

**SKRIPSI**

**STUDI PERBAIKAN STRUKTUR RANGKA BETON  
BERTULANG PASCA KEBAKARAN PADA  
STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN  
SUDUT DALAM**



**ERICH MARCELLINO  
NPM : 6102001007**

**PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

**SKRIPSI**

**STUDI PERBAIKAN STRUKTUR RANGKA BETON  
BERTULANG PASCA KEBAKARAN PADA  
STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN  
SUDUT DALAM**



**ERICH MARCELLINO  
NPM : 6102001007**

**PEMBIMBING: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

**SKRIPSI**

**STUDI PERBAIKAN STRUKTUR RANGKA BETON  
BERTULANG PASCA KEBAKARAN PADA  
STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN  
SUDUT DALAM**



**ERICH MARCELLINO  
NPM : 6102001007**

**BANDUNG, JULI 2024**

**PEMBIMBING:**

A handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Johannes Adhijoso Tjondro', is written over a white background.

**Dr. Johannes Adhijoso Tjondro**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULI 2024**

# SKRIPSI

## STUDI PERBAIKAN STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG PASCA KEBAKARAN PADA STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM



**ERICH MARCELLINO**  
NPM : 6102001007

**PEMBIMBING:** Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

**PENGUJI 1:** Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T.

**PENGUJI 2:** Sisi Nova Rizkiani, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
**BANDUNG**  
**JULI 2024**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Erich Marcellino  
Tempat, tanggal lahir : Batam, 6 September 2002  
NPM : 6102001007  
Judul skripsi : **STUDI PERBAIKAN STRUKTUR RANGKA  
BETON BERTULANG PASCA KEBAKARAN  
PADA STRUKTUR DENGAN  
KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM**

Dengan ini Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 8. Juli 2024

E-Materai dan Tandatangan Mhs



Erich Marcellino

6102001007

# STUDI PERBAIKAN STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG PASCA KEBAKARAN PADA STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM

ERICH MARCELLINO  
NPM: 6102001007

Pembimbing: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL  
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)

BANDUNG  
JULI 2024

ABSTRAK

Kebakaran dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada struktur dan elemen bangunan, sehingga membahayakan keselamatan penghuninya dan menghambat fungsi gedung. Struktur yang mengalami kebakaran akan berkurang kekakuan dan kekuatannya tetapi masih memiliki kekuatan sisa. Penurunan kekuatan elemen struktur akibat kebakaran menyebabkan elemen struktur tidak dapat menahan beban gravitasi dan gempa sesuai dengan fungsi bangunan semula. Retrofit struktur pasca kebakaran merupakan upaya untuk memperkuat dan memperbaiki struktur dan elemen bangunan yang telah mengalami kebakaran, dengan tujuan untuk mengembalikan fungsi, kekuatan, kekakuan, dan daktilitas dari struktur. Pada penelitian ini, struktur yang di-*retrofit* adalah struktur rangka pemikul momen khusus beton bertulang 9 lantai dengan ketidakberaturan sudut dalam. *Retrofit* lokal dilakukan dengan penambahan tulangan pada kolom dan balok dengan metode *Near Surface Mounted Rod* sesuai dengan kebutuhan masing-masing model. Struktur akan dianalisis menggunakan analisis respons spektrum dan analisis riwayat waktu. Analisis riwayat waktu menggunakan rekaman percepatan tanah dasar gempa El Centro N-S tahun 1940, Bucharest N-S tahun 1977, Flores tahun 1992, Parkfield N65E tahun 1966, dan Denpasar Timur-Barat tahun 1979.

Berdasarkan hasil analisis respons spektrum, struktur pada suhu kebakaran mencapai 400°C memerlukan *retrofit* pada elemen balok saja, sedangkan struktur pada suhu kebakaran mencapai 800°C memerlukan *retrofit* pada elemen balok dan kolom. Berdasarkan hasil analisis riwayat waktu, seluruh model struktur memerlukan retrofit pada beberapa kolom yang berlokasi di lantai paling dasar. Peralihan antar lantai pada kedua metode analisis menunjukkan hasil yang baik dimana peralihan lantai tersebut telah memenuhi *drift* izin. Hasil analisis riwayat waktu juga menunjukkan nilai faktor kuat lebih ( $\Omega_0$ ) untuk Model 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 berturut-turut sebesar 3,82, 3,56, 3,61, 3,60, 3,55, dan 3,6. Faktor pembesaran defleksi (Cd) untuk Model 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 berturut-turut sebesar 6,25, 6,43, 6,28, 6,50, 6,40, dan 6,38. Taraf kinerja gedung setelah diberikan retrofit lokal mengalami peningkatan yang semula melewati batas *collapse prevention* memiliki taraf kinerja *Life Safety*.

**Kata Kunci:** suhu kebakaran, *retrofit*, *near surface mounted rod*, analisis respons spektrum, analisis riwayat waktu, taraf kinerja

# RETROFITTING STUDY OF REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES WITH INTERNAL CORNER IRREGULARITY AFTER FIRE

ERICH MARCELLINO  
NPM: 6102001007

Advisor: Dr. Johannes Adhijoso Tjondro

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
FACULTY OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
BACHELOR PROGRAM  
(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)  
BANDUNG  
JULY 2024

## ABSTRACT

Fire can cause significant damage to building structures and elements, endangering the safety of occupants and hindering building function. Structures that have experienced fire are reduced their stiffness and strength and still have residual strength. The decrease in the strength of structural elements due to fire causes the structural elements to be unable to withstand gravity loads and earthquakes in accordance with the original building function. Post-fire structural retrofitting is an effort to strengthen and repair structures and building elements that have been damaged by fire, with the aim of restoring the function, strength, stiffness, and ductility of the structure. In this study, the structure that is retrofitted is a 9-story reinforced concrete special moment frame structure with corner discontinuities. Local retrofitting is carried out on the structure by adding reinforcement to columns and beams using the near surface mounted rod method according to the needs of each model. The structure will be analyzed using response spectrum analysis and time history analysis. Time history analysis uses the earthquake ground acceleration records of El Centro N-S in 1940, Bucharest N-S in 1977, Flores in 1992, Parkfield N65E in 1966, and Denpasar Timur-Barat in 1979.

Based on the results of spectrum response analysis, the structure with a fire temperature of 400°C requires retrofitting on beam elements only, while the structure with a fire temperature of 800°C requires retrofitting on beam and column elements. Based on the results of time history analysis, all structural models require retrofitting on some columns located on the lowest floor. The inter-story transition for both analysis methods shows good results where the inter-story transition has met the allowable drift. The results of the time history analysis also show the value of the overstrength factor ( $\Omega_0$ ) for Model 1, 2, 3, 4, 5, and 6 are 3.82, 3.56, 3.61, 3.60, 3.55, and 3.60. The deflection amplification factor (Cd) for Model 1, 2, 3, 4, 5, and 6 are 6.25, 6.43, 6.28, 6.50, 6.40, and 6.38. The performance level of the building after local retrofitting has increased from previously exceeding the collapse prevention limit become life safety performance level.

**Keywords:** fire temperature, retrofit, near surface mounted rod, time history analysis, performance level

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmatNya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDI PERBAIKAN STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG PASCA KEBAKARAN PADA STRUKTUR DENGAN KETIDAKBERATURAN SUDUT DALAM”. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat kelulusan program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam proses penyusunan skripsi, penulis mengalami banyak hambatan dan kesulitan. Penulis berterimakasih pada semua pihak yang membantu penulis secara mental, ilmu, dan finansial sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua penulis, Yap Kuang Jong dan Lim Cu, yang selalu memberikan dukungan secara mental dan finansial selama proses penyusunan skripsi.
3. Seluruh dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran terkait skripsi ini.
4. Angeline Audrey yang senantiasa memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi.
5. Teman-teman terutama Kevin Nathanael, Grady Artha Chandra, Fioni Citra Effendi, dan Kendra Nathanael yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
6. Semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan selama penulisan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna mengingat keterbatasan waktu dan keterbatasan kemampuan penulis sehingga penulis terbuka untuk saran dan kritik yang dapat membantu menyempurnakan skripsi ini.



Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi seluruh pembaca, terutama bagi mahasiswa Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang ingin mengembangkan skripsi ini.

