

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN TERHADAP
STRUKUR RANGKA BETON BERTULANG SISTEM
GANDA DENGAN *COUPLED SHEAR WALL***



**CALVIN HINDARTO
NPM : 6101901024**

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 EFFECT OF AFTERSHOCKS ON
REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES
OF DUAL SYSTEMS WITH COUPLED SHEAR WALL**



**CALVIN HINDARTO
NPM : 6101901024**

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 Number: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JANUARY 2023**

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN TERHADAP
STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG SISTEM
GANDA DENGAN COUPLED SHEAR WALL**



CALVIN HINDARTO
NPM: 6101901024

PEMBIMBING: Dr Johannes Adhijoso Tjondro



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



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



PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, 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

LEMBAR PERNYATAAN

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

Nama : Calvin Hindarto

NPM : 6101901024

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis/ disertasi*) dengan judul:

STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN TERHADAP STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG SISTEM GANDA DENGAN *COUPLED SHEAR WALL*

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

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 19 Januari 2023



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Calvin', is written over the meter stamp.

Calvin Hindarto

STUDI PENGARUH GEMPA SUSULAN TERHADAP STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG SISTEM GANDA DENGAN *COUPLED SHEAR WALL*

Calvin Hindarto
NPM: 6101901024

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

Pada saat ini, di Indonesia dibangun gedung – gedung dengan tingkatan yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sistem penahan gaya lateral yang dapat membuat struktur memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan struktur tetap dapat menahan apabila gempa disertai oleh gempa susulan. Salah satu sistem penahan yang dapat digunakan adalah sistem ganda antara sistem pemikul momen khusus dengan dinding geser. Pada studi ini gedung menggunakan sistem ganda dengan jenis dinding geser berangkai (*coupled shearwall*). Balok kopel dipasang untuk menghubungkan dinding geser yang berpasangan tersebut. Mekanisme kelelahan yang terjadi pada *coupled shearwall* diharapkan terjadi kelelahan terlebih dahulu pada ujung – ujung balok kopel dan pada bagian dasar dinding geser. Analisis nonlinear riwayat waktu dilakukan dengan menggunakan percepatan gempa El-Centro N-S tahun 1940, Bucharest N-S tahun 1977, Denpasar B-T tahun 1979, Flores tahun 1992, dan Parkfield N65E tahun 1966. Hasil analisis menunjukkan baik tanpa gempa susulan dan dengan gempa susulan sebesar 0,9 dari percepatan gempa utama, rasio simpangan struktur tidak melebihi rasio simpangan izin yang disyaratkan, selain itu juga sendi plastis yang terjadi pada *coupled shear wall* sudah tercapai dan sendi plastis terjadi pada balok dan bagian dasar pada kolom. Analisis menggunakan gempa maksimum (MCE_R) dan struktur memiliki kategori risiko II oleh karena itu tingkat kinerja struktur terjadi masih dalam syarat yang diizinkan yaitu *collapse prevention*. Namun untuk gempa susulan yang diakibatkan oleh gempa Bucharest dan Flores struktur mengalami kegagalan.

Kata Kunci: balok kopel, *coupled shear wall*, gempa susulan, sistem ganda, tingkat kinerja

STUDY ON THE EFFECT OF AFTERSHOCKS ON REINFORCED CONCRETE FRAME STRUCTURES OF DUAL SYSTEMS WITH COUPLED SHEAR WALL

Calvin Hindarto
NPM: 6101901024

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
JANUARY 2023

ABSTRACT

Recently, in Indonesia people built many highrise building. Therefore, a lateral force resisting system in needed for the structure have strength and high rigidity to withstand the earthquake forces, and also the structure can still withstand if the aftershocks earthquake happened. One of the lateral resistant systems that can be used is a dual system between the special momen resisting frame and the shearwall. In this study, the building used a dual system with a coupled shearwalls. Coupling beams are installed to connect the shearwalls. The plastic mechanism that occurs in the coupled shearwall is expected to occur prior to yielding at the ends of the coupled beam and at the base of the shearwall. Nonlinear time history analysis was carried out using the earthquake ground accelerations of the El-Centro N-S in 1940, Bucharest N-S in 1977, Denpasar B-T in 1979, Flores in 1992, and Parkfield N-65E in 1966. The analysis results showed that the displacement ratio of the structure does not exceed the required allowable displacement ratio, both without and with aftershocks of 0.9 from the acceleration of the main earthquake, and that the plastic hinges in the coupled shearwall have been occurred, as well as the plastic hinges that occurred in the beams and the column at the base. Analysis using the maximum earthquake (MCE_R) shows that the structure has a risk category of II, has the performance level within the permissible conditions in collapse prevention. The structure, however, failed to withstand the aftershocks due to the Bucharest and Flores earthquakes

Keywords: aftershock, coupling beam, coupled shear wall, dual system, performance level

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmatNya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Studi Pengaruh Gempa Susulan Terhadap Struktur Rangka Beton Bertulang Sistem Ganda Dengan *Coupled Shear Wall* dengan tepat waktu. Skripsi ini dibuat sebagai persyaratan kelulusan dalam menyelesaikan Program Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis mengalami hambatan yang harus dihadapi. Tetapi penulis bersyukur, berkat kritik, saran dan semangat yang diberikan oleh orang – orang di sekitar penulis untuk menghadapi hambatan tersebut. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat dan saran untuk penulis menyelesaikan skripsi dengan baik.
2. Bapak Dr. Johannes Adhijoso Tjondro selaku dosen pembimbing dan Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. selaku dosen ko-pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberi banyak pengetahuan dan bimbingan serta memberi bantuan kepada penulis saat mengalami kesulitan dalam penyusunan skripsi.
3. Seluruh bapak ibu dosen Program Studi Teknik Sipil yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan berlangsung.
4. Nicholas Tjandra selaku teman satu bimbingan, yang telah senantiasa membantu dan menjawab pertanyaan penulis saat mengalami masalah.
5. Linda dan Michael Ezra selaku teman satu bimbingan, yang telah meluangkan waktu untuk bertukar pikiran mengenai topik masing – masing.
6. Jose Andreas Madolen, Styvean Haley, Jason Natanael, Yeremia Grant Setiawan, Alvin Tjahyadi, Efnus Sapryel Sinuhaji, Melvin Ferdinand selaku teman penulis yang sudah berjuang dari semester awal hingga semester akhir ini.

