

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU DINAMIK STRUKTUR GEDUNG
BETON BERTULANG SILINDRIS TAK BERATURAN
DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS***



**GLENNARDI PRANATA
NPM: 2016410032**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DESEMBER 2019**

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU DINAMIK STRUKTUR GEDUNG
BETON BERTULANG SILINDRIS TAK BERATURAN
DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS***



**GLENNARDI PRANATA
NPM: 2016410032**

BANDUNG, DESEMBER 2019

PEMBIMBING:

Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DESEMBER 2019**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Glennardi Pranata

NPM : 2016410032

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Studi Perilaku Dinamik Struktur Gedung Beton Bertulang Silindris Tak Beraturan Dengan Sistem Outrigger dan Belt Truss* adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, Desember 2019



Glennardi Pranata

NPM: 2016410032

STUDI PERILAKU DINAMIK STRUKTUR GEDUNG BETON BERTULANG SILINDRIS TAK BERATURAN DENGAN SISTEM *OUTRIGGER* DAN *BELT TRUSS*

**Glennardi Pranata
NPM: 2016410032**

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DESEMBER 2019**

ABSTRAK

Peningkatan jumlah penduduk terutama pada negara berkembang telah meningkatkan kebutuhan akan bangunan tinggi pada lahan yang terbatas. Kebutuhan ini mendorong adanya inovasi pada struktur bangunan, salah satunya sistem *outrigger* dan *belt truss* untuk mengurangi simpangan lateral akibat beban gempa pada bangunan tinggi. Penelitian terdahulu mengenai perilaku bangunan tinggi dengan sistem *outrigger* dan *belt truss* umumnya terbatas pada bangunan tinggi berbentuk segiempat yang beraturan.

Penelitian pada skripsi ini meninjau struktur bangunan beton bertulang silindris tak beraturan 30 lantai yang terletak di kota Bandung dengan *braced frame* baja pada *core* bangunan yang dikombinasikan dengan variasi letak dan jumlah sistem *outrigger* dan *belt truss*. Ada empat model bangunan dalam penelitian ini yang dianalisis menggunakan analisis respons spektrum dengan bantuan perangkat lunak ETABS 2016. Model pertama merupakan model tanpa sistem *outrigger* dan *belt truss*. Model kedua, ketiga, dan keempat merupakan model dengan variasi letak sistem *outrigger* dan *belt truss* dengan konfigurasi model kedua pada lantai 10, dan 20, model ketiga pada lantai 5, 15, dan 25, dan model keempat pada lantai 10, 20, dan 25. Berdasarkan hasil analisis, disimpulkan bahwa model ketiga merupakan model yang optimal dalam mengurangi simpangan lateral hingga 75%, mengurangi gaya dalam kolom (aksial 12,9%, geser 60,4%, dan momen 43,6%), dan mengurangi gaya dalam balok (geser 55,1%, torsi 86,1%, dan momen 70,8%).

Kata kunci: analisis respons spektrum, *belt truss*, *outrigger*, irregular, simpangan lateral

THE STUDY ON DYNAMIC RESPONSE OF IRREGULAR CYLINDRICAL REINFORCED CONCRETE BUILDING WITH OUTRIGGER AND BELT TRUSS SYSTEM

**Glennardi Pranata
NPM: 2016410032**

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
DECEMBER 2019**

ABSTRACT

Increasing population, especially in developing countries, resulting in a higher demand for high-rise building while land availability remains limited. This demand needs innovation in building structures, such as outrigger and belt truss system, to reduce the lateral drift due to seismic load on high-rise buildings. Previous researches regarding the behaviour of high-rise building with outrigger and belt truss system are limited to quadrilateral high-rise building without irregularity.

This study investigated a thirty-story cylindrical reinforced concrete high-rise building located in Bandung that has a vertical irregularity. The building with braced steel frames in the core is combined with the variations, location and amount of outrigger and belt truss system. There are four study models, where each model is analyzed by the spectrum response analysis through ETABS 2016. The first model was designed without outrigger and belt truss system configurations, while the second, third, and fourth models consist of the system located on different floors. The system for the second model is located on the 10th and 20th floor, whereas the 5th, 15th, and 25th floor are the system location for the third model, followed by the 10th, 20th, and 25th floor for the fourth model. The result from the analysis concludes that the third model is the optimal model in reducing the lateral displacement up to 75%, column internal forces (up to 12,9% for axial, 60,4% for shear, and 43,6% for moment), and beam internal forces (up to 55,1% for shear, 86,1% for torsion, and 70,8% for moment).

Keywords: spectrum response analysis, belt truss, outrigger, irregular, lateral displacement

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih karunia-Nya, yang senantiasa memberikan kesehatan, akal budi dan logika yang baik sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Perilaku Dinamik Struktur Gedung Beton Bertulang Silindris Tak Beraturan Dengan Sistem *Outrigger* Dan *Belt Truss*”. Skripsi ini merupakan salah satu prasyarat akademik untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis melalui banyak hambatan dan rintangan sehingga penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Ferry Pranata dan Rifati, dan adik penulis, Rionardi Pranata dan Stefilia Pranata yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat, dukungan moral dan materil agar skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
2. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah meluangkan waktu dan tenaga dengan penuh kesabaran memberikan pengarahan dan bimbingan ilmu dalam penyusunan skripsi ini, serta mengajarkan nilai-nilai dan wawasan yang berguna bagi kehidupan perkuliahan dan selepas perkuliahan;
3. Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc dan Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D selaku dosen penguji;
4. Altho Sagara, S.T., M.T., Buen Sian, Ir., M.T., Herry Suryadi Djayaprabha, Ph.D., dan Lydia Fransisca Tjong, Ir., M.T., selaku dosen yang telah memberi saran pada seminar judul dan seminar isi skripsi penulis;
5. Dr. Djoni Simanta, Liyanto Eddy, Ph.D., dan Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen ataupun asisten mata kuliah yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan saran kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini;

6. Dosen-dosen program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan bagi penulis;
7. Staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendukung penulis selama proses perkuliahan;
8. Chelsea Victoria yang telah senantiasa menasehati, mendoakan, dan memberi semangat selama proses penyusunan skripsi;
9. Teman-teman seperjuangan skripsi yaitu Wilson, Rendy, Gabel, Oyen, Iola, Phine, Karmel atas kebersamaan untuk saling berbagi, menyemangati, dan bertukar pikiran selama proses penyusunan skripsi;
10. Teman-teman dekat penulis yaitu Martin, Welly, Ariel, Hadi, Alfred, Evan, dan Aldy yang telah mendukung penulis selama proses penyusunan skripsi;
11. Teman-teman angkatan 2016 Sipil Unpar untuk kebersamaannya;
12. Semua pihak yang telah membantu, memberi dukungan dan semangat untuk penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis menerima saran dan kritik yang membangun agar dapat memperbaikinya di masa yang akan datang.

Akhir kata penulis berharap skripsi ini tidak hanya bermanfaat bagi penulis tetapi juga bagi mahasiswa lainnya dan dunia pendidikan, khususnya di bidang Teknik Sipil.

