

SKRIPSI

**ANALISIS PERKUATAN GEDUNG BETON 4 LANTAI
DENGAN *FIBER-REINFORCED POLYMER (FRP)* DAN
*CONCRETE JACKETING***



NAMA : CONVIERO

NPM : 2017410040

PEMBIMBING: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT No.1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AGUSTUS
2021**

SKRIPSI

**ANALISIS PERKUATAN GEDUNG BETON 4 LANTAI
DENGAN *FIBER-REINFORCED POLYMER (FRP)* DAN
*CONCRETE JACKETING***



**NAMA : CONVIERO
NPM : 2017410040**

PEMBIMBING: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

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

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT No.1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AGUSTUS
2021**

PERNYATAAN

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

Nama : Conviero

NPM : 2017410040

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis / disertasi~~ dengan judul:

Analisis Perkuatan Gedung Beton 4 Lantai dengan Fiber-Reinforced Polymer (FRP) dan Concrete Jacketing

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: 28 Juli 2021



^{*)} coret yang tidak perlu

Conviero

2017410040

ANALISIS PERKUATAN GEDUNG BETON 4 LANTAI DENGAN *FIBER-REINFORCED POLYMER (FRP) DAN CONCRETE JACKETING*

**Conviero
NPM: 2017410040**

**Pembimbing: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.
Ko-Pembimbing: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan Keputusan BAN-PT
No.1788/SK/BANPT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AGUSTUS
2021**

ABSTRAK

Peraturan mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa, pembebanan dan keketatan detailing untuk bangunan gedung berubah seiring berjalannya waktu. Peraturan-peraturan tersebut adalah SNI-1726, SNI-1727 dan SNI-2847. Hal yang melatarbelakangi penelitian ini adalah semakin ketatnya peraturan-peraturan tersebut setiap kali terjadi perbaharuan peraturan. Hal tersebut memunculkan permasalahan yaitu gedung yang didesain berdasarkan peraturan lama berisiko gagal dalam menahan gaya gempa yang di masa mendatang. Dalam penelitian ini, sebuah gedung beton 4 lantai yang dibangun pada tahun 2009 dievaluasi terhadap persyaratan-persyaratan SNI-1726-2019 dan SNI-2847-2019 dan *ASCE/SEI 41/17*. Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah rehabilitasi struktur eksisting berdasarkan persyaratan pada SNI dengan menggunakan metode Analisis Linear Dinamik menggunakan Etabs dan mengevaluasi hasil rehabilitasi gedung tersebut berdasarkan persyaratan *ASCE/SEI 41/17* menggunakan metode Analisis Beban Dorong menggunakan SeismoBuild. Rehabilitasi struktur dilakukan dengan penggunaan *Concrete Jacketing* pada elemen balok dan *Fiber-Reinforced Polymer* pada elemen kolom. Setelah dilakukan rehabilitasi, dilakukan pengecekan ulang pada struktur gedung tersebut dengan Etabs untuk memastikan bahwa semua komponen balok dan kolom telah kuat dalam menahan gaya dalam akibat Analisis Linear Dinamik. Setelah itu, struktur gedung tersebut dievaluasi dengan metode Analisis Beban Dorong menggunakan SeismoBuild. Setelah dilakukan evaluasi, didapat data hasil Analisis Beban Dorong berupa *Performance Point* atau level kinerja *Immediate Occupancy*. Ternyata, gedung yang aman terhadap gaya dalam dari Analisis Linear Statik masih mengalami kegagalan lokal berupa aksi yang terkontrol gaya.

Kata Kunci: *Concrete Jacketing, Fiber-Reinforced Polymer, Analisis Beban Dorong, Retrofit, SeismoBuild*

STUDY ON STRENGTHENING OF A 4 STOREY EXISTING BUILDING USING FIBER-REINFORCED POLYMER AND CONCRETE JACKETING

Conviero
NPM: 2017410040

Advisor: Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.
Co-Advisor: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Number: 1788/SK/BANPT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
AUGUST
2021

