

SKRIPSI

**STUDI FAKTOR MODIFIKASI RESPONS PADA
GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM
OUTRIGGER DAN *BELT TRUSS* BAJA**



GABRIELLA SHARON RUDYANTO
NPM : 6101901023

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023

SKRIPSI

**STUDI FAKTOR MODIFIKASI RESPONS PADA
GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM
OUTRIGGER DAN *BELT TRUSS* BAJA**



GABRIELLA SHARON RUDYANTO
NPM : 6101901023

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023

SKRIPSI

**STUDI FAKTOR MODIFIKASI RESPONS PADA
GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM
OUTRIGGER DAN *BELT TRUSS* BAJA**



**GABRIELLA SHARON RUDYANTO
NPM : 6101901023**

BANDUNG, 4 AGUSTUS 2023

PEMBIMBING:

Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

KO-PEMBIMBING:

Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023**

SKRIPSI

STUDI FAKTOR MODIFIKASI RESPONS PADA GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS* BAJA



GABRIELLA SHARON RUDYANTO
NPM : 6101901023

PEMBIMBING: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**KO-
PEMBIMBING:** Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

PENGUJI 1: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PENGUJI 2: Liyanto Eddy, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : GABRIELLA SHARON RUDYANTO
Tempat, tanggal lahir : Semarang, 5 September 2001
NPM : 6101901023
Judul skripsi : **STUDI FAKTOR MODIFIKASI RESPONS
PADA GEDUNG BETON BERTULANG
DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN *BELT
TRUSS BAJA***

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 27 Juli 2023



Gabriella Sharon Rudyanto

STUDI FAKTOR MODIFIKASI RESPONS PADA GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS* BAJA

Gabriella Sharon Rudyanto
NPM: 6101901023

Pembimbing: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.
Ko-Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
AGUSTUS 2023

ABSTRAK

Pembangunan gedung bertingkat tinggi telah berkembang dalam 20 tahun terakhir. Indonesia berada pada peringkat 9 dari 65 untuk negara dengan jumlah bangunan setinggi 150 meter atau lebih (*Council on Tall Buildings and Urban Habitat*, 2023). Salah satu sistem penahan gaya lateral inovasi untuk mengurangi terjadinya *displacement* lateral dan meningkatkan kekakuan bangunan adalah sistem *outrigger* dan *belt truss*. Pemilihan sistem struktural *outrigger* dan *belt truss* sudah banyak digunakan, namun peraturan perencanaan ketahanan gempa untuk struktur baik nasional maupun internasional belum menetapkan besarnya faktor modifikasi respons, R , serta parameter gempa lainnya seperti faktor reduksi daktilitas (R_{μ}), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor defleksi amplifikasi (C_d). Pada studi ini dilakukan analisis respons spektrum dan analisis nonlinear *Modal Pushover Analysis* (MPA) untuk gedung simetris segi empat menggunakan sistem *outrigger* dan *belt truss* dengan ketinggian gedung 35 lantai. Berdasarkan analisis yang dilakukan, balok dan kolom di sekitar *outrigger* perlu elemen yang lebih besar untuk mengatasi gaya aksial, momen, dan geser yang terjadi akibat desain berbasis kapasitas *outrigger*. Sendi plastis pertama yang dihasilkan mode dominan (mode 1 arah X dan mode 2 arah Y) akibat MPA adalah pada elemen *outrigger* sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Faktor modifikasi respons (R) yang didapatkan sebesar 6,05 (arah X dan Y) masih mendekati R asumsi awal = 6. Parameter gempa lain yang diperoleh untuk arah X dan Y adalah R_{μ} sebesar 2,495 dan 2,481, Ω_0 sebesar 2,425 dan 2,438, dan C_d sebesar 3,922 dan 3,932.

Kata Kunci: *Belt Truss*, Faktor Modifikasi Respons, *Modal Pushover Analysis*, *Outrigger*, Parameter Gempa

STUDY OF RESPONSE MODIFICATION FACTOR ON A REINFORCED CONCRETE BUILDING WITH STEEL OUTRIGGER DAN BELT TRUSS SYSTEM

Gabriella Sharon Rudyanto
NPM: 6101901023

Advisor: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.
Co-Advisor: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM

(Accredited by SK BAN-PT Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG
AUGUST 2023

ABSTRACT

The development of high-rise buildings has been evolving in the last 20 years. Indonesia ranks 9th out of 65 in terms of countries with numbers of buildings reaching a height of 150 meters or more ((*Council on Tall Buildings and Urban Habitat*, 2023). One innovative lateral force resisting systems to reduce lateral displacement dan increase building stiffness is the outrigger and belt truss system. Outrigger and belt truss system has been widely used, however regulations on seismic provisions for buildings has not determined the value of response modification factor (R) and other seismic parameters such as the ductility factor (R_{μ}), overstrength factor (Ω_0), and deflection amplification factor (C_d) for the system. In this study, spectrum response analysis and nonlinear Modal Pushover Analysis (MPA) were conducted for a symmetrical four-sided building with outrigger and belt truss system at a height of 35 floors. Based on the analysis, beams and columns located near the outriggers require larger dimensions to withstand the axial, moment, and shear forces resulting from capacity-based design of outrigger. The first plastic hinge from the dominant modes (mode 1 in the X direction and mode 2 in the Y direction) due to MPA occurred at the outrigger elements as expected. The obtained response modification factor (R) equals to 6.05 (in both X and Y directions) is close to the assumed initial R value = 6. Other seismic parameters obtained for the X and Y directions are $R_{\mu} = 2.495$ and 2.481 , $\Omega_0 = 2.425$ and 2.438 , $C_d = 3.922$ and 3.932 .

