

**SKRIPSI**

**STUDI PERBANDINGAN PERILAKU INELASTIK  
STRUKTUR GEDUNG BAJA TUBULAR TERBREIS  
KONSENTRIS DAN EKSENTRIS TIPE *INVERTED-V***



**CLARISSA JASINDA  
NPM : 2015410111**

**PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**KO-PEMBIMBING: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D**

**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 2018**

**SKRIPSI**

**STUDI PERBANDINGAN PERILAKU INELASTIK  
STRUKTUR GEDUNG BAJA TUBULAR TERBREIS  
KONSENTRIS DAN EKSENTRIS TIPE *INVERTED-V***



**CLARISSA JASINDA  
NPM : 2015410111**

**BANDUNG, 10 DESEMBER 2018**

**PEMBIMBING:**

**Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**KO-PEMBIMBING:**

**Helmy H. Tjahjanto, Ph.D**

**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 2018**

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Clarissa Jasinda

NPM : 2015410111

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Studi Perbandingan Perilaku Inelastik Struktur Gedung Baja Tubular Terbreis Konsentris dan Eksentris Tipe Inverted-V* 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 2018



Clarissa Jasinda

NPM: 2015410111

# **STUDI PERBANDINGAN PERILAKU INELASTIK STRUKTUR GEDUNG BAJA TUBULAR TERBREIS KONSENTRIS DAN EKSENTRIS TIPE *INVERTED-V***

**Clarissa Jasinda  
NPM: 2015410111**

**Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro  
Ko-Pembimbing: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D**

**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 2018**

## **ABSTRAK**

Indonesia merupakan wilayah yang rawan gempa sehingga struktur bangunan harus didesain tahan terhadap gempa. Struktur bangunan harus dapat mendisipasi energi gempa dan memiliki daktilitas yang memadai. Dalam meninjau daktilitas diperlukan analisis inelastik dengan metode analisis riwayat waktu. Struktur bangunan yang diteliti dan dibandingkan adalah model struktur rangka baja berbentuk tubular dengan 6 lantai dan terbreis konsentris dan eksentris tipe *inverted-V* pada perimeternya. Struktur dianalisis secara elastis dan inelastis dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS 2016. Rekaman percepatan tanah dasar yang digunakan dalam analisis inelastis adalah gempa El Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, dan Flores 1992 yang diskalakan terhadap respons spektrum desain.

Hasil respons inelastik dari kedua model rangka tubular terbreis menunjukkan adanya efek dinamik karena peralihan lantai, simpangan antar lantai, faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ), dan faktor kuat-lebih ( $\Omega_0$ ) melebihi prediksi analisis spektrum respons. Faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) pada model SCBF melebihi 33,0% - 60,2% dari desain dan pada model EBF melebihi 0,2% - 285,8% dari desain. Faktor kuat-lebih ( $\Omega_0$ ) pada model SCBF melebihi 42,6% dari desain dan pada model EBF melebihi 124,0% dari desain. Distribusi sendi plastis pada model SCBF hanya pada breising lantai 1 sedangkan pada model EBF tersebar di *link* lantai 1 sampai 3. Pada model EBF terjadi sendi plastis pada kolom. Tingkat kinerja model SCBF adalah *collapse prevention*, sedangkan pada model EBF adalah *life safety*. Hasil kurva histeresis struktur menunjukkan terdapat deformasi permanen puncak dari sumbu netral bangunan pada model SCBF.

Kata kunci: breising konsentris, breising eksentris, analisis riwayat waktu, respons inelastik, kinerja struktur

# COMPARATIVE STUDY ON INELASTIC BEHAVIOR OF CONCENTRICALLY AND ECCENTRICALLY BRACED TUBULAR STEEL BUILDINGS WITH INVERTED-V TYPE BRACES

Clarissa Jasinda  
NPM: 2015410111

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro  
Co-Advisor: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D

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

## ABSTRACT

Indonesia is an earthquake prone region therefore it is necessary to build earthquake resisting structures in this country. Building structures are required to provide energy dissipation mechanism and to have adequate ductility. In observing ductility, inelastic analysis is needed, specifically using the time history analysis method. The observed and compared building structures are 6-story tubular steel frame building models, concentrically braced and eccentrically braced on its perimeter with inverted-V type braces. Structures are analyzed elastically and inelastically using ETABS 2016 software. The ground acceleration records used in the inelastic analysis are El Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, and Flores 1992 earthquakes which are matched to the design response spectrum.

Both models showed dynamic effect during inelastic response because the story displacement, story drift, deflection amplification factor ( $C_d$ ), and overstrength factor ( $\Omega_0$ ) exceeds the predicted results from response spectrum analysis. The deflection amplification factor ( $C_d$ ) on SCBF model exceeds 33,0% - 60,2% from the design while the EBF model exceeds 0,2% - 285,8% from the design. The overstrength factor ( $\Omega_0$ ) on SCBF model exceeds 42,6% from the design while the EBF model exceeds 124,0% from the design. The plastic hinge distribution on SCBF model only on the 1<sup>st</sup> story braces while on the distribution on EBF model are on the 1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> story *links*. Plastic hinges on column appears on the EBF model. The performance level of SCBF model is collapse prevention while EBF model is life safety. The hysteresis curves of SCBF model show permanent deformation from the building's neutral axis.

