

**SKRIPSI**

**STUDI EVALUASI JARAK SIAR DILATASI GEDUNG  
BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 1726:2002  
DENGAN SNI 1726:2019 DAN *RETROFITTING*  
MENGUNAKAN BREISING BAJA KONSENTRIS  
KHUSUS TIPE *INVERTED-V***



**BONDAN DHIFAN MAZAYA**

**NPM : 6101801198**

**PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)  
BANDUNG  
JANUARI 2022**

**SKRIPSI**

**STUDI EVALUASI JARAK SIAR DILATASI GEDUNG  
BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 1726:2002  
DENGAN SNI 1726:2019 DAN *RETROFITTING*  
MENGUNAKAN BREISING BAJA KONSENTRIS  
KHUSUS TIPE *INVERTED-V***



**BONDAN DHIFAN MAZAYA**

**NPM: 6101801198**

**PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**PENGUJI 1: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.**

**PENGUJI 2: Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)  
BANDUNG  
JANUARI 2022**

## PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Bondan Dhifan Mazaya

NPM : 6101801198

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

**“STUDI EVALUASI JARAK SIAR DILATASI GEDUNG BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 1726:2002 DENGAN SNI 1726:2019 DAN RETROFITTING MENGGUNAKAN BREISING BAJA KONSENTRIS KHUSUS TIPE *INVERTED-V*”**

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 18 Januari 2022



Bondan Dhifan Mazaya

6101801198

# STUDI EVALUASI JARAK SIAR DILATASI GEDUNG BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI 1726:2002 DENGAN SNI 1726:2019 DAN *RETROFITTING* MENGGUNAKAN BREISING BAJA KONSENTRIS KHUSUS TIPE *INVERTED-V*

Bondan Dhifan Mazaya

NPM: 6101801198

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT No. 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)  
BANDUNG  
JANUARI 2022

## ABSTRAK

Perkembangan peraturan bangunan tahan gempa di Indonesia menyebabkan terjadinya kenaikan gaya gempa desain serta perubahan mengenai tata cara perhitungan dalam analisis struktur tahan gempa. Kota Palu merupakan salah satu wilayah dengan kenaikan beban gempa yang cukup signifikan dibandingkan dengan wilayah lain di Indonesia. Dengan demikian, perlu dilakukan analisis ulang terhadap struktur menggunakan peraturan terbaru untuk mengetahui apakah perlu dilakukannya *retrofitting* pada bangunan tersebut. Dalam hal ini, struktur yang dimodelkan untuk studi kasus adalah dua bangunan beton bertulang pemikul momen khusus ketinggian 12 lantai dan 6 lantai dengan siar dilatasi. Sehingga evaluasi terhadap jarak siar dilatasi yang didesain pun perlu dilakukan agar dapat mencegah terjadinya *pounding*. Proses *retrofitting* dilakukan dengan menambah rangka breising baja konsentris eksternal tipe *inverted-v*. Analisis dilakukan baik secara elastis menggunakan analisis modal respons spektrum maupun inelastis dengan analisis riwayat waktu. Lima buah rekaman percepatan gempa yang digunakan untuk analisis riwayat waktu antara lain, Gempa El Centro N-S 1940, Gempa Denpasar B-T 1979, Gempa Flores 1992, Gempa Parkfield N65E 1956, dan Gempa Bucharest N-S 1977.

Analisis elastis setelah struktur di-*retrofit* menunjukkan hasil yang baik ditunjukkan dengan berkurangnya luas tulangan perlu dan kebutuhan jarak pemisah minimum struktur. Hasil yang baik tersebut juga ditemukan pada analisis inelastis pada struktur B. Akan tetapi, pada analisis inelastis struktur A masih mengalami kegagalan lokal akibat terjadinya sendi plastis pada beberapa kolom yang mengakibatkan diperlukannya *retrofitting* lokal dengan melakukan penambahan tulangan longitudinal untuk elemen kolom tersebut. Tingkat kinerja struktur yang telah di-*retrofit* pada kedua bangunan terletak di antara rentang *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Nilai faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) rata-rata untuk struktur A adalah 3,95 dan 2,95 untuk struktur B. Sedangkan untuk faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) rata-rata yang didapat sebesar 3,09 pada struktur A serta 2,49 pada struktur B.

Kata kunci: siar dilatasi, *retrofitting*, breising baja konsentris khusus, analisis respons spektrum, analisis riwayat waktu, tingkat kinerja struktur

# **STUDY OF REINFORCED CONCRETE BUILDING SEISMIC SEPARATION GAP EVALUATION BASED ON SNI 1726:2002 WITH SNI 1726:2019 AND RETROFITTING USING SPECIAL CONCENTRICALLY INVERTED-V BRACED FRAMES**

**Bondan Dhifan Mazaya**

**NPM: 6101801198**

**Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
(Accredited by SK BAN-PT Number 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)  
BANDUNG  
JANUARY 2022**

## **ABSTRACT**

Earthquake-resistant building codes in Indonesia that change over time, causing increasing seismic force and changing the calculation procedures in analyzing seismic-resistant structures. Palu was one of the regions with the most significant shift in seismic load rather than another region in Indonesia. Therefore, structures need to be reviewed and evaluated by the newest code whether retrofitting is required in an existing building. In this case, two 12-story and 6-story reinforced concrete special moment resisting frames with seismic separation are being designed. So, evaluation for the separation gap is also necessary to avoid pounding. Retrofitting process is completed by attaching external special concentrically inverted-v braced frames. Both elastic analyses using response spectrum and nonlinear time history for the inelastic analysis are done in this study. Five earthquake ground motion recordings such as El Centro N-S 1940, Denpasar B-T 1979, Flores 1992, Parkfield N65E 1956, and Bucharest N-S 1977 are used for time history analysis.

The retrofitted structure indicates the acceptable result of elastic analysis shown by the decreasing needs of the required reinforcement bar area and separation gap. Good results are also found in inelastic analysis for structure B. However, structure A runs into failure in inelastic analysis because of plastic hinges that formed in some columns, resulting in the need for local retrofitting by adding more longitudinal reinforcement bars for those elements. The structural performance level achieved by both buildings after retrofitting is located in Immediate Occupancy (IO) to Life Safety (LS) range. The average value of the overstrength factor ( $\Omega_0$ ) is 3,95 for structure A and 2,95 for structure B. While structure A average deflection amplification factor ( $C_d$ ) value is 3,09 and 2,49 for structure B.

Keywords : seismic separation gap, retrofitting, special concentrically braced frames, response spectrum analysis, nonlinear time history analysis, structural performance level

## PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Evaluasi Jarak Siar Dilatasi Gedung Beton Bertulang Berdasarkan SNI 1726:2002 dengan SNI 1726:2019 dan *Retrofitting* Menggunakan Breising Baja Konsentris Khusus Tipe *Inverted-V*”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi sarjana di bidang teknik sipil di Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak sekali hambatan yang dialami oleh penulis. Akan tetapi, hambatan tersebut dapat dilalui dan pembuatan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan, bimbingan, serta dukungan yang diterima oleh penulis dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Papa dan Mama selaku kedua orangtua serta kakak penulis yang senantiasa memberikan dukungan berupa doa dan semangat dalam berbagai situasi dan kondisi;
2. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro, selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, memberi ilmu, serta mendampingi penulis dalam menyusun skripsi ini;
3. Seluruh dosen dan staf pengajar Pusat Studi Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberi saran dan masukan agar skripsi ini menjadi lebih baik;
4. Anindya Sulaksana dan Jason Raphael selaku teman yang selalu bersedia untuk bertukar pikiran serta membantu dalam proses analisis;
5. Alreza Arfahan, Patricia Aurelia, Juan Khaleb, dan Michael Christian selaku teman bimbingan skripsi lainnya yang memberikan semangat dan dukungan dalam penyusunan skripsi;
6. Seluruh teman-teman Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan Angkatan 2018 terutama Lunar, Yosa, Indra, dan Ayu atas kebersamaan, doa, dan dukungannya selama penulis menjalani masa studi sarjana di Unpar;

7. Semua pihak lainnya yang telah membantu memberi dukungan dan semangat selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Oleh sebab itu, penulis bersedia untuk menerima saran dan kritik yang bersifat membangun agar dapat lebih baik lagi ke depannya.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat tidak hanya untuk penulis, namun untuk mahasiswa dan pihak lainnya dalam bidang teknik sipil serta pembaca pada umumnya.