Keywords: Belt Truss, Modal Pushover Analysis, Outrigger, Response Modification Factor, Seismic Parameters

PRAKATA

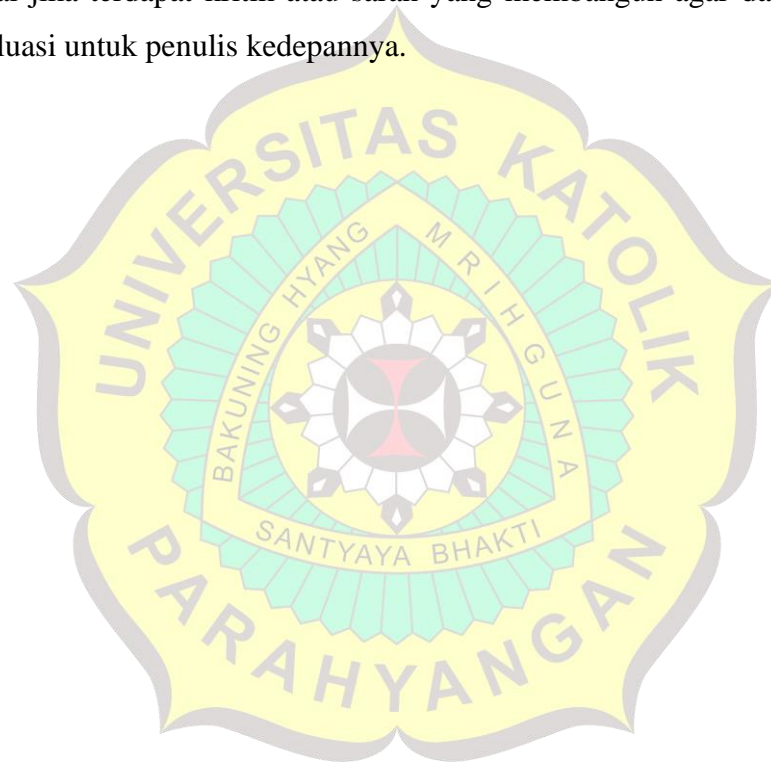
Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, perlindungan dan kasih karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Faktor Modifikasi Respons Pada Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem *Outrigger* dan *Belt Truss Baja*” dengan baik, benar, dan selesai tepat pada waktunya. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Selama proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Keluarga penulis yang senantiasa mendampingi, memberikan semangat, doa, dan dukungan yang tiada henti selama proses penyusunan skripsi ini,
2. Ibu Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen ko-pembimbing yang telah membimbing, memberikan masukan dan banyak ilmu pembelajaran, serta menyemangati penulis selama proses penyusunan skripsi ini,
3. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro dan Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran kepada penulis guna memperbaiki skripsi ini,
4. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah mengajarkan dan memberikan banyak ilmu kepada penulis selama masa studi,
5. Teman – teman Homecell UNPAR yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, dan semangat selama proses penyusunan skripsi ini,
6. Andrea Polisar, Celia Monica, Linda Azhari, David Dermawan, Richardo Gustin, Muhammad Ezra Danendra, Andrew Yudhananta Tjipto, Prinsen Fernando Wahyudi, Nicholas Eka Tjhai, Allesandro Jason Pratama, Boe Yuven Santoso, Alberto Richard Goenawan, Yeremia Verrel Susanto, dan Jose Padraic Harianto selaku teman penulis yang telah memberikan dukungan dan semangat selama proses penyusunan skripsi ini,

7. Seluruh teman-teman Program Studi Teknik Sipil Angkatan 2019 yang telah membantu dan memberikan dukungan selama masa perkuliahan,
8. Semua pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas dukungan yang telah diberikan.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi yang telah disusun dapat bermanfaat bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dan keterbatasan dalam proses penyusunan skripsi ini, oleh karena itu penulis sangat menghargai jika terdapat kritik atau saran yang membangun agar dapat menjadi bahan evaluasi untuk penulis kedepannya.



Bandung, 1 Agustus 2023

Gabriella Sharon Rudyanto

6101901023

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-4
1.3 Tujuan Penelitian	1-4
1.4 Pembatasan Masalah	1-4
1.5 Metode Penelitian	1-7
1.6 Sistematika Penulisan	1-7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2-1
2.1 Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i>	2-1
2.2 Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung	2-3
2.2.1 Gempa Rencana	2-3
2.2.2 Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	2-3
2.2.3 Klasifikasi Situs	2-4
2.2.4 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (<i>MCER</i>)	2-4
2.2.5 Parameter Percepatan Spektral Desain	2-6
2.2.6 Periode Struktur	2-7
2.2.7 Respons Spektrum Desain	2-8
2.2.8 Kategori Desain Seismik	2-9
2.2.9 Kombinasi Sistem Struktur Penahan Gaya Gempa	2-10
2.2.10 Kombinasi Pembebanan	2-11
2.2.11 Berat Seismik Efektif	2-13
2.2.12 Gaya Geser Dasar Seismik	2-14
2.2.13 Ketidakberaturan	2-15

2.2.14 Simpangan Antar Tingkat	2-18
2.2.15 Syarat Sistem Ganda	2-19
2.3 Perancangan dan Spesifikasi Baja Struktural Berdasarkan SNI 1729:2020 2-19	
2.3.1 Dasar Desain	2-20
2.3.2 Persyaratan Elemen.....	2-21
2.4 Ketentuan Seismik untuk Gedung Baja Struktural Berdasarkan SNI 7860:2020.....	2-23
2.4.1 Klasifikasi Profil untuk Daktilitas.....	2-23
2.4.2 Desain Kapasitas Elemen <i>Outrigger</i>	2-24
2.5 Metode Analisis Beban Gempa.....	2-25
2.5.1 Analisis Spektrum Respons Ragam	2-25
2.5.2 Analisis <i>Pushover</i>	2-25
2.6 <i>Modal Pushover Analysis</i>	2-26
2.7 Sendi Plastis dan Tingkat Kinerja Struktur.....	2-27
2.8 Faktor Modifikasi Respons dan Parameter Gempa Lainnya.....	2-28
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR	3-1
3.1 Data Struktur	3-1
3.2 Data Material.....	3-1
3.3 Data Pembebanan.....	3-2
3.3.1 Beban Mati.....	3-2
3.3.2 Beban Mati Tambahan.....	3-2
3.3.3 Beban Hidup	3-3
3.3.4 Beban Gempa.....	3-3
3.3.5 Kombinasi Pembebanan.....	3-4
3.3.6 <i>Property Modifiers</i>	3-4
3.4 Dimensi dan Tulangan Elemen Struktur.....	3-5
3.4.1 Dimensi Pelat	3-5
3.4.2 Dimensi dan Tulangan Balok dan Kolom.....	3-5
3.4.3 Dimensi <i>Core Wall</i>	3-6
3.4.4 Dimensi <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i> Baja.....	3-7
3.4.5 Dimensi Khusus Balok dan Kolom di Sekitar <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i> Baja	3-7
3.5 Syarat Sistem Ganda	3-8
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	4-1
4.1 Pemakaian Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i>	4-1

