

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU INELASTIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG TIDAK BERATURAN TIPE
GEOMETRI VERTIKAL DI-RETROFIT DENGAN
RANGKA BAJA EKSTERNAL *BUCKLING-
RESTRAINED BRACED INVERTED-V***



**FERDINAND MARCELLINO HADIKRISTIANTO
NPM : 2015410056**

PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING: Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.

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

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU INELASTIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG TIDAK BERATURAN TIPE
GEOMETRI VERTIKAL DI-RETROFIT DENGAN
RANGKA BAJA EKSTERNAL *BUCKLING-
RESTRAINED BRACED INVERTED-V***



**FERDINAND MARCELLINO HADIKRISTIANTO
NPM : 2015410056**

BANDUNG, 25 JUNI 2019

KO-PEMBIMBING:

Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.

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
JUNI 2019**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Ferdinand Marcellino Hadikristijanto

NPM : 2015410056

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Studi Perilaku Inelastis Struktur Rangka Beton Bertulang Tidak Beraturan Tipe Geometri Vertikal Di-Retrofit dengan Rangka Baja Eksternal Buckling-Restrained Braced Inverted-V* adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, 25 Juni 2019



Ferdinand Marcellino Hadikristijanto

NPM: 2015410056

**STUDI PERILAKU INELASTIS STRUKTUR RANGKA
BETON BERTULANG TIDAK BERATURAN TIPE
GEOMETRI VERTIKAL DI-*RETROFIT* DENGAN
RANGKA BAJA EKSTERNAL *BUCKLING-RESTRAINED
BRACED INVERTED-V***

**Ferdinand Marcellino Hadikristijanto
NPM: 2015410056**

**Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Ko-Pembimbing: Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.**

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

ABSTRAK

Peraturan pembebanan gempa di Indonesia mengalami perubahan akibat data gempa yang lebih banyak dan analisis yang lebih akurat. Bangunan gedung yang semula didesain menggunakan peraturan pembebanan gempa SNI 03-1726-1989, perlu dievaluasi dengan peraturan pembebanan gempa SNI 1726-2012 untuk menentukan apakah perlu dilakukan *retrofitting*. Bangunan eksisting dalam penelitian ini terletak di Kota Palembang yang mengalami perbesaran gaya geser dasar gempa hampir dua kali lipat sehingga perlu dilakukan *retrofitting* untuk menambah kekuatan dan kekakuannya. Struktur bangunan eksisting dalam penelitian ini adalah rangka beton bertulang 6 lantai dengan ketidakberaturan geometri vertikal. *Retrofitting* dilakukan dengan penambahan rangka baja eksternal terbreis tahan tekuk tanpa melakukan perubahan dimensi dan tulangan pada struktur eksisting. *Retrofitting* dilakukan dengan 2 model, yaitu model 1 dengan pemasangan rangka baja terbreis di tengah sisi luar bentang gedung dan model 2 dengan pemasangan rangka baja terbreis di sudut tepi gedung. *Retrofitting* struktur menggunakan analisis dengan cara elastis dan analisis riwayat waktu dilakukan pada hasil *retrofitting*.

Hasil analisis kedua model menunjukkan simpangan antar lantai memenuhi syarat dan luas tulangan perlu pada struktur eksisting mendekati luas tulangan terpasang. Analisis inelastis riwayat waktu dilakukan dengan menggunakan tiga rekaman percepatan tanah akibat gempa, yaitu El-Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, dan Flores 1992 yang diskalakan terhadap respon spektrum desain. Hasil analisis kedua model tersebut menunjukkan bahwa sendi plastis awalnya terjadi pada breising kemudian pada balok eksisting. Kedua model *retrofitting* menghasilkan faktor kuat lebih (Ω_0) rata-rata 5,13 dan faktor perbesaran defleksi (C_d) rata-rata 5,77. Taraf kinerja model 1 adalah *Immediate Occupancy* untuk gempa Denpasar 1979 dan *Life Safety* untuk gempa El-Centro 1940 serta Flores 1992, sedangkan untuk model 2 adalah *Life Safety* untuk ketiga gempa. Penambahan rangka baja terbreis tahan tekuk lebih efektif bila diletakkan di tengah sisi luar bentang gedung karena menghasilkan luas tulangan perlu lebih sedikit dan taraf kinerja yang lebih baik.

Kata Kunci: *retrofitting*, *buckling-restrained braced*, analisis riwayat waktu, sendi plastis, taraf kinerja struktur

STUDY ON THE INELASTIC BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE FRAMES WITH VERTICAL GEOMETRIC IRREGULARITY RETROFITTED USING EXTERNAL INVERTED-V BUCKLING-RESTRAINED BRACED STEEL FRAMES

Ferdinand Marcellino Hadikristijanto
NPM: 2015410056

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro
Co-Advisor: Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc.

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

ABSTRACT

The seismic provision in Indonesia develops caused by increase of earthquake data and accurate analysis. The building that was originally designed using the previous earthquake code SNI 03-1726-1989 must be evaluated with the new earthquake code SNI 1726-2012 to determine whether retrofitting is necessary. The existing building in this study is located in Palembang where the base shear has increased almost two times so it needs to be retrofitted to provide additional strength and stiffness. The existing building in this study is a 6-story reinforced concrete frames with vertical geometric irregularities. The structure was retrofitted using external buckling-restrained braced steel frames without changing the dimension and reinforcement in the existing structures. Retrofitting is carried out with 2 models, the first model with the installation of external braced frames on the middle span of the building perimeter and the second model with the installation of external braced frames on the corners of the building. The design of retrofitting building using spectrum response analysis and then analyzed by inelastic time history.

