

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU *RETROFITTING* STRUKTUR
RANGKA BETON BERTULANG DENGAN RANGKA
BREISING BAJA KONSENTRIS KHUSUS**



**FENITA ADINA SANTOSO
NPM : 2014410002**

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: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017**

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU *RETROFITTING* STRUKTUR
RANGKA BETON BERTULANG DENGAN RANGKA
BREISING BAJA KONSENTRIS KHUSUS**



**FENITA ADINA SANTOSO
NPM : 2014410002**

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: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017**

SKRIPSI

**STUDI PERILAKU *RETROFITTING* STRUKTUR
RANGKA BETON BERTULANG DENGAN RANGKA
BREISING BAJA KONSENTRIS KHUSUS**



**FENITA ADINA SANTOSO
NPM : 2014410002**

BANDUNG, 18 DESEMBER 2017

KO-PEMBIMBING:

PEMBIMBING:

Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Fenita Adina Santoso

NPM : 2014410002

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Studi Perilaku Retrofitting Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Rangka Breising Baja Konsentris Khusus* 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 2017



Fenita Adina Santoso

NPM: 2014410002

STUDI PERILAKU *RETROFITTING* STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN RANGKA BREISING BAJA KONSENTRIS KHUSUS

Fenita Adina Santoso
NPM: 2014410002

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: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DESEMBER 2017

ABSTRAK

Lempeng-lempeng tektonik mengalami pergeseran dari waktu ke waktu dan riwayat terbaru data gempa yang terjadi dijadikan dasar perubahan peraturan beban gempa di Indonesia. Gedung yang telah didesain menggunakan peraturan dengan kekuatan gempa desain lama perlu dianalisis menggunakan gaya gempa pada peraturan baru untuk menentukan apakah perlu dilakukan *retrofitting*. Dari studi berbagai kota di Indonesia, perbesaran gaya gempa terbesar dengan peraturan baru adalah di kota Palu, yaitu 2,23 kali, sehingga perlu dilakukan *retrofitting*. Struktur bangunan eksisting pada skripsi ini adalah rangka beton bertulang 6 lantai dengan daktilitas penuh. *Retrofitting* struktur tersebut dilakukan dengan penambahan breising dengan 2 cara, yaitu model *retrofitting* 1 (R1) dengan pemasangan breising internal dan model *retrofitting* 2 (R2) dengan menambah struktur rangka breising eksternal tanpa melakukan perubahan pada struktur eksisting. Struktur setelah *diretrofit*, dianalisis secara elastis dan inelastis.

Kedua model menunjukkan hasil yang baik dengan *drift* dan luas tulangan perlu yang lebih kecil daripada luas tulangan terpasang ketika dianalisis secara elastis. Analisis inelastis dilakukan dengan analisis inelastis riwayat waktu dengan menggunakan 3 rekaman percepatan tanah dasar gempa El-Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T dan Flores 1992 yang diskalakan terhadap respon spektrum disain. Dari analisis inelastis tersebut, didapat bahwa model R1 mengalami kegagalan pada kolom yang ditandai dengan deformasi aksial yang besar, sedangkan pada model R2 menunjukkan hasil yang baik karena terjadi sendi plastis pada breising. Desain *retrofit* bangunan tidak hanya dianalisis secara elastis tetapi juga inelastis untuk mengetahui efek dinamik dari penambahan elemen pada struktur eksisting. Penambahan struktur rangka breising eksternal lebih efektif daripada breising internal karena tidak menambah gaya dalam pada balok, kolom dan beban lateral pada fondasi eksisting. Model R2 mempunyai faktor kuat lebih (Ω_0) sebesar 4,57 dan faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar 5,37. Taraf kinerja dari model R2 adalah *immediate occupancy* pada gempa El-Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, serta *life safety* pada gempa Flores 1992.

Kata Kunci: *retrofitting*, breising konsentris, analisis riwayat waktu, sendi plastis, kinerja

STUDY ON THE BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE FRAMES RETROFIT USING STEEL SPECIAL CONCENTRICALLY BRACED FRAMES

Fenita Adina Santoso
NPM: 2014410002

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

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
DECEMBER 2017

ABSTRACT

The movement of tectonic plates from time to time and seismic data from the recent earthquakes that ever happened were made as basis for the development of seismic provision in Indonesia. The building that was designed based on the old seismic load need for being evaluated with the new design seismic load to decide whether it is necessary to be retrofitted or not. From study in many cities in Indonesia, the significant increment of new seismic load is located in Palu, which is 2,23 times higher, so that there is necessary of retrofiting. The existing structure in this studi is 6-story full ductile reinforced concrete frames. The structure was retrofit in two ways, model 1 (R1) with installing internal element bracing and model 2 (R2) with adding external braced frames without changing the internal structural element. These retrofitted structures were analyzed elastic and inelastically.

Both of the two models when they were analyzed elastically showed acceptable drift limit and reinforcing bar area required which is slightly smaller than the existing. Inelastic time history analysis was done using 3 earthquake ground acceleration records namely El-Centro 1940 N-S, Denpasar 1979 B-T, and Flores 1992 which are mathced to respons spectrum. The result of the analysis of model R1 was failed because a large axial deformation in the reinforced concrete columns, whereas model R2 showed a good result due to the formations of plastic hinges at braces. Therefore, retrofit design has to be analyzed both elastic and inelastically to observe the dynamic effect of adding internal elements to the existing structure. In retrofiting of RC frames, adding external braced frames is more effective than installing internal bracing because it doesn't add any internal forces to the existing beam and columns and lateral force on the foundations. The overstrength factor (Ω_0) of model 2 is 4,57 and the deflection amplification factor (Cd) is 5,37. The performance level of model R2 is immediate occupancy on El-Centro 1940 N-S and Denpasar 1979 B-T earthquake, and life safety on Flores 1992 earthquake.