4.1.1 Desain Elemen Khusus di Daerah <i>Outrigger</i>	4-2
4.2 Pengecekan Ketidakberaturan.....	4-4
4.2.1 Ketidakberaturan Horizontal.....	4-4
4.2.2 Ketidakberaturan Vertikal.....	4-6
4.3 Analisis dan Perilaku Struktur.....	4-10
4.3.1 Massa Struktur.....	4-10
4.3.2 Periode Struktur dan Partisipasi Massa Ragam.....	4-12
4.3.3 Gerak Dominan Struktur.....	4-12
4.3.4 Perpindahan Lantai dan Simpangan Antar Tingkat.....	4-13
4.4 <i>Demand per Capacity Ratio</i> Struktur.....	4-15
4.4.1 Elemen Kolom.....	4-15
4.4.2 <i>Core Wall</i>	4-21
4.4.3 <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i> Baja.....	4-21
4.5 <i>Pushover Analysis</i>	4-22
4.5.1 Sendi Plastis.....	4-23
4.5.2 Simpangan Lantai dan Simpangan Antar Lantai.....	4-25
4.5.3 Gaya Geser Tingkat.....	4-26
4.5.4 <i>Base Shear vs Displacement</i>	4-27
4.6 Faktor Modifikasi Respons Serta Parameter Gempa Lainnya.....	4-30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran.....	5-3
DAFTAR PUSTAKA	xx
LAMPIRAN	L1-1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

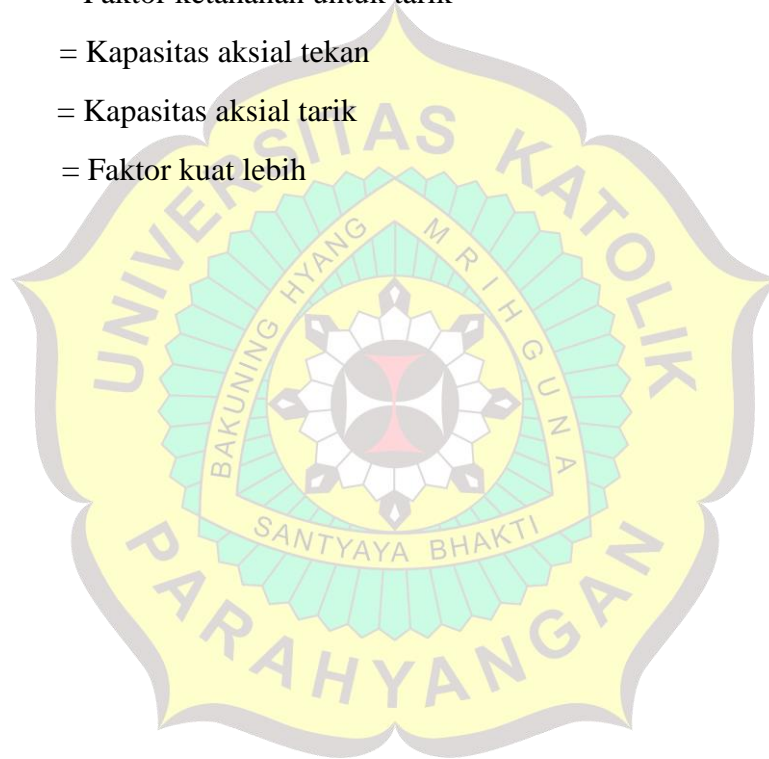
A	= Luas penampang
A_g	= Luas penampang bruto
A_s	= Luas diameter tulangan
A_x	= Faktor pembesaran torsi
B	= Panjang horizontal penampang
b balok	= Lebar balok
b kolom	= Lebar kolom
C_d	= Faktor pembesaran defleksi
C_s	= Koefisien respons dinamik
C_{s_min}	= Koefisien respons dinamik minimum
C_t	= Koefisien parameter faktor pendekatan
C_u	= Koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung
C_w	= Konstanta pilin
cover	= tebal selimut beton
CTBUH	= <i>Council on Tall Buildings and Urban Habitat</i>
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
D/C	= <i>Demand per capacity ratio</i>
DL	= Beban mati
d	= Tinggi efektif balok
db	= Diameter tulangan longitudinal
ds	= Diameter tulangan transversal
DFBT	= Desain Faktor Beban Ketahanan
DKI	= Desain Kekuatan Izin
E	= Beban gempa
E_c	= Modulus elastisitas beton
E_h	= Pengaruh beban seismik horizontal
E_s	= Modulus elastisitas baja
E_v	= Pengaruh beban seismik vertikal

E_x	= Beban gempa arah X
E_xT	= Beban gempa arah X dengan torsi tak terduga
E_y	= Beban gempa arah Y
E_yT	= Beban gempa arah Y dengan torsi tak terduga
f'_c	= Kuat tekan beton
F_a	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
F_{cre}	= Tegangan kritis tekuk baja
F_u	= Tegangan ultimit,
F_v	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik
F_y	= Tegangan leleh baja
f_y	= Mutu baja tulangan
G	= <i>Shear modulus</i>
H	= Panjang vertikal penampang
h balok	= Tinggi balok
h kolom	= Tinggi kolom
h_{lantai}	= Tinggi antar lantai
h_n	= Tinggi total gedung
h_n^x	= Ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur
I_e	= Faktor keutamaan gempa
I_x, I_y	= Momen inersia
J	= Konstanta torsi
K_x, K_y	= Faktor panjang efektif
L	= Panjang bentang
LL	= Beban hidup
$LLNR$	= Beban Hidup Tak Tereduksi
L_c	= Panjang efektif bresing
L_h, L_v	= Panjang bresing
L_n	= Bentang bersih kolom
L_r	= Beban atap

l_w	= Panjang dinding
MCE_R	= Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget
MPA	= <i>Modal Pushover Analysis</i>
NSP	= <i>Nonlinear Static Procedure</i>
n_{lantai}	= Jumlah lantai
n_{tul}	= Jumlah tulangan
P_c	= Kekuatan Tekan Terekspektasi
P_{cf}	= Kekuatan Tekan Pasca Tekuk
P_u	= Beban aksial yang terjadi
P_t	= Kekuatan Tarik Terekspektasi
Q_E	= Pengaruh gaya seismik horizontal pada elemen yang didapatkan melalui analisis seismik struktur.
R	= Faktor modifikasi respons
R	= Respons ragam
R_i	= Respons masing-masing ragam
RSA	= <i>Response Spectrum Analysis</i>
R_a	= Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DKI
R_n	= Kekuatan nominal
ϕR_n	= Kekuatan desain
R_u	= Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBT
R_y	= Rasio kekuatan leleh terekspektasi terhadap kekuatan leleh minimum
r_x, r_y	= Radius girasi
SCWB	= <i>Strong Column Weak Beam</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SPRMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRSS	= <i>Square Root Sum Square</i>
S_1	= Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik
S_{D1}	= Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik
S_{DS}	= Percepatan spektral desain untuk periode pendek