Bandung, Desember 2019

Penulis,



Glennardi Pranata

2016410032

2.1.8	Struktur Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan	2-8
2.1.9	Faktor Redundansi, ρ , untuk Kategori Desain Seismik D sampai F	2-15
2.1.10	Kombinasi Pembebanan	2-15
2.1.11	Prosedur Gaya Lateral Statik Ekuivalen	2-17
2.1.12	Periode Fundamental Struktur	2-18
2.1.13	Simpangan Antar Lantai	2-19
2.1.14	Analisis Spektrum Respons Ragam	2-21
2.2	Peraturan Pembebanan Berdasarkan SNI 1727:2013	2-21
2.2.1	Beban Mati	2-21
2.2.2	Beban Hidup	2-21
2.2.3	Beban Gempa	2-22
2.3	Peraturan Beton Struktural Berdasarkan SNI 2847:2013	2-22
2.3.1	Desain Awal Pelat Dua Arah	2-22
2.3.2	Desain Awal Balok	2-24
2.3.3	Desain Awal Kolom	2-25
2.3.4	Selimut Beton	2-26
2.4	Peraturan Baja Struktural Berdasarkan SNI 1729:2015	2-27
2.4.1	Dasar Desain	2-27
2.4.2	Properti Komponen Struktur	2-28
2.5	Ketentuan Seismik untuk Baja Struktural Berdasarkan SNI 7860:2015	2-30
2.5.1	Klasifikasi Profil untuk Daktilitas	2-30
2.6	Sistem <i>Outrigger</i> dan <i>Belt Truss</i>	2-31
2.5.2	Konfigurasi dan Prinsip Kerja	2-31
2.5.3	Daktilitas Struktur dan Koefisien Modifikasi Respons (R)	2-33
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR		3-1

3.1	Pemodelan Bangunan	3-1
3.2	Data Bangunan	3-4
3.3	Data Material	3-5
3.4	Data Pembebanan	3-5
3.4.1	Beban Mati (<i>Self Weight / SW</i>).....	3-5
3.4.2	Beban Mati Tambahan (<i>Super Imposed Dead Load / SIDL</i>).....	3-5
3.4.3	Beban Hidup (<i>Live Load</i>)	3-6
3.4.4	Beban Gempa	3-7
3.4.5	Kombinasi Pembebanan.....	3-8
3.5	Data Elemen Struktur	3-9
3.5.1	Dimensi Pelat.....	3-9
3.5.2	Dimensi Balok	3-9
3.5.3	Dimensi Kolom.....	3-10
3.5.4	Dimensi <i>Braced Core & Belt Truss</i>	3-10
3.6	Pemeriksaan Struktur	3-11
3.6.1	Massa Struktur	3-11
3.6.2	Partisipasi Ragam	3-12
3.6.3	Sumbu Utama Bangunan	3-15
3.6.4	<i>Story Drift</i>	3-16
3.6.5	Faktor Skala Gaya Gempa.....	3-22
3.6.6	Ketidakteraturan Horizontal.....	3-23
3.6.7	Ketidakteraturan Vertikal.....	3-24
3.7	Desain Elemen Struktur	3-25
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		4-1
4.1	Analisis Respons Dinamik	4-1
4.1.1	Kekakuan Lateral Tingkat	4-1
4.1.2	Periode Struktur	4-3

4.1.3	Gaya Geser Dasar.....	4-4
4.1.4	<i>Story Shear</i>	4-5
4.1.5	Peralihan Struktur	4-7
4.1.6	Simpangan Antar Lantai.....	4-9
4.2	Analisis Gaya Dalam	4-11
4.2.1	Gaya Dalam Pada Kolom	4-11
4.2.2	Gaya Dalam Pada Balok.....	4-30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1	Kesimpulan	5-1
5.2	Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA		D-1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_g	=	luas bruto penampang beton
A_{st}	=	luas total tulangan longitudinal non-prategang
A_x	=	faktor amplifikasi torsi
b_e	=	lebar <i>slab</i> efektif
b_f	=	lebar <i>flens</i> profil baja
b_w	=	lebar <i>web</i> balok
c	=	panjang sisi kolom
C_d	=	faktor amplifikasi defleksi
C_s	=	koefisien respons gempa
C_t, x	=	parameter periode pendekatan
C_u	=	koefisien untuk batas atas periode
d	=	jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik
E	=	modulus elastisitas
E_h	=	pengaruh beban gempa horizontal
E_v	=	pengaruh beban gempa vertikal
F_a	=	koefisien situs untuk periode pendek (pada periode 0,2 detik)
f_c'	=	kuat tekan beton
f_D	=	faktor skala gaya gempa
F_u	=	tegangan ultimit material baja
F_v	=	koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1,0 detik)
F_y, f_y	=	tegangan leleh material baja
f_l	=	faktor kuat lebih beban dan bahan
g	=	percepatan gravitasi
h_n	=	ketinggian struktur dari elevasi dasar hingga tingkat tertinggi
h_{sx}	=	tinggi tingkat di bawah tingkat x
h_w	=	tinggi <i>web</i> profil baja
I_e	=	faktor keutamaan gempa
KDS	=	kategori desain seismik
MCE_R	=	<i>risk-targeted maximum considered earthquake</i>
ME	=	<i>mechanical and electrical</i>

P_u	=	gaya aksial yang bekerja
Q_E	=	pengaruh gaya gempa horizontal dari V atau F_p . Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain;
r	=	radius girasi penampang
R	=	koefisien modifikasi respons
R_a	=	kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DKI
R_m	=	faktor modifikasi respons maksimum
R_n	=	kekuatan nominal
R_u	=	kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK
S_a	=	spektrum respons percepatan desain
S_{DS}	=	parameter percepatan respons spektral desain pada periode pendek, redaman 5 persen
S_{D1}	=	parameter percepatan respons spektral desain pada periode 1,0 detik, redaman 5 persen
S_{MS}	=	parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	=	parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1,0 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{NI}	=	Standar Nasional Indonesia
S_s	=	parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
S_1	=	parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada Periode 1,0 detik, redaman 5 persen
T	=	periode fundamental bangunan
T_a	=	periode fundamental pendekatan
t_f	=	tebal <i>flens</i> profil baja
t_p	=	tebal pelat
T_s, T_0	=	parameter periode untuk respons spektrum desain elastik
t_w	=	tebal <i>web</i> profil baja
V, V_s	=	gaya geser dasar seismik statik
V_t, V_{dyn}	=	gaya geser dasar seismik dinamik
w_t	=	berat seismik efektif total

Z_{total}	=	ketinggian struktur diukur dari elevasi dasar hingga ke tingkat teratas
α_f	=	rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok
α_{fm}	=	nilai rata-rata α_f untuk semua balok pada tepi panel
β	=	rasio dimensi bentang bersih panjang terhadap pendek untuk pelat dua arah
β_1	=	faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekivalen dengan tinggi sumbu netral
Δ	=	simpangan antar lantai tingkat desain
Δ_a	=	simpangan antar lantai tingkat yang diijinkan
$\delta_{avg}, \Delta_{avg}$	=	perpindahan rata-rata tingkat diukur dari posisi awal
$\delta_{max}, \Delta_{max}$	=	perpindahan maksimum tingkat diukur dari posisi awal
δ_x	=	defleksi pusat massa di tingkat x
λ_r, λ_p	=	batasan rasio tebal-terhadap-lebar
μ	=	angka Poisson'
Ω	=	faktor ketahanan (kombinasi beban DKI)
Ω_0	=	faktor kuat-lebih sistem
\emptyset	=	faktor ketahanan (kombinasi beban DFBK)
ρ	=	faktor redundansi
ρ_g	=	rasio tulangan
γ_{beton}	=	berat jenis beton