Keywords: retrofiting, concentrically braced frames, time history analysis, plastic hinge, performance

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Perilaku Retrofitting Struktur Rangka Beton Bertulang dengan Rangka Breising Baja Konsentris Khusus*. 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. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing skripsi yang telah dengan penuh kesabaran memberikan ilmu, meluangkan waktu, dan membimbing penyusunan skripsi ini, serta mengajarkan nilai-nilai yang berguna bagi kehidupan perkuliahan dan selepas perkuliahan;
2. Naomi Pratiwi, B.Eng., M.Sc. selaku dosen ko-pembimbing yang dengan sabar meluangkan waktu untuk berdiskusi bersama, memberikan ilmu dan saran untuk penyusunan skripsi ini;
3. Dr. Paulus Karta Wijaya dan Altho Sagara, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi banyak masukan;
4. Kedua orang tua tercinta Binardi dan Lina Susanti yang senantiasa mendoakan, menghibur, memberikan semangat, dan dukungan materil serta moral agar skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. Kakak tersayang Beni Adi Santoso selaku saudara kandung penulis yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta penghiburan kepada penulis;
6. Dosen-dosen program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu pengetahuan bagi penulis;
7. Staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendukung penulis selama proses perkuliahan;

8. Teman-teman seperjuangan skripsi yaitu Andreas, Fidelis, Liesly, Joey, Ryan, Timothy, dan Henry atas kebersamaan untuk saling berbagi dan bertukar pikiran dalam penyusunan skripsi;
9. Teman-teman karib yaitu Adi, Angelia, Astrid, Beauti, Benny, Erwin, Gita, Hasna, Liyans, Ressa, dan Shienny yang selalu menyemangati dalam suka dan duka serta menjadi tempat bertukar pikiran selama ini;
10. Keluarga Mission 21 terutama Yovita, Bambang, Stevanie, Meivina, Adela, Cindy, Stefanny, Eveline, Laura, Alma, dan Dhanny yang mendoakan dan mendukung penulis selama menyusun skripsi;
11. Semua teman-teman angkatan 2014 untuk kebersamaannya selama ini;
12. Semua pihak yang telah membantu, memberi dukungan dan semangat selama penulisan 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 2017

Penulis,



Fenita Adina Santoso

2014410002

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	1-xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	1-xix
DAFTAR GAMBAR	1-xxi
DAFTAR TABEL	1-xxv
DAFTAR LAMPIRAN	1-xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penelitian	1-2
1.4 Pembatasan Masalah	1-3
1.5 Metode Penelitian	1-7
1.6 Sistematika Penulisan	1-9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2-1
2.1 SNI 03-1726-1989 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung	2-1
2.1.1. Daktilitas	2-1
2.1.2. Beban Geser Dasar Akibat Gempa	2-2
2.1.3. Koefisien Gempa Dasar C	2-3
2.1.4. Faktor Keutamaan	2-5
2.1.5. Faktor Jenis Struktur	2-5
2.1.6. Waktu Getar Alami Struktur Gedung	2-6
2.1.7. Pembagian Beban Geser Dasar Akibat Gempa Sepanjang Tinggi Gedung	2-7
2.1.8. Momen Puntir Tingkat	2-7
2.1.9. Pusat Kekakuan dan Pusat Massa	2-8
2.1.10. Eksentrisitas Rencana	2-8
2.1.11. Analisis Ragam Spektrum Respons	2-9
2.1.12. Simpangan Antar Tingkat	2-10
2.2 SNI 03-1727-1989 Tata Cara Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung	2-10

2.2.1	Beban Mati	2-10
2.2.2	Beban Hidup	2-10
2.2.3	Beban Gempa	2-11
2.3	SNI T-15-1991-03 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung	2-11
2.3.1.	Kuat Perlu	2-11
2.3.2.	Kuat Rencana.....	2-12
2.3.3.	Tingkat Daktilitas	2-12
2.3.4.	Komponen Lentur dari Rangka yang Mempunyai Tingkat Daktilitas 3	2-13
2.4	SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung	2-16
2.4.1.	Gempa Rencana	2-16
2.4.2.	Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan	2-16
2.4.3.	Klasifikasi Situs	2-17
2.4.4.	Wilayah Gempa dan Respons Spektrum	2-18
2.4.5.	Pemilihan Sistem Struktur	2-22
2.4.6.	Kombinasi Pembebanan	2-23
2.4.7.	Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen	2-25
2.4.8.	Simpangan Antar Lantai Tingkat	2-26
2.5	SNI 1727-2013 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung	2-27
2.5.1	Beban Mati	2-27
2.5.2	Beban Hidup	2-28
2.5.3	Beban Gempa	2-28
2.6	SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung	2-28
2.6.1	Desain balok	2-29
2.6.2	Desain kolom.....	2-31
2.7	<i>Retrofitting</i> Bangunan (FEMA 356)	2-32
2.7.1	Target Retrofitting	2-33
2.7.2	Level Kinerja Struktur	2-33
2.8	<i>Retrofitting</i> dengan Breising Baja.....	2-36
2.9	Sistem Rangka Breising Konsentris Khusus	2-37
2.10	Persyaratan Elemen Breising	2-39
2.11	Model Histerisis	2-40
2.12	Analisis Riwayat Waktu	2-42

