

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN PADA
STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN
KETIDAKBERATURAN MASSA**



**NICHOLAS TJANDRA
NPM : 6101901078**

PEMBIMBING: Dr Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

THESIS

**STUDY ON THE EARTHQUAKE AFTERSHOCK THE
REINFORCED CONCRETE STRUCTURE WITH MASS
IRREGULARITY**



**NICHOLAS TJANDRA
NPM : 6101901078**

ADVISOR: Dr Johannes Adhijoso Tjondro

CO-ADVISOR: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN PADA
STURKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN
KETIDAKBERATURAN MASSA**



**NICHOLAS TJANDRA
NPM : 6101901078**

BANDUNG, 19 JANUARI 2023

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

Dr Johannes Adhijoso Tjondro

Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023**

SKRIPSI

STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN PADA STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN KETIDAKBERATURAN MASSA



NAMA: NICHOLAS TJANDRA
NPM: 6101901078

PEMBIMBING: Dr Johannes Adhijoso Tjondro

KO-PEMBIMBING: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

PENGUJI 1: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

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

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023

LEMBAR PERNYATAAN

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

Nama : Nicholas Tjandra

NPM : 6101901078

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN PADA STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN KETIDAKBERATURAN MASSA

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

Bandung, 19 Januari 2023



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Nicholas Tjandra', is written over the banknote.

Nicholas Tjandra

STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN PADA STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DENGAN KETIDAKBERATURAN MASSA

Nicholas Tjandra
NPM: 6101901078

Pembimbing: Dr Johannes Adhijoso Tjondro
Ko-Pembimbing: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARI 2023

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang rawan akan gempa karena letaknya yang dilalui jalur Cincin Api Pasifik. Hal ini mengakibatkan beberapa daerah di Indonesia sering kali mengalami gempa terus-menerus, sehingga dalam penelitian ini akan dibahas pengaruh gempa, baik gempa utama (*mainshock*) dan gempa susulan (*aftershock*) pada gedung dengan ketidakberaturan massa. Terdapat 3 model 12 lantai dengan kategori resiko IV yang dianalisis dengan pembeda terletak pada letak ketidakberaturan massa di lantai 3, 6, dan 9. Ketidakberaturan massa terjadi karena adanya ruang penyimpanan perpustakaan yang berat seismiknya diambil sebesar 70%. Model akan dianalisis dengan menggunakan analisis nonlinear riwayat waktu dengan 5 rekaman gempa yang memiliki karakteristik berbeda-beda, yaitu gempa Denpasar B-T, El-Centro N-S, Flores, Parkfield N65E, dan Bucharest N-S. Selanjutnya, gempa susulan akan diambil sebesar 0.9x, 0.8x, 0.7x, dan 0.6x dari gempa utama. Berdasarkan hasil analisis, sebelum adanya gempa susulan, hanya gempa parkfield yang mengakibatkan simpangan antar tingkat tidak memenuhi persyaratan izin, oleh karena itu model perlu diperkaku dengan memperbesar dimensi penampang. Setelah adanya gempa susulan, simpangan antar tingkat akibat gempa el-centro, flores, dan parkfield tidak memenuhi persyaratan izin walaupun gempa susulan telah diambil hingga 0.6x gempa utama. Selanjutnya, dengan adanya gempa susulan, tingkat kinerja gedung masih dalam rentang *Immediate Occupancy* hingga *Life Safety* untuk semua gempa, kecuali gempa parkfield. Tingkat kinerja gedung ketika diberikan gempa susulan parkfield adalah *Life Safety* hingga *Collapse Prevention* yang dimana kinerja ini tidak memenuhi syarat untuk gedung baru dengan kategori resiko IV.

Kata Kunci: Analisis nonlinear riwayat waktu, Gempa susulan, Ketidakberaturan massa, Simpangan antar tingkat, dan Tingkat kinerja.

STUDY ON THE EARTHQUAKE AFTERSHOCK THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURE WITH MASS IRREGULARITY

Nicholas Tjandra
NPM: 6101901078

Advisor: Dr Johannes Adhijoso Tjondro
Co-Advisor: Ir. Liyanto Eddy, Ph.D.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM

(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)

BANDUNG
JANUARI 2023

ABSTRACT

Indonesia is a country where earthquakes are not a rare sight. This is specifically caused by the position of Indonesia which is through the Pacific Ring of Fire. This cause certain areas in Indonesia to continuously experience earthquakes. Therefore, this research will discuss the impacts of earthquakes both the mainshock and the aftershock on a building with mass irregularities. There are 3 models with each model having 12 floors with a risk category of IV which is analyzed with a differentiator located on the location of mass irregularities on floor 3, 6, and 9. Mass irregularities is caused by the existence of a library storage space with a 70% seismic weight. The model will be analyzed using an non-linear time history analysis with 5 records of earthquakes with each of them having different characteristics which is Denpasar B-T, El-Centro N-S, Flores, Parkfield N64E, and Bucharet N-S. Furthermore, the aftershock will be taken from the mainshock with a multiplier of 0.9, 0.8, 0.7, and 0.6. Based on the results of the analysis, before the aftershock, Parkfield earthquake is the only earthquake that caused story drift did not meet the requirements. Therefore, the models will be needed to be stiffened by increasing the beam or column dimensions. After the aftershock, the story drift caused by El-Centro, Flores, and Parkfield did not meet the requirements even though the aftershock was taken from 0.6 multiplier of the mainshock. Further, with the aftershock, a building performance level is within the Immediate Occupancy to Life Safety of all earthquakes except for Parkfield earthquake. The building performance level when Parkfield earthquake is given is within Life Safety to Collapse Prevention, where this performance do not meet the conditions for a new building with a risk category of IV.

Keywords: Aftershock, Mass irregularities, Non-linear time history analysis, Performance level, and Story drift.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Pengaruh Gempa Susulan Pada Struktur Rangka Beton Bertulang Dengan Ketidakberaturan Massa. Skripsi ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana di program studi teknik sipil, fakultas teknik, Universitas Katolik Parahyangan.

Selama penyusunan skripsi ini, terdapat banyak hambatan yang dialami oleh penulis. Namun, penulis tetap bersyukur karena adanya orang-orang yang membantu dan memberikan dukungan, sehingga hambatan tersebut dapat diatasi. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada orang-orang tersebut, yaitu :

1. Mama, Papa, dan saudara yang telah mendukung, memotivasi, dan menghibur penulis selama penyusunan skripsi tanpa henti dalam kondisi apapun.
2. Bapak Dr Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis untuk melalui setiap masalah dalam proses penyusunan skripsi.
3. Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. selaku dosen ko-pembimbing yang telah membimbing penulis dalam memberikan kritik dan saran selama proses penyusunan skripsi.
4. Seluruh dosen Pusat Studi Struktur selaku dosen penguji yang telah menguji penulis agar penyusunan skripsi menjadi lebih baik.
5. Calvin Hindarto, Michael Ezra, dan Linda selaku teman analisis yang selalu bertukar pendapat agar penyusunan skripsi menjadi lancar.
6. Jennifer Siona yang selalu mendampingi dan menyemangati penulis untuk menjadi lebih baik, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dan tanpa tekanan.
7. Taufan Santoso selaku senior yang telah banyak membantu penulis dalam bentuk ajaran untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi.
8. Calvin Hindarto, Alvin Tjahyadi, Styvean Haley, Jason Natanel, Yeremia Grant, Jose Andreas, Melvin Ferdinand, dan Efnus Sinuhaji selaku teman-teman seperjuangan dari semester 1 hingga akhir.

9. Jovansen Hiustar, Raymond Susanto, dan Vannes Pinnadi selaku teman penulis yang selalu menemani penulis untuk mengingatkan hal-hal baik dan buruk, menghibur, dan dukungan untuk menyelesaikan skripsi.

Penulis mengetahui bahwa penelitian ini tidak sempurna dan masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka dengan adanya kritik dan saran agar dapat menjadi lebih baik kedepannya. Akhir kata, penulis ucapkan terima kasih dan permohonan maaf jika terdapat kesalahan kata.