S_{M1}	= Respons spektral percepatan pada periode 1 detik
S_{MS}	= Respons spektral percepatan pada periode pendek
S_s	= Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek
T	= Periode getar fundamental struktur
T_0, T_S	= Parameter periode untuk respons desain seismik
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_L	= Transisi periode panjang
t	= Tebal penampang
t_w	= Tebal dinding
u_{pi}	= Perpindahan pada titik leleh akhir
u_y	= Perpindahan pada titik leleh global struktur
V	= Gaya geser dasar dinamik
V_e	= Gaya geser dasar elastik
V_{fy}	= Gaya lateral pada titik leleh pertama
V_t	= Kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam
V_{pi}	= Gaya geser dasar pada titik leleh akhir
V_y	= Gaya geser dasar pada titik leleh global struktur
W	= Berat seismik efektif
Δ	= Simpangan antar tingkat desain
Δ_a	= Simpangan antar tingkat izin
Δ_y	= Perpindahan pada titik leleh global struktur
Δ_{max}	= Perpindahan pada titik leleh akhir
β	= <i>Frequency ratio</i>
δ	= <i>Damping ratio</i>
δ_{xe}	= Simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik
γ	= Berat jenis material baja
γ_c	= Berat jenis material beton
λ_i, λ_j	= Kuantitas respons pada mode i-j
λ_f, λ_p	= Batas rasio lebar terhadap tebal

λ_{hd}	= Batas rasio lebar terhadap tebal untuk komponen struktur daktail tinggi
λ_{md}	= Batas rasio lebar terhadap tebal untuk komponen struktur daktail sedang
ρ	= Faktor redundansi
ρ_{ij}	= <i>Cross modal coefficient</i>
μ	= <i>Poisson ratio</i>
ϕ	= Faktor ketahanan
ϕ_c	= Faktor ketahanan untuk tekan
ϕ_t	= Faktor ketahanan untuk tarik
ϕP_{nc}	= Kapasitas aksial tekan
ϕP_{nt}	= Kapasitas aksial tarik
Ω_0	= Faktor kuat lebih



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Interaksi yang terjadi pada <i>core</i> dan <i>outrigger</i>	1-2
Gambar 1.2 Transfer gaya dari <i>core</i> ke kolom perimeter.....	1-2
Gambar 1.3 Variasi nilai R yang diperoleh dengan metode <i>non linear time history</i> dan <i>coefficient method</i>	1-3
Gambar 1.4 Denah gedung simetris segi empat	1-6
Gambar 1.5 Letak <i>outrigger</i> dan <i>belt truss</i> pada gedung 35 lantai	1-6
Gambar 1.6 Bentuk breising <i>Inverted-V</i>	1-7
Gambar 2.1 Penggunaan sistem <i>outrigger</i> dan <i>belt truss</i>	2-1
Gambar 2.2 Lokasi optimum untuk pemakaian <i>outrigger</i> : (a) satu <i>outrigger</i> ; (b) dua <i>outrigger</i> ; (c) tiga <i>outrigger</i> ; dan (d) empat <i>outrigger</i>	2-2
Gambar 2.3 Jenis bresing	2-2
Gambar 2.4 Parameter gerak tanah, S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (<i>MCER</i>) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%).....	2-5
Gambar 2.5 Parameter gerak tanah, S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (<i>MCER</i>) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 1-detik (redaman kritis 5%).....	2-5
Gambar 2.6 Kurva respons spektrum desain.....	2-8
Gambar 2.7 Penentuan simpangan antar tingkat	2-18
Gambar 2.8 Pendekatan bilinear dari kapasitas kurva.....	2-26
Gambar 2.9 Grafik hubungan <i>force-displacement</i>	2-28
Gambar 2.10 Hubungan antara nilai R, Ω , dan, $R\mu$	2-29
Gambar 3.1 Grafik kurva spektrum respons desain	3-3
Gambar 4.1 Gaya momen yang terjadi pada inti bangunan untuk (a) arah X dan (b) arah Y	4-1
Gambar 4.2 Penambahan <i>joint loads</i> akibat desain kapasitas <i>outrigger</i>	4-2
Gambar 4.4 Balok sekitar <i>outrigger</i> dominan terhadap momen	4-3
Gambar 4.5 Kolom lantai 16-19 dominan terhadap geser.....	4-4
Gambar 4.6 <i>Plan view</i> lantai 18.....	4-4
Gambar 4.7 Grafik perpindahan antar lantai	4-14
Gambar 4.8 Grafik simpangan antar tingkat	4-15
Gambar 4.9 Rasio PMM maksimum pada kolom K1	4-16
Gambar 4.10 Rasio PMM maksimum pada kolom K2	4-17

Gambar 4.11	Rasio PMM maksimum pada kolom K3	4-17
Gambar 4.12	Rasio PMM maksimum pada kolom K4 dan K5	4-17
Gambar 4.13	Rasio PMM maksimum pada balok lantai 17	4-18
Gambar 4.14	Rasio PMM maksimum pada balok perimeter lantai 18	4-18
Gambar 4.15	Rasio SCWB maksimum pada kolom K1	4-19
Gambar 4.16	Rasio SCWB maksimum pada kolom K2	4-20
Gambar 4.17	Rasio SCWB maksimum pada kolom K3	4-20
Gambar 4.18	Rasio SCWB maksimum pada kolom K4	4-20
Gambar 4.19	Rasio SCWB maksimum pada kolom K5	4-21
Gambar 4.20	<i>D/C Ratio</i> maksimum pada Story 1	4-21
Gambar 4.21	Indikator warna sendi plastis	4-23
Gambar 4.22	Sendi plastis pertama pada model (a) mode 1 (Arah X) dan (b) mode 2 (Arah Y).....	4-23
Gambar 4.23	Sendi plastis saat mencapai kapasitas maksimum struktur (a) mode 1 (Arah X) dan (b) mode 2 (Arah Y).....	4-24
Gambar 4.24	Simpangan lantai per mode untuk arah X dan Y	4-25
Gambar 4.25	Simpangan antar lantai per mode untuk arah X dan Y	4-26
Gambar 4.26	Gaya geser tingkat untuk mode 1 hingga 12	4-27
Gambar 4.27	Grafik perbandingan <i>base shear versus displacement</i> untuk mode 1, 2, 4, dan 5	4-27
Gambar 4.28	Kurva kapasitas gabungan untuk arah X	4-28
Gambar 4.29	Kurva kapasitas gabungan untuk arah Y	4-28
Gambar 4.30	Perbandingan kurva kapasitas dan kurva NSP untuk arah X	4-29
Gambar 4.31	Perbandingan kurva kapasitas dan kurva NSP untuk arah Y	4-29
Gambar 4.32	Grafik Pendekatan bilinier untuk kurva kapasitas arah X	4-30
Gambar 4.33	Grafik Pendekatan bilinier untuk kurva kapasitas arah Y	4-31