Keywords: Concentric bracing, eccentric bracing, time history analysis, inelastic response, performance level

## PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Perbandingan Perilaku Inelastik Struktur Gedung Baja Tubular Terbreis Konsentris dan Eksentris Tipe Inverted-V*. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam menyusun laporan skripsi ini ada hambatan dan rintangan yang penulis alami, maka dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Pansen Kuswandi dan Susianty yang senantiasa mendoakan, menghibur, memberikan semangat, dan dukungan moral dan materil agar skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
2. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing skripsi yang telah dengan penuh kesabaran memberikan ilmu, meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing penyusunan skripsi ini, serta mengajarkan nilai-nilai yang berguna bagi kehidupan perkuliahan dan selepas perkuliahan;
3. Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen ko-pembimbing yang dengan sabar meluangkan waktu untuk berdiskusi bersama, memberikan ilmu dan saran, serta tidak pernah lelah membimbing saya dalam penyusunan skripsi ini;
4. Dr. Paulus Karta Wijaya dan Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberi banyak masukan;
5. Buen Sian, Ir., M.T., Nenny Samudra, Ir., M.T., Altho Sagara, S.T., M.T. selaku dosen-dosen yang menghadiri serta memberikan masukan pada seminar judul dan seminar isi;
6. Kakak dan adik kandung tersayang Desty Emmilia, Jessica Novia, dan Sierra Crystal yang selalu memberikan semangat serta penghiburan kepada penulis;

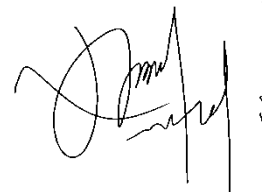
7. Dosen-dosen program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan bagi penulis;
8. Staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendukung penulis selama proses perkuliahan;
9. Teman-teman seperjuangan skripsi yaitu Hanna, Ivonne, Natalia, Vito, Yohanes, Yosua, dan Yunan atas kebersamaan untuk saling berbagi, menyemangati, dan bertukar pikiran dalam penyusunan skripsi;
10. Teman-teman karib yaitu Serafianus, Alvin Yo, Vincent JW, Martandi, Angeline, Vinna, Aditya, Mazi, dan Try yang telah mendukung penulis selama menyusun skripsi;
11. Sahabat-sahabat Batch 4 tersayang terutama Agatha Victoria, Agnes Andreyana, Felicia Limenkoh, Nadya, Stefanie Winarko, Ryadi Sutjiptoputra, Wildy Riftian, Hansen Putra, dan Patrik Yohanes yang selalu memberikan dorongan mental dan penghiburan selama ini;
12. Semua teman-teman angkatan 2015 untuk kebersamaannya;
13. Semua pihak yang telah membantu, memberi dukungan, dan semangat selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Penulis menerima saran dan kritik yang sifatnya 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 2018

Penulis,



Clarissa Jasinda

2015410111

# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
PRAKATA .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1-1
1.1 Latar Belakang .....	1-1
1.2 Inti Permasalahan .....	1-4
1.3 Tujuan Penulisan .....	1-4
1.4 Pembatasan Masalah .....	1-4
1.5 Metodologi Penelitian .....	1-7
1.6 Sistematika Penulisan .....	1-8
BAB 2 STUDI PUSTAKA .....	2-1
2.1 Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Baja .....	2-1
2.1.1 Klasifikasi Sistem Struktur .....	2-1
2.1.2 Klasifikasi Daktilitas Profil Baja .....	2-2
2.2 Sistem Rangka Terbreis .....	2-3
2.2.1 Rangka Terbreis Konsentris/ <i>Concentrically Braced Frame</i> (CBF) ....	2-4
2.2.2 Rangka Terbreis Eksentris/ <i>Eccentrically Braced Frame</i> (EBF) .....	2-9
2.3 Analisis Dinamik Nonlinier .....	2-14
2.3.1 <i>Time History Analysis</i> .....	2-14
2.3.2 <i>Matched to Response Spectrum</i> .....	2-17
2.3.3 Metode Integrasi Wilson- $\theta$ .....	2-18
2.3.4 Metode Redaman Rayleigh .....	2-18
2.4 Perilaku Inelastik Struktur .....	2-19
2.4.1 Daktilitas dan Disipasi Energi .....	2-19
2.4.2 Model Histeresis .....	2-21
2.4.3 Rotasi Sendi Plastis pada Komponen Baja Struktural .....	2-22
2.4.4 Deformasi Plastis pada Komponen Baja Struktural - Breis .....	2-23
2.4.5 Tingkat Kinerja Struktur .....	2-23
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR .....	3-1
3.1 Desain Bangunan .....	3-1



3.1.1 Data Bangunan .....	3-3
3.1.2 Data Material.....	3-3
3.1.3 Data Balok Anak dan Pelat .....	3-3
3.2 Pembebanan Struktur .....	3-4
3.2.1 Beban Gravitasi .....	3-4
3.2.2 Beban Gempa .....	3-5
3.2.3 Kombinasi Pembebanan.....	3-6
3.3 Analisis Spektrum Respons .....	3-6
3.3.1 <i>Preliminary Design</i> .....	3-6
3.3.2 Hasil Analisis Spektrum Respons .....	3-7
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	4-1
4.1 Analisis Riwayat Waktu .....	4-1
4.2 Respon Inelastis Struktur .....	4-3
4.2.1 Peralihan Maksimum Tiap Lantai .....	4-3
4.2.2 Simpangan Antar Lantai .....	4-5
4.2.3 Faktor Pembesaran Defleksi .....	4-8
4.2.4 Gaya Geser Dasar.....	4-9
4.2.5 Distribusi Sendi Plastis .....	4-11
4.2.6 Tingkat Kinerja Struktur .....	4-15
4.2.7 Kurva Histeresis Global Struktur .....	4-19
4.2.8 Kurva Histeresis Lokal Elemen Struktur .....	4-21
4.3 Rangkuman Perilaku Inelastik Hasil Analisis Riwayat Waktu.....	4-25
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	5-1
5.1 Kesimpulan .....	5-1
5.2 Saran .....	5-2
DAFTAR PUSTAKA.....	D-1
LAMPIRAN 1 .....	L-1
LAMPIRAN 2 .....	L-3
LAMPIRAN 3 .....	L-5
LAMPIRAN 4 .....	L-9
LAMPIRAN 5 .....	L-11