The analysis results of the two models showed acceptable drift limit and the reinforcing bar area required was close to the existing reinforcing bar area. Inelastic time history analysis was done by using three earthquake ground acceleration records namely El-Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, and Flores 1992 which is scaled to matched the design spectrum response. The analysis results of the two models showed that initial plastic hinge occurred on the bracings then on the existing beams. The average overstrength factor (Ω_0) of both models is 5,13 and the average deflection amplification factor (C_d) is 5,77. The performance level of the first model is Immediate Occupancy for Denpasar 1979 earthquake and Life Safety for El-Centro 1940 and Flores 1992 earthquakes, while for the second model is Life Safety for all three earthquakes. The buckling-restrained braced steel frames is more effective when placed on the middle span of the building perimeter because it produces less reinforcing bar area required and better performance level.

Keywords: retrofitting, buckling-restrained braced, time history analysis, plastic hinge, structure performance level

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan kasih-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Perilaku Inelastis Struktur Rangka Beton Bertulang Tidak Beraturan Tipe Geometri Vertikal Di-Retrofit dengan Buckling-Restrained Braced Frame 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 penyusunan laporan skripsi ini terdapat beberapa hambatan dan rintangan yang penulis alami, oleh sebab itu 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. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing skripsi yang telah dengan sabar memberikan ilmu pengetahuan, meluangkan waktu, dan membimbing dalam penyusunan skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
2. Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc. selaku dosen ko-pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi, memberikan ilmu serta saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini;
3. Dr. Paulus Karta Wijaya dan Altho Sagara, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi banyak saran dan masukan;
4. Kedua orang tua tercinta Iwan Setiadi dan Dwi Indrajani yang selalu mendoakan, memberikan semangat, dan dukungan materil serta moral sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. Adik penulis yaitu Stanislaus Vincent yang selalu mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis;
6. Seluruh dosen program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan bagi penulis;
7. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendukung penulis selama proses perkuliahan;

8. Teman-teman seperjuangan skripsi yaitu Alvin, Chandra, Lira, Raissa, Martinus, Joanne, dan Fawwaz atas kebersamaan untuk saling berdiskusi dan bertukar pikiran dalam penyusunan skripsi;
9. Teman-teman yang telah membantu dalam pengerjaan skripsi yaitu Chandra, Fawwaz, Kefas, Martinus dan Marcellino Arifin atas masukan dan saran dalam menghadapi kesulitan penyusunan skripsi;
10. Teman-teman dekat yaitu Ega, Deo, Alvin Yo, Eko, Franklin, Jevon, Antonio dan Agung yang selalu menyemangati dalam suka dan duka selama penyusunan skripsi;
11. Semua teman-teman angkatan 2015 yang telah menemani dari awal perkuliahan hingga saat ini;
12. Semua pihak yang telah membantu, memberi dukungan dan semangat selama penulisan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

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, 25 Juni 2019

Penulis,



Ferdinand Marcellino Hadikristijanto

2015410056

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1. Latar Belakang	1-1
1.2. Inti Permasalahan	1-3
1.3. Tujuan Penulisan	1-4
1.4. Pembatasan Masalah	1-4
1.5. Metode Penelitian	1-7
1.6. Sistematika Penulisan	1-8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2-1
2.1. Material Beton Bertulang	2-1
2.2. Pembebanan Bangunan Gedung	2-1
2.2.1. Beban Mati	2-1
2.2.2. Beban Hidup	2-1
2.2.3. Beban Gempa	2-2
2.3. Perencanaan Gedung Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-1989..	2-2
2.3.1. Gaya Geser Dasar	2-2
2.3.2. Koefisien Gempa Dasar (C)	2-2
2.3.3. Faktor Keutamaan	2-4
2.3.4. Faktor Jenis Struktur	2-4
2.3.5. Waktu Getar Alami	2-5
2.3.6. Pembagian Gaya Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung	2-6
2.3.7. Momen Puntir Tingkat	2-6
2.3.8. Pusat Kekakuan dan Pusat Massa	2-6
2.3.9. Eksentrisitas Rencana	2-7
2.3.10. Analisis Ragam Spektrum Respons	2-7

2.3.11.	Simpangan Antar Tingkat.....	2-8
2.4.	Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung Berdasarkan SNI T-15-1991-03.....	2-8
2.4.1.	Kuat Perlu.....	2-8
2.4.2.	Kuat Rencana.....	2-9
2.4.3.	Tingkat Daktilitas	2-9
2.4.4.	Komponen Lentur dari Rangka dengan Tingkat Daktilitas 3.....	2-10
2.5.	Perencanaan Gedung Tahan Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012.....	2-13
2.5.1.	Gempa Rencana.....	2-13
2.5.2.	Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan.....	2-13
2.5.3.	Klasifikasi Situs.....	2-14
2.5.4.	Wilayah Gempa dan Respons Spektrum	2-14
2.5.5.	Pemilihan Sistem Struktur	2-17
2.5.6.	Kombinasi Pembebanan	2-18
2.5.7.	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen.....	2-19
2.5.8.	Simpangan Antar Lantai Tingkat	2-20
2.6.	Ketidakteraturan Vertikal.....	2-21
2.7.	<i>Retrofitting</i> Bangunan (FEMA 356).....	2-22
2.8.	Breising.....	2-22
2.8.1.	<i>Buckling-Restrained Braced Frame</i> (BRBF) (AISC 341-10).....	2-23
2.9.	Model Histerisis.....	2-24
2.10.	Analisis Riwayat Waktu.....	2-26
2.11.	Tingkat Kinerja Struktur	2-27
2.12.	Deformasi Breising	2-29
2.13.	Rotasi Sendi Plastis pada Rangka Beton Bertulang	2-29
2.14.	Metode Integrasi Waktu Wilson	2-30
2.15.	Model Redaman Rayleigh.....	2-32
BAB 3 DESAIN DAN <i>RETROFITTING</i> BANGUNAN		3-1
3.1.	Desain Bangunan Berdasarkan Peraturan Lama.....	3-1
3.1.1.	Data Bangunan	3-1
3.1.2.	Data Material	3-3
3.1.3.	Data Pembebanan	3-3
3.1.4.	Kombinasi Pembebanan	3-4
3.1.5.	Dimensi Penampang	3-4