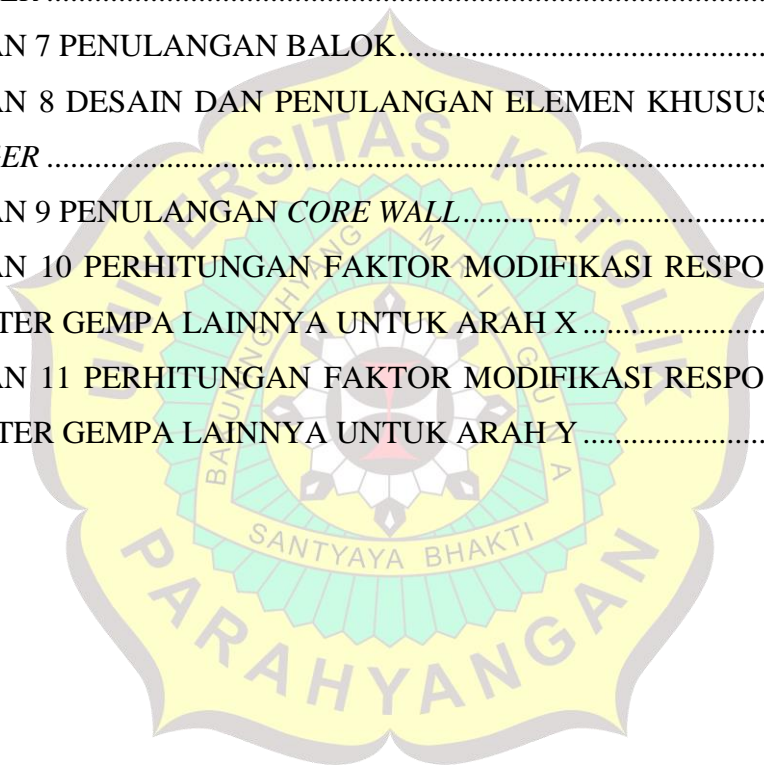
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa	2-3
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa.....	2-4
Tabel 2.3 Koefisien situs, F_a	2-6
Tabel 2.4 Koefisien situs, F_v	2-6
Tabel 2.5 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung, C_u	2-7
Tabel 2.6 Nilai parameter periode pendekatan, C_t dan x	2-7
Tabel 2.6 Nilai parameter periode pendekatan, C_t dan x (lanjutan).....	2-8
Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek	2-9
Tabel 2.8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....	2-10
Tabel 2.9 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	2-10
Tabel 2.10 Prosedur analisis yang diizinkan	2-13
Tabel 2.10 Prosedur analisis yang diizinkan (lanjutan).....	2-14
Tabel 2.11 Ketidakberaturan horizontal pada struktur	2-15
Tabel 2.11 Ketidakberaturan horizontal pada struktur (lanjutan)	2-16
Tabel 2.12 Ketidakberaturan vertikal pada struktur	2-17
Tabel 2.12 Ketidakberaturan vertikal pada struktur (lanjutan)	2-18
Tabel 2.13 Simpangan antar tingkat izin, Δa	2-19
Tabel 2.14 Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Aksial Tekan	2-21
Tabel 2.14 Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Aksial Tekan (lanjutan).....	2-22
Tabel 2.15 Rasio Lebar terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Lentur	2-23
Tabel 2.16 Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tekan Untuk Komponen Struktur Daktail Sedang dan Daktail Tinggi	2-24
Tabel 3.1 Data struktur model	3-1
Tabel 3.2 Beban mati tambahan	3-2
Tabel 3.3 Beban hidup.....	3-3
Tabel 3.4 <i>Property Modifiers</i> Elemen	3-5
Tabel 3.5 Dimensi dan tulangan balok	3-5
Tabel 3.5 Dimensi dan tulangan balok (lanjutan)	3-6

Tabel 3.6 Dimensi dan tulangan kolom.....	3-6
Tabel 3.7 Dimensi dan tulangan <i>core wall</i>	3-6
Tabel 3.8 Profil baja <i>outrigger</i> dan <i>belt truss</i>	3-7
Tabel 3.9 Dimensi dan tulangan balok khusus di sekitar <i>outrigger</i> dan <i>belt truss</i> baja	3-8
Tabel 3.10 Dimensi dan tulangan kolom khusus di sekitar <i>outrigger</i> dan <i>belt truss</i> baja	3-8
Tabel 3.11 Pengecekan terhadap syarat sistem ganda.....	3-8
Tabel 4.1 Ketidakberaturan horizontal tipe 1a dan 1b	4-5
Tabel 4.2 Ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b	4-7
Tabel 4.3 Ketidakberaturan vertikal tipe 2	4-8
Tabel 4.3 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 (lanjutan)	4-9
Tabel 4.4 Ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b	4-9
Tabel 4.4 Ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b (lanjutan).....	4-10
Tabel 4.5 Massa struktur	4-11
Tabel 4.6 Periode struktur dan partisipasi massa ragam	4-12
Tabel 4.7 Gerak dominan struktur	4-12
Tabel 4.8 Perpindahan dan kontrol simpangan antar tingkat	4-13
Tabel 4.8 Perpindahan dan kontrol simpangan antar tingkat (lanjutan).....	4-14
Tabel 4.9 Rentang rasio PMM untuk tiap tipe kolom	4-15
Tabel 4.9 Rentang rasio PMM untuk tiap tipe kolom (lanjutan).....	4-16
Tabel 4.10 Rentang rasio SCWB untuk tiap tipe kolom	4-19
Tabel 4.11 Rasio D/C elemen <i>outrigger</i> dan <i>belt truss</i> baja	4-22
Tabel 4.12 Kontribusi mode untuk arah translasi dan rotasi	4-22
Tabel 4.12 Kontribusi mode untuk arah translasi dan rotasi (lanjutan)	4-23
Tabel 4.13 Hasil parameter gempa untuk arah X dan Y	4-30
Tabel 4.14 Perbandingan hasil parameter gempa dengan jurnal	4-32
Tabel 4.15 Perbandingan faktor defleksi amplifikasi (Cd) dengan jurnal.....	4-33
Tabel 4.15 Perbandingan faktor defleksi amplifikasi (Cd) dengan jurnal (lanjutan)	4-34