2.13	Rekaman Percepatan Tanah	2-43
2.14	Matched to Response Spectrum	2-45
2.14.1	<i>Frequency Domain Method</i>	2-45
2.14.2	<i>Time Domain Method</i>	2-45
2.15	Deformasi Breising.....	2-46
2.16	Rotasi Sendi Plastis pada Rangka Beton Bertulang	2-47
BAB 3 DESAIN DAN RETROFITTING BANGUNAN.....		3-1
3.1	Studi Perbandingan Gaya Geser Dasar antara SNI 03-1726-1989 dan SNI 1726-2012	3-1
3.2	Desain Bangunan dengan SNI 03-1726-1989	3-5
3.2.1	Data Bangunan	3-7
3.2.2	Data Material.....	3-7
3.2.3	Data Pembebanan.....	3-8
3.2.4	Kombinasi Pembebanan.....	3-9
3.2.5	Dimensi Penampang.....	3-9
3.2.6	Hasil Desain	3-10
3.3	Analisis Bangunan Lama dengan SNI 1726-2012	3-14
3.4	Studi Perbandingan Hasil Desain antara SNI 03-1726-1989 dan SNI 1726-2012.....	3-15
3.5	Analisis Riwayat Waktu Inelastis Struktur Bangunan Lama	3-22
3.6	<i>Retrofitting</i> Bangunan Menggunakan Breising Baja Konsentris pada Struktur Eksisting.....	3-25
3.7	Respons Elastis dan Inelastis Struktur Model 1	3-27
3.7.1	Respons Elastis Model 1	3-27
3.7.2	Respons Inelastis Model 1	3-28
3.8	<i>Retrofitting</i> Bangunan Menggunakan Breising Baja Eksternal	3-28
3.9	Respon Struktur Model 2 Hasil Analisis Modal	3-34
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN		4-1
4.1	Analisis Riwayat Waktu	4-1
4.2	Respons Inelastis Struktur	4-1
4.2.1	Peralihan Lantai Maksimum	4-2
4.2.2	Rasio Simpangan Antar Lantai	4-3
4.2.3	Sendi Plastis	4-5
4.2.4	Gaya Geser Dasar.....	4-7
4.2.5	Faktor Pembesaran Defleksi	4-7
4.2.6	Tingkat Kinerja Struktur	4-8

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan	5-1
5.2 Saran	5-2
DAFTAR PUSTAKA.....	xxiv
LAMPIRAN 1	L1-1
LAMPIRAN 2	L2-1
LAMPIRAN 3	L3-1
LAMPIRAN 4	L4-1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

- A = luas penampang
- A_g = luas penampang gross
- ASCE = *American Society of Civil Engineers*
- B = panjang seluruhnya dari denah struktur pada arah yang ditinjau
- b_w = lebar badan penampang persegi
- C = koefisien gempa dasar
- C_d = faktor pembesaran defleksi
- CP = *Collapse Prevention*
- 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 = *Federal Emergency Management Agency*
- F_i = beban gempa horisontal dalam arah yang ditinjau yang bekerja pada tingkat i (kg)
- 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
- I_e = faktor keutamaan

IO = *Immediate Occupancy*
 I_x = momen inersia penampang terhadap sumbu x
 I_x = momen inersia penampang terhadap sumbu x
 K = faktor jenis struktur
 l_n = bentang bersih untuk komponen struktur
 LS = *Life Safety*
 m = meter
 MCE_R = *Risk Targeted Maximum Considered Earthquake*
 mm = milimeter
 MPa = mega Pascal
 P_{uc} = kapasitas tekan breis
 P_{ut} = kapasitas tarik breis
 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
 $SCBF$ = *Special Concentrically Braced Frames*
 SNI = standar Nasional Indonesia
 $SRBK$ = Sistem Rangka Breising Konsentris Khusus
 T = waktu getar alami struktur
 T_a = periode fundamental pendekatan
 WF = *Wide Flange*
 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 Gambar tampak atas bangunan	1-3
Gambar 1.2 Tampak samping model bangunan.....	1-3
Gambar 1.3 Model 3 dimensi bangunan lama	1-4
Gambar 1.4 Model Retrofitting 1 (R1)	1-4
Gambar 1.5 Model retrofitting 2 (R2).....	1-4
Gambar 1.6 Diagram Alir Metode Penulisan Skripsi	1-8
Gambar 2.1 Perilaku suatu struktur gedung terhadap gaya gempa.....	2-2
Gambar 2.2 Pembagian wilayah gempa untuk Indonesia	2-3
Gambar 2.3 Koefisien gempa dasar untuk berbagai wilayah gempa.....	2-4
Gambar 2.4 Batas Bawah Spektrum Respons MCE_R Deterministik	2-21
Gambar 2.5 Konfigurasi SRBK	2-37
Gambar 2.6 Geometri Pemendekan dan Lokasi Terjadi Leleh	2-37
Gambar 2.7 Model Histeresis Elastis	2-40
Gambar 2.8 Model Histeresis Kinematik.....	2-41
Gambar 2.9 Model Histeresis Takeda.....	2-42
Gambar 2.10 Gempa El-Centro 1940 N-S	2-44
Gambar 2.11 Rekaman Gempa Denpasar 1979 B-T.....	2-44
Gambar 2.12 Rekaman Gempa Flores 1992	2-44
Gambar 2.13 Model Redaman Rayleigh.....	2-50
Gambar 3.1 Respons spektrum Palu tanah lunak.....	3-2
Gambar 3.2 Respons spektrum Palembang tanah lunak	3-2
Gambar 3.3 Respons spektrum Jambi tanah lunak	3-3
Gambar 3.4 Respons spektrum Bandung tanah lunak	3-3
Gambar 3.5 Respons spektrum Kendari tanah lunak	3-3
Gambar 3.6 Respons spektrum Semarang tanah lunak.....	3-4
Gambar 3.7 Respons spektrum Semarang tanah lunak.....	3-4
Gambar 3.8 Respons spektrum Surabaya tanah lunak	3-4
Gambar 3.9 Respons spektrum Gorontalo tanah lunak.....	3-5
Gambar 3.10 Respons spektrum Medan tanah lunak.....	3-5
Gambar 3.11 Denah Model Bangunan.....	3-6