Bandung, 19 Januari 2023



Nicholas Tjandra

6101901078

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xxii
DAFTAR LAMPIRAN	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penulisan	1-2
1.4 Batasan Masalah	1-3
1.5 Metode Penelitian.....	1-6
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-10
BAB 2 DASAR TEORI.....	2-1
2.1 Gempa Bumi.....	2-1
2.2 Perencanaan Struktur Gedung Berdasarkan Peraturan SNI	2-2
2.2.1 SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.....	2-2
2.2.1.1 Balok	2-2
2.2.1.2 Kolom.....	2-2
2.2.1.3 Pelat.....	2-3

2.2.2 SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.....	2-3
2.2.2.1 Beban Mati.....	2-4
2.2.2.2 Beban Hidup	2-4
2.2.2.3 Beban Gempa.....	2-4
2.2.3 SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung	2-4
2.2.3.1 Gempa Rencana	2-4
2.2.3.2 Kategori Resiko	2-4
2.2.3.3 Faktor Keutamaan Gempa (I_e)	2-6
2.2.3.4 Kombinasi Pembebanan	2-6
2.2.3.5 Klasifikasi Situs Tanah	2-7
2.2.3.6 Parameter Percepatan Terpetakan.....	2-8
2.2.3.7 Koefisien-koefisien Situs dan Parameter-parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget (MCE_R).....	2-8
2.2.3.8 Parameter Percepatan Spektral Desain	2-9
2.2.3.9 Spektrum Respon Desain.....	2-9
2.2.3.10 Kategori Desain Seismik	2-10
2.2.3.11 Sistem Struktur	2-11
2.2.3.12 Ketidakberaturan.....	2-11
2.2.3.13 Faktor Redundansi	2-17
2.2.3.14 Pengaruh Beban Seismik	2-18
2.2.3.15 Berat Seismik Efektif.....	2-19
2.2.3.16 Penentuan Periode.....	2-19
2.2.3.17 Analisis yang Digunakan	2-20
2.2.3.18 Simpangan Antar Tingkat.....	2-21

2.2.3.19	Penskalaan Gaya	2-22
2.2.3.20	Analisis P- Δ	2-22
2.2.3.21	Rekaman Percepatan Gempa.....	2-23
2.3	Sendi Plastis.....	2-24
2.4	Tingkat Kinerja Struktur.....	2-26
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR.....		3-1
3.1	Spesifikasi Gedung	3-1
3.1.1	Data Gedung	3-1
3.1.2	Data Material	3-1
3.2	Pembebanan.....	3-2
3.2.1	Beban Mati	3-2
3.2.2	Beban Hidup.....	3-2
3.2.3	Beban Gempa	3-2
3.3	Kombinasi Pembebanan	3-3
3.4	Dimensi dan Tulangan Elemen Struktur	3-3
3.4.1	Model A.....	3-3
3.4.2	Model B	3-4
3.4.3	Model C.....	3-5
3.5	Gempa Susulan.....	3-5
3.6	Sendi Plastis.....	3-7
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		4-1
4.1	Analisis Modal.....	4-1
4.1.1	Model A.....	4-1
4.1.1.1	Jumlah Ragam	4-1
4.1.1.2	Massa Gedung.....	4-2
4.1.1.3	Simpangan Antar Tingkat	4-2

4.1.1.4	Faktor Skala	4-5
4.1.1.5	Ketidakteraturan.....	4-5
4.1.2	Model B.....	4-10
4.1.2.1	Jumlah Ragam.....	4-10
4.1.2.2	Massa Gedung.....	4-11
4.1.2.3	Simpangan Antar Tingkat.....	4-12
4.1.2.4	Faktor Skala	4-14
4.1.2.5	Ketidakteraturan.....	4-14
4.1.3	Model C.....	4-20
4.1.3.1	Jumlah Ragam.....	4-20
4.1.3.2	Massa Gedung.....	4-21
4.1.3.3	Simpangan Antar Tingkat.....	4-22
4.1.3.4	Faktor Skala	4-24
4.1.3.5	Ketidakteraturan.....	4-24
4.2	Analisis Riwayat Waktu Nonlinear Gempa Utama Desain dan MCE_R ...	4-30
4.2.1	Model A	4-30
4.2.1.1	<i>Story Displacement</i>	4-30
4.2.1.2	<i>Base Shear</i>	4-32
4.2.1.3	<i>Story Drift</i>	4-33
4.2.1.4	Sendi Plastis.....	4-36
4.2.1.5	Tingkat Kinerja Struktur	4-38
4.2.2	Model B.....	4-39
4.2.2.1	<i>Story Displacement</i>	4-39
4.2.2.2	<i>Base Shear</i>	4-41
4.2.2.3	<i>Story Drift</i>	4-41
4.2.2.4	Sendi Plastis.....	4-44

4.2.2.5	Tingkat Kinerja Struktur	4-46
4.2.3	Model C	4-47
4.2.3.1	<i>Story Displacement</i>	4-47
4.2.3.2	<i>Base Shear</i>	4-49
4.2.3.3	<i>Story Drift</i>	4-49
4.2.3.4	Sendi Plastis	4-52
4.2.3.5	Tingkat Kinerja Struktur	4-54
4.3	Analisis Riwayat Waktu Nonlinear Gempa Utama dan Susulan	4-55
4.3.1	Model A	4-55
4.3.1.1	<i>Story Displacement</i>	4-55
4.3.1.2	<i>Base Shear</i>	4-57
4.3.1.3	<i>Story Drift</i>	4-57
4.3.1.4	Sendi Plastis	4-61
4.3.1.5	Tingkat Kinerja Struktur	4-64
4.3.2	Model B	4-64
4.3.2.1	<i>Story Displacement</i>	4-64
4.3.2.2	<i>Base Shear</i>	4-66
4.3.2.3	<i>Story Drift</i>	4-67
4.3.2.4	Sendi Plastis	4-71
4.3.2.5	Tingkat Kinerja Struktur	4-74
4.3.3	Model C	4-74
4.3.3.1	<i>Story Displacement</i>	4-74
4.3.3.2	<i>Base Shear</i>	4-76
4.3.3.3	<i>Story Drift</i>	4-77
4.3.3.4	Sendi Plastis	4-81
4.3.3.5	Tingkat Kinerja Struktur	4-84

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan	5-1
5.2 Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA	xxx



DAFTAR NOTASI

- a : Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)
- Ach : Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal (mm²)
- Ag : Luas bruto penampang beton (mm²)
- Aj : Luas penampang efektif pada *joint* di bidang yang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser *joint* (mm²)
- As : Luas tulangan tarik longitudinal nonprategang (mm²)
- $ASCE$: *American Society of Civil Engineers*
- Ax : Faktor amplifikasi torsi
- bj : Lebar penampang join (mm)
- bw : Lebar penampang balok (mm)
- c : Jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)
- $c1, c2$: Dimensi kolom (mm)
- Cd : Faktor perbesaran simpangan lateral
- CP : *Collapse Prevention*
- Cs : Koefisien respons seismik
- Cu : Koefisien untuk batasan atas pada periode
- d : Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)
- Dl : Diameter tulangan longitudinal (mm²)
- Dt : Diameter tulangan transversal (mm²)
- Ec : Modulus elastisitas beton (MPa)
- Eh : Pengaruh gaya seismik horizontal
- Es : Modulus elastisitas tulangan dan baja struktural (MPa)
- Ev : Pengaruh gaya seismik vertikal
- Fa : Koefisien situs untuk periode pendek yaitu 0.2 detik
- fc' : Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)
- FS : Faktor Skala
- Fv : Koefisien situs untuk periode panjang yaitu 1 detik
- fy : Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)
- g : Percepatan gravitasi (m/detik²)

h	: Tinggi penampang balok (mm)
h_j	: Tinggi penampang join (mm)
h_n	: Batasan tinggi struktur (mm)
h_{pelat}	: Tebal pelat (mm)
h_{sx}	: Tinggi tingkat di bawah level-x (mm)
I	: Momen inersia penampang terhadap sumbu pusat (mm ⁴)
I_e	: Faktor keutamaan gempa
IO	: <i>Immediate Occupancy</i>
KDS	: Kategori Desain Seismik
k_f	: Faktor kekuatan beton
kn	: Faktor keefektifan pengekangan
l	: Panjang bentang balok (mm)
l_n	: Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan (mm)
l_o	: Panjang yang diukur dari muka <i>joint</i> sepanjang sumbu komponen struktur, dimana tulangan transversal khusus harus disediakan (mm)
LS	: <i>Life Safety</i>
$mass$: Massa total gedung (kg, ton)
MCE_R	: Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (<i>Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake</i>)
n	: Jumlah tulangan
P_x	: Total beban rencana vertikal tidak terfaktor pada dan di atas tingkat-x
Q_E	: Pengaruh gaya seismik horizontal
R	: Koefisien modifikasi respons
S_I	: Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
S_a	: Respons spektra percepatan
S_{DI}	: Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_{DS}	: Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{MI}	: Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang telah disesuaikan terhadap kelas situs
S_{MS}	: Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang telah disesuaikan terhadap kelas situs

