

SKRIPSI

**STUDI KASUS RETROFITTING DAN ANALISIS
PADA GEDUNG TIPE *SOFT STORY* PASCA
KEBAKARAN**



**TIMOTIUS JONATHAN
NPM : 6102001152**

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 KASUS RETROFITTING DAN ANALISIS
PADA GEDUNG TIPE *SOFT STORY* PASCA
KEBAKARAN**



**TIMOTIUS JONATHAN
NPM : 6102001152**

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 KASUS RETROFITTING DAN ANALISIS
PADA GEDUNG TIPE *SOFT STORY* PASCA
KEBAKARAN**



**TIMOTIUS JONATHAN
NPM : 6102001152**

BANDUNG, JULI 2024

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 KASUS RETROFITTING DAN ANALISIS PADA GEDUNG TIPE *SOFT STORY* PASCA KEBAKARAN



TIMOTIUS JONATHAN
NPM : 6102001152

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 : TIMOTIUS JONATHAN

Tempat, tanggal lahir : Bekasi, 21 November 2002

NPM : 6102001152

Judul skripsi : **STUDI KASUS RETROFITTING DAN
ANALISIS PADA GEDUNG TIPE *SOFT STORY*
PASCA KEBAKARAN**

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)

Ba... 24



Ti... in

STUDI KASUS RETROFITTING DAN ANALISIS PADA GEDUNG TIPE *SOFT STORY* PASCA KEBAKARAN

TIMOTIUS JONATHAN
NPM: 6102001152

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 pada gedung sering sekali terjadi dan pada gedung yang terbakar akan menyebabkan penurunan kekuatan pada beton serta baja tulangannya. Gedung yang sudah mengalami penurunan kekuatan tidak selamanya harus dihancurkan atau dibongkar. Untuk membuat gedung dapat mencapai kekuatannya yang dibutuhkan kembali paska kebakaran, dilakukan perkuatan struktur atau *retrofitting* yang akan meningkatkan kekuatan lateral dan daktilitas struktur. Pemodelan struktur eksisting pada studi ini adalah rangka beton bertulang khusus 9 lantai dengan *soft story*. *Retrofitting* lokal dilakukan dengan menambahkan baja tulangan dengan metode *near surface mounted*. Setelah dilakukan respons spektrum analisis kemudian dilakukan *retrofit* dan analisis riwayat waktu.

Berdasarkan analisis kebakaran pada gedung dengan suhu 400°C dan 800°C, gedung dengan suhu 400°C hanya memerlukan perkuatan hanya pada beberapa elemen struktur dan sedikit penambahan kekuatan pada kolom. Sebaliknya, pada suhu 800°C, diperlukan penambahan kekuatan pada sebagian kolom dan balok. Analisis inelastis menggunakan percepatan gempa dari El-Centro N-S (1940), Denpasar B-T (1979), Flores (1992), Parkfield N65E (1966), dan Bucharest N-S (1977) menunjukkan perlunya penambahan kekuatan pada sebagian kolom lantai dasar. Peralihan antar lantai pada kedua metode memenuhi peralihan izin, menunjukkan hasil yang baik. Analisis riwayat waktu menghasilkan faktor kuat lebih (Ω_0) untuk model A dengan suhu 400°C dan 800°C sebesar 3,22 dan 3,36, model B sebesar 3,19 dan 3,29, serta model C sebesar 3,19 dan 3,26. Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk model A suhu 400°C dan 800°C adalah 4,84 dan 5,012, model B suhu 400°C dan 800°C adalah 4,69 dan 4,827, dan model C suhu 400°C dan 800°C sebesar 4,69 dan 4,77. Setelah *retrofitting* lokal, semua struktur memiliki taraf kinerja *life safety*.

Kata Kunci: Gedung Pasca Kebakaran, *Retrofitting*, *Near Surface Mounted*, *Time History Analysis*, Taraf Kinerja.

CASE STUDY OF ANALYSIS AND RETROFITTING OF POST-FIRE SOFT STORY BUILDING

TIMOTIUS JONATHAN
NPM: 6102001152

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 2023

ABSTRACT

Fires in buildings frequently occur, and in the event of a fire, the strength of both the concrete and its reinforcing steel typically diminishes. A building that has experienced such a reduction in strength does not necessarily have to be demolished or dismantled. To restore the building to its required strength after a fire, structural strengthening or retrofitting can be performed to enhance both the lateral strength and ductility of the structure. In this study, the existing structure modeled is a special reinforced concrete frame with nine stories, featuring a soft story. Local retrofitting is carried out by adding reinforcing steel using the near-surface mounted (NSM) method. Following the response spectrum analysis, retrofitting and time history analysis are subsequently performed.

Based on the fire analysis of a building at temperatures of 400°C and 800°C, it was found that a building exposed to 400°C only requires strengthening of a few structural elements and a slight increase in column strength. In contrast, at 800°C, there is a need for additional strength in some columns and beams. Inelastic analysis using earthquake accelerations from El-Centro N-S (1940), Denpasar B-T (1979), Flores (1992), Parkfield N65E (1966), and Bucharest N-S (1977) indicates the necessity of enhancing the strength of some ground floor columns. The inter-story drift in both methods meets the allowable drift criteria, demonstrating good results. The time history analysis yields an overstrength factor (Ω_0) for model A at 400°C and 800°C of 3.22 and 3.36, for model B of 3.19 and 3.29, and for model C of 3.19 and 3.26. The deflection amplification factor (C_d) for model A at 400°C and 800°C is 4.84 and 5.012, for model B at 400°C and 800°C is 4.69 and 4.827, and for model C at 400°C and 800°C is 4.69 and 4.77. After local retrofitting, all structures achieve a life safety performance level.

Keywords: Post-Fire Buildings, Retrofitting, Near Surface Mounted Method, Time History Analysis, Performance Level.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Studi Kasus Retrofitting dan Analisis pada Gedung Tipe Soft Story Pasca Kebakaran*. Skripsi ini dibuat untuk melengkapi salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S-1 di Fakultas Teknik program studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Banyak kesulitan, kekhawatiran, ketakutan, dan hambatan yang penulis alami selama proses penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih untuk beberapa nama yang ada di bawah ini:

1. Kedua orang tua tersayang, Venny Susianty dan Ie Pheng yang selalu mendukung penulis dalam doa, memberikan penulis motivasi untuk menyelesaikan skripsi kali ini.
2. Dr. Johannes Adhijoso Tjondro yang senantiasa membimbing penulis dengan penuh kesabaran dalam menyusun skripsi, memberikan ilmu dan juga saran kepada penulis dalam menyusun skripsi ini agar lebih baik.
3. Seluruh dosen dan staff pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah senantiasa memberikan ilmu kepada penulis di saat masa perkuliahan.
4. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Sipil
5. Teman-teman seperjuangan yang setia menemani hari-hari penulis
6. Saudara dan kerabat yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis
7. Semua pihak yang mungkin belum tersebutkan dalam daftar ini yang ikut membantu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.

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

Bandung, 27 Juni 2024



Timotius Jonathan

6102001152



DAFTAR ISI

BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penulisan.....	3
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian.....	6
1.6 Diagram Alir	7
1.7 Sistematika Penulisan	9
BAB 2 DASAR TEORI	10
2.1 SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung.....	10
2.1.1 Gempa Rencana	10
2.1.2 Faktor Keutamaan gempa dan kategori risiko struktur bangunan	10
2.1.3 Kombinasi beban dasar	12
2.1.4 Kombinasi beban dengan pengaruh seismik.....	12
2.1.5 Klasifikasi Situs	13
2.1.6 Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Percepatan Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R).....	14
2.1.7 Parameter Percepatan Spektral Desain.....	16
2.1.8 Spektrum Respons Desain	17
2.1.9 Kategori Desain Seismik.....	18

2.1.10 Spektrum Respons Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (<i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake/MCE_R</i>)	19
2.1.11 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik	19
2.1.12 Faktor Redundansi	22
2.1.13 Pengaruh Beban Seismik	23
2.1.14 Pengaruh Beban Seismik termasuk Faktor Kuat Lebih	24
2.1.15 Pengaruh Beban Seismik Horizontal dengan Faktor Kuat Lebih	25
2.1.16 Pengaruh beban seismik horizontal dengan faktor kuat lebih, E_{mh} , ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:	25
2.1.17 Sistem Ganda	25
2.1.18 Penentuan Periode	25
2.1.19 Periode Fundamental Pendekatan	26
2.1.20 Gaya Lateral Ekuivalen	27
2.1.21 Simpangan antar lantai	28
2.1.22 Pengaruh P-delta	29
2.1.23 Jumlah Ragam	30
2.1.24 Penskalaan Gaya	30
2.1.25 Ketidakberaturan Horizontal	30
2.1.26 Ketidakberaturan Vertikal	33
2.2 SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain.	36
2.2.1 Beban Mati	36
2.2.2 Beban Hidup	37
2.2.3 Beban Gempa	37
2.3 SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.....	37
2.3.1 Desain Pelat Dua Arah	37