Gambar 3.12 Tampak Samping Model Bangunan	3-6
Gambar 3.13 Model 3D bangunan	3-7
Gambar 3.14 Respons Spektrum Kota Palu SNI 03-1726-1989	3-9
Gambar 3.15 Balok dan Kolom pada Elevasi 1 dan 5	3-11
Gambar 3.16 Balok dan Kolom pada elevasi 2 dan 4	3-12
Gambar 3.17 Balok dan Kolom pada Elevasi 3.....	3-12
Gambar 3.18 Balok dan Kolom pada Elevasi A dan E	3-13
Gambar 3.19 Balok dan Kolom pada Elevasi B dan D	3-13
Gambar 3.20 Balok dan Kolom pada Elevasi C	3-14
Gambar 3.21 Respons Spektrum kota Palu; SNI 1726-2012	3-14
Gambar 3.22 Luas Tulangan Terpasang pada Elevasi 1 dan 5.....	3-16
Gambar 3.23 Luas Tulangan Perlu Elevasi 1 dan 5; SNI 1726-2012.....	3-16
Gambar 3.24 Luas Tulangan Terpasang pada Elevasi 2 dan 4.....	3-17
Gambar 3.25 Luas Tulangan Perlu Elevasi 2 dan 4; SNI 1726-2012.....	3-17
Gambar 3.26 Luas Tulangan Perlu Elevasi 3; SNI 1726-2012	3-18
Gambar 3.27 Luas Tulangan Terpasang pada Elevasi 3	3-18
Gambar 3.28 Luas Tulangan Terpasang pada Elevasi A dan E	3-19
Gambar 3.29 Luas Tulangan Perlu Elevasi A dan E; SNI 1726-2012	3-19
Gambar 3.30 Luas Tulangan Terpasang pada Elevasi B dan D	3-20
Gambar 3.31 Luas Tulangan Perlu Elevasi B dan D; SNI 1726-2012	3-20
Gambar 3.32 Luas Tulangan Perlu Elevasi C; SNI 1726-2012.....	3-21
Gambar 3.33 Luas Tulangan Terpasang pada Elevasi C.....	3-21
Gambar 3.34 Kurva Tegangan-Regangan Material Baja	3-23
Gambar 3.35 Kurva Tegangan-Regangan Material Beton	3-23
Gambar 3.36 Sendi Plastis pada Elevasi 1 dan 5 detik ke 3,1	3-24
Gambar 3.37 Sendi Plastis pada Elevasi 2 dan 4 detik ke 3,1	3-24
Gambar 3.38 Sendi Plastis pada Elevasi 3 detik ke 3,1.....	3-24
Gambar 3.39 Model 3D bangunan model 1	3-25
Gambar 3.40 Tampak samping bangunan model 1	3-26
Gambar 3.41 Tampak atas bangunan model 1	3-26
Gambar 3.42 Sendi Plastis pada Model 1 Elevasi 1 dan 5	3-28
Gambar 3.43 Model 3D bangunan model 2	3-29

Gambar 3.44 Tampak samping rangka breising model 2	3-30
Gambar 3.45 Tampak atas bangunan model 2	3-30
Gambar 3.46 Luas Tulangan Perlu Setelah <i>Retrofitting</i> elevasi 1 dan 5	3-31
Gambar 3.47 Luas Tulangan Perlu Setelah <i>Retrofitting</i> elevasi 2 dan 4	3-32
Gambar 3.48 Luas Tulangan Perlu Setelah <i>Retrofitting</i> elevasi 3	3-32
Gambar 3.49 Luas Tulangan Perlu Setelah <i>Retrofitting</i> elevasi A dan E	3-33
Gambar 3.50 Luas Tulangan Perlu Setelah <i>Retrofitting</i> elevasi B dan D	3-33
Gambar 3.51 Luas Tulangan Perlu Setelah <i>Retrofitting</i> elevasi C	3-34
Gambar 3.52 Prediksi Peralihan Inelastis Arah X	3-35
Gambar 3.53 Prediksi Peralihan Inelastis Arah Y	3-35
Gambar 3.54 Simpangan antar Lantai Arah X	3-36
Gambar 3.55 Simpangan antar Lantai Arah Y	3-36
Gambar 3.56 Simpangan Antar Lantai arah Y	3-36
Gambar 4.1 Peralihan Lantai Maksimum Arah-X	4-2
Gambar 4.2 Peralihan Lantai Maksimum Arah Y	4-3
Gambar 4.3 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah X	4-4
Gambar 4.4 Rasio Simpangan Antar Lantai Arah-Y	4-4
Gambar 4.5 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat El-Centro arah X saat detik 1,9	4-5
Gambar 4.6 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat El-Centro arah X saat detik 14,0	4-5
Gambar 4.7 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat El-Centro arah X saat detik 2,2	4-5
Gambar 4.8 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat El-Centro arah X saat detik 14,0	4-5
Gambar 4.9 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Denpasar arah X saat detik 6,2	4-6
Gambar 4.10 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Denpasar arah X saat detik 30,0	4-6
Gambar 4.11 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Denpasar arah X saat detik 6,3	4-6