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ASCE	= <i>American Society of Civil Engineers</i>
$C_d$	= Faktor pembesaran defleksi
$C_t$	= Parameter untuk menentukan periode fundamental struktur
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
e	= Panjang <i>link</i> pada portal terbreis eksentris
EBF	= <i>Eccentrically Braced Frame</i>
FEMA	= <i>Federal Emergency Management Agency</i>
$F_a$	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
$F_v$	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode 1 detik
$f_c'$	= Kuat tekan beton
$f_y$	= Kuat leleh baja
$f_u$	= Kuat ultimit baja
h	= Tinggi komponen struktur
HWF	= <i>H-Section Wide Flange</i>
$h_{sx}$	= Tinggi tingkat di bawah tingkat x
$I_e$	= Faktor keutamaan gempa
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
IWF	= <i>I-Section Wide Flange</i>
LS	= <i>Life Safety</i>
MCER	= <i>Risk Targeted Maximum Considered Earthquake</i>
m	= Meter
mm	= Milimeter
$M_p$	= Momen plastis penampang
MPa	= Megapascal
R	= faktor modifikasi respons
$r_y$	= radius girasi penampang terhadap sumbu y
$r_x$	= radius girasi penampang terhadap sumbu x
SCBF	= <i>Special Concentrically Braced Frame</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
$S_{D1}$	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik

$S_{DS}$	= Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek
$S_{M1}$	= Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik
$S_{MS}$	= Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek
$S_1$	= Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik
$S_S$	= Percepatan batuan dasar pada periode pendek
$t_f$	= Tebal sayap
$t_w$	= Tebal badan
$T$	= Periode fundamental struktur
$T_a$	= Periode fundamental pendekatan
$u$	= Peralihan struktur
$\dot{u}$	= Kecepatan struktur
$\ddot{u}$	= Percepatan struktur
$V$	= Gaya geser dasar
$V_p$	= Gaya geser plastis penampang
$Z$	= Modulus plastis penampang
$\Delta$	= Simpangan antar lantai
$\Delta_a$	= Simpangan antar lantai izin
$\delta$	= Peralihan lantai
$\gamma_c$	= Berat isi beton
$\gamma_p$	= Rotasi plastis <i>link</i>
$\gamma_s$	= Berat isi baja
$\Omega_0$	= Faktor kuat-lebih sistem
$\rho$	= Faktor reduksi
$\theta_p$	= Rotasi plastis elemen

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gedung Baja dengan Jenis-jenis Breising: (a) CBF; (b) EBF; dan (c) BRBF (Bruneau, 2017) .....	1-2
Gambar 1.2 The Gherkin Tower, London (a) Elevasi; (b) Denah Struktur (c) Proses Konstruksi (www.archinomy.com) .....	1-3
Gambar 1.3 (a) Denah Lantai Tipikal Struktur Bangunan Tubular; dan (b) Elevasi Portal Perimeter Tipikal dengan Breising Eksentris (Tampak 1) .....	1-6
Gambar 1.4 Diagram Alir Penelitian .....	1-7
Gambar 2.1 Klasifikasi Sistem Struktur (Purwono, 2005) .....	2-2
Gambar 2.2 Konfigurasi Sistem CBF (Engelhardt, 2007) .....	2-4
Gambar 2.3 Respon inelastik CBF akibat beban gempa (Engelhardt, 2007).....	2-4
Gambar 2.4 (a) Kurva respon breis akibat beban aksial siklik; dan (b) Contoh kurva histeresis member breis profil W6x20 (Engelhardt, 2007) .....	2-5
Gambar 2.5 Konfigurasi Sistem EBF (Engelhardt, 2007) .....	2-9
Gambar 2.6 Respon Inelastik EBF Akibat Beban Gempa (Engelhardt, 2007)....	2-9
Gambar 2.7 Kinematik Rigid-Plastik EBF (Engelhardt, 2007) .....	2-10
Gambar 2.8 Diagram Gaya Dalam Elemen Balok dengan <i>Link</i> (Engelhardt, 2007) .....	2-10
Gambar 2.9 Diagram Gaya Dalam <i>Link</i> (Engelhardt, 2007) .....	2-11
Gambar 2.10 Perilaku Pasca-Leleh <i>Link</i> : Pengerasan Regangan (Engelhardt, 2007) .....	2-12
Gambar 2.11 Diagram Mekanika <i>Link</i> (Engelhardt, 2007).....	2-12
Gambar 2.12 Grafik sudut rotasi maksimum, $\gamma_p$ (Engelhardt, 2007) .....	2-13
Gambar 2.13 Rekaman Gempa El Centro 1940 N-S .....	2-15
Gambar 2.14 Rekaman Gempa Denpasar 1979 B-T.....	2-16
Gambar 2.15 Rekaman Gempa Flores 1992 .....	2-16
Gambar 2.16 Model Redaman Rayleigh (Karpanan, 2010).....	2-19
Gambar 2.17 Kurva tegangan-regangan (Doshi, 2016) .....	2-20
Gambar 2.18 Model Histeresis Kinematik (ETABS 2016) .....	2-21
Gambar 2.19 Grafik umum hubungan gaya-deformasi elemen baja (ASCE 41-13) .....	2-22
Gambar 3.1 Model 3-D Struktur: (a) Sistem SCBF; dan (b) Sistem EBF .....	3-1
Gambar 3.2 Tampak Potongan Grid Polar 1: (a) Sistem SCBF; dan (b) Sistem EBF .....	3-1
Gambar 3.3 Denah Tipikal dan Elevasi Portal Perimeter (Tampak 1): (a) Sistem SCBF; dan (b) Sistem EBF .....	3-2