Bandung, 18 Januari 2022

Penulis,



Bondan Dhifan Mazaya

6101801198



# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1-1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1-1
1.2 Inti Permasalahan .....	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Pembatasan Masalah .....	1-4
1.5 Metode Penelitian.....	1-8
1.6 Diagram Alir Penelitian.....	1-9
1.7 Sistematika Penulisan.....	1-11
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>2-1</b>
2.1 SNI 03-1726-2002 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung .....	2-1
2.1.1 Daktilitas .....	2-1
2.1.2 Parameter Daktilitas Struktur Gedung .....	2-1
2.1.3 Faktor Keutamaan (I) .....	2-2
2.1.4 Faktor Respons Gempa (C).....	2-3
2.1.5 Beban Geser Dasar Nominal Statik Ekuivalen (V).....	2-4



2.1.6	Pembagian Beban Geser Dasar akibat Gempa Nominal Statik Ekuivalen di Sepanjang Tingkat Gedung ( $F_i$ ) .....	2-5
2.1.7	Waktu Getar Alami Fundamental .....	2-5
2.1.8	Pusat Massa dan Pusat Rotasi Lantai Tingkat.....	2-6
2.1.9	Eksentrisitas Rencana ( $e_d$ ).....	2-6
2.1.10	Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan .....	2-7
2.1.11	Perencanaan Struktur Gedung Tidak Beraturan.....	2-8
2.1.12	Kinerja Batas Layan.....	2-9
2.1.13	Kinerja Batas Ultimit .....	2-9
2.1.14	Faktor Skala .....	2-10
2.2	SNI 03-1727-1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung .....	2-11
2.2.1	Beban Mati.....	2-11
2.2.2	Beban Hidup .....	2-11
2.2.3	Beban Gempa.....	2-11
2.3	SNI 03-2847-2002 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.....	2-13
2.4	SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Nongedung .....	2-13
2.4.1	Gempa Rencana .....	2-13
2.4.2	Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Bangunan .....	2-14
2.4.3	Klasifikasi Situs .....	2-15
2.4.4	Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCE_R$ ) .....	2-16

2.4.5	Parameter Percepatan Spektral Desain.....	2-17
2.4.6	Kategori Desain Seismik.....	2-19
2.4.7	Sistem Struktur.....	2-19
2.4.8	Ketidakteraturan Horizontal.....	2-20
2.4.9	Kombinasi dan Pengaruh Beban Seismik .....	2-22
2.4.10	Faktor Redundansi .....	2-23
2.4.11	Geser Dasar Seismik .....	2-24
2.4.12	Penentuan Periode.....	2-24
2.4.13	Torsi Bawaan .....	2-26
2.4.14	Torsi Tak Terduga.....	2-26
2.4.15	Perbesaran Momen Torsi Tak Terduga.....	2-26
2.4.16	Simpangan Antar Tingkat.....	2-27
2.4.17	Pemisahan Struktur .....	2-29
2.5	SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Nongedung.....	2-30
2.5.1	Desain Balok.....	2-30
2.5.2	Desain Kolom .....	2-31
2.6	SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.....	2-32
2.6.1	Beban Mati.....	2-32
2.6.2	Beban Hidup .....	2-33
2.7	Redistribusi Momen .....	2-33
2.8	Peristiwa <i>Pounding</i> .....	2-36
2.9	<i>Retrofitting</i> Bangunan .....	2-39
2.10	<i>Retrofitting</i> Lokal Pada Kolom Dengan Teknik <i>Near-Surface Mounted</i> .....	2-40
2.11	Sistem Rangka <i>Breising</i> Konsentris Khusus .....	2-42

2.12	Persyaratan Elemen Breising.....	2-43
2.13	Model Histerisis .....	2-44
2.14	Analisis Riwayat Waktu .....	2-46
2.15	Rekaman Percepatan Gempa.....	2-47
2.16	Penskalaan Percepatan Gempa.....	2-49
2.17	Tingkat Kinerja Struktur (FEMA 356).....	2-50
2.18	Deformasi Breising.....	2-52
2.19	Rotasi Sendi Plastis untuk Rangka Beton Bertulang.....	2-52
2.20	Metode Integrasi Hilber-Hughes-Taylor .....	2-54
2.21	Metode Redaman Rayleigh .....	2-54
<b>BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN BANGUNAN.....</b>		<b>3-1</b>
3.1	Desain Bangunan Berdasarkan SNI 03-1726-2002.....	3-1
3.1.1	Data Struktur Peraturan Lama.....	3-1
3.1.2	Data Material.....	3-1
3.1.3	Data Pembebanan Peraturan Lama .....	3-2
3.1.4	Kombinasi Pembebanan Peraturan Lama .....	3-3
3.1.5	Dimensi Komponen Struktur .....	3-4
3.1.6	Desain Tulangan.....	3-5
3.1.7	Pengecekan Ketidakberaturan .....	3-16
3.1.8	Pengecekan Simpangan Antar Lantai .....	3-16
3.1.9	Perhitungan Desain Jarak Siar Dilatasi Sesuai SNI 1726:2002 .....	3-18
3.2	Analisis Bangunan Menggunakan Peraturan Baru.....	3-23
3.2.1	Data Struktur Peraturan Baru .....	3-23
3.2.2	Data Pembebanan Peraturan Baru.....	3-23
3.2.3	Kombinasi Pembebanan Peraturan Baru.....	3-24
3.2.4	Desain Tulangan.....	3-25

3.2.5	Ketidakteraturan Horizontal .....	3-33
3.2.6	Ketidakteraturan Vertikal .....	3-36
3.2.7	Pengecekan Simpangan Antar Lantai .....	3-39
3.2.8	Desain Jarak Siar Dilatasi Sesuai SNI 1726:2019 .....	3-41
3.2.9	Evaluasi Jarak Siar Dilatasi Bangunan Sebelum <i>Retrofitting</i> .....	3-45
3.3	Analisis Riwayat Waktu Pada Struktur Bangunan Lama.....	3-46
3.4	<i>Retrofitting</i> Global Struktur Menggunakan Rangka Breising Baja Konsentris Eksternal Tipe <i>Inverted-V</i> .....	3-49
3.4.1	Pengecekan Luas Tulangan Perlu Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-53
3.4.2	Pengecekan Simpangan Antar Lantai Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-60
3.4.3	Perhitungan Jarak Siar Dilatasi Minimum Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-62
3.4.4	Evaluasi & Perbandingan Jarak Siar Dilatasi Bangunan Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-66
<b>BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>4-1</b>
4.1	Analisis Riwayat Waktu .....	4-1
4.1.1	Analisis Riwayat Waktu Untuk Struktur A Dengan Breising Baja Konsentris Eksternal ( <i>Retrofitting</i> Global) .....	4-2
4.1.2	Analisis Riwayat Waktu Untuk Struktur B Dengan Breising Baja Konsentris Eksternal ( <i>Retrofitting</i> Global) .....	4-3
4.2	Penambahan <i>Retrofitting</i> Lokal pada Struktur A .....	4-4
4.3	Respons Inelastis Struktur .....	4-5
4.3.1	Peralihan Lantai Maksimum .....	4-5
4.3.2	Rasio Simpangan Antar Lantai .....	4-7
4.3.3	Sendi Plastis .....	4-10
4.3.4	Gaya Geser Dasar .....	4-22
4.3.5	Faktor Pembesaran Defleksi ( $C_d$ ) .....	4-23
4.3.6	Tingkat Kinerja Struktur .....	4-24

4.4	Jarak Siar Dilatasi Berdasarkan Analisis Riwayat Waktu.....	4-31
4.5	Perbandingan Jarak Siar Dilatasi Hasil Analisis Modal Respons Spektrum & Analisis Riwayat Waktu.....	4-39
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>5-1</b>
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran.....	5-2
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>xxv</b>
<b>LAMPIRAN 1.....</b>		<b>L1-1</b>
<b>LAMPIRAN 2.....</b>		<b>L2-1</b>
<b>LAMPIRAN 3.....</b>		<b>L3-1</b>
<b>LAMPIRAN 4.....</b>		<b>L4-1</b>
<b>LAMPIRAN 5.....</b>		<b>L5-1</b>



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

- $A_g$  : luas bruto penampang beton
- ASCE : *American Society of Civil Engineers*
- $A_{sh}$  : luas penampang total tulangan transversal (termasuk kait silang)
- $A_{st}$  : luas total tulangan longitudinal non-prategang
- $A_x$  : faktor pembesaran torsi
- $b_w$  : lebar badan penampang persegi
- $C$  : faktor respons gempa
- $C_d$  : faktor pembesaran defleksi
- CP : *collapse prevention*
- $C_s$  : koefisien respons seismik
- $C_u$  : koefisien batas atas periode yang dihitung
- $d$  : tinggi efektif komponen struktur
- $d_i$  : simpangan horisontal lantai tingkat ke- $i$
- $E$  : modulus elastisitas
- $E$  : pengaruh beban seismik
- $e_d$  : eksentrisitas rencana
- $E_h$  : pengaruh beban seismik dalam arah horisontal
- $E_v$  : pengaruh beban seismik dalam arah vertikal
- $f$  : faktor kuat lebih
- $F_a$  : faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
- $f_c'$  : kuat tekan beton
- $F_{cr}$  : tegangan kritis tekuk baja
- FEMA : *Federal Emergency Management Agency*
- $F_i$  : pembagian beban geser dasar akibat gempa nominal statik ekuivalen di sepanjang tingkat gedung
- FRP : *Fiber Reinforced Polymer*
- $F_u$  : tegangan ultimit baja
- $F_v$  : faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik
- $F_y$  : tegangan leleh baja
- $g$  : percepatan gravitasi ( $= 9,8 \text{ m/s}^2$ )