3.1.6.	Hasil Desain	3-5
3.2.	Analisis Bangunan Lama dengan SNI 03-1726-1989	3-9
3.2.1.	Hasil Analisis Modal.....	3-9
3.2.2.	Cek Ketidakberaturan Struktur	3-9
3.2.3.	Simpangan Antar Lantai Bangunan	3-9
3.3.	Analisis Bangunan Lama dengan SNI 1726-2012	3-10
3.3.1.	Hasil Analisis Modal.....	3-11
3.3.2.	Cek Ketidakberaturan Struktur	3-11
3.3.3.	Simpangan Antar Lantai Bangunan	3-15
3.4.	Perbandingan Hasil Desain antara SNI 03-1726-1989 dan SNI 1726-2012	3-15
3.4.1.	Luas Tulangan Balok Induk Terpasang	3-15
3.4.2.	Analisis <i>P-M-M Ratio</i> Kolom	3-16
3.5.	<i>Retrofitting</i> Bangunan Menggunakan <i>Buckling-Restrained Braced Frame</i> Eksternal.....	3-17
3.5.1.	<i>Retrofitting</i> Bangunan Model 1.....	3-18
3.5.2.	Hasil <i>Retrofitting</i> Bangunan Model 1	3-21
3.5.3.	<i>Retrofitting</i> Bangunan Model 2.....	3-22
3.5.4.	Hasil <i>Retrofitting</i> Bangunan Model 2	3-25
BAB 4 ANALISIS HASIL RETROFITTING		4-1
4.1.	Respons Struktur Hasil Analisis Modal	4-1
4.1.1.	<i>Retrofitting</i> Bangunan Model 1.....	4-1
4.1.2.	<i>Retrofitting</i> Bangunan Model 2.....	4-3
4.2.	Analisis Riwayat Waktu	4-5
4.3.	Hasil Analisis Riwayat Waktu	4-5
4.3.1.	Peralihan Lantai Maksimum	4-5
4.3.2.	Rasio Simpangan Antar Lantai	4-8
4.3.3.	Sendi Plastis	4-10
4.3.4.	Gaya Geser Dasar.....	4-15
4.3.5.	Faktor Perbesaran Defleksi	4-16
4.3.6.	Tingkat Kinerja Struktur	4-17
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1.	Kesimpulan.....	5-1
5.2.	Saran.....	5-2

DAFTAR PUSTAKA.....xxiii

DAFTAR NOTASI

A	= luas penampang
A_g	= luas penampang <i>gross</i>
AISC	= <i>American Institute of Steel Construction</i>
ASCE	= <i>American Society of Civil Engineers</i>
B	= panjang dari denah bangunan pada arah yang ditinjau
BRBF	= <i>Buckling Restrained Braced Frames</i>
b_w	= lebar badan penampang persegi
C	= koefisien gempa dasar
C_d	= faktor perbesaran defleksi
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
C_s	= koefisien respons seismik
C_t	= parameter untuk menentukan periode fundamental struktur
d	= tinggi efektif komponen struktur
d_i	= simpangan horisontal pusat massa pada tingkat i akibat beban gempa horisontal (mm)
E	= modulus elastisitas
e_c	= eksentrisitas teoritis
e_d	= eksentrisitas rencana
F_a	= faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
f_c'	= kuat tekan beton
F_{cre}	= tegangan kritis tekuk baja
FEMA	= <i>Federal Emergency Management Agency</i>
F_i	= beban gempa horisontal dalam arah yang ditinjau yang bekerja pada tingkat i (kg)
F_u	= tegangan putus baja
F_v	= faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik
f_y	= kuat leleh tulangan baja
F_y	= tegangan leleh baja

g	= percepatan gravitasi
h	= tinggi komponen struktur
h_{sx}	= tinggi tingkat di bawah tingkat x
I	= faktor keutamaan gempa
I_e	= faktor keutamaan gempa
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
I_x	= momen inersia penampang terhadap sumbu x
I_y	= momen inersia penampang terhadap sumbu y
K	= faktor jenis struktur
l_n	= bentang bersih komponen struktur
LS	= <i>Life Safety</i>
m	= meter
MCE_R	= <i>Risk Targeted Maximum Considered Earthquake</i>
mm	= milimeter
MPa	= megapascal
P_{uc}	= kapasitas tekan breising
P_{ut}	= kapasitas tarik breising
R	= faktor modifikasi respons
r_x	= radius girasi penampang terhadap sumbu x
r_y	= radius girasi penampang terhadap sumbu y
R_y	= rasio dari kuat leleh yang diinginkan terhadap kuat leleh minimum
SNI	= Standar Nasional Indonesia
$SRPMK$	= Struktur Rangka Penahan Momen Khusus
T	= periode getar alami struktur
T_a	= periode fundamental pendekatan
V	= gaya geser dasar seismik
WF	= <i>Wide Flange</i>
W_i	= bagian dari seluruh beban vertikal yang disumbangkan oleh beban-beban vertikal yang bekerja pada tingkat i (kg) pada peninjauan gempa
W_t	= berat seismik efektif struktur
δ	= peralihan lantai
Δ	= simpangan antar lantai