Bandung, 19 Juli 2024

Penulis,



Erich Marcellino

6102001007



# DAFTAR ISI

PRAKATA .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Masalah Penelitian .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Metode Penelitian .....	7
1.6 Diagram Alir .....	9
1.7 Sistematika Penulisan .....	11
BAB 2 DASAR TEORI .....	12
2.1 Teori Kegempaan Berdasarkan SNI 1726:2019 .....	12
2.1.1 Gempa Rencana .....	12
2.1.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Struktur Bangunan .....	12
2.1.3 Kombinasi Beban untuk Metode Ultimit .....	14
2.1.3.1 Kombinasi Pembebanan Dasar .....	14
2.1.3.2 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik .....	14
2.1.4 Klasifikasi Situs .....	15

2.1.5	Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget ( $MCE_R$ ).....	15
2.1.6	Parameter Percepatan Spektral Desain.....	17
2.1.7	Spektrum Respons Desain.....	17
2.1.8	Kategori Desain Seismik.....	18
2.1.9	Spektrum Respons Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake/ $MCE_R$ ) .....	19
2.1.10	Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik .....	19
2.1.11	Nilai R, Cd, dan $\Omega_0$ untuk Kombinasi Vertikal .....	20
2.1.12	Nilai R, Cd, dan $\Omega_0$ untuk Kombinasi Horizontal .....	21
2.1.13	Persyaratan Pendetailan pada Kombinasi Sistem Rangka ...	21
2.1.14	Persyaratan Sistem Ganda .....	21
2.1.15	Sistem Interaktif Dinding Geser Rangka.....	21
2.1.16	Ketidakteraturan Horizontal dan Vertikal Struktur yang Terlarang untuk Kategori Desain Seismik D sampai F.....	21
2.1.17	Ketidakteraturan Horizontal .....	22
2.1.18	Ketidakteraturan Vertikal .....	24
2.1.19	Faktor Redundansi .....	25
2.1.20	Pengaruh Beban Seismik.....	26
2.1.21	Pengaruh Beban Seismik Termasuk Faktor Kuat Lebih .....	27
2.1.22	Arah Pembebanan .....	28
2.1.23	Gaya Lateral Ekuivalen.....	28
2.1.24	Penentuan Periode Fundamental.....	29
2.1.25	Torsi Bawaan .....	30
2.1.26	Torsi Tak Terduga.....	31

2.1.27	Pembesaran Momen Torsi Tak Terduga .....	31
2.1.28	Penentuan Simpangan Antar Tingkat.....	32
2.1.29	Batasan Simpangan Antar Tingkat .....	33
2.1.30	Pengaruh P-delta .....	34
2.1.31	Jumlah Ragam .....	34
2.1.32	Penskalaan Gaya .....	35
2.1.33	Penskalaan Simpangan.....	35
2.2	SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.....	35
2.2.1	Beban Mati .....	35
2.2.2	Beban Hidup .....	35
2.2.2.1	Reduksi Beban Hidup Merata .....	35
2.3	SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan .....	36
2.3.1	Pelat Dua Arah.....	36
2.3.1.1	Tebal Pelat.....	36
2.3.1.2	Lendutan Izin.....	37
2.3.1.3	Tulangan Minimum .....	37
2.3.2	Balok .....	38
2.3.2.1	Tinggi Balok.....	38
2.3.2.2	Luas Tulangan minimum .....	38
2.3.2.4	Balok-T .....	39
2.3.3	Kolom.....	40
2.3.4	Selimit Beton .....	41
2.4	Beton Bertulang Pasca Bakar .....	42
2.4.1	Suhu Beton dan Tulangan Baja .....	42

2.4.1.1	Perhitungan temperature beton dan tulangan baja pada suhu 400 °C dengan durasi 2 jam .....	43
2.4.1.2	Perhitungan temperature beton dan tulangan baja pada suhu 800 °C dengan durasi 2 jam .....	43
2.4.2	Kuat Tekan Beton .....	44
2.4.3	Modulus Elastisitas Beton .....	45
2.4.4	Tegangan Leleh Tulangan Baja .....	47
2.4.5	Modulus Elastisitas Tulangan Baja.....	48
2.5	ASCE 41-17 Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings	48
2.5.1	Cakupan ASCE 41-17 .....	48
2.5.2	Proses Retrofit Seismik .....	48
2.5.2.1	Konsiderasi Inisial .....	48
2.5.2.2	Pemilihan Tujuan Kinerja .....	49
2.5.2.3	Tingkat Kegempaan.....	49
2.5.2.4	Informasi Pembangunan .....	49
2.5.2.5	Prosedur Retrofit .....	49
2.5.2.6	Tindakan Retrofit.....	50
2.5.2.7	Verifikasi Desain Retrofit.....	50
2.5.2.8	Dokumen Konstruksi .....	50
2.5.2.9	Jaminan Kualitas .....	50
2.5.3	Tingkat dan Rentang Kinerja Struktural .....	51
2.5.3.1	Immediate Occupancy (S-1).....	51
2.5.3.2	Enhanced Safety Structural Performance Range.....	51
2.5.3.3	Damage Control Structural Performance (S-2).....	51
2.5.3.4	Life Safety Structural Performance (S-3) .....	51

	2.5.3.5 Reduced Safety Structural Performance (S-4) .....	51
	2.5.3.6 Collapse Prevention Structural Performance (S-5) ..	51
	2.5.3.7 Structural Performance Not Considered (S-6) .....	51
2.6	Perilaku Nonlinear Material .....	52
2.7	Sendi Plastis.....	57
2.8	Analisis Riwayat Waktu .....	58
	2.8.1 Rekaman Percepatan Gempa .....	59
2.9	Penskalaan Percepatan Gempa .....	60
	2.9.1 <i>Spectral Matching in Time Domain</i> .....	60
	2.9.1 <i>Spectral Matching in Time Domain</i> .....	60
2.10	Metode Integrasi Hilber Hughes Taylor.....	60
2.11	Near Surface Mounted Rod Retrofitting .....	61
BAB 3 ANALISIS RESPONS SPEKTRUM DAN RETROFIT .....		63
3.1	Respons Spektrum Analysis Model Sebelum Terjadi Kebakaran ...	63
	3.1.1 Informasi Pemodelan .....	63
	3.1.2 Data Struktur.....	63
	3.1.3 Data Material .....	64
	3.1.4 Pembebanan.....	64
	3.1.4.1 Beban Mati (Dead Load) .....	64
	3.1.4.2 Beban Mati Tambahan.....	64
	3.1.4.3 Beban Hidup .....	65
	3.1.5 Beban Gempa.....	65
	3.1.6 Kombinasi Pembebanan .....	66
	3.1.7 Preliminary Design .....	67
	3.1.8 Jumlah Ragam .....	67
	3.1.9 Faktor Skala.....	68

3.1.10	Pengecekan Simpangan Antar Lantai .....	68
3.1.11	Ketidakteraturan Horizontal .....	68
3.1.12	Ketidakteraturan Vertikal .....	70
3.1.13	Penulangan Elemen Struktur .....	73
3.2	Respons Spektrum Analysis Model Pasca Kebakaran.....	75
3.2.1	Kebakaran Suhu 400°C .....	76
3.2.1.1	Model 1 .....	76
3.2.1.1.1	Jumlah Ragam.....	78
3.2.1.1.2	Faktor Skala .....	78
3.2.1.1.3	Pengecekan Simpangan Antar Lantai.....	78
3.2.1.1.4	Ketidakteraturan Horizontal.....	79
3.2.1.1.5	Ketidakteraturan Vertikal .....	81
3.2.1.1.6	Penulangan Elemen Struktur .....	84
3.2.1.2	Model 2 .....	88
3.2.1.2.1	Jumlah Ragam.....	90
3.2.1.2.2	Faktor Skala .....	90
3.2.1.2.3	Pengecekan Simpangan Antar Lantai.....	90
3.2.1.2.4	Ketidakteraturan Horizontal.....	90
3.2.1.2.5	Ketidakteraturan Vertikal .....	93
3.2.1.2.6	Penulangan Elemen Struktur .....	96
3.2.1.3	Model 3 .....	100
3.2.1.3.1	Jumlah Ragam.....	102
3.2.1.3.2	Faktor Skala .....	102
3.2.1.3.3	Pengecekan Simpangan Antar Lantai.....	102
3.2.1.3.4	Ketidakteraturan Horizontal.....	103
3.2.1.3.5	Ketidakteraturan Vertikal .....	105
3.2.1.3.6	Penulangan Elemen Struktur .....	108
3.2.2	Kebakaran Suhu 800°C .....	111
3.2.2.1	Model 4 .....	112
3.2.2.1.1	Jumlah Ragam.....	114

3.2.2.1.2	Faktor Skala .....	114
3.2.2.1.3	Pengecekan Simpangan Antar Lantai.....	114
3.2.2.1.4	Ketidakteraturan Horizontal.....	114
3.2.2.1.5	Ketidakteraturan Vertikal .....	117
3.2.2.1.6	Penulangan Elemen Struktur .....	120
3.2.2.2	Model 5 .....	124
3.2.2.2.1	Jumlah Ragam.....	126
3.2.2.2.2	Faktor Skala .....	126
3.2.2.2.3	Pengecekan Simpangan Antar Lantai.....	126
3.2.2.2.4	Ketidakteraturan Horizontal.....	127
3.2.2.2.5	Ketidakteraturan Vertikal .....	130
3.2.2.2.6	Penulangan Elemen Struktur .....	133
3.2.2.3	Model 6 .....	137
3.2.2.3.1	Jumlah Ragam.....	139
3.2.2.3.2	Faktor Skala .....	139
3.2.2.3.3	Pengecekan Simpangan Antar Lantai.....	139
3.2.2.3.4	Ketidakteraturan Horizontal.....	140
3.2.2.3.5	Ketidakteraturan Vertikal .....	143
3.2.2.3.6	Penulangan Elemen Struktur .....	146
BAB 4 ANALISIS RIWAYAT WAKTU DAN PEMBAHASAN .....		149
4.1	Parameter Analisis Riwayat Waktu .....	149
4.2	Retrofit Struktur.....	151
4.2.1	Model 1 .....	152
4.2.2	Model 2 .....	154
4.2.3	Model 3 .....	155
4.2.4	Model 4 .....	157
4.2.5	Model 5 .....	159
4.2.6	Model 6 .....	161
4.3	Peralihan Lantai Maksimum.....	162
4.4	Rasio Simpangan Antar Lantai.....	167