ABSTRACT

Codes regarding the design of an earthquake-resistant building, design load and detailing of a concrete building change as the time goes by. The codes are SNI-1726, SNI-1727 and SNI-2847. This study is initiated by the fact that those codes get stricter everytime they are updated. Problem that arises from this fact is that a building which was built using old codes may not be able to withstand earthquakes that are possible to happen in the future. In this study, a 4 storey existing building will be evaluated using SNI-1726-2019, SNI-2847-2019 and ASCE/SEI 41/17. The goals of this study are to implement rehabilitation to the existing building with SNI codes using the Linear Dinamic Analysis in Etabs and to evaluate the rehabilitated building with ASCE/SEI 41/17 using the Pushover Analysis method in SeismoBuild. The structure is rehabilitated by using concrete jacketing on the beam elements and Fiber-Reinforced Polymer on the column elements. After the process of rehabilitation, the structure is rechecked to ensure that all elements are able to withstand the forces that occur from Linear Dinamic Analysis. After that, the new rehabilitated building is evaluated using Pushover Analysis in SeismoBuild. The evaluation results show that the new rehabilitated building has a performance level of Immediate Occupancy. However, the building whose components are able to withstand the forces that occur from Linear Dinamic Analysis has local failure which is force-controlled action.

Keywords: Concrete Jacketing, Fiber-Reinforced Polymer, Pushover Analysis, Retrofitting, SeismoBuild

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Perkuatan Gedung Beton 4 Lantai dengan Fiber-Reinforced Polymer (FRP) dan Concrete Jacketing”. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan.

Selama perjalanan membuat skripsi ini, penulis mengalami banyak hambatan dan permasalahan. Penulis menyadari dan bersyukur atas hadirnya berbagai pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Agus Kurnia dan Jullya Sopandi selaku ayah dan ibu dari penulis serta segenap keluarga besar dari penulis yang telah memberikan dukungan dan doa kepada penulis sehingga proses penyelesaian skripsi ini berjalan dengan baik.
2. Bapak Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T. selaku pembimbing utama yang telah membimbing dan meluangkan waktu untuk memberikan ilmu dan arahan kepada penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku ko-pembimbing yang telah membimbing dan meluangkan waktu untuk memberikan ilmu dan arahan kepada penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.
4. Seluruh dosen dan staff pengajar KBI Teknik Struktur Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan segala kritik, masukan dan saran kepada penulis.
5. Muhamad Danindra Riansa selaku teman seperjuangan penulis yang telah berbagi banyak informasi kepada penulis selama proses skripsi ini.
6. Seluruh civitas akademika Universitas Katolik Parahyangan, khususnya Program Studi Teknik Sipil.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini mengandung banyak ketidaksempurnaan dan kekurangan mengingat keterbatasan waktu dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis terbuka untuk menerima saran dan kritik yang membangun agar kedepannya

menjadi lebih baik. Penulis berharap skripsi ini dapat menjadi manfaat bagi orang lain di masa mendatang.

Terima kasih.

Bandung, 30 Juli 2021



Conviero
2017410040



DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang Permasalahan.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-2
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-2
1.4 Pembatasan Masalah.....	1-2
1.5 Metode Penelitian.....	1-3
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-3
1.7 Diagram Alir Penelitian.....	1-5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	2-1
2.1 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.....	2-1
2.2 Persyaratan ketahanan gempa untuk struktur gedung.....	2-2
2.2.1 Penentuan Kategori Risiko Bangunan.....	2-2
2.2.2 Penentuan Faktor Keutamaan Gempa.....	2-4
2.2.3 Penentuan Kelas Situs.....	2-5
2.2.4 Penentuan parameter gerak tanah.....	2-5

2.2.5	Penentuan Koefisien Situs dan Parameter Percepatan Spektral Desain.....	2-6
2.2.6	Penentuan Batas Simpangan Antar Tingkat.....	2-7
2.2.7	Penentuan Ketidakberaturan Struktur	2-8
2.3	Perkuatan Gedung	2-13
2.3.1	Fiber-Reinforced Polymer	2-13
2.3.1.1	Perkuatan Aksial dan Lentur pada Kolom	2-15
2.3.1.2	Perkuatan Geser pada Kolom.....	2-25
2.3.2	Concrete Jacketing.....	2-26
2.4	Performance Based Seismic Design.....	2-27
2.5	Basic Performance Objective for Existing Buildings (BPOE).....	2-32
2.6	Analisis Nonlinear Statik	2-33
2.6.1	Pembebanan	2-34
2.6.2	Target Perpindahan	2-35
2.6.3	Kurva ADRS.....	2-36
2.6.3.1	Konversi Kurva Kapasitas Struktur	2-37
2.6.3.2	Konversi Respons Spektra	2-38
BAB 3 REHABILITASI STRUKTUR EKSISTING		3-1
3.1	Data Gedung Eksisting.....	3-1
3.2	Beban Hidup dan Beban Mati	3-6
3.2.1	Beban mati	3-7
3.2.2	Beban Hidup	3-7
3.3	Pengecekan Terhadap Peraturan	3-9
3.3.1	Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal dan Ketidakberaturan Vertikal	3-9
3.3.2	Pengecekan Simpangan Antar Tingkat.....	3-12
3.3.3	Beban Gempa.....	3-13

