

ANALISIS KINERJA BANGUNAN KETIDAKBERATURAN  
HORIZONTAL BERDASARKAN METODE RESPONS  
SPEKTRUM DAN TIME HISTORY  
(STUDI KASUS: GEDUNG SIMPANG TEMU MRT DUKUH  
ATAS JAKARTA)

SKRIPSI

Oleh

STEFFY CATHARINA REBECCHA SIMBOLON

1953050013



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA  
JAKARTA  
2023

**ANALISIS KINERJA BANGUNAN KETIDAKBERATURAN  
HORIZONTAL BERDASARKAN METODE RESPONS  
SPEKTRUM DAN TIME HISTORY  
(STUDI KASUS: GEDUNG SIMPANG TEMU MRT DUKUH  
ATAS JAKARTA)**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana  
Teknik (S.T.) Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas  
Kristen Indonesia

Oleh

**STEFFY CATHARINA REBECCHA SIMBOLON**

1953050013



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA  
JAKARTA  
2023**



## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Steffy Catharina Rebeccha Simbolon  
NIM : 1953050013  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “ANALISIS KINERJA BANGUNAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL BERDASARKAN METODE RESPONS SPEKTRUM DAN TIME HISTORY (STUDI KASUS GEDUNG SIMPANG TEMU MRT DUKUH ATAS JAKARTA)” adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku, dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada karya tugas akhir saya.
  2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
  3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan
- Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 3 Juli 2023



**Steffy Catharina  
Rebeccha Simbolon**



**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK**

**PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KINERJA BANGUNAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL  
BERDASARKAN METODE RESPONS SPEKTRUM DAN TIME HISTORY  
(STUDI KASUS GEDUNG SIMPANG TEMU MRT DUKUH ATAS  
JAKARTA)**

Oleh:

Nama : Steffy Catharina Rebeccha Simbolon

NIM : 1953050013

Program Studi : Sipil

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tugas Akhir guna mencapai gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Jakarta, 3 Juli 2023

Menyetujui:

Pembimbing I

Sudarno P. Tampubolon, S.T., M.Sc.  
NIDN/NIDK: 0311048904

Pembimbing II

Ir. Agnes Sri Mulyani., M.Sc.  
NIDN/NIDK: 0320046002



Program Studi Sipil

Sudarno P. Tampubolon, S.T., M.Sc.  
NIDN/NIDK : 0311048904



Dekan Fakultas Teknik

Dikky Antonius Hutauruk., S.T., M.Sc.  
NIDN/NIDK : 0301218801



## UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA FAKULTAS TEKNIK

### PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Pada tanggal 3 Juli 2023 telah diselenggarakan Sidang Tugas Akhir untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu pada Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, untuk mahasiswa berikut ini:





Nama : Steffy Catharina Rebeccha Simbolon

NIM : 1953050013

Program Studi : Sipil

Tugas akhir yang berjudul:

“ANALISIS KINERJA BANGUNAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL BERDASARKAN METODE RESPONS SPEKTRUM DAN TIME HISTORY (STUDI KASUS GEDUNG SIMPANG TEMU MRT DUKUH ATAS JAKARTA)” oleh tim penguji yang telah menyetujui Tugas Akhir tersebut, terdiri dari:

1. Ir. Setiyadi, M.T., , Sebagai Ketua 
2. DR. Ir. Pinondang Simanjuntak, M.T. , Sebagai Anggota 
3. Sudarno P. Tampubolon, S.T., M.Sc , Sebagai Anggota 
- 4 Ir. Agnes Sri Mulyani., M.Sc. , Sebagai Anggota 





**UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**

**PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Steffy Catharina Rebeccha Simbolon  
NIM : 19530500013  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Tugas Akhir : Skripsi  
Judul : ANALISIS KINERJA BANGUNAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL BERDASARKAN METODE RESPONS SPEKTRUM DAN TIME HISTORY (STUDI KASUS GEDUNG SIMPANG TEMU MRT DUKUH ATAS JAKARTA).

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun.
2. Tugas akhir tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya orang lain, dan apabila saya mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
3. Saya memberikan Hak Noneksklusif Dengan Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia untuk berhak menyimpan, mengalih media atau formatkan, dan mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*).
4. Saya memberikan kewenangan kepada Universitas Kristen Indonesia untuk wajib merawat dan dapat mempublikasikan tugas akhir saya dengan harus mencantumkan nama saya sebagai penulis serta sebagai satu-satunya pemilik dan pemegang Hak Eksklusif Intelektual dari karya tugas akhir ini.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundang-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk sanksi akademik yang timbul dan tuntutan hukum yang berlaku.