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Leeza SOHO Tower, Beijing (a) Elevasi; (b) Denah Arsitektur Lantai Lobi; (c) Denah Arsitektur Lantai 40.....	1-2
Gambar 1.2 Konfigurasi Sistem Outrigger Konvensional	1-3
Gambar 1.3 Transfer Momen Akibat Gaya Luar dari Core ke Kolom Eksterior	1-3
Gambar 1.4 Konfigurasi Sistem Outrigger Virtual dengan Belt Truss	1-4
Gambar 1.5 Transfer Momen Akibat Gaya Luar dari (a) Core ke Diafragma; (b) Diafragma ke Kolom Eksterior	1-4
Gambar 1.6 Denah Tipikal (a) Lantai 1-10; (b) Lantai 11-20; (c) Lantai 21-30	1-7
Gambar 1.7 Konfigurasi Penerapan Braced Core, dan Sistem Outrigger dan Belt Truss	1-8
Gambar 1.8 Diagram Alir Penelitian	1-9
Gambar 2.1 Spektrum Respons Desain.....	2-6
Gambar 2.2 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal (a) Tipe 1a; (b) Tipe 1b	2-10
Gambar 2.3 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2.....	2-10
Gambar 2.4 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3.....	2-11
Gambar 2.5 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4.....	2-11
Gambar 2.6 Ilustrasi Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5.....	2-11
Gambar 2.7 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal (a) Tipe 1a; (b)Tipe 1b	2-13
Gambar 2.8 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2.....	2-13
Gambar 2.9 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3.....	2-14
Gambar 2.10 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4.....	2-14
Gambar 2.11 Ilustrasi Ketidakberaturan Vertikal (a) Tipe 5a; (b) Tipe 5b	2-14
Gambar 2.12 Penentuan Simpangan Antar Lantai	2-20
Gambar 2.13 Visualisasi Penempatan Belt Truss pada Bangunan Tinggi.....	2-31
Gambar 2.14 Transfer Gaya dari (a) Core ke Diafragma Lantai; (b) Diafragma Lantai ke Kolom Eksterior	2-32

Gambar 2.15 Reduksi Momen pada Core dengan Sistem Outrigger dan Belt Truss	2-32
Gambar 3.1a Konfigurasi Bangunan (a) Model 1; (b) Model 2.....	3-1
Gambar 3.1b Konfigurasi Bangunan (a) Model 3; (b) Model 4.....	3-2
Gambar 3.2a Denah Tipikal Lantai 1-10.....	3-2
Gambar 3.2b Denah Tipikal (a) Lantai 11-20; (b) Lantai 21-30.....	3-3
Gambar 3.3 Kurva Spektrum Respons Desain	3-8
Gambar 4.1 Kekakuan Struktur Setiap Model Dalam Arah X.....	4-2
Gambar 4.2 Kekakuan Struktur Setiap Model Dalam Arah Y	4-3
Gambar 4.3 Story Shear Setiap Model Dalam Arah X	4-6
Gambar 4.4 Story Shear Setiap Model Dalam Arah Y	4-6
Gambar 4.5 Peralihan Struktur Setiap Model Dalam Arah X.....	4-8
Gambar 4.6 Peralihan Struktur Setiap Model Dalam Arah Y	4-8
Gambar 4.7 Simpangan Antar Lantai Setiap Model Dalam Arah X.....	4-10
Gambar 4.8 Simpangan Antar Lantai Setiap Model Arah Y.....	4-10
Gambar 4.9 Kolom Terpilih untuk Peninjauan Gaya Dalam	4-11
Gambar 4.10 Gaya Dalam Aksial Kolom Interior C1 Setiap Model	4-13
Gambar 4.11 Gaya Dalam Geser Kolom Interior C1 Setiap Model.....	4-14
Gambar 4.12 Gaya Dalam Momen Kolom Interior C1 Setiap Model.....	4-15
Gambar 4.13 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Dalam) C19 Setiap Model	4-17
Gambar 4.14 Gaya Dalam Geser Kolom Eksterior (Dalam) C19 Setiap Model	4-18
Gambar 4.15 Gaya Dalam Momen Kolom Eksterior (Dalam) C19 Setiap Model.....	4-20
Gambar 4.16 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) C32 Kondisi Maksimum Setiap Model	4-22
Gambar 4.17 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) C32 Kondisi Minimum Setiap Model.....	4-22
Gambar 4.18 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) C58 Kondisi Maksimum Setiap Model	4-23
Gambar 4.19 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) C58 Kondisi Minimum Setiap Model.....	4-23

Gambar 4.20 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) C94 Kondisi Maksimum Setiap Model	4-24
Gambar 4.21 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) C94 Kondisi Maksimum Setiap Model	4-24
Gambar 4.22 Gaya Dalam Geser Kolom Eksterior (Luar) C32 Setiap Model	4-26
Gambar 4.23 Gaya Dalam Geser Kolom Eksterior (Luar) C58 Setiap Model	4-26
Gambar 4.24 Gaya Dalam Geser Kolom Eksterior (Luar) C94 Setiap Model	4-27
Gambar 4.25 Gaya Dalam Momen Kolom Eksterior (Luar) C32 Setiap Model	4-28
Gambar 4.26 Gaya Dalam Momen Kolom Eksterior (Luar) C58 Setiap Model	4-29
Gambar 4.27 Gaya Dalam Momen Kolom Eksterior (Luar) C94 Setiap Model	4-29
Gambar 4.28 Balok Terpilih untuk Peninjauan Gaya Dalam	4-30
Gambar 4.29 Gaya Dalam Geser Balok Interior B100 Setiap Model.....	4-31
Gambar 4.30 Gaya Dalam Torsi Balok Interior B100 Setiap Model.....	4-32
Gambar 4.31 Gaya Dalam Momen Balok Interior B100 Setiap Model.....	4-33
Gambar 4.32 Gaya Dalam Geser Balok Eksterior B147 Setiap Model	4-35
Gambar 4.33 Gaya Dalam Torsi Balok Eksterior B147 Setiap Model	4-36
Gambar 4.34 Gaya Dalam Torsi Balok Eksterior B147 Setiap Model	4-37
Gambar 4.35 Gaya Dalam Geser Balok Eksterior (Luar) B56 Setiap Model	4-39
Gambar 4.36 Gaya Dalam Geser Balok Eksterior (Luar) B17 Setiap Model	4-39
Gambar 4.37 Gaya Dalam Geser Balok Eksterior (Luar) B42 Setiap Model	4-40
Gambar 4.38 Gaya Dalam Torsi Balok Eksterior (Luar) B56 Setiap Model.....	4-41
Gambar 4.39 Gaya Dalam Torsi Balok Eksterior (Luar) B17 Setiap Model.....	4-42

