

**EVALUASI SISTEM DINDING STRUKTUR KHUSUS DENGAN
BELT TRUSS DAN *OUTRIGGER* PADA *SUPERTALL BUILDING*
DI JAKARTA**



TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil

Oleh:

Muhamad Cesar Vitho

2100371

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNIK DAN INDUSTRI
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2025

EVALUASI SISTEM DINDING STRUKTUR KHUSUS DENGAN
BELT TRUSS DAN *OUTRIGGER* PADA *SUPERTALL BUILDING*
DI JAKARTA

Oleh
Muhamad Cesar Vitho

Sebuah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri

© Muhamad Cesar Vitho 2025
Universitas Pendidikan Indonesia
Agustus 2025

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan
dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

Muhamad Cesar Vitho

EVALUASI SISTEM DINDING STRUKTUR KHUSUS DENGAN *BELT TRUSS* DAN *OUTRIGGER* PADA *SUPERTALL BUILDING* DI JAKARTA

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Drs. Budi Kudwadi, M.T.
NIP. 19630622 199001 1 001

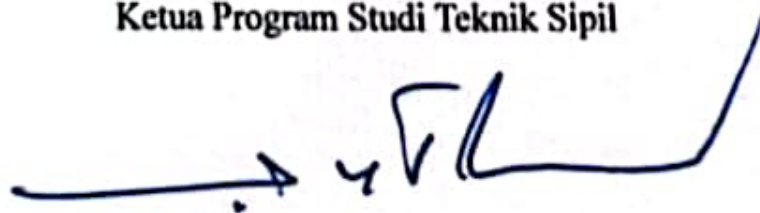
Pembimbing II



Ben Novarro Batubara, M.T.
NIP. 19801119 200912 1 003

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Juang Akbardin, S.T., M.T., IPM, ASEAN.Eng
NIP. 19770307 200812 1 001

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Muhamad Cesar Vitho

NIM: 2100371

Program Studi: Teknik Sipil

Judul Karya: Evaluasi Sistem Dinding Struktur Khusus Dengan *Belt Truss* Dan *Outrigger* Pada *Supertall Building* Di Jakarta

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Seluruh data struktur Thamrin Nine Autograph Tower dalam penelitian ini merupakan hasil simplifikasi dan pen-tipikalan dari kondisi eksisting. Penyederhanaan dilakukan karena kompleksitas teknis *supertall building* melampaui lingkup kajian pada jenjang sarjana. Model dan hasil analisis tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Data ini digunakan semata-mata untuk kepentingan akademik dan tidak ditujukan untuk keperluan komersial.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, Agustus 2025



Muhamad Cesar Vitho

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Evaluasi Sistem Dinding Struktur Khusus Dengan *Belt Truss* Dan *Outrigger* Pada *Supertall Building* Di Jakarta**”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia.

Tugas Akhir ini bukan sekadar pemenuhan kewajiban akademik, melainkan juga merupakan perjalanan penuh tantangan, pembelajaran, serta refleksi mendalam atas ilmu yang telah penulis pelajari selama masa studi. Di dalamnya terkandung upaya, kesungguhan, dan dedikasi yang diiringi dengan semangat untuk memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya dalam bidang perencanaan struktur bangunan tinggi di wilayah rawan gempa.

Penulis juga menyadari bahwa karya ini masih memiliki berbagai keterbatasan, baik dari segi cakupan maupun kedalaman analisis. Oleh karena itu, penulis membuka diri terhadap kritik dan saran yang membangun demi perbaikan keilmuan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat, tidak hanya bagi penulis secara pribadi, tetapi juga bagi sivitas akademika dan praktisi yang tertarik pada kajian struktur bangunan tinggi yang tangguh terhadap beban lateral.