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN BEBAN MATI TAMBAHAN	L1-1
LAMPIRAN 2 TABEL PROFIL <i>OUTRIGGER</i> DAN <i>BELT TRUSS</i> BAJA	L2-1
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN FAKTOR SKALA	L3-1
LAMPIRAN 4 PRELIMINARY DESAIN ELEMEN.....	L4-1
LAMPIRAN 5 PENGECEKAN ELEMEN <i>BELT TRUSS</i>	L5-1
LAMPIRAN 6 PENGECEKAN ELEMEN DAN DESAIN KAPASITAS <i>OUTRIGGER</i>	L6-1
LAMPIRAN 7 PENULANGAN BALOK.....	L7-1
LAMPIRAN 8 DESAIN DAN PENULANGAN ELEMEN KHUSUS DAERAH <i>OUTRIGGER</i>	L8-1
LAMPIRAN 9 PENULANGAN <i>CORE WALL</i>	L9-1
LAMPIRAN 10 PERHITUNGAN FAKTOR MODIFIKASI RESPONS SERTA PARAMETER GEMPA LAINNYA UNTUK ARAH X	L10-1
LAMPIRAN 11 PERHITUNGAN FAKTOR MODIFIKASI RESPONS SERTA PARAMETER GEMPA LAINNYA UNTUK ARAH Y	L11-1



BAB 1

PENDAHULUAN

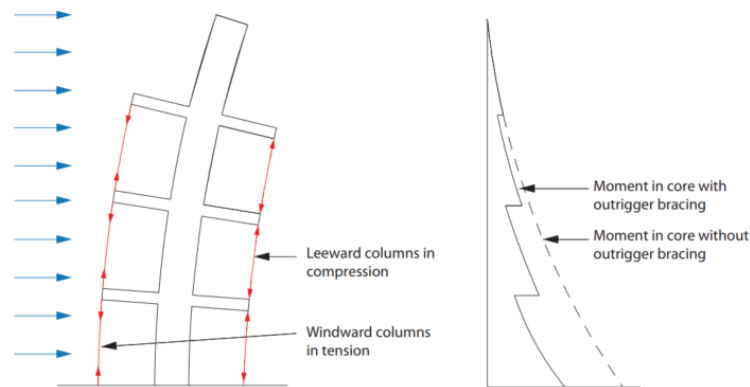
1.1 Latar Belakang

Pembangunan gedung bertingkat tinggi telah berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Indonesia berada pada peringkat 9 dari 65 untuk negara dengan jumlah bangunan setinggi 150 meter atau lebih (*Council on Tall Buildings and Urban Habitat/CTBUH*, 2023). Menurut CTBUH, *Autograph Tower* yang berlokasi di Jakarta Pusat menjadi gedung tertinggi di Indonesia saat ini, tingginya mencapai 382,9 meter. Fungsi dari gedung bertingkat tinggi-pun juga beragam, mulai dari hotel, perkantoran, hingga residensial. Gedung dengan tinggi bangunan kurang dari 300 meter dikategorikan sebagai *tall buildings* (CTBUH, 2023).

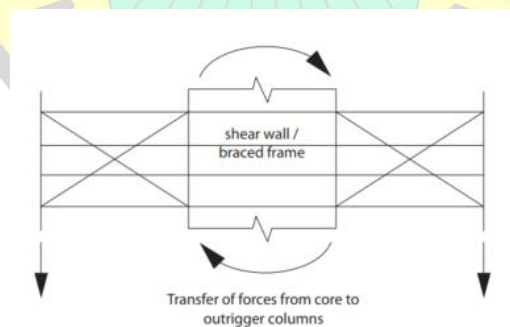
Bangunan bertingkat tinggi tentunya membutuhkan kekakuan karena terdapat gaya lateral yang cukup besar sehingga diperlukan sistem penahan lateral. Terdapat berbagai sistem penahan gaya lateral seperti *rigid frame*, *braced frame*, *shear wall frame*, *outrigger*, *tube (frame tube, braced tube, dan bundled tube)* dan *dia-grid frame* (Nishit Kirit Shah dan N.G.Gore, 2016). Namun menurut Prajyot A. Kakde dan Ravindra Desai, *outrigger* dan *belt truss* adalah yang paling efektif untuk mengatasi *sway* dan masalah stabilitas lateral. Di Indonesia sendiri, *Autograph Tower* menggunakan sistem *outrigger* dan *belt truss*. Selain itu, *Indonesia 1 Tower* sebagai bangunan kembar tertinggi di Indonesia (dengan ketinggian 303 meter) juga dirancang dengan menggunakan sistem *outrigger* oleh konsultan perencana PT. Davy Sukamta Konsultan. Bangunan terkenal lainnya di kancah internasional seperti *300 North LaSalle* di Chicago, USA (57 lantai), *Cheung Kong Centre* di Hong Kong, China (63 lantai), *One Rincon Hill South Tower* di San Fransisco, USA (64 lantai), dan juga menggunakan sistem *outrigger* dan *belt truss*.