4.5	Sendi Plastis.....	172
4.5.1	Model 1 .....	172
4.5.2	Model 2 .....	177
4.5.3	Model 3 .....	182
4.5.4	Model 4 .....	187
4.5.5	Model 5 .....	192
4.5.6	Model 6 .....	197
4.6	Taraf Kinerja.....	202
4.7	Gaya Geser Dasar dan Faktor Kuat Lebih.....	204
4.8	Faktor Pembesaran Defleksi.....	206
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		212
5.1	Kesimpulan.....	212
5.2	Saran.....	213
DAFTAR PUSTAKA .....		215
LAMPIRAN 1 PRELIMINARY DESIGN.....		217
LAMPIRAN 2 FAKTOR SKALA .....		220
LAMPIRAN 3 TULANGAN TRANSVERSAL RESPONS SPEKTRUM ANALISIS.....		232

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\Delta_a$	= Simpangan antar tingkat izin
$A_{ch}$	= Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
$A_g$	= Luas penampang <i>gross</i>
$A_s$	= Luas tulangan
ASCE	= <i>The American Society of Civil Engineers</i>
$A_T$	= Luas tributary
$A_x$	= Faktor pembesaran torsi
$b_w$	= Lebar penampang persegi
$c$	= Selimut beton
$C_d$	= Faktor pembesaran defleksi
CP	= <i>Collapse Prevention</i>
CRFP	= <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>
$C_s$	= Koefisien respons seismic
$C_t$	= Parameter pendekatan periode fundamental struktur
D	= Beban mati termasuk SIDL
d	= Tinggi efektif
D/C	= <i>Demand/Capacity</i>
$E_c$	= Modulus elastisitas beton
$E_h$	= Beban gempa Horizontal
$E_{mh}$	= Pengaruh beban seismik horizontal termasuk faktor kuat lebih

$E_{mv}$	= Pengaruh beban seismik vertikal termasuk faktor kuat lebih
$E_s$	= Modulus elastisitas baja
ETABS	= <i>Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems</i>
$E_v$	= Beban gempa vertikal
$F_a$	= Faktor amplifikasi mencakup amplifikasi percepatan gempa pada getaran periode pendek
$f_c'$	= Kuat tekan beton
FRP	= <i>Fiber Reinforced Polymer</i>
$F_v$	= Faktor amplifikasi percepatan gempa pada getaran periode getar 1 detik
$f_y$	= Tegangan leleh tulangan baja
$h$	= Tebal pelat nonprategang
HHT	= Hilber-Hughes-Taylor
$h_n$	= Ketinggian struktur
$I_e$	= Faktor Keutamaan gempa
IO	= <i>Immediate Occupancy</i>
KDS	= Kategori desain seismik
$K_{LL}$	= Faktor elemen beban hidup
$L$	= Beban Hidup
$L_0$	= Beban hidup desain tanpa reduksi
$l_n$	= Bentang bersih dari kolom ke kolom
$L_r$	= Beban Hujan
LS	= <i>Life Safety</i>
$MCE_R$	= <i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake</i>

$M_t$	= Momen torsi bawaan
$M_{ta}$	= Momen torsi tak terduga
NSM	= <i>Near Surface Mounted Rod</i>
$P_u$	= Gaya aksial ultimit yang diterima elemen struktur
R	= Koefisien modifikasi respons
$S_1$	= 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
SIDL	= <i>Super Imposed Dead Load</i>
$S_{M1}$	= Parameter respon spektral percepatan pada periode 1 detik
$S_{MS}$	= Parameter respon spektral percepatan pada periode pendek
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRPMK	= Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus
$S_s$	= Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan untuk periode pendek
$S_w$	= Bentang bersih dari balok ke balok
$T_a$	= Periode fundamental pendekatan
$T_L$	= Transisi periode panjang
V	= Gaya geser dasar static
$V_t$	= Gaya geser dasar analisis ragam
W	= Berat seismic Efektif
$\delta_{avg}$	= Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan $A_x = 1$

- $\delta_{\max}$  = Perpindahan maksimum di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$
- $\delta_x$  = Simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik
- $\rho$  = Faktor redundansi
- $\Omega_0$  = Faktor kuat lebih sistem
- $\gamma_b$  = Berat jenis beton



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Denah Tipikal Lantai.....	4
<b>Gambar 1.2</b> Model 3D Gedung.....	4
<b>Gambar 1.3</b> Kebakaran di Seluruh Lantai 1-2-3 .....	5
<b>Gambar 1.4</b> Elemen Struktur Yang Mengalami Penurunan Kekuatan Akibat Kebakaran Lantai 1-2-3.....	5
<b>Gambar 1.5</b> Kebakaran di Sebagian Lantai 4-5-6.....	5
<b>Gambar 1.6</b> Elemen Struktur Yang Mengalami Penurunan Kekuatan Akibat Kebakaran Lantai 4-5-6.....	6
<b>Gambar 1.7</b> Kebakaran di Seluruh Lantai 7-8-9 .....	6
<b>Gambar 1.8</b> Elemen Struktur Yang Mengalami Penurunan Kekuatan Akibat Kebakaran Lantai 7-8-9.....	6
<b>Gambar 2.1</b> Peta Transisi Periode Panjang, TL, Wilayah Indonesia (sumber : Gambar 20 SNI 1726:2019) .....	18
<b>Gambar 2.2</b> Spektrum Respons Desain (sumber: Gambar 3 SNI 1726:2019) ....	18
<b>Gambar 2.3</b> Ketidakberaturan Horizontal (sumber: Gambar 5 SNI 1726:2019).	23
<b>Gambar 2.4</b> Ketidakberaturan Vertikal (sumber: Gambar 6 SNI 1726:2019).....	25
<b>Gambar 2.5</b> Faktor Pembesaran Torsi, $A_x$ (sumber: Gambar 9 SNI 1726:2019)	32
<b>Gambar 2.6</b> Penentuan Simpangan Antar Tingkat (sumber: Gambar 10 SNI 1726:2019) .....	33
<b>Gambar 2.7</b> Kuat Tekan Beton pada Temperatur Tinggi (sumber: Fig 3-29 Reinforced Concrete, Mechanics and Design 5th ed).....	44
<b>Gambar 2.8</b> Kuat Tekan Beton Pada Temperatur Tinggi menurut ACI 216R-89 (sumber: Fig. 6.1.1 ACI 216R-89).....	45
<b>Gambar 2.9</b> Modulus Elastisitas Beton Pada Temperatur Tinggi (sumber: Fig. 2.16 Fire Engineering of Structures Analysis and Design).....	46

<b>Gambar 2.10</b> Modulus Elastisitas Beton Pada Temperatur Tinggi (sumber: Fig. 6.3.1 ACI 216R-89) .....	46
<b>Gambar 2.11</b> Tegangan Leleh Tulangan Baja pada Temperatur Tinggi (sumber: Fig. 3-34 Reinforced Concrete, Mechanics and Design 5 <sup>th</sup> Ed).....	47
<b>Gambar 2.12</b> Tegangan Leleh Tulangan Baja pada Temperatur Tinggi (sumber: Fig. 5.1 ACI 216R-89) .....	47
<b>Gambar 2.13</b> Modulus Elastistas Tulangan Baja pada temperature tinggi (sumber: Fig. 6.20 Structural Design for Fire Safety) .....	48
<b>Gambar 2.14</b> Histeresis Elastis (sumber: docs.csiamerica.com) .....	52
<b>Gambar 2.15</b> Histeresis Kinematik (sumber: docs.csiamerica.com) .....	53
<b>Gambar 2.16</b> Histeresis Takeda (sumber: docs.csiamerica.com) .....	53
<b>Gambar 2.17</b> Parameter dan Perilaku Pivot (sumber: docs.csiamerica.com).....	54
<b>Gambar 2.18</b> Histeresis Pivot (sumber: docs.csiamerica.com).....	54
<b>Gambar 2.19</b> Histeresis BRB (sumber: docs.csiamerica.com).....	55
<b>Gambar 2.20</b> Histeresis Degrading, Elastic Degradation (sumber: docs.csiamerica.com) .....	55
<b>Gambar 2.21</b> Histeresis Degrading, Stiffness Degradation (sumber: docs.csiamerica.com) .....	56
<b>Gambar 2.22</b> Histeresis Degrading, 0.5 Elastic + 0.5 Stiffness Degradation (sumber: docs.csiamerica.com) .....	56
<b>Gambar 2.23</b> Histeresis Isotropic (sumber: docs.csiamerica.com) .....	57
<b>Gambar 2.24</b> Histeresis Concrete (sumber: docs.csiamerica.com).....	57
<b>Gambar 2.25</b> Rekaman Percepatan Gempa El Centro .....	59
<b>Gambar 2.26</b> Rekaman Percepatan Gempa Bucharest .....	59
<b>Gambar 2.27</b> Rekaman Percepatan Gempa Flores.....	60
<b>Gambar 2.28</b> Rekaman Percepatan Gempa Parkfield .....	60
<b>Gambar 2.29</b> Rekaman Percepatan Gempa Denpasar .....	60