SNI : Standar Nasional Indonesia
 $SRPMK$: Sistem Struktur Pemikul Momen Khusus
 S_s : Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
 T : Periode fundamental bangunan (detik)
 T_a : Periode fundamental pendekatan (detik)
 T_L : Peta transisi periode panjang (detik)
 V_d : Gaya geser dinamik (kN)
 V_s : Gaya geser statik (kN)
 V_x : Geser seismik desain di tingkat x (kN)
 W : Berat seismik efektif
 $Weight$: Berat total gedung (kN)
 α_{fm} : Rata-rata rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel di sebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok
 β : Rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1
 δ_{avg} : Rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat x (mm)
 δ_{max} : perpindahan maksimum (mm)
 Δ : Simpangan antar tingkat desain
 Δ_a : Simpangan antar tingkat izin
 ϕ : Faktor reduksi kekuatan
 γ : Koefisien kekuatan
 γ_{beton} : Berat jenis beton (kN/m³)
 θ : Koefisien stabilitas untuk pengaruh P-Delta
 ρ : Faktor redundansi struktur
 Ω_0 : Faktor kuat lebih

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tampak elevasi gedung model A	1-3
Gambar 1.2 Tampak elevasi gedung model B.....	1-4
Gambar 1.3 Tampak elevasi gedung model C.....	1-5
Gambar 1.4 Diagram alir model A	1-7
Gambar 1.5 Diagram alir model B	1-8
Gambar 1.6 Diagram alir model C	1-9
Gambar 2.1 Rasio dimensi penampang terkecil terhadap dimensi tegak lurus tidak kurang dari 0.4	2-3
Gambar 2.2 Spektrum respon desain (sumber : SNI 1726:2019 Gambar 3)....	2-10
Gambar 2.3 Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b.....	2-12
Gambar 2.4 Ketidakberaturan sudut dalam	2-13
Gambar 2.5 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.....	2-13
Gambar 2.6 Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang	2-14
Gambar 2.7 Ketidakberaturan sistem nonparalel	2-14
Gambar 2.8 Ketidakberaturan tingkat lunak.....	2-15
Gambar 2.9 Ketidakberaturan berat (massa)	2-15
Gambar 2.10 Ketidakberaturan geometri vertikal	2-16
Gambar 2.11 Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral	2-16
Gambar 2.12 Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat.....	2-17
Gambar 2.13 Rekaman percepatan gempa El-Centro N-S Tahun 1940 terhadap waktu.....	2-23
Gambar 2.14 Rekaman percepatan gempa Denpasar B-T Tahun 1979 terhadap waktu.....	2-23

Gambar 2.15 Rekaman percepatan gempa Flores Tahun 1992 terhadap waktu ...	2-24
Gambar 2.16 Rekaman percepatan gempa Parkfield N65E Tahun 1966 terhadap waktu	2-24
Gambar 2.17 Rekaman percepatan gempa Bucharest N-S Tahun 1977 terhadap waktu	2-24
Gambar 2.18 <i>Story mechanism</i> (sumber : <i>NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 1 Figure 3-1</i>).....	2-25
Gambar 2.19 <i>Intermediate mechanism</i> (sumber : <i>NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 1 Figure 3-1</i>)	2-25
Gambar 2.20 <i>Beam mechanism</i> (sumber : <i>NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 1 Figure 3-1</i>).....	2-25
Gambar 3.1 Parameter-parameter untuk beban gempa.....	3-3
Gambar 3.2 Rekaman percepatan gempa El-Centro N-S Tahun 1940 terhadap waktu dengan sambungan 25 detik.....	3-5
Gambar 3.3 Rekaman percepatan gempa Denpasar B-T Tahun 1979 terhadap waktu dengan sambungan 25 detik.....	3-6
Gambar 3.4 Rekaman percepatan gempa Flores Tahun 1992 terhadap waktu dengan sambungan 30 detik	3-6
Gambar 3.5 Rekaman percepatan gempa Parkfield N65E Tahun 1966 terhadap waktu dengan sambungan 20 detik.....	3-6
Gambar 3.6 Rekaman percepatan gempa Bucharest N-S Tahun 1977 terhadap waktu dengan sambungan 25 detik.....	3-6
Gambar 3.7 Sendi plastis model A	3-7
Gambar 3.8 Sendi plastis model B.....	3-8
Gambar 3.9 Sendi plastis model C.....	3-9
Gambar 4.1 Peralihan maksimum model A terhadap gempa utama desain	4-31
Gambar 4.2 Peralihan maksimum model A terhadap gempa utama MCE_R	4-32

- Gambar 4.3** Grafik simpangan antar tingkat gempa utama desain model A... 4-34
- Gambar 4.4** Grafik simpangan antar tingkat gempa utama MCE_R model A... 4-35
- Gambar 4.5** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain bucharest, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R bucharest model A... 4-36
- Gambar 4.6** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain denpasar, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R denpasar model A 4-36
- Gambar 4.7** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain el-centro, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R el-centro model A 4-37
- Gambar 4.8** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain flores, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R flores model A 4-37
- Gambar 4.9** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain parkfield, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R parkfield model A 4-38
- Gambar 4.10** Peralihan maksimum model B terhadap gempa utama desain ... 4-40
- Gambar 4.11** Peralihan maksimum model B terhadap gempa utama MCE_R ... 4-40
- Gambar 4.12** Grafik simpangan antar tingkat gempa utama desain model B .. 4-42
- Gambar 4.13** Grafik simpangan antar tingkat gempa utama MCE_R model B.. 4-43
- Gambar 4.14** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain bucharest (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R bucharest model B..... 4-44
- Gambar 4.15** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain denpasar (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R denpasar model B..... 4-44
- Gambar 4.16** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain el-centro (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R el-centro model B..... 4-45
- Gambar 4.17** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain flores (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R flores model B 4-45
- Gambar 4.18** (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain parkfield (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R parkfield model B 4-46
- Gambar 4.19** Peralihan maksimum model C terhadap gempa utama desain ... 4-48
- Gambar 4.20** Peralihan maksimum model C terhadap gempa utama MCE_R ... 4-48

Gambar 4.21	Grafik simpangan antar tingkat gempa utama desain model C ..	4-50
Gambar 4.22	Grafik simpangan antar tingkat gempa utama MCE_R model C ..	4-51
Gambar 4.23	(a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain bucharest, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R bucharest model C ...	4-52
Gambar 4.24	(a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain denpasar, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R denpasar model C	4-52
Gambar 4.25	(a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain el-centro, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R el-centro model C	4-53
Gambar 4.26	(a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain flores, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R flores model C	4-53
Gambar 4.27	(a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama desain parkfield, (b) sendi plastis yang terjadi akibat gempa utama MCE_R parkfield model C	4-54
Gambar 4.28	Peralihan maksimum model A tanpa gempa susulan.....	4-56
Gambar 4.29	Peralihan maksimum model A dengan gempa susulan.....	4-56
Gambar 4.30	Grafik simpangan antar tingkat tanpa gempa susulan model A..	4-58
Gambar 4.31	Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan 0.9x model A	4-59
Gambar 4.32	Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan el-centro sebesar 0.8x, 0.7x, dan 0.6x model A.....	4-60
Gambar 4.33	Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan flores sebesar 0.8x, 0.7x, dan 0.6x model A.....	4-60
Gambar 4.34	(a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa bucharest tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa bucharest dengan gempa susulan 0.9x - model A.....	4-61
Gambar 4.35	(a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa denpasar tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa denpasar dengan gempa susulan 0.9x - model A.....	4-62