Gambar 3.4 Tampak Grid Polar D: (a) Sistem SCBF; dan (b) Sistem EBF .....	3-2
Gambar 3.5 Grafik Spektrum Respons Kota Bandung pada Kelas Situs E .....	3-6
Gambar 3.6 Tampak Elevasi Portal Perimeter Model Sistem SCBF .....	3-8
Gambar 3.7 Peralihan Lantai Maksimum Hasil Analisis Spektrum Respons pada Model Sistem SCBF .....	3-11
Gambar 3.8 Simpangan Antar Lantai Maksimum Hasil Analisis Spektrum Respons pada Model Sistem SCBF .....	3-12
Gambar 3.9 Tampak Elevasi Portal Perimeter Model Sistem EBF.....	3-13
Gambar 3.10 Peralihan Lantai Maksimum Hasil Analisis Spektrum Respons pada Model Sistem EBF .....	3-16
Gambar 3.11 Simpangan Antar Lantai Maksimum Hasil Analisis Spektrum Respons pada Model Sistem EBF .....	3-17
Gambar 4.1 Lokasi Sendi Plastis pada Sistem Struktur SCBF .....	4-2
Gambar 4.2 Lokasi Sendi Plastis pada Sistem Struktur EBF .....	4-2
Gambar 4.3 Peralihan Lantai Maksimum Model Sistem SCBF akibat Gempa El Centro 1940, Flores 1992, dan Denpasar 1979 .....	4-3
Gambar 4.4 Peralihan Lantai Maksimum Model Sistem EBF akibat Gempa El Centro 1940, Flores 1992, dan Denpasar 1979 .....	4-4
Gambar 4.5 Peralihan Lantai Maksimum Inelastik pada Sistem SCBF dan EBF.....	4-5
Gambar 4.6 Grafik Simpangan Antar Lantai Sistem SCBF .....	4-6
Gambar 4.7 Grafik Simpangan Antar Lantai Sistem EBF .....	4-7
Gambar 4.8 Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d$ Model Sistem: (a) SCBF; dan (b) EBF.....	4-8
Gambar 4.9 Layout Balok Bangunan Tubular.....	4-10
Gambar 4.10 Kurva Tegangan-Regangan Profil Baja Mutu BJ-37.....	4-11
Gambar 4.11 Distribusi dan Waktu Terjadinya Sendi Plastis Struktur Model SBCF akibat Gempa El Centro 1940.....	4-12
Gambar 4.12 Distribusi dan Waktu Terjadinya Sendi Plastis Struktur Model SBCF akibat Gempa Flores 1992 .....	4-12
Gambar 4.13 Distribusi dan Waktu Terjadinya Sendi Plastis Struktur Model SBCF akibat Gempa Denpasar 1979 .....	4-13
Gambar 4.14 Distribusi dan Waktu Terjadinya Sendi Plastis Struktur Model EBF akibat Gempa El Centro 1940 .....	4-13
Gambar 4.15 Distribusi dan Waktu Terjadinya Sendi Plastis Struktur Model EBF akibat Gempa Flores 1992.....	4-14
Gambar 4.16 Distribusi dan Waktu Terjadinya Sendi Plastis Struktur Model EBF akibat Gempa Denpasar 1979.....	4-14

Gambar 4.17 <i>D/C ratio</i> Struktur Model SBCF akibat Gempa El Centro 1940 (CP)	4-16
Gambar 4.18 <i>D/C ratio</i> Struktur Model SBCF akibat Gempa Flores 1992 (IO)	4-16
Gambar 4.19 <i>D/C ratio</i> Struktur Model SBCF akibat Gempa Denpasar 1979 (LS)	4-17
Gambar 4.20 <i>D/C ratio</i> Struktur Model EBF akibat Gempa El Centro 1940 (LS)	4-17
Gambar 4.21 <i>D/C ratio</i> Struktur Model EBF akibat Gempa Flores 1992 (LS)	4-18
Gambar 4.22 <i>D/C ratio</i> Struktur Model EBF akibat Gempa Denpasar 1979 (LS)	4-18
Gambar 4.23 Kurva Histeresis Gaya Geser Dasar v.s. Peralihan Puncak akibat Gempa El Centro 1940 Model Sistem: (a) SCBF; dan (b) EBF	4-19
Gambar 4.24 Kurva Histeresis Gaya Geser Dasar v.s. Peralihan Puncak akibat Gempa Flores 1992 Model Sistem: (a) SCBF; dan (b) EBF	4-20
Gambar 4.25 Kurva Histeresis Gaya Geser Dasar v.s. Peralihan Puncak akibat Gempa Denpasar 1979 Model Sistem: (a) SCBF; dan (b) EBF	4-20
Gambar 4.26 Kurva Histeresis Gaya v.s. Deformasi Plastis akibat Gempa El Centro 1940 Elemen Struktur: (a) Breis pada SCBF; dan (b) <i>Link</i> pada EBF	4-21
Gambar 4.27 Kurva Histeresis Gaya v.s. Deformasi Plastis akibat Gempa Flores 1992 Elemen Struktur: (a) Breis pada SCBF; dan (b) <i>Link</i> pada EBF	4-22
Gambar 4.28 Kurva Histeresis Gaya v.s. Deformasi Plastis akibat Gempa Denpasar 1979 Elemen Struktur: (a) Breis pada SCBF; dan (b) <i>Link</i> pada EBF	4-23
Gambar 4.29 Kurva Histeresis Gaya v.s. Deformasi Plastis akibat Gempa Denpasar 1979 pada Elemen Kolom Model EBF	4-24