<b>Gambar 2.30</b> NSM System (Lorenzis & Teng, 2007).....	62
<b>Gambar 2.31</b> Retrofitting NSM .....	62
<b>Gambar 3.1</b> Respon Spektra Jakarta Kelas Situs SE (sumber: rsa.ciptakarya.pu.go.id).....	66
<b>Gambar 3.2</b> Denah Struktur Tipikal.....	70
<b>Gambar 3.3</b> 3D View Model 1.....	77
<b>Gambar 3.4</b> Denah Struktur Model 1 yang Mengalami Penurunan Kekuatan ....	77
<b>Gambar 3.5</b> Elevasi Struktur Model 1 yang Mengalami Penurunan Kekuatan...	78
<b>Gambar 3.6</b> Denah Struktur Tipikal.....	81
<b>Gambar 3.7</b> Lokasi Retrofit Balok T Model 1 Lantai 2, 3, dan 4.....	87
<b>Gambar 3.8</b> Lokasi Retrofit Balok Anak Model 1 Lantai 2 dan 3.....	87
<b>Gambar 3.9</b> 3D View Model 2.....	88
<b>Gambar 3.10</b> Denah Struktur Model 2 yang Mengalami Penurunan Kekuatan ..	89
<b>Gambar 3.11</b> Elevasi Struktur Model 2 yang Mengalami Penurunan Kekuatan .	89
<b>Gambar 3.12</b> Denah Struktur Tipikal.....	93
<b>Gambar 3.13</b> Lokasi Retrofit Balok L Model 2 Lantai 6 .....	99
<b>Gambar 3.14</b> Lokasi Retrofit Balok T Model 2 Lantai 5 .....	99
<b>Gambar 3.15</b> Lokasi Retrofit Balok T Model 2 Lantai 6 dan 7.....	99
<b>Gambar 3.16</b> Lokasi Retrofit Balok Anak Model 2 Lantai 5 .....	100
<b>Gambar 3.17</b> Lokasi Retrofit Balok Anak Model 2 Lantai 6 dan 7.....	100
<b>Gambar 3.18</b> 3D View Model 3.....	101
<b>Gambar 3.19</b> Denah Struktur Model 3 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	101
<b>Gambar 3.20</b> Elevasi Struktur Model 3 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	102
<b>Gambar 3.21</b> Denah Struktur Tipikal.....	105
<b>Gambar 3.22</b> Lokasi Retrofit Balok Anak Model 3 Lantai 8 .....	111
<b>Gambar 3.23</b> 3D View Model 4.....	112



<b>Gambar 3.24</b>	Denah Struktur Model 4 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	113
<b>Gambar 3.25</b>	Elevasi Struktur Model 4 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	113
<b>Gambar 3.26</b>	Denah Struktur Tipikal .....	116
<b>Gambar 3.27</b>	Lokasi Retrofit Balok T Model 4 Lantai 2, 3, dan 4 .....	123
<b>Gambar 3.28</b>	Lokasi Retrofit Balok Anak Model 4 Lantai 2 dan 3 .....	123
<b>Gambar 3.29</b>	Lokasi Retrofit Kolom Model 4 Lantai 2 .....	124
<b>Gambar 3.30</b>	Lokasi Retrofit Kolom Model 4 Lantai 3 .....	124
<b>Gambar 3.31</b>	3D View Model 5 .....	125
<b>Gambar 3.32</b>	Denah Struktur Model 5 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	125
<b>Gambar 3.33</b>	Elevasi Struktur Model 5 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	126
<b>Gambar 3.34</b>	Denah Struktur Tipikal .....	130
<b>Gambar 3.35</b>	Lokasi Retrofit Balok L Model 5 Lantai 6 .....	136
<b>Gambar 3.36</b>	Lokasi Retrofit Balok T Model 5 Lantai 5 .....	136
<b>Gambar 3.37</b>	Lokasi Retrofit Balok T Model 5 Lantai 6 dan 7 .....	137
<b>Gambar 3.38</b>	Lokasi Retrofit Balok Anak Model 5 Lantai 5, 6, dan 7 .....	137
<b>Gambar 3.39</b>	Lokasi Retrofit Kolom Model 5 Lantai 5 .....	137
<b>Gambar 3.40</b>	3D View Model 6 .....	138
<b>Gambar 3.41</b>	Denah Struktur Model 6 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	138
<b>Gambar 3.42</b>	Elevasi Struktur Model 6 yang Mengalami Penurunan Kekuatan	139
<b>Gambar 3.43</b>	Denah Struktur Tipikal .....	143
<b>Gambar 3.44</b>	Lokasi Retrofit Balok Anak Model 6 Lantai 8 .....	148
<b>Gambar 4.1</b>	Rekaman Percepatan Gempa El Centro .....	150
<b>Gambar 4.2</b>	Rekaman Percepatan Gempa Bucharest .....	150
<b>Gambar 4.3</b>	Rekaman Percepatan Gempa Flores .....	150
<b>Gambar 4.4</b>	Rekaman Percepatan Gempa Parkfield .....	150
<b>Gambar 4.5</b>	Rekaman Percepatan Gempa Denpasar .....	151

<b>Gambar 4.6</b> Performance Check Data .....	151
<b>Gambar 4.7</b> Display Performance Check .....	152
<b>Gambar 4.8</b> Display Performance Check Model 1 Gempa El Centro.....	152
<b>Gambar 4.9</b> Display Performance Check Model 1 Lantai 1 Gempa El Centro .	153
<b>Gambar 4.10</b> Retrofit Lokal Kolom Model 1 Lantai 1 .....	154
<b>Gambar 4.11</b> Display Performance Check Model 2 Gempa El Centro.....	154
<b>Gambar 4.12</b> Display Performance Check Model 2 Lantai 1 Gempa El Centro	155
<b>Gambar 4.13</b> Retrofit Lokal Kolom Model 2 Lantai 1 .....	155
<b>Gambar 4.14</b> Display Performance Check Model 3 Gempa El Centro.....	156
<b>Gambar 4.15</b> Display Performance Check Model 3 Lantai 1 Gempa El Centro	156
<b>Gambar 4.16</b> Retrofit Lokal Kolom Model 3 Lantai 1 .....	157
<b>Gambar 4.17</b> Display Performance Check Model 4 Gempa El Centro.....	158
<b>Gambar 4.18</b> Display Performance Check Model 4 Lantai 1 Gempa El Centro	158
<b>Gambar 4.19</b> Retrofit Lokal Kolom Model 4 Lantai 1 .....	159
<b>Gambar 4.20</b> Display Performance Check Model 5 Gempa El Centro.....	159
<b>Gambar 4.21</b> Display Performance Check Model 5 Lantai 1 Gempa El Centro	160
<b>Gambar 4.22</b> Retrofit Lokal Kolom Model 5 Lantai 1 .....	161
<b>Gambar 4.23</b> Display Performance Check Model 6 Gempa El Centro.....	161
<b>Gambar 4.24</b> Display Performance Check Model 6 Lantai 1 Gempa El Centro	161
<b>Gambar 4.25</b> Retrofit Lokal Kolom Model 6 Lantai 1 .....	162
<b>Gambar 4.26</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 1 .....	163
<b>Gambar 4.27</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 2 .....	164
<b>Gambar 4.28</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 3 .....	165
<b>Gambar 4.29</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 4 .....	165
<b>Gambar 4.30</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 5 .....	166
<b>Gambar 4.31</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 6 .....	167

<b>Gambar 4.32</b> Story Drift Ratio Model 1 .....	168
<b>Gambar 4.33</b> Story Drift Ratio Model 2 .....	169
<b>Gambar 4.34</b> Story Drift Ratio Model 3 .....	169
<b>Gambar 4.35</b> Story Drift Ratio Model 4 .....	170
<b>Gambar 4.36</b> Story Drift Ratio Model 5 .....	171
<b>Gambar 4.37</b> Story Drift Ratio Model 6 .....	172
<b>Gambar 4.38</b> 3D View Sendi Plastis Model 1 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	172
<b>Gambar 4.39</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 1 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	173
<b>Gambar 4.40</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 4 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	173
<b>Gambar 4.41</b> 3D View Sendi Plastis Model 1 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	173
<b>Gambar 4.42</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 1 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	174
<b>Gambar 4.43</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 4 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	174
<b>Gambar 4.44</b> 3D View Sendi Plastis Model 1 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	174
<b>Gambar 4.45</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 1 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	175
<b>Gambar 4.46</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 4 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	175
<b>Gambar 4.47</b> 3D View Sendi Plastis Model 1 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	175
<b>Gambar 4.48</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 1 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	176

<b>Gambar 4.49</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 4 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	176
<b>Gambar 4.50</b> 3D View Sendi Plastis Model 1 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	176
<b>Gambar 4.51</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 1 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	177
<b>Gambar 4.52</b> Sendi Plastis Model 1 Elevasi 4 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	177
<b>Gambar 4.53</b> 3D View Sendi Plastis Model 2 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	177
<b>Gambar 4.54</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 1 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	178
<b>Gambar 4.55</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 4 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	178
<b>Gambar 4.56</b> 3D View Sendi Plastis Model 2 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	178
<b>Gambar 4.57</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 1 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	179
<b>Gambar 4.58</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 4 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	179
<b>Gambar 4.59</b> 3D View Sendi Plastis Model 2 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	179
<b>Gambar 4.60</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 1 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	180
<b>Gambar 4.61</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 4 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	180
<b>Gambar 4.62</b> 3D View Sendi Plastis Model 2 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	180

<b>Gambar 4.63</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 1 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	181
<b>Gambar 4.64</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 4 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	181
<b>Gambar 4.65</b> 3D View Sendi Plastis Model 2 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	181
<b>Gambar 4.66</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 1 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	182
<b>Gambar 4.67</b> Sendi Plastis Model 2 Elevasi 4 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	182
<b>Gambar 4.68</b> 3D View Sendi Plastis Model 3 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	182
<b>Gambar 4.69</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 1 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	183
<b>Gambar 4.70</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 4 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	183
<b>Gambar 4.71</b> 3D View Sendi Plastis Model 3 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	183
<b>Gambar 4.72</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 1 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	184
<b>Gambar 4.73</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 4 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	184
<b>Gambar 4.74</b> 3D View Sendi Plastis Model 3 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	184
<b>Gambar 4.75</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 1 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	185
<b>Gambar 4.76</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 4 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	185