Gambar 4.12 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Denpasar arah X saat detik 30,0	4-6
Gambar 4.13 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Flores arah X saat detik 17,8	4-6
Gambar 4.14 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Flores arah X saat detik 40,0	4-6
Gambar 4.15 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Flores arah X saat detik 25,4	4-7
Gambar 4.16 Lokasi Kumulatif Sendi Plastis Akibat Flores arah X saat detik 40,0	4-7
Gambar 4.17 D/C ratio Struktur Akibat El-Centro arah X (IO).....	4-9
Gambar 4.18 D/C ratio Struktur Akibat El-Centro arah Y (IO).....	4-9
Gambar 4.19 D/C ratio Struktur Akibat El-Centro arah X (IO).....	4-10
Gambar 4.20 D/C ratio Struktur Akibat El-Centro arah Y (IO).....	4-10
Gambar 4.21 D/C ratio Struktur Akibat El-Centro arah X (IO).....	4-11
Gambar 4.22 D/C ratio Struktur Akibat El-Centro arah Y (IO).....	4-11
Gambar 4.23 D/C ratio Struktur Akibat Denpasar Arah X (IO)	4-12
Gambar 4.24 D/C ratio Struktur Akibat Denpasar Arah Y (IO)	4-12
Gambar 4.25 D/C ratio Struktur Akibat Denpasar Arah X (IO)	4-13
Gambar 4.26 D/C ratio Struktur Akibat Denpasar Arah Y (IO)	4-13
Gambar 4.27 D/C ratio Struktur Akibat Denpasar Arah X (IO)	4-14
Gambar 4.28 D/C ratio Struktur Akibat Denpasar Arah Y (IO)	4-14
Gambar 4.29 D/C ratio Struktur Akibat Flores Arah X (LS)	4-15
Gambar 4.30 D/C ratio Struktur Akibat Flores Arah Y (LS)	4-15
Gambar 4.31 D/C ratio Struktur Akibat Flores Arah X (LS)	4-16
Gambar 4.32 D/C ratio Struktur Akibat Flores Arah Y (LS)	4-16
Gambar 4.33 D/C ratio Struktur Akibat Flores Arah X (LS)	4-17
Gambar 4.34 D/C ratio Struktur Akibat Flores Arah X (LS)	4-17

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan Berbagai Jenis Gedung (SNI 03-1726-1989)	2-5
Tabel 2.2 Faktor Jenis Struktur untuk Berbagai Struktur Jenis Gedung (SNI 03-1726-1989)	2-5
Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung (SNI 1726-2012)	2-16
Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726-2012)	2-17
Tabel 2.5 Klasifikasi Situs (SNI 1726-2012)	2-17
Tabel 2.6 Koefisien situs, F_a , SNI 1726:2012	2-19
Tabel 2.7 Koefisien situs, F_v , SNI 1726:2012	2-20
Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda Pendek, SNI 1726:2012	2-22
Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik, SNI 1726:2012	2-22
Tabel 2.10 Faktor R , ω_{ao} , C_d untuk Sistem Penahan Gaya Gempa, SNI 1726:2012	2-23
Tabel 2.11 Nilai Parameter Perioda Pendekatan, C_t dan x , SNI 1726:2012	2-26
Tabel 2.12 Simpangan Antar Lantai Ijin Δ_a , SNI 1726-2012	2-27
Tabel 2.13 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum untuk Apartemen, SNI 1727-2013	2-28
Tabel 2.14 Tabel Kontrol Kerusakan dan Level Kinerja Bangunan (FEMA 356)	2-34
Tabel 2.15 Tabel Level Kinerja Struktur dan Kerusakan (FEMA 356)	2-35
Tabel 2.16 Batas Rasio Lebar-Ketebalan (AISC 341-10)	2-39
Tabel 2.17 <i>Acceptance Criteria</i> untuk breising (ASCE 41-13)	2-46
Tabel 2.18 <i>Acceptance criteria</i> rotasi sendi plastis untuk kolom beton bertulang (ASCE 41-13)	2-47
Tabel 2.19 <i>Acceptance criteria</i> rotasi sendi plastis balok beton bertulang (ASCE 41-13)	2-47
Tabel 3.1 Perbandingan Gaya Geser Dasar di Berbagai Kota	3-1
Tabel 3.2 Tabel Dimensi Penampang	3-10
Tabel 3.3 Tipe dan Penulangan Balok	3-10
Tabel 3.4 Tipe dan Penulangan Kolom	3-11

Tabel 3.5 Tabel Simpangan antar Lantai.....	3-22
Tabel 3.6 Profil Breising Baja yang digunakan.....	3-26
Tabel 3.7 Rasio Simpangan Antar Lantai Model 1	3-27
Tabel 3.8 Peralihan Antar Lantai Maksimum Model 1	3-27
Tabel 3.9 Profil Breising Baja yang digunakan.....	3-30
Tabel 3.10 Profil kolom perkuatan yang digunakan.....	3-31
Tabel 3.11 Peralihan Elastis dan Prediksi Peralihan Inelastis	3-35
Tabel 3.12 Simpangan Antar Lantai Maksimum	3-36
Tabel 4.1 Peralihan Maksimum Tiap Lantai	4-2
Tabel 4.2 Rasio Simpangan antar Lantai.....	4-3
Tabel 4.3 Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Modal dan Analisis Riwayat Waktu	4-7
Tabel 4.4 Faktor Pembesaran Defleksi.....	4-8
Tabel 4.5 Taraf Kinerja Model 2	4-18

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 <i>PRELIMINARY DESIGN</i> STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG	L1-1
LAMPIRAN 2 FAKTOR SKALA	L2-1
LAMPIRAN 3 PROFIL BAJA YANG DIGUNAKAN	L3-1
LAMPIRAN 4 DESAIN KAPASITAS RANGKA BRESING KONSENTRIS KHUSUS	L4-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya pertumbuhan penduduk Indonesia menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan fasilitas ruang untuk beraktivitas. Kebutuhan tersebut di kota-kota besar dibatasi oleh ketersediaan lahan dan harganya yang mahal . Pembangunan gedung bertingkat menjadi solusi untuk mengatasi masalah yang ada.