Bandung, Agustus 2025

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur yang mendalam, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan penyusunan Tugas Akhir ini. Tanpa bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak, niscaya karya ini tidak akan pernah dapat terwujud sebagaimana adanya saat ini. Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Drs. Budi Kudwadi, M.T., dan Bapak Ben Novarro Batubara, M.T., selaku dosen pembimbing 1 dan 2 yang telah membimbing serta selalu memberikan saran dan masukan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Istiqomah, S.T., M.T., Bapak Dr. H. Nanang Dalil Herman, S.T., M.Pd., IPM., dan Bapak Drs. Ir. Rakhmat Yusuf, MT., MCE., IPM., C.PM., ASEAN Eng., selaku dosen penguji 1, 2, dan 3 yang telah berkenan untuk menguji penelitian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Juang Akbardin, S.T., M.T., IPM, ASEAN.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pendidikan Indonesia.
4. PT. Putragaya Wahana, selaku *Owner* Thamrin Nine Autograph Tower.
5. Ibu Dila Alvi Febi Rivani selaku *Structural Engineering Manager* PT. Putragaya Wahana yang selalu mendukung dan meluangkan waktu untuk berdiskusi mengenai informasi data struktur Thamrin Nine Autograph Tower.
6. Bapak Hardizal Bahar selaku *Chief Resident Engineer* proyek Thamrin Nine Autograph Tower yang telah membantu mengarahkan birokrasi perizinan.
7. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan baik dari segi moril maupun materil.
8. Kakak Oktisa Durrah yang selalu mendukung serta mendoakan kelancaran penelitian Tugas Akhir ini.
9. Rekan seperjuangan Abdurrahman Ammar Al-arifi yang selalu beriringan menemani proses penelitian Tugas Akhir ini dari awal hingga akhir.
10. Rekan-rekan Teknik Sipil angkatan 2021 yang telah membantu serta menemani dalam penyusunan penelitian Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian Tugas Akhir ini.

EVALUASI SISTEM DINDING STRUKTUR KHUSUS DENGAN *BELT TRUSS* DAN *OUTRIGGER* PADA *SUPERTALL BUILDING* DI JAKARTA

Muhamad Cesar Vitho, Budi Kudwadi¹, Ben Novarro Batubara²
Program Studi Teknik Sipil S1; Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri;
Universitas Pendidikan Indonesia
Email: mcesarvitho@upi.edu, bkudwadi@upi.edu, bensnovr@upi.edu

ABSTRAK

Pembangunan *supertall building* di kawasan urban seperti Jakarta merupakan solusi atas keterbatasan lahan dan meningkatnya kebutuhan ruang vertikal. Namun, tingginya bangunan menyebabkan tantangan besar dalam menahan gaya lateral akibat gempa, sehingga dibutuhkan sistem struktur yang efisien dan tangguh. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem *belt truss* dan *outrigger* dalam mereduksi perpindahan (*displacement*) dan simpangan antar tingkat (*drift*), serta mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan ATC-40, dengan studi kasus Thamrin Nine Autograph Tower. Struktur *supertall building* dievaluasi dengan pembebanan gempa menggunakan metode *response spectrum*, kemudian dilakukan analisis numerik menggunakan pemodelan 3D pada *software* ETABS 2020. Penelitian mencakup tiga pemodelan: model 1 (sistem eksisting di lantai 35–36 dan 55–57), model 2 (tanpa sistem), dan model 3 (sistem pada lantai 18–20, 37–39, dan 56–57). Hasil analisis menunjukkan bahwa model 1 menunjukkan *displacement* 329.195 mm (X) dan 342.202 mm (Y), serta *drift* 31.224 mm (X) dan 33.076 mm (Y). Model 2 memiliki *displacement* terbesar yaitu 331.526 mm (X) dan 347.076 mm (Y), serta *drift* maksimum 31.620 mm (X) dan 33.698 mm (Y). Model 3 menunjukkan hasil terbaik dengan *displacement* 324.286 mm (X) dan 336.759 mm (Y), serta *drift* 31.086 mm (X) dan 32.495 mm (Y). Berdasarkan ATC-40, ketiga model berada pada level *Immediate Occupancy*. Penerapan sistem *belt truss* dan *outrigger* dapat diaplikasikan sebagai salah satu teknologi penahan gempa pada struktur *supertall building* di kawasan seismik seperti Jakarta.

Kata kunci: *Supertall building*, *belt truss*, *outrigger*, *response spectrum*, perpindahan, simpangan antar tingkat, ATC-40

¹Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir

²Dosen Pembimbing 2 Tugas Akhir

EVALUATION OF SPECIAL STRUCTURAL WALL SYSTEM WITH BELT TRUSS AND OUTRIGGER ON SUPERTALL BUILDING IN JAKARTA

Muhamad Cesar Vitho, Budi Kudwadi¹, Ben Novarro Batubara²

Bachelor of Civil Engineering Program; Faculty of Engineering and Industry Education;
Indonesia University of Education

