 4.4 Perhitungan nilai koefisien respons seismik .....	70
Tabel 4.5 Berat seismik efektif struktur .....	71
Tabel 4.6 Perhitungan nilai gaya geser dasar statik .....	72
Tabel 4.7 Nilai gaya geser dasar elastik.....	72
Tabel 4.8 Nilai gaya geser dasar inelastik.....	80
Tabel 4.9 Nilai faktor skala ( $\eta$ ) .....	80
Tabel 4.10 Nilai faktor skala percepatan gempa yang telah diskala .....	81
Tabel 4.11 Perbandingan nilai gaya geser dasar dinamik dengan statik.....	81
Tabel 4.12 Analisis simpangan antar tingkat gempa Imperial Valley-06.....	97
Tabel 4.13 Analisis simpangan antar tingkat gempa Yogyakarta, Indonesia .....	99
Tabel 4.14 Analisis simpangan antar tingkat gempa Loma Prieta.....	101
Tabel 4.15 Analisis simpangan antar tingkat gempa Northridge-01 .....	103
Tabel 4.16 Analisis simpangan antar tingkat gempa Kobe, Japan.....	105
Tabel 4.17 Analisis simpangan antar tingkat gempa Superstition Hills-02.....	107
Tabel 4.18 Analisis simpangan antar tingkat gempa San Fernando .....	109
Tabel 4.19 Analisis P-delta gempa Imperial Valley-06.....	110
Tabel 4.20 Analisis P-delta gempa Yogyakarta, Indonesia .....	112
Tabel 4.21 Analisis P-delta gempa Loma Prieta.....	114
Tabel 4.22 Analisis P-delta gempa Northridge-01.....	116
Tabel 4.23 Analisis P-delta gempa Kobe, Japan.....	118
Tabel 4.24 Analisis P-delta gempa Superstition Hills-02 .....	120
Tabel 4.25 Analisis P-delta gempa San Fernando .....	122
Tabel 4.26 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Imperial Valley-06 arah X .....	125
Tabel 4.27 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Imperial Valley-06 arah Y .....	125
Tabel 4.28 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Yogyakarta, Indonesia arah X.....	126
Tabel 4.29 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Yogyakarta, Indonesia arah Y.....	126
Tabel 4.30 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Loma Prieta arah X.....	127

Tabel 4.31 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Loma Prieta arah Y .....	127
Tabel 4.32 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Northridge-01 arah X .....	128
Tabel 4.33 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Northridge-01 arah Y .....	128
Tabel 4.34 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Kobe, Japan arah X .....	129
Tabel 4.35 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Kobe, Japan arah Y .....	129
Tabel 4.36 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Superstition Hills-02 arah X.....	130
Tabel 4.37 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa Superstition Hills-02 arah Y.....	130
Tabel 4.38 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa San Fernando arah X.....	131
Tabel 4.39 Pengecekan ketidakberaturan torsi dan torsi berlebih beban gempa San Fernando arah Y .....	131
Tabel 4.40 Analisis ketidakberaturan horizontal tipe 2 .....	132
Tabel 4.41 Analisis Ketidakberaturan horizontal tipe 3.....	133
Tabel 4.42 Hasil pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 2 .....	138
Tabel 4.43 Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 3 .....	139