<b>Gambar 4.77</b> 3D View Sendi Plastis Model 3 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	185
<b>Gambar 4.78</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 1 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	186
<b>Gambar 4.79</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 4 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	186
<b>Gambar 4.80</b> 3D View Sendi Plastis Model 3 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	186
<b>Gambar 4.81</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 1 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	187
<b>Gambar 4.82</b> Sendi Plastis Model 3 Elevasi 4 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	187
<b>Gambar 4.83</b> 3D View Sendi Plastis Model 4 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	187
<b>Gambar 4.84</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 1 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	188
<b>Gambar 4.85</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 4 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	188
<b>Gambar 4.86</b> 3D View Sendi Plastis Model 4 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	188
<b>Gambar 4.87</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 1 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	189
<b>Gambar 4.88</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 4 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	189
<b>Gambar 4.89</b> 3D View Sendi Plastis Model 4 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	189
<b>Gambar 4.90</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 1 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	190

<b>Gambar 4.91</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 4 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0.....	190
<b>Gambar 4.92</b> 3D View Sendi Plastis Model 4 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	190
<b>Gambar 4.93</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 1 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	191
<b>Gambar 4.94</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 4 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	191
<b>Gambar 4.95</b> 3D View Sendi Plastis Model 4 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	191
<b>Gambar 4.96</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 1 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	192
<b>Gambar 4.97</b> Sendi Plastis Model 4 Elevasi 4 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	192
<b>Gambar 4.98</b> 3D View Sendi Plastis Model 5 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	192
<b>Gambar 4.99</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 1 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	193
<b>Gambar 4.100</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 4 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	193
<b>Gambar 4.101</b> 3D View Sendi Plastis Model 5 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	193
<b>Gambar 4.102</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 1 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	194
<b>Gambar 4.103</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 4 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	194
<b>Gambar 4.104</b> 3D View Sendi Plastis Model 5 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	194

<b>Gambar 4.105</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 1 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	195
<b>Gambar 4.106</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 4 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	195
<b>Gambar 4.107</b> 3D View Sendi Plastis Model 5 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	195
<b>Gambar 4.108</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 1 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	196
<b>Gambar 4.109</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 4 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	196
<b>Gambar 4.110</b> 3D View Sendi Plastis Model 5 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	196
<b>Gambar 4.111</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 1 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	197
<b>Gambar 4.112</b> Sendi Plastis Model 5 Elevasi 4 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	197
<b>Gambar 4.113</b> 3D View Sendi Plastis Model 6 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	197
<b>Gambar 4.114</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 1 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	198
<b>Gambar 4.115</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 4 Gempa El Centro pada Detik 2.0 dan 2.3 .....	198
<b>Gambar 4.116</b> 3D View Sendi Plastis Model 6 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	198
<b>Gambar 4.117</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 1 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	199
<b>Gambar 4.118</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 4 Gempa Bucharest pada Detik 3.25 dan 4.1 .....	199



<b>Gambar 4.119</b> 3D View Sendi Plastis Model 6 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	199
<b>Gambar 4.120</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 1 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	200
<b>Gambar 4.121</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 4 Gempa Flores pada Detik 44.0 dan 54.0 .....	200
<b>Gambar 4.122</b> 3D View Sendi Plastis Model 6 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	200
<b>Gambar 4.123</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 1 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	201
<b>Gambar 4.124</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 4 Gempa Parkfield pada Detik 3.8 dan 4.7 .....	201
<b>Gambar 4.125</b> 3D View Sendi Plastis Model 6 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	201
<b>Gambar 4.126</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 1 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	202
<b>Gambar 4.127</b> Sendi Plastis Model 6 Elevasi 4 Gempa Denpasar pada Detik 10.7 dan 23.0 .....	202

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa (sumber: Tabel 3 SNI 1726:2019) .....	13
<b>Tabel 2.2</b> Faktor Keutamaan Gempa (sumber: Tabel 4 SNI 1726:2019) .....	14
<b>Tabel 2.3</b> Klasifikasi Situs (sumber: Tabel 5 SNI 1726:2019).....	15
<b>Tabel 2.4</b> Koefisien Situs $F_a$ (sumber: Tabel 6 SNI 1726:2019) .....	16
<b>Tabel 2.5</b> Koefisien Situs $F_v$ (sumber: Tabel 7 SNI 1726:2019).....	16
<b>Tabel 2.6</b> Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (sumber: Tabel 8 SNI 1726:2019).....	19
<b>Tabel 2.7</b> Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (sumber: Tabel 9 SNI 1726:2019).....	19
<b>Tabel 2.8</b> Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik (sumber: Tabel 12 SNI 1726:2019).....	20
<b>Tabel 2.9</b> Ketidakberaturan Horizontal Pada Struktur (sumber: Tabel 13 SNI 1726:2019) .....	22
<b>Tabel 2.10</b> Ketidakberaturan Vertikal Pada Struktur (sumber: Tabel 14 SNI 1726:2019) .....	24
<b>Tabel 2.11</b> Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung (sumber: Tabel 17 SNI 1726:2019).....	30
<b>Tabel 2.12</b> Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ (sumber: Tabel 18 SNI 1726:2019) .....	30
<b>Tabel 2.13</b> Simpangan Antar Tingkat Izin, $\Delta_a^{a,b}$ (sumber: Tabel 18 SNI 1726:2019) .....	33
<b>Tabel 2.14</b> Faktor Elemen Beban Hidup, $K_{LL}$ (sumber: Tabel 4.7-1 SNI 1727:2020) .....	36
<b>Tabel 2.15</b> Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya. (sumber: Tabel 8.3.1.2 ACI 318M-14) ...	37

<b>Tabel 2.16</b> Perhitungan Lendutan Izin Maksimum. (sumber: Tabel 24.2.2 SNI 2847:2019) .....	37
<b>Tabel 2.17</b> $A_{s_{min}}$ untuk pelat dua arah nonprategang (sumber: Tabel 8.6.1.1 SNI 2847:2019) .....	38
<b>Tabel 2.18</b> Tinggi Minimum Balok Nonprategang (sumber: Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019) .....	38
<b>Tabel 2.19</b> Batasan Dimensi Lebar Sayap Efektif untuk Balok-T (sumber: Tabel 6.3.2.1 SNI 2847:2019).....	39
<b>Tabel 2.20</b> Tulangan transversal untuk kolom-kolom sistem rangka pemikul momen khusus (sumber: Tabel 18.7.5.4 SNI 2847:2019) .....	40
<b>Tabel 2.21</b> Ketebalan Selimut Beton untuk Komponen Struktur Beton Nonprategang yang Dicor di Tempat (sumber: Tabel 20.6.1.3.1 SNI 2847:2019)	41
<b>Tabel 3.1</b> Beban Mati Tambahan pada Lantai 1-8.....	64
<b>Tabel 3.2</b> Beban Mati Tambahan pada Lantai 9.....	65
<b>Tabel 3.3</b> Kombinasi Pembebanan Pemodelan.....	66
<b>Tabel 3.4</b> Dimensi Elemen Struktur.....	67
<b>Tabel 3.5</b> Simpangan Antar Lantai Model Sebelum Kebakaran .....	68
<b>Tabel 3.6</b> Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Sebelum Terjadi Kebakaran.....	69
<b>Tabel 3.7</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B Sebelum Terjadi Kebakaran.....	71
<b>Tabel 3.8</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Sebelum Terjadi Kebakaran.....	72
<b>Tabel 3.9</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B Sebelum Terjadi Kebakaran.....	72
<b>Tabel 3.10</b> Penulangan Kolom pada Pemodelan Awal .....	73
<b>Tabel 3.11</b> Penulangan Balok L pada Pemodelan Awal .....	74
<b>Tabel 3.12</b> Penulangan Balok T pada Pemodelan Awal .....	74

<b>Tabel 3.13</b> Penulangan Balok Anak pada Pemodelan Awal .....	75
<b>Tabel 3.14</b> Simpangan Antar Lantai Model 1 .....	79
<b>Tabel 3.15</b> Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 1 .	79
<b>Tabel 3.16</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B Model 1 .....	81
<b>Tabel 3.17</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 1 .....	83
<b>Tabel 3.18</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B Model 1 .....	83
<b>Tabel 3.19</b> Perbandingan Penulangan Balok L pada Model 1.....	84
<b>Tabel 3.20</b> Perbandingan Penulangan Balok T pada Model 1.....	85
<b>Tabel 3.21</b> Perbandingan Penulangan Balok Anak pada Model 1.....	85
<b>Tabel 3.22</b> Perbandingan Penulangan Kolom pada Model 1 .....	86
<b>Tabel 3.23</b> Simpangan Antar Lantai Model 2 .....	90
<b>Tabel 3.24</b> Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 2 .	91
<b>Tabel 3.25</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B Model 2 .....	93
<b>Tabel 3.26</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 2.....	94
<b>Tabel 3.27</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B Model 2 .....	94
<b>Tabel 3.28</b> Perbandingan Penulangan Balok L pada Model 2.....	96
<b>Tabel 3.29</b> Perbandingan Penulangan Balok T pada Model 2.....	96
<b>Tabel 3.30</b> Perbandingan Penulangan Balok Anak pada Model 2.....	97
<b>Tabel 3.31</b> Perbandingan Penulangan Kolom pada Model 2 .....	97
<b>Tabel 3.32</b> Simpangan Antar Lantai Model 3 .....	103
<b>Tabel 3.33</b> Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 3	103
<b>Tabel 3.34</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B Model 3 ...	105
<b>Tabel 3.35</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 3.....	107
<b>Tabel 3.36</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B Model 3 ...	107
<b>Tabel 3.37</b> Perbandingan Penulangan Balok L pada Model 3.....	108
<b>Tabel 3.38</b> Perbandingan Penulangan Balok T pada Model 3.....	109