Jakarta, 3 Juli 2023



**Steffy Catharina  
Rebeccha Simbolon**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya naikkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat, hikmat, anugerah, kekuatan, dan penyertaan-Nya kepada saya dalam menyelesaikan tugas akhir atau skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.

Skripsi dengan judul “ANALISIS KINERJA BANGUNAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL BERDASARKAN METODE RESPONS SPEKTRUM DAN TIME HISTORY (STUDI KASUS GEDUNG SIMPANG TEMU MRT DUKUH ATAS JAKARTA).” disusun sebagai tugas akhir saya dan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia.

Selama belajar di Program Studi Sipil Fakultas Teknik UKI, saya mendapatkan banyak ilmu dan pelajaran yang bermanfaat. Hal ini semakin memperluas pengetahuan, mengasah ketekunan, inovasi dalam berpikir, dan terus melatih talenta yang saya miliki untuk menjadi lulusan Teknik Sipil yang profesional, kompeten, dan berintegritas. Banyak pelajaran berharga yang telah mengajarkan saya untuk tetap bertahan dan berpegang teguh dalam kejujuran dan integritas.

Dalam penyusunan skripsi ini, tidak sedikit masalah dan kendala yang saya hadapi dan masih terdapat kekurangan yang dikarenakan oleh keterbatasan kemampuan yang saya miliki. Namun, berkat bantuan dan kontribusi dari berbagai pihak maka penulisan dan penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, saya sungguh berterima kasih tentu kepada Tuhan

Yesus yang telah menolong saya hingga skripsi ini selesai dengan baik dan juga berterima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing, dan mendukung saya dalam menikmati perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi ini, diantaranya:

1. Kedua orang tua saya, Bapak Rianto Simbolon dan Ibu Dame Lisbeth Gultom yang selalu memberi dukungan baik moral, material, kasih sayang, dan doa yang selalu dipanjatkan untuk saya sehingga skripsi saya dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Abang dan adik saya terkasih, Bima Sori Munggu Simbolon dan Michelle Gwyneth Ourellia Simbolon yang selalu mendukung dan memberi saya semangat dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sudah membuat saya bertahan dan berjuang sejauh ini.
2. PT. Adaro Energy Indonesia melalui Yayasan AA Rachmat yang telah membantu secara finansial dalam bentuk beasiswa selama saya berkuliah.
3. Bapak Dr. Dhaniswara K. Hardjono, S.H., M.H., M.B.A. selaku Rektor Universitas Kristen Indonesia dan Ibu Ir. Dikky Antonius., S.T.,M.Sc selaku dekan Fakultas Teknik.
4. Bapak Sudarno P. Tampubolon S.T., M.Sc selaku Ketua Program Studi Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia dan Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Sudarno P. Tampubolon S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Skripsi Utama dan Ibu Agnes Sri Mulyani., S.T., M.Sc sebagai dosen pembimbing skripsi Kedua yang telah memberikan ilmu, waktu, nasihat, dan semangat, serta dukungan dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini.



6. Segenap tim Dosen Teknik Sipil UKI dan karyawan FT UKI (Kak Melias sebagai Sekretariat Jurusan, Bang Novri dan Kak Mayang sebagai Sekretariat Fakultas, Bang Jul sebagai Admin Faktultas Teknik dan Bang Sudarno Sababalat sebagai Kepala Asisten Laboratorium Sipil UKI), serta Pak Agus sebagai staff kebersihan Teknik Sipil dan LAB Building Information Modelling (BIM).
7. PT. Pembangunan Perumahan (Persero), Tbk yang telah memberi saya kesempatan kerja praktik lapangan di Gedung Simpang Temu MRT Dukuh Atas Jakarta Pusat sehingga saya dapat mempelajari dan mengaplikasikan ilmu yang telah saya pelajari di kampus dan memberi kesempatan kepada saya untuk mengangkat topik penelitian pada Tugas Akhir saya. Terima kasih kepada Pak Pradhito J selaku *Project Manager*, Ka Abbey Virginia Siahaan selaku *Drafter* BIM, Pak Hari Muryanto selaku Konsultan Manajemen Konstruksi, Pak Febrianto Wahyu Saputro selaku *Quality Control*, Mas Agung Cahyo Gumelar selaku *Scheduler*, Pak Agung Hartoyo selaku *Site Operation Manager*, Pak Christi Kurniawan selaku *Site Engineer*, serta para *staff* lainnya atas ilmu yang diberikan selama 6 bulan saya berada di Kantor Kontraktor PT. PP Proyek Gedung Simpang Temu MRT Dukuh Atas.
8. Teman – teman mahasiswa selama kerja praktik di Gedung Simpang Temu MRT Dukuh Atas Jakarta, terkhusus untuk Muhammad Taslimudin Romdoni yang telah membantu saya dalam pengumpulan data penelitian dan selalu memberi saya semangat.
9. Dita Naomi dan Andreas Samuel Kristofel sebagai sahabat saya selama 4