7. Jovansen Hiustar, Raymond Susanto, dan Vannes Pinnaldi selaku teman yang menghibur penulis saat mengalami kesulitan dalam proses penyusunan skripsi.
8. Seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun agar penulis dapat membuat karya ilmiah berikutnya menjadi lebih baik lagi.

Bandung, 19 Januari 2023



Calvin Hindarto

6101901024



DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-2
1.4 Batasan Masalah.....	1-2
1.5 Metode Penelitian.....	1-5
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-5
1.7 Diagram Alir.....	1-6
BAB 2 STUDI PUSTAKA.....	2-1
2.1 Gempa Bumi.....	2-1
2.2 Pembebanan Minimum untuk Gedung Berdasarkan SNI 1727:2020	2-1
2.2.1 Beban Mati	2-2
2.2.2 Beban Hidup	2-2
2.2.3 Beban Gempa	2-2
2.3 Perencanaan Ketahanan Gempa Gedung Berdasarkan SNI 1726:2019	2-2
2.3.1 Gempa Rencana.....	2-3

2.3.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Risiko Bangunan	2-3
2.3.3 Kombinasi Pembebanan Dasar	2-4
2.3.4 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik	2-4
2.3.5 Pengaruh Beban Seismik Horizontal	2-4
2.3.6 Pengaruh Beban Seismik Vertikal	2-5
2.3.7 Klasifikasi Situs	2-5
2.3.8 Parameter Percepatan Terpetakan	2-6
2.3.9 Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Percepatan Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-tertarget(MCE_R)	2-6
2.3.10 Parameter Percepatan Spektral Desain	2-9
2.3.11 Spektrum Respons Desain	2-9
2.3.12 Kategori Desain Seismik	2-10
2.3.13 Sistem Struktur	2-11
2.3.14 Persyaratan Sistem Ganda	2-12
2.3.15 Ketidakberaturan Horizontal	2-12
2.3.16 Ketidakberaturan Vertikal	2-15
2.3.17 Faktor Redundansi	2-18
2.3.18 Gaya Geser Dasar Seismik	2-19
2.3.19 Perhitungan koefisien respons seismik	2-19
2.3.20 Periode Fundamental Pendekatan	2-20
2.3.21 Penentuan Periode	2-20
2.3.22 Distribusi Vertikal Gaya Seismik	2-21
2.3.23 Distribusi Horizontal Gaya Seismik	2-22
2.3.24 Torsi Bawaan	2-22
2.3.25 Torsi Tak Terduga	2-22

2.3.26 Pembesaran Torsi Tak Terduga.....	2-22
2.3.27 Simpangan Antar Tingkat.....	2-23
2.3.28 Jumlah Ragam	2-25
2.3.29 Parameter Respons Ragam	2-25
2.3.30 Parameter Respons Terkombinasi	2-25
2.3.31 Penskalaan Gaya.....	2-26
2.4 Pengertian Dinding Geser dan Balok Kopel.....	2-26
2.4.1 Dinding Geser.....	2-26
2.4.2 Balok Kopel.....	2-27
2.5 Analisis Riwayat Waktu Nonlinier.....	2-30
2.5.1 Pemilihan Gerakan Tanah Dasar	2-30
2.5.2 Modifikasi Gerakan Tanah Dasar.....	2-30
2.5.3 Penskalaan Amplitudo.....	2-31
2.5.4 Pencocokan Spektral.....	2-31
2.5.5 Pemodelan dan Analisis	2-31
2.5.6 Kriteria Penerimaan Global	2-32
2.5.7 Kriteria Penerimaan pada Tingkat Elemen.....	2-32
2.5.8 Desain Struktur Berbasis Kinerja.....	2-32
2.5.9 Rekaman Percepatan Gempa.....	2-32
2.5.10 Penskalaan Percepatan Gempa	2-34
2.6 Sendi Plastis.....	2-34
2.6.2 Pemodelan Sendi Plastis Komponen Balok Kopel Beton	2-36
2.7 Tingkat Kinerja Struktur.....	2-38
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR.....	3-1
3.1 Data Pemodelan.....	3-1
3.2 Data Struktur Bangunan	3-1

3.3 Data Material.....	3-1
3.4 Pembebanan	3-2
3.4.1 Beban Sendiri Struktur (DL).....	3-2
3.4.2 Beban Mati Tambahan (SIDL).....	3-2
3.4.3 Beban Hidup (LL)	3-2
3.4.4 Beban Gempa	3-2
3.5 Kombinasi Pembebanan.....	3-3
3.6 Dimensi Elemen Struktur.....	3-4
3.7 Hasil Penulangan Pada Struktur.....	3-4
3.8 Analisis Riwayat Waktu Nonlinear.....	3-7
3.9 Pemodelan Sendi Plastis	3-9
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	4-1
4.1 Hasil Analisis	4-1
4.1.1 Gerak Dominan Gedung	4-1
4.1.2 Partisipasi Massa Ragam	4-1
4.1.3 Simpangan Antar Tingkat	4-3
4.2 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal	4-5
4.2.1 Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b	4-5
4.2.2 Ketidakberaturan Horizontal 2.....	4-9
4.2.3 Ketidakberaturan Horizontal 3.....	4-9
4.2.4 Ketidakberaturan Horizontal 4.....	4-9
4.2.5 Ketidakberaturan Horizontal 5.....	4-9
4.3 Ketidakberaturan Vertikal.....	4-10
4.3.1 Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b	4-10
4.3.2 Ketidakberaturan Vertikal 2.....	4-11
4.3.3 Ketidakberaturan Vertikal 3.....	4-12