- $h_n$  : ketinggian struktur  
 $HSS$  : *Hollow Structural Section*  
 $h_{sx}$  : tinggi tingkat di bawah tingkat-x  
 $I$  : faktor keutamaan  
 $I_e$  : faktor keutamaan gempa  
 $IO$  : *Immediate Occupancy*  
 $LS$  : *Life Safety*  
 $MCE_R$  : parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang  
Dipertimbangkan  
 $NSM$  : *Near-Surface Mounted*  
 $P_u$  : beban aksial yang terjadi  
 $P_{uc}$  : kapasitas tekan breis  
 $P_{ut}$  : kapasitas tarik breis  
 $Q_E$  : pengaruh gaya seismik horizontal dari  $V$  atau  $F_p$   
 $R$  : faktor reduksi gempa/koeffisien modifikasi respons  
Risiko-Tertarget  
 $R_y$  : rasio dari kuat leleh yang diinginkan terhadap kuat leleh minimum  
 $S_1$  : parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk  
periode 1 detik  
 $S_{D1}$  : parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik  
 $S_{DS}$  : parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek  
 $S_{M1}$  : parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik  
 $S_{MS}$  : parameter respons spektral percepatan pada periode pendek  
 $SNI$  : Standar Nasional Indonesia  
 $S_s$  : parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk  
periode pendek  
 $T$  : periode getar fundamental struktur  
 $T_1$  : waktu getar alami fundamental  
 $T_a$  : periode fundamental pendekatan  
 $T_f$  : tebal flens penampang  
 $T_s, T_0$  : parameter periode untuk respons spektrum desain elastik  
 $T_w$  : tebal web penampang

- $V$  : beban geser dasar nominal statik ekivalen  
 $V_1$  : gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam pertama  
 $V_j, V_j'$  : gaya geser lantai total akibat gaya gempa  
 $V_s$  : gaya geser dasar seismik  
 $V_t$  : gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respons spektrum  
 WF : *wide flange*  
 $\gamma$  : berat isi  
 $\delta_{avg}$  : rata-rata perpindahan di titik terjauh struktur di tingkat-x  
 $\delta_M$  : perpindahan inelastis terbesar  
 $\delta_{max}$  : perpindahan maksimum di tingkat-x  
 $\delta_{MT}$  : jarak pemisahan struktur minimum  
 $\delta_x$  : simpangan pusat massa di tingkat-x  
 $\delta_{xe}$  : simpangan di tingkat-x hasil analisis elastis  
 $\zeta$  : koefisien yang membatasi waktu getar alami fundamental gedung  
 $\mu$  : faktor daktilitas  
 $\xi$  : faktor pengali dari simpangan struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana  
 $\rho$  : faktor redundansi  
 $\phi$  : faktor reduksi kekuatan  
 $\Omega_0$  : faktor kuat lebih



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Konfigurasi Breising Baja Konsentris.....	1-3
Gambar 1.2 Tampak Atas Struktur A dan Struktur B.....	1-4
Gambar 1.3 Tampak 3 Dimensi Struktur A .....	1-5
Gambar 1.4 Tampak 3 Dimensi Struktur B .....	1-5
Gambar 1.5 Model <i>Retrofitting</i> Struktur A.....	1-6
Gambar 1.6 Model <i>Retrofitting</i> 2 (Struktur B).....	1-7
Gambar 1.7 Tampak Atas Model <i>Retrofitting</i> Struktur A & Struktur B.....	1-7
Gambar 1.8 Diagram Alir Penelitian .....	1-9
Gambar 1.9 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan).....	1-10
Gambar 2.1 Peta Wilayah Gempa Indonesia .....	2-3
Gambar 2.2 Respon Spektrum Gempa Rencana.....	2-3
Gambar 2.3 Respon Spektrum Gempa Rencana (Lanjutan) .....	2-4
Gambar 2.4 Spektrum Respons Desain.....	2-18
Gambar 2.5 Ketidakberaturan Horizontal Struktur.....	2-21
Gambar 2.6 Faktor Pembesaran Torsi ( $A_x$ ).....	2-27
Gambar 2.7 Simpangan Antar Tingkat .....	2-28
Gambar 2.8 Keseimbangan Pada <i>Subframe</i> .....	2-35
Gambar 2.9 Berbagai Kategori Peristiwa <i>Pounding</i> .....	2-37
Gambar 2.10 Kerusakan Bangunan Akibat <i>Pounding</i> saat Gempa Christchurch 2011.....	2-38
Gambar 2.11 Kerusakan Bangunan Akibat <i>Pounding</i> saat Gempa Christchurch 2011 (Lanjutan).....	2-38
Gambar 2.12 Prosedur Pengerjaan Teknik <i>Near-Surface Mounted</i> (NSM) .....	2-41
Gambar 2.13 Prosedur Pengerjaan Teknik <i>Near-Surface Mounted</i> (NSM) (Lanjutan).....	2-41
Gambar 2.14 Respons Inelastik Breising Konsentris Terhadap Beban Gempa. 2-42	
Gambar 2.15 Kurva Model Histerisis Kinematik .....	2-46
Gambar 2.16 Kurva Model Histerisis Takeda.....	2-46
Gambar 2.17 Rekaman Percepatan Gempa El Centro N-S 1940.....	2-48
Gambar 2.18 Rekaman Percepatan Gempa Denpasar B-T 1979 .....	2-48

Gambar 2.19 Rekaman Percepatan Gempa Flores 1992.....	2-48
Gambar 2.20 Rekaman Percepatan Gempa Parkfield N65E 1966.....	2-49
Gambar 2.21 Rekaman Percepatan Gempa Bucharest N-S 1977 .....	2-49
Gambar 2.22 Tingkat Kinerja Struktur .....	2-51
Gambar 2.23 Ilustrasi Model Redaman Rayleigh .....	2-56
Gambar 3.1 Respon Spektrum Kota Palu Tanah Keras Sesuai SNI 1726:2002 ..	3-3
Gambar 3.2 Konfigurasi Balok & Kolom Elevasi A (Struktur A).....	3-6
Gambar 3.3 Konfigurasi Balok & Kolom Elevasi C (Struktur A).....	3-7
Gambar 3.4 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi E (Struktur A) .....	3-7
Gambar 3.5 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi G & I (Struktur A) .....	3-8
Gambar 3.6 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi K & 1 (Struktur A).....	3-8
Gambar 3.7 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 3 & 5 (Struktur A).....	3-9
Gambar 3.8 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 7 (Struktur A).....	3-9
Gambar 3.9 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 9 (Struktur A).....	3-10
Gambar 3.10 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 11 (Struktur A).....	3-10
Gambar 3.11 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi A (Struktur B) .....	3-12
Gambar 3.12 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi C (Struktur B) .....	3-12
Gambar 3.13 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi E (Struktur B).....	3-13
Gambar 3.14 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi G (Struktur B) .....	3-13
Gambar 3.15 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 1 (Struktur B).....	3-14
Gambar 3.16 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 3 (Struktur B) .....	3-14
Gambar 3.17 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 5 (Struktur B) .....	3-15
Gambar 3.18 Konfigurasi Balok dan Kolom Elevasi 7 (Struktur B).....	3-15
Gambar 3.19 Grafik Simpangan Antar Lantai Kinerja Batas Ultimit (Struktur A) .....	3-17
Gambar 3.20 Grafik Simpangan Antar Lantai Kinerja Batas Ultimit (Struktur B) .....	3-18
Gambar 3.21 Nodal yang Ditinjau Dalam Perhitungan Siar Dilatasi Pada Struktur A dan Struktur B .....	3-19
Gambar 3.22 Respons Spektrum Kota Palu Tanah Keras Sesuai SNI 1726 :2019 .....	3-24
Gambar 3.23 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi A (Struktur A)..	3-25

Gambar 3.24 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi C (Struktur A)..	3-26
Gambar 3.25 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi E (Struktur A) ..	3-26
Gambar 3.26 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi G & I (Struktur A)	
.....	3-27
Gambar 3.27 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi K (Struktur A)..	3-27
Gambar 3.28 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi A (Struktur B) ..	3-29
Gambar 3.29 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi C (Struktur B) ..	3-30
Gambar 3.30 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi E (Struktur B) ..	3-30
Gambar 3.31 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi G (Struktur B) ..	3-31
Gambar 3.32 Ilustrasi Ketidakberaturan Tipe 2 (Struktur A) .....	3-34
Gambar 3.33 Grafik Simpangan Antar Lantai (Struktur A) .....	3-40
Gambar 3.34 Grafik Simpangan Antar Lantai (Struktur B).....	3-41
Gambar 3.35 Tampak 3D Sendi Plastis Pada Struktur A Sebelum <i>Retrofitting</i>	
Gempa El Centro.....	3-46
Gambar 3.36 Tampak 3D Sendi Plastis Pada Struktur A Sebelum <i>Retrofitting</i>	
Gempa Denpasar & Gempa Flores .....	3-47
Gambar 3.37 Tampak 3D Sendi Plastis Pada Struktur A Sebelum <i>Retrofitting</i>	
Gempa Parkfield & Gempa Bucharest.....	3-47
Gambar 3.38 Tampak 3D Sendi Plastis Pada Struktur B Sebelum <i>Retrofitting</i>	
Gempa El Centro & Gempa Denpasar .....	3-48
Gambar 3.39 Tampak 3D Sendi Plastis Pada Struktur B Sebelum <i>Retrofitting</i>	
Gempa Flores & Gempa Parkfield .....	3-48
Gambar 3.40 Tampak 3D Sendi Plastis Pada Struktur B Sebelum <i>Retrofitting</i>	
Gempa Bucharest .....	3-49
Gambar 3.41 Tampak 3D Struktur A Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-50
Gambar 3.42 Tampak Atas Struktur A Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-51
Gambar 3.43 Tampak 3D Struktur B Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-51
Gambar 3.44 Tampak Atas Struktur B Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-52
Gambar 3.45 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi A (Struktur A) Setelah	
<i>Retrofitting</i> .....	3-53
Gambar 3.46 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi C (Struktur A) Setelah	
<i>Retrofitting</i> .....	3-54