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerusakan bangunan akibat <i>soft story</i> pada gedung STIE Kerjasama saat terjadinya gempa Yogyakarta 2006 .....	1
Gambar 2.1 Skema reaksi struktur akibat beban dinamik (Pawirodikromo, 2017) .....	11
Gambar 2.2 (a) Struktur SDOF, (b) Model fisik struktur SDOF, (c) Model Matematik, dan (d) Model <i>free body diagram</i> (Pawirodikromo, 2017) .....	11
Gambar 2.3 Contoh beban gempa Loma Prieta 1989 .....	12
Gambar 2.4 (a) Struktur 2 lantai dan (b) gaya yang bekerja pada dua massa (Chopra, 2020) .....	13
Gambar 2.5 Peta $MCE_R S_s$ (BSN, 2019a) .....	20
Gambar 2.6 Peta $MCER S_1$ (BSN, 2019a) .....	20
Gambar 2.7 Grafik desain respons spektrum (BSN, 2019a) .....	22
Gambar 2.8 (a) Deagregasi bahaya gempa Kota Yogyakarta pada $T = 0,2$ detik dan (b) Deagregasi bahaya gempa Kota Yogyakarta pada $T = 1$ detik (Sunardi, 2015).....	26
Gambar 2.9 Eksentrisitas 5% torsi tak terduga (Fema, 2016).....	33
Gambar 2.10 Ketidakberaturan horizontal (ASCE, 2017) .....	35
Gambar 2.11 Ketidakberaturan vertikal (ASCE, 2017) .....	37
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> metode penelitian.....	38
Gambar 3.2 Denah gedung <i>Student Dormitory</i> .....	39
Gambar 3.3 Data <i>borelog</i> .....	43
Gambar 3.4 Desain respons spektrum target.....	46
Gambar 3.5 Pemodelan gedung pada <i>ETABS</i> versi 18.1.1 .....	47
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> prosedur tahapan skala <i>time history</i> .....	49
Gambar 3.7 (a) Spektrum arah X tanpa skala, (b) Spektrum arah Y tanpa skala, 50	
Gambar 3.8 (a) Spektrum arah X terskala, (b) Spektrum arah Y terskala .....	51
Gambar 3.9 (a) Kontrol rata-rata <i>pseudo acceleration</i> spektrum arah X, (b) Kontrol rata-rata <i>pseudo acceleration</i> arah Y .....	52

Gambar 3.10 (a) Akselerogram gempa <i>Imperial Valley-06</i> arah X <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> , (b) Akselerogram gempa <i>Imperial Valley-06</i> arah Y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> .....	53
Gambar 3.11 (a) Akselerogram gempa <i>Yogyakarta, Indonesia</i> arah X <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> , (b) Akselerogram gempa <i>Yogyakarta, Indonesia</i> arah Y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> .....	54
Gambar 3.12 (a) Akselerogram gempa <i>Loma Prieta</i> arah X <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> , (b) Akselerogram gempa <i>Loma Prieta</i> arah Y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> .....	55
Gambar 3.13 (a) Akselerogram gempa <i>Northridge-01</i> arah X <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> , (b) Akselerogram gempa <i>Imperial Northridge-01</i> arah Y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> .....	56
Gambar 3.14 (a) Akselerogram gempa <i>Kobe, Japan</i> arah X <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> , (b) Akselerogram gempa <i>Kobe, Japan</i> arah Y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> .....	57
Gambar 3.15 (a) Akselerogram gempa <i>Superstition Hills-02</i> arah X <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> , (b) Akselerogram gempa <i>Superstition Hills-02</i> arah Y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> .....	58
Gambar 3.16 (a) Akselerogram gempa <i>San Fernando</i> arah X <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> , (b) Akselerogram gempa <i>San Fernando</i> arah Y <i>unscaled</i> dan <i>scaled</i> .....	59
Gambar 4.1 Bentuk mode 1 translasi arah X (T = 2,16 detik).....	65
Gambar 4.2 Bentuk mode 2 translasi arah Y (T = 1,832 detik).....	65
Gambar 4.3 Bentuk mode 3 rotasi (T = 1,751 detik) .....	66
Gambar 4.4 Bentuk mode 4 (T = 0,580 detik).....	66
Gambar 4.5 Bentuk mode 5 (T = 0,455 detik).....	67
Gambar 4.6 Bentuk mode 6 (T = 0,417 detik).....	67
Gambar 4.7 Bentuk mode 7 (T = 0,276 detik).....	68
Gambar 4.8 Bentuk mode 8 (T = 0,2074 detik).....	68
Gambar 4.9 Bentuk mode 9 (T = 0,19 detik).....	69
Gambar 4.10 Bentuk mode 10 (T = 0.1743 detik).....	69