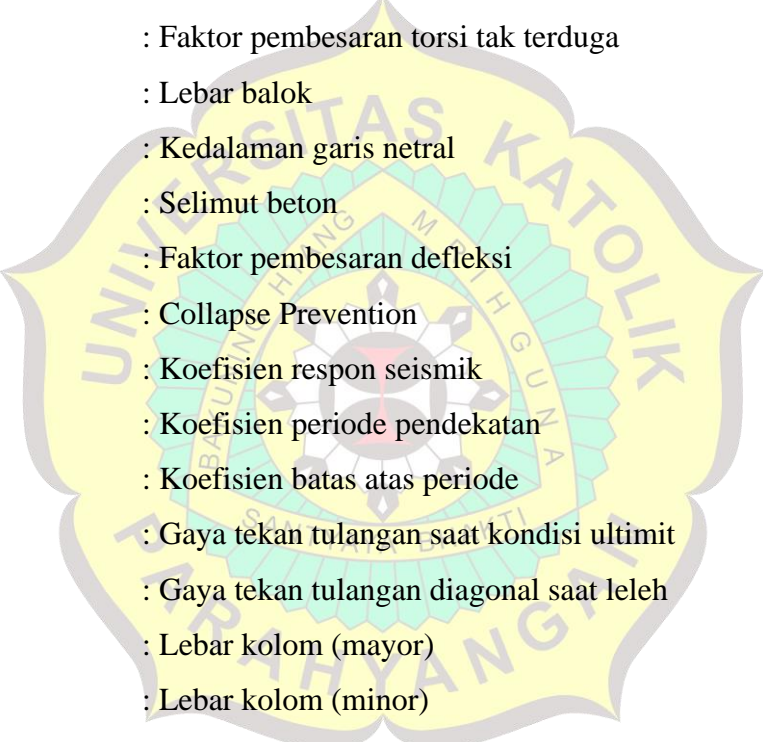
4.3.4 Ketidakberaturan Vertikal 4	4-13
4.3.5 Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b.....	4-13
4.4 Pengecekan Syarat Sistem Ganda.....	4-15
4.5 Perhitungan Faktor Skala	4-16
4.6 Analisis Riwayat Waktu Nonlinear	4-16
4.6.1 Gaya Geser Dasar	4-16
4.6.2 Peralihan Maksimum Tiap Tingkat	4-17
4.6.3 Rasio Simpangan Antar Tingkat	4-21
4.6.4 Sendi Plastis.....	4-23
4.7 Analisis Riwayat Waktu Nonlinear Terhadap Gempa Susulan Bucharest dan Flores	4-29
4.7.1 Penambahan Tulangan Pada Struktur Terhadap Gempa Susulan Bucharest	4-29
4.7.2 Penambahan Tulangan Pada Struktur Terhadap Gempa Susulan Flores	4-30
4.7.3 Peralihan Maksimum Tiap Tingkat	4-32
4.7.4 Rasio Simpangan Antar Tingkat	4-32
4.7.5 Sendi Plastis.....	4-33
4.8 Tingkat Kinerja Struktur.....	4-35
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	5-1
5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran	5-2
DAFTAR PUSTAKA.....	xxiii
LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN FAKTOR SKALA.....	1-1
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK.....	2-1
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK INDUK.....	3-1
LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN PENULANGAN KOLOM.....	4-1

LAMPIRAN 5 PERHITUNGAN PENULANGAN DINDING GESER 5-1

LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK KOPEL 6-1



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN



a	: Tinggi blok tegangan
$ASCE$: American Society Of Civil Engineers
A_{cv}	: Luas penampang dinding geser
A_{ch}	: Luas penampang inti beton
A_g	: Luas bruto penampang beton
A_s	: Luas tulangan longitudinal
A_{sh}	: Luas tulangan transversal
A_{vd}	: Luas tulangan diagonal
A_x	: Faktor pembesaran torsi tak terduga
b_w	: Lebar balok
c	: Kedalaman garis netral
cc	: Selimut beton
C_d	: Faktor pembesaran defleksi
CP	: Collapse Prevention
C_s	: Koefisien respon seismik
C_t	: Koefisien periode pendekatan
C_u	: Koefisien batas atas periode
C_U	: Gaya tekan tulangan saat kondisi ultimit
C_y	: Gaya tekan tulangan diagonal saat leleh
$C1$: Lebar kolom (mayor)
$C2$: Lebar kolom (minor)
DL	: Beban Mati
d	: Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal
d_b	: Diameter tulangan longitudinal
d_{bs}	: Diameter tulangan sengkang
E_c	: Modulus elastisitas beton
E_s	: Modulus elastisitas baja
E_x	: Beban gempa arah X
E_y	: Beban gempa arah Y