Gambar 3.47 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi E (Struktur A) Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-54
Gambar 3.48 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi G & I (Struktur A) Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-55
Gambar 3.49 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi K (Struktur A) Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-55
Gambar 3.50 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi A (Struktur B) Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-57
Gambar 3.51 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi C (Struktur B) Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-58
Gambar 3.52 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi E (Struktur B) Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-58
Gambar 3.53 Luas Tulangan Perlu Balok dan Kolom Elevasi G (Struktur B) Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-59
Gambar 3.54 Simpangan Antar Lantai Struktur A Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-61
Gambar 3.55 Simpangan Antar Lantai Struktur B Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-62
Gambar 4.1 Kegagalan Sendi Plastis Pada Kolom Struktur A <i>Retrofitting</i> Global Grid G-11 Lantai 5, 6, dan 7 Akibat Gempa El Centro Detik ke-3 .....	4-2
Gambar 4.2 Kegagalan Sendi Plastis Pada Kolom Struktur A <i>Retrofitting</i> Global Grid C-1 Lantai 4, 5, dan 6 Akibat Gempa El Centro Detik ke-4,5.....	4-3
Gambar 4.3 Lokasi Kolom yang Dilakukan <i>Retrofitting</i> Lokal pada Struktur A	4-4
Gambar 4.4 Peralihan Lantai Maksimum Struktur A .....	4-6
Gambar 4.5 Peralihan Lantai Maksimum Struktur B.....	4-7
Gambar 4.6 Rasio Simpangan Antar Lantai Struktur A .....	4-9
Gambar 4.7 Rasio Simpangan Antar Lantai Struktur B.....	4-9
Gambar 4.8 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa El Centro Elevasi 1' Struktur A.....	4-10
Gambar 4.9 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa El Centro Elevasi 1 Struktur A .....	4-11
Gambar 4.10 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa El Centro Elevasi 7 Struktur A .....	4-11

Gambar 4.11 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Denpasar Elevasi 1' Struktur A.....	4-12
Gambar 4.12 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Denpasar Elevasi 1 Struktur A.....	4-12
Gambar 4.13 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Denpasar Elevasi 7 Struktur A.....	4-13
Gambar 4.14 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Flores Elevasi 1' Struktur A.....	4-13
Gambar 4.15 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Flores Elevasi 1 Struktur A.....	4-14
Gambar 4.16 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Flores Elevasi 7 Struktur A.....	4-14
Gambar 4.17 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Parkfield Elevasi 1' Struktur A.....	4-15
Gambar 4.18 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Parkfield Elevasi 1 Struktur A.....	4-15
Gambar 4.19 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Parkfield Elevasi 7 Struktur A.....	4-16
Gambar 4.20 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Bucharest Elevasi 1' Struktur A.....	4-16
Gambar 4.21 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Bucharest Elevasi 1 Struktur A.....	4-17
Gambar 4.22 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Bucharest Elevasi 7 Struktur A.....	4-17
Gambar 4.23 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa El Centro Elevasi 1' Struktur B.....	4-18
Gambar 4.24 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa El Centro Elevasi 5 Struktur B.....	4-18
Gambar 4.25 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa El Centro Elevasi 7 Struktur B.....	4-19
Gambar 4.26 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Denpasar Elevasi 5 Struktur B.....	4-19

Gambar 4.27 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Denpasar Elevasi 7 Struktur B .....	4-19
Gambar 4.28 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Flores Elevasi A Struktur B .....	4-20
Gambar 4.29 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Flores Elevasi 7 Struktur B .....	4-20
Gambar 4.30 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Parkfield Elevasi A Struktur B.....	4-20
Gambar 4.31 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Parkfield Elevasi 7 Struktur B .....	4-21
Gambar 4.32 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Bucharest Elevasi A Struktur B .....	4-21
Gambar 4.33 Lokasi Terjadinya Sendi Plastis (Awal & Akhir) Akibat Gempa Bucharest Elevasi 7 Struktur B .....	4-21
Gambar 4.34 D/C Ratio Akibat Gempa El Centro (LS) Elevasi 1' Struktur A ..	4-25
Gambar 4.35 D/C Ratio Akibat Gempa El Centro (LS) Elevasi 1 Struktur A...	4-25
Gambar 4.36 D/C Ratio Akibat Gempa Denpasar (IO) Elevasi 1' Struktur A..	4-25
Gambar 4.37 D/C Ratio Akibat Gempa Denpasar (IO) Elevasi 1 Struktur A ...	4-25
Gambar 4.38 D/C Ratio Akibat Gempa Flores (IO) Elevasi 1' Struktur A .....	4-26
Gambar 4.39 D/C Ratio Akibat Gempa Flores (IO) Elevasi 1 Struktur A .....	4-26
Gambar 4.40 D/C Ratio Akibat Gempa Parkfield (LS) Elevasi 1' Struktur A..	4-26
Gambar 4.41 D/C Ratio Akibat Gempa Parkfield (LS) Elevasi 1 Struktur A ...	4-26
Gambar 4.42 D/C Ratio Akibat Gempa Bucharest (LS) Elevasi 1' Struktur A.	4-27
Gambar 4.43 D/C Ratio Akibat Gempa Bucharest (LS) Elevasi 1 Struktur A..	4-27
Gambar 4.44 D/C Ratio Akibat Gempa El Centro (LS) Elevasi A Struktur B..	4-28
Gambar 4.45 D/C Ratio Akibat Gempa Denpasar (IO) Elevasi A Struktur B...	4-28
Gambar 4.46 D/C Ratio Akibat Gempa Flores (IO) Elevasi A Struktur B.....	4-29
Gambar 4.47 D/C Ratio Akibat Gempa Parkfield (IO) Elevasi A Struktur B ...	4-29
Gambar 4.48 D/C Ratio Akibat Gempa Bucharest (IO) Elevasi A Struktur B..	4-30
Gambar 4.49 Peralihan Joint 25 (A) dan Joint 12 (B) Lantai 6 Siar 70 mm – El Centro.....	4-33

Gambar 4.50 Peralihan Joint 28 (A) dan Joint 9 (B) Lantai 6 Siar 70 mm – El Centro	4-33
Gambar 4.51 Peralihan Joint 25 (A) dan Joint 12 (B) Lantai 6 Siar 60 mm – Denpasar	4-34
Gambar 4.52 Peralihan Joint 28 (A) dan Joint 9 (B) Lantai 6 Siar 60 mm – Denpasar	4-34
Gambar 4.53 Peralihan Joint 25 (A) dan Joint 12 (B) Lantai 6 Siar 70 mm – Flores	4-35
Gambar 4.54 Peralihan Joint 28 (A) dan Joint 9 (B) Lantai 6 Siar 70 mm – Flores	4-35
Gambar 4.55 Peralihan Joint 25 (A) dan Joint 12 Lantai 6 (B) Siar 100 mm – Parkfield	4-36
Gambar 4.56 Peralihan Joint 28 (A) dan Joint 9 (B) Lantai 6 Siar 100 mm – Parkfield	4-36
Gambar 4.57 Peralihan Joint 25 (A) dan Joint 12 (B) Lantai 6 Siar 90 mm – Bucharest	4-37
Gambar 4.58 Peralihan Joint 28 (A) dan Joint 9 (B) Lantai 6 Siar 90 mm – Bucharest	4-37
Gambar 4.59 Koordinat Titik Kritis Lantai 6 Gempa Denpasar <i>Time Step</i> 65 Siar 60 mm	4-38
Gambar 4.60 Koordinat Titik Kritis Lantai 6 Gempa El Centro <i>Time Step</i> 29 Siar 70 mm	4-38
Gambar 4.61 Koordinat Titik Kritis Lantai 6 Gempa Flores <i>Time Step</i> 252 Siar 70 mm	4-38
Gambar 4.62 Koordinat Titik Kritis Lantai 6 Gempa Parkfield <i>Time Step</i> 38 Siar 100 mm	4-38
Gambar 4.63 Koordinat Titik Kritis Lantai 6 Gempa Bucharest <i>Time Step</i> 43 Siar 90 mm	4-39