Gambar 4.40 Gaya Dalam Torsi Balok Eksterior (Luar) B42 Setiap Model	4-42
Gambar 4.41 Gaya Dalam Momen Balok Eksterior (Luar) B56 Setiap Model ...	4-44
Gambar 4.42 Gaya Dalam Momen Balok Eksterior (Luar) B17 Setiap Model ...	4-44
Gambar 4.43 Gaya Dalam Momen Balok Eksterior (Luar) B42 Setiap Model ...	4-45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	2-1
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa	2-2
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs	2-2
Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a	2-4
Tabel 2.5 Koefisien Situs, F_v	2-4
Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek.....	2-7
Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik.....	2-7
Tabel 2.8 Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	2-8
Tabel 2.9 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	2-9
Tabel 2.10 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	2-12
Tabel 2.11 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	2-18
Tabel 2.12 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	2-19
Tabel 2.13 Simpangan antar Lantai Ijin, Δ_a	2-20
Tabel 2.14 Tebal Minimum Pelat tanpa Balok Interior	2-22
Tabel 2.15 Tebal Minimum Balok Non-Prategang Bila Lendutan Tidak Dihitung	2-24
Tabel 2.16 Tebal Selimut Beton Minimum untuk Beton Cor Setempat (Non-Prategang)	2-26
Tabel 2.17 Rasio Tebal terhadap Lebar: Elemen Tekan (Komponen Struktur yang Menahan Tekan Aksial)	2-29
Tabel 2.18 Rasio Tebal terhadap Lebar: Elemen Tekan (Komponen Struktur Menahan Lentur).....	2-29
Tabel 2.19 Batasan Rasio Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tekan untuk Komponen Struktur Daktail Sedang dan Daktail Tinggi	2-30
Tabel 2.20 Rujukan Koefisien R untuk Struktur dengan Sistem Outrigger dan Belt Truss	2-34

Tabel 3.1 Variasi Model Bangunan.....	3-4
Tabel 3.2 Beban Mati Tambahan	3-6
Tabel 3.3 Beban Hidup.....	3-6
Tabel 3.4 Parameter Respons Spektra	3-7
Tabel 3.5 Kombinasi Pembebanan	3-8
Tabel 3.6 Rekap Dimensi Balok.....	3-9
Tabel 3.7 Rekap Dimensi Kolom	3-10
Tabel 3.8 Massa Struktur.....	3-11
Tabel 3.9 Rasio Partisipasi Massa Modal Model 1	3-12
Tabel 3.10 Rasio Partisipasi Massa Modal Model 2	3-13
Tabel 3.11 Rasio Partisipasi Massa Modal Model 3	3-14
Tabel 3.12 Rasio Partisipasi Massa Modal Model 4	3-15
Tabel 3.13 Sumbu Utama Bangunan.....	3-16
Tabel 3.14 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai Model 1	3-16
Tabel 3.15 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai Model 2.....	3-18
Tabel 3.16 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai Model 3.....	3-19
Tabel 3.17 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai Model 4.....	3-21
Tabel 3.18 Faktor Skala Gaya Gempa.....	3-22
Tabel 3.19 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal	3-24
Tabel 3.20 Hasil Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal	3-25
Tabel 4.1 Peningkatan Kekakuan Struktur Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-2
Tabel 4.2 Periode Struktur Setiap Model	4-4
Tabel 4.3 Gaya Geser Dasar Setiap Model	4-5
Tabel 4.4 Story Shear Setiap Model Pada Lantai Terbawah.....	4-5
Tabel 4.5 Peralihan Struktur Setiap Model Pada Lantai Terbawah	4-7
Tabel 4.6 Pengurangan Simpangan Antar Lantai Setiap Model	4-9
Tabel 4.7 Gaya Dalam Aksial Kolom Interior C1 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss	4-12
Tabel 4.8 Gaya Dalam Geser Kolom Interior C1 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss	4-13
Tabel 4.9 Gaya Dalam Momen Kolom Interior C1 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss	4-15

Tabel 4.10 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior C19 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-16
Tabel 4.11 Gaya Dalam Geser Kolom Eksterior C19 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-18
Tabel 4.12 Gaya Dalam Momen Kolom Eksterior C19 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-19
Tabel 4.13 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) Tinjauan Saat Kondisi Maksimum Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss	4-21
Tabel 4.14 Gaya Dalam Aksial Kolom Eksterior (Luar) Tinjauan Saat Kondisi Minimum Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss	4-21
Tabel 4.15 Gaya Dalam Geser Kolom Eksterior (Luar) Tinjauan Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-25
Tabel 4.16 Gaya Dalam Momen Kolom Eksterior (Luar) Tinjauan Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-28
Tabel 4.17 Gaya Dalam Geser Balok Interior B100 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-31
Tabel 4.18 Gaya Dalam Torsi Balok Interior B100 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-32
Tabel 4.19 Gaya Dalam Momen Balok Interior B100 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-33
Tabel 4.20 Gaya Dalam Geser Balok Eksterior B147 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-34
Tabel 4.21 Gaya Dalam Torsi Balok Eksterior B147 Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-36
Tabel 4.22 Gaya Dalam Momen Balok Eksterior B147 Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-37
Tabel 4.23 Gaya Dalam Geser Balok Eksterior (Luar) Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-38
Tabel 4.24 Gaya Dalam Torsi Balok Eksterior (Luar) Pada Lokasi Sistem Outrigger dan Belt Truss.....	4-41
Tabel 4.25 Gaya Dalam Momen Balok Eksterior (Luar) Lokasi Sistem <i>Outrigger dan Belt Truss</i>	4-43

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PARAMETER RESPONS SPEKTRA.....	L1-1
LAMPIRAN 2 <i>PRELIMINARY DESIGN</i> PELAT.....	L2-1
LAMPIRAN 3 <i>PRELIMINARY DESIGN</i> BALOK.....	L3-1
LAMPIRAN 4 <i>PRELIMINARY DESIGN</i> KOLOM.....	L4-1
LAMPIRAN 5 PEMERIKSAAN KEKOMPAKAN PENAMPANG BAJA <i>BRACED CORE</i> DAN <i>BELT TRUSS</i>	L5-1
LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN SUMBU UTAMA BANGUNAN, GAYA GESER DASAR DINAMIK, PERIODE FUNDAMENTAL, ANALISIS STATIK EKUIVALEN, DAN SKALA GAYA GEMPA SETIAP MODEL..	L6-1
LAMPIRAN 7 PEMERIKSAAN KETIDAKBERATURAN HORIZONTAL DAN KETIDAKBERATURAN VERTIKAL.....	L7-1
LAMPIRAN 8 HASIL PEMERIKSAAN DESAIN ELEMEN STRUKTUR	L8-1