Email: mcesarvitho@upi.edu, bkudwadi@upi.edu, bensnovr@upi.edu

ABSTRACT

The construction of supertall buildings in urban areas such as Jakarta is a solution to land constraints and the increasing need for vertical space. However, the height of these buildings poses a major challenge in withstanding lateral forces caused by earthquakes, requiring an efficient and robust structural system. This study aims to evaluate the effectiveness of belt truss and outrigger systems in reducing displacement and inter-story drift, as well as assessing structural performance based on ATC-40, using the Thamrin Nine Autograph Tower as a case study. The supertall building structure was evaluated using earthquake loading via the response spectrum method, followed by numerical analysis using 3D modeling in ETABS 2020 software. The study includes three models: Model 1 (existing system on floors 35–36 and 55–57), Model 2 (without the system), and Model 3 (system on floors 18–20, 37–39, and 56–57). The analysis results show that Model 2 has the largest displacement, namely 331.526 mm (X) and 347.076 mm (Y), as well as maximum drift of 31.620 mm (X) and 33.698 mm (Y). Model 1 showed displacement of 329.195 mm (X) and 342.202 mm (Y), and drift of 31.224 mm (X) and 33.076 mm (Y). Model 3 shows the best results with a displacement of 324.286 mm (X) and 336.759 mm (Y), and a drift of 31.086 mm (X) and 32.495 mm (Y). Based on ATC-40, all three models are at the Immediate Occupancy level. The application of belt truss and outrigger systems can be implemented as one of the earthquake-resistant technologies for supertall buildings in seismic zones such as Jakarta.

Keywords: Supertall building, belt truss, outrigger, response spectrum, displacement, inter-story drift, ATC-40

¹Thesis Advisor 1

²Thesis Advisor 2

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	77
2.1 <i>Supertall Building</i>	7
2.2 Sistem <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	9
2.3 Kolom Komposit.....	17
2.4 Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i>)	21
2.5 Metode Analisis.....	22
2.5.1. Analisis Statis Linear/ <i>Linear Static Procedure</i> (LSP)	22
2.5.2. Analisis Statis Nonlinear/ <i>Nonlinear Static Procedure</i> (NSP).....	23
2.5.3. Analisis Dinamis Linear/ <i>Linear Dynamic Procedure</i> (LDP).....	23
2.5.4. Analisis Dinamis Nonlinear/ <i>Nonlinear Dynamic Procedure</i> (NDP) .	24
2.6 <i>Applied Technology Council</i> (ATC) 40	24
2.7 Evaluasi Level Kinerja Struktur Berdasarkan <i>Applied Technology Council</i> (ATC) 40.....	27
2.8 Efektivitas Penerapan Sistem <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1 Desain Penelitian.....	42
3.2 Lokasi Objek Penelitian	45
3.3 Waktu Penelitian.....	45
3.4 Metode.....	46

3.5 Data Primer dan Data Sekunder	46
3.6 Teknik Analisis	46
3.7 Data Penelitian	47
3.7.1. Data Teknis Arsitektur	47
3.7.2. Data Teknis Struktur.....	47
3.7.3. ETABS 2020	52
3.8 Prosedur Penelitian.....	53
3.8.1. Diagram Alir Penelitian.....	53
3.8.2. Identifikasi Data	54
3.8.3. Pemodelan Struktur 3D dengan ETABS	55
3.8.4. Input Pembebanan	56
3.9 Analisis Data	62
3.9.1. Analisis Dinamik Metode <i>Response Spectrum</i>	62
3.9.2. Kontrol Desain	63
3.9.3. Evaluasi Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	66
4.1 Data Struktur Bangunan	66
4.1.1 Data Struktur Bangunan Pemodelan 1	66
4.1.2 Data Struktur Bangunan Pemodelan 2	75
4.1.3 Data Struktur Bangunan Pemodelan 3	82
4.2 Pembebanan	90
4.2.1. Perhitungan Pembebanan	90
4.2.1.1. Beban Mati (D)	90
4.2.1.2. Beban Mati Tambahan (<i>Super Imposed Dead Load/SIDL</i>)	90
4.2.1.3. Beban Hidup (L)	91
4.2.1.4. Beban Gempa	92
4.2.2. Kombinasi Pembebanan.....	92
4.3 Berat Seismik Efektif	93
4.4 Analisis Respons Spektrum.....	101
4.4.1. Periode Fundamental Pendekatan	103
4.4.2. Jumlah Ragam.....	105
4.4.3. Gaya Geser Dasar Seismik (<i>Base Shear</i>)	107

4.4.4. Penskalaan Gaya Geser Dasar Seismik (<i>Base Shear</i>)	111
4.4.5. Pengecekan Ketidakberaturan Struktur	116
4.4.6. Perpindahan (<i>Displacement</i>) dan Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i>)	151
4.4.6. Perbandingan Nilai <i>Displacement</i> Model 1, 2 dan 3	173
4.4.7. Perbandingan Nilai <i>Drift</i> Model 1, 2 dan 3	179
4.4.8. Pengaruh P-Delta	185
4.4.9. Perbandingan Koefisien Stabilitas P-Delta Model 1, 2, dan 3	198
4.5. Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40	203
4.6. Pengecekan Desain	206
4.7. Sambungan Sistem <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	220
BAB V KESIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI.....	221
5.1. Kesimpulan	221
5.2. Implikasi	222
5.3. Rekomendasi	223
DAFTAR PUSTAKA.....	225
LAMPIRAN.....	228