2.3.2 Desain Balok	38
2.3.3 Desain Kolom	39
2.3.4 Persyaratan Selimut Beton	39
2.4 <i>Retrofitting</i> Bangunan (FEMA 356)	40
2.4.1 Target Retrofitting	41
2.4.2 Basic Safety Object	41
2.4.3 Pembatasan Retrofitting	42
2.4.4 Tingkat dan Rentang Kinerja Struktur	42
2.5 Beton Pasca Bakar	46
2.5.1 Beton Bertulang	46
2.5.2 Sifat Beton Pada Temperatur Tinggi	46
2.5.3 Sifat Baja Tulangan Pada Temperatur Tinggi	46
2.5.4 Pengaruh Kebakaran Pada Struktur Beton Bertulang	47
2.5.5 Penurunan Mutu Beton dan Baja Tulangan akibat Temperatur Tinggi	50
2.5.6 Estimasi Penurunan Kekuatan Akibat Kebakaran	51
2.6 Perilaku Nonlinear Struktur	55
2.7 Analisis Riwayat Waktu	56
2.8 Rekaman Percepatan Gempa	57
2.9 Penskalaan Percepatan Gempa	58
2.9.1 Frequency Domain Method	59
2.9.2 Time Domain Method	59
2.10 Metode Integrasi	59
2.10.1 Metode Integrasi Newmark	59
2.10.2 Metode Integrasi Hilber-Hughes-Taylor	61
2.11 Redaman Rayleigh	61
2.12 Sendi Plastis	62

2.13 Retrofitting Lokal dengan Near Surface Mounting	63
BAB 3 DESAIN DAN ANALISIS	64
3.1 Data bangunan.....	64
3.1.1 Data struktur.....	64
3.1.2 Data material	65
3.2 Pembebanan	65
3.2.1 Berat sendiri struktur (<i>Dead Load</i>)	65
3.2.2 Beban mati tambahan (<i>Superimposed Dead Load</i>).....	65
3.2.3 Beban hidup (<i>Live Load</i>).....	66
3.2.4 Beban gempa (<i>Seismic Load</i>).....	66
3.3 Kombinasi pembebanan	67
3.4 Respons Elastis Struktur	68
3.5 Model awal.....	68
3.5.1 Dimensi dan penulangan elemen struktur	68
3.5.2 Pemeriksaan jumlah ragam	74
3.5.3 Perhitungan faktor skala.....	74
3.5.4 Pengecekan simpangan	74
3.5.5 Ketidakberaturan horizontal.....	75
3.5.6 Ketidakberaturan vertikal.....	76
3.6 Studi kasus penurunan kekuatan struktur.....	77
3.7 Penurunan kekuatan struktur pasca kebakaran	77
3.8 Model Temperatur 400°C	78
3.8.1 Kasus A	78
3.8.1.2 Perbandingan penulangan elemen struktur	81
3.8.1.3 Pemeriksaan jumlah ragam	84
3.8.1.4 Perhitungan faktor skala.....	85

3.8.1.5	Pengecekan simpangan	85
3.8.1.6	Ketidakteraturan horizontal.....	86
3.8.1.7	Ketidakteraturan vertikal.....	87
3.8.2	Kasus B	88
3.8.2.2	Perbandingan penulangan elemen struktur	91
3.8.2.3	Pemeriksaan jumlah ragam	94
3.8.2.4	Perhitungan faktor skala.....	95
3.8.2.5	Pengecekan simpangan	95
3.8.2.6	Ketidakteraturan horizontal.....	95
3.8.2.7	Ketidakteraturan vertikal.....	96
3.8.3	Kasus C	97
3.8.3.2	Perbandingan penulangan elemen struktur	100
3.8.3.3	Pemeriksaan jumlah ragam	102
3.8.3.4	Perhitungan faktor skala.....	103
3.8.3.5	Pengecekan simpangan	103
3.8.3.6	Ketidakteraturan horizontal	104
3.8.3.7	Ketidakteraturan vertikal.....	105
3.9	Model Temperatur 800°C	106
3.9.1	Kasus A	106
3.9.1.2	Perbandingan penulangan elemen struktur	109
3.9.1.3	Pemeriksaan jumlah ragam	114
3.9.1.4	Perhitungan faktor skala.....	115
3.9.1.5	Pengecekan simpangan	115
3.9.1.6	Ketidakteraturan horizontal.....	115
3.9.1.7	Ketidakteraturan vertikal.....	116
3.9.2	Kasus B	117

3.9.2.2	Perbandingan penulangan elemen struktur	120
3.9.2.3	Pemeriksaan jumlah ragam	123
3.9.2.4	Perhitungan faktor skala.....	124
3.9.2.5	Pengecekan simpangan	124
3.9.2.6	Ketidakteraturan horizontal.....	125
3.9.2.7	Ketidakteraturan vertikal.....	126
3.9.3	Kasus C	127
3.9.3.2	Perbandingan penulangan elemen struktur	130
3.9.3.3	Pemeriksaan jumlah ragam	133
3.9.3.4	Perhitungan faktor skala.....	134
3.9.3.5	Pengecekan simpangan	134
3.9.3.6	Ketidakteraturan horizontal.....	134
3.9.3.7	Ketidakteraturan vertikal.....	135
3.10	Selisih Gaya Geser.....	137
BAB 4 DESAIN RETROFITTING BANGUNAN DAN ANALISIS		138
4.1	Retrofitting menggunakan metode Near Surface Mounting	138
4.2	Suhu 400°C	138
4.2.1	Model Retrofitting Kasus A.....	138
4.2.2	Pemeriksaan jumlah ragam	140
4.2.3	Perhitungan faktor skala.....	140
4.2.4	Pengecekan simpangan	141
4.2.5	Ketidakteraturan horizontal.....	141
4.2.6	Ketidakteraturan vertikal.....	142
4.2.7	Model Retrofitting Kasus B	143
4.2.8	Pemeriksaan jumlah ragam	145
4.2.9	Perhitungan faktor skala.....	145

4.2.10 Pengecekan simpangan	146
4.2.11 Ketidakberaturan horizontal.....	146
4.2.12 Ketidakberaturan vertikal.....	147
4.2.13 Model Retrofitting Kasus C	148
4.2.14 Pemeriksaan jumlah ragam	150
4.2.15 Perhitungan faktor skala.....	150
4.2.16 Pengecekan simpangan	151
4.2.17 Ketidakberaturan horizontal.....	151
4.2.18 Ketidakberaturan vertikal.....	152
4.3 Suhu 800°C	153
4.3.1 Model Retrofitting Kasus A.....	153
4.3.2 Pemeriksaan jumlah ragam	156
4.3.3 Perhitungan faktor skala.....	156
4.3.4 Pengecekan simpangan	157
4.3.5 Ketidakberaturan horizontal.....	157
4.3.6 Ketidakberaturan vertikal.....	158
4.3.7 Model Retrofitting Kasus B	159
4.3.8 Pemeriksaan jumlah ragam	161
4.3.9 Perhitungan faktor skala.....	162
4.3.10 Pengecekan simpangan	162
4.3.11 Ketidakberaturan horizontal.....	163
4.3.12 Ketidakberaturan vertikal.....	164
4.3.13 Model Retrofitting Kasus C	165
4.3.14 Pemeriksaan jumlah ragam	167
4.3.15 Perhitungan faktor skala.....	167
4.3.16 Pengecekan simpangan	167

4.3.17 Ketidakberaturan horizontal.....	168
4.3.18 Ketidakberaturan vertikal.....	169
4.4 Analisis Riwayat Waktu.....	170
4.4.2 <i>Time History Analysis</i> untuk Model A dengan Retrofitting.....	172
4.4.3 Suhu 400°C	172
4.4.3.1 Model A dengan Retrofitting Global	172
4.4.3.2 Retrofitting Lokal pada Model A.....	173
4.4.3.3 Model B dengan Retrofitting Global	176
4.4.3.4 Retrofitting Lokal pada Model B	177
4.4.3.5 Model C dengan Retrofitting Global	180
4.4.3.6 Retrofitting Lokal pada Model C	181
4.5 Respons Inelastis Struktur.....	184
4.5.1 Peralihan Lantai Maksimum	184
4.5.2 Rasio Simpangan Antar Lantai	187
4.5.3 Sendi Plastis	190
4.5.3.1 Model A	190
4.5.3.2 Model B.....	195
4.5.3.3 Model C.....	200
4.5.4 Gaya Geser Dasar.....	205
4.5.5 Faktor Pembesaran Defleksi	206
4.5.6 Taraf Kinerja Struktur	207
4.5.7 Suhu 800°C	208
4.5.7.1 Model A dengan Retrofitting Global	208
4.5.7.2 Retrofitting Lokal pada Model A.....	212
4.5.7.3 Model B dengan Retrofitting Global	214
4.5.7.4 Retrofitting Lokal pada Model B	216