Desain gedung bertingkat tinggi memerlukan perhatian khusus karena semakin tinggi suatu bangunan, beban yang dipikul semakin besar. Beban yang dipikul terdiri dari beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi berupa berat sendiri bangunan dan beban hidup yang bekerja pada lantai, sedangkan beban lateral berupa beban angin dan beban gempa.

Indonesia termasuk daerah rawan gempa bumi karena terletak di antara lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik. Lempeng-lempeng tersebut selalu bergerak dan saling bergesekan sehingga saat terjadi patahan akan terjadi gempa tektonik. Gempa tektonik dapat menimbulkan kerusakan yang berbahaya pada bangunan, oleh sebab itu beban lateral akibat gempa harus mendapat perhatian dan dihitung dengan akurat dalam desain bangunan bertingkat tinggi. Bangunan bertingkat harus didesain agar mampu untuk kuat, mengalami deformasi yang masih memenuhi syarat dan daktilitas yang cukup untuk menerima gaya gempa yang mungkin terjadi.

Desain struktur bangunan bertingkat harus berdasarkan pada peraturan yang ada di Indonesia. Seiring dengan perkembangan zaman, peraturan-peraturan tersebut mengalami perubahan disesuaikan dengan pengalaman dan data dari peristiwa gempa yang sudah terjadi dan perkembangan hasil penelitian. Riwayat peraturan gempa di Indonesia pada mulanya mempunyai peta pembagian 6 wilayah gempa yang berbeda . Adanya evaluasi terhadap gempa-gempa dalam kurun waktu 15 tahun terakhir menunjukkan adanya peningkatan kekuatan gempa di sebagian besar wilayah di Indonesia. Dalam peraturan yang baru, gaya gempa yang ditetapkan oleh peraturan mengalami peningkatan yang signifikan. Karenanya

bangunan yang didesain menggunakan peraturan gempa lama perlu dievaluasi dari segi kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya menggunakan peraturan gempa yang berlaku saat ini serta perlu dilakukan perkuatan struktur apabila tidak memenuhi syarat.

Perkuatan struktur disebut dengan retrofitting. 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* global dilakukan pada keseluruhan bangunan, contohnya pemasangan breising, dinding geser, dan *base isolation*.

1.2 Inti Permasalahan

Lempeng-lempeng tektonik yang mengalami pergeseran dari waktu ke waktu menyebabkan perubahan peta gempa di Indonesia. Selain itu, data dari gempa yang tercatat juga dijadikan dasar untuk memproduksi peta gempa yang baru. Dengan adanya perubahan pada peta gempa, maka beban gempa yang dihitung sebagai beban pada gedung juga berubah. Hal ini menyebabkan gedung yang didesain menggunakan SNI 03-1726-1989: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung harus dievaluasi menggunakan SNI 1726-2012: Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk menentukan apakah perlu dilakukan *retrofitting*. Penelitian ini akan menganalisis kinerja sistem *retrofitting* menggunakan breising baja konsentris dengan bantuan program ETABS 16.2.0

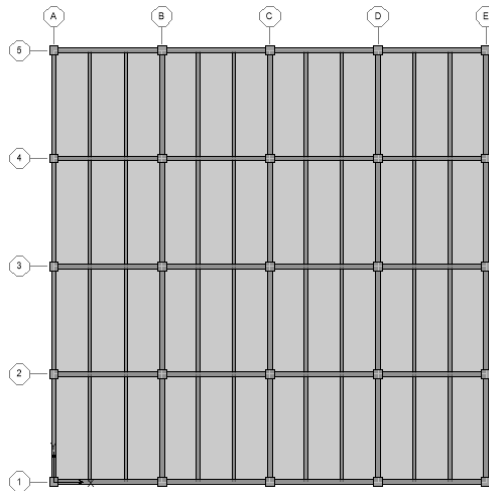
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis dan mengevaluasi gedung yang didesain dengan SNI 03-1726-1989 dan SNI T-15-1991-03 terhadap SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013. Untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan daktilitas gedung tersebut jika tidak memenuhi syarat peraturan yang baru, dilakukan *retrofitting* dengan pemasangan breising baja pada bangunan. Kemudian hasil *retrofitting* tersebut dianalisis menggunakan analisis nonlinier riwayat waktu untuk mengetahui perilaku dan kinerja gedung setelah mengalami *retrofitting*.