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan Rasio Lebar-terhadap-Tebal untuk Elemen Tekan Untuk Komponen struktur Daktilil Sedang dan Daktilil Tinggi (SNI 7860:2015 Tabel D1.1) .....	2-3
Tabel 2.2 Parameter Pemodelan dan <i>Acceptance Criteria</i> untuk Prosedur Nonlinier – Komponen Baja Struktural (ASCE 41-13) .....	2-22
Tabel 2.3 Parameter Pemodelan dan <i>Acceptance Criteria</i> untuk Prosedur Nonlinier – Komponen Baja Struktural – Gaya Aksial (ASCE 41-13) .....	2-23
Tabel 2.4 Kontrol Kerusakan dan Tingkat Kinerja Bangunan (FEMA 356).....	2-24
Tabel 2.5 Tingkat Kinerja Struktur dan Kerusakan (FEMA 356) .....	2-25
Tabel 3.1 Data Perencanaan Ketahanan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012....	3-5
Tabel 3.2 <i>Preliminary Design</i> Profil Kolom, Balok, dan Breis Model Struktur Sistem SCBF .....	3-7
Tabel 3.3 <i>Preliminary Design</i> Profil Kolom, Balok, dan Breis Model Struktur Sistem EBF .....	3-7
Tabel 3.4 Profil Baja Model Sistem SCBF .....	3-9
Tabel 3.5 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Model Sistem SCBF.....	3-9
Tabel 3.6 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Model Sistem SCBF.....	3-10
Tabel 3.7 Profil Baja Model Sistem EBF .....	3-13
Tabel 3.8 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Model Sistem EBF .....	3-14
Tabel 3.9 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Model Sistem EBF .....	3-15
Tabel 4.1 Jarak Relatif dan Tipe Kegagalan Sendi Plastis pada Setiap Elemen Struktur.....	4-1
Tabel 4.2 Simpangan Antar Lantai Sistem SCBF.....	4-6
Tabel 4.3 Simpangan Antar Lantai Sistem EBF .....	4-7
Tabel 4.4 Faktor Pembesaran Defleksi, $C_d$ Model Sistem SCBF dan EBF .....	4-8
Tabel 4.5 Faktor Kuat-Lebih, $\Omega_0$ Model Sistem SCBF dan EBF .....	4-9
Tabel 4.6 Waktu Terjadinya Sendi Plastis Pertama .....	4-15
Tabel 4.7 Tingkat Kinerja Struktur Sistem SCBF dan EBF .....	4-19
Tabel 4.8 Gaya Pada <i>Link</i> Model EBF .....	4-24
Tabel 4.9 Rangkuman Perilaku Inelastik Hasil Analisis Riwayat Waktu.....	4-25

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN 1 SPESIFIKASI STEEL DECK DAN KACA ARSITEKTURAL .....	L-1
LAMPIRAN 2 PENENTUAN PANJANG DAN TIPE KEGAGALAN LINK PADA MODEL EBF .....	L-3
LAMPIRAN 3 LANGKAH-LANGKAH ANALISIS SPEKTRUM RESPONS PADA ETABS .....	L-5
LAMPIRAN 4 LANGKAH-LANGKAH ANALISIS RIWAYAT WAKTU PADA ETABS .....	L-9
LAMPIRAN 5 DESAIN ELEMEN .....	L-11



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara kepulauan yang dilewati jalur gempa teraktif di dunia, sering disebut sebagai “*Ring of Fire*”, karena posisinya yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik: Lempeng Pasifik; Lempeng Eurasia; dan Lempeng Indo-Australia. Hal ini menyebabkan gempa bumi dan letusan gunung berapi sering terjadi di wilayah Indonesia. Sebagai contoh, gempa bumi yang disertai tsunami di wilayah utara pulau Sumatera pada tahun 2004 tercatat sebagai gempa ke-tiga terbesar di dunia dengan magnitudo 9,1 SR (USGS, 2018).

Dalam peristiwa gempa bumi, keruntuhan bangunan merupakan kontributor terbesar terhadap korban jiwa dan kerugian material. Untuk meminimalkan dampak tersebut, struktur bangunan harus dirancang dan dikonstruksi dengan mempertimbangkan respons struktur akibat gempa bumi. Struktur bangunan harus dapat mendisipasi energi gempa dan memiliki daktilitas yang memadai untuk mencegah keruntuhan secara tiba-tiba.

Sifat daktil merupakan salah satu keunggulan material baja untuk digunakan pada struktur gedung tahan gempa. Selain memiliki daktilitas yang tinggi, material baja juga unggul dalam kecepatan pelaksanaan konstruksi, kemudahan pemasangan, dan berat sendiri bangunan yang lebih kecil dibandingkan bangunan struktur beton bertulang. Oleh karena itu, material baja mulai sering digunakan dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa.

Pada daerah-daerah dengan potensi gempa yang besar, desain dimensi balok, kolom, dan pelat menjadi boros. Pada kondisi inilah dibutuhkan komponen tambahan pada struktur yang dapat meningkatkan kekakuan lateral struktur utama. Komponen tambahan yang dapat menahan beban lateral pada suatu struktur bangunan adalah dinding geser/*shear wall*, portal penahan momen/*moment resisting frame*, dan portal terbreis/*braced frame*.

Breising merupakan komponen struktur atau sistem yang memberikan kekakuan dan kekuatan untuk membatasi pergerakan ke luar bidang gambar dari

komponen struktur (SNI 1729:2015). Portal terbreis yang sering digunakan adalah Sistem Rangka Breising Konsentris/*Concentrically Braced Frame* (CBF), Sistem Rangka Breising Eksentris/*Eccentrically Braced Frame* (EBF), dan *Buckling-Restrained Braced Frame* (BRBF) (Gambar 1.1). Variasi breising ini memiliki karakteristik, perilaku, kelebihan, dan kekurangan masing-masing. CBF adalah sistem dimana beban yang diterima breising berupa beban aksial. Keuntungan dari sistem ini adalah memiliki kekakuan lateral yang tinggi, tetapi kekurangannya adalah sistem ini paling tidak daktail dibandingkan sistem breising lainnya. EBF adalah sistem dimana salah satu ujung breising tersambung dengan balok pada jarak tertentu dari hubungan balok-kolom atau balok-breising lainnya. Konsep yang digunakan dalam EBF adalah adanya elemen yang daktilitasnya tinggi, disebut “*link*”. Kegagalan pada *link* dapat berupa geser, lentur, atau keduanya. Kelebihan dari sistem ini adalah kemampuan daktilitasnya yang tinggi serupa dengan sistem MRF dan kekakuan lateral yang tinggi serupa dengan sistem CBF. BRBF adalah *upgrade* dari sistem CBF dengan breising yang dibungkus oleh mortar sehingga terbentuk kekakuan dan daktilitas yang tinggi (Engelhardt, 2007).