tahun berkuliah menjadi partner belajar bersama, teman cerita, bertukar pikiran, memberi semangat dan membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini serta selalu meyakinkan saya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.

10. Bang Gilbert Novensius Silaban sebagai abang senior'18 yang telah menjadi teman diskusi, teman bertukar pikiran, teman cerita dan membantu saya dalam pengerjaan tugas akhir ini.

11. Bang Martinus N. Fau sebagai alumni dan abang senior'13 yang telah menjadi teman diskusi dan membantu saya dalam pengerjaan tugas akhir ini.

12. Seluruh Sepupu saya, terkhususnya untuk Ka Sylvia Yuniar Tiurma Hutagalung, Ka Erlina Natalia Tambunan, Ka Juwita Prisclara Tambunan, Ka Laura Caroline Nainggolan, Ka Monica Mariana Gultom serta Bang Jeffery H. Marpaung yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi saya serta selalu ada untuk saya memberikan semangat, dukungan, tenaga, dan waktunya.

13. Teman – teman *Connect Group 56* dan *Connect Group* Jakarta Timur. Terkhususnya untuk Ka Ferawati Dahlia Manurung sebagai kakak rohani saya yang menjadi teman cerita, tempat bertukar pikiran, dan memberi saya semangat serta mendoakan saya dalam pengerjaan skripsi saya ini. *I'm so lucky to have you guys!* Membuat saya semakin bertumbuh dan beriman dalam Tuhan serta selalu mengandalkan Tuhan disetiap pergumulan saya dalam pengerjaan skripsi ini.

14. Terakhir, saya berterima kasih untuk diri saya sendiri. Terima kasih Steffy

sudah berjuang sejauh ini, *you did a splendid job!* Selama 4 tahun bukan perjalanan yang mudah untuk mencapai titik ini, dengan segala kesesakan, pergumulan dan masalah yang bahkan menurut saya tidak mampu mengatasinya, tapi kembali lagi Tuhan tolong dan mampukan saya sampai di titik ini. Terima kasih untuk tidak menyerah dan selalu semangat serta terima kasih sudah mengusahakan yang terbaik dan mempertahankan integritasmu dalam menyelesaikan skripsi ini karena Tuhan selalu menolong dan membukakan jalan disetiap pergumulammu.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Namun, saya berharap kiranya penelitian dalam skripsi ini dapat bermanfaat serta dapat memberikan ilmu yang baru dan lebih lagi untuk memahami dan membangun pengetahuan konstruksi bangunan terkhusus kegempaan di Indonesia lebih lanjut. Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur saya ucapkan banyak terima kasih. Tuhan Yesus memberkati.

Jakarta, 30 Juni 2023

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TUGAS AKHIR .....	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI TUGAS AKHIR .....	iv
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	v
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xvii
ABSTRAK .....	xx
<i>ABSTRACT</i> .....	xxi
BAB 1 .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
BAB II.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu .....	6
2.2 Pengertian Gempa Bumi .....	7
2.3 Gelombang Seismik.....	8
2.3.1 Gelombang Permukaan.....	9
2.3.2 Gelombang Badan .....	10
2.4 Wilayah Gempa Pulau Jawa dan Jakarta .....	11
2.5 Prosedur Analisis Gaya Gempa Bangunan .....	11
2.5.1 Prosedur Umum Analisis Gempa.....	12
2.5.2 Analisis Statik Ekuivalen.....	18
2.5.3 Analisis Dinamik.....	19
2.6 Klasifikasi Struktur Beraturan dan Tidak Beraturan .....	25
2.6.1 Ketidakberaturan Horizontal.....	26
2.6.2 Ketidakberaturan Vertikal.....	29
2.7 Parameter Analisis .....	32
2.7.1 Simpangan Antar Tingkat.....	32