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Contoh Bangunan <i>Tall</i> , <i>Supertall</i> , dan <i>Megatall</i>	8
Gambar 2. 2 Struktur <i>Outrigger</i> Dengan <i>Corewall</i>	11
Gambar 2. 3 Struktur <i>Outrigger</i> Dengan <i>Offset Corewall</i>	11
Gambar 2. 4 Struktur <i>Outrigger</i> Dengan <i>Belt Truss</i>	12
Gambar 2. 5 Implementasi Struktur <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	13
Gambar 2. 6 Interaksi Antara <i>Corewall</i> Dengan <i>Outrigger</i>	13
Gambar 2. 7 Dampak Letak Lokasi <i>Outrigger</i>	14
Gambar 2. 8 Lokasi <i>Outrigger</i> yang Optimal Untuk Satu Struktur <i>Outrigger</i>	15
Gambar 2. 9 Lokasi <i>Outrigger</i> yang Optimal Untuk Dua Struktur <i>Outrigger</i>	15
Gambar 2. 10 Lokasi <i>Outrigger</i> yang Optimal Untuk Tiga Struktur <i>Outrigger</i>	16
Gambar 2. 11 Lokasi <i>Outrigger</i> yang Optimal Untuk Empat Struktur <i>Outrigger</i>	16
Gambar 2. 12 Grafik Efisiensi Dalam Pengurangan Penyimpangan (<i>Drift</i>).....	17
Gambar 2. 13 Grafik Efisiensi Dalam Pengurangan Momen	17
Gambar 2. 14 Mendefinisikan Kolom Komposit di ETABS (1).....	19
Gambar 2. 15 Mendefinisikan Kolom Komposit di ETABS (2).....	19
Gambar 2. 16 Mendefinisikan Kolom Komposit di ETABS (3).....	20
Gambar 2. 17 Mendefinisikan Kolom Komposit di ETABS (4).....	20
Gambar 2. 18 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	22
Gambar 2. 19 Grafik <i>Story Drift</i> Untuk Analisis Statik Arah X	29
Gambar 2. 20 Grafik <i>Story Drift</i> Untuk Analisis Statik Arah Y	29
Gambar 2. 21 Grafik <i>Story Drift</i> Untuk Analisis Response Spectrum Arah X	30
Gambar 2. 22 Grafik <i>Story Drift</i> Untuk Analisis Response Spectrum Arah Y	30
Gambar 2. 23 Grafik Perbandingan <i>Story Drift</i> Maksimum Dengan Analisis Respons Spektrum dan Analisis Angin Dinamis Sepanjang Arah Memanjang dan Melintang	32
Gambar 2. 24 Grafik <i>Story Drift</i> Dengan <i>Outrigger</i>	34
Gambar 2. 25 Grafik <i>Story Drift</i> Dengan <i>Outrigger</i> dan <i>Cap Truss</i>	34
Gambar 2. 26 Grafik <i>Story Drift</i> Dengan <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i>	34
Gambar 2. 27 Grafik <i>Story Drift</i> Dengan OBT dan Cap OBT.....	35
Gambar 2. 28 Grafik Perbandingan <i>Drift</i> Antara Dengan dan Tanpa <i>Outrigger</i> Beton dan <i>Belt Truss</i>	37