4.5.7.5	Model C dengan Retrofitting Global	218
4.5.7.6	Retrofitting Lokal pada Model C	220
4.6	Respons Inelastis Struktur	222
4.6.1	Peralihan Lantai Maksimum	223
4.6.2	Rasio Simpangan Antar Lantai	225
4.6.3	Sendi Plastis	228
4.6.3.1	Model A	228
4.6.3.2	Model B	233
4.6.3.3	Model C	238
4.6.4	Gaya Geser Dasar	243
4.6.5	Faktor Pembesaran Defleksi	244
4.6.6	Taraf Kinerja Struktur	245
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		247
5.1	Kesimpulan	247
5.2	Saran	248
LAMPIRAN 1 PRELIMINARY ELEMEN STRUKTUR		251
LAMPIRAN 2 FAKTOR SKALA		255

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas penampang
A_g	= Luas penampang gross
ASCE	= <i>American Society of Civil Engineers</i>
B	= Panjang seluruhnya dari denah struktur pada arah yang ditinjau
b_w	= Lebar badan penampang persegi
C	= Koefisien gempa dasar
Cd	= Faktor pebesaran defleksi
CP	= Collapse Prevention
Ct	= Parameter untuk menentukan periode fundamental struktur
d	= Tinggi efektif komponen struktur
d_i	= Simpangan horizontal pusat massa pada tingkat I akibat beban gempa horizontal (mm)
E	= Modulus elastisitas
e_c	= Eksentrisitas teoritis
e_d	= Eksentrisitas rencana
F_a	= Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek
f_c'	= Kuat tekan beton
F_{cre}	= Tegangan kritis tekuk baja
FEMA	= <i>Federal Emergency Management Agency</i>
F_i	= Beban gempa horisontal dalam arah yang ditinjau yang bekerja pada tingkat i (kg)
F_v	= Faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik
f_y	= Kuat leleh tulangan baja
F_y	= Tegangan leleh baja
HSS	= Hollow Square Section
g	= Percepatan gravitasi
h	= Tinggi komponen struktur
h_{sx}	= Tinggi tingkat di bawah tingkat x

I_e	= Faktor keutamaan
IO	= Immediate Occupancy
I_x	= Momen inersia penampang terhadap sumbu x
I_y	= Momen inersia penampang terhadap sumbu y
K	= Faktor jenis struktur
ln	= Bentang bersih untuk komponen struktur
LS	= Life Safety
m	= Meter
MCER	= <i>Risk Targeted Maximum Considered Earthquake</i>
mm	= Milimeter
MPa	= Mega Pascal
P_{uc}	= Kapasitas tekan breis
P_{ut}	= Kapasitas tarik breis
R	= Faktor modifikasi respons
r_x	= Radius girasi penampang terhadap sumbu x
r_y	= Radius girasi penampang terhadap sumbu y
R_y	= Rasio dari kuat leleh yang diinginkan terhadap kuat leleh minimum
SCBF	= <i>Special Concentrically Braced Frames</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRBK	= Sistem Rangka Breising Konsentris Khusus
T	= Waktu getar alami struktur
T_a	= Periode fundamental pendekatan
WF	= Wide Flange
W_i	= Bagian dari seluruh beban vertikal yang disumbangkan oleh beban-beban vertikal yang bekerja pada tingkat i (kg) pada peninjauan gempa
W_t	= Berat seismik efektif struktur
δ	= Peralihan lantai
Δ	= Simpangan antar lantai
δ_{xe}	= Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis
Ω_0	= Faktor kuat lebih

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tampak Atas Struktur Bangunan	4
Gambar 1.2 Model 3D Struktur bangunan	4
Gambar 2.1 Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%) (sumber: Gambar 15 SNI 1726:2019).....	16
Gambar 2.2 Parameter gerak tanah S_1 , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah Indonesia spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%) (sumber: Gambar 16 SNI 1726:2019).....	16
Gambar 2.3 Spektrum Respons Desain (sumber: Gambar 3 SNI 1726:2019)....	18
Gambar 2.4 Penentuan simpangan antar tingkat (sumber: Gambar 10 SNI 1726:2019)	28
Gambar 2.5 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b (sumber: Gambar 5 SNI 1726:2019).....	31
Gambar 2.6 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 2 (sumber: Gambar 5 SNI 1726:2019).....	31
Gambar 2.7 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 3 (sumber: Gambar 5 SNI 1726:2019).....	32
Gambar 2.8 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 4 (sumber: Gambar 5 SNI 1726:2019).....	32
Gambar 2.9 Ketidakberaturan Horizontal Tipe 5 (sumber: Gambar 5 SNI 1726:2019).....	33
Gambar 2.10 Ketidakberaturan vertikal Tipe 1a dan 1b (sumber: Gambar 6 SNI 1726:2019).....	33
Gambar 2.11 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 (sumber: Gambar 6 SNI 1726:2019).....	34
Gambar 2.12 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 3 (sumber: Gambar 6 SNI 1726:2019).....	34
Gambar 2.13 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 4 (sumber: Gambar 6 SNI 1726:2019).....	35

Gambar 2.14 Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b (sumber: Gambar 6 SNI 1726:2019)	36
Gambar 2.15 Contoh bagian dari pelat yang diikutkan dengan balok untuk desain torsi (sumber: Gambar R9.2.4.4 SNI 2847:2019)	38
Gambar 2.16 Pengaruh temperatur terhadap konduktivitas termal (sumber: <i>Figure 2 EN 1992-1-2 (2004)</i>)	47
Gambar 2.17 Penurunan massa jenis akibat temperatur (sumber: <i>Figure 4 EN 1992-1-2</i>).....	48
Gambar 2.18 Grafik hubungan kuat tekan beton dan temperatur (sumber: <i>Figure 3.29 Reinforced Concrete, Mechanics and Design 5th Ed.</i>).....	48
Gambar 2.19 Grafik hubungan kuat tekan beton dan temperatur (sumber: <i>Figure 6.1.1 ACI 216R-89</i>)	49
Gambar 2.20 Grafik hubungan modulus elastisitas beton dan temperatur (sumber : <i>Figure 2.16 Fire Engineering of Structural Analysis and Design</i>)	49
Gambar 2.21 Grafik hubungan modulus elastisitas beton dan temperatur (sumber : <i>Figure 6.3.1 ACI 216R-89</i>)	50
Gambar 2.22 Grafik hubungan tegangan luluh baja tulangan dan temperatur (sumber : <i>Fig. 3.34 Reinforced Concrete, Mechanics and Design 5th Ed.</i>)	50
Gambar 2.23 Grafik hubungan tegangan luluh baja tulangan dan temperatur (sumber : <i>Fig. 5.1 ACI 216R-89</i>)	51
Gambar 2.24 Grafik hubungan modulus elastisitas baja tulangan dan temperatur (sumber : <i>Figure 6.20 Structural Design for Fire Safety</i>)	51
Gambar 2.25 Penurunan kuat tekan pada beton suhu kebakaran 400°C dan 800°C	53
Gambar 2.26 Penurunan modulus elastisitas beton pada suhu kebakaran 400°C dan 800°C	53
Gambar 2.27 Penurunan tegangan luluh baja tulangan pada suhu kebakaran 400°C dan 800°C	54
Gambar 2.28 Penurunan modulus elastisitas baja tulangan pada suhu kebakaran 400°C dan 800°C.....	54
Gambar 2.29 Rekaman Gempa El Centro N-S tahun 1940.....	57
Gambar 2.30 Rekaman Gempa Bucharest N-S 1977	58