Gambar 4.11 (a) Gaya geser dasar elastik gempa Imperial Valley-06 arah X, (b) Gaya geser dasar elastik gempa Imperial Valley-06 arah Y .....	73
Gambar 4.12 (a) Gaya geser dasar elastik gempa Yogyakarta, Indonesia arah X, (b) Gaya geser dasar elastik gempa Yogyakarta, Indonesia arah Y .....	74
Gambar 4.13 (a) Gaya geser dasar elastik gempa Loma Prieta arah X, (b) Gaya geser dasar elastik gempa Loma Prieta arah Y .....	75
Gambar 4.14 (a) Gaya geser dasar elastik gempa Northridge-01 arah X, (b) Gaya geser dasar elastik gempa Northridge-01 arah Y .....	76
Gambar 4.15 (a) Gaya geser dasar elastik gempa Kobe, Japan arah X, (b) Gaya geser dasar elastik gempa Kobe, Japan arah Y .....	77
Gambar 4.16 (a) Gaya geser dasar elastik gempa Superstition Hills-02 arah X, (b) Gaya geser dasar elastik gempa Superstition Hills-02 arah Y .....	78
Gambar 4.17 (a) Gaya geser dasar elastik gempa San Fernando arah X, (b) Gaya geser dasar elastik gempa San Fernando arah Y .....	79
Gambar 4.18 (a) Gaya geser dasar terskala gempa Imperial Valley-06 arah X, (b) Gaya geser dasar terskala gempa Imperial Valley-06 arah Y .....	82
Gambar 4.19 (a) Gaya geser dasar terskala gempa Yogyakarta, Indonesia arah X, (b) Gaya geser dasar terskala gempa Yogyakarta, Indonesia arah Y .....	83
Gambar 4.20 (a) Gaya geser dasar terskala gempa Loma Prieta arah X, (b) Gaya geser dasar terskala gempa Loma Prieta arah Y .....	84
Gambar 4.21 (a) Gaya geser dasar terskala gempa Northridge-01 arah X, (b) Gaya geser dasar terskala gempa Northridge-01 arah Y .....	85
Gambar 4.22 (a) Gaya geser dasar terskala gempa Kobe, Japan arah X, (b) Gaya geser dasar terskala gempa Kobe, Japan arah Y .....	86
Gambar 4.23 (a) Gaya geser dasar terskala gempa Superstition Hills-02 arah X, (b) Gaya geser dasar terskala gempa Superstition Hills-02 arah Y .....	87
Gambar 4.24 (a) Gaya geser dasar terskala gempa San Fernando arah X, (b) Gaya geser dasar terskala gempa San Fernando arah Y .....	88
Gambar 4.25 (a) Percepatan gempa pada arah X gempa Imperial Valley-06, (b) Percepatan gempa arah Y gempa Imperial Valley-06 .....	89

Gambar 4.26 (a) Pecepatan gempa pada arah X gempa Yogyakarta, Indonesia, (b) Pecepatan gempa arah Y gempa Yogyakarta, Indonesia.....	90
Gambar 4.27 (a) Pecepatan gempa pada arah X gempa Loma Prieta (b) Pecepatan gempa arah Y gempa Loma Prieta.....	91
Gambar 4.28 (a) Pecepatan gempa pada arah X gempa Northridge-01, (b) Pecepatan gempa arah Y gempa Northridge-01 .....	92
Gambar 4.29 (a) Pecepatan gempa pada arah X gempa Kobe, Japan, (b) Pecepatan gempa arah Y gempa Kobe, Japan.....	93
Gambar 4.30 (a) Pecepatan gempa pada arah X gempa Superstition Hills-02, (b) Pecepatan gempa arah Y gempa Superstition Hills-02.....	94
Gambar 4.31 (a) Pecepatan gempa pada arah X gempa San Fernando, (b) Pecepatan gempa arah Y gempa San Fernando .....	95
Gambar 4.32 (a) <i>Displacement</i> pada gempa Imperial Valley-06 arah X, (b) <i>Displacement</i> pada gempa Imperial Valley-06 arah Y .....	96
Gambar 4.33 (a) <i>Displacement</i> pada gempa Yogyakarta, Indonesia arah X, (b) <i>Displacement</i> pada gempa Yogyakarta, Indonesia arah Y.....	98
Gambar 4.34 (a) <i>Displacement</i> pada gempa Loma Prieta arah X, (b) <i>Displacement</i> pada gempa Loma Prieta arah Y .....	100
Gambar 4.35 (a) <i>Displacement</i> pada gempa Northridge-01 arah X, (b) <i>Displacement</i> pada gempa Northridge-01 arah Y .....	102
Gambar 4.36 (a) <i>Displacement</i> pada gempa Kobe, Japan arah X, (b) <i>Displacement</i> pada gempa Kobe, Japan arah Y .....	104
Gambar 4.37 (a) <i>Displacement</i> pada gempa Superstition Hills-02 arah X, (b) <i>Displacement</i> pada gempa Superstition Hills-02 arah Y .....	106
Gambar 4.38 (a) <i>Displacement</i> pada gempa San Fernando arah X, (b) <i>Displacement</i> pada gempa San Fernando arah Y.....	108
Gambar 4.39 (a) Gaya Geser X pada masing-masing tingkat gempa Imperial Valley-06, (b) Gaya Geser Y pada masing-masing tingkat gempa Imperial Valley-06 .....	110
Gambar 4.40 Analisis P-Delta pada gempa Imperial Valley-06.....	111