2.7.2	Gaya Geser.....	33
2.7.3	P – Delta .....	33
2.7.4	Partisipasi Massa.....	34
2.7.5	Kekakuan Struktur.....	35
2.8	Elemen Struktur Beton Bertulang.....	36
2.8.1	Balok .....	37
2.8.2	Kolom.....	41
2.8.3	Pelat Lantai .....	42
2.8.4	Dinding Geser ( <i>Shear Wall</i> ).....	43
2.9	Pembebanan Struktur.....	44
2.9.1	Beban Mati ( <i>Dead Load</i> ).....	44
2.9.2	Beban Hidup ( <i>Life Load</i> ).....	45
2.9.3	Beban Angin ( <i>Wind Load</i> ).....	45
2.9.4	Beban Gempa ( <i>Earthquake Load</i> ).....	46
2.9.5	Kombinasi Pembebanan .....	46
BAB III	.....	48
3.1	Kerangka Penelitian.....	48
3.2	Pengumpulan Data.....	49
3.2.1	Data Umum Struktur Bangunan Gedung.....	49
3.2.2	Data Elemen Struktur Gedung .....	51
3.2.3	Elevasi Antar Tingkat.....	56
3.2.4	Denah Struktur Gedung .....	56
3.3	Mengidentifikasi Struktur Bangunan.....	57
3.4	Pemodelan Struktur Dengan ETABS Ulitmate 21.0.0.....	57
3.4.1.	Inisialisasi Model .....	57
3.4.2.	Grid System Data .....	58
3.4.3.	Pendefinisian Material .....	58
3.4.4.	Pendefinisian Elemen Struktur.....	59
3.4.5.	Pendefinisian Diafragma .....	62
3.4.6.	Pendefinisian <i>Pier Label</i> .....	62
3.4.7.	Pendefinisian Fungsi Spektrum Respons.....	63
3.4.8.	Pendefinisian <i>Mass Source</i> .....	63
3.4.9.	Pendefinisian <i>Load Pattern</i> .....	64
3.4.10.	Pendefinisian <i>Load Cases</i> .....	65
3.4.11.	Pendefinisian <i>Load Combinations</i> .....	65
3.4.12.	Penerapan Beban Pada Pelat Lantai .....	65



3.4.13. Penetapan Tumpuan .....	67
3.5 Pendefinisian Pembebanan.....	67
3.5.1. Beban Gravitasi Pada Pelat Lantai .....	67
3.5.2. Beban Gempa/ Earthquake (EqL) .....	70
3.6 Tahapan Analisis Respons Spektrum .....	72
3.7 Tahapan Analisis Time History .....	72
BAB IV .....	74
4.1 Analisis Struktur Gedung Simpang Temu MRT Dukuh Atas Jakarta .....	74
4.1.1 Pemodelan Struktur .....	74
4.1.2 Pembebanan Gempa Struktur.....	75
4.1.3 Hasil Analisis Struktur.....	79
4.2 Kontrol Kinerja Analisis Struktur.....	79
4.2.1. Penentuan Jumlah Ragam Terkombinasi.....	79
4.2.2. Perhitungan Nilai Periode Fundamental Struktur.....	80
4.2.3. Gaya Geser Dasar.....	82
4.2.4. Perpindahan/ <i>Displacement</i> .....	83
4.2.5. Simpangan Antar Tingkat.....	85
4.2.6. Pengaruh P Delta.....	90
4.3 Analisis Ketidakberaturan Horizontal.....	97
4.3.1 Ketidakberaturan Horizontal.....	97
BAB V.....	102
5.1 Kesimpulan .....	102
5.2 Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA .....	104