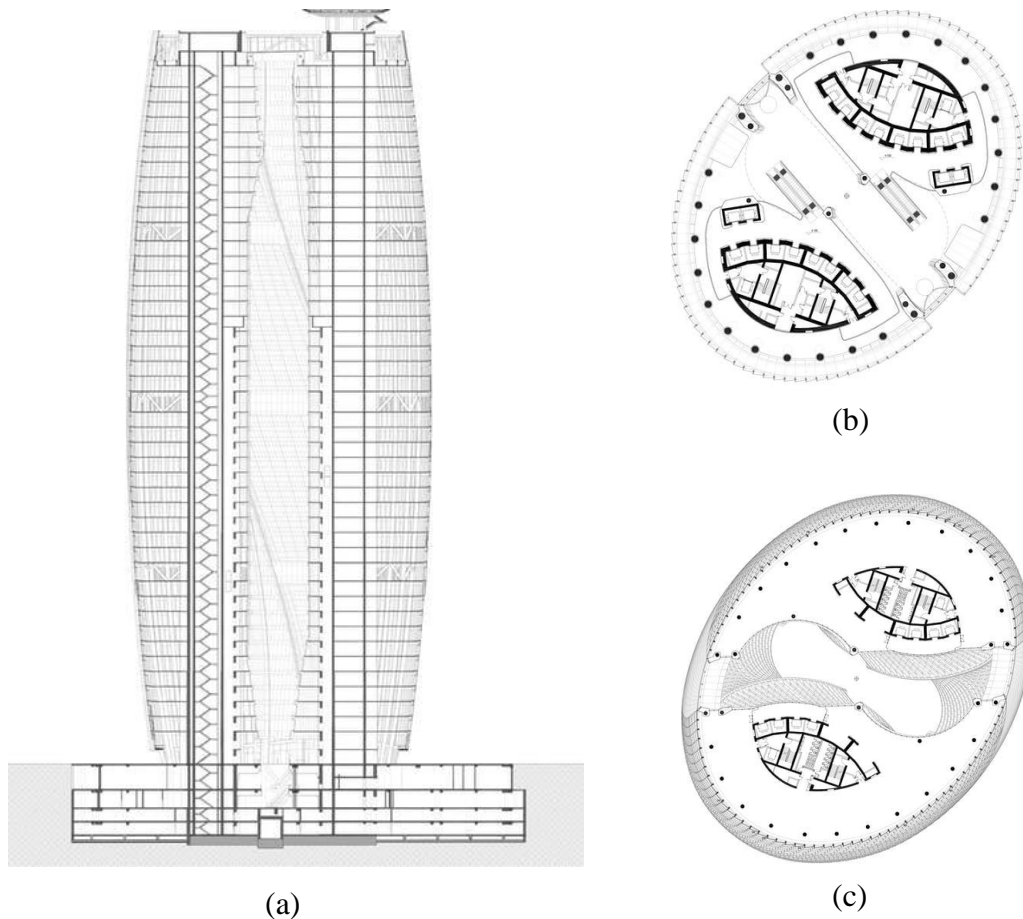
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan suatu negara yang sedang berkembang, dimana perkembangan ini diikuti oleh pertumbuhan jumlah penduduk setiap tahunnya. Penduduk Indonesia pada tahun 2016 berjumlah 258,7 juta penduduk, dan meningkat sebesar 1,24% mencapai 261,9 juta penduduk pada tahun 2017 (BPS, 2018). Berdasarkan Proyeksi Penduduk Indonesia tahun 2015-2045 yang dipublikasikan oleh Badan Perencanaan Pembangunan Nasional dan Badan Pusat Statistik pada tahun 2018, peningkatan ini akan terus berlangsung pada tahun-tahun berikutnya. Hal ini tentunya akan berdampak pada peningkatan kebutuhan akan tempat tinggal dan juga gedung perkantoran untuk memfasilitasi peningkatan dari lapangan kerja.

Pembangunan gedung bertingkat tinggi merupakan salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan akan gedung perkantoran dan tempat tinggal pada luasan lahan tersedia yang terbatas. Pertimbangan pada faktor estetika seringkali menghasilkan gedung bertingkat tinggi dengan bentuk yang bervariasi. Salah satu variasi bentuk yang banyak diminati adalah bentuk silindris (**Gambar 1.1**). Berdasarkan sudut pandang arsitektur, bangunan berbentuk silindris cenderung memiliki sistem pencahayaan dan ventilasi udara yang lebih baik ketimbang bangunan berbentuk persegi. Berdasarkan sudut pandang struktur, bangunan berbentuk silindris memiliki resistensi terhadap beban lateral (beban gempa, dan beban angin) yang lebih baik ketimbang bangunan berbentuk persegi. Hal ini didukung oleh Ambrose (2012) yang mengemukakan bahwa bangunan berbentuk silindris memiliki kekuatan menahan puntir hampir dua kali lebih besar ketimbang bangunan berbentuk segitiga dan persegi.



Gambar 1.1 Leeza SOHO Tower, Beijing (a) Elevasi; (b) Denah Arsitektur Lantai Lobi; (c) Denah Arsitektur Lantai 40

(Sumber: www.archinect.com)

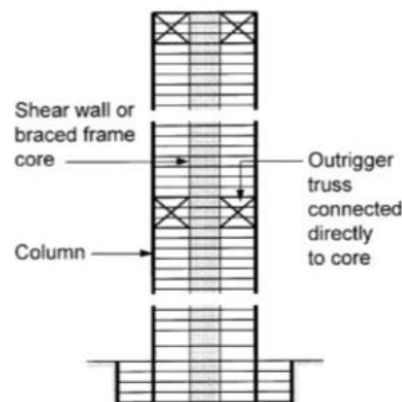
Perancangan dari gedung bertingkat tinggi di wilayah Indonesia memerlukan perhatian khusus mengingat Indonesia terletak di dalam jalur gempa paling aktif di dunia, atau yang biasa disebut dengan “*Ring of Fire*”. Kriteria mendasar dalam desain bangunan adalah kekuatan (*strength*), kestabilan (*stability*), dan kemampuan layan (*serviceability*). Ketiga kriteria tersebut harus dipenuhi agar kenyamanan pengguna bangunan dapat tercapai (Jayachandran, 2009). Dalam peraturan-peraturan yang digunakan sebagai acuan dalam perancangan, kekuatan dan kestabilan diperhitungkan sebagai keadaan batas ultimit, sedangkan kemampuan layan diperhitungkan dalam keadaan batas layan yang mencakup peralihan dari keseluruhan struktur bangunan.

Kekakuan struktur bangunan dalam arah lateral memiliki hubungan yang berbanding terbalik terhadap ketinggiannya, dimana semakin tinggi bangunan, maka semakin kecil kekakuan dari struktur bangunan tersebut dalam arah lateral. Hal ini

menyebabkan bangunan bertingkat tinggi cenderung memiliki simpangan lateral yang cukup besar terutama ketika terdapat beban lateral (beban gempa dan angin) yang bekerja pada bangunan tersebut. Salah satu inovasi yang dapat diaplikasikan dalam gedung bertingkat tinggi untuk mengurangi simpangan lateral yang terjadi adalah penerapan sistem *outrigger* dan *belt truss*.

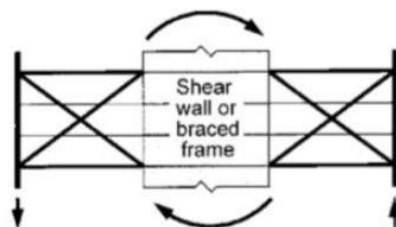
Berdasarkan penelitian sebelumnya, penerapan sistem *outrigger* dan *belt truss* cukup berhasil dalam menambah kekakuan struktur sekitar 25% hingga 30% pada umumnya (Taranath B.S., 2012). Penelitian lain dalam penerapan sistem *outrigger* dan *belt truss* pada struktur rangka beton bertulang 30 lantai berbentuk persegi panjang dengan ketidakberaturan vertikal menyatakan bahwa defleksi dan *drift* dapat dikurangi hingga 45% dan 40% (Shivacharan et al., 2015).