Gambar 4.41 (a) Gaya Geser X pada masing-masing tingkat gempa Yogyakarta, Indonesia, (b) Gaya Geser Y pada masing-masing tingkat gempa Yogyakarta, Indonesia.....	112
Gambar 4.42 Analisis P-Delta pada gempa Yogyakarta,Indonesia .....	113
Gambar 4.43 (a) Gaya Geser X pada masing-masing tingkat Loma Prieta,(b) Gaya Geser Y pada masing-masing tingkat gempa Loma Prieta .....	114
Gambar 4.44 Analisis P-Delta pada gempa Loma Prieta.....	115
Gambar 4.45 (a) Gaya Geser X pada masing-masing tingkat gempa Northridge-01, (b) Gaya Geser Y pada masing-masing tingkat gempa Northridge-01 .....	116
Gambar 4.46 Analisis P-Delta pada gempa Northridge-01 .....	117
Gambar 4.47 (a) Gaya Geser X pada masing-masing tingkat gempa Kobe, Japan, (b) Gaya Geser Y pada masing-masing tingkat gempa Kobe, Japan .....	118
Gambar 4.48 Analisis P-Delta pada gempa Kobe, Japan .....	119
Gambar 4.49 (a) Gaya Geser X pada masing-masing tingkat gempa Superstition Hills-02, (b) Gaya Geser Y pada masing-masing tingkat gempa Superstition Hills-02 .....	120
Gambar 4.50 Analisis P-Delta pada gempa Superstition Hills-02.....	121
Gambar 4.51 (a) Gaya Geser X pada masing-masing tingkat gempa San Fernando, (b) Gaya Geser Y pada masing-masing tingkat gempa San Fernando .....	122
Gambar 4.52 Analisis P-Delta pada gempa San Fernando .....	123
Gambar 4.53 Tinjauan <i>joint displacement</i> Y .....	124
Gambar 4.54 Tinjauan <i>joint displacement</i> X .....	124
Gambar 4.55 Tinjauan denah Lantai 1 .....	132
Gambar 4.56 Tinjauan denah <i>mezanine</i> .....	133
Gambar 4.57 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 70% arah X.....	134
Gambar 4.58 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 80% arah X.....	134
Gambar 4.59 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 70% arah Y.....	135
Gambar 4.60 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 80% arah Y.....	135
Gambar 4.61 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 60% arah X.....	136

Gambar 4.62 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 70% arah X.....	136
Gambar 4.63 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 60% arah Y .....	137
Gambar 4.64 Kekakuan Tingkat Lunak dengan syarat 70% arah Y .....	137
Gambar 4.65 Tinjauan pada potongan 4 lantai 1 dan 2.....	139
Gambar 4.66 Gedung yang ditinjau .....	140
Gambar 4.67 Tinjauan analisis <i>weak story</i> dan <i>extreme weak story</i> .....	141