3.3.4	Pengecekan Terhadap SNI-2847-2019	3-17
3.4	Rehabilitasi Struktur.....	3-18
3.4.1	Pengecekan Joint.....	3-19
3.4.2	Gaya Dalam Terfaktor dan Penentuan Elemen yang Diperkuat	3-22
3.4.3	<i>Reinforced Concrete Jacketing</i>	3-24
3.4.4	<i>Fiber-Reinforced Polymer</i>	3-28
3.4.5	Pengecekan Ulang Elemen yang Diperkuat.....	3-30
3.4.6	Pengecekan <i>Joint</i> Setelah Perkuatan.....	3-38
3.4.7	Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Setelah Perkuatan	3-39
3.5	Kesimpulan Rehabilitasi Struktur	3-40
BAB 4 EVALUASI KINERJA DENGAN ANALISIS BEBAN DORONG		4-1
4.1	Pemodelan Gedung dengan <i>SeismoBuild</i>	4-1
4.2	Beban Dorong dan Kombinasi Pembebanan.....	4-4
4.3	Pemodelan Kekakuan Non-Linear pada Elemen Balok dan Kolom	4-6
4.4	Analisis Beban Dorong	4-13
4.4.1	Kurva Kapasitas ADRS	4-15
4.4.2	Respons Spektra ADRS	4-16
4.5	Pengecekan Elemen dengan Analisis Beban Dorong.....	4-22
4.6	Evaluasi dan Hasil Pembahasan.....	4-32
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran.....	5-2
DAFTAR PUSTAKA		xxiii

DAFTAR NOTASI

A	= Koefisien untuk menghitung $\phi P_{n(b,c)}$
A_c	= Luas penampang beton pada area tekan (mm^2)
A_e	= Luas efektif beton terkekang (mm^2)
A_{fv}	= Luas area FRP dengan jarak, (mm^2)
A_g	= Luas bruto penampang beton (mm^2)
A_{si}	= Luas tulangan lentur pada baris ke-i (mm^2)
A_{st}	= Luas total tulangan lentur (mm^2)
a	= Faktor kelas situs (130 untuk kelas situs A dan B, 90 untuk kelas situs C)
α_1	= <i>Modal mass coefficient</i> untuk mode 1
a_{pi}	= <i>Spectral Acceleration</i> maksimum
a_y	= Nilai <i>Spectral Acceleration</i> di mana Representasi Bilinear berbelok
B	= Koefisien untuk menghitung $\phi P_{n(b,c)}$
b	= Lebar penampang beton (mm)
C	= Koefisien untuk menghitung $\phi P_{n(b,c)}$
C_0	= Faktor modifikasi perubahan perpindahan spektral ke perpindahan atap
C_1	= Faktor modifikasi perubahan inelastik maksimum terhadap perpindahan
C_2	= Faktor modifikasi efek <i>pinching</i> , degradasi dan pengurangan kekuatan
C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
C_E	= Faktor reduksi lingkungan
c	= Tinggi garis netral (mm)
D	= $\sqrt{b^2 + h^2}$, dengan b adalah lebar dan h adalah tinggi penampang
D	= Koefisien untuk menghitung $\phi P_{n(b,c)}$
d	= Tinggi efektif (mm)
d_{fv}	= Tinggi efektif perkuatan geser FRP (mm)
d_i	= Tinggi efektif tulangan lentur pada baris ke-i (mm)
d_{pi}	= <i>Spectral Displacement</i> maksimum
d_y	= Nilai <i>Spectral Displacement</i> di mana Representasi Bilinear berbelok