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Untuk Beban Gempa .....	13
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa.....	13
Tabel 2.3 Kategori Desain Seismik Berdasarkan SDS.....	14
Tabel 2.4 Kategori Desain Seismik Berdasarkan $S_{DI}$ .....	14
Tabel 2.5 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	15
Tabel 2.6 Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen .....	16
Tabel 2.7 Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ Untuk Sistem Ganda Dengan RPMK .....	17
Tabel 3.1 Data Perencanaan Struktur Kolom .....	51
Tabel 3.2 Data Perencanaan Struktur Balok.....	51
Tabel 3.3 Data Perencanaan Struktur Dinding Geser.....	55
Tabel 3.4 Data Perencanaan Struktur Pelat Lantai.....	55
Tabel 3.5 Elevasi Antar Lantai .....	56
Tabel 3. 6 Parameter Kategori Desain Seismik .....	71
Tabel 3. 7 Prosedur Gaya Gempa .....	72
Tabel 4.1 Berat Massa Setiap Lantai.....	75
Tabel 4.2 Respons Spektrum Function.....	76
Tabel 4. 3 Periode Fundamental Struktur .....	81
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Gaya Geser Statik (VS) dan Gaya Geser Dinamik (VD) ..	82
Tabel 4.5 Penskalaan Gaya.....	83
Tabel 4.6 Gaya Geser Statik dan Dinamik Setelah Penskalaan .....	83
Tabel 4.7 Perpindahan Akibat Gempa Statik.....	84
Tabel 4. 8 Perpindahan Akibat Respons Spektrum.....	84
Tabel 4. 9 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen.....	85
Tabel 4.10 Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Respons Spektrum .....	86
Tabel 4. 11 Simpangan Antar Lantai Akibat Time History Kobe University Japan.....	87
Tabel 4.12 Simpangan Antar Lantai Akibat Time History Chi-Chi Taiwan 1999 .....	88

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gelombang Badan dan Permukaan .....	9
Gambar 2.2 Gelombang Love.....	9
Gambar 2. 3 Gelombang Rayleigh.....	10
Gambar 2.4 Gelombang Primer dan Sekunder Gempa .....	10
Gambar 2.5 Grafik Spektrum Respons Gempa.....	24
Gambar 2.6 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b.....	27
Gambar 2. 7 Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b.....	27
Gambar 2. 8 Ketidakberaturan Sudut Dalam.....	27
Gambar 2. 9 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma .....	28
Gambar 2. 10 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang .....	28
Gambar 2. 11 Ketidakberaturan Sistem Non Paralel .....	29
Gambar 2. 12 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak.....	30
Gambar 2. 13 Ketidakberaturan Berat (Massa) .....	30
Gambar 2. 14 Ketidakberaturan Geometri Vertikal .....	31
Gambar 2. 15 Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Lateral .....	31
Gambar 2. 16 Perhitungan Simpangan Antar Lantai .....	33
Gambar 2. 17 Balok Persegi.....	37
Gambar 2.18 Balok L dan Balok T .....	39
Gambar 2.19 Desain Balok T Murni.....	40
Gambar 2.20 Desain Balok T Palsu .....	40
Gambar 2.21 Kolom Pendek.....	41
Gambar 2. 22 Kolom Panjang .....	42
Gambar 2. 23 Boundary Element Shear Wall.....	43
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Analisis .....	48
Gambar 3.2 Tampak Barat Proyek Gedung Simpang Temu MRT Hub .....	50
Gambar 3. 3 Potongan Memanjang Gedung Simpang Temu MRT .....	50
Gambar 3.4 Denah Struktur Arah X dan Y Lantai 2.....	56
Gambar 3.5 Pelat Lantai terluar arah Y.....	57
Gambar 3.6 Model Initialization.....	58
Gambar 3.7 Grid System Data.....	58
Gambar 3.8. a Material Properties Beton (Atas) ; b. Material Properties Baja Tulangan (Bawah).....	59
Gambar 3.9 Penginputan Material Kolom Lantai 2 – 4 .....	60
Gambar 3.10 Penginputan Material Balok Lantai 2 – 5.....	60
Gambar 3.11 Penginputan Material Shear Wall Lantai 1 – 4.....	61
Gambar 3.12 Penginputan Material Pelat Lantai.....	61
Gambar 3.13 Data Diafragma Pelat Lantai.....	62