Gambar 2. 29 Grafik Perbandingan <i>Drift</i> Antara Dengan dan Tanpa <i>Outrigger</i> Baja dan <i>Belt Truss</i>	37
Gambar 2. 30 Posisi Optimal <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	39
Gambar 3. 1 Visual Eksisting Gedung Thamrin Nine Autograph Tower.....	42
Gambar 3. 2 Tampak Depan Gedung Thamrin Nine Autograph Tower	43
Gambar 3. 3 Tampak Samping Gedung Thamrin Nine Autograph Tower.....	44
Gambar 3. 4 Lokasi Penelitian	45
Gambar 3. 5 Denah Tipikal	47
Gambar 3. 6 Pemodelan 3D Gedung Thamrin Nine Autograph Tower Dengan ETABS	55
Gambar 3. 7 Peta Zonasi Gempa Indonesia	58
Gambar 3. 8 Besarnya Nilai Percepatan Spektrum Respons untuk Periode Pendek, $T = 0,2s$ (S_s).....	58
Gambar 3. 9 Besarnya Nilai Percepatan Spektrum Respons untuk Periode Panjang, $T = 1s$ (S_s)	59
Gambar 3. 10 Grafik Respon Spektra	60
Gambar 3. 11 Diagram Alir Analisis Metode <i>Response Spectrum</i>	63
Gambar 4. 1 Denah Tipikal Lantai 1-40 Pemodelan 1	66
Gambar 4. 2 Denah Tipikal Lantai 41-Roof Pemodelan 1	67
Gambar 4. 3 Visual 3D Pemodelan 1	68
Gambar 4. 4 Tampak Depan Struktur <i>Belt Truss</i> Lantai 35-57 Pemodelan 1	69
Gambar 4. 5 Tampak Belakang Struktur <i>Outrigger</i> Lantai 35-57 Pemodelan 1...	70
Gambar 4. 6 Denah Tipikal Lantai 1-40 Pemodelan 2.....	75
Gambar 4. 7 Denah Tipikal Lantai 41-Roof Pemodelan 2.....	76
Gambar 4. 8 Visual 3D Pemodelan 2	77
Gambar 4. 9 Tampak Depan dan Belakang Pemodelan 2 Tanpa Struktur <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	78
Gambar 4. 10 Denah Tipikal Lantai 1-40 Pemodelan 3.....	82
Gambar 4. 11 Denah Tipikal Lantai 41-Roof Pemodelan 3	83
Gambar 4. 12 Visual 3D Pemodelan 3	84
Gambar 4. 13 Tampak Depan Struktur <i>Belt Truss</i> Lantai 18-57 Pemodelan 3	85
Gambar 4. 14 Tampak Belakang Struktur <i>Outrigger</i> Lantai 18-57 Pemodelan 3.	86

Gambar 4. 15 Kurva Spektrum Respons Percepatan Desain	103
Gambar 4. 16 Kurva Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Model 1 Arah X	155
Gambar 4. 17 Kurva Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Model 1 Arah Y	156
Gambar 4. 18 Kurva Nilai Simpangan Antar Tingkat Model 1 Arah X.....	157
Gambar 4. 19 Kurva Nilai Simpangan Antar Tingkat Model 1 Arah Y	158
Gambar 4. 20 Kurva Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Model 2 Arah X	162
Gambar 4. 21 Kurva Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Model 2 Arah Y	163
Gambar 4. 22 Kurva Nilai Simpangan Antar Tingkat Model 2 Arah X.....	164
Gambar 4. 23 Kurva Nilai Simpangan Antar Tingkat Model 2 Arah Y	165
Gambar 4. 24 Kurva Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Model 3 Arah X	169
Gambar 4. 25 Kurva Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Model 3 Arah Y	170
Gambar 4. 26 Kurva Nilai Simpangan Antar Tingkat Model 3 Arah X.....	171
Gambar 4. 27 Kurva Nilai Simpangan Antar Tingkat Model 3 Arah Y	172
Gambar 4. 28 Kurva Perbandingan <i>Displacement</i> Model 1, 2, dan 3 Arah X	177
Gambar 4. 29 Kurva Perbandingan <i>Displacement</i> Model 1, 2, dan 3 Arah Y	178
Gambar 4. 30 Kurva Perbandingan <i>Drift</i> Model 1, 2, dan 3 Arah X	183
Gambar 4. 31 Kurva Perbandingan <i>Drift</i> Model 1, 2, dan 3 Arah Y	184
Gambar 4. 32 Kurva Pengecekan P-Delta Arah X Model 1	188
Gambar 4. 33 Kurva Pengecekan P-Delta Arah Y Model 1	189
Gambar 4. 34 Kurva Pengecekan P-Delta Arah X Model 2	192
Gambar 4. 35 Kurva Pengecekan P-Delta Arah Y Model 2.....	193
Gambar 4. 36 Kurva Pengecekan P-Delta Arah X Model 3	196
Gambar 4. 37 Kurva Pengecekan P-Delta Arah Y Model 3.....	197
Gambar 4. 38 Kurva Perbandingan P-Delta Model 1, 2, dan 3 Arah X.....	201
Gambar 4. 39 Kurva Perbandingan P-Delta Model 1, 2, dan 3 Arah Y	202
Gambar 4. 40 Kurva Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 4 Arah X.....	211
Gambar 4. 41 Kurva Perbandingan <i>Displacement</i> Kombinasi 4 Arah Y	212
Gambar 4. 42 <i>Analysis and Design Sections Match for All Steel Frames</i> Model 1	213
Gambar 4. 43 <i>All Steel Frames Passed The Stress/Capacity Check</i> Model 1	213
Gambar 4. 44 <i>Analysis and Design Sections Match for All Concrete Frames</i> Model 1	214