<b>Tabel 3.39</b> Perbandingan Penulangan Balok Anak pada Model 3.....	109
<b>Tabel 3.40</b> Perbandingan Penulangan Kolom pada Model 3 .....	110
<b>Tabel 3.41</b> Simpangan Antar Lantai Model 4 .....	114
<b>Tabel 3.42</b> Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 4	115
<b>Tabel 3.43</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B Model 4 ...	117
<b>Tabel 3.44</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 4.....	118
<b>Tabel 3.45</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B Model 4 ...	119
<b>Tabel 3.46</b> Perbandingan Penulangan Balok L pada Model 4.....	120
<b>Tabel 3.47</b> Perbandingan Penulangan Balok T pada Model 4.....	121
<b>Tabel 3.48</b> Perbandingan Penulangan Balok Anak pada Model 4.....	121
<b>Tabel 3.49</b> Perbandingan Penulangan Kolom pada Model 4 .....	122
<b>Tabel 3.50</b> Simpangan Antar Lantai Model 5 .....	127
<b>Tabel 3.51</b> Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 5	127
<b>Tabel 3.52</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B Model 5 ...	130
<b>Tabel 3.53</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 5.....	131
<b>Tabel 3.54</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B Model 5 ...	131
<b>Tabel 3.55</b> Perbandingan Penulangan Balok L pada Model 5.....	133
<b>Tabel 3.56</b> Perbandingan Penulangan Balok T pada Model 5.....	133
<b>Tabel 3.57</b> Perbandingan Penulangan Kolom pada Model 5 .....	134
<b>Tabel 3.58</b> Simpangan Antar Lantai Model 6 .....	140
<b>Tabel 3.59</b> Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1A dan 1B Model 6	140
<b>Tabel 3.60</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1B Model 6 ...	143
<b>Tabel 3.61</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 Model 6.....	144
<b>Tabel 3.62</b> Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5A dan 5B Model 6 ...	144
<b>Tabel 3.63</b> Perbandingan Penulangan Balok L pada Model 6.....	146
<b>Tabel 3.64</b> Perbandingan Penulangan Balok T pada Model 6.....	146

<b>Tabel 3.65</b> Perbandingan Penulangan Balok Anak pada Model 6.....	147
<b>Tabel 3.66</b> Perbandingan Penulangan Kolom pada Model 6 .....	147
<b>Tabel 4.1</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 1 .....	162
<b>Tabel 4.2</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 2 .....	163
<b>Tabel 4.3</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 3 .....	164
<b>Tabel 4.4</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 4 .....	165
<b>Tabel 4.5</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 5 .....	165
<b>Tabel 4.6</b> Peralihan Lantai Maksimum Model 6 .....	166
<b>Tabel 4.7</b> Story Drift Ratio Model 1 .....	167
<b>Tabel 4.8</b> Story Drift Ratio Model 2 .....	168
<b>Tabel 4.9</b> Story Drift Ratio Model 3 .....	169
<b>Tabel 4.10</b> Story Drift Ratio Model 4 .....	169
<b>Tabel 4.11</b> Story Drift Ratio Model 5 .....	170
<b>Tabel 4.12</b> Story Drift Ratio Model 6 .....	171
<b>Tabel 4.13</b> Taraf Kinerja Model 1 .....	202
<b>Tabel 4.14</b> Taraf Kinerja Model 2 .....	202
<b>Tabel 4.15</b> Taraf Kinerja Model 3 .....	203
<b>Tabel 4.16</b> Taraf Kinerja Model 4 .....	203
<b>Tabel 4.17</b> Taraf Kinerja Model 5 .....	203
<b>Tabel 4.18</b> Taraf Kinerja Model 6 .....	203
<b>Tabel 4.19</b> Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Riwayat Waktu dengan Analisis Respons Spektrum Model 1 .....	204
<b>Tabel 4.20</b> Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Riwayat Waktu dengan Analisis Respons Spektrum Model 2.....	204
<b>Tabel 4.21</b> Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Riwayat Waktu dengan Analisis Respons Spektrum Model 3 .....	205

<b>Tabel 4.22</b> Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Riwayat Waktu dengan Analisis Respons Spektrum Model 4.....	205
<b>Tabel 4.23</b> Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Riwayat Waktu dengan Analisis Respons Spektrum Model 5.....	205
<b>Tabel 4.24</b> Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Riwayat Waktu dengan Analisis Respons Spektrum Model 6.....	206
<b>Tabel 4.25</b> Peralihan Antar Lantai Model 1 .....	206
<b>Tabel 4.26</b> Faktor Pembesaran Defleksi Model 1.....	207
<b>Tabel 4.27</b> Peralihan Antar Lantai Model 2 .....	207
<b>Tabel 4.28</b> Faktor Pembesaran Defleksi Model 2.....	207
<b>Tabel 4.29</b> Peralihan Antar Lantai Model 3 .....	208
<b>Tabel 4.30</b> Faktor Pembesaran Defleksi Model 3.....	208
<b>Tabel 4.31</b> Peralihan Antar Lantai Model 4 .....	209
<b>Tabel 4.32</b> Faktor Pembesaran Defleksi Model 4.....	209
<b>Tabel 4.33</b> Peralihan Antar Lantai Model 5 .....	209
<b>Tabel 4.34</b> Faktor Pembesaran Defleksi Model 5.....	210
<b>Tabel 4.35</b> Peralihan Antar Lantai Model 6 .....	210
<b>Tabel 4.36</b> Faktor Pembesaran Defleksi Model 6.....	210

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur memiliki peran yang penting dalam pertumbuhan ekonomi suatu negara. Menurut data kependudukan Direktorat Jendral Kependudukan dan Pencatatan Sipil (Dukcapil), jumlah penduduk Indonesia mencapai 280.73 juta jiwa pada Desember 2023. Jumlah penduduk Indonesia yang besar menuntut pembangunan infrastruktur yang memadai untuk menyejahterakan masyarakat dan meningkatkan perekonomian negara. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur, keterbatasan lahan menjadi masalah yang perlu dipertimbangkan. Pembangunan gedung bertingkat tinggi merupakan sebuah solusi untuk mengatasi keterbatasan lahan. Selain keterbatasan lahan, faktor estetika dan kenyamanan merupakan hal yang sangat penting. Bangunan yang estetik memiliki daya tarik bagi orang yang memandang bangunan tersebut sehingga memberikan nilai lebih. Dewasa ini banyak gedung yang didesain dengan berbagai ketidak-beraturan karena keperluan fungsi ruangan atau arsitektur. Perkembangan teknologi analisis dan desain 3D juga semakin memadai dan mendukung disain gedung dengan ketidakberaturan. Pada skripsi ini, gedung yang akan dibahas mengalami ketidak-beraturan sudut dalam.

Berdasarkan SNI 1726:2019, ketidakberaturan sudut dalam didefinisikan jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau. Indonesia merupakan negara yang sering mengalami gempa bumi karena lokasinya yang berada di antara pertemuan lempeng tektonik yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Laut Filipina. Potensi terjadinya gempa bumi yang besar menyebabkan gedung yang mengalami ketidakberaturan perlu dikaji secara lebih mendalam. Ketidakberaturan sudut dalam menyebabkan beberapa efek negatif pada struktur yaitu reduksi kekuatan dan kestabilan, peningkatan beban gempa, kerusakan struktural karena berpotensi munculnya titik konsentrasi beban, dan menyebabkan variasi distribusi gaya lateral yang bekerja pada struktur. Untuk mengurangi dampak dari efek negatif ketidakberaturan sudut dalam yang bisa



menyebabkan kegagalan struktur, maka diperlukan metode perkuatan yang dapat meningkatkan kinerja struktur, salah satunya adalah *retrofit*.

Kebakaran merupakan kejadian dimana api secara tidak terkendali menyebar dan merusak benda-benda di sekitarnya. Kebakaran bisa terjadi di berbagai tempat, mulai dari rumah tinggal, gedung perkantoran, hingga hutan dan lahan. Kebakaran bisa disebabkan oleh berbagai faktor, seperti korsleting listrik, percikan api, kebocoran gas, kelalaian manusia, atau faktor alam seperti petir. Beton merupakan material yang memiliki ketahanan api yang lebih baik daripada kayu. Hal ini disebabkan karena komposisi beton terdiri dari campuran semen, air, dan agregat sehingga beton memiliki sifat tidak mudah terbakar dan dapat menahan suhu tinggi dalam waktu yang relatif lama sebelum akhirnya melemah.

Kebakaran pada gedung umumnya bersuhu 400°C hingga 1000°C. Faktor yang mempengaruhi kekuatan dari gedung beton adalah suhu dari kebakaran yang terjadi dan durasinya. Pengaruh pemanasan pada beton di temperatur 200 °C memberikan keuntungan pada beton, karena menyebabkan penguapan air dan penetrasi kedalam rongga-rongga beton, sehingga dapat meningkatkan sifat lekatan antar partikel kalsium silika. Kuat tekan beton benda uji silinder yang dipanaskan pada temperatur 200°C meningkat 10-15% dibandingkan dengan beton tanpa dipanaskan. Pada saat 300-600 °C, beton akan mulai mengalami perubahan warna menjadi abu-abu normal hingga warna merah muda, mulai berubah warna menjadi putih keabu-abuan pada suhu 600-900 °C, dan warna abu-abu pucat pada saat suhu mencapai 900-1000 °C (Hidayati, Priyosulistyo, & Triwiyono, 2021). Suhu yang tinggi dapat menyebabkan beton mengalami penurunan pada kuat tekan, modulus elastisitas, mengalami retak hingga *spalling* pada beton. Sedangkan pada baja tulangan terjadi penurunan kuat leleh, daktilitas, dan kuat tarik baja, serta berkurangnya lekatan antara beton dan tulangan.