Sistem *outrigger* terbagi menjadi sistem *outrigger* konvensional dan sistem *outrigger* virtual dengan *belt truss*. Pada konsep dari sistem *outrigger* konvensional, balok *outrigger* dihubungkan secara langsung dengan *shear wall* atau *braced frame* dan kolom-kolom eksterior (**Gambar 1.2**). Pada prinsipnya, balok *outrigger* akan menahan dan mengonversikan sebagian momen yang bekerja pada *core* menjadi gaya kopel vertikal pada kolom-kolom ekterior (**Gambar 1.3**).



Gambar 1.2 Konfigurasi Sistem *Outrigger* Konvensional

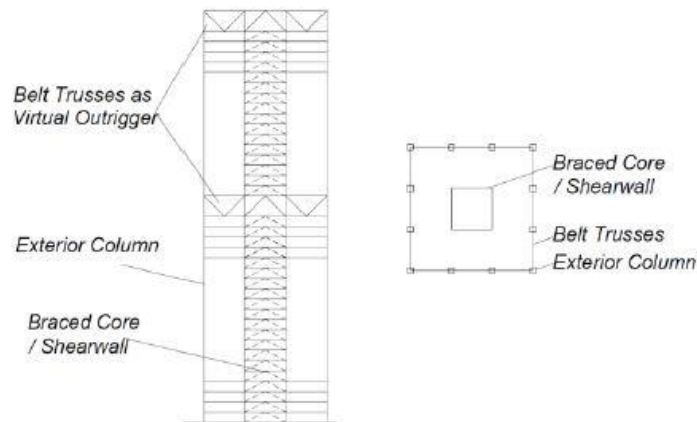
(Sumber: Shah & Gore, 2016)



Gambar 1.3 Transfer Momen Akibat Gaya Luar dari *Core* ke Kolom Eksterior

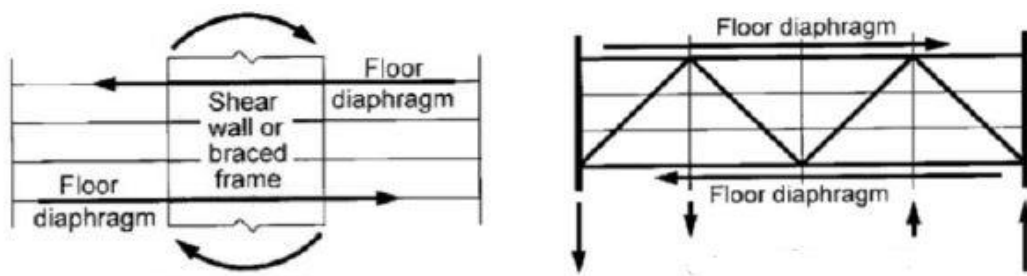
(Sumber: Shah & Gore, 2016)

Sistem *outrigger* virtual memiliki konfigurasi yang berbeda dengan sistem *outrigger* konvensional. Pada konsep sistem *outrigger* virtual, tidak terdapat konfigurasi balok *outrigger* yang menghubungkan *core* dengan kolom-kolom eksterior, melainkan *belt truss* yang digunakan sebagai *virtual outrigger* yang menghubungkan antar kolom-kolom eksterior yang berada dalam perimeter (**Gambar 1.4**). Pada prinsipnya, sistem *outrigger* virtual menggunakan diafragma lantai yang sangat kaku dan kuat dalam bidangnya untuk mengonversikan momen yang bekerja pada *core* menjadi gaya kopel horizontal yang kemudian didistribusikan ke *belt truss* (**Gambar 1.5a**). Gaya kopel horizontal tersebut kemudian dikonversikan oleh *belt truss* menjadi gaya kopel vertikal yang didistribusikan ke kolom-kolom eksterior (**Gambar 1.5b**).



Gambar 1.4 Konfigurasi Sistem *Outrigger* Virtual dengan *Belt Truss*

(Sumber: Khanorkar et al., 2016)



Gambar 1.5 Transfer Momen Akibat Gaya Luar dari (a) *Core* ke Diafragma; (b) Diafragma ke Kolom Eksterior

(Sumber: Shah & Gore, 2016)

Berdasarkan prinsip kerjanya, sistem *outrigger* virtual dan *belt truss* dapat menjadi pertimbangan dalam gedung bertingkat tinggi terutama yang terletak pada

kawasan rawan terhadap beban lateral baik akibat gempa maupun angin. Variasi letak dan jumlah dari sistem ini membutuhkan pengkajian lebih lanjut mengenai perilaku dinamik dari struktur ketika mengalami beban lateral.

1.2 Inti Permasalahan

Penelitian-penelitian terdahulu sudah banyak membahas topik mengenai sistem *outrigger* dan *belt truss*. Namun, penelitian tersebut dominan dalam penggunaan sistem *outrigger* dan *belt truss* pada gedung bertingkat tinggi beraturan dengan bentuk gedung segiempat. Dewasa ini, dengan adanya pertimbangan terhadap faktor-faktor tertentu dalam desain bangunan, tidak menutup kemungkinan akan timbul variasi dari bentuk bangunan. Bangunan yang akan diteliti adalah gedung bertingkat tinggi berbentuk silindris dengan ketidakberaturan.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