Gambar 4. 45 <i>All Concrete Frames Passed The Design Check Model 1</i>	214
Gambar 4. 46 <i>Analysis and Design Sections Match for All Composite Columns</i> Model 1	215
Gambar 4. 47 <i>All Composite Columns Passed The Design Check Model 1</i>	215
Gambar 4. 48 <i>Analysis and Design Sections Match for All Concrete Frames</i> Model 2	216
Gambar 4. 49 (12937) <i>Concrete Frames Failed The Design Check Model 2</i>	216
Gambar 4. 50 <i>Analysis and Design Sections Match for All Steel Frames Model 3</i>	217
Gambar 4. 51 <i>All Steel Frames Passed The Stress/Capacity Check Model 3</i>	217
Gambar 4. 52 <i>Analysis and Design Sections Match for All Concrete Frames</i> Model 3	218
Gambar 4. 53 <i>All Concrete Frames Passed The Design Check Model 3</i>	218
Gambar 4. 54 <i>Analysis and Design Sections Match for All Composite Columns</i> Model 3	219
Gambar 4. 55 <i>All Composite Columns Passed The Design Check Model 3</i>	219
Gambar 4. 56 <i>Sambungan Sistem Belt Truss dan Outrigger</i>	220

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Simpangan Antar Tingkat Izin.....	22
Tabel 2. 2 Batasan Level Kinerja Struktur	29
Tabel 2. 3 <i>Story Drift</i> Maksimum Berdasarkan Analisis Respons Spektrum dan Analisis Angin Dinamis Sepanjang Arah Memanjang dan Melintang .	31
Tabel 2. 4 Posisi Optimal <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	39
Tabel 3. 1 Waktu penyusunan penelitian.....	45
Tabel 3. 2 Data Elemen Struktur Balok	48
Tabel 3. 3 Data Elemen Struktur Kolom.....	48
Tabel 3. 4 Data Elemen Struktur Kolom Komposit	49
Tabel 3. 5 Data Elemen Struktur <i>Corewall</i>	49
Tabel 3. 6 Data Elemen Struktur <i>Slab</i>	50
Tabel 3. 7 Data Elemen Struktur <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i>	50
Tabel 3. 8 Data Baja Tulangan	50
Tabel 3. 9 Penamaan Struktur Level VS <i>Marketing Level</i>	50
Tabel 3. 10 Beban Mati Tambahan.....	56
Tabel 3. 11 Pembebanan Hidup.....	57
Tabel 3. 12 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung Untuk Beban Gempa	59
Tabel 3. 13 Faktor Keutamaan Gempa.....	60
Tabel 3. 14 Parameter Percepatan Spektral Desain Untuk Periode Pendek (S_{DS}) dan Periode 1 Detik (S_{D1}).....	60
Tabel 3. 15 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	61
Tabel 3. 16 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik	61
Tabel 4. 1 Data Elemen Struktur Balok Pemodelan 1	71
Tabel 4. 2 Data Elemen Struktur Kolom Pemodelan 1	72
Tabel 4. 3 Data Elemen Struktur Kolom Komposit Pemodelan 1	72
Tabel 4. 4 Data Elemen Struktur <i>Corewall</i> Pemodelan 1	72
Tabel 4. 5 Data Elemen Struktur <i>Slab</i> Pemodelan 1	73
Tabel 4. 6 Data Elemen Struktur <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i> Pemodelan 1	73