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kalibrasi ETABS Dengan Hitungan Manual Menggunakan Metode Statis Tak Tertentu (Metode <i>Cross</i> ).....	148
Lampiran 2. Kalibrasi ETABS tentang Respons Percepatan Gempa .....	159
Lampiran 3. Langkah-Langkah Pengambilan Data <i>Ground Motion</i> Pada Website <i>PEER Ground Motion Database</i> .....	162
Lampiran 4. Langkah-Langkah <i>Scalling Time History History</i> Menggunakan Aplikasi <i>Seismomatch 2021</i> .....	166
Lampiran 5. Langkah-langkah Pemodelan Gedung <i>Student Dormitory</i> Menggunakan <i>ETABS</i> Versi 18.1.1.....	174
Lampiran 6. <i>Output Modal Analysis</i> .....	231
Lampiran 7. Data Percepatan Tanah (Asli atau Belum Terskala).....	232
Lampiran 8. Data <i>Pseudo Acceleration</i> data <i>ground motion</i> terpilih (Asli atau Belum Terskala). .....	246
Lampiran 9. Data Percepatan Tanah (Terskala).....	260
Lampiran 10. Data <i>Pseudo Acceleration ground motion</i> terpilih (Terskala).....	274
Lampiran 11. <i>Output</i> ETABS Gaya Geser Dasar Elastik .....	288
Lampiran 12. <i>Output</i> ETABS Gaya Geser Dasar terskala.....	295
Lampiran 13. <i>Output</i> ETABS <i>Displacement</i> Pada Gedung .....	302
Lampiran 14. <i>Output</i> ETABS Percepatan Gempa Pada Gedung .....	316
Lampiran 15. <i>Output</i> ETABS Distribusi Gaya Geser Pada Gedung .....	330

## DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

$A_x$	= Faktor pembesaran torsi
$c$	= Koefisien redaman
$C_d$	= Faktor pembesaran defleksi
$C_s$	= koefisien respons seismik
$C_U$	= Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
$D$	= Beban mati struktur sendiri (kN)
$DL$	= Kombinasi antara beban mati sendiri dan tambahan (kN)
$F$	= Frekuensi alami (cyc/detik)
$F_a$	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
$F_1$	= Gaya inersia
$F_D$	= Gaya redam
$F_S$	= Gaya Pegas
$F_v$	= Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik
$h_{sx}$	= Tinggi tingkat di bawah level-x
$I_e$	= Faktor keutamaan gempa
$k$	= Kekakuan struktur
$LL$	= Beban hidup
$m$	= Massa struktur (kN)
$M_w$	= Magnitudo
$P_x$	= Total beban rencana vertikal tidak terfaktor pada dan di atas tingkat-x
$Q_{EX}$	= Beban gempa arah X dalam kombinasi pembebanan (g)
$Q_{EY}$	= Beban gempa arah Y dalam kombinasi pembebanan (g)
$R$	= Koefisien modifikasi respons
$S_{DS}$	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (g)
$S_{D1}$	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik (g)
$S_{MS}$	= Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (g)
$S_{M1}$	= Parameter respons spektral percepatan pada 1 detik (g)
$SA$	= Batuan keras
$SB$	= Batuan

- SC = Tanah keras
- SD = Tanah sedang
- SE = Tanah lunak
- SF = Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik
- SIDL = Beban mati tambahan (kN)
- S<sub>s</sub> = Percepatan batuan dasar pada periode pendek (g)
- S<sub>1</sub> = Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (g)
- T = Periode getar alami fundamental (detik)
- T<sub>a</sub> = Periode fundamental pendekatan minimal (detik)
- T<sub>a(max)</sub> = Periode fundamental pendekatan maksimal (detik)
- T<sub>L</sub> = Periode panjang (detik)
- T<sub>Lower</sub> = Nilai periode getar pada saat 90% partisipasi massa aktual telah tercapai pada masing-masing respons dua arah ortogonal (detik)
- T<sub>upper</sub> = Nilai yang lebih besar di antara dua nilai periode getar fundamental ortogonal (detik)
- u = Simpangan atau *displacement*
- $\dot{u}$  = Kecepatan
- $\ddot{u}$  = Percepatan
- V<sub>X</sub> = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1 (kN)
- V<sub>Ex</sub> = Gaya geser dasar elastik maksimum arah X (kN)
- V<sub>Ey</sub> = Gaya geser dasar elastik maksimum arah Y (kN)
- V<sub>IX</sub> = Gaya geser dasar inelastik maksimum arah X (kN)
- V<sub>IY</sub> = Gaya geser dasar inelastik maksimum arah Y (kN)
- X-LG = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai *lower ground*
- X-GL = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai *ground level*
- X-MZ = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai *mezzanine*
- X-UG = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai *upper ground*
- X-1 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 1
- X-2 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 2
- X-3 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 3
- X-4 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 4
- X-5 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 5