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis

Ω_0 = faktor kuat lebih

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Breising Konsentris	1-2
Gambar 1.2 Breising Eksentris	1-3
Gambar 1.3 <i>Buckling-Restrained Braced Frames</i>	1-3
Gambar 1.4 Pemodelan Gedung 3D.....	1-4
Gambar 1.5 Model 3D <i>Retrofitting</i> Bangunan Model 1	1-6
Gambar 1.6 Model 3D <i>Retrofitting</i> Bangunan Model 2	1-6
Gambar 1.7 Diagram Alir Penelitian	1-7
Gambar 2.1 Pembagian Wilayah Gempa Indonesia	2-3
Gambar 2.2 Koefisien gempa dasar untuk berbagai wilayah gempa	2-3
Gambar 2.3 Spektrum Respons Desain.....	2-17
Gambar 2.4 Ketidakberaturan Vertikal tipe Geometri Vertikal.....	2-22
Gambar 2.5 Bagian-bagian <i>Buckling-Restrained Braced Frame</i>	2-23
Gambar 2.6 Grafik Kuat Tarik dan Tekan <i>Buckling-Restrained Braced Frame</i>	2-23
Gambar 2.7 Konfigurasi <i>Buckling-Restrained Braced Frame</i>	2-24
Gambar 2.8 Model Histerisis Elastik	2-25
Gambar 2.9 Model Histerisis Kinematik	2-25
Gambar 2.10 Model Histerisis Takeda.....	2-26
Gambar 2.11 Metode Wilson- θ	2-30
Gambar 2.12 Model redaman <i>Rayleigh</i>	2-33
Gambar 3.1 Denah Bangunan Lantai 1-3.....	3-1
Gambar 3.2 Denah Bangunan Lantai 4-6.....	3-2
Gambar 3.3 Tampak Samping Model Bangunan	3-2
Gambar 3.4 Model 3D Bangunan	3-2
Gambar 3.5 Respons Spektrum Kota Palembang SNI 03-1726-1989	3-4
Gambar 3.6 Balok dan Kolom pada elevasi B, C, D, E dan F	3-6
Gambar 3.7 Balok dan Kolom pada elevasi 2.....	3-6
Gambar 3.8 Balok dan Kolom pada elevasi 3.....	3-7
Gambar 3.9 Balok dan Kolom pada elevasi 4.....	3-7
Gambar 3.10 Balok dan Kolom pada elevasi 5.....	3-8
Gambar 3.11 Balok dan Kolom pada elevasi 6.....	3-8

Gambar 3.12 Respons Spektrum Kota Palembang SNI 1726-2012.....	3-10
Gambar 3.13 Model 3D Bangunan <i>Retrofitting</i> Model 1	3-18
Gambar 3.14 Tampak Samping elevasi A dan G Model 1	3-19
Gambar 3.15 Tampak Samping elevasi 7 Model 1	3-19
Gambar 3.16 Tampak Samping elevasi 1 Model 1	3-19
Gambar 3.17 Tampak Atas Lantai 1-3 Model 1	3-20
Gambar 3.18 Tampak Atas Lantai 4-6 Model 1	3-20
Gambar 3.19 Model 3D Bangunan <i>Retrofitting</i> Model 2.....	3-23
Gambar 3.20 Tampak Samping elevasi A dan G Model 2.....	3-23
Gambar 3.21 Tampak Samping elevasi 7 Model 2	3-23
Gambar 3.22 Tampak Samping elevasi 1 Model 2	3-24
Gambar 3.23 Tampak Atas Lantai 1-3 Model 2.....	3-24
Gambar 3.24 Tampak Atas Lantai 4-6 Model 2.....	3-24
Gambar 4.1 Prediksi Peralihan Inelastis Maksimum Model 1	4-2
Gambar 4.2 Simpangan Antar Lantai Model 1.....	4-3
Gambar 4.3 Prediksi Peralihan Inelastis Maksimum Model 2	4-4
Gambar 4.4 Simpangan Antar Lantai Model 2.....	4-4
Gambar 4.5 Peralihan Lantai Maksimum Arah X Model 1	4-6
Gambar 4.6 Peralihan Lantai Maksimum Arah Y Model 1	4-7
Gambar 4.7 Peralihan Lantai Maksimum Arah X Model 2	4-7
Gambar 4.8 Peralihan Lantai Maksimum Arah Y Model 2	4-8
Gambar 4.9 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah X Model 1.....	4-9
Gambar 4.10 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah Y Model 1.....	4-9
Gambar 4.11 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah X Model 2.....	4-10
Gambar 4.12 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah Y Model 2.....	4-10
Gambar 4.13 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa El-Centro X detik 14,0 pada elevasi 4	4-11
Gambar 4.14 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa El-Centro X detik 14,0 pada elevasi 7	4-11
Gambar 4.15 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa El-Centro Y detik 14,0 pada elevasi B dan F	4-12

Gambar 4.16 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa El-Centro Y detik 14,0 pada elevasi A dan G	4-12
Gambar 4.17 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Denpasar X detik 30,0 pada elevasi 4.....	4-12
Gambar 4.18 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Denpasar X detik 30,0 pada elevasi 7.....	4-13
Gambar 4.19 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Denpasar Y detik 30,0 pada elevasi B dan F.....	4-13
Gambar 4.20 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Denpasar Y detik 30,0 pada elevasi A dan G.....	4-13
Gambar 4.21 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Flores X detik 40,0 pada elevasi 4.....	4-14
Gambar 4.22 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Flores X detik 40,0 pada elevasi 7.....	4-14
Gambar 4.23 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Flores Y detik 40,0 pada elevasi B dan F.....	4-14
Gambar 4.24 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Gempa Flores Y detik 40,0 pada elevasi A dan G.....	4-15