Gambar 3.14 Pier Labels Dinding Geser .....	62
Gambar 3.15 Fungsi Spektrum Respons Gedung MRT HUB Jakarta .....	63
Gambar 3.16 Mass Source Data.....	63
Gambar 3.17 Define Load Pattern .....	64
Gambar 3.18 Pemasukan beban gempa seismik Kobe University Japan Arah X.....	64
Gambar 3.19 Pemasukan beban gempa seismik Kobe University Japan Arah Y .....	64
Gambar 3.20 Load Cases.....	65
Gambar 3.21 Load Combinations .....	65
Gambar 3.22 Pembebanan Pelat Lantai 1 – 5.....	66
Gambar 3.23 Pembebanan Pelat Lantai 6 – 12.....	66
Gambar 3.24 Beban SDL Dinding Precast .....	66
Gambar 3.25 Perletakan Jepit .....	67
Gambar 3.26 Function Definition dari Spektrum Respons .....	72
Gambar 3.27 Input Beban Gempa Time History Pada Software ETABS V.21.0.0.....	73
Gambar 3.28 <i>Matching</i> Beban Gempa .....	73
Gambar 4.1 Pemodelan Struktur dengan Software SketchUp.....	74
Gambar 4.2 Pemodelan Struktur dengan Software ETABS V21.0.0.....	74
Gambar 4.3 Akselogram Time History Kobe University Japan Arah X.....	77
Gambar 4.4 Akselogram Time History Kobe University Japan Arah Y.....	78
Gambar 4.5 Akselogram Time History Kobe University Japan Arah X.....	78
Gambar 4.6 Akselogram Time History Kobe University Japan Arah Y.....	78
Gambar 4.7 Akselogram Time History El Centro Arah X .....	79
Gambar 4.8 Akselogram Time History El Centro Arah Y .....	79
Gambar 4.9 Simpangan Antar Tingkat Statik Ekuivalen .....	86
Gambar 4.10 Simpangan Antar Tingkat Spektrum Respons .....	87
Gambar 4.11 Simpangan Antar Tingkat Time History Kobe University Japan .....	88
Gambar 4.12 Simpangan Antar Tingkat Time History Chi-Chi Taiwan 1999 .....	89
Gambar 4.13 Simpangan Antar Tingkat Time History El-Centro 1940.....	90
Gambar 4.14 Stabilitas Terhadap Pengaruh P-Delta Gempa Respons Spektrum .....	94
Gambar 4.15 Stabilitas Terhadap Pengaruh P-Delta Gempa Kobe Univ Japan .....	95
Gambar 4.16 Stabilitas Terhadap Pengaruh P-Delta Gempa ChiChi Taiwan 1999.....	96
Gambar 4.17 Stabilitas Terhadap Pengaruh P-Delta Gempa El Centro 1940.....	97
Gambar 4.18 Ketidakberaturan 1a dan 1b .....	98
Gambar 4.19 Ketidakberaturan Sudut Dalam.....	99
Gambar 4.20 Garis Acuan Ketidakberaturan Sudut Dalam.....	100
Gambar 4.21 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diagrama .....	101
Gambar 4.22 Pengecekan Daerah Bukaan Pelat.....	101

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

ACI	<i>American Concrete Institut</i>
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASD	<i>Allowable Stress Design</i>
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
$C_d$	Faktor Pembesaran Defleksi
CQC	<i>Complete Quadratic Combination</i>
$C_s$	Koefisien Respons Seismik
DBE	<i>Design Based Earthquake</i>
DL	<i>Dead Load (Beban Mati)</i>
EqL	<i>Earthquake Load (Beban Gempa)</i>
ETABS	<i>Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems</i>
$F_a$	Faktor Amplifikasi Getaran Percepatan Pada Periode Pendek
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
$F_v$	Faktor Amplifikasi Getaran Percepatan Pada Periode 1 Detik
IBC	<i>International Building Code</i>
$I_e$	Faktor Keutamaan
KDS	Kategori Desain Seismik
LL	<i>Live Load (Beban Hidup)</i>
LRFD	<i>Load Resistance Factor Design</i>



M	Magnitudo
MCE	<i>Maximum Considered Earthquake</i>
MCEG	<i>Maximum Considered Earthquake Geometric Mean</i>
MCER	<i>Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted</i>
MDOF	<i>Multi Degree of Freedom</i>
MEP	<i>Mechanical, Electrical, and Plumbing</i>
PPPURG	Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
PUPR	Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
R	Koefisien Modifikasi Respons
RSA	<i>Respons Spektral Application</i>
$S_1$	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan Untuk Periode 1 Detik
$S_{D1}$	Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Pada Periode 1 Detik
SDOF	<i>Single Degree of Freedom</i>
$SD_s$	Parameter Respon Spektral Percepatan Desain Pada Periode Pendek
SIDL	<i>Superimposed Dead Load (Beban Mati Tertambah)</i>