(a)



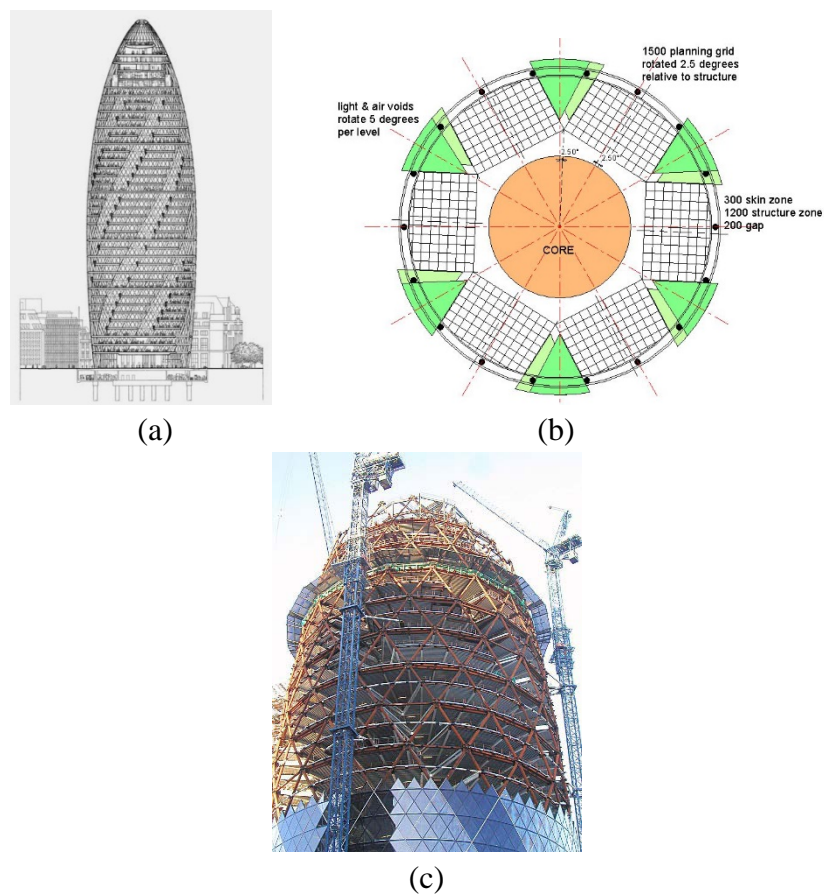
(b)



(c)

**Gambar 1.1** Gedung Baja dengan Jenis-jenis Breising: (a) CBF; (b) EBF; dan (c) BRBF (Bruneau, 2017)

Dewasa ini, keperluan arsitektur semakin beragam dan terus mengarah kepada *sustainable architecture* dimana efisiensi fungsi bangunan ditingkatkan agar dapat mengurangi dampak negatif dari bangunan tersebut. Akibatnya, bentuk bangunan semakin bervariasi. Desain bangunan non-poligon pun semakin banyak digunakan. Bangunan non-poligon yang sering didesain adalah tubular atau silinder (Gambar 1.2). Hal ini dikarenakan dari segi arsitektur, bangunan tubular memiliki sistem ventilasi dan pencahayaan yang baik. Dari segi struktur, bangunan tubular memiliki resistensi terhadap gempa dan tekanan angin yang lebih baik dibandingkan bangunan persegi (Minke, 2001 & Sinha, 2004). Pada bangunan gedung berbentuk poligon, kontribusi dan kerusakan breising seringkali sudah dapat diprediksi. Akan tetapi, pada bangunan tubular terbreis, efek gempa terhadap breising masih belum dapat diprediksi dan jarang dilakukan penelitian atau tidak dipublikasi. Maka pada tulisan ini dilakukan studi tipe-tipe breising pada gedung tubular.



**Gambar 1.2** The Gherkin Tower, London (a) Elevasi; (b) Denah Struktur (c) Proses Konstruksi ([www.archinomy.com](http://www.archinomy.com))

## 1.2 Inti Permasalahan

Fungsi utama dari breising adalah sebagai struktur penahan beban lateral. Jenis breising yang umum digunakan adalah Sistem Rangka Breising Konsentrik/*Concentrically Braced Frame* (CBF) dan Sistem Rangka Breising Eksentrik/*Eccentrically Braced Frame* (EBF). Kedua breising ini memiliki material yang sama, tetapi konsep kerja yang berbeda. Perilaku suatu sistem rangka penahan beban lateral akan bervariasi bergantung pada jenis sistem breising yang digunakan serta posisi breising terhadap arah beban lateral. Selain itu, keperluan arsitektur masa kini semakin beragam dan bentuk-bentuk bangunan modern tidak lagi hanya berbentuk poligon sederhana seperti persegi. Bangunan-bangunan dengan bentuk tidak umum ini perlu diteliti terhadap gempa karena sistem penahan beban lateral tidak mengikuti arah utama gedung. Dengan demikian, perilaku dan efektivitas sistem CBF dengan EBF pada bangunan berbentuk kompleks ini perlu diteliti dan dibandingkan. Bentuk bangunan yang akan diteliti adalah bangunan tubular/silinder. Parameter efektivitas breising ditinjau dari perilaku inelastik struktur akibat beban gempa dengan metode analisis riwayat waktu (*time history analysis*).