Bangunan yang mengalami kebakaran tidak selalu harus dihancurkan ketika mengalami kerusakan. Karena struktur beton pasca kebakaran masih memiliki kekuatan sisa, *retrofit* dapat menjadi solusi yang lebih ekonomis daripada pembangunan baru, terutama jika bangunan yang ada memiliki nilai historis atau kultural yang tinggi. Konsep dasar dari *retrofit* adalah meningkatkan kekuatan lateral dan daktilitas struktur. *Retrofit* dapat ditinjau dari dua aspek, yaitu perkuatan

secara global dan lokal. Perkuatan global diberikan pada gedung yang tidak memenuhi persyaratan structural yaitu *strength*, *stiffness*, *stability*, dan *ductility*. Sedangkan perkuatan lokal diberikan ketika elemen struktur yaitu balok atau kolom tertentu tidak memenuhi keempat syarat *strength*, *stiffness*, *stability*, dan *ductility*. Perkuatan global yang umum dilakukan adalah pemberian bracing baja dan dinding geser, sedangkan perkuatan lokal yang dapat diterapkan pada elemen gedung adalah *steel jacketing*, *concrete jacketing*, *near surface mounted rod*, dan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) *wrapping*.

## 1.2 Masalah Penelitian

Kebakaran menyebabkan penurunan kekuatan pada struktur gedung. Dengan penurunan kekuatan tersebut, gedung perlu dievaluasi kekuatannya untuk memastikan bahwa gaya gempa dan gravitasi terhadap gedung masih mampu dipikul oleh elemen struktur. Gedung yang tidak dapat memikul beban pasca kebakaran dapat diperbaiki atau di *retrofitting* tanpa harus menghancurkan komponen struktur aslinya.

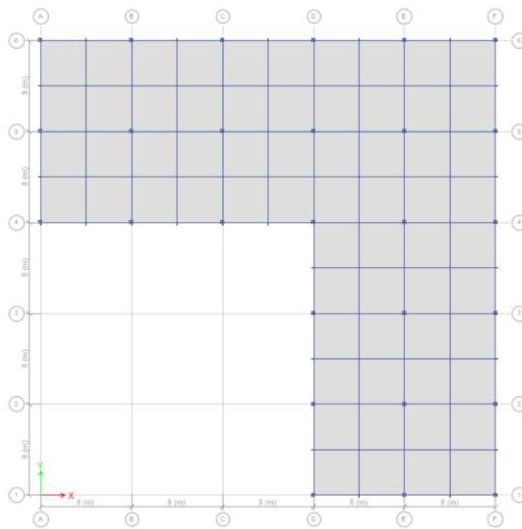
## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah untuk menganalisis struktur kemudian diberikan *retrofit* sesuai dengan kebutuhan pasca kebakaran berdasarkan lokasi kebakaran. Struktur akan mengalami peningkatan dalam hal kekuatan, kekakuan, daktilitas, dan stabilitas. Struktur kemudian akan dicek kinerjanya setelah diberikan *retrofit* berdasarkan analisis riwayat waktu.

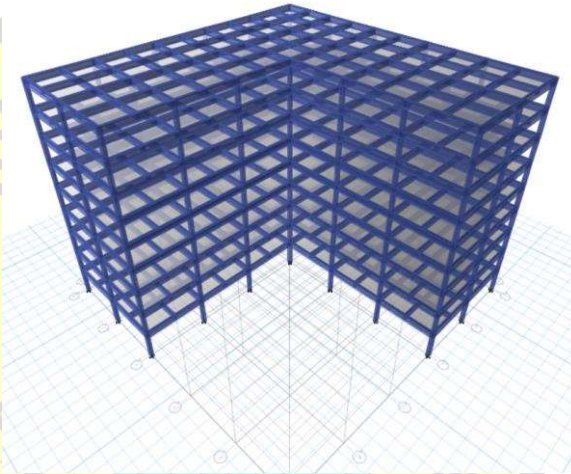
## 1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi bangunan berada di Jakarta dengan kelas situs tanah lunak E (SE)
2. Bangunan memiliki fungsi sebagai hotel dengan ukuran denah berbentuk L ukuran sisi panjang 40 m x 40 m. Jumlah bentang 5 buah dengan jarak antar bentang 8 m baik ke arah x maupun ke arah y. Gedung memiliki ketinggian 9 lantai dengan tinggi lantai dasar 4 m dan tipikal lantai di atasnya 3,4 m.

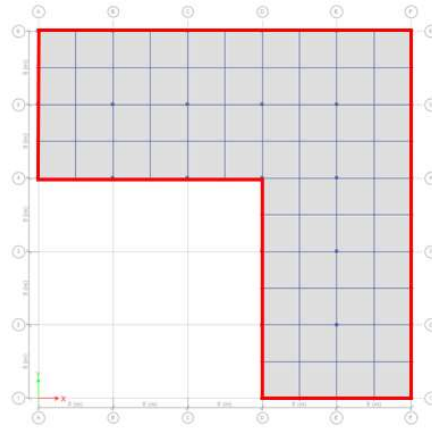


**Gambar 1.1** Denah Tipikal Lantai

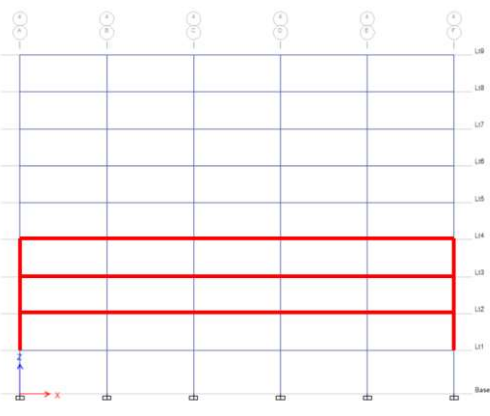


**Gambar 1.2** Model 3D Gedung

3. Software yang digunakan adalah ETABS 21
4. Wilayah yang mengalami kebakaran dimodelkan menjadi 3 macam yaitu
  - a. Kebakaran di seluruh lantai 1-2-3

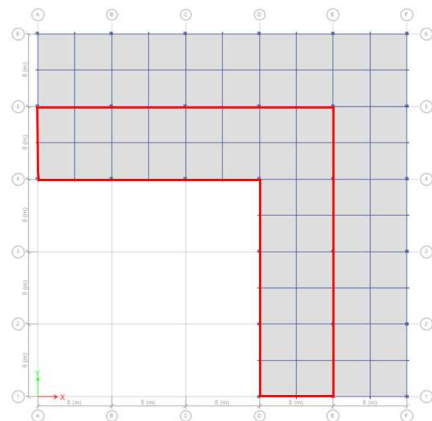


**Gambar 1.3** Kebakaran di Seluruh Lantai 1-2-3

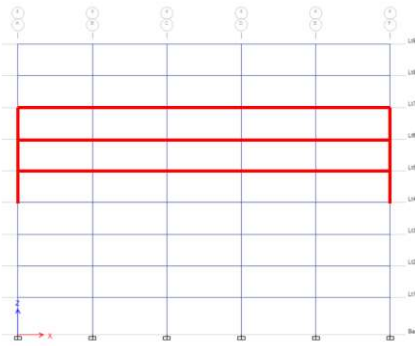


**Gambar 1.4** Elemen Struktur Yang Mengalami Penurunan Kekuatan Akibat Kebakaran Lantai 1-2-3

b. Kebakaran di Sebagian Lantai 4-5-6

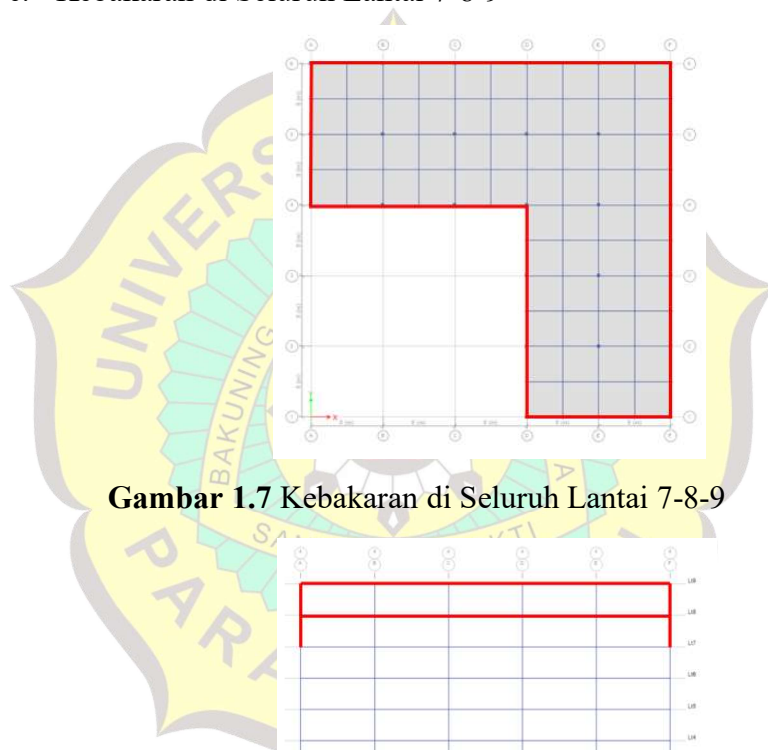


**Gambar 1.5** Kebakaran di Sebagian Lantai 4-5-6



**Gambar 1.6** Elemen Struktur Yang Mengalami Penurunan Kekuatan Akibat Kebakaran Lantai 4-5-6

c. Kebakaran di Seluruh Lantai 7-8-9



**Gambar 1.7** Kebakaran di Seluruh Lantai 7-8-9



**Gambar 1.8** Elemen Struktur Yang Mengalami Penurunan Kekuatan Akibat Kebakaran Lantai 7-8-9

5. Spesifikasi beton bertulang yang digunakan untuk desain struktur sebelum kebakaran adalah :

- a. Berat jenis beton ( $\gamma$ ) = 2400 kg/m<sup>3</sup>
- b. Mutu tulangan ( $f_y$ ) = 420 MPa
- c. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 42 MPa