SLE	<i>Service Level Earthquake</i>
$S_{M1}$	Parameter Respons Spektral Percepatan Pada Periode 1 Detik
$S_{MS}$	Parameter Respons Spektral Percepatan Pada Periode Pendek
SNI	Standar Nasional Indonesia
SRPMK	Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
SRSS	<i>Square Root of the Sum of Squares</i>
$S_s$	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan Untuk Periode Pendek
SW	Shearwall/ <i>Dinding Geser</i>
T	Periode Getar Struktur
$T_a$	Periode Fundamental Pendekatan
TL	Periode Panjang
V	Gaya Geser Seismik
W	Berat Seismik Efektif
WL	<i>Wind Load</i> (Beban Angin)
$\Omega_0$	Faktor Kuat Lebih Sistem

## ABSTRAK

Indonesia secara geografis terletak di kawasan cincin api pasifik, sehingga berpotensi terhadap ancaman gempa. Khususnya di Pulau Jawa yang memiliki infrastruktur dan penduduk paling padat dan terletak diantara lempeng Indo – Australia dan lempeng Eurasia sehingga menyebabkan wilayah ini banyak terdapat gunung api aktif dan memiliki potensi tinggi terhadap gempa bumi. Oleh karena itu perlu dilakukan tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur bangunan terhadap wilayah dan fungsi bangunan agar dapat meminimalisir bahkan mencegah kerugian apabila terjadi gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur terhadap perpindahan, simpangan antar tingkat dan batas stabilitas struktur terhadap beban gempa serta meninjau ketidakberaturan horizontal struktur berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 pada bangunan eksisting di Gedung Simpang Temu MRT Dukuh Atas Jakarta. Proses analisis dilakukan dengan pemodelan 3D bangunan menggunakan program perangkat lunak ETABS, analisis berdasarkan dinamik linear riwayat waktu dan spektrum respons. Analisis riwayat waktu menggunakan catatan rekaman gempa Kobe Japan, ChiChi Taiwan, dan El Centro yang dicocokkan terhadap gempa respons spektrum, hasil analisis berdasarkan program dilakukan untuk membandingkan dua metode yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis, gedung ini diklasifikasikan kedalam ketidakberaturan horizontal torsi berlebih dengan rasio  $> 1,4$ , nilai rata-rata displacement dilantai 2 sampai lantai 12 arah horizontal X melebihi nilai *drift limit*. Hasil batas koefisien stabilitas struktur terhadap *displacement* berdasarkan pengaruh P-Delta masih memenuhi batas stabilitas struktur sehingga dapat dinyatakan bahwa struktur dalam keadaan stabil dan aman.

**Kata Kunci: Ketidakberaturan Horizontal, Spektrum Respons, Riwayat Waktu, Perpindahan, Simpangan Antar Tingkat.**

## **ABSTRACT**

*Indonesia is geographically located in the Pacific Ring of Fire, so it has the potential to be vulnerable to earthquakes. Especially on the island of Java, which has the densest infrastructure and population and is located between the Indo-Australian plates and the Eurasian plates, causing this area to have many active volcanoes and a high potential for earthquakes. Therefore it is necessary to pay the planned earthquake load in planning the design of the building structure for the area and function of the building to minimize and even prevent losses in the event of an earthquake. This study aims to determine the structure's performance against safeguards, deviations between levels, and structural stability limits against earthquake loads and to review horizontal structural irregularities based on SNI 1726: 2019 regulations in existing buildings at the Simpang Temu MRT Dukuh Atas Jakarta Building. The analysis process was carried out by 3D building modeling using the ETABS software program, analysis based on dynamic time history and spectrum response. Historical time analysis uses recorded earthquake records of Kobe Japan, ChiChi Taiwan, and El Centro which match the earthquake response spectrum, the results of the analysis based on the program were carried out to compare the two methods used. Based on the results of the analysis, this building is classified into horizontal irregularities with excessive torque ratio  $> 1.4$ , the average displacement value from the 2nd floor to the 12th floor in the horizontal direction X exceeds the drift value limit. The results of the instability limit for structural stability against displacement based on the P-Delta effect still meet the structural stability limits so it can be stated that the structure is stable and safe.*

**Keywords:** *Horizontal Irregularity, Response Spectrum, Time History, Displacement, Story Drift.*