Outrigger adalah struktur yang menghubungkan kolom perimeter dengan *core wall* yang ada pada bagian tengah bangunan dan umumnya terbuat dari profil baja. Fungsi dari *outrigger* adalah untuk meningkatkan kekakuan bangunan dan mengurangi terjadinya *displacement* lateral. Saat *outrigger* berperan sebagai lengan yang mengikat kolom perimeter dan inti bangunan mulai miring, rotasi daripada

outrigger menginduksi gaya tarik dan kompresi kolom terluar yang berlawanan. Hal ini menghasilkan transfer gaya dari *core wall* ke kolom perimeter. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 1.1 dan gambar 1.2. Umumnya, pemakaian *outrigger* dapat digabungkan dengan sistem struktur lain seperti *belt truss*. *Belt truss* merupakan pengaku horizontal yang mengikat kolom perimeter dan menahan rotasi pada inti bangunan. Menurut Bungale S. Taranath, lokasi optimum untuk penggunaan satu *outrigger* dan *belt truss* ada di tengah ketinggian bangunan. Penggunaan sistem *outrigger* mengambil banyak ruang pada lantai ditempatkannya *outrigger*, sehingga biasanya lantai dipakai sebagai ruang mekanikal atau *refuge*.



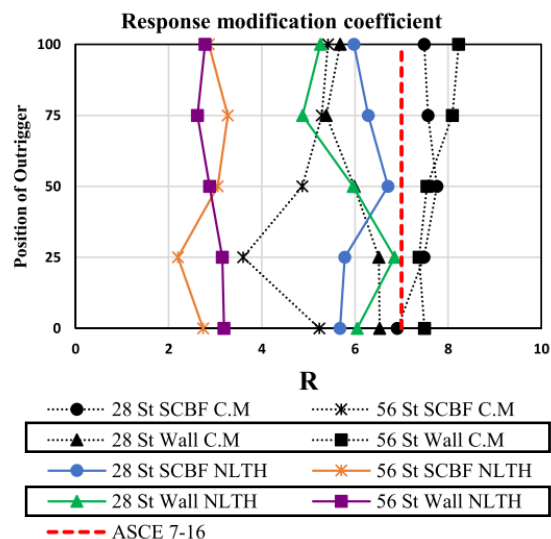
Gambar 1.1 Interaksi yang terjadi pada *core* dan *outrigger* (sumber : Taranath,1998)



Gambar 1.2 Transfer gaya dari *core* ke kolom perimeter (sumber: Nair, 1998)

Dalam mendesain suatu gedung diperlukan parameter-parameter penting, salah satunya adalah faktor modifikasi respons atau nilai R. Faktor modifikasi respons merupakan suatu nilai yang mereduksi jumlah beban gempa berdasarkan tipe struktur dari gedung yang direncanakan serta komponen struktur pendukung

lainnya. Namun, peraturan perencanaan ketahanan gempa untuk struktur baik nasional maupun internasional belum menetapkan nilai R untuk gedung dengan sistem *outrigger* dan *belt truss*, maka dalam desain umumnya diambil asumsi nilai R sesuai tipe struktur yang menyerupai gedung yang direncanakan. Sebagai contoh, pengambilan nilai R pada jurnal “Kinerja Sistem Struktur *Outrigger* dan *Belt Wall* Pada Gedung Tinggi Akibat Pembebanan Gempa” oleh Satria Erlangga, Mukahar, dan Agus Setiya Budi menggunakan asumsi nilai $R = 7$. Berdasarkan jurnal yang berjudul “*Comparative Study on the Effect of Outrigger on Seismic Response of Tall Buildings with Braced and Wall Core. II : Determining Seismic Design Parameter*” oleh Maysam Samadi dan Norouz Johan, terdapat variasi nilai R yang didapatkan untuk sistem *outrigger* dengan berbagai metode seperti dapat dilihat pada gambar 1.3. Nilai R untuk gedung 28 lantai dan 56 lantai dengan posisi *outrigger* di tengah ketinggian bangunan adalah 6 dan 7,5 menggunakan metode *Coefficient Method*, sementara untuk metode *Non-Linear Time History*, nilai R yang diperoleh adalah 6 dan 2,9. Pada jurnal ini juga terbukti bahwa ketinggian gedung memengaruhi nilai R. Karena belum ada nilai faktor modifikasi respons (R) yang jelas untuk sistem *outrigger* dan *belt truss*, studi ini akan membahas nilai R yang sesuai untuk gedung dengan 35 lantai.



Gambar 1.3 Variasi nilai R yang diperoleh dengan metode *non linear time history* dan *coefficient method* (sumber : Samadi, M., Jahan, N., 2021)

1.2 Inti Permasalahan

Pemilihan sistem struktural *outrigger* dan *belt truss* sudah banyak digunakan oleh gedung bertingkat tinggi, namun peraturan perencanaan ketahanan gempa untuk struktur baik nasional maupun internasional belum menetapkan besarnya faktor modifikasi respons, R , serta parameter gempa lainnya seperti faktor reduksi daktilitas (R_{μ}), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor defleksi amplifikasi (C_d). Oleh karena itu, studi ini akan melakukan pemodelan gedung menggunakan sistem *outrigger* dan *belt truss* dengan ketinggian gedung 35 lantai untuk mengetahui parameter-parameter gempa yang diperlukan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

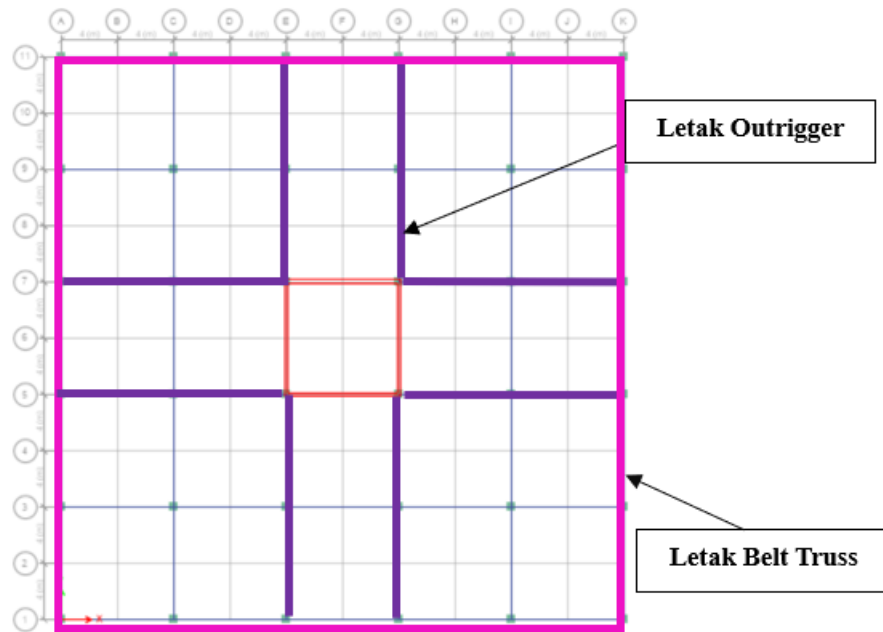
1. Menganalisis dan mendesain gedung 35 lantai dengan sistem *outrigger* dan *belt truss*.
2. Mendapatkan suatu nilai faktor modifikasi respons, R , dan parameter gempa lainnya untuk gedung 35 lantai dengan sistem *outrigger* dan *belt truss*.
3. Menganalisis perilaku gedung dengan sistem *outrigger* dan *belt truss*.