E	= Koefisien untuk menghitung $\phi M_{n(b,c)}$
E_2	= Kemiringan model tegangan regangan untuk beton terkekang FRP
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_D	= Energi yang teredam
E_f	= Modulus elastisitas FRP (MPa)
E_{SO}	= Energi regangan maksimum
F	= Koefisien untuk menghitung $\phi M_{n(b,c)}$
f'_c	= Kekuatan tekan beton sebelum terkekang (MPa)
f'_{cc}	= Kekuatan tekan beton setelah terkekang (MPa)
f_{fu}	= Kekuatan ultimate desain FRP (MPa)
f^*_{fu}	= Kekuatan ultimate FRP, data dari pabrik (MPa)
f_l	= Tegangan kekangan maksimum akibat FRP (MPa)
f_{si}	= Tegangan tulangan lentur pada baris ke-i (MPa)
f_y	= Tegangan leleh tulangan lentur (MPa)
G	= Koefisien untuk menghitung $\phi M_{n(b,c)}$
g	= Percepatan gravitasi
H	= Koefisien untuk menghitung $\phi M_{n(b,c)}$
h	= Tinggi penampang beton (mm)
I	= Koefisien untuk menghitung $\phi M_{n(b,c)}$
I_e	= Faktor keutamaan gempa
n	= Jumlah lapis FRP
PF_1	= <i>Participation Factor</i> untuk mode 1 (kNm)
r_c	= Jari-jari tepi penampang beton (mm)
S_a	= Akselerasi respons spektra pada periode efektif
S_{ai}	= <i>Spectral Acceleration</i>
S_{di}	= <i>Spectral displacement</i>
SR_A	= Faktor modifikasi untuk SDS
SR_V	= Faktor modifikasi untuk SD1
s_f	= Jarak pusat ke pusat FRP (mm)

T_e	= Periode efektif bangunan
t_f	= Tebal 1 lapis FRP (mm)
V_1	= Gaya geser dasar (kN)
V_c	= Gaya geser nominal dari penampang beton eksisting (kN)
V_f	= Gaya geser nominal dari FRP (kN)
V_n	= Total gaya geser nominal dari beton yang telah diperkuat (kN)
V_s	= Gaya geser nominal dari tulangan baja eksisting (kN)
V_u	= Gaya geser ultimate (kN)
W	= Berat total struktur (kN)
w_f	= Lebar 1 lapis FRP (mm)
y_t	= Koordinat vertikal pada area tekan dari garis netral pada ϵ'_t (mm)
α	= Sudut kemiringan pemasangan FRP
β_0	= Redaman <i>hysteretic</i>
Δ_{roof}	= <i>Displacement</i> pada lantai atap (mm)
δ_M	= Perpindahan respons inelastik maksimum (mm)
δ_{Max}	= Perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis (mm)
δ_t	= <i>Target Displacement</i>
ϵ'_c	= Regangan tekan beton sebelum terkekang (0.002 mm/mm)
ϵ_{ccu}	= Regangan axial tekan ultimate setelah terkekang (mm/mm)
ϵ_{fe}	= Regangan efektif FRP saat mencapai kegagalan (mm/mm)
ϵ_{fu}	= Regangan ultimate desain FRP (mm/mm)
ϵ_{fu}^*	= Regangan ultimate FRP, data dari pabrik (mm/mm)
ϵ_{sy}	= Regangan tulangan baja saat mencapai kelelahan (mm/mm)
ϵ'_t	= Regangan transisi pada kurva tegangan regangan beton terkekang
κ_a	= Faktor efisiensi FRP untuk menentukan f'_{cc}
κ_b	= Faktor efisiensi FRP untuk menentukan ϵ_{ccu}
κ_ϵ	= Faktor efisiensi (0.55)
$\mu_{strength}$	= Rasio kekuatan elastik terhadap koefisien kekuatan leleh
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan (0.65 untuk <i>compression-controlled</i>)