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Daktilitas Maksimum ( $\mu_m$ ), Faktor Reduksi Gempa Maksimum ( $R_m$ ), dan Faktor Kuat Lebih Struktur ( $f$ ).....	2-2
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan (I).....	2-2
Tabel 2.3 Koefisien $\zeta$ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur.....	2-6
Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung.....	2-14
Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa.....	2-14
Tabel 2.6 Klasifikasi Situs.....	2-15
Tabel 2.7 Koefisien Situs $F_a$ .....	2-16
Tabel 2.8 Koefisien Situs $F_v$ .....	2-17
Tabel 2.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek.....	2-19
Tabel 2.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik.....	2-19
Tabel 2.11 Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	2-20
Tabel 2.12 Ketidakberaturan Horizontal Struktur.....	2-20
Tabel 2.13 Persyaratan Untuk Masing-Masing Tingkat yang Menahan Lebih dari 35% Gaya Geser Dasar.....	2-23
Tabel 2.14 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung.....	2-25
Tabel 2.15 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	2-25
Tabel 2.16 Simpangan Antar Tingkat Izin.....	2-28
Tabel 2.17 Persyaratan Tulangan Transversal untuk Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	2-32
Tabel 2.18 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum untuk Perkantoran ...	2-33
Tabel 2.19 Rasio Lebar Terhadap Tebal: Elemen Tekan Komponan Struktur yang Mengalami Aksial Tekan.....	2-44
Tabel 2.20 <i>Acceptance Criteria</i> untuk Deformasi Breising.....	2-52
Tabel 2.21 <i>Acceptance Criteria</i> untuk Rotasi Sendi Plastis Balok Beton Bertulang.....	2-53



Tabel 2.22 <i>Acceptance Criteria</i> untuk Rotasi Sendi Plastis Kolom Beton Bertulang .....	2-53
Tabel 3.1 Beban Mati Tambahan .....	3-2
Tabel 3.2 Beban Hidup .....	3-3
Tabel 3.3 Dimensi Komponen Struktur A .....	3-4
Tabel 3.4 Dimensi Komponen Struktur B .....	3-4
Tabel 3.5 Tipe dan Penulangan Kolom Struktur A.....	3-5
Tabel 3.6 Tipe dan Penulangan Balok Struktur A .....	3-5
Tabel 3.7 Tipe dan Penulangan Kolom Struktur B .....	3-11
Tabel 3.8 Tipe dan Penulangan Balok Struktur B.....	3-11
Tabel 3.9 Cek Ketidakberaturan Struktur A .....	3-16
Tabel 3.10 Simpangan Antar Lantai Kinerja Batas Ultimit (Struktur A) .....	3-16
Tabel 3.11 Simpangan Antar Lantai Kinerja Batas Ultimit (Struktur B) .....	3-17
Tabel 3.12 Peralihan Joint 25 Struktur A.....	3-19
Tabel 3.13 Peralihan Joint 28 Struktur A.....	3-20
Tabel 3.14 Peralihan Joint 31 Struktur A.....	3-20
Tabel 3.15 Peralihan Joint 12 Struktur B.....	3-20
Tabel 3.16 Peralihan Joint 9 Struktur B.....	3-20
Tabel 3.17 Peralihan Joint 24 Struktur B.....	3-21
Tabel 3.18 Perhitungan Desain Jarak Siar Dilatasi Arah X.....	3-21
Tabel 3.19 Perhitungan Desain Jarak Siar Dilatasi Arah Y.....	3-22
Tabel 3.20 Parameter Seismik Kota Palu Tanah Keras .....	3-24
Tabel 3.21 Luas Tulangan Perlu Kolom Sebelum <i>Retrofitting</i> (Struktur A).....	3-28
Tabel 3.22 Luas Tulangan Perlu Balok Sebelum <i>Retrofitting</i> (Struktur A).....	3-28
Tabel 3.23 Luas Tulangan Perlu Kolom Sebelum <i>Retrofitting</i> (Struktur B).....	3-31
Tabel 3.24 Luas Tulangan Perlu Balok Sebelum <i>Retrofitting</i> (Struktur B).....	3-32
Tabel 3.25 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Gempa EX & EY (Struktur A).....	3-33
Tabel 3.26 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2 (Struktur A).....	3-34
Tabel 3.27 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Gempa EX & EY (Struktur B) .....	3-35
Tabel 3.28 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B (Struktur A) .....	3-36

Tabel 3.29 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 (Struktur A).....	3-36
Tabel 3.30 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B (Struktur A) .....	3-37
Tabel 3.31 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B (Struktur B).....	3-38
Tabel 3.32 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 (Struktur B) .....	3-38
Tabel 3.33 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B (Struktur B).....	3-39
Tabel 3.34 Pengecekan Simpangan Antar Lantai (Struktur A).....	3-39
Tabel 3.35 Pengecekan Simpangan Antar Lantai (Struktur B).....	3-40
Tabel 3.36 Peralihan Elastik Joint 25 Struktur A.....	3-41
Tabel 3.37 Peralihan Elastik Joint 28 Struktur A.....	3-42
Tabel 3.38 Peralihan Elastik Joint 31 Struktur A.....	3-42
Tabel 3.39 Peralihan Elastik Joint 12 Struktur B.....	3-42
Tabel 3.40 Peralihan Elastik Joint 9 Struktur B.....	3-42
Tabel 3.41 Peralihan Elastik Joint 24 Struktur B.....	3-43
Tabel 3.42 Perhitungan Jarak Pemisahan Struktur SNI 1726:2019 Arah X.....	3-43
Tabel 3.43 Perhitungan Jarak Pemisahan Struktur SNI 1726:2019 Arah Y.....	3-44
Tabel 3.44 Perbandingan Hasil Perhitungan Jarak Sinar Dilatasi.....	3-45
Tabel 3.45 Dimensi Profil Breising .....	3-52
Tabel 3.46 Dimensi Profil Balok & Kolom Baja.....	3-52
Tabel 3.47 Luas Tulangan Perlu Kolom Setelah <i>Retrofitting</i> (Struktur A).....	3-56
Tabel 3.48 Luas Tulangan Perlu Balok Setelah <i>Retrofitting</i> (Struktur A).....	3-56
Tabel 3.49 Luas Tulangan Perlu Kolom Setelah <i>Retrofitting</i> (Struktur B).....	3-59
Tabel 3.50 Luas Tulangan Perlu Balok Setelah <i>Retrofitting</i> (Struktur B).....	3-59
Tabel 3.51 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Setelah <i>Retrofitting</i> (Struktur A) .....	3-61
Tabel 3.52 Pengecekan Simpangan Antar Lantai Setelah <i>Retrofitting</i> (Struktur B) .....	3-61
Tabel 3.53 Peralihan Elastik Joint 25 Struktur A Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-62
Tabel 3.54 Peralihan Elastik Joint 28 Struktur A Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-63
Tabel 3.55 Peralihan Elastik Joint 31 Struktur A Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-63
Tabel 3.56 Peralihan Elastik Joint 12 Struktur B Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-63
Tabel 3.57 Peralihan Elastik Joint 9 Struktur B Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-64
Tabel 3.58 Peralihan Elastik Joint 24 Struktur B Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-64

Tabel 3.59 Perhitungan Jarak Pemisahan Struktur SNI 1726:2019 Arah X .....	3-65
Tabel 3.60 Perhitungan Jarak Pemisahan Struktur SNI 1726:2019 Arah Y .....	3-65
Tabel 3.61 Perbandingan Hasil Perhitungan Jarak Siar Dilatasi Setelah <i>Retrofitting</i> .....	3-66
Tabel 4.1 Perbandingan Tulangan Terpasang dan Penambahan Tulangan Setelah <i>Retrofitting</i> Lokal .....	4-5
Tabel 4.2 Peralihan Lantai Maksimum Struktur A .....	4-6
Tabel 4.3 Peralihan Lantai Maksimum Struktur B .....	4-7
Tabel 4.4 Rasio Simpangan Antar Lantai Struktur A .....	4-8
Tabel 4.5 Rasio Simpangan Antar Lantai Struktur B .....	4-8
Tabel 4.6 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih Struktur A .....	4-22
Tabel 4.7 Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih Struktur B .....	4-22
Tabel 4.8 Faktor Pembesaran Defleksi ( $C_d$ ) Struktur A .....	4-23
Tabel 4.9 Faktor Pembesaran Defleksi ( $C_d$ ) Struktur B .....	4-24
Tabel 4.10 Taraf Kinerja Struktur A .....	4-27
Tabel 4.11 Taraf Kinerja Struktur B .....	4-30
Tabel 4.12 Jarak Pemisahan Struktur Minimum Hasil Analisis Riwayat Waktu .....	4-32
Tabel 4.13 Perbandingan Jarak Siar Dilatasi Hasil Analisis Respons Spektrum Dengan Analisis Riwayat Waktu .....	4-40

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Guna memanfaatkan lahan yang lebih efektif dalam membangun properti seringkali dijumpai suatu sistem struktur dengan siar dilatasi, yaitu ketika sejumlah bangunan dibuat berdampingan dengan jarak yang relatif minim. Untuk itu, perlu perencanaan khusus pada sistem ini agar terjadinya *pounding* atau benturan antar bangunan saat terdapat beban lateral termasuk gempa bumi dapat dicegah. *Pounding* dapat diakibatkan karena masing-masing struktur memiliki perbedaan kekakuan yang menyebabkan periode getar antar struktur akan berbeda, dimana efeknya adalah perpindahan translasi kedua struktur tersebut tidak sama besarnya dan dapat berlawanan arah. Selain itu, efek puntir yang terjadi pada bangunan juga dapat memperbesar perpindahan translasi, sehingga dapat memperbesar kemungkinan terjadinya *pounding*.