1.4 Pembatasan Masalah

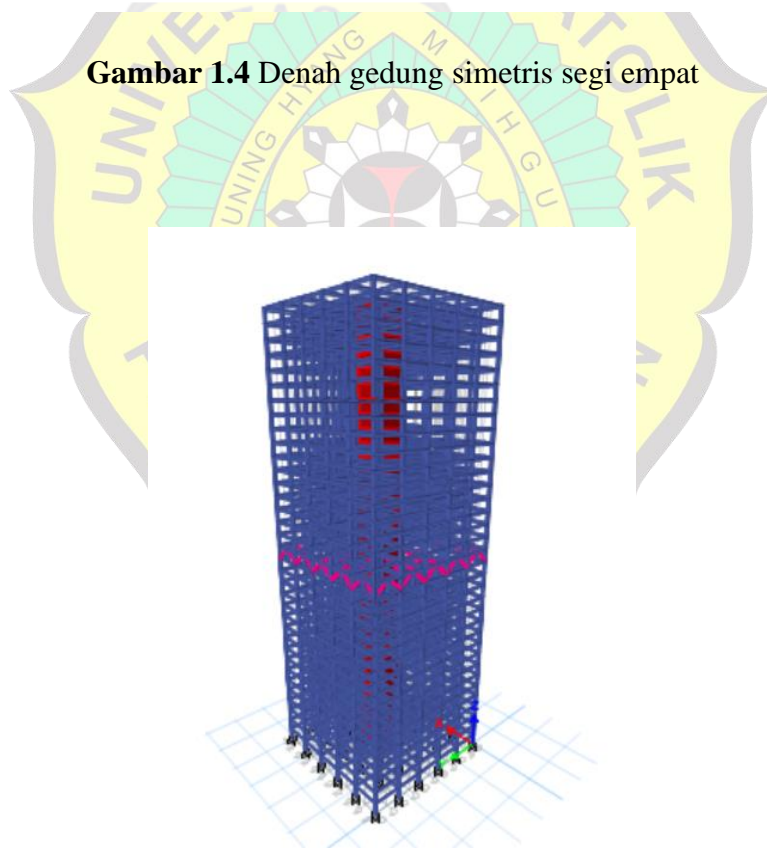
Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Gedung merupakan rangka beton bertulang dengan bentuk simetris segi empat seperti pada gambar 1.4.
2. Fungsi bangunan adalah perkantoran.
3. Tinggi gedung : 35 lantai dengan ketinggian antar lantai 3,5 meter.
4. Letak *outrigger* dan *belt truss* berada tepat di tengah tinggi bangunan, serta inti bangunan berupa *core wall* seperti pada gambar 1.5.
5. *Belt truss* menggunakan breising jenis *inverted-V* seperti pada gambar 1.6.
6. Bangunan terletak di Kota Jakarta dengan kelas situs tanah SE.
7. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 50$ MPa dan mutu baja tulangan yang digunakan adalah BjTS-420B. Mutu baja yang digunakan untuk *outrigger* dan *belt truss* adalah berdasarkan *ASTM A572 Grade 50* dan *ASTM A500 Grade B*.

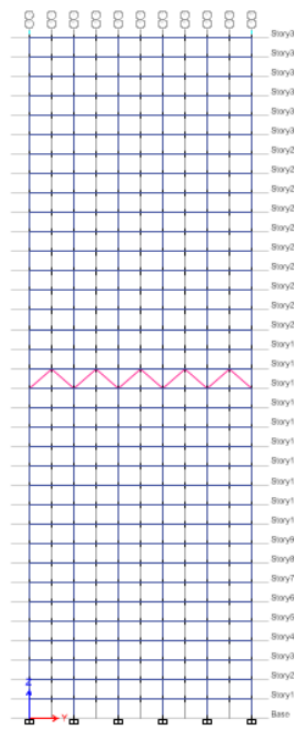
8. Pondasi dan sambungan tidak dibahas dalam studi ini.
9. Analisis yang dilakukan adalah analisis respons spektrum dan analisis nonlinier *pushover*.
10. Pedoman-pedoman yang digunakan dalam skripsi ini adalah:
 - a. SNI 2052:2017. (2017). *Baja Tulangan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - b. SNI 1726:2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - c. SNI 1727:2020. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - d. SNI 2847:2020. (2020). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - e. SNI 8899:2020. (2020). *Tata Cara Pemilihan dan Modifikasi Gerak Tanah Permukaan untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - f. SNI 7860:2020. (2020). *Ketentuan Seismik untuk Bangunan Baja*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - g. SNI 8900:2020. (2020). *Panduan Desain Sederhana untuk Bangunan Beton Bertulang*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - h. SNI 1729:2020.(2020). *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.



Gambar 1.4 Denah gedung simetris segi empat



Gambar 1.5 Letak outrigger dan belt truss pada gedung 35 lantai



Gambar 1.6 Bentuk breising *Inverted-V*

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Dalam menyusun skripsi ini, digunakan literatur-literatur berupa buku, jurnal, *paper*, materi perkuliahan, materi saat magang, pedoman, serta peraturan yang berkaitan dengan gedung beton bertulang dengan sistem *outrigger* dan *belt truss*.

2. Pemodelan dan Studi Analisis

Pemodelan dan studi analisis gedung dengan sistem *outrigger* dan *belt truss* dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang acuan-acuan dan pedoman untuk menganalisis dan mendesain pada skripsi ini.

BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini berisi tentang desain dan pemodelan struktur rangka beton bertulang berbentuk simetris segi empat dengan sistem *outrigger* dan *belt truss* menggunakan perangkat lunak ETABS.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil studi analisis berupa suatu nilai faktor modifikasi respons, R , dan parameter gempa lainnya untuk gedung yang menggunakan sistem *outrigger* dan *belt truss* dengan dua variasi ketinggian gedung.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari studi yang telah dilakukan serta saran.