Gambar 4.36 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa el-centro tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa el-centro dengan gempa susulan 0.9x - model A	4-62
Gambar 4.37 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa flores tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa flores dengan gempa susulan 0.9x - model A	4-63
Gambar 4.38 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa parkfield tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa parkfield dengan gempa susulan 0.9x - model A	4-63
Gambar 4.39 Peralihan maksimum model B tanpa gempa susulan	4-65
Gambar 4.40 Peralihan maksimum model B dengan gempa susulan	4-66
Gambar 4.41 Grafik simpangan antar tingkat tanpa gempa susulan model B .	4-68
Gambar 4.42 Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan 0.9x model B	4-69
Gambar 4.43 Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan el-centro sebesar 0.8x, 0.7x, dan 0.6x model B	4-70
Gambar 4.44 Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan flores sebesar 0.8x, 0.7x, dan 0.6x model B	4-70
Gambar 4.45 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa bucharest tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa bucharest dengan gempa susulan 0.9x - model B.....	4-71
Gambar 4.46 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa denpasar tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa denpasar dengan gempa susulan 0.9x - model B.....	4-72
Gambar 4.47 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa el-centro tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa el-centro dengan gempa susulan 0.9x- model B.....	4-72

Gambar 4.48 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa flores tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa flores dengan gempa susulan 0.9x - model B	4-73
Gambar 4.49 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa parkfield tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa parkfield dengan gempa susulan 0.9x - model B	4-73
Gambar 4.50 Peralihan maksimum model C tanpa gempa susulan.....	4-75
Gambar 4.51 Peralihan maksimum model C dengan gempa susulan	4-76
Gambar 4.52 Grafik simpangan antar tingkat tanpa gempa susulan model C..	4-78
Gambar 4.53 Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan 0.9x model C	4-79
Gambar 4.54 Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan el-centro sebesar 0.8x, 0.7x, dan 0.6x model C.....	4-80
Gambar 4.55 Grafik simpangan antar tingkat dengan gempa susulan flores sebesar 0.8x, 0.7x, dan 0.6x model C.....	4-80
Gambar 4.56 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa bucharest tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa bucharest dengan gempa susulan 0.9x - model C.....	4-81
Gambar 4.57 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa denpasar tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa denpasar dengan gempa susulan 0.9x - model C	4-82
Gambar 4.58 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa el-centro tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa el-centro dengan gempa susulan 0.9x - model C	4-82
Gambar 4.59 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa flores tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa flores dengan gempa susulan 0.9x - model C	4-83

Gambar 4.60 (a) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa parkfield tanpa gempa susulan, (b) Sendi plastis yang terjadi akibat gempa parkfield dengan gempa susulan 0.9x - model C.....4-83



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinggi minimum balok nonprategang (sumber : SNI 2847:2019 Tabel 9.3.1.1).....	2-2
Tabel 2.2 Tebal minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya (sumber : SNI 2847:2019 Tabel 8.3.1.2)	2-3
Tabel 2.3 Kategori resiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 3)	2-5
Tabel 2.4 Kategori resiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan) (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 3)	2-6
Tabel 2.5 Faktor keutamaan gempa (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 4).....	2-6
Tabel 2.6 Klasifikasi Situs (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 5).....	2-8
Tabel 2.7 Koefisien situs, Fa (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 6)	2-9
Tabel 2.8 Koefisien situs, Fv (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 7)	2-9
Tabel 2.9 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 8)	2-11
Tabel 2.10 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode 1 detik (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 9).....	2-11
Tabel 2.11 Faktor R, Cd, Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 12).....	2-11
Tabel 2.12 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 15).....	2-18
Tabel 2.13 Nilai parameter periode pendekatan Ct dan x (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 18).....	2-19
Tabel 2.14 Koefisien untuk batas atas periode yang dihitung (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 17).....	2-20
Tabel 2.15 Prosedur analisis yang diizinkan (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 16)2-	20

Tabel 2.16 Simpangan antar tingkat izin (Δ_a) (sumber : SNI 1726:2019 Tabel 20)	2-22
Tabel 2.17 <i>Structural Performance Levels</i> (sumber : FEMA 356 Table C1-3)	2-27
Tabel 3.1 Dimensi dan tulangan kolom model A	3-4
Tabel 3.2 Dimensi dan tulangan balok model A	3-4
Tabel 3.3 Dimensi dan tulangan kolom model B	3-4
Tabel 3.4 Dimensi dan tulangan balok model B	3-4
Tabel 3.5 Dimensi dan tulangan kolom model C	3-5
Tabel 3.6 Dimensi dan tulangan balok model C	3-5
Tabel 4.1 Jumlah ragam model A	4-1
Tabel 4.2 Massa gedung model A	4-2
Tabel 4.3 Simpangan antar tingkat akibat U1 arah X model A	4-3
Tabel 4.4 Simpangan antar tingkat akibat U1 arah Y model A	4-3
Tabel 4.5 Simpangan antar tingkat akibat U2 arah X model A	4-4
Tabel 4.6 Simpangan antar tingkat akibat U2 arah Y model A	4-4
Tabel 4.7 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex model A	4-5
Tabel 4.8 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex+ model A	4-5
Tabel 4.9 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex- model A	4-6
Tabel 4.10 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey model A	4-6
Tabel 4.11 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey+ model A	4-6
Tabel 4.12 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey- model A	4-7

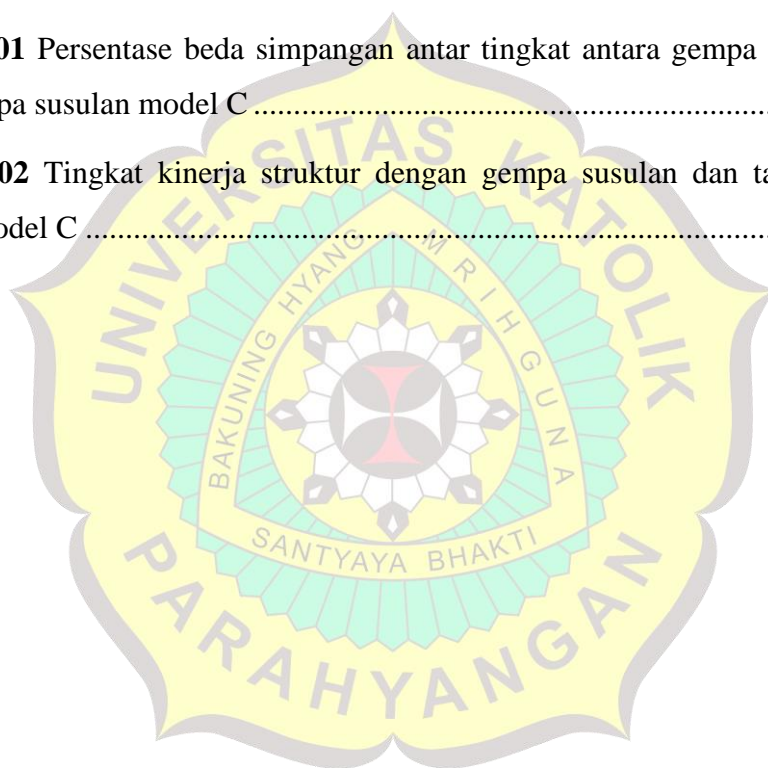
Tabel 4.13 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b model A.....	4-8
Tabel 4.14 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 2 model A	4-8
Tabel 4.15 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 3 model A	4-8
Tabel 4.16 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b arah X model A....	4-9
Tabel 4.17 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b arah Y model A..	4-10
Tabel 4.18 Jumlah ragam model B	4-11
Tabel 4.19 Massa gedung model B.....	4-12
Tabel 4.20 Simpangan antar tingkat akibat U1 arah X model B	4-12
Tabel 4.21 Simpangan antar tingkat akibat U1 arah Y model B	4-13
Tabel 4.22 Simpangan antar tingkat akibat U2 arah X model B	4-13
Tabel 4.23 Simpangan antar tingkat akibat U2 arah X model B	4-14
Tabel 4.24 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex model B	4-14
Tabel 4.25 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex+ model B	4-15
Tabel 4.26 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex- model B	4-15
Tabel 4.27 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey model B	4-16
Tabel 4.28 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey+ model B	4-16
Tabel 4.29 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey- model B	4-16
Tabel 4.30 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b model B.....	4-17
Tabel 4.31 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 2 model B.....	4-18
Tabel 4.32 Pengecekan ketidakberaturan vertikal model B.....	4-18
Tabel 4.33 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b arah X model B ..	4-19