F_a	: Koefisien situs untuk periode pendek 0,2 detik
f_c'	: Kuat tekan beton
f_{cc}'	: Kuat tekan beton saat kondisi terkekang
fd	: faktor skala
<i>FEMA</i>	: <i>Federal Emergency Management Agency</i>
F_v	: Koefisien situs untuk periode pendek 1 detik
f_y	: Tegangan leleh baja
g	: Percepatan gravitasi
h	: Tinggi balok
h_b	: Tinggi balok kopel
h_n	: Tinggi kolom
h_{sx}	: Tinggi tingkat di bawah tingkat - x
h_w	: Tinggi dinding geser
I_e	: Faktor keutamaan gempa
<i>IO</i>	: <i>Immediate Occupancy</i>
k_f	: faktor kekuatan beton
K_i	: Kekakuan tingkat
kn	: faktor efektifitas pengekangan
l_b	: Panjang balok kopel
L_{bz}	: Panjang elemen batas dinding geser
L_n	: Bentang bersih balok
LL	: Beban hidup
<i>LS</i>	: <i>Life Safety</i>
l_w	: Panjang dinding geser
<i>MCER</i>	: <i>Maximum Considered Eartquake Risk</i>
M_u	: Momen Ultimit
m	: Massa
n_1, n_2	: jumlah tulangan sengkang
n_{tul}	: jumlah tulangan longitudinal
P_u	: Gaya aksial ultimit
R	: Koefisien modifikasi respons
s	: spasi tulangan

$SCWB$: <i>Strong Column Weak Beam</i>
$SIDL$: Beban mati tambahn
S_{DS}	: Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek
S_{D1}	: Parameter percepatan respon spektrla pada periode 1 detik
S_{MS}	: Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	: Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
SNI	: Standar Nasional Indonesia
S_a	: Respons spektra percepatan
S_I	: Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
S_s	: Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
T	: Periode fundamental struktur
T_a	: Periode fundamental pendekatan
T_L	: Peta transisi perioda panjang
T_s, T_0	: Parameter periode untuk respons desain
t_w	: Tebal dinding geser
V	: Gaya geser dasar
V_U	: Gaya geser ultimit
V_n	: Kekuatan geser nominal
W	: Berat seismik struktur
α	: Sudut kemiringan tulangan diagonal
β_1	: Faktor yang menghubungkan tinggi blok tekan dengan tinggi sumbu netral
Δ_{izin}	: Simpangan antar tingkat izin
Δ_{cc}	: Deformasi saat kondisi ultimit
Δ_f	: Deformasi saat kondisi gagal
Δ_y	: Deformasi saat kondisi leleh
δ	: Perpindahan antar tingkat

δ_{avg}	: Perpindahan rata – rata di tingkat x
δ_{max}	: Perpindahan maksimum di tingkat x
ε_{cc}	: Regangan tulangan diagonal saat kondisi terkekang
ε_f	: Regangan tulangan diagonal saat kondisi gagal
ε_y	: Regangan tulangan diagonal saat leleh
ρ	: Faktor redundansi
Φ	: Faktor reduksi kekuatan geser
Φ_b	: Faktor reduksi kekuatan lentur



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Denah Model.....	1-3
Gambar 1.2 Pemodelan 3D Struktur Bangunan.....	1-3
Gambar 1.3 Tampak Elevasi <i>Shear Wall</i>	1-4
Gambar 1.4 Diagram Alir	1-7
Gambar 2.1 Parameter gerak tanah S_s . gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) wilayah indonesia untuk spektrum respons 0,2 detik (redaman kritis 5%)	2-8
Gambar 2.2 Parameter Gerak Tanah, S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko- Tertarget (MCE_R) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 detik (Redaman Kritis 5%)	2-9
Gambar 2.3 Spektrum Respons Desain	2-10
Gambar 2.4 Ketidakberaturan Horizontal.....	2-15
Gambar 2.5 Ketidakberaturan Vertikal.....	2-18
Gambar 2.6 Faktor Pembesaran Torsi, A_x	2-23
Gambar 2.7 Penentuan Simpangan Antar Tingkat	2-24
Gambar 2.8 Dinding geser berdasarkan geometrinya.....	2-27
Gambar 2.9 Geometri dan Target Mekanisme Leleh pada Dinding Berangkai.....	2-27
Gambar 2.10 Perbandingan Tulangan pada Uji Dinding Geser	2-29
Gambar 2.11 Kekangan Tulangan Diagonal Individu	2-29
Gambar 2.12 Kekangan Penuh Pada Penampang Balok Beton Dengan Tulangan Diagonal	2-30
Gambar 2.13 Rekaman Gempa El-Centro N-S tahun 1940.....	2-33
Gambar 2.14 Rekaman Gempa Bucharest N-S tahun 1977.....	2-33
Gambar 2.15 Rekaman Gempa Parkfield N65E tahun 1966	2-33
Gambar 2.16 Rekaman Gempa Flores tahun 1992	2-33
Gambar 2.17 Rekaman Gempa Denpasar B-T tahun 1979.....	2-34