Tabel 4. 7 Data Baja Tulangan Pemodelan 1	74
Tabel 4. 8 Data Elemen Struktur Balok Pemodelan 2.....	79
Tabel 4. 9 Data Elemen Struktur Kolom Pemodelan 2	80
Tabel 4. 10 Data Elemen Struktur <i>Corewall</i> Pemodelan 2	80
Tabel 4. 11 Data Elemen Struktur <i>Slab</i> Pemodelan 2	81
Tabel 4. 12 Data Baja Tulangan Pemodelan 2	81
Tabel 4. 13 Data Elemen Struktur Balok Pemodelan 3.....	87
Tabel 4. 14 Data Elemen Struktur Kolom Pemodelan 3	88
Tabel 4. 15 Data Elemen Struktur Kolom Komposit Pemodelan 3	88
Tabel 4. 16 Data Elemen Struktur <i>Corewall</i> Pemodelan 3	89
Tabel 4. 17 Data Elemen Struktur <i>Slab</i> Pemodelan 3	89
Tabel 4. 18 Data Elemen Struktur <i>Belt Truss</i> dan <i>Outrigger</i> Pemodelan 3	89
Tabel 4. 19 Data Baja Tulangan Pemodelan 3	90
Tabel 4. 20 Beban Mati Tambahan (SIDL)	91
Tabel 4. 21 Beban Hidup.....	91
Tabel 4. 22 Berat Seismik Efektif Pemodelan 1	93
Tabel 4. 23 Berat Seismik Efektif Pemodelan 2	96
Tabel 4. 24 Berat Seismik Efektif Pemodelan 3	98
Tabel 4. 25 Periode dan Spektrum Respons Percepatan Desain	103
Tabel 4. 26 Rasio Massa Partisipasi Modal Pemodelan 1	105
Tabel 4. 27 Rasio Massa Partisipasi Modal Pemodelan 2.....	106
Tabel 4. 28 Rasio Massa Partisipasi Modal Pemodelan 3.....	107
Tabel 4. 29 Output <i>Base Reaction</i> ETABS Sebelum dan Sesudah Penskalaan Metode Respon Spektrum Pemodelan 1	113
Tabel 4. 30 Output <i>Base Reaction</i> ETABS Sebelum dan Sesudah Penskalaan Metode Respon Spektrum Pemodelan 2	114
Tabel 4. 31 Output <i>Base Reaction</i> ETABS Sebelum dan Sesudah Penskalaan Metode Respon Spektrum Pemodelan 3	115
Tabel 4. 32 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Model 1.....	116
Tabel 4. 33 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Model 2.....	118
Tabel 4. 34 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Model 3.....	120
Tabel 4. 35 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 1 ..	125

Tabel 4. 36 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 2..	127
Tabel 4. 37 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 3..	129
Tabel 4. 38 Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa) Model 1	131
Tabel 4. 39 Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa) Model 2	133
Tabel 4. 40 Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa) Model 3	135
Tabel 4. 41 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 1	138
Tabel 4. 42 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 2	140
Tabel 4. 43 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 3	142
Tabel 4. 44 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 1	144
Tabel 4. 45 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 2	147
Tabel 4. 46 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Model 3	149
Tabel 4. 47 Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) dan Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i>) Pada Pemodelan 1	152
Tabel 4. 48 Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) dan Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i>) Pada Pemodelan 2	159
Tabel 4. 49 Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) dan Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i>) Pada Pemodelan 3	166
Tabel 4. 50 Perbandingan Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Pada Pemodelan 1, 2, dan 3	173
Tabel 4. 51 Perbandingan Nilai Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i>) Pada Pemodelan 1, 2, dan 3	179
Tabel 4. 52 Pengecekan P-Delta Arah X dan Y Model 1	186
Tabel 4. 53 Pengecekan P-Delta Arah X dan Y Model 2	190
Tabel 4. 54 Pengecekan P-Delta Arah X dan Y Model 3	194
Tabel 4. 55 Perbandingan Koefisien Stabilitas P-Delta Model 1, 2, dan 3	198
Tabel 4. 56 Level Kinerja Struktur Pemodelan 1, 2, dan 3	205
Tabel 4. 57 Nilai Perpindahan (<i>Displacement</i>) Kombinasi 4 Model 1, 2, dan 3	206

DAFTAR PUSTAKA

- Choi, H. S., et al. (2014). *Outrigger design for high-rise buildings: Council on tall buildings and urban habitat (CTBUH)*. Amerika Serikat: Routledge.
- Hapsari, W. (2016). *Tugas Akhir: Desain struktur gedung 80 lantai dengan outrigger beton dan belt truss baja di Jakarta*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Nurur, S. (2016). *Tugas Akhir: Desain struktur gedung 90 lantai dengan belt truss dan outrigger di Jakarta*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Smith, B. S., & Coull, A. (1991). *Tall building structures: Analysis and design*. New York: John Wiley & Sons.
- Balling, R. J., & Lee, J. S. (2014). Simplified model for analysis and optimization of skyscrapers with outrigger and belt trusses. *Journal of Structural Engineering, ASCE*.
- Brunesi, E., Nascimbene, R., & Casagrande, L. (2015). Seismic performance of high-rise steel MRFs with outrigger and belt trusses through nonlinear dynamic FE simulations. *Proceedings of COMPDYN Conference*.
- Hamidi, H., Packdaman, J., Jahani, E., & Rajabnejad, H. (2017). The assessment and comparison of tall buildings with outrigger and belt truss systems using fragility curves. *Journal of Structural Engineering and Construction*, 5(1), 174-188.
- Kharade, S. S., & Salgar, P. B. (2022). Review on high-rise building with outrigger and belt truss system. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 10(8), 454-455.
- Nasir, S. R., & Patil, A. S. (2016). Lateral stability analysis of high-rise building with the effect of outrigger and belt truss system. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(8), 1948-1949.
- Prasetyo Utomo, D., & Soegiarso, R. (2020). Performance evaluation of dual system structure with belt truss. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007, 012104.
- Surendra, P. A., & Dubey, P. (2023). Comparative analysis of shear core outrigger systems, wall belt systems, and truss belt systems for residential units. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(8).