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan Gedung (SNI 03-1726-1989).....	2-4
Tabel 2.2 Faktor Jenis Struktur Gedung (SNI 03-1726-1989).....	2-4
Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung (SNI 1726-2012).....	2-14
Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726-2012).....	2-14
Tabel 2.5 Faktor R, Ω_0 , Cd untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726-2012)	2-17
Tabel 2.6 Nilai Parameter Periode Pendekatan, Ct dan x (SNI 1726-2012).....	2-20
Tabel 2.7 Simpangan Antar Lantai Izin Δa (SNI 1726-2012)	2-21
Tabel 2.8 Parameter <i>Interstory Drift Ratio</i> (FEMA 356)	2-28
Tabel 2.9 <i>Acceptance Criteria</i> untuk breising (ASCE 41-13).....	2-29
Tabel 2.10 <i>Acceptance Criteria</i> rotasi sendi plastis balok beton bertulang (ASCE 41-13).....	2-29
Tabel 2.11 <i>Acceptance Criteria</i> rotasi sendi plastis kolom beton bertulang (ASCE 41-13).....	2-30
Tabel 3.1 Dimensi Penampang	3-5
Tabel 3.2 Tipe dan Penulangan Balok	3-5
Tabel 3.3 Tipe dan Penulangan Kolom.....	3-6
Tabel 3.4 <i>Modal Participating Mass Ratios</i> Bangunan Peraturan Lama.....	3-9
Tabel 3.5 Simpangan Antar Lantai Bangunan Lama.....	3-10
Tabel 3.6 <i>Modal Participating Mass Ratios</i> Bangunan Peraturan Baru.....	3-11
Tabel 3.7 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B.....	3-12
Tabel 3.8 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B.....	3-13
Tabel 3.9 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2	3-14
Tabel 3.10 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3	3-14
Tabel 3.11 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B.....	3-14
Tabel 3.12 Simpangan Antar Lantai dengan Gempa Baru	3-15
Tabel 3.13 Perbandingan Luas Tulangan Terpasang Balok Induk	3-16
Tabel 3.14 Nilai <i>P-M-M Ratio</i> pada Kolom.....	3-17
Tabel 3.15 Profil Kolom, Balok, dan Breising Baja yang digunakan.....	3-21
Tabel 3.16 <i>Modal Participating Mass Ratios Retrofitting</i> Model 1	3-21

Tabel 3.17 Perbandingan Luas Tulangan Terpasang dengan <i>Retrofitting</i> Model 1	3-22
Tabel 3.18 <i>Modal Participating Mass Ratios Retrofitting</i> Model 2.....	3-25
Tabel 3.19 Perbandingan Luas Tulangan Terpasang dengan <i>Retrofitting</i> Model 2	3-25
Tabel 4.1 Peralihan Elastis dan Prediksi Peralihan Inelastis Model 1.....	4-1
Tabel 4.2 Simpangan Antar Lantai Model 1	4-2
Tabel 4.3 Peralihan Elastis dan Prediksi Peralihan Inelastis Model 2.....	4-3
Tabel 4.4 Simpangan Antar Lantai Model 2	4-4
Tabel 4.5 Peralihan Lantai Maksimum Hasil Analisis Riwayat Waktu Model 1.....	4-6
Tabel 4.6 Peralihan Lantai Maksimum Hasil Analisis Riwayat Waktu Model 2.....	4-7
Tabel 4.7 Simpangan Antar Lantai Hasil Analisis Riwayat Waktu Model 1	4-8
Tabel 4.8 Simpangan Antar Lantai Hasil Analisis Riwayat Waktu Model 2.....	4-9
Tabel 4.9 Detik Awal Munculnya Sendi Plastis.....	4-11
Tabel 4.10 Gaya Geser Dasar Hasil Analisis Modal dan Riwayat Waktu Model 1	4-15
Tabel 4.11 Gaya Geser Dasar Hasil Analisis Modal dan Riwayat Waktu Model 2	4-16
Tabel 4.12 Faktor Perbesaran Defleksi (C_d) Hasil Analisis Riwayat Waktu Model 1	4-16
Tabel 4.13 Faktor Perbesaran Defleksi (C_d) Hasil Analisis Riwayat Waktu Model 2	4-17
Tabel 4.14 Tingkat Kinerja Struktur Model 1	4-17
Tabel 4.15 Tingkat Kinerja Struktur Model 2	4-18

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Perhitungan Faktor Skala	L1-1
LAMPIRAN 2 Profil Baja Yang Digunakan	L2-1
LAMPIRAN 3 Desain Kapasitas Penampang Baja	L3-1
LAMPIRAN 4 Kurva Histerisis Breising	L4-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini, kebutuhan manusia akan bangunan semakin meningkat karena pesatnya pertumbuhan penduduk. Manusia pada umumnya membutuhkan bangunan dalam berbagai aspek kehidupan seperti kesehatan, pendidikan, ekonomi, dan industri. Namun di sisi lain, ketersediaan lahan semakin berkurang karena banyaknya permintaan akan bangunan. Oleh sebab itu, pembangunan gedung bertingkat mulai banyak dilakukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Bangunan bertingkat dipandang sebagai salah satu solusi untuk mengatasi masalah keterbatasan lahan terutama di kota-kota besar. Akan tetapi, di samping itu timbul masalah lain yang harus diperhatikan yaitu semakin tinggi suatu bangunan maka beban yang dipikul juga akan semakin besar. Beban-beban itu terdiri dari beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi berupa berat sendiri bangunan dan beban hidup yang bekerja pada lantai bangunan, sedangkan beban lateral berupa beban angin dan beban gempa.

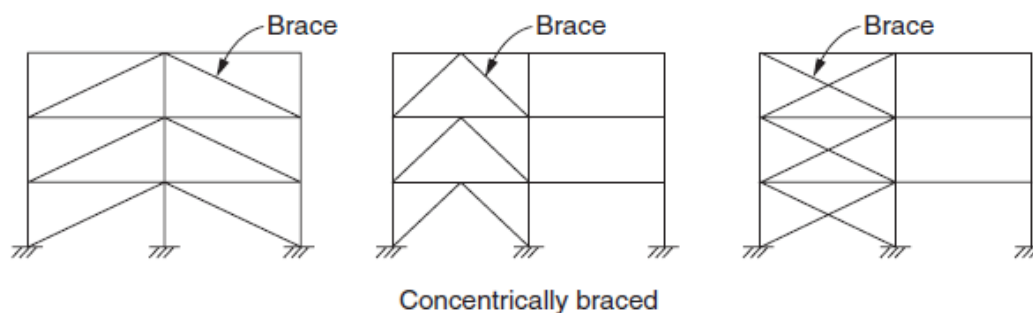
Indonesia merupakan negara rawan gempa karena wilayahnya diapit oleh lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Lempeng - lempeng tersebut masih aktif bergeser hingga sekarang yang mengakibatkan terjadinya gempa tektonik di wilayah Indonesia. Efek dari gempa tektonik tersebut adalah kerusakan pada bangunan yang dapat diminimalisir dengan cara membangun bangunan gedung yang tahan gempa. Namun biaya yang dibutuhkan untuk membangun bangunan gedung tahan gempa cukup besar sehingga perlu dilakukan perencanaan yang baik agar bangunan tahan gempa tersebut tetap ekonomis.