- d. Modulus elastisitas beton  $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$  MPa
6. Analisis kekuatan pasca kebakaran dilakukan pada balok dan kolom. Elemen struktur diasumsikan tidak mengalami *spalling*.
  7. Diasumsikan bangunan mengalami kebakaran dalam kondisi suhu api 400°C dan 800°C dengan durasi 2 jam.
  8. Temperatur yang digunakan untuk penurunan kekuatan material balok, kolom, dan pelat diasumsikan pada kedalaman 3cm didalam elemen struktur.
  9. Diasumsikan temperatur balok di lantai paling bawah pada area yang mengalami kebakaran tidak terjadi penurunan kekuatan karena ada perlindungan dari spesi dan keramik.
  10. Peraturan yang digunakan adalah:
    - a. SNI 1726:2019. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
    - b. SNI 2847:2019. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
    - c. SNI 1727:2020. (2020). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
  11. Analisis desain yang dilakukan menggunakan analisis respons spektrum dan riwayat waktu. Rekaman gempa yang digunakan untuk analisis riwayat waktu adalah:
    - a. Gempa El-Centro N-S tahun 1940
    - b. Gempa Denpasar Timur-Barat tahun 1979
    - c. Gempa Flores tahun 1992
    - d. Gempa Parkfield N65E tahun 1966
    - e. Gempa Bucharest N-S tahun 1977

## 1.5 Metode Penelitian

Penulisan skripsi ini menggunakan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

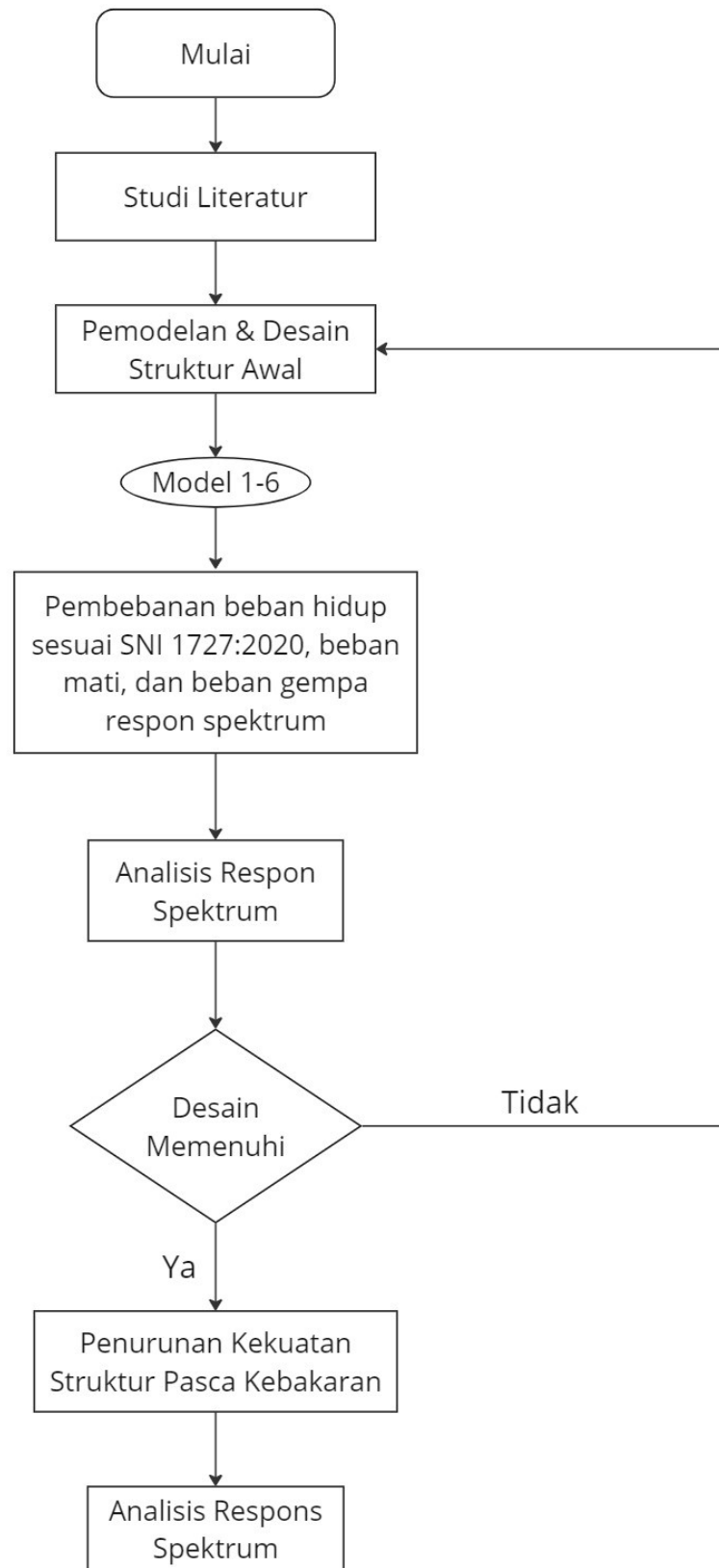
Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang konsep-konsep kunci yang terkait dengan topik penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan membaca berbagai referensi yaitu jurnal, buku ilmiah, dan standar peraturan yang berlaku di Indonesia.

2. Studi Analisis

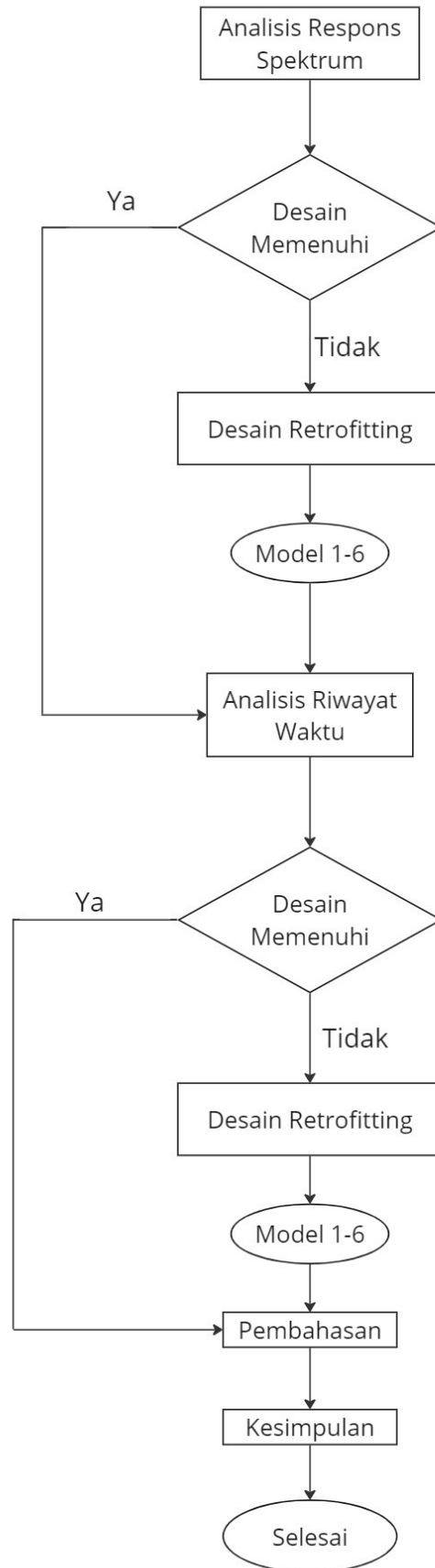
Studi analisis diterapkan pada penelitian ini menggunakan bantuan program analisis struktur yaitu ETABS serta program perhitungan Smath dan Excel untuk mengevaluasi performa *retrofit* gedung.



## 1.6 Diagram Alir







## 1.7 Sistematika Penulisan

### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, masalah penelitian, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, diagram alir, dan sistematika penulisan skripsi.

### BAB 2 DASAR TEORI

Bab berisi tentang teori dasar yang didapatkan dari peraturan SNI, jurnal dan skripsi yang dipakai dalam penyusunan skripsi.

### BAB 3 ANALISIS RESPONS SPEKTRUM DAN RETROFIT

Bab ini berisi tentang pemodelan struktur menggunakan software ETABS 21, hasil analisis respons spektrum, dan *retrofit* dari analisis respons spektrum

### BAB 4 ANALISIS RIWAYAT WAKTU DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil analisis riwayat waktu pada kelima rekaman gempa dan *retrofit*-nya

### BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan atas hasil analisis dan saran yang ditujukan pada pembaca.