Gambar 2.31 Rekaman Gempa Parkfield N65E.....	58
Gambar 2.32 Rekaman Gempa Flores 1992.....	58
Gambar 2.33 Rekaman Gempa Denpasar B-T 1979	58
Gambar 2.34 Ilustrasi Redaman Rayleigh (sumber : FEMA 750 Fig. C16.1.1) .	62
Gambar 2.35 Retrofitting Lokal dengan NSM	63
Gambar 3.1 Grafik Respons Spektrum Kota Jakarta.....	67
Gambar 3.2 Balok dan kolom tampak atas lantai 9.....	71
Gambar 3.3 Kolom dan balok tampak samping elevasi A	72
Gambar 3.4 Kolom dan balok tampak samping elevasi C	72
Gambar 3.5 Kolom dan balok tampak samping elevasi I.....	73
Gambar 3.6 Tampak samping balok anak elevasi B	73
Gambar 3.7 Simpangan antar lantai arah X dan Y model awal	75
Gambar 3.8 Denah lantai 1, 2, dan 3 yang mengalami penurunan kekuatan suhu 400°C	79
Gambar 3.9 Denah tampak samping kasus A lantai yang terbakar suhu 400°C .	80
Gambar 3.10 Denah 3D kasus A suhu 400°C	80
Gambar 3.11 Elemen struktur yang diretrofit Balok Lantai 1	83
Gambar 3.12 Elemen struktur yang diretrofit Balok Lantai 2.....	83
Gambar 3.13 Elemen struktur yang diretrofit Balok Lantai 3.....	84
Gambar 3.14 Elemen struktur yang diretrofit Kolom Tingkat 1	84
Gambar 3.15 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus A	86
Gambar 3.16 Denah lantai 5, 6, dan 7 yang mengalami penurunan kekuatan suhu 400°C	89
Gambar 3.17 Denah tampak samping kasus B lantai yang terbakar suhu 400°C	90
Gambar 3.18 Denah 3D kasus B suhu 400°C	90
Gambar 3.19 Elemen Struktur Yang diretrofit pada lantai 5.....	93
Gambar 3.20 Elemen Struktur Yang diretrofit pada lantai 6.....	93
Gambar 3.21 Elemen Struktur Yang diretrofit pada lantai 7.....	94
Gambar 3.22 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus B	95
Gambar 3.23 Denah lantai 7, 8, dan 9 yang mengalami penurunan kekuatan suhu 400°C	98
Gambar 3.24 Denah tampak samping kasus C lantai yang terbakar suhu 400°C	99

Gambar 3.25 Denah 3D kasus C suhu 400°C	99
Gambar 3.26 Elemen Struktur Yang diretrofit pada lantai 7.....	102
Gambar 3.27 Elemen Struktur Yang diretrofit pada lantai 8.....	102
Gambar 3.28 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus C	104
Gambar 3.29 Denah lantai 1, 2, dan 3 yang mengalami penurunan kekuatan ..	107
Gambar 3.30 Denah tampak samping kasus A lantai yang terbakar suhu 800°C	108
Gambar 3.31 Denah 3D kasus A suhu 800°C	108
Gambar 3.32 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 1	111
Gambar 3.33 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 2	111
Gambar 3.34 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 3	112
Gambar 3.35 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 4	112
Gambar 3.36 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 1	113
Gambar 3.37 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 2	113
Gambar 3.38 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 3	114
Gambar 3.39 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus A	115
Gambar 3.40 Denah lantai 5, 6, dan 7 yang mengalami penurunan kekuatan suhu 800°C	118
Gambar 3.41 Denah tampak samping kasus B lantai yang terbakar suhu 800°C	119
Gambar 3.42 Denah 3D kasus B suhu 800°C	119
Gambar 3.43 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 5	122
Gambar 3.44 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 6	122
Gambar 3.45 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 7	123
Gambar 3.46 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 7	123
Gambar 3.47 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus B	125
Gambar 3.48 Denah lantai 7, 8, dan 9 yang mengalami penurunan kekuatan suhu 800°C	128
Gambar 3.49 Denah tampak samping kasus C lantai yang terbakar suhu 800°C	129
Gambar 3.50 Denah 3D kasus C suhu 800°C	129
Gambar 3.51 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 7	132

Gambar 3.52 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 8	132
Gambar 3.53 Elemen Struktur yang diretrofit pada lantai 9	133
Gambar 3.54 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus C	134
Gambar 4.1 Gambar 3D model retrofit kasus A.....	139
Gambar 4.2 Tampak samping (grid A) model A retrofit.....	139
Gambar 4.3 Tampak atas lantai 1 model A retrofit	140
Gambar 4.4 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus A Retrofit.....	141
Gambar 4.5 Gambar 3D model retrofit kasus B	144
Gambar 4.6 Tampak samping (grid A) model B retrofit.....	144
Gambar 4.7 Tampak atas lantai 1 model B retrofit	145
Gambar 4.8 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus B Retrofit.....	146
Gambar 4.9 Gambar 3D model retrofit kasus C	149
Gambar 4.10 Tampak samping (grid A) model C retrofit.....	149
Gambar 4.11 Tampak atas lantai 1 model C retrofit	150
Gambar 4.12 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus C Retrofit.....	151
Gambar 4.13 Gambar 3D model retrofit kasus A.....	155
Gambar 4.14 Tampak samping (grid A) model A retrofit.....	155
Gambar 4.15 Tampak atas lantai 1 model A retrofit	156
Gambar 4.16 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus A Retrofit.....	157
Gambar 4.17 Gambar 3D model retrofit kasus B	160
Gambar 4.18 Tampak samping (grid A) model B retrofit.....	161
Gambar 4.19 Tampak atas lantai 8 model B retrofit	161
Gambar 4.20 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus B Retrofit.....	163
Gambar 4.21 Gambar 3D model retrofit kasus C	166
Gambar 4.22 Tampak samping (grid A) model C retrofit.....	166
Gambar 4.23 Tampak atas lantai 8 model C retrofit	166
Gambar 4.24 Simpangan antar lantai arah X dan Y kasus C Retrofit.....	168
Gambar 4.25 Rekaman Gempa El Centro	171
Gambar 4.26 Rekaman Gempa Bucharest.....	171
Gambar 4.27 Rekaman Gempa Parkfield	171
Gambar 4.28 Rekaman Gempa Denpasar.....	172
Gambar 4.29 Rekaman Gempa Flores.....	172

Gambar 4.30 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 1 (El Centro)	173
Gambar 4.31 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 9 (El Centro)	173
Gambar 4.32 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 1....	174
Gambar 4.33 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 3....	174
Gambar 4.34 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 5....	175
Gambar 4.35 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 7....	175
Gambar 4.36 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 9....	176
Gambar 4.37 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 3 (El Centro)	177
Gambar 4.38 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 7 (El Centro)	177
Gambar 4.39 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 1....	178
Gambar 4.40 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 3....	178
Gambar 4.41 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 5....	179
Gambar 4.42 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 7....	179
Gambar 4.43 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 9....	180
Gambar 4.44 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 3 (El Centro)	181
Gambar 4.45 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 7 (El Centro)	181
Gambar 4.46 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 1....	182
Gambar 4.47 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 3....	182
Gambar 4.48 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 5....	183
Gambar 4.49 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 7....	183
Gambar 4.50 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 9....	184
Gambar 4.51 Peralihan Lantai Maksimum Model A	185
Gambar 4.52 Peralihan Lantai Maksimum Model B	186
Gambar 4.53 Peralihan Lantai Maksimum Model C	187
Gambar 4.54 Rasio Simpangan Antar Lantai Model A	188
Gambar 4.55 Rasio Simpangan Antar Lantai Model B	189

Gambar 4.56 Rasio Simpangan Antar Lantai Model C.....	190
Gambar 4.57 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5.....	190
Gambar 4.58 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5.....	191
Gambar 4.59 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5.....	191
Gambar 4.60 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 2,5.....	191
Gambar 4.61 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0.....	192
Gambar 4.62 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0.....	192
Gambar 4.63 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5.....	192
Gambar 4.64 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5.....	193
Gambar 4.65 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5.....	193
Gambar 4.66 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15.....	193
Gambar 4.67 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15.....	194
Gambar 4.68 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15.....	194
Gambar 4.69 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0.....	194
Gambar 4.70 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0.....	195
Gambar 4.71 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0.....	195

Gambar 4.72 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	195
Gambar 4.73 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	196
Gambar 4.74 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	196
Gambar 4.75 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	196
Gambar 4.76 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	197
Gambar 4.77 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	197
Gambar 4.78 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	197
Gambar 4.79 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	198
Gambar 4.80 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	198
Gambar 4.81 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	198
Gambar 4.82 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	199
Gambar 4.83 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	199
Gambar 4.84 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	199
Gambar 4.85 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	200
Gambar 4.86 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	200
Gambar 4.87 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	200

Gambar 4.88 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	201
Gambar 4.89 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	201
Gambar 4.90 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	201
Gambar 4.91 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	202
Gambar 4.92 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	202
Gambar 4.93 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	202
Gambar 4.94 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	203
Gambar 4.95 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	203
Gambar 4.96 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	203
Gambar 4.97 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	204
Gambar 4.98 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	204
Gambar 4.99 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	204
Gambar 4.100 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	205
Gambar 4.101 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	205
Gambar 4.102 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 5 (El Centro).....	209
Gambar 4.103 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 3 (Bucharest)	209