Beton merupakan salah satu material utama yang sering digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat di Indonesia. Beton memiliki beberapa kelebihan salah satunya yaitu lebih kuat menahan tekan jika dibandingkan dengan baja. Selain itu, beton segar juga mudah dibentuk sesuai keinginan dan dapat dipompa untuk dituang di tempat-tempat yang sulit dijangkau dalam proses konstruksi. Namun, di

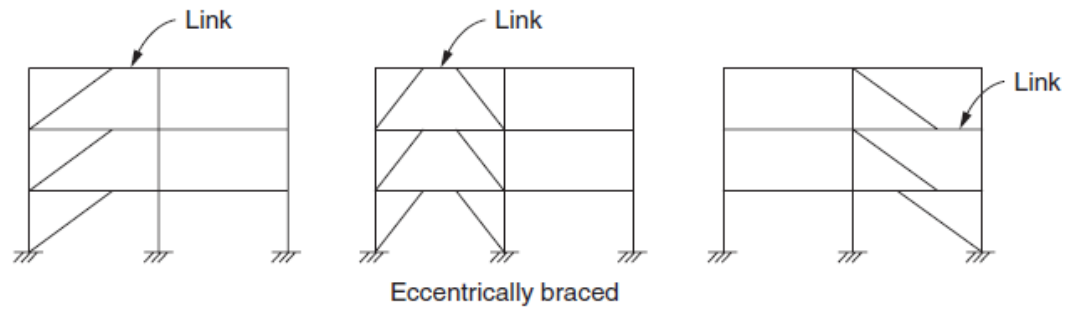
sisi lain beton juga memiliki kekurangan yaitu tidak kuat untuk menahan tarik yang mengakibatkan beton dapat mengalami keretakan.

Retrofitting merupakan perbaikan atau perkuatan pada struktur bangunan yang rusak akibat gempa tanpa merobohkan bangunan tersebut. Terdapat 2 macam *retrofitting*, yaitu *retrofitting* lokal dan *retrofitting* global. *Retrofitting* lokal adalah perkuatan pada elemen struktural dan sambungan, contohnya penambahan tulangan lentur pada balok dan pembungkusan kolom menggunakan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*). *Retrofitting* lokal dilakukan bila pada bangunan terjadi defisiensi pada elemen kolom atau balok. *Retrofitting* global adalah perkuatan yang dilakukan pada keseluruhan sistem struktur bangunan, contohnya pemasangan breising baja atau menambahkan dinding geser. *Retrofitting* global dilakukan apabila bangunan eksisting memiliki defisiensi kekuatan yang cukup besar terhadap gaya gempa berdasarkan peraturan yang baru.

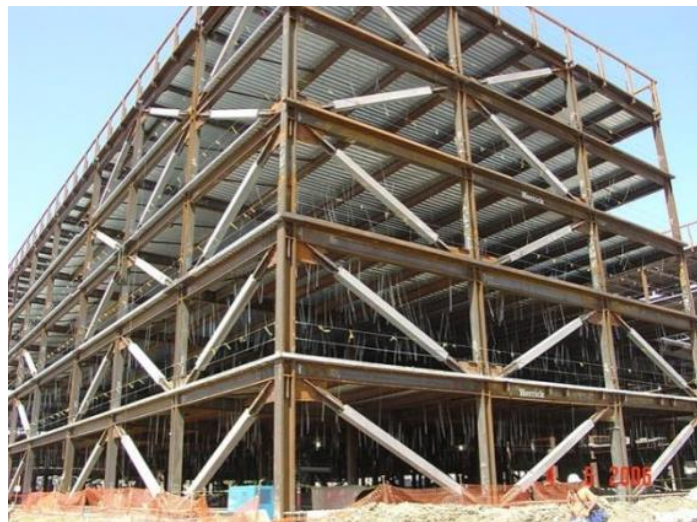
Breising memiliki beberapa jenis yaitu Sistem Rangka Breising Konsentrik (*Concentrically Braced Frame*) dan Sistem Rangka Breising Eksentrik (*Eccentrically Braced Frame*). Seiring perkembangan teknologi konstruksi muncul juga Sistem Rangka Breising Tertahan Tekuk (*Buckling Restrained Braced Frame*) yang merupakan pengembangan dari Sistem Rangka Breising Konsentrik (*Concentrically Braced Frame*). Sistem breising konvensional memiliki kelemahan yaitu rawan mengalami tekuk saat terjadi tekan pada saat memikul beban gempa bolak-balik. Oleh sebab itu, digunakan Sistem Rangka Breising Tertahan Tekuk (*Buckling-Restrained Braced Frame*) untuk mengatasi terjadinya tekuk saat tekan.



Gambar 1.1 Breising Konsentris
(Sumber: Williams, 2011)



Gambar 1.2 Breising Eksentris
(Sumber: Williams, 2011)



Gambar 1.3 *Buckling-Restrained Braced Frames*
(Sumber: <http://www.seismicresilience.org.nz>)

1.2. Inti Permasalahan

Beberapa bangunan bertingkat di Indonesia yang berada di daerah rawan gempa belum didesain menggunakan peraturan gempa yang berlaku saat ini. Hal ini dikarenakan perubahan peta gempa di Indonesia yang mengubah beban gempa yang harus dihitung pada bangunan. Oleh karena itu, gedung yang didesain dengan SNI 03-1726-1989 harus dievaluasi lagi menggunakan SNI 1726-2012 untuk menentukan apakah perlu dilakukan *retrofitting* pada struktur gedung tersebut. Jenis *retrofitting* yang akan digunakan adalah *retrofitting* global dengan pemasangan breising eksternal pada gedung eksisting.