- X-6 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 6
- X-7 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 7
- X-8 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 8
- X-9 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 9
- X-10 = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai 10
- X-LA = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai atap
- X-UB = Respons gaya atau perpindahan arah X pada lantai ujung bangunan
- Y-LG = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai *lower ground*
- Y-GL = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai *ground level*
- Y-MZ = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai *mezzanine*
- Y-UG = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai *upper ground*
- Y-1 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 1
- Y-2 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 2
- Y-3 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 3
- Y-4 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 4
- Y-5 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 5
- Y-6 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 6
- Y-7 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 7
- Y-8 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 8
- Y-9 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 9
- Y-10 = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai 10
- Y-LA = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai atap
- Y-UB = Respons gaya atau perpindahan arah Y pada lantai ujung bangunan
- $\Omega_0$  = Faktor kuat lebih sistem
- $\rho$  = Faktor redundansi
- W = berat seismik efektif struktur (kN)
- $\omega$  = *Angular frequency* (rad/detik)
- $\pi$  = 3.14159265358979...
- $\theta$  = koefisien stabilitas
- $\delta_{xe}$  = Defleksi di tingkat-x (mm)
- $\delta_x$  = Defleksi pusat massa di tingkat x (mm)
- $\delta_i$  = Defleksi lantai yang ditinjau pada tingkat ke-i (mm)

- $\delta_{i+1}$  = Defleksi lantai yang ditinjau pada tingkat ke-i+1 (mm)  
 $\Delta$  = Simpangan antar tingkat (mm)  
 $\Delta_a$  = Simpangan antar tingkat yang diizinkan (mm)  
 $\eta_x$  = Faktor skala gaya geser dasar arah X  
 $\eta_y$  = Faktor skala gaya geser dasar arah Y

## DAFTAR SINGKATAN

BSN	= Badan Standardisasi Nasional
DL	= <i>Dead Load</i>
LL	= <i>Live Load</i>
LTHA	= <i>Linear Time History Analysis</i>
SIDL	= <i>Super Imposed Dead Load</i>
SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
UMY	= Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

## DAFTAR ISTILAH

CQC	= Metode kombinasi kuadrat lengkap
$MCE_R$	= Spektrum respons gempa maksimum yang pertimbangan risiko tertarget
MDOF	= Struktur yang memiliki banyak derajat kebebasan
SDOF	= Struktur yang memiliki derajat kebebasan tunggal
<i>Pseudo Acceleration</i>	= Percepatan semu yang sifatnya maya atau hanya berupa prakiraan
SRSS	= Metode akar kuadrat jumlah kuadrat
Sistem Ganda	= Sistem dengan kombinasi sistem rangka pemikul momen dengan sistem dinding struktural