Gambar 4.104 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 5 (Bucharest).....	210
Gambar 4.105 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 7 (Bucharest).....	210
Gambar 4.106 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 1 (Parkfield)	211
Gambar 4.107 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 5 (Parkfield)	211
Gambar 4.108 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 9 (Parkfield)	212
Gambar 4.109 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 1..	212
Gambar 4.110 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 3..	213
Gambar 4.111 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 5..	213
Gambar 4.112 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 7..	214
Gambar 4.113 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 9..	214
Gambar 4.114 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 3 (El Centro).....	215
Gambar 4.115 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 7 (El Centro).....	215
Gambar 4.116 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 1..	216
Gambar 4.117 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 3..	216
Gambar 4.118 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 5..	217
Gambar 4.119 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 7..	217
Gambar 4.120 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 9..	218
Gambar 4.121 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 3 (El Centro).....	219
Gambar 4.122 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 5 (El Centro).....	219
Gambar 4.123 Elemen stuktur yang mengalami retrofit lokal pada grid 7 (El Centro).....	220
Gambar 4.124 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 1..	220
Gambar 4.125 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 3..	221

Gambar 4.126 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 5..	221
Gambar 4.127 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 7..	222
Gambar 4.128 Elemen struktur yang dilakukan retrofitting lokal pada grid 9..	222
Gambar 4.129 Peralihan Lantai Maksimum Model A	223
Gambar 4.130 Peralihan Lantai Maksimum Model B.....	224
Gambar 4.131 Peralihan Lantai Maksimum Model C.....	225
Gambar 4.132 Rasio Simpangan Antar Lantai Model A.....	226
Gambar 4.133 Rasio Simpangan Antar Lantai Model B.....	227
Gambar 4.134 Rasio Simpangan Antar Lantai Model C.....	228
Gambar 4.135 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	228
Gambar 4.136 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	229
Gambar 4.137 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	229
Gambar 4.138 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	229
Gambar 4.139 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	230
Gambar 4.140 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	230
Gambar 4.141 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	230
Gambar 4.142 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	231
Gambar 4.143 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	231
Gambar 4.144 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	231
Gambar 4.145 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	232

Gambar 4.146 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	232
Gambar 4.147 Tampak 3D sendi plastis Model A rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	232
Gambar 4.148 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model A rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	233
Gambar 4.149 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model A rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	233
Gambar 4.150 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	233
Gambar 4.151 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	234
Gambar 4.152 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	234
Gambar 4.153 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	234
Gambar 4.154 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	235
Gambar 4.155 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	235
Gambar 4.156 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	235
Gambar 4.157 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	236
Gambar 4.158 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	236
Gambar 4.159 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	236
Gambar 4.160 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	237
Gambar 4.161 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	237

Gambar 4.162 Tampak 3D sendi plastis Model B rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	237
Gambar 4.163 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model B rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	238
Gambar 4.164 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model B rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	238
Gambar 4.165 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	238
Gambar 4.166 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	239
Gambar 4.167 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa El Centro pada detik 2,0 dan 2,5	239
Gambar 4.168 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	239
Gambar 4.169 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	240
Gambar 4.170 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Bucharest pada detik 3,25 dan 4,0	240
Gambar 4.171 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	240
Gambar 4.172 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	241
Gambar 4.173 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Parkfield pada detik 3,8 dan 4,5	241
Gambar 4.174 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	241
Gambar 4.175 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	242
Gambar 4.176 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Denpasar pada detik 10,7 dan 13,15	242
Gambar 4.177 Tampak 3D sendi plastis Model C rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0	242

Gambar 4.178 Tampak samping (Elevasi 1) sendi plastis model C rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0 243

Gambar 4.179 Tampak samping (Elevasi 5) sendi plastis model C rekaman gempa Flores pada detik 17,6 dan 44,0 243



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa (sumber: Tabel 3 SNI 1726:2019).....	11
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa (sumber: Tabel 4 SNI 1726:2019)	12
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs (sumber: Tabel 5 SNI 1726:2019)	13
Tabel 2.4 Koefisien situs, F_a (sumber: Tabel 6 SNI 1726:2019)	15
Tabel 2.5 Koefisien situs, F_v (sumber: Tabel 7 SNI 1726:2019)	15
Tabel 2.6 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (sumber: Tabel 8 SNI 1726:2019)	18
Tabel 2.7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (sumber: Tabel 9 SNI 1726:2019).....	18
Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (sumber: Tabel 12 SNI 1726:2019).....	19
Tabel 2.9 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar (sumber: Tabel 15 SNI 1726:2019).....	23
Tabel 2.10 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (sumber: Tabel 17 SNI 1726:2019).....	25
Tabel 2.11 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (sumber: Tabel 18 SNI 1726:2019)	27
Tabel 2.12 Simpangan antar tingkat izin, $\Delta a, b$ (sumber: Tabel 20 SNI 1726:2019)	29
Tabel 2.13 Ketebalan minimum pelat dua arah non-prategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisi (sumber: Tabel 8.3.1.2 SNI 2847:2019).....	37
Tabel 2.14 Tinggi minimum balok non-prategang (sumber: Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019)	38
Tabel 2.15 Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton non-prategang yang dicor di tempat (sumber: Tabel 20.6.1.3.1 SNI 2847:2019)	39
Tabel 2.16 Tabel Kontrol Kerusakan dan Tingkat Kinerja Struktur (sumber: Tabel C1-2 FEMA 356)	43
Tabel 2.17 Tingkat Kinerja Struktur dan Kerusakan pada elemen vertikal (sumber: Tabel C1-3 FEMA 356)	45

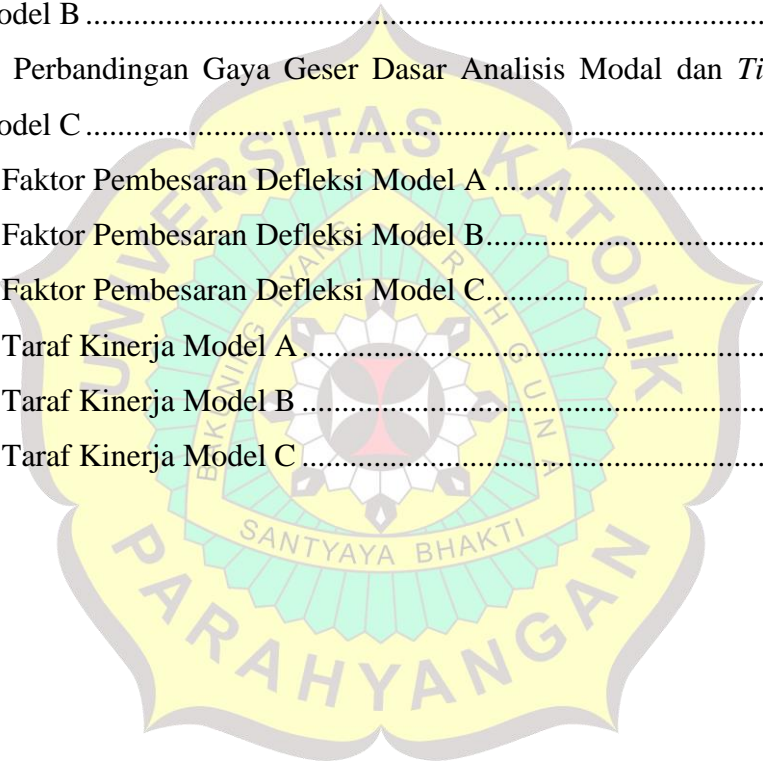
Tabel 3.1 Beban mati tambahan pada bangunan (Lantai 1-8).....	65
Tabel 3.2 Beban mati tambahan pada atap (atap).....	65
Tabel 3.3 Kombinasi Pembebanan	68
Tabel 3.4 Dimensi Elemen Struktur	68
Tabel 3.5 Penulangan Kolom pada pemodelan awal.....	69
Tabel 3.6 Penulangan balok L pada pemodelan awal	69
Tabel 3.7 Penulangan balok T pada pemodelan awal	70
Tabel 3.8 Penulangan balok anak pada pemodelan awal	70
Tabel 3.9 Periode dan ragam getar model awal	74
Tabel 3.10 Simpangan antar lantai model awal.....	74
Tabel 3.11 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B model awal	75
Tabel 3.12 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B model awal	76
Tabel 3.13 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 model awal	76
Tabel 3.14 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B model awal	77
Tabel 3.15 Perbandingan penulangan pada balok L.....	81
Tabel 3.16 Perbandingan penulangan pada balok T.....	81
Tabel 3.17 Perbandingan penulangan pada balok anak.....	82
Tabel 3.18 Perbandingan penulangan pada kolom.....	82
Tabel 3.19 Periode dan ragam getar kasus A	84
Tabel 3.20 Simpangan antar lantai kasus A	85
Tabel 3.21 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus A.....	86
Tabel 3.22 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus A.....	87
Tabel 3.23 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus A	87
Tabel 3.24 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus A.....	88
Tabel 3.25 Perbandingan penulangan pada balok L kasus B	91
Tabel 3.26 Perbandingan penulangan pada balok T kasus B	91
Tabel 3.27 Perbandingan penulangan pada balok anak kasus B	92
Tabel 3.28 Perbandingan penulangan pada kolom kasus B	92
Tabel 3.29 Periode dan ragam getar kasus B	94
Tabel 3.30 Simpangan antar lantai kasus B	95
Tabel 3.31 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus B	96
Tabel 3.32 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus B	96