Dalam penggunaan breising konvensional, sering ditemukan masalah yaitu dalam hal tekuk saat terjadi tekan. Tekuk dapat menurunkan kekuatan tekan dari suatu struktur baja sehingga perlu menjadi pusat perhatian dalam mendesain breising baja pada bangunan tahan gempa. Oleh sebab itu, dalam skripsi ini akan

digunakan Sistem Rangka Breising Tertahan Tekuk (*Buckling-Restrained Braced Frame*).

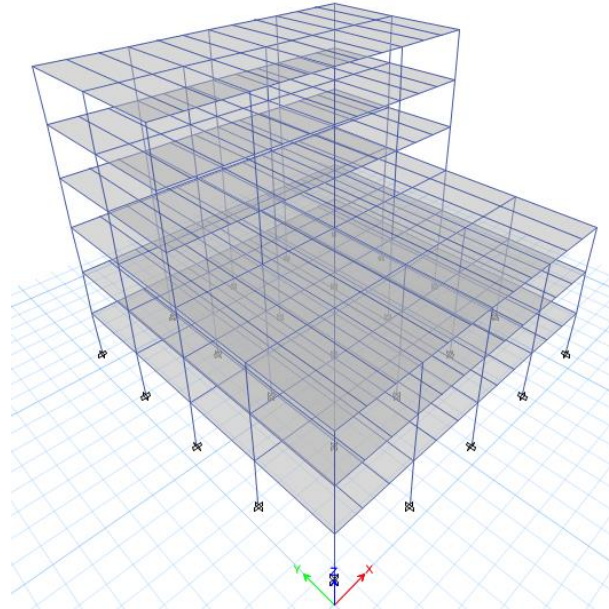
1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah menganalisis dan mengevaluasi gedung rangka beton bertulang yang didesain dengan SNI 03-1726-1989 terhadap SNI 1726-2012. Jika gedung tidak memenuhi persyaratan peraturan baru maka untuk meningkatkan kekuatan dilakukan *retrofitting* dengan pemasangan breising baja tahan tekuk di luar struktur eksisting. Kemudian hasil *retrofitting* bangunan tersebut dianalisis menggunakan analisis nonlinier riwayat waktu untuk mengetahui perilaku inelastis dan kinerja gedung.

1.4. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

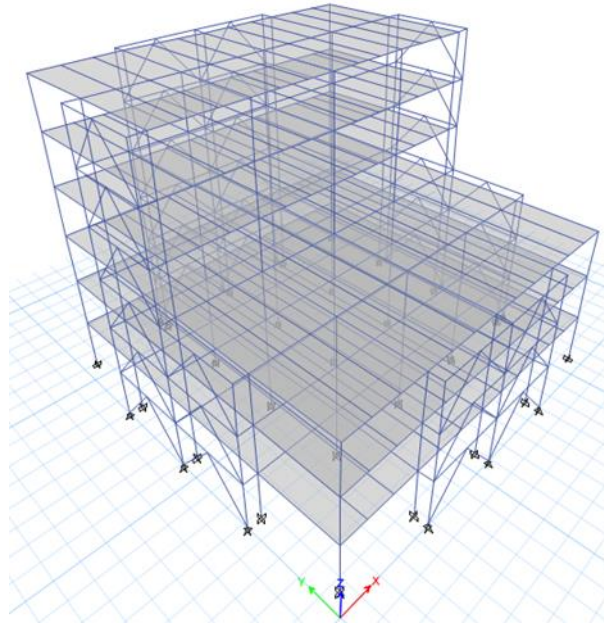
1. Pemodelan gedung struktur beton bertulang 3 dimensi dengan jumlah tingkat 6 lantai, ketinggian masing-masing tingkat 3.5 m terdiri atas 4 bentang dengan panjang masing-masing bentang 6 m.



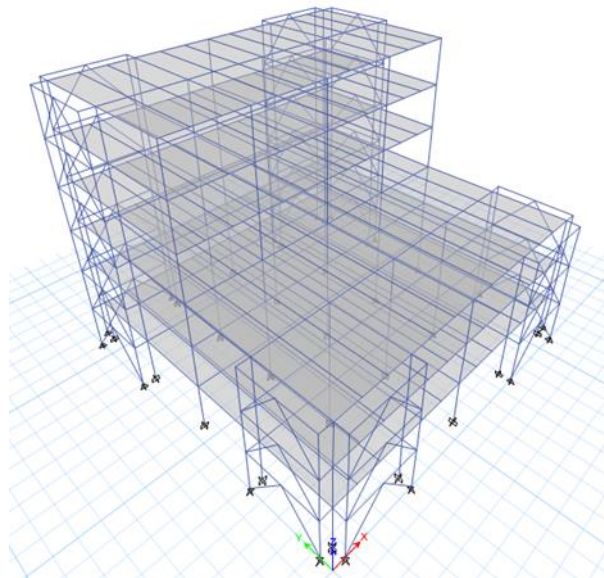
Gambar 1.4 Pemodelan Gedung 3D

2. Gedung memiliki ketidakberaturan tipe geometri vertikal.
3. Bangunan adalah bangunan lama yang didesain terhadap beban gempa dari peraturan SNI 03-1726-1989.

4. Pemodelan dan analisis desain struktur bangunan lama menggunakan bantuan program ETABS 9.7.4. dan desain perkuatan struktur dianalisis dengan program ETABS 16.2.0.
5. Evaluasi terhadap bangunan lama menggunakan metode statik ekuivalen dan analisis respon spektrum.
6. Desain gedung harus memenuhi syarat untuk peraturan lama dan tidak memenuhi untuk peraturan baru.
7. Fungsi bangunan adalah untuk perkantoran.
8. Bangunan terdapat di kota Palembang di atas tanah lunak.
9. Rekaman gempa yang digunakan dalam analisis dinamik riwayat waktu adalah El-Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, dan Flores 1992.
10. Peraturan-peraturan yang digunakan adalah:
 - a. SNI 03-1726-1989 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung
 - b. SNI 03-1727-1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung
 - c. SNI T-15-1991-03 Standar Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
 - d. Peta Gempa Indonesia 1989
 - e. SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung
 - f. SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung
 - g. SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
 - h. Peta Gempa Indonesia 2010.
11. *Retrofitting* menggunakan breising tahan tekuk dengan konfigurasi *inverted-v*. Penambahan rangka baja terbreis dilakukan di luar struktur eksisting dengan dua konfigurasi letak breising seperti terlihat pada **Gambar 1.5** dan **Gambar 1.6**.