## 1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi perilaku inelastik dari struktur bangunan baja tubular dengan sistem breising konsentris khusus *inverted-V*.
2. Mengevaluasi perilaku inelastik dari struktur bangunan baja tubular dengan sistem breising eksentris *inverted-V*.
3. Membandingkan perilaku inelastik dari struktur bangunan baja tubular dengan sistem breising konsentris dan breising eksentris.

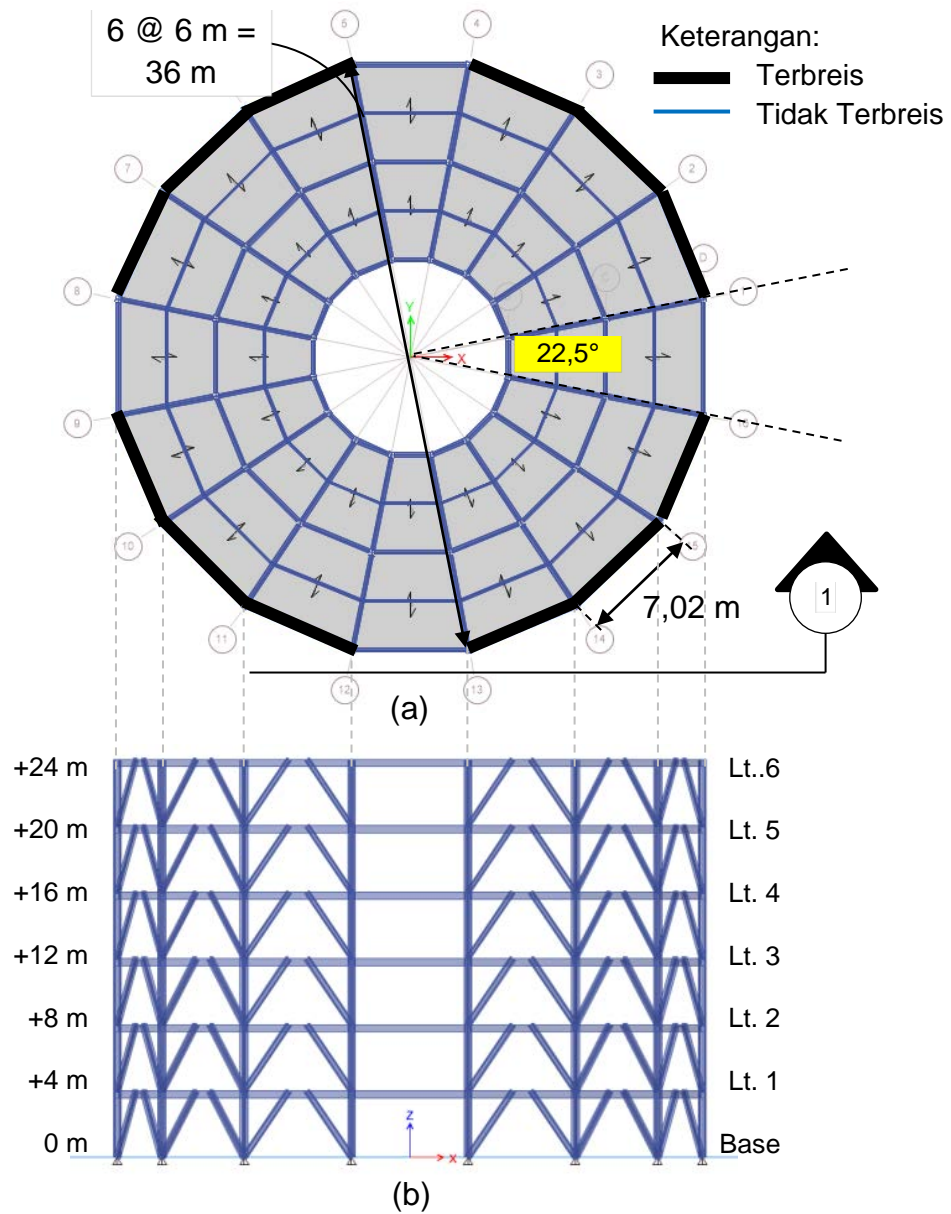
## 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Model struktur yang digunakan adalah gedung tubular dengan struktur rangka baja terbreis penahan momen (Gambar 1.3).

2. Bangunan memiliki 6 lantai dengan ketinggian antar lantai 4 m (Gambar 1.3 b).
3. Pelat lantai komposit menggunakan *metal deck* dengan ketebalan pelat 12 cm (Contoh spesifikasi dapat dilihat pada Lampiran 1).
4. Dilakukan penyederhanaan pada model yaitu tidak diperhitungkannya bukaan tangga atau *lift*.
5. Komponen struktur balok, kolom dan breising menggunakan baja dengan mutu BJ-37 dengan  $f_y = 240$  MPa dan  $f_u = 370$  MPa.
6. Profil yang digunakan mengacu pada profil *Japanese Industrial Standard* (JIS).
7. Dua sistem struktur yang dievaluasi dan dibandingkan: (1) struktur dengan breising konsentris khusus *inverted-V*: dan (2) breising eksentris *inverted-V*.
8. Breising dipasang di setiap tingkat pada portal perimeter bangunan dengan konfigurasi seperti pada Gambar 1.3.
9. Sambungan-sambungan diasumsikan kuat dan tidak mengalami plastifikasi.
10. Bangunan terletak di wilayah dengan kelas situs SE (tanah lunak) dan parameter percepatan gempa  $S_s=1,5g$  dan  $S_1=0,5g$  yang termasuk tinggi yaitu di kota Bandung (Peta Gempa 2017, Puskim).
11. Fungsi bangunan adalah gedung perkantoran.
12. Analisis dinamik menggunakan analisis riwayat waktu dengan 3 rekaman percepatan tanah akibat gempa, yaitu El Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, dan Flores 1992.
13. Peraturan-peraturan yang digunakan adalah:
  - SNI 03-1729:2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
  - SNI 03-1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
  - SNI 03-7860:2015 Ketentuan Seismik untuk Struktur Bangunan Gedung Baja.
  - SNI 03-1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
  - Peta Gempa Indonesia 2017.