Tabel 3.33 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus B	97
Tabel 3.34 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus B	97
Tabel 3.35 Perbandingan penulangan pada balok L kasus C	100
Tabel 3.36 Perbandingan penulangan pada balok T kasus C	100
Tabel 3.37 Perbandingan penulangan pada balok anak kasus C	101
Tabel 3.38 Perbandingan penulangan pada kolom kasus C	101
Tabel 3.39 Periode dan ragam getar kasus C	103
Tabel 3.40 Simpangan antar lantai kasus C	103
Tabel 3.41 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus C	104
Tabel 3.42 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus C	105
Tabel 3.43 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus C	105
Tabel 3.44 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus C	106
Tabel 3.45 Perbandingan penulangan pada balok L model A	109
Tabel 3.46 Perbandingan penulangan pada balok T model A	109
Tabel 3.47 Perbandingan penulangan pada balok anak model A	110
Tabel 3.48 Perbandingan penulangan pada kolom model A	110
Tabel 3.49 Periode dan ragam getar kasus A	114
Tabel 3.50 Simpangan antar lantai kasus A	115
Tabel 3.51 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus A	116
Tabel 3.52 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus A	116
Tabel 3.53 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus A	117
Tabel 3.54 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus A	117
Tabel 3.55 Perbandingan penulangan pada balok L kasus B	120
Tabel 3.56 Perbandingan penulangan pada balok T kasus B	120
Tabel 3.57 Perbandingan penulangan pada balok anak kasus B	121
Tabel 3.58 Perbandingan penulangan pada kolom kasus B	121
Tabel 3.59 Periode dan ragam getar kasus B	124
Tabel 3.60 Simpangan antar lantai kasus B	124
Tabel 3.61 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus B	125
Tabel 3.62 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus B	126
Tabel 3.63 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus B	126
Tabel 3.64 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus B	127

Tabel 3.65	Perbandingan penulangan pada balok L kasus C	130
Tabel 3.66	Perbandingan penulangan pada balok T kasus C	130
Tabel 3.67	Perbandingan penulangan pada balok anak kasus C	131
Tabel 3.68	Perbandingan penulangan pada kolom kasus C	131
Tabel 3.69	Periode dan ragam getar kasus C	133
Tabel 3.70	Simpangan antar lantai kasus C	134
Tabel 3.71	Ketidakteraturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus C	135
Tabel 3.72	Ketidakteraturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus C	135
Tabel 3.73	Ketidakteraturan vertikal tipe 2 kasus C	136
Tabel 3.74	Ketidakteraturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus C	136
Tabel 4.1	Periode dan ragam getar kasus A Retrofit	140
Tabel 4.2	Simpangan antar lantai kasus A Retrofit	141
Tabel 4.3	Ketidakteraturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus A Retrofit	142
Tabel 4.4	Ketidakteraturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus A Retrofit	142
Tabel 4.5	Ketidakteraturan vertikal tipe 2 kasus A Retrofit	143
Tabel 4.6	Ketidakteraturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus A Retrofit	143
Tabel 4.7	Periode dan ragam getar kasus B Retrofit	145
Tabel 4.8	Simpangan antar lantai kasus B Retrofit	146
Tabel 4.9	Ketidakteraturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus B Retrofit	147
Tabel 4.10	Ketidakteraturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus B Retrofit	147
Tabel 4.11	Ketidakteraturan vertikal tipe 2 kasus B Retrofit	148
Tabel 4.12	Ketidakteraturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus B Retrofit	148
Tabel 4.13	Periode dan ragam getar kasus C Retrofit	150
Tabel 4.14	Simpangan antar lantai kasus C Retrofit	151
Tabel 4.15	Ketidakteraturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus C Retrofit	152
Tabel 4.16	Ketidakteraturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus C Retrofit	152
Tabel 4.17	Ketidakteraturan vertikal tipe 2 kasus B Retrofit	153
Tabel 4.18	Ketidakteraturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus B Retrofit	153
Tabel 4.19	Periode dan ragam getar kasus A Retrofit	156
Tabel 4.20	Simpangan antar lantai kasus A Retrofit	157
Tabel 4.21	Ketidakteraturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus A Retrofit	158
Tabel 4.22	Ketidakteraturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus A Retrofit	158

Tabel 4.23 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus A Retrofit	159
Tabel 4.24 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus A Retrofit	159
Tabel 4.25 Periode dan ragam getar kasus B Retrofit	161
Tabel 4.26 Simpangan antar lantai kasus B Retrofit	162
Tabel 4.27 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus B Retrofit.....	163
Tabel 4.28 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus B Retrofit.....	164
Tabel 4.29 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus B Retrofit	164
Tabel 4.30 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus B Retrofit.....	165
Tabel 4.31 Periode dan ragam getar kasus C Retrofit	167
Tabel 4.32 Simpangan antar lantai kasus C Retrofit	167
Tabel 4.33 Ketidakberaturan horizontal tipe 1A dan 1B kasus C Retrofit.....	168
Tabel 4.34 Ketidakberaturan vertikal tipe 1A dan 1B kasus C Retrofit.....	169
Tabel 4.35 Ketidakberaturan vertikal tipe 2 kasus B Retrofit	169
Tabel 4.36 Ketidakberaturan vertikal tipe 5A dan 5B kasus B Retrofit.....	170
Tabel 4.37 Peralihan lantai maksimum model A	184
Tabel 4.38 Peralihan lantai maksimum model B.....	185
Tabel 4.39 Peralihan lantai maksimum model C.....	186
Tabel 4.40 Rasio Simpangan Antar Lantai Model A	187
Tabel 4.41 Rasio Simpangan Antar Lantai Model B	188
Tabel 4.42 Rasio Simpangan Antar Lantai Model C	189
Tabel 4.43 Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Modal dan <i>Time History</i> <i>Analysis</i> Model A.....	205
Tabel 4.44 Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Modal dan <i>Time History</i> <i>Analysis</i> Model B	205
Tabel 4.45 Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Modal dan <i>Time History</i> <i>Analysis</i> Model C	206
Tabel 4.46 Faktor Pembesaran Defleksi Model A	206
Tabel 4.47 Faktor Pembesaran Defleksi Model B.....	206
Tabel 4.48 Faktor Pembesaran Defleksi Model C.....	207
Tabel 4.49 Taraf Kinerja Model A	207
Tabel 4.50 Taraf Kinerja Model B	208
Tabel 4.51 Taraf Kinerja Model C	208

Tabel 4.52 Peralihan lantai maksimum model A	223
Tabel 4.53 Peralihan lantai maksimum model B.....	223
Tabel 4.54 Peralihan lantai maksimum model C.....	224
Tabel 4.55 Rasio Simpangan Antar Lantai Model A	225
Tabel 4.56 Rasio Simpangan Antar Lantai Model B	226
Tabel 4.57 Rasio Simpangan Antar Lantai Model C	227
Tabel 4.58 Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Modal dan <i>Time History Analysis</i> Model A.....	243
Tabel 4.59 Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Modal dan <i>Time History Analysis</i> Model B	244
Tabel 4.60 Perbandingan Gaya Geser Dasar Analisis Modal dan <i>Time History Analysis</i> Model C	244
Tabel 4.61 Faktor Pembesaran Defleksi Model A	244
Tabel 4.62 Faktor Pembesaran Defleksi Model B.....	245
Tabel 4.63 Faktor Pembesaran Defleksi Model C.....	245
Tabel 4.64 Taraf Kinerja Model A.....	245
Tabel 4.65 Taraf Kinerja Model B	246
Tabel 4.66 Taraf Kinerja Model C.....	246



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PRELIMINARY ELEMEN STRUKTUR	251
LAMPIRAN 2 FAKTOR SKALA.....	255



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu, pertumbuhan penduduk di Indonesia semakin pesat. Hal ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan lahan di berbagai daerah untuk pembangunan rumah tinggal, tempat kerja, dan rekreasi, serta keperluan lainnya. Namun, lahan yang tersedia di berbagai daerah tersebut cukup terbatas dan dapat habis suatu saat. Untuk memanfaatkan lahan yang ada secara optimal, pembangunan gedung bertingkat menjadi solusi yang umum digunakan saat ini. Dengan gedung bertingkat, suatu lahan dapat dimanfaatkan secara efisien dengan membangun gedung yang memiliki beberapa lantai dan fungsi yang berbeda di setiap lantainya. Dengan demikian, tidak perlu lagi membangun struktur baru untuk fungsi yang berbeda, sehingga penggunaan lahan yang ada dapat dihemat.