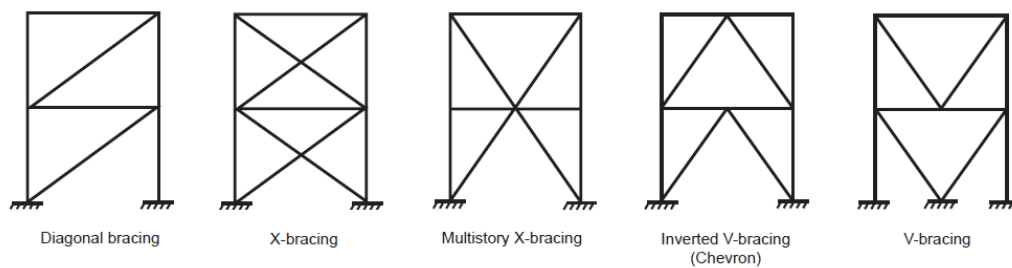
Dari berbagai macam kerusakan yang timbul akibat gempa bumi, benturan antar bangunan tersebut merupakan salah satu penyumbangannya. Jika jarak siar yang tersedia tidak mampu mengakomodasi peralihan maksimum pada struktur maka dapat berimbas pada kegagalan lokal maupun kegagalan total pada struktur. Oleh karena itu, jarak siar dilatasi perlu direncanakan secara matang dengan memperhatikan perilaku bangunan dalam pengaruh beban lateral. Perilaku yang ditinjau dapat dilakukan dalam analisis dua dimensi dan tiga dimensi. Dalam analisis dua dimensi, hanya peralihan translasi struktur yang diperhitungkan. Sebagai proses perencanaan lanjut yang lebih teliti, analisis tiga dimensi dapat dilakukan dengan memperhitungkan efek rotasi yang juga terjadi pada struktur.

Kemudian, dalam perencanaan struktur tahan gempa hal lain yang menjadi perhatian adalah ketidakberaturan. Dari banyaknya macam ketidakberaturan yang terjadi baik vertikal maupun horizontal, salah satu bentuk yang sering kita temukan adalah ketidakberaturan horizontal sudut dalam. Sebagai contoh, bentuk ketidakberaturan ini dapat dimiliki pada bangunan yang memiliki sayap dan bisa dijumpai pada gedung dengan denah berbentuk U, T, dan L. Berdasarkan berbagai

fenomena di atas, proses penelitian ini dilakukan untuk mengkaji jarak siar dilatasi yang optimum pada struktur yang salah satunya mengalami ketidakberaturan horizontal sudut dalam dengan analisis secara tiga dimensi.

Perlu diingat bahwa Indonesia merupakan negara yang berlokasi di Cincin Api Pasifik yaitu lokasi yang paling rawan mengalami bencana alam geologi termasuk gempa bumi. Dengan demikian, aktivitas pergerakan tektonik di Indonesia terus aktif yang menyebabkan terus berkembangnya peraturan bangunan tahan gempa. Perkembangan ini mencakup diperbaharunya peta wilayah gempa serta meningkatnya besaran gaya gempa yang menyebabkan respon spektrum pada setiap wilayah juga berubah. Bangunan yang telah didesain dengan peraturan lama pun perlu dievaluasi terhadap peraturan baru, apakah struktur tersebut masih memenuhi syarat. Evaluasi tersebut dapat dilakukan menggunakan analisis modal respon spektrum terbaru maupun berdasarkan rekaman gempa analisis riwayat waktu. Pada kasus yang akan diteliti, struktur yang telah didesain berdasarkan SNI 1726:2002 akan dievaluasi terhadap SNI 1726:2019 dengan analisis modal dan analisis riwayat waktu. Jika tidak memenuhi persyaratan maka akan dilakukan *retrofitting* pada bangunan tersebut.

*Retrofitting* merupakan salah satu upaya perkuatan struktur dan memiliki berbagai prinsip salah satunya adalah menambah kekakuan struktur atau kekuatan struktur. *Retrofitting* dapat dilakukan baik secara global seperti penambahan breising dan *base isolation* maupun *retrofitting* lokal hanya pada elemen struktural seperti balok dan kolom tertentu saja, contohnya dengan penambahan tulangan atau *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*. Pada bangunan dengan sistem dilatasi, prinsip perkuatan dengan menambah kekakuan lateral struktur diperlukan untuk mencegah terjadinya *pounding*. Untuk melakukan perkuatan ini, dapat dilakukan dengan menambah rangka breising baja konsentris yang memiliki kekakuan elastis yang tinggi. Rangka breising konsentris ini merupakan jenis pengaku breising paling umum dengan cara kerja yang identik seperti rangka batang yang tersusun secara vertikal. Dalam praktiknya, rangka pengaku baja ini umumnya disematkan pada perimeter bangunan, baik pada breising yang berhubungan langsung dengan struktur maupun breising eksternal tambahan. Berbagai bentuk dari breising baja konsentris disajikan pada **Gambar 1.1**.



**Gambar 1.1** Konfigurasi Breising Baja Konsentris

(sumber : Sabelli et al 2013)

## 1.2 Inti Permasalahan

Sistem struktur dengan siar dilatasi sangatlah rawan, karena dapat menyebabkan kerusakan struktur akibat benturan ketika terjadi gempa bumi jika jarak siar yang tersedia jaraknya tidak memenuhi persyaratan akibat peralihan maksimum struktur. Pada bangunan dengan denah berbentuk L yang memiliki siar, analisis akan dilakukan secara tiga dimensi agar perencanaan jarak siar menjadi lebih teliti. Kemudian, perkembangan peraturan tentang tata cara perancangan struktur tahan gempa di Indonesia menuntut struktur yang telah didesain dengan SNI 1726:2002 dievaluasi terhadap SNI 1726:2019 untuk mengetahui apakah struktur tetap memenuhi syarat pada kondisi peta wilayah beban gempa yang baru berdasarkan analisis modal dan analisis riwayat waktu nonlinier. Jika tidak memenuhi persyaratan, maka diperlukan *retrofitting* terhadap struktur tersebut.

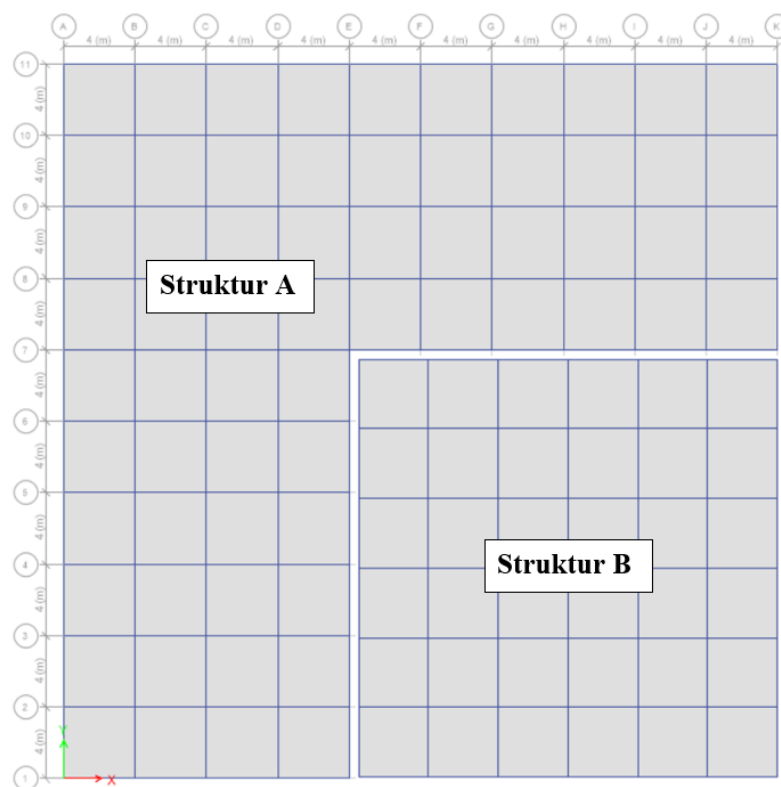
## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari skripsi ini adalah untuk mengevaluasi jarak siar dilatasi dan kinerja bangunan berdasarkan SNI 1726:2002 terhadap SNI 1726:2019 dengan analisis modal dan analisis riwayat waktu serta mengetahui apakah *retrofitting* bangunan efektif untuk membuat struktur kembali memenuhi syarat tata cara perencanaan bangunan tahan gempa terbaru.