Tabel 4.34 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b arah Y model B..	4-20
Tabel 4.35 Jumlah ragam model C.....	4-21
Tabel 4.36 Massa gedung model C	4-22
Tabel 4.37 Simpangan antar tingkat akibat U1 arah X model C.....	4-22
Tabel 4.38 Simpangan antar tingkat akibat U1 arah Y model C.....	4-23
Tabel 4.39 Simpangan antar tingkat akibat U2 arah X model C.....	4-23
Tabel 4.40 Simpangan antar tingkat akibat U2 arah Y model C.....	4-24
Tabel 4.41 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex model C	4-25
Tabel 4.42 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex+ model C	4-25
Tabel 4.43 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ex- model C	4-25
Tabel 4.44 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey model C	4-26
Tabel 4.45 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey+ model C	4-26
Tabel 4.46 Pengecekan ketidakberaturan horizontal 1a dan 1b akibat Ey- model C	4-26
Tabel 4.47 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b model C.....	4-27
Tabel 4.48 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 2 model C	4-28
Tabel 4.49 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 3 model C	4-28
Tabel 4.50 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b arah X model C..	4-29
Tabel 4.51 Pengecekan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b arah Y model C..	4-30
Tabel 4.52 Peralihan maksimum model A terhadap gempa utama desain.....	4-31
Tabel 4.53 Peralihan maksimum model A terhadap gempa utama MCE _R	4-31

Tabel 4.54 Persentase beda peralihan maksimum antara gempa utama desain dan MCE_R model A.....	4-32
Tabel 4.55 Faktor kuat lebih gempa desain dan MCE_R model A.....	4-33
Tabel 4.56 Simpangan antar tingkat gempa utama desain model A.....	4-33
Tabel 4.57 Simpangan antar tingkat gempa utama MCE_R model A.....	4-34
Tabel 4.58 Persentase beda simpangan antar tingkat antara gempa utama desain dan MCE_R model A.....	4-35
Tabel 4.59 Tingkat kinerja struktur dengan gempa utama desain dan MCE_R model A.....	4-38
Tabel 4.60 Peralihan maksimum model B terhadap gempa utama desain	4-39
Tabel 4.61 Peralihan maksimum model B terhadap gempa utama MCE_R	4-39
Tabel 4.62 Persentase beda peralihan maksimum antara gempa utama dan MCE_R model B	4-41
Tabel 4.63 Faktor kuat lebih gempa desain dan MCE_R model B.....	4-41
Tabel 4.64 Simpangan antar tingkat gempa utama desain model B.....	4-42
Tabel 4.65 Simpangan antar tingkat gempa utama MCE_R Model B.....	4-42
Tabel 4.66 Persentase beda simpangan antar tingkat antara gempa utama desain dan MCE_R model B.....	4-43
Tabel 4.67 Tingkat kinerja struktur dengan gempa utama desain dan MCE_R model B.....	4-46
Tabel 4.68 Peralihan maksimum model C terhadap gempa utama desain	4-47
Tabel 4.69 Peralihan maksimum model C terhadap gempa utama MCE_R	4-47
Tabel 4.70 Persentase beda peralihan maksimum antara gempa utama desain dan MCE_R model A.....	4-49
Tabel 4.71 Faktor kuat lebih gempa desain dan MCE_R model A.....	4-49
Tabel 4.72 Simpangan antar tingkat gempa utama desain model C.....	4-50
Tabel 4.73 Simpangan antar tingkat gempa utama MCE_R model C.....	4-50

Tabel 4.74 Persentase beda simpangan antar tingkat antara gempa utama desain dan MCE_R model C.....	4-51
Tabel 4.75 Tingkat kinerja struktur dengan gempa utama desain dan MCE_R model C.....	4-54
Tabel 4.76 Peralihan maksimum model A tanpa gempa susulan.....	4-55
Tabel 4.77 Peralihan maksimum model A dengan gempa susulan.....	4-55
Tabel 4.78 Persentase beda peralihan maksimum antara gempa utama dan gempa susulan model A.....	4-57
Tabel 4.79 Faktor kuat lebih tanpa gempa susulan model A.....	4-57
Tabel 4.80 Faktor kuat lebih dengan gempa susulan model A.....	4-57
Tabel 4.81 Simpangan antar tingkat tanpa gempa susulan model A.....	4-58
Tabel 4.82 Simpangan antar tingkat dengan gempa susulan model A.....	4-58
Tabel 4.83 Persentase beda simpangan antar tingkat antara gempa susulan dan tanpa gempa susulan model A.....	4-61
Tabel 4.84 Tingkat kinerja struktur model A.....	4-64
Tabel 4.85 Peralihan maksimum model B tanpa gempa susulan.....	4-65
Tabel 4.86 Peralihan maksimum model B dengan gempa susulan.....	4-65
Tabel 4.87 Persentase beda peralihan maksimum antara gempa utama dan gempa susulan model B.....	4-66
Tabel 4.88 Faktor kuat lebih tanpa gempa susulan model A.....	4-67
Tabel 4.89 Faktor kuat lebih dengan gempa susulan model A.....	4-67
Tabel 4.90 Simpangan antar tingkat tanpa gempa susulan model B.....	4-67
Tabel 4.91 Simpangan antar tingkat dengan gempa susulan model B.....	4-68
Tabel 4.92 Persentase beda simpangan antar tingkat antara gempa susulan dan tanpa gempa susulan model B.....	4-71
Tabel 4.93 Tingkat kinerja struktur dengan gempa susulan dan tanpa gempa susulan model B.....	4-74

Tabel 4.94 Peralihan maksimum model C tanpa gempap susulan	4-75
Tabel 4.95 Peralihan maksimum model C dengan gempap susulan.....	4-75
Tabel 4.96 Persentase beda peralihan maksimum antara gempap utama dan gempap susulan model C	4-76
Tabel 4.97 Faktor kuat lebih tanpa gempap susulan model C	4-77
Tabel 4.98 Faktor kuat lebih dengan gempap susulan model C	4-77
Tabel 4.99 Simpangan antar tingkat tanpa gempap susulan model C	4-77
Tabel 4.100 Simpangan antar tingkat dengan gempap susulan model C	4-78
Tabel 4.101 Persentase beda simpangan antar tingkat antara gempap susulan dan tanpa gempap susulan model C	4-81
Tabel 4.102 Tingkat kinerja struktur dengan gempap susulan dan tanpa gempap susulan model C	4-84



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PENGECEKAN FAKTOR REDUNDANSI	L1-1
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN FAKTOR SKALA	L2-1
LAMPIRAN 3 PENGECEKAN KETIDAKBERATURAN	L3-1
LAMPIRAN 4 CONTOH PERHITUNGAN TULANGAN	L4-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan penduduk terbanyak di dunia. Sehubungan dengan hal tersebut, kebutuhan penduduk terhadap tempat tinggal akan terbatas karena berkurangnya lahan setiap tahunnya. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS), luas lahan sawah di Indonesia pada tahun 2021 adalah 10,411,801.22 hektar yang dimana luas ini turun sekitar 2,3% dari tahun sebelumnya, yaitu 10,657,274.22 hektar. Penurunan luas sawah ini digunakan untuk kepentingan lain, salah satunya adalah infrastruktur, baik itu kawasan pemukiman, gedung, jalan, bendungan, dan lain-lain. Maka, lahan perlu digunakan secara tepat agar dapat memenuhi kebutuhan penduduk, baik itu sebagai tempat tinggal, pendidikan, dan perkantoran. Salah satu solusinya adalah dengan merencanakan dan membangun gedung bertingkat.