Pembangunan gedung bertingkat harus memperhatikan berbagai hal agar gedung tersebut tahan terhadap bencana alam maupun buatan manusia, seperti gempa bumi, kebakaran, tsunami, dan sebagainya, dengan tujuan untuk mencegah berbagai kegagalan, baik yang bersifat struktural maupun non-struktural. Kegagalan struktural dapat memiliki dampak serius, baik secara ekonomi maupun dalam hal keselamatan. Secara ekonomi, kegagalan struktural mengharuskan biaya tambahan untuk perancangan ulang dan perbaikan bagian yang terkena dampak, guna mencegah kegagalan yang sama terulang. Dalam kasus yang ekstrim, kegagalan struktural dapat membuat gedung tidak dapat digunakan kembali, sehingga harus dihancurkan atau dibiarkan terbengkalai. Tidak hanya dari segi ekonomi, kegagalan struktural juga dapat membahayakan bahkan merenggut nyawa penghuni atau pengguna gedung tersebut. Selain itu, kenyamanan pengguna gedung juga sangat dipengaruhi oleh tingkat keamanan dari gedung itu sendiri. Oleh karena itu, keamanan dalam pembangunan gedung bertingkat menjadi sangat penting, terutama dalam menghadapi ancaman kebakaran. Fokus penelitian pada skripsi ini akan difokuskan pada keamanan dan perbaikan gedung terhadap kebakaran.

Kebakaran yang terjadi pada sebuah gedung umumnya mencapai suhu antara 400°C sampai 1000°C. Suhu tersebut mampu mengubah sifat dan kekuatan pada material beton. Selain itu, penurunan kekuatan beton juga dipengaruhi oleh seberapa lama beton tersebut terpapar dengan api. Semakin lama beton terpapar oleh api, maka kekuatan beton akan semakin menurun. Beton biasanya akan mulai mengalami penurunan pada suhu antara 200°C sampai 600°C. Pada suhu tersebut, air di dalam pori-pori beton akan mulai berubah menjadi uap. Ketika uap air tersebut terbentuk, tekanan dalam pori-pori beton akan meningkat secara signifikan. Jika tekanan yang terjadi melebihi kekuatan beton untuk menahan, dapat menyebabkan pengelupasan pada beton secara tiba-tiba, yang dinamakan sebagai *explosive spalling*. Selanjutnya, pada suhu antara 600°C sampai 1000°C, beton akan mulai mengalami kalsinasi. Kalsinasi adalah proses di mana bahan pengikat utama dalam beton, seperti kalsium karbonat dalam semen Portland, mulai mengalami dekomposisi termal. Proses ini menghasilkan kapur bakar (kalsium oksida) dan karbon dioksida. Kedua fenomena ini menyebabkan penurunan kekuatan pada beton, mengubah sifat material beton, dan menyebabkan kerusakan struktural yang cukup signifikan.

Penurunan kekuatan pada struktur akibat terbakar tidak selalu berarti struktur tersebut tidak dapat digunakan lagi. Kerusakan yang diakibatkan oleh kebakaran dalam beberapa kasus mungkin tidak fatal, sehingga memerlukan perbaikan yang relatif kecil agar struktur dapat kembali difungsikan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, dilakukan upaya retrofitting dan perkuatan pada struktur yang mengalami penurunan kekuatan akibat terbakar. Dengan menerapkan retrofitting dan perkuatan pada struktur yang terdampak kebakaran, biaya yang dikeluarkan diharapkan lebih ekonomis dibandingkan dengan melakukan pembongkaran dan pembangunan ulang dari awal. Selain itu, solusi ini diharapkan dapat mengatasi masalah pemborosan lahan, sehingga pemilik bangunan tidak perlu mempertimbangkan pembangunan ulang di lokasi lain setelah bangunan lama terbakar. Cukup dengan melakukan perbaikan yang tepat pada bangunan yang ada untuk mencegah pemborosan lahan yang tidak perlu.

1.2 Inti Permasalahan

Pada bangunan yang telah terbakar terjadi penurunan kekuatan sehingga kekuatannya tidak seperti yang dirancang; akan tetapi, pada penelitian ini dilakukan analisis untuk mencari tahu apakah penurunan kekuatan tersebut akan sampai pada tahap di mana bangunan tersebut tidak lagi bisa digunakan atau sebaliknya. Jika penurunan kekuatan mengakibatkan bangunan tersebut tidak cukup kuat untuk menahan beban yang sama seperti sebelum terjadi kebakaran, maka dilakukan upaya agar bangunan tersebut bisa kembali mempunyai kekuatan yang sama seperti sebelum terbakar. Salah satu upaya yang akan diteliti pada penelitian ini adalah retrofitting dan perkuatan struktur menggunakan wall atau rangka baja.

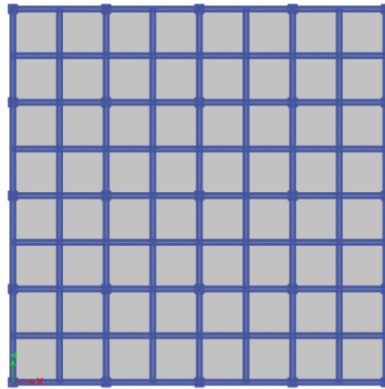
1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana perilaku struktur yang telah mengalami kebakaran dan bagaimana penurunan kekuatan yang terjadi. Kemudian upaya dilakukan untuk meningkatkan kembali kekuatan struktur yang telah terbakar.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bangunan berada di kota Jakarta dengan kelas situs tanah lunak (SE)
2. Bangunan memiliki fungsi sebagai apartement memiliki denah berbentuk persegi. Bangunan tersebut terdiri dari 9 tingkat, di mana tingkat pertama memiliki tinggi 7 meter, sementara ketinggian antar lantai seterusnya adalah 3,5 meter secara tipikal. Bentang arah x dan y disusun simetris dengan 4 bentang, masing-masing memiliki panjang 8 meter.

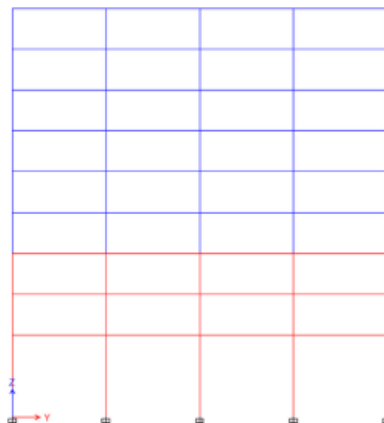


Gambar 1.1 Tampak Atas Struktur Bangunan

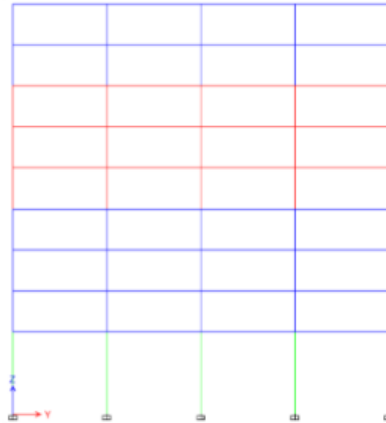


Gambar 1.2 Model 3D Struktur bangunan

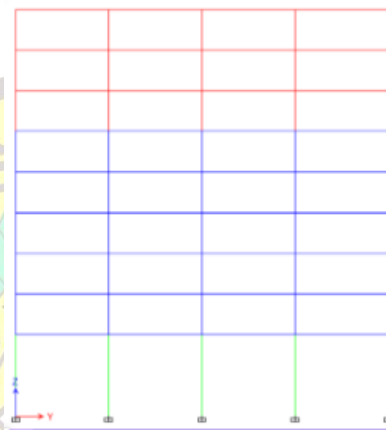
3. *Software* yang digunakan adalah ETABS 19
4. Variasi lantai yang terbakar adalah sebagai berikut
 - a. Kasus A, kebakaran di tingkat 1, 2, dan 3



- b. Kasus B, kebakaran di tingkat 5, 6, dan 7



c. Kasus C, kebakaran di tingkat 7, 8, dan 9



5. Spesifikasi beton bertulang yang digunakan untuk desain struktur adalah:
 - a. Berat jenis beton = 2400 kg/m^3
 - b. Mutu tulangan (F_y) = 420 MPa
 - c. Mutu beton (f'_c) = 35 MPa
 - d. Modulus elastisitas beton (E) = $4700\sqrt{f'_c} \text{ MPa}$
 - e. Poisson's ratio (μ) = 0.2
6. Variasi temperatur kebakaran mencapai 400°C dan 800°C dan durasi kebakaran diasumsikan terjadi selama 2 jam.
7. Elemen struktur kolom dan balok diasumsikan tidak mengalami *spalling* pasca kebakaran.
8. Temperatur yang digunakan untuk mengestimasi penurunan kekuatan material beton dan baja tulangan pasca kebakaran adalah temperatur pada kedalaman 3 cm di dalam elemen struktur.
9. Balok pada lantai yang terbakar diasumsikan tidak mengalami penurunan akibat perlindungan dari spesi dan keramik.