- Utomo, P., & Soegiarso, R. (2020). Performance evaluation of dual system structure with belt truss. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007(1), 012104.
- Alhaddad, W., Halabi, Y., Xu, H., & Lei, H. (2020). A comprehensive introduction to outrigger and belt-truss system in skyscrapers. *Structures*, 27, 989–998.
- Alhaddad, W., Halabi, Y., Xu, H., & Lei, H. (2020). Outrigger and belt-truss system design for high-rise buildings: A comprehensive review part II—Guideline for optimum topology and size design. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 2589735.
- Dedeoğlu, İ. Ö., & Calayır, Y. (2020). Effectiveness of outrigger and belt truss systems on the seismic behavior of high-rise buildings. *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 3(3), 180–203.
- Ilgın, H. E. (2023). A study on space efficiency in contemporary supertall mixed-use buildings. *Journal of Building Engineering*, 69, 106223.
- Khadka, S., Khadka, T. B., Magar, R. T., & Rawat, B. (2023). Behavior and optimum location of outrigger and belt truss system in high-rise buildings subject to seismic loading. *SCITECH Nepal*, 17(1).
- Kian, P. S., & Siahaan, F. T. (2001). The use of outrigger and belt truss system for high-rise concrete buildings. *Dimensi Teknik Sipil*, 3(1), 36-41.
- Leung, L., & Weismantle, P. (2008). How supertall buildings can benefit from height. *CTBUH 8th World Congress*.
- Prasad, D. J., & Kumar, S. (2016). Comparison of seismic performance of outrigger and belt truss system in a RCC building with vertical irregularity. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(20).
- Shinde, A. U. (2018). *Seismic analysis of high rise RCC building structure with steel outriggers and belt truss system* (Master's thesis, Rajarambapu Institute of Technology).
- Babaei, M. (2017). Multi-objective optimal number and location for steel outrigger-belt truss system. *Journal of Engineering Science and Technology*, 12(10), 2599-2612. Taylor's University

- Hulea, R., Parv, B., Nicoreac, M., & Petrina, B. (2014). Optimum design of outrigger and belt truss systems using genetic algorithm. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 8(6), 709-715.
- Morris, D. (2020). Effects of outrigger & belt truss system on high-rise building structure performance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007, 012189.
- Shareef, M. S., Manzoor, K. M., & Muqem, M. (2022). Dynamic analysis of high-rise structures with outrigger structural system subjected to lateral loads. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1026, 012010.
- Vijay, V. K. P., & Shivakumar, G. S. (2023). The evolution of structural systems in tall buildings: From ancient skyscrapers to future megatowers. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 7(12).
- Elnashai, A. S., & Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of earthquake engineering*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Furlong, R. W. (1967). *Strength of steel-encased concrete columns*. Journal of the Structural Division, ASCE, 93(5), 113–124.
- Uy, B. (1998). *Local and post-local buckling of fabricated steel and composite sections*. Journal of Constructional Steel Research, 47(1–2), 47–72. [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(98\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(98)00021-9)
- Lu, Y., Kitane, Y., & Yamada, S. (2000). *Effects of steel ratio on seismic behavior of concrete-encased steel columns*. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering.
- Hosaka, T., Nakai, H., & Matsui, C. (2003). *Full-scale tests on reinforced concrete encased steel columns under cyclic loading*. Journal of Structural and Construction Engineering, AIJ, (567), 71–78.
- Chen, S., & Astanteh-Asl, A. (2004). *Seismic behavior of steel and composite moment frames with concrete-encased columns*. Journal of Structural Engineering, 130(2), 264–273. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2004\)130:2\(264\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:2(264))

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Surat Tugas Dosen Pembimbing, Lembar Bimbingan, Berita Acara Seminar Proposal, dan Berita Acara Seminar Hasil	230
Lampiran B Tampak dan Denah Tipikal.....	239
Lampiran C Perpindahan (<i>Displacement</i>) dan Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift</i>).....	243
Lampiran D Pengecekan Balok dan Kolom	265
Lampiran E Pengecekan P-Delta.....	285