Dalam melakukan perencanaan gedung bertingkat, terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan, seperti material dan beban yang bekerja. Pertama, material umumnya dapat dibagi menjadi 3, yaitu beton, kayu, dan baja. Umumnya di Indonesia masih banyak digunakan material beton karena masih lebih mudah dan murah untuk dikonstruksi. Kedua, beban yang bekerja pada suatu struktur dapat dibagi menjadi 2, yaitu beban vertikal dan horizontal. Beban vertikal merupakan beban gravitasi yang berupa beban mati dan hidup struktur. Beban horizontal merupakan beban lateral yang berupa beban gempa dan angin.

Selanjutnya, gedung-gedung bertingkat tidak hanya direncanakan secara beraturan, namun juga dapat direncanakan dengan ketidakberaturan massa. Berdasarkan SNI 1726-2019, ketidakberaturan massa termasuk dalam ketidakberaturan vertikal tipe 2 yang dimana ketidakberaturan massa ini dapat terjadi jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya.

Indonesia merupakan kawasan yang rawan terhadap gempa karena letaknya yang berada pada pertemuan tiga lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng

Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Hal ini menyebabkan daerah-daerah di Indonesia sering mengalami gempa. Gempa terjadi karena adanya pelepasan energi di dalam bumi akibat pergeseran lempeng bumi yang mengakibatkan getaran pada permukaan tanah. Berdasarkan kekuatannya, gempa dibagi menjadi 2, yaitu gempa utama (*mainshock*) dan gempa susulan (*aftershock*). Gempa utama memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan gempa susulan dan gempa susulan terjadi setelah gempa utama dalam jangka waktu tertentu (detik, bulan). Namun, baik gempa utama atau gempa susulan, keduanya dapat menyebabkan kerugian, baik secara material atau korban jiwa. Sebagai contoh, berdasarkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tanggal 25 Februari 2022, gempa utama terjadi diikuti dengan 2 kali gempa susulan di Kabupaten Pasaman Barat, Sumatera Barat. Gempa ini tercatat mengakibatkan 13 korban jiwa, 381 orang terluka, 2993 rumah rusak.

Maka, dengan kebutuhan gedung bertingkat yang meningkat dan fungsi-fungsi gedung yang beragam. Gedung bertingkat mungkin saja direncanakan dengan ketidakberaturan massa. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dijelaskan terkait perilaku struktur gedung beton bertulang dengan dengan ketidakberaturan massa terhadap gempa susulan.

1.2 Inti Permasalahan

Gedung yang menerima gaya gempa utama akan mengalami perlemahan, baik dari kekakuan dan kekuatannya. Dengan tambahan gempa susulan, gedung tersebut akan mengalami perlemahan tambahan. Adanya ketidakberaturan massa, gedung tersebut akan menghasilkan perilaku dan kinerja yang berbeda terhadap gedung yang beraturan.

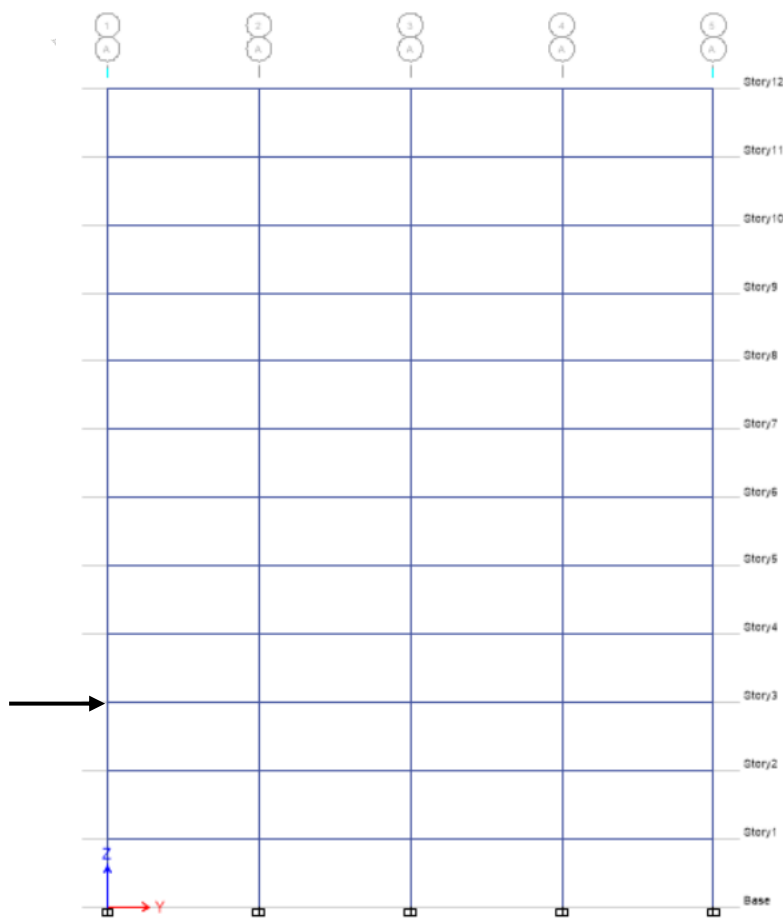
1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui perilaku dan kinerja bangunan gedung bertingkat dengan ketidakberaturan massa di salah satu tingkat terhadap gempa susulan.

1.4 Batasan Masalah

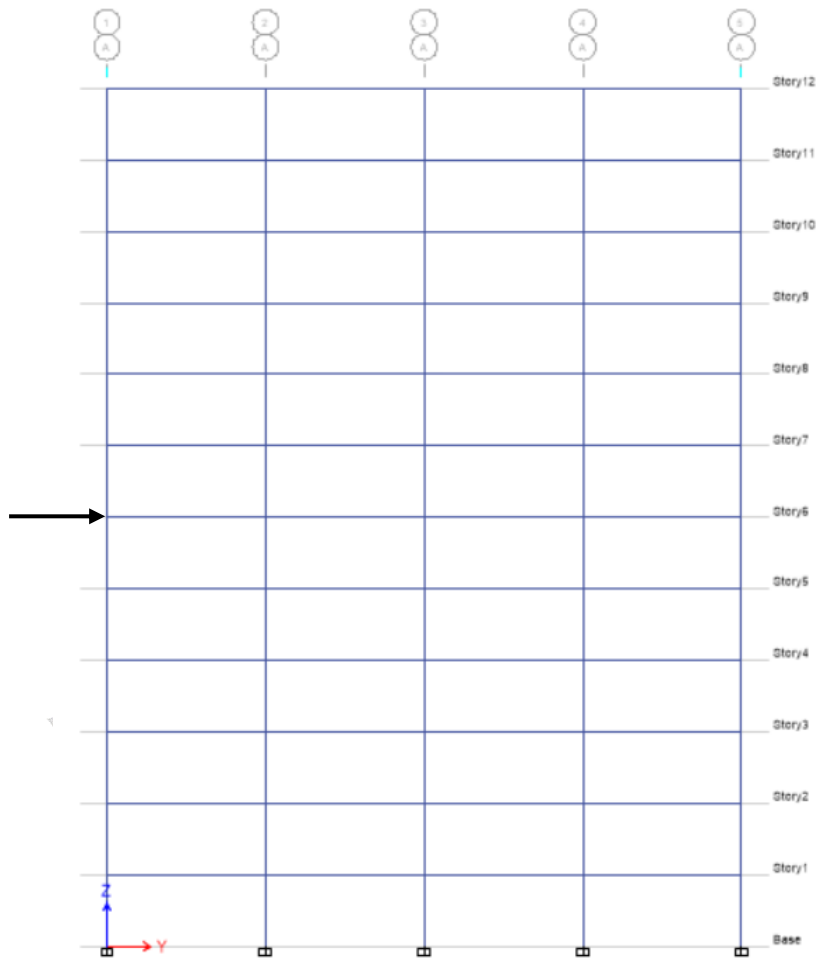
Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Analisis model menggunakan bantuan *software* ETABS 2016
2. Spesifikasi beton :
 - Mutu beton, $f_c' = 35$ MPa
 - Modulus elastisitas beton, $E = 4700\sqrt{f_c'}$ MPa
3. Mutu baja tulangan, $f_y = 420$ MPa
4. Fungsi gedung untuk fasilitas Pendidikan
5. Beban angin diabaikan
6. Gedung terletak di kota Bandung dengan kelas situs tanah D
7. Terdapat 3 model dengan tinggi story sebesar 3.6 m yang dianalisis dengan ketidakberaturan massa, yaitu :
 - a. Model A dengan ketidakberaturan massa terletak pada *story* 3 :