Gambar 2.18 Mekanisme Keruntuhan Ideal Struktur.....	2-35
Gambar 2.19 Kinerja Struktur Terhadap Gaya Geser dan Perpindahan.....	2-35
Gambar 2.20 Model Rangka Batang oleh Hindi dan Hassan (2007)	2-36
Gambar 2.21 Kurva Gaya dan Deformasi oleh Hindi dan Hassan (2007)	2-36
Gambar 3.1 Grafik Respon Spektra Kota Bandung	3-3
Gambar 3.2 Percepatan Gempa Utama dan Gempa Susulan El-Centro N-S	3-8
Gambar 3.3 Percepatan Gempa Utama dan Gempa Susulan Bucharest N-S	3-8
Gambar 3.4 Percepatan Gempa Utama dan Gempa Susulan Parkfield N65E....	3-8
Gambar 3.5 Percepatan Gempa Utama dan Gempa Susulan Denpasar B-T	3-8
Gambar 3.6 Percepatan Gempa Utama dan Gempa Susulan Flores.....	3-9
Gambar 3.7 Pemodelan Sendi Platstis Kolom dan Balok	3-10
Gambar 3.8 Pemodelan Sendi Plastis Dinding Geser dan Balok Kopel	3-11
Gambar 4.1 Simpangan Antar Tingkat Struktur.....	4-5
Gambar 4.2 Grafik Peralihan Maksimum Bangunan Tanpa Gempa Susulan ..	4-18
Gambar 4.3 Rasio Simpangan Antar Tingkat Tanpa Gempa Susulan	4-22
Gambar 4.4 Sendi Plastis Akibat Gempa El-Centro Tanpa Gempa Susulan ...	4-23
Gambar 4.5 Sendi Platis Akibat Gempa Bucharest Tanpa Gempa Susulan.....	4-24
Gambar 4.6 Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar Tanpa Gempa Susulan	4-24
Gambar 4.7 Sendi Plastis Akibat Gempa Parkfield Tanpa Gempa Susulan	4-25
Gambar 4.8 Sendi Plastis Akibat Gempa Flores Tanpa Gempa Susulan	4-25
Gambar 4.9 Sendi Platstis Akibat Gempa El-Centro Dengan Gempa Susulan	4-26
Gambar 4.10 Sendi Plastis Akibat Gempa Denpasar Dengan Gempa Susulan	4-26
Gambar 4.11 Sendi Plastis Akibat Gempa Parkfield Dengan Gempa Susulan	4-27
Gambar 4.12 Sendi Plastis Akibat Gempa Bucharest Dengan Gempa Susulan... 4-	27
Gambar 4.13 Sendi Plastis Akibat Gempa Flores Dengan Gempa Susulan.....	4-28

Gambar 4.14 Area Penambahan Tulangan Pada Struktur Akibat Gempa Susulan Bucharest4-30

Gambar 4.15 Area Penambahan Tulangan Pada Struktur Akibat Gempa Susulan Flores4-31

Gambar 4.16 Sendi Plastis Akibat Gempa Bucharest Dengan Gempa Susulan Setelah Penambahan Tulangan.....4-34

Gambar 4.17 Sendi Plastis Akibat Gempa Flores Dengan Gempa Susulan Setelah Penambahan Tulangan.....4-34



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa	2-3
Tabel 2.2 Faktor Keutamaan Gempa.....	2-3
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs.....	2-5
Tabel 2.4 Koefisien Situs, F_a	2-7
Tabel 2.5 Koefisien situs, F_v	2-7
Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek	2-11
Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	2-11
Tabel 2.8 Faktor R , C_d , dan \mathcal{Q}_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	2-12
Tabel 2.9 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	2-13
Tabel 2.10 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	2-16
Tabel 2.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_T dan x	2-20
Tabel 2.12 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	2-21
Tabel 2.13 Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$	2-25
Tabel 2.14 Performa Objektif Struktur.....	2-39
Tabel 3.1 Dimensi Kolom dan Balok.....	3-4
Tabel 3.2 Dimensi Dinding Geser	3-4
Tabel 3.3 Dimensi Balok Kopel	3-4
Tabel 3.4 Penulangan Balok T Pada Struktur	3-5
Tabel 3.5 Penulangan Balok L Pada Struktur	3-6
Tabel 3.6 Penulangan Kolom	3-7
Tabel 3.7 Penulangan Dinding Geser.....	3-7
Tabel 3.8 Penulangan Balok Kopel.....	3-7

Tabel 4.1 Gerak Dominan Gedung	4-1
Tabel 4.2 Rasio Partisipasi Massa Ragam	4-2
Tabel 4.3 Simpangan Antar Tingkat Arah X	4-4
Tabel 4.4 Simpangan Antar Tingkat Arah Y	4-4
Tabel 4.5 Pemeriksaan Ketidakberatura Horizontal 1a dan 1b Arah X.....	4-6
Tabel 4.6 Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Arah Y.....	4-7
Tabel 4.7 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal arah X 1a dan 1b.....	4-10
Tabel 4.8 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b arah Y.....	4-11
Tabel 4.9 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal 2	4-12
Tabel 4.10 Pemeriksaan Ketidakberaturan Geometri Vertikal	4-13
Tabel 4.11 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b Arah X.....	4-14
Tabel 4.12 Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal 5a dan 5b Arah Y.....	4-14
Tabel 4.13 Pemeriksaan Syarat Sistem Ganda Akibat Gempa Arah X.....	4-15
Tabel 4.14 Pemeriksaan Syarat Sistem Ganda Akibat Gempa Arah Y	4-16
Tabel 4.15 Perbandingan Gaya Geser Dasar Tanpa Gempa Susulan	4-17
Tabel 4.16 Peralihan Maksimum Gedung Tanpa Gempa Susulan	4-18
Tabel 4.17 Peralihan Maksimum Gedung Dengan Gempa Susulan.....	4-19
Tabel 4.18 Perbedaan Peralihan Maksimum Gedung Tanpa Gempa Susulan dan Dengan Gempa Susulan	4-20
Tabel 4.19 Rasio Simpangan Antar Tingkat Tanpa Gempa Susulan	4-21
Tabel 4.20 Rasio Simpangan Antar Tingkat Dengan Gempa Susulan	4-22
Tabel 4.21 Penambahan Tulangan Pada Balok.....	4-30
Tabel 4.22 Penambahan Tulangan Pada Dinding Geser.....	4-30
Tabel 4.23 Penambahan Tulangan Pada Balok.....	4-31
Tabel 4.24 Penambahan Tulangan Pada Dinding Geser.....	4-31

Tabel 4.25 Peralihan Maksimum Tiap Tingkat Dengan Gempa Susulan Bucharest dan Flores	4-32
Tabel 4.26 Rasio Simpangan Antar Tingkat Dengan Gempa Susulan Bucharest dan Flores	4-33
Tabel 4.27 Tingkat Kinerja Struktur Tanpa Gempa Susulan	4-35
Tabel 4.28 Tingkat Kinerja Struktur Dengan Gempa Susulan.....	4-35
Tabel 4.29 Tingkat Kinerja Struktur Dengan Gempa Susulan dan Penambahan Tulangan.....	4-35



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN FAKTOR SKALA.....	L1-1
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK.....	L2-1
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK INDUK.....	L3-1
LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN PENULANGAN KOLOM.....	L4-1
LAMPIRAN 5 PERHITUNGAN PENULANGAN DINDING GESER.....	L5-1
LAMPIRAN 6 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK KOPEL.....	L6-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang rawan gempa bumi karena Indonesia terletak pada 3 lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Aktifitas ketiga lempeng tersebut menyebabkan Indonesia menjadi rawan terjadinya gempa bumi. Jika kedua lempeng saling bertabrakan maka akan terjadinya gempa bumi dalam skala kecil hingga besar.