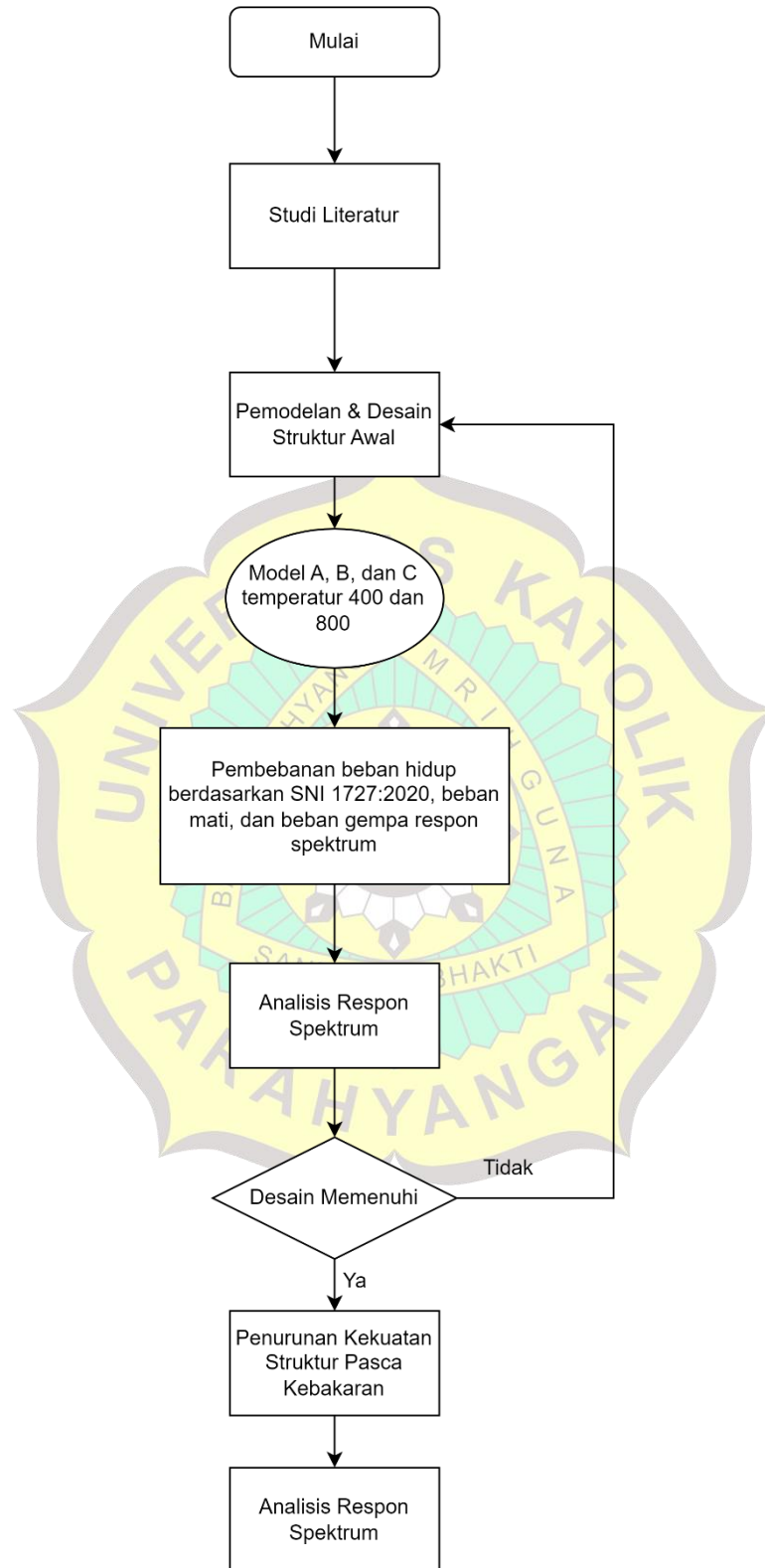
10. Peraturan yang digunakan adalah:
 - a. SNI 1726:2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
 - b. SNI 2847:2019 mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan.
 - c. SNI 1727:2020 mengenai beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.
11. Analisis desain menggunakan *Response Spectrum Analysis* dan *Time History Analysis*. Untuk *Time History Analysis* menggunakan 5 data percepatan gempa berikut:
 - a. Data percepatan gempa El-Centro N-S tahun 1940
 - b. Data percepatan gempa Bucharest N-S tahun 1977
 - c. Data percepatan gempa Parkfield N65E tahun 1966
 - d. Data percepatan gempa Denpasar B-T tahun 1979
 - e. Data percepatan gempa Flores tahun 1922

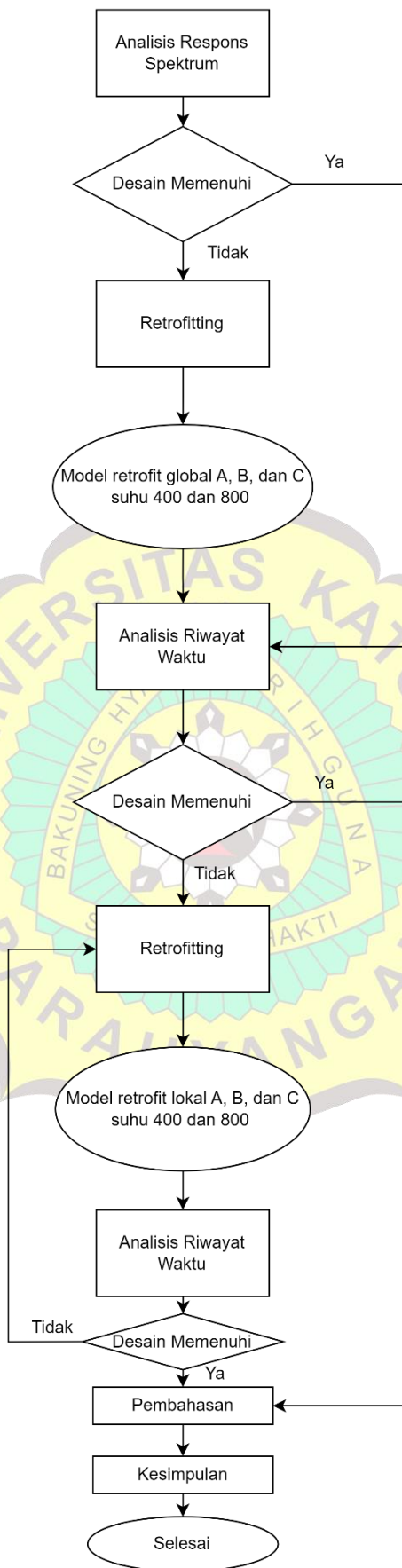
1.5 Metode Penelitian

Pada skripsi ini menggunakan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep-konsep kunci yang berhubungan dengan penelitian ini. Metode ini dilakukan dengan cara mengumpulkan dan membaca berbagai sumber, seperti jurnal, buku, dan peraturan yang berlaku di Indonesia.
2. Studi Analisis
Studi analisis pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* ETABS dan juga beberapa *software* untuk membantu perhitungan seperti Excel dan Mathcad.

1.6 Diagram Alir





1.7 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini terdiri dari teori dasar dan peraturan yang digunakan berdasarkan studi literatur dan juga peraturan-peraturan SNI yang dipakai dalam penyusunan skripsi ini.

BAB 3 DESAIN DAN ANALISIS

Bab ini berisi tentang cara dan langkah-langkah perencanaan dan pemodelan struktur rangka beton bertulang menggunakan *software* ETABS 19, serta pemodelan struktur yang telah mengalami penurunan kekuatan.

BAB 4 DESAIN RETROFITTING BANGUNAN DAN ANALISIS

Bab ini berisi tentang analisis struktur gedung yang di *retrofitting* dengan penambahan tulangan menggunakan *response spectrum analysis* dan *time history analysis*.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan akhir dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam skripsi ini.