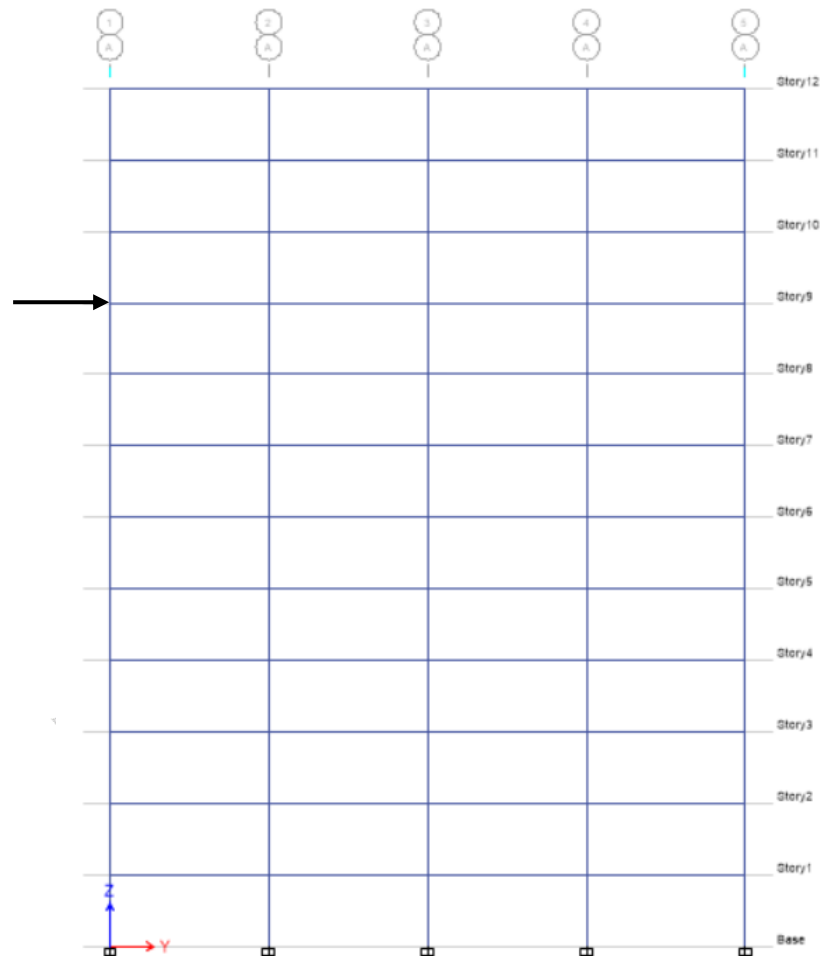
Gambar 1.1 Tampak elevasi gedung model A

b. Model B dengan ketidakberaturan massa terletak pada *story 6* :



Gambar 1.2 Tampak elevasi gedung model B

c. Model C dengan ketidakberaturan massa terletak pada *story 9* :



Gambar 1.3 Tampak elevasi gedung model C

8. Peraturan-peraturan yang digunakan sebagai acuan desain adalah sebagai berikut :
 - a. SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung
 - b. SNI 1727-2018 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain
 - c. SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan
9. Terdapat 5 rekaman gempa yang digunakan dalam analisis ini, yaitu :
 - a. El-Centro N-S tahun 1940
 - b. Denpasar B-T tahun 1979

- c. Flores tahun 1992
- d. Parkfield N65E tahun 1966
- e. Bucharest N-S 1977

10. Kekuatan gempa susulan diambil sebesar 0.9 kali gempa utama

1.5 Metode Penelitian

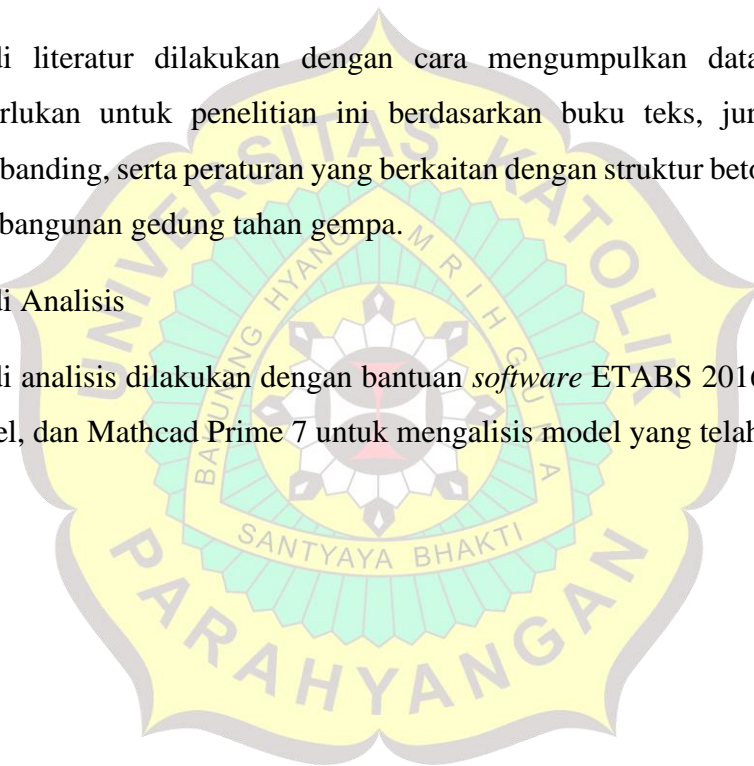
Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan skripsi ini dibagi menjadi dua, yaitu :