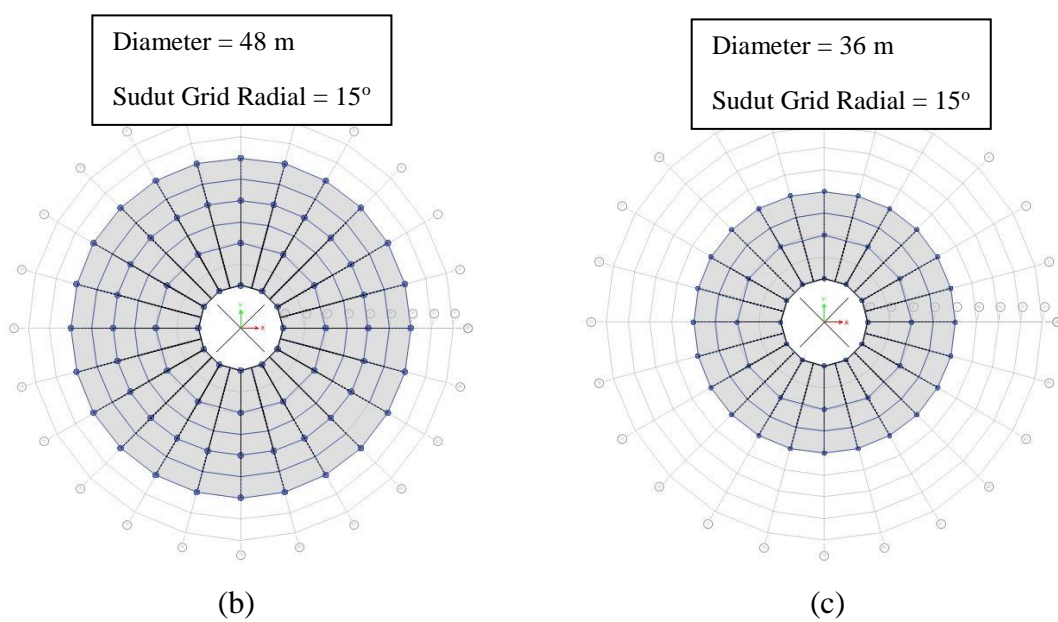
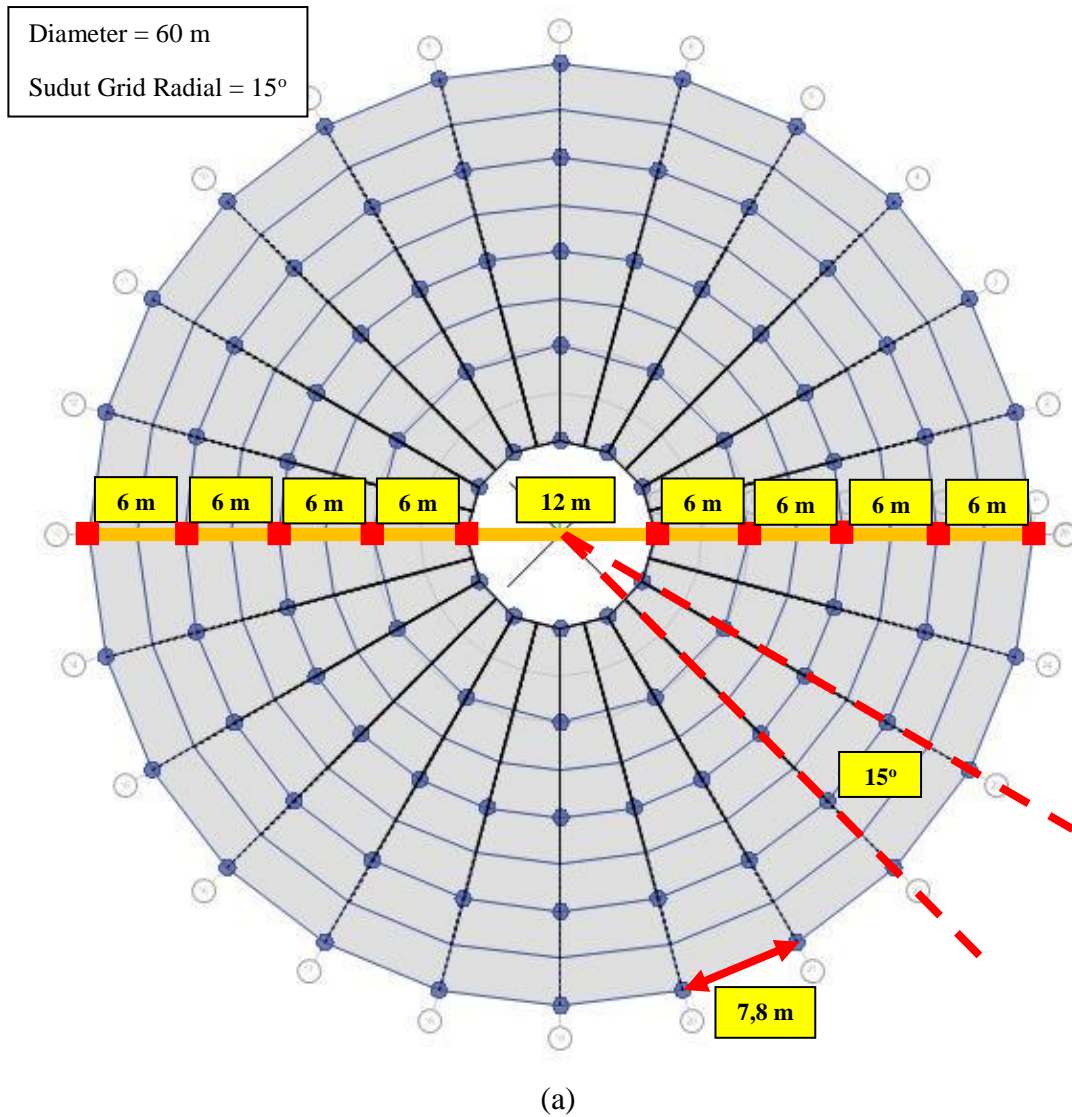
1. Mengetahui perilaku dinamik gedung silindris tak beraturan akibat variasi letak dan jumlah sistem *outrigger* dan *belt truss* baja;
2. Mengetahui gaya dalam gedung silindris tak beraturan akibat variasi letak dan jumlah sistem *outrigger* dan *belt truss* baja.

1.4 Pembatasan Masalah

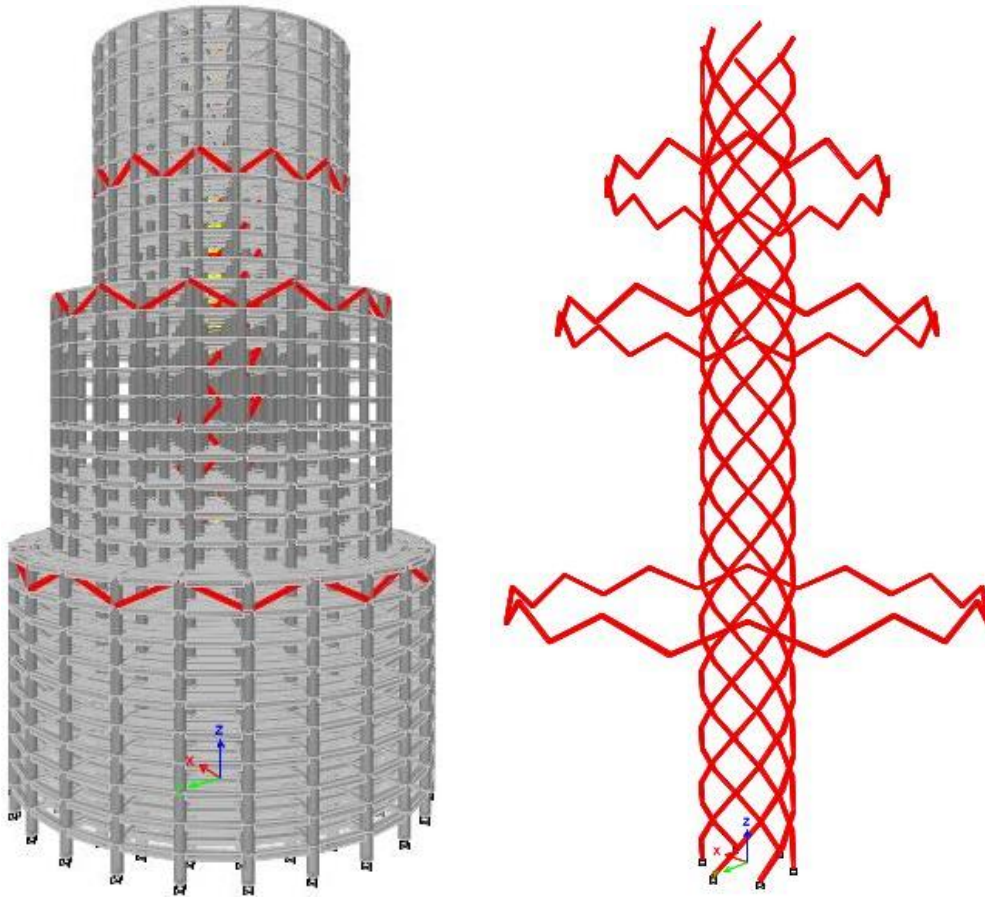
Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Model struktur merupakan gedung beton silindris 30 lantai dengan ketinggian antar lantai adalah 3,5 meter.
2. Gedung memiliki variasi diameter pada lantai-lantai tertentu, yaitu 60 meter untuk lantai 1 hingga lantai 10, 48 meter untuk lantai 11 hingga lantai 20, dan 36 meter untuk lantai 21 hingga lantai 30 (**Gambar 1.6**).
3. Pemodelan 3 dimensi dan analisis menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS 2016.
4. Fungsi bangunan adalah gedung perkantoran dengan lantai 1 hingga lantai 30 sebagai kantor.