Sampai saat ini, tidak dapat diprediksi terjadinya gempa bumi dan belum ada alat yang dapat memprediksi dengan tepat kapan datangnya gempa bumi. Meskipun gempa bumi hanya terasa sangat singkat, namun gempa bumi dapat terjadi berulang kali dalam kurun waktu yang berdekatan. Gempa tersebut dinamakan gempa susulan yang berarti gempa yang terjadi setelah gempa utama terjadi, meskipun gempa susulan memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan gempa utama, tetapi dapat menimbulkan dampak yang sangat merugikan bagi kehidupan manusia baik itu keselamatan manusia itu sendiri maupun gedung - gedung yang mengalami keruntuhan.

Seiring dengan perkembangan zaman, gedung - gedung yang ada di Indonesia sudah dibangun dengan memiliki tingkat lantai yang cukup tinggi. Gedung bertingkat tinggi dibangun untuk digunakan sebagai kepentingan bisnis seperti kantor kerja atau dapat digunakan sebagai tempat tinggal seperti apartemen, selain itu juga gedung bertingkat tinggi dibangun dengan alasan untuk menghemat lahan yang tersedia, karena lahan di Indonesia semakin terbatas untuk kepentingan lainnya. Untuk mencegah keruntuhan gedung diperlukan perencanaan struktur gedung yang tidak hanya memperhatikan dari segi biaya dan estetika, melainkan kemampuan untuk menahan dari beban gedung itu sendiri atau beban hidup dan dapat menahan beban dari arah lateral yang biasanya berasal dari beban angin atau gempa bumi.

Beberapa sistem struktur yang dapat digunakan untuk memikul gaya gempa bumi contohnya adalah sistem rangka pemikul momen, bresing dan dinding geser.

Sistem struktur tersebut dapat dijadikan sistem struktur ganda salah satunya sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser. Dinding geser merupakan dinding besar yang menjulang ke atas dengan bertujuan menahan gaya arah lateral yang umumnya diakibatkan oleh angin dan gempa. Dinding geser sendiri memiliki beberapa jenis, salah satunya adalah *coupled shear wall*. Desain dinding geser ini merupakan dinding geser yang dihubungkan oleh balok pada tiap ketinggian. Balok tersebut merupakan balok kopel, dimana balok diharapkan leleh terlebih dahulu sebelum dinding geser.

1.2 Inti Permasalahan

Gempa utama ini mengakibatkan penurunan kekakuan pada gedung. Apabila disertai dengan gempa susulan, gedung dapat menjadi semakin rusak dan mengakibatkan penurunan kekakuan. Oleh karena itu gedung perlu di desain dengan menggunakan sistem penahan gaya lateral, salah satunya adalah *coupled shear wall*. Pada studi ini, penggunaan *coupled shear wall* pada struktur gedung beton bertulang terhadap gempa susulan akan dianalisis.

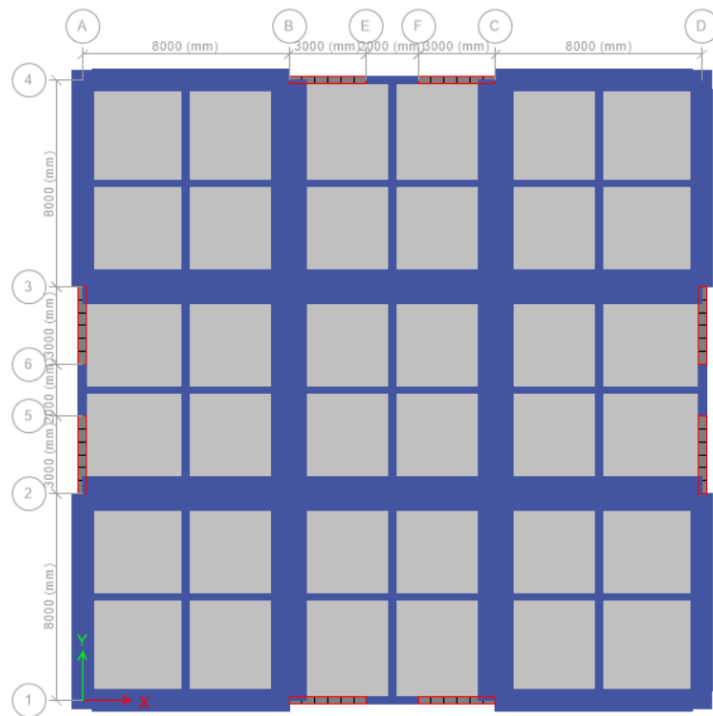
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui perilaku dan kinerja gedung beton bertulang setelah mengalami penurunan kekakuan akibat gempa utama ditambah dengan adanya gempa susulan dengan sistem ganda dengan *coupled shear wall*.