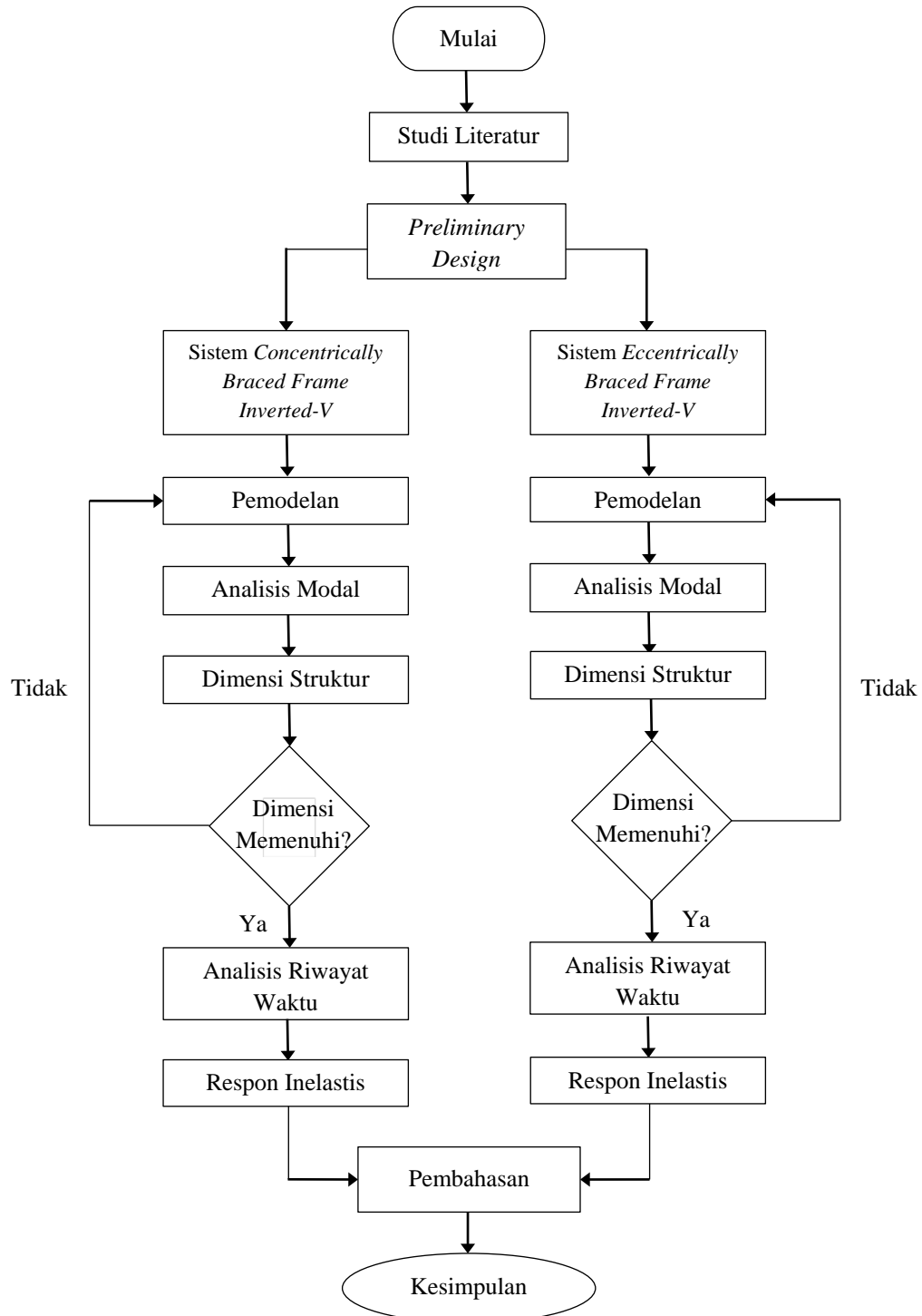
14. Tahap perencanaan dan analisis menggunakan perangkat lunak ETABS 2016 (lisensi UNPAR).



**Gambar 1.3** (a) Denah Lantai Tipikal Struktur Bangunan Tubular; dan (b) Elevasi Portal Perimeter Tipikal dengan Breising Eksentris (Tampak 1)

### 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut (Gambar 1.4).



**Gambar 1.4** Diagram Alir Penelitian

1. Studi Literatur

Sumber literatur berasal dari buku, jurnal, paper, artikel, serta peraturan-peraturan yang berlaku sebagai pedoman dalam perancangan gedung baja tahan gempa.

2. Studi Analisis

Analisis model struktural dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS 2016.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

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

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori-teori dan kode yang dijadikan acuan dalam proses desain dan analisis pada skripsi ini.

### **BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR**

Bab ini menjelaskan tahap perencanaan model struktur yang akan dianalisis dan spesifikasi material yang digunakan dalam struktur dengan menggunakan bantuan ETABS 2016.

### **BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan perbandingan dan hasil analisis riwayat waktu struktur dari program ETABS 2016 berupa perilaku inelastik struktur bangunan baja pada sistem breising konsentrik dan breising eksentrik.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menjelaskan kesimpulan akhir dari hasil analisis yang menjawab rumusan masalah. Bab ini juga berisi saran-saran yang diajukan penulis untuk studi selanjutnya yang berkaitan dengan topik penelitian ini.