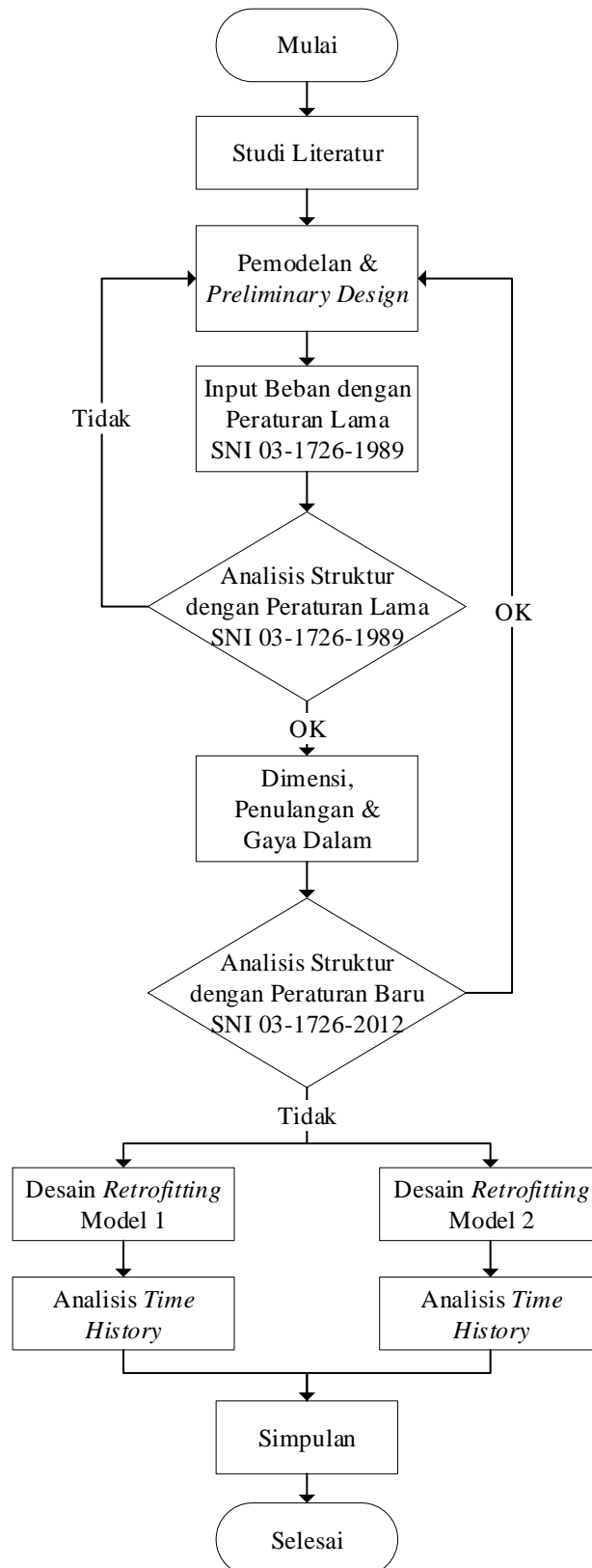
Gambar 1.5 Model 3D *Retrofitting* Bangunan Model 1



Gambar 1.6 Model 3D *Retrofitting* Bangunan Model 2

12. Mutu beton yang digunakan $f_c' = 28$ MPa
13. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah $F_y = 420$ MPa
14. Mutu breising baja yang digunakan BJ 37, $F_y = 240$ MPa, $F_u = 370$ MPa
15. Sistem struktur gedung eksisting adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
16. Dalam studi ini tidak dibahas mengenai sambungan antara struktur beton dan breising baja.
17. Dalam studi ini tidak dibahas mengenai desain fondasi.

1.5. Metode Penelitian



Gambar 1.7 Diagram Alir Penelitian

1. Studi pustaka

Bahan-bahan yang digunakan sebagai referensi berasal dari buku-buku, skripsi, *paper*, jurnal dan peraturan mengenai pembebanan bangunan gedung, perhitungan struktur beton, serta peraturan gempa.

2. Studi analisis

Analisis linier dan non-linier menggunakan bantuan program ETABS 16.2.0, yaitu dengan mensimulasikan gedung mengalami percepatan tanah dasar akibat gempa. Dalam proses perhitungan juga digunakan alat bantu program Mathcad 15 dan Microsoft Excel.

1.6. Sistematika Penulisan

Berikut ini adalah sistematika penulisan skripsi ini:

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar-dasar teori yang akan digunakan dalam desain dan analisis perhitungan struktur bangunan beton bertulang serta analisis *retrofitting*.

BAB 3 DESAIN DAN *RETROFITTING* BANGUNAN

Bab ini berisi desain dan pemodelan struktur bangunan beton bertulang yang berdasarkan SNI 03-1726-1989 menggunakan program ETABS 9.7.4 dan SNI 1726-2012 menggunakan program ETABS 16.2.0, serta pengecekan syarat struktur bangunan tahan gempa. Kemudian gedung diperkuat dengan breising baja tahan tekuk tipe *inverted-v* di luar struktur eksisting.

BAB 4 ANALISIS HASIL *RETROFITTING*

Bab ini berisi analisis gedung hasil *retrofitting* dengan breising baja konsentris tahan tekuk menggunakan analisis riwayat waktu nonlinier untuk mengetahui kinerja dan perilaku inelastis gedung.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan akhir dari hasil analisis dan saran-saran berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada pembahasan yang telah dilakukan.