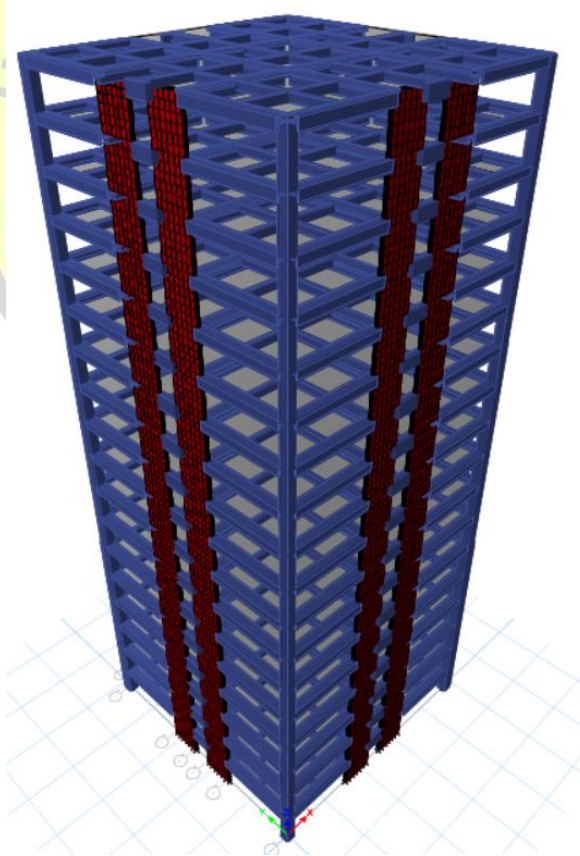
1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

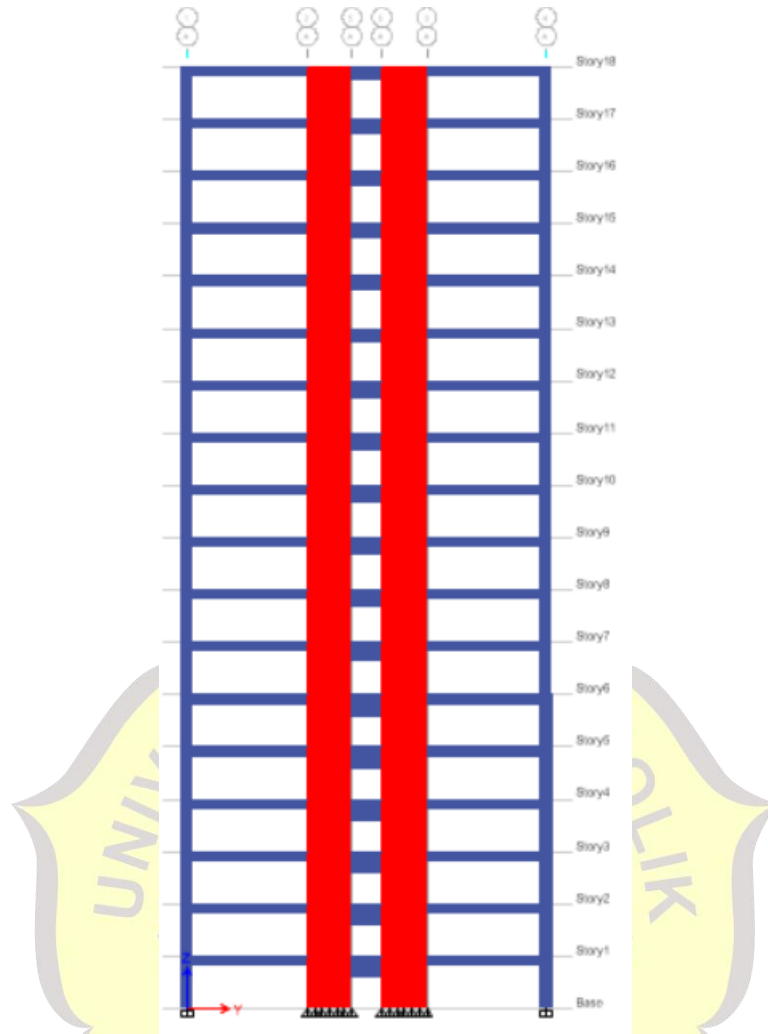
- Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan *software* ETABS 2016
- Sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda yaitu sistem rangka beton pemikul momen khusus dengan dinding geser bertulang khusus (*coupled shear wall*)
- Gedung memiliki tingkatan 18 lantai
- Geometri gedung simetris dengan ketinggian antar lantai tipikal sebesar 3,5 m dan memiliki 3 bentang sepanjang 8 m



Gambar 1.1 Denah Model



Gambar 1.2 Pemodelan 3D Struktur Bangunan



Gambar 1.3 Tampak Elevasi *Shear Wall*

- Fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran dengan klasifikasi situs D (tanah sedang)
- Mutu beton yang digunakan , $f_c' = 42$ MPa dan 25 MPa, untuk mutu baja tulangan yang digunakan $f_y = 420$ MPa
- Rekaman gempa yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut :
 - Gempa El Centro N-S tahun 1940
 - Gempa Parkfield N65E tahun 1966
 - Gempa Denpasar B-T tahun 1979
 - Gempa Flores tahun 1992
 - Gempa Bucharest N-S tahun 1977

- Kekuatan gempa susulan diambil sebesar 90% dari percepatan gempa utama
- Peraturan – peraturan yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:
- SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan
 - SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan NonGedung
 - SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain

1.5 Metode Penelitian

Penulisan ini dilakukan dengan dua metode, yaitu :

1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan bahan – bahan yang digunakan sebagai acuan yang berasal dari buku teks , jurnal, skripsi pembeding dan materi bahan perkuliahan.

2. Studi Analisis

Studi Analisis dilakukan dengan melakukan Analisa terhadap model yang sudah buat dengan bantuan software ETABS 2016 dan perhitungan untuk desain menggunakan software Mathcad.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir.