5. Bangunan terletak di Kota Bandung dengan kelas situs SD (Tanah Sedang) dan parameter percepatan gempa $S_s = 1,5g$ dan $S_1 = 0,5g$ untuk MCE_R probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (Peta Gempa 2017, Puskim).
6. Komponen struktur kolom, balok, dan pelat menggunakan material beton dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Berat jenis $= 2400 \text{ kg/m}^3$
 - Mutu beton (f_c') $= 42 \text{ MPa}$ (kolom), dan 35 MPa (balok dan pelat)
 - Elastisitas beton (E) $= 4700\sqrt{f_c'}$ (MPa)
 - Angka *Poisson* (μ) $= 0,2$
 Sistem *outrigger* dan *belt truss* menggunakan material baja dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Berat jenis $= 7850 \text{ kg/m}^3$
 - Mutu baja $= \text{BJ-41}$
 - Tegangan leleh (F_y) $= 250 \text{ MPa}$
 - Tegangan ultimit (F_u) $= 410 \text{ MPa}$
 - Elastisitas baja (E) $= 200000 \text{ MPa}$
 - Angka *Poisson* (μ) $= 0,3$
7. Mutu tulangan (F_y) yang digunakan adalah 420 MPa .
8. Fondasi dan sambungan tidak dibahas dalam studi ini.
9. Beban lateral yang bekerja hanya akibat gempa karena beban angin diasumsikan tidak dominan.
10. Peraturan-peraturan yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - a. SNI 1726:2012. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - b. SNI 1727:2013. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - c. SNI 1795:2015. (2015). *Spesifikasi untuk Bangunan gedung Baja Struktural*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - d. SNI 2847:2013. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
 - e. Peta Gempa Indonesia 2017.



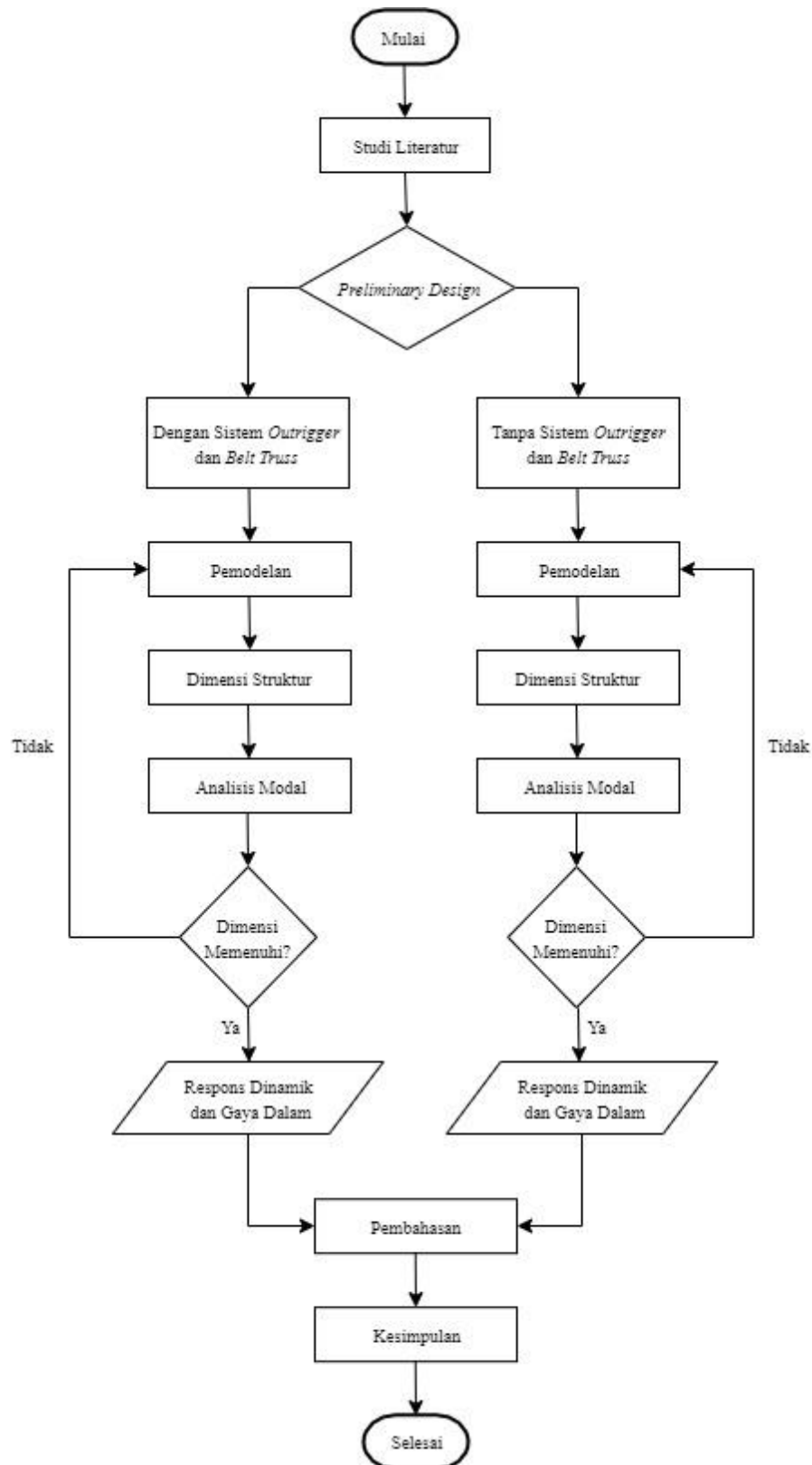
Gambar 1.6 Denah Tipikal (a) Lantai 1-10; (b) Lantai 11-20; (c) Lantai 21-30



Gambar 1.7 Konfigurasi Penerapan *Braced Core*, dan Sistem *Outrigger* dan *Belt Truss*

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut (**Gambar 1.8**).



Gambar 1.8 Diagram Alir Penelitian

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan bantuan bahan-bahan literatur yang bersumber dari buku, jurnal, skripsi, *paper*, dan peraturan-peraturan yang berhubungan dengan desain struktur gedung beton tahan gempa dengan sistem *outrigger* dan *belt truss*.

2. Studi Analisis

Studi Analisis dilakukan dengan pemodelan dan analisis model struktural dengan bantuan program ETABS 2016, dan perhitungan analisis dilakukan dengan bantuan program Mathcad 15 dan Microsoft Excel.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini terdiri dari teori dasar dan peraturan-peraturan yang digunakan sebagai acuan dalam pemodelan dan analisis yang dilakukan dalam skripsi ini.

BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini terdiri dari desain dan pemodelan struktur bangunan rangka beton dengan sistem *outrigger* dan *belt truss* yang dikombinasikan dengan *braced core* menggunakan bantuan dari perangkat lunak ETABS 2016.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri dari perbandingan terhadap hasil perilaku dinamik dan gaya dalam dari struktur bangunan dengan variasi letak dan jumlah sistem *outrigger* dan *belt truss*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini terdiri dari kesimpulan dari hasil analisis yang didapat dan saran berdasarkan hasil analisis tersebut.