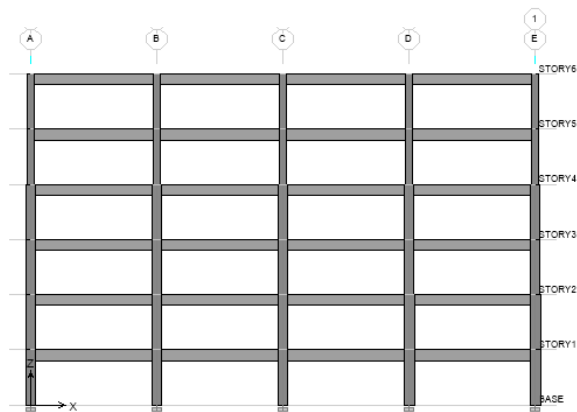
1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

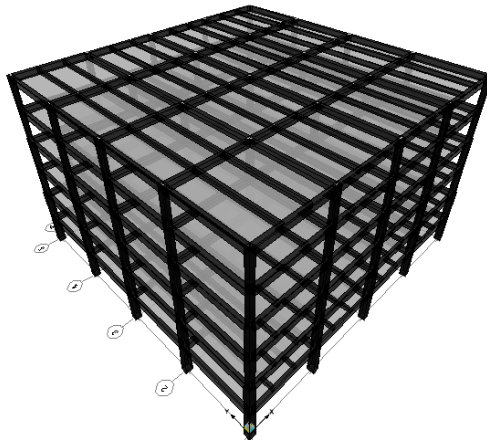
1. Pemodelan gedung struktur beton bertulang 3 dimensi dengan jumlah tingkat 6 lantai, ketinggian masing-masing tingkat 3.5 m terdiri atas 4 bentang dengan panjang masing-masing bentang 8 m.
2. Geometri gedung adalah simetris.



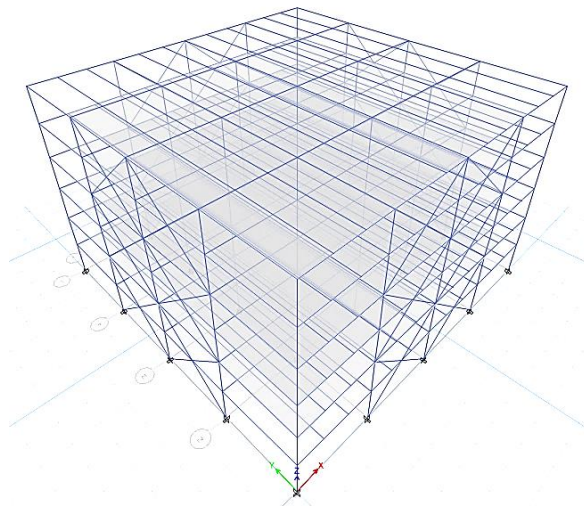
Gambar 1.1 Gambar tampak atas bangunan



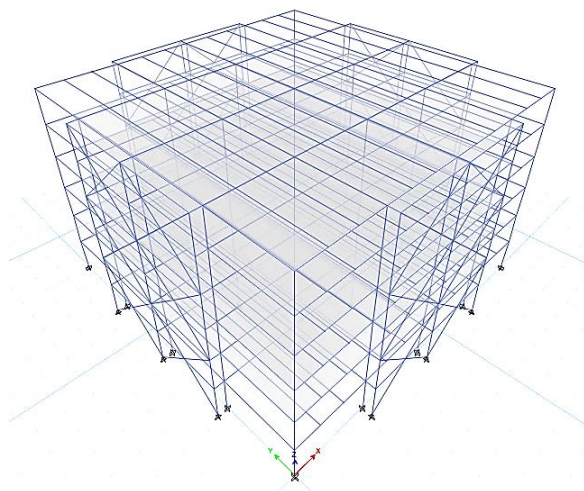
Gambar 1.2 Tampak samping model bangunan



Gambar 1.3 Model 3 dimensi bangunan lama



Gambar 1.4 Model Retrofitting 1 (R1)



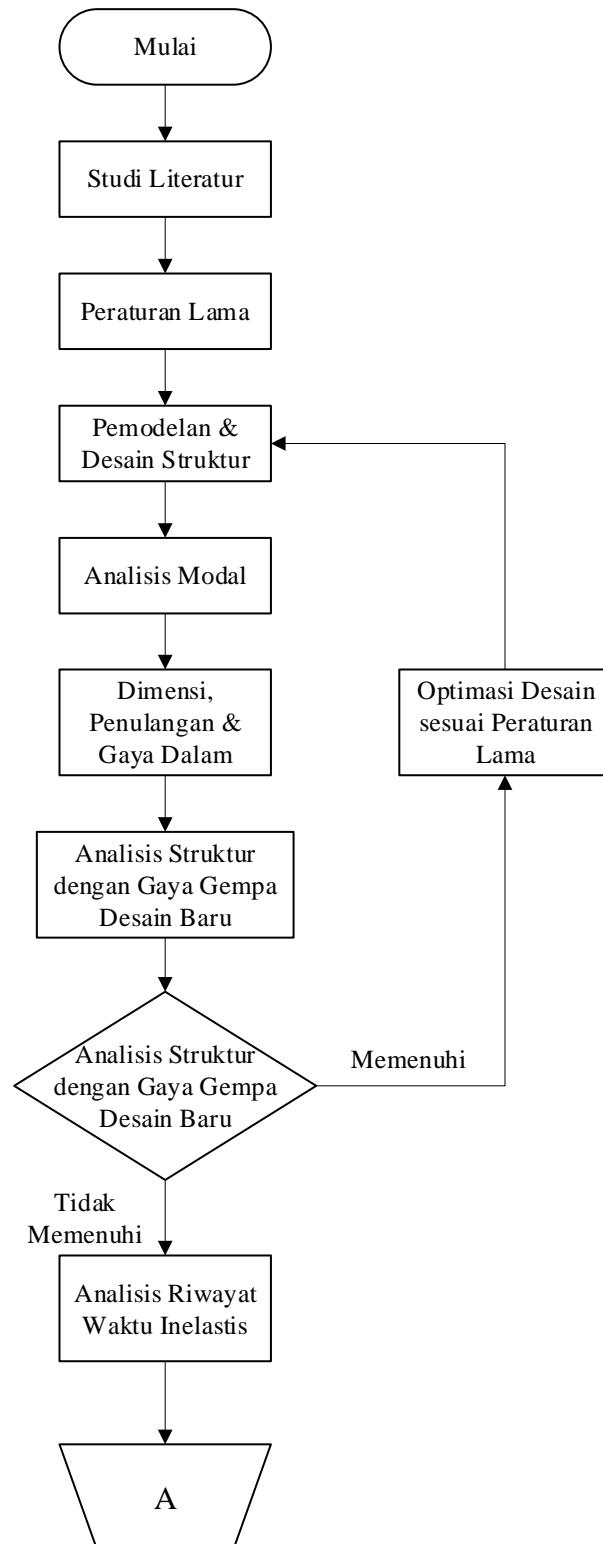
Gambar 1.5 Model retrofitting 2 (R2)