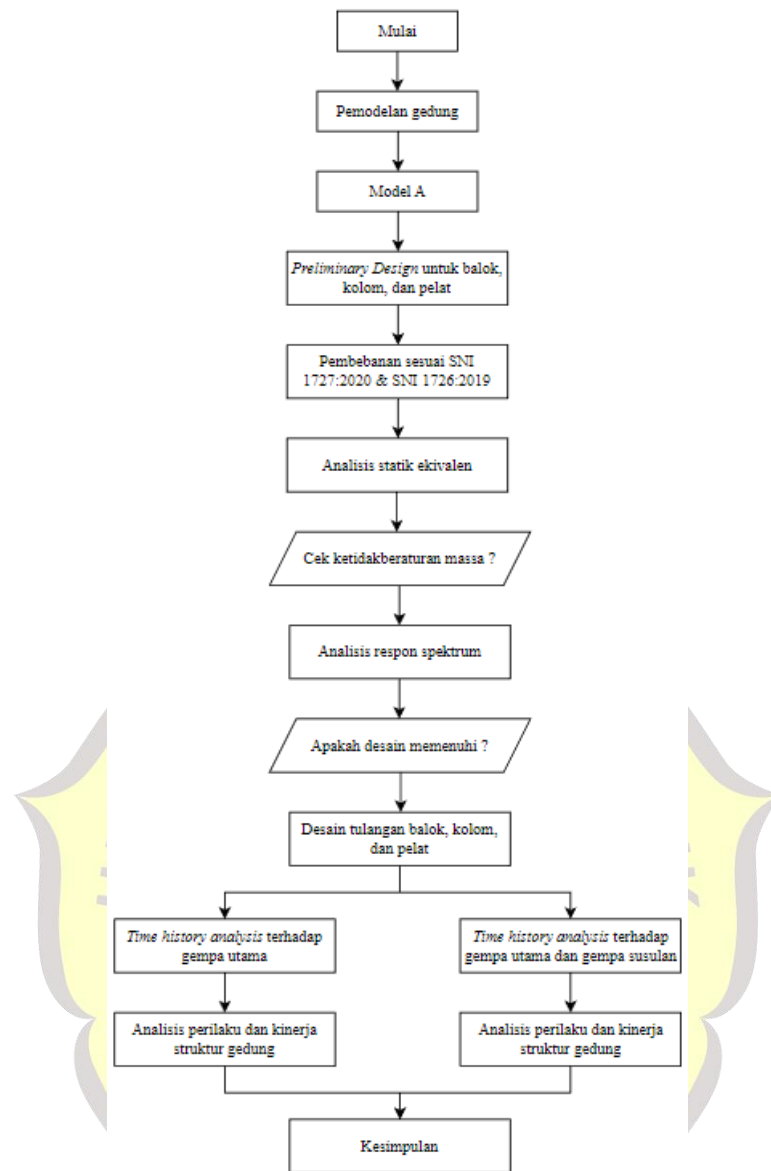
1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk penelitian ini berdasarkan buku teks, jurnal, skripsi pembandingan, serta peraturan yang berkaitan dengan struktur beton bertulang dan bangunan gedung tahan gempa.

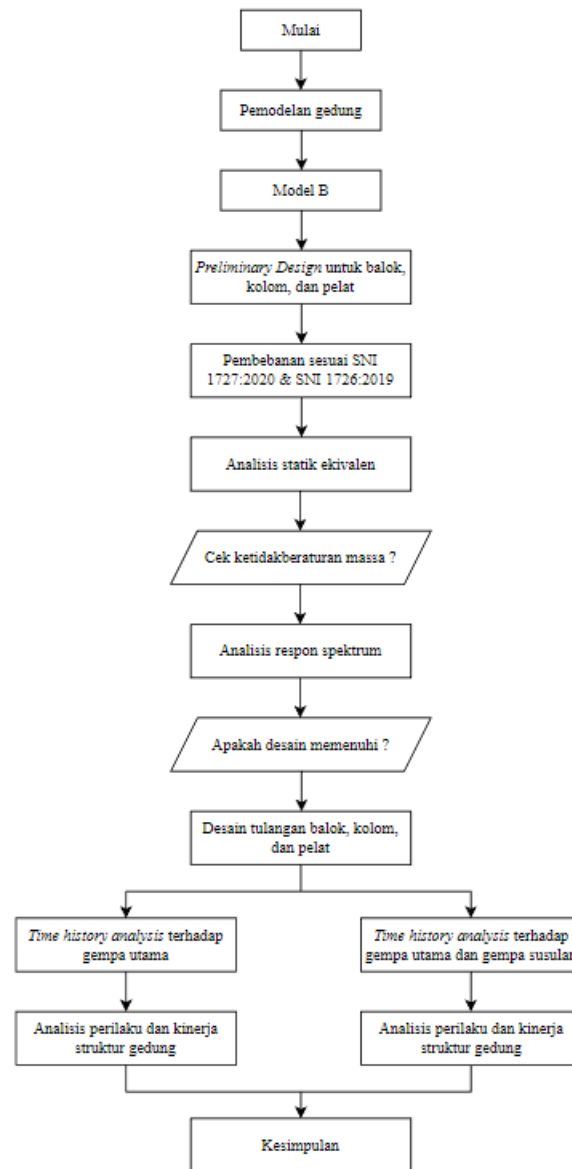
2. Studi Analisis

Studi analisis dilakukan dengan bantuan *software* ETABS 2016, Microsoft Excel, dan Mathcad Prime 7 untuk menganalisis model yang telah dibuat.

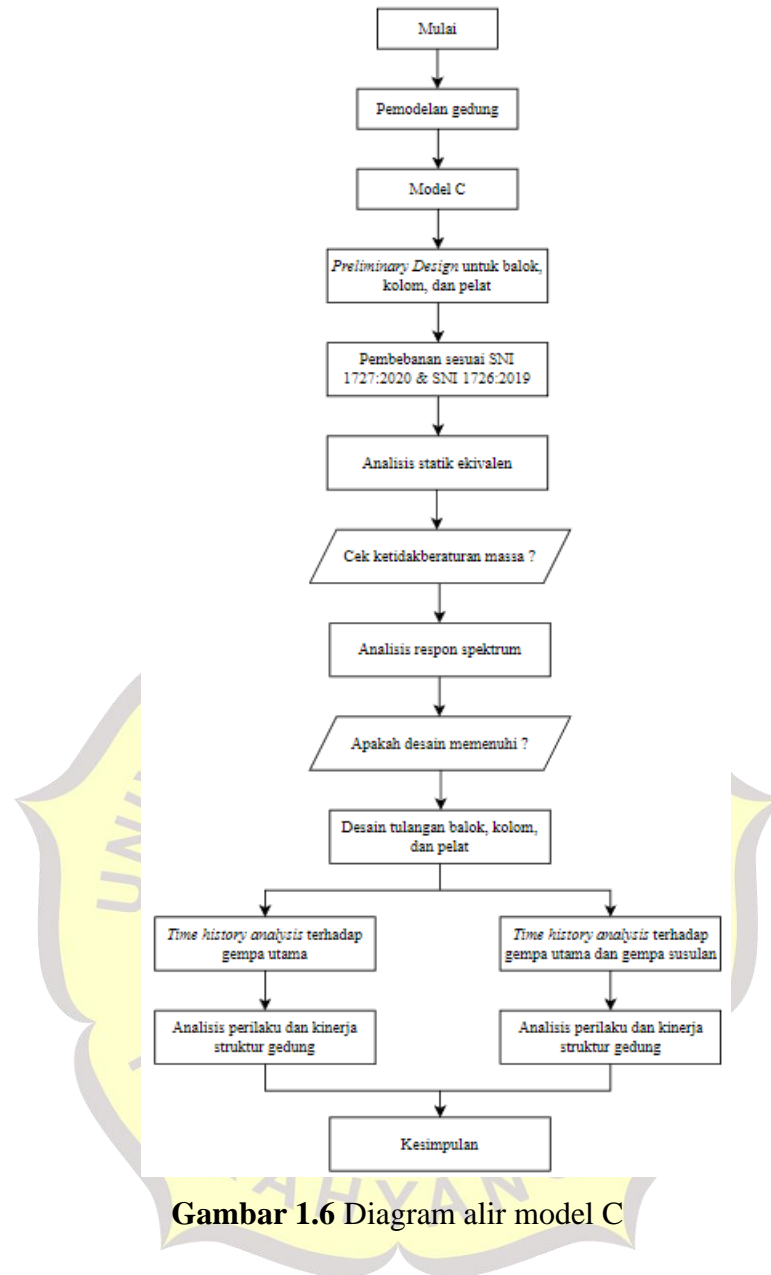




Gambar 1.4 Diagram alir model A



Gambar 1.5 Diagram alir model B



Gambar 1.6 Diagram alir model C

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut merupakan sistematika penulisan pada skripsi ini :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori-teori dan peraturan yang akan digunakan sebagai dasar dalam perencanaan dan analisis gedung.

BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

Bab ini menjelaskan tentang desain dan pemodelan struktur gedung beton bertulang sesuai dengan batasan masalah yang telah ditetapkan dengan bantuan *software* ETABS 2016.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil analisis, baik itu perilaku ataupun kinerja gedung beton bertulang.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis yang diperoleh dan disertakannya saran agar dapat diberikan kepada peneliti selanjutnya, sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih baik.