- $\Phi_{1,roof}$ = Amplitudo lantai atap untuk mode 1 (mm)
- ϕM_n = Momen nominal penampang beton (kNm)
- ϕP_n = Gaya tekan nominal penampang beton (kN)
- ψ_f = Faktor reduksi kekuatan FRP untuk perencanaan lentur (0.85)
- ρ_g = Perbandingan antara luas total tulangan lentur dan A_g
- θ = Kapasitas total *chord rotation* (radian)
- θ_p = Kapasitas *chord rotation* pada bagian plastis (radian)
- θ_y = Kapasitas *chord rotation* pada saat kelelahan (radian)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian	1-5
Gambar 2.1 Parameter gerak tanah S_s (SNI-1726 2019 gambar 15).....	2-5
Gambar 2.2 Parameter gerak tanah S_1 (SNI-1726 2019 gambar 16)	2-6
Gambar 2.3 Ketidakberaturan Horizontal.....	2-10
Gambar 2.4 Ketidakberaturan Horizontal.....	2-12
Gambar 2.5 Jenis-jenis perkuatan gedung	2-13
Gambar 2.6 Contoh Pelaksanaan Perkuatan FRP pada Kolom	2-14
Gambar 2.7 Diagram Interaksi Representatif	2-15
Gambar 2.8 Model Tegangan Regangan untuk Beton Terkekang FRP.....	2-19
Gambar 2.9 Distribusi Regangan untuk Titik B dan C.....	2-21
Gambar 2.10 Teknik-teknik Pelaksanaan <i>Concrete Jacketing</i> untuk Balok.....	2-27
Gambar 2.11 Ilustrasi Penggambaran Level Kinerja.....	2-29
Gambar 2.12 Hubungan Gaya dan Deformasi yang Digeneralisasi untuk <i>Modeling and Acceptance Criteria</i>	2-31
Gambar 2.13 Ilustrasi Pengaplikasian Analisis Beban Dorong dan Kurva Kapasitas	34
Gambar 2.14 Kurva Kapasitas (ATC-40)	2-37
Gambar 2.15 Spektrum Kapasitas (ATC-40).....	2-38
Gambar 2.16 Spektrum Kapasitas dan Representasi Bilinear (ATC-40).....	2-38
Gambar 2.17 Respons Spektra Termodifikasi (ATC-40)	2-40
Gambar 3.1 Penomoran Lantai	3-1
Gambar 3.2 Denah Kolom Lantai 1 dan 2	3-2
Gambar 3.3 Denah Kolom Lantai 3 dan 4	3-2

Gambar 3.4 Denah Balok Lantai 2, 3 dan 4.....	3-2
Gambar 3.5 Denah Ring Balok.....	3-3
Gambar 3.6 Detail Balok B1.....	3-3
Gambar 3.7 Detail Balok B2.....	3-4
Gambar 3.8 Detail Balok B3.....	3-4
Gambar 3.9 Detail Balok B4.....	3-4
Gambar 3.10 Detail Ring Balok RB1.....	3-5
Gambar 3.11 Detail Ring Balok RB2.....	3-5
Gambar 3.12 Detail Ring Balok RB3.....	3-6
Gambar 3.13 Detail Kolom K1.....	3-6
Gambar 3.14 Detail Kolom K2.....	3-6
Gambar 3.15 Respons Spektra Berdasarkan SNI-1726-2019.....	3-14
Gambar 3.16 Pemasukkan faktor skala untuk analisis dinamik.....	3-15
Gambar 3.17 Pengecekan <i>Joint Shear Ratio</i> pada Elevasi A.....	3-19
Gambar 3.18 Pengecekan <i>Joint Shear Ratio</i> pada Elevasi B.....	3-19
Gambar 3.19 Pengecekan <i>Joint Shear Ratio</i> pada Elevasi C.....	3-19
Gambar 3.20 Pengecekan <i>Joint Shear Ratio</i> pada Elevasi D.....	3-20
Gambar 3.21 Pengecekan <i>Joint Shear Ratio</i> pada Elevasi E.....	3-20
Gambar 3.22 Pengecekan <i>Joint Shear Ratio</i> pada Elevasi F.....	3-20
Gambar 3.23 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> pada Elevasi A.....	3-20
Gambar 3.24 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> pada Elevasi B.....	3-21
Gambar 3.25 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> pada Elevasi C.....	3-21
Gambar 3.26 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> pada Elevasi D.....	3-21
Gambar 3.27 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> pada Elevasi E.....	3-21