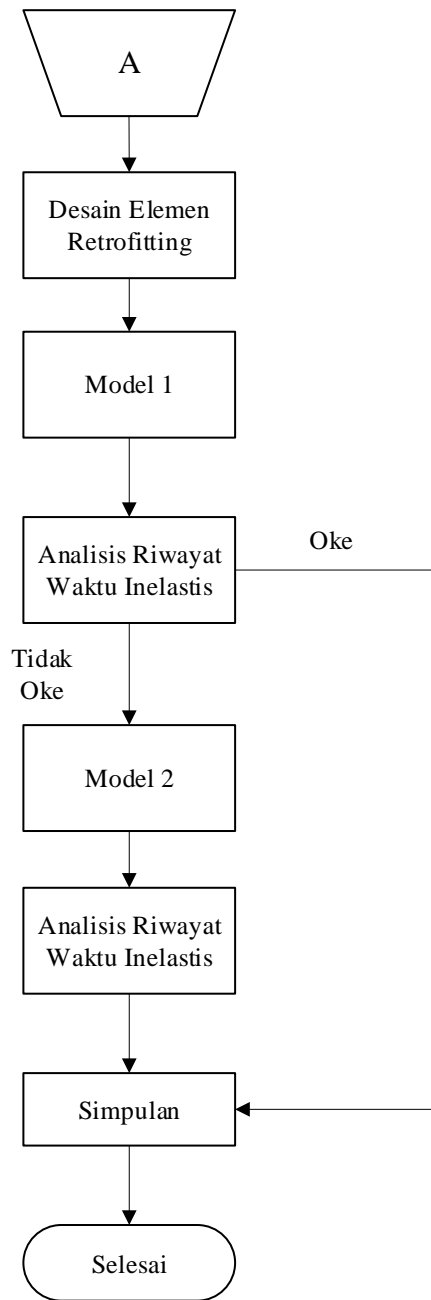
3. Bangunan adalah bangunan lama yang didesain terhadap beban gempa dari peraturan gempa lama.

4. Bangunan terletak di Palu di atas tanah lunak
5. Pemodelan dan analisis desain struktur menggunakan bantuan program ETABS versi 9.7.4 dan ETABS versi 16.2.0.
6. Evaluasi terhadap bangunan lama menggunakan metode statik ekuivalen, analisis modal, dan analisis riwayat waktu menggunakan ETABS versi 16.2.0
7. Fungsi bangunan adalah untuk apartemen.
8. Mutu baja tulangan yang digunakan $f_y = 420$ MPa
9. Mutu beton yang digunakan $f_c' = 35$ MPa
10. Analisis dinamik riwayat waktu menggunakan rekaman gempa El-Centro 1940 N-S, gempa Denpasar 1979 B-T, dan gempa Flores 1992.
11. Peraturan-peraturan yang digunakan adalah:
 - a. SNI 03-1726-1989 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung
 - b. SNI 03-1727-1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung
 - c. SNI T-15-1991-03 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
12. Bangunan eksisting adalah portal daktail beton bertulang
13. *Retrofit* menggunakan breising baja konvensional dengan konfigurasi *two-story X*. Dengan Model 1 adalah breising berhubungan langsung ke kolom dan balok beton eksisting, sedangkan Model 2 menggunakan penambahan rangka breising baru di luar struktur eksisting.
14. Mutu breising baja yang digunakan BJ 37 $f_y = 240$ MPa , $f_u = 370$ MPa

15. Dalam studi ini tidak dibahas mengenai sambungan antara struktur beton dan breising baja baik yang berhubungan langsung pada kolom eksisting, maupun struktur eksternal.

1.5 Metode Penelitian





Gambar 1.6 Diagram Alir Metode Penulisan Skripsi

1. Studi pustaka

Bahan-bahan yang digunakan sebagai referensi berdasarkan dari buku-buku, skripsi, *paper*, dan peraturan mengenai pembebanan bangunan gedung, serta peraturan gempa.

2. Studi numerikal

Analisis linier dan non-linier menggunakan bantuan program ETABS 97.4 dan ETABS 16.2.0, yaitu dengan mensimulasikan gedung mengalami percepatan tanah dasar akibat gempa. Dalam proses perhitungan juga digunakan bantuan program Mathcad 14 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 teori-teori yang akan digunakan dalam desain dan 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 berdasar pada SNI 03-1726-1989 menggunakan program ETABS 9.7.4. dan SNI 1726:2012 menggunakan program ETABS 16.2.0, serta studi perbandingan hasil desain dari kedua gedung. Kemudian gedung diperkuat dengan breising baja konsentris tipe X dua lantai.

BAB 4 ANALISIS HASIL *RETROFITTING*

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