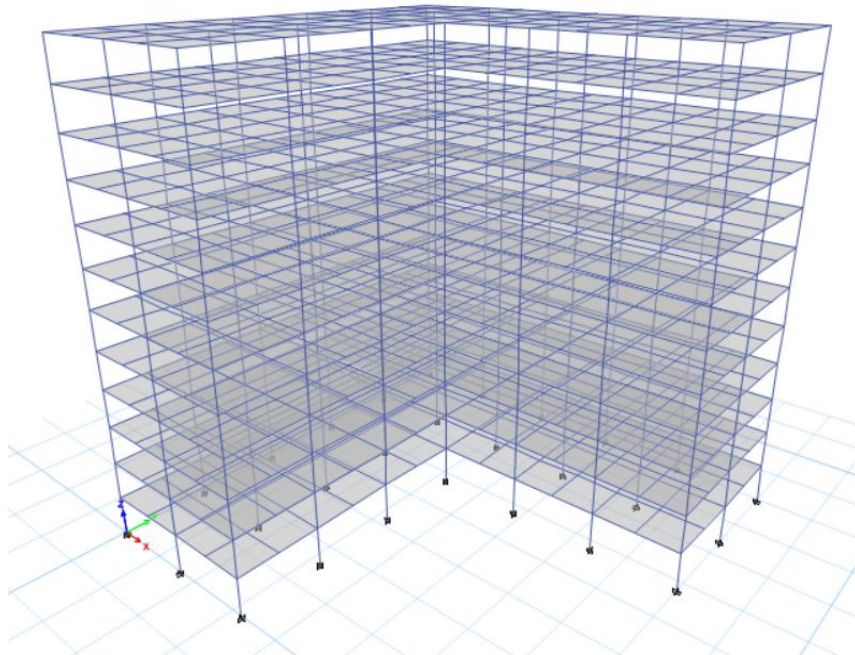
#### 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

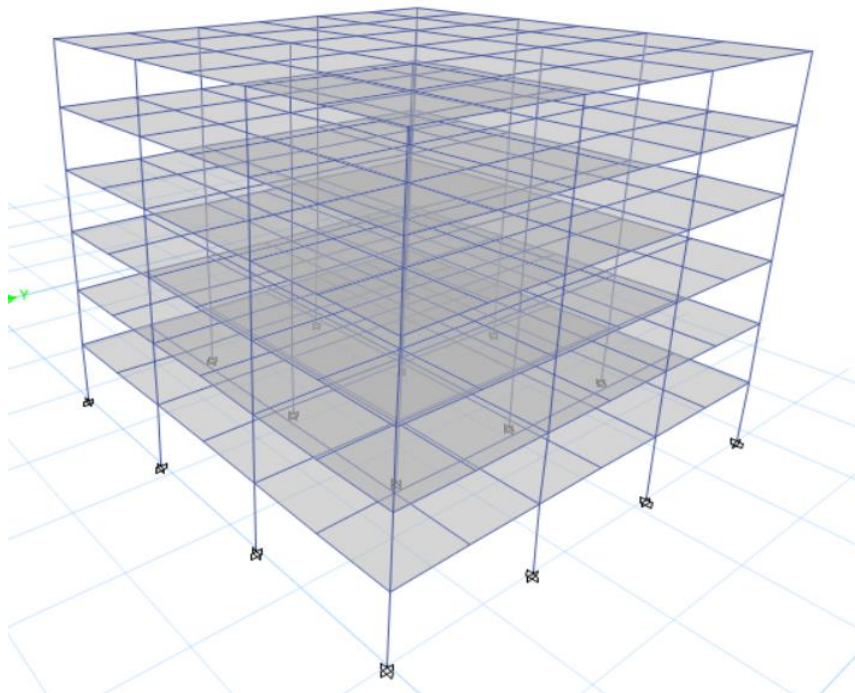
1. Bangunan yang akan dievaluasi terdiri atas 2 struktur gedung beton bertulang, yaitu Struktur A dan Struktur B, sebagaimana tertera pada **Gambar 1.2**;
2. Struktur A merupakan bangunan asimetris berbentuk L dengan jumlah tingkat 12 lantai dan ketinggian tipikal antar lantai sebesar 3,5 meter yang terdiri atas 5 bentang pada setiap arah sumbu x dan y dengan jarak antar bentang 8 meter seperti pada **Gambar 1.3**;
3. Struktur B merupakan bangunan simetris dengan jumlah tingkat 6 lantai dan ketinggian tipikal antar lantai sebesar 3,5 meter. Struktur B terdiri atas 3 bentang dengan jarak 8 meter yang dapat pada **Gambar 1.4**;



**Gambar 1.2** Tampak Atas Struktur A dan Struktur B



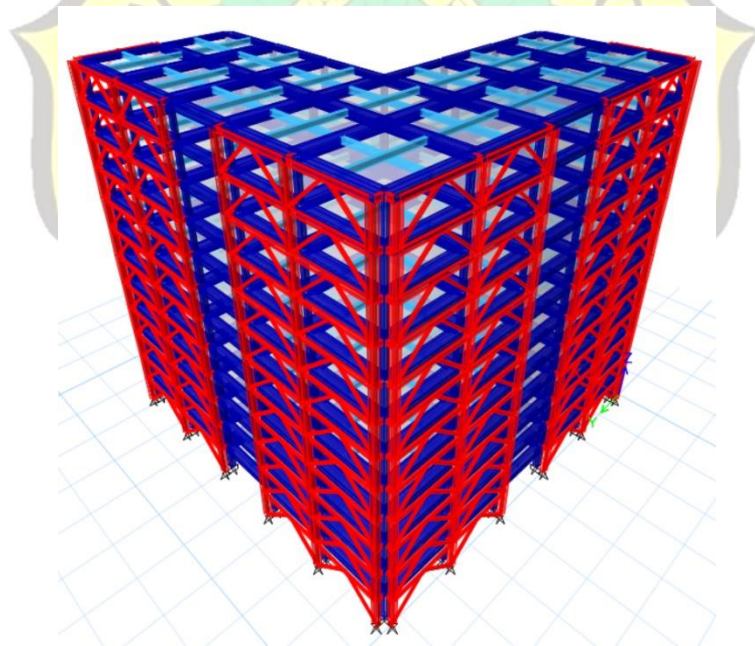
**Gambar 1.3** Tampak 3 Dimensi Struktur A



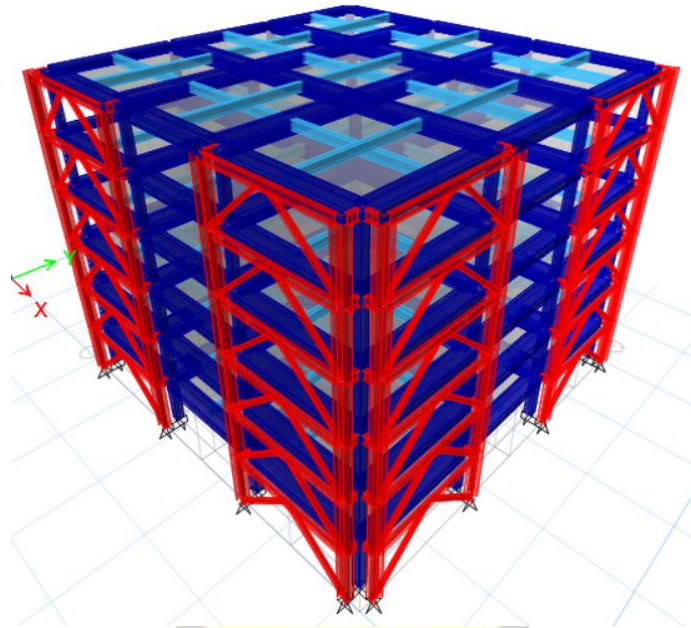
**Gambar 1.4** Tampak 3 Dimensi Struktur B



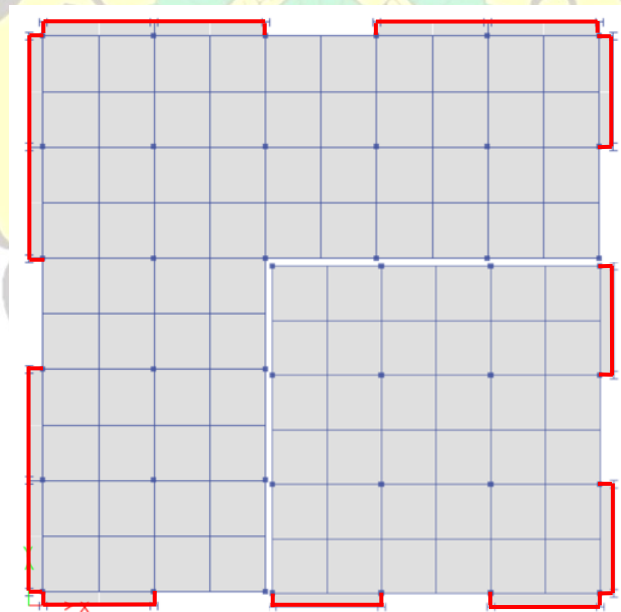
4. Fungsi dari kedua bangunan tersebut adalah sebagai perkantoran;
5. Bangunan berlokasi di Kota Palu dengan kondisi tanah keras;
6. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK);
7. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan bantuan program ETABS 2016;
8. Spesifikasi material yang digunakan adalah sebagai berikut,
  - a. Beton,  $f_c' = 35$  MPa
  - b. Tulangan,  $F_y = 420$  MPa
  - c. Breising baja BJ37,  $F_y = 240$  MPa dan  $F_u = 370$  MPa
9. *Retrofitting* dilakukan dengan melakukan penambahan rangka breising konsentris eksternal tipe *inverted-v* untuk kedua struktur. Berbagai model tersebut dapat dilihat pada **Gambar 1.5** sampai dengan **Gambar 1.7**;