## ABSTRAK

Indonesia menjadi negara yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Salah satunya disebabkan oleh lokasi Indonesia yang berada diantara 4 lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, Lempeng Laut Filipina dan Lempeng Pasifik. Salah satu gempa besar yang terjadi di Indonesia adalah gempa Yogyakarta pada 27 Mei 2006 dengan kekuatan magnitudo ( $M_w$ ) 6,3 yang menghancurkan infrastruktur sebanyak 616.458 unit bangunan pemukiman. Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah menerbitkan peraturan terbaru yaitu SNI 1726 : 2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung. Melalui SNI 1726 : 2019 diharapkan akan tercipta bangunan yang tahan gempa sehingga dapat meminimalisasi kerusakan bangunan bila terjadi gempa di kemudian hari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons struktur gedung 16 lantai dengan *dual system* dan juga meninjau ketidakberaturan struktur menggunakan metode *linear time history analysis* berdasarkan SNI 1726 : 2019. Beban gempa yang digunakan antara lain gempa San Fernando, Imperial Valley-06, Loma Prieta, Superstition Hills-02, Kobe, Northridge, dan Yogyakarta yang telah diskala atau disesuaikan dengan menyesuaikan lokasi gedung berada. Analisis menggunakan *software* berbasis elemen hingga yaitu *ETABS* versi 18.1.1. Tinjauan yang dianalisis adalah gaya geser dasar, respons percepatan, respons perpindahan, pengaruh P-delta, ketidakberaturan horizontal, dan ketidakberaturan vertikal. Hasil analisis pada gaya geser dasar telah di kontrol nilainya sekitar 38.157 kN untuk semua beban gempa yang dipakai. Hasil analisis pada respons percepatan didapatkan hasil nilai pada *base* bangunan sama dengan gempa aslinya dan nilai respons percepatan mempunyai kecenderungan naik terhadap semakin bertambahnya tinggi lantai. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa struktur bangunan tidak terpengaruh oleh efek P-delta. Hasil analisis terhadap tinjauan simpangan antar tingkat pada semua beban gempa dapat disimpulkan bahwa struktur mengalami kerusakan simpangan antar tingkat. Tinjauan ketidakberaturan struktur menghasilkan kesimpulan bahwa struktur mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 1a (ketidakberaturan torsi), mengalami ketidakberaturan horizontal tipe 2 (ketidakberaturan sudut dalam), dan mengalami ketidakberaturan vertikal tipe 3 (ketidakberaturan geometrik vertikal).

Kata Kunci: *Time history analysis*, gaya geser dasar, respons percepatan, respons perpindahan, simpangan antar tingkat, pengaruh P-delta, ketidakberaturan horizontal, dan ketidakberaturan vertikal.



## ABSTRACT

Indonesia is a country prone to earthquakes. One of them is due to the location of Indonesia which is located among the 4 large plates of the world, namely the Indo-Australian Plate, Eurasian Plate, Philippine Sea Plate and Pacific Plate. One of the major earthquakes that occurred in Indonesia was the Yogyakarta earthquake on May 27, 2006 with a magnitude ( $M_w$ ) of 6.3 that destroyed the infrastructure of 616,458 residential buildings. Badan Standardisasi Nasional (BSN) has issued the latest regulation, SNI 1726: 2019 on earthquake resilience planning procedures for building and non-building structures. Through SNI 1726: 2019, it is expected that earthquake-resistant buildings will be created so as to minimize building damage in the event of an earthquake in the future. This study aims to analyze the response of 16-storey building structures with *dual systems* and also review structural irregularities using linear time history *analysis* method based on SNI 1726: 2019. The earthquake load used include the San Fernando, Imperial Valley-06, Loma Prieta, Superstition Hills-02, Kobe, Northridge, and Yogyakarta earthquakes that have been scaled to adjust the location of the building. Analysis using element-based *software* up to *ETABS* version 18.1.1. The reviews analyzed were base shear forces, acceleration response, displacement response, P-delta effect, horizontal irregularity, and vertical irregularity. The results of the analysis on the base shear have been controlled to a value of about 38.157 kN for all earthquake loads used. The results of the analysis on the acceleration response obtained the results of the value on the *base* of the building is the same as the original earthquake and the value of the acceleration response has a tendency to rise towards the increasing height of the floor. Based on analysis that has been done shows that building structures are not affected by the P-delta effect. The results of the analysis of the review of deviations between levels on all earthquake loads can be concluded that the structure suffered damage to the story drift. The review of structural irregularities resulted in the conclusion that the structure experienced type 1a horizontal irregularities (torsional irregularities), experienced type 2 horizontal irregularities (reentrant corner irregularity), and experienced type 3 vertical irregularities (vertical geometric irregularities).

Keywords: *Time history analysis*, base shear, acceleration response, displacement response, story drift, P-delta effect, horizontal irregularity, dan vertical irregularity.