BAB 2 STUDI PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori dan peraturan yang digunakan sebagai acuan untuk pembahasan masalah dalam penulisan skripsi ini.

BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN STRUKTUR

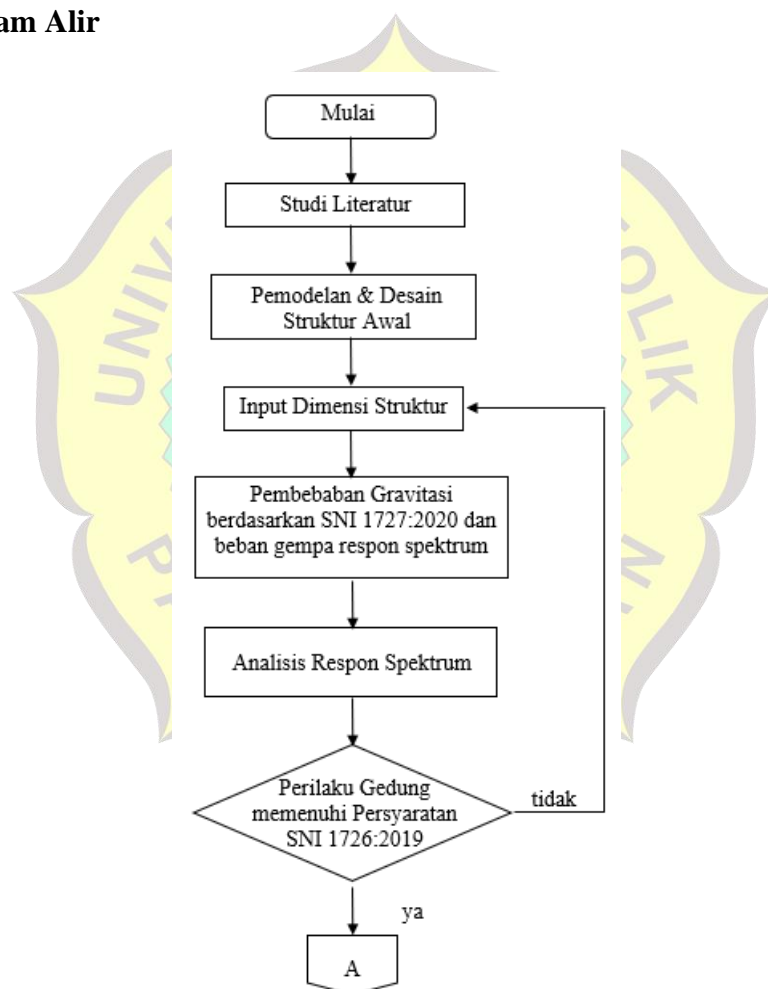
Bab ini menjelaskan tentang perencanaan dan pemodelan struktur rangka beton bertulang menggunakan *software* ETABS 2016.

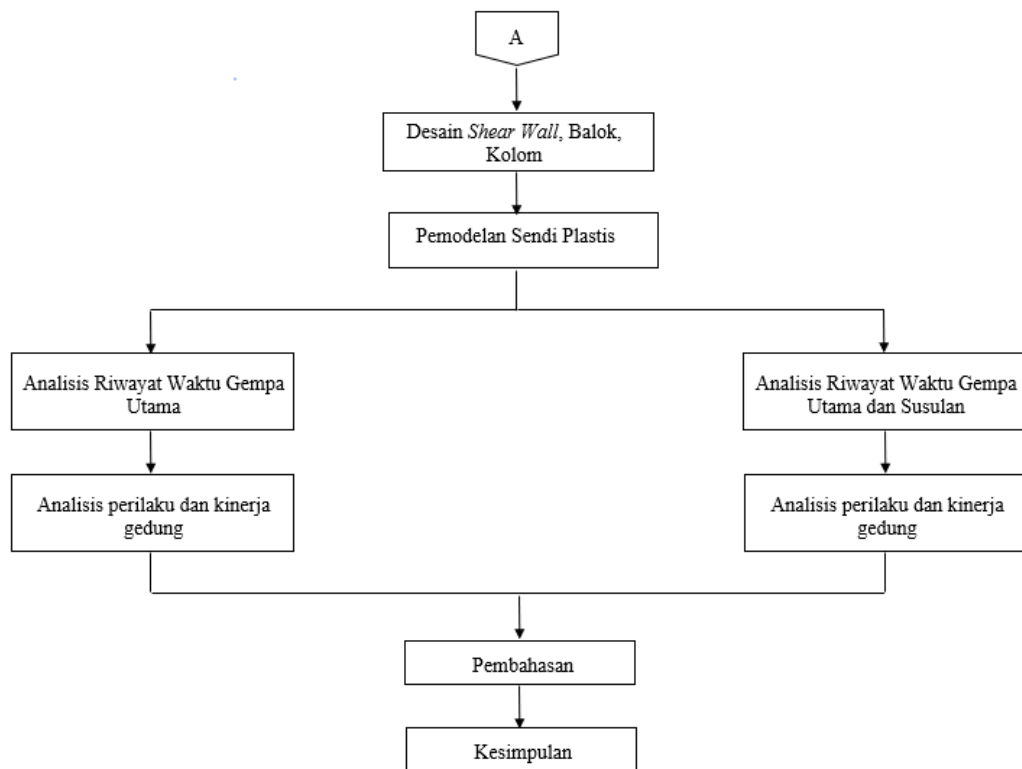
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang analisis dan pembahasan suatu respon struktur yang dihasilkan seperti peralihan antar lantai, penyebaran sendi plastis dan kinerja struktur gedung dengan sistem *shear wall* terhadap gempa susulan.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran – saran yang didapat dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

1.7 Diagram Alir



Gambar 1.4 Diagram Alir