**Gambar 1.5** Model *Retrofitting* Struktur A



**Gambar 1.6** Model *Retrofitting* 2 (Struktur B)



**Gambar 1.7** Tampak Atas Model *Retrofitting* Struktur A & Struktur B

10. Dalam melakukan analisis riwayat waktu, digunakan lima rekaman gempa berikut:
- El Centro N-S 1940
  - Denpasar B-T 1979

- c. Flores 1992
  - d. Parkfield N65E 1966
  - e. Bucharest N-S 1977
11. Berikut adalah peraturan-peraturan yang digunakan selama proses analisis:
- a. SNI 1726-2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung
  - b. SNI 03-1727-1989 tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG)
  - c. SNI 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung
  - d. SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung
  - e. SNI 1727-2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain
  - f. SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan
  - g. Peta Gempa Indonesia tahun 2002 dan 2017
12. Sambungan baja dalam bresing dan sambungan antara struktur baja serta struktur beton, baik yang berhubungan langsung pada kolom eksisting maupun struktur eksternal tidak dibahas dalam studi ini.

### **1.5 Metode Penelitian**

Berikut adalah metode penelitian yang digunakan dalam studi ini:

#### **1. Studi Pustaka**

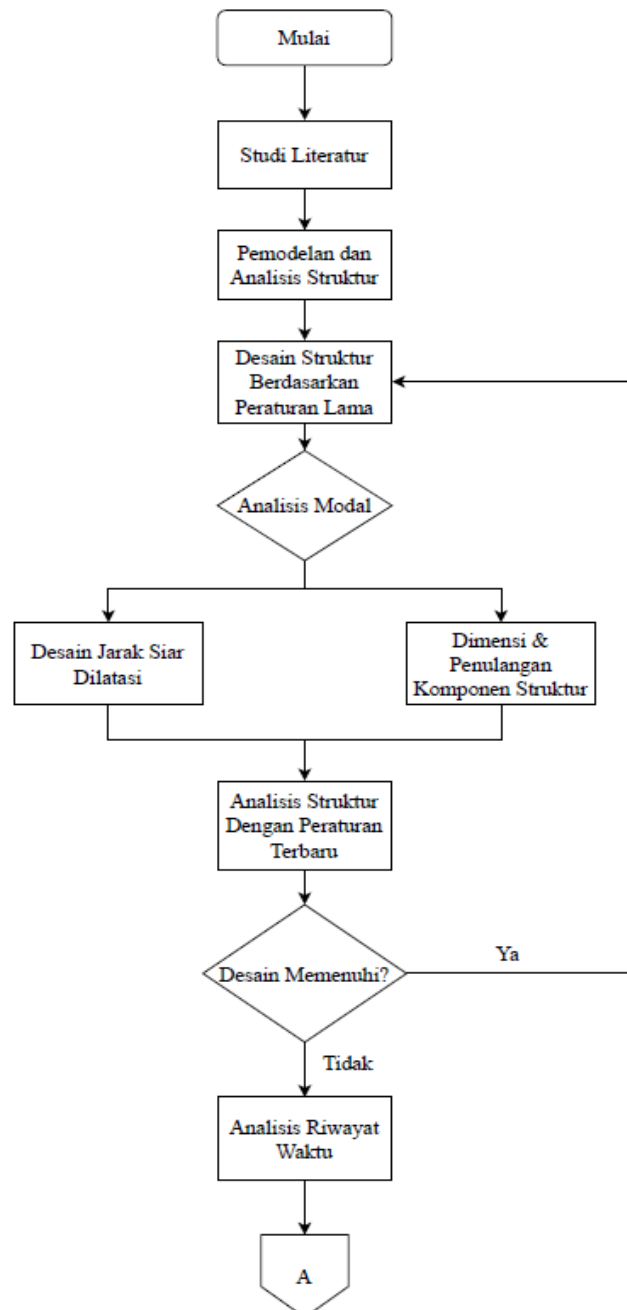
Dalam studi pustaka, digunakan berbagai buku, skripsi pembanding, jurnal, penelitian, dan peraturan perencanaan bangunan gedung tahan gempa serta pembebanannya sebagai referensi.

#### **2. Studi Analisis**

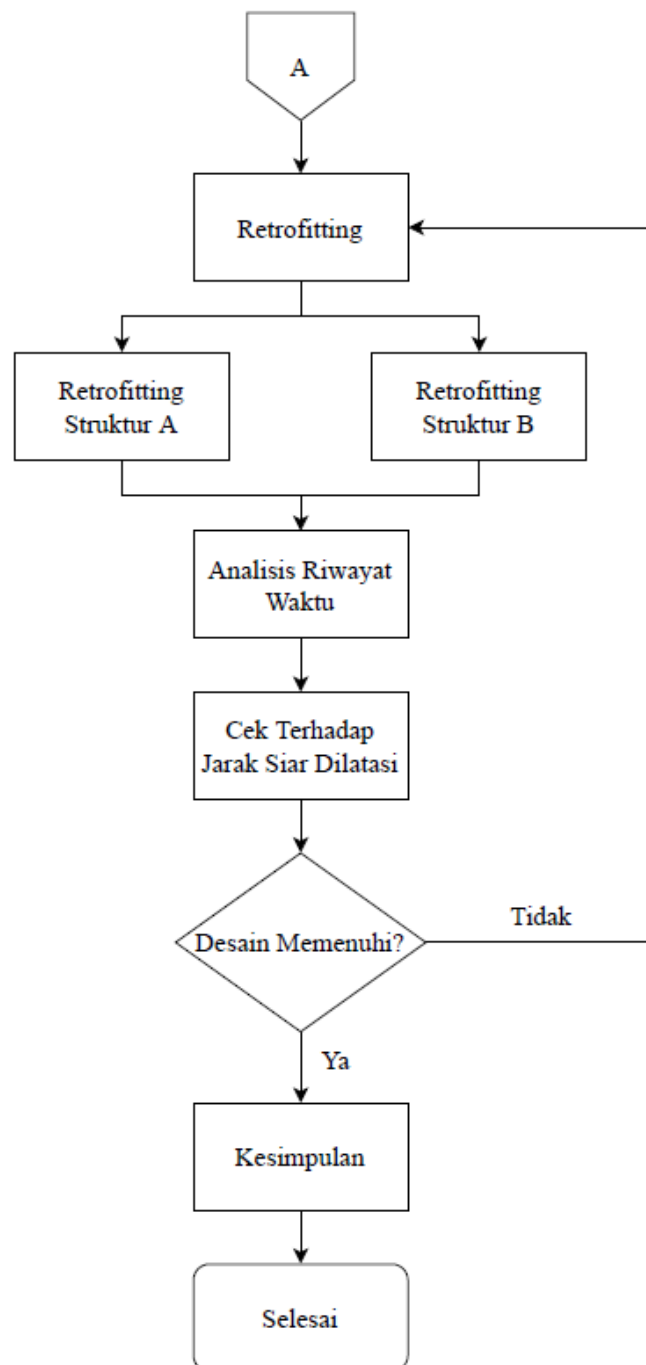
Analisis dan pemodelan struktur gedung menggunakan bantuan program ETABS 2016. Selanjutnya, juga digunakan program Microsoft Word, Microsoft Excel, dan SMath Studio untuk membantu proses perhitungan.

## 1.6 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dibuat untuk menunjukkan tahapan-tahapan pengerjaan penelitian ini sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 1.8** dan **Gambar 1.9** berikut.



**Gambar 1.8** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 1.9** Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

## 1.7 Sistematika Penulisan

Berikut adalah sistematika dari penulisan skripsi ini:

### BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini berisikan tentang dasar teori yang akan digunakan sebagai acuan pengerjaan dalam studi dan analisis skripsi ini.

### BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

Dalam bab ini berisikan mengenai perencanaan dan pemodelan bangunan dilatasi struktur beton bertulang yang didesain berdasarkan peraturan bangunan tahan gempa yang lama dan peraturan bangunan tahan gempa terbaru. Selanjutnya, bangunan di-*retrofit* menggunakan rangka breising baja konsentris.

### BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisikan mengenai analisis gedung setelah *retrofitting* dengan breising baja konsentris menggunakan analisis riwayat waktu nonlinier untuk mengetahui kinerja dan perilaku gedung.

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini membahas mengenai kesimpulan hasil akhir dari analisis dan saran yang didapatkan dari pembahasan skripsi ini yang telah dilakukan sebelumnya.