Gambar 3.28 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> pada Elevasi F.....	3-21
Gambar 3.29 Denah Penampang Kolom yang Gagal pada Lantai 1 Etabs.....	3-23
Gambar 3.30 Denah Penampang Balok yang Gagal pada Lantai 2 Etabs	3-23
Gambar 3.31 Denah Penampang Balok yang Gagal pada Lantai 3 dan 4 Etabs	3-23
Gambar 3.32 Denah Penampang Balok yang Gagal pada Lantai Atap Etabs	3-23
Gambar 3.33 Detail Balok B1 dengan <i>RC Jacketing</i>	3-26
Gambar 3.34 Detail Balok B2 dengan <i>RC Jacketing</i>	3-26
Gambar 3.35 Detail Balok B3 dengan <i>RC Jacketing</i>	3-26
Gambar 3.36 Detail Balok RB1 dengan <i>RC Jacketing</i>	3-26
Gambar 3.37 Langkah-langkah Pelaksanaan <i>Concrete Jacketing</i>	3-27
Gambar 3.38 Teknik Pengangkuruan Tulangan Longitudinal pada <i>Joint</i>	3-27
Gambar 3.39 Perbandingan Kapasitas Kolom Sebelum dan Sesudah FRP K1	3-29
Gambar 3.40 Perbandingan Kapasitas Kolom Sebelum dan Sesudah FRP K2	3-30
Gambar 3.41 <i>Section Designer</i> untuk K1 pada Etabs.....	3-31
Gambar 3.42 <i>Section Designer</i> untuk K2 pada Etabs.....	3-32
Gambar 3.43 Kolom Lantai 1 yang Gagal pada Analisis Linear Dinamik No. 2	3-32
Gambar 3.44 Kolom Lantai 2 yang Gagal pada Analisis Linear Dinamik No. 2	3-33
Gambar 3.45 Pengecekan <i>DCR</i> Kolom pada Elevasi A	3-33
Gambar 3.46 Pengecekan <i>DCR</i> Kolom pada Elevasi B	3-33
Gambar 3.47 Pengecekan <i>DCR</i> Kolom pada Elevasi C	3-33
Gambar 3.48 Pengecekan <i>DCR</i> Kolom pada Elevasi D	3-34
Gambar 3.49 Pengecekan <i>DCR</i> Kolom pada Elevasi E.....	3-34
Gambar 3.50 Pengecekan <i>DCR</i> Kolom pada Elevasi F	3-34

Gambar 3.51 Pengecekan Ulang Balok Lantai 2 Terhadap Kebutuhan Tulangan Longitudinal.....	3-35
Gambar 3.52 Pengecekan Ulang Balok Lantai 3 Terhadap Kebutuhan Tulangan Longitudinal.....	3-35
Gambar 3.53 Pengecekan Ulang Balok Lantai 4 Terhadap Kebutuhan Tulangan Longitudinal.....	3-35
Gambar 3.54 Pengecekan Ulang Balok Lantai Atap Terhadap Kebutuhan Tulangan Longitudinal.....	3-36
Gambar 3.55 Pengecekan Ulang Balok Lantai 2 Terhadap Kebutuhan Tulangan Geser	3-36
Gambar 3.56 Pengecekan Ulang Balok Lantai 3 Terhadap Kebutuhan Tulangan Geser	3-36
Gambar 3.57 Pengecekan Ulang Balok Lantai 4 Terhadap Kebutuhan Tulangan Geser	3-37
Gambar 3.58 Pengecekan Ulang Balok Lantai Atap Terhadap Kebutuhan Tulangan Geser	3-37
Gambar 3.59 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> Setelah Perkuatan pada Elevasi A.....	3-38
Gambar 3.60 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> Setelah Perkuatan pada Elevasi B.....	3-38
Gambar 3.61 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> Setelah Perkuatan pada Elevasi C.....	3-38
Gambar 3.62 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> Setelah Perkuatan pada Elevasi D.....	3-39
Gambar 3.63 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> Setelah Perkuatan pada Elevasi E.....	3-39

Gambar 3.64 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> Setelah Perkuatan pada Elevasi F	3-39
Gambar 4.1 Pemodelan gedung tampak 3D <i>SeismoBuild</i>	4-1
Gambar 4.2 Pemilihan Level Kinerja BPOE	4-2
Gambar 4.3 Respons Spektra untuk Evaluasi Kinerja	4-3
Gambar 4.4 Tampilan Pemilihan Tipe FRP pada <i>SeismoBuild</i>	4-3
Gambar 4.5 Contoh Pemodelan <i>Concrete Jacketing</i> B2 pada <i>SeismoBuild</i>	4-4
Gambar 4.6 Pemilihan Tipe Analisis	4-6
Gambar 4.7 Model-model Sendi Plastis Balok dan Kolom.....	4-7
Gambar 4.8 Model Sendi Plastis dari Rangka 2 Dimensi yang Diberikan Beban Gempa Lateral	4-8
Gambar 4.9 Model Sendi Plastis pada Balok.....	4-9
Gambar 4.10 Model Sendi Plastis pada Kolom.....	4-9
Gambar 4.11 Perilaku Sendi Plastis yang Menggambarkan Hubungan Momen-Rotasi	4-10
Gambar 4.12 Contoh Analisis Momen Kurvatur pada Kolom	4-11
Gambar 4.13 Hubungan Gaya dan Deformasi yang Digeneralisasi untuk <i>Modeling and Acceptance Criteria</i>	4-13
Gambar 4.14 Langkah-langkah Utama pada Analisis Beban Dorong.....	4-13
Gambar 4.15 Kurva Kapasitas dari Analisis 17 arah X.....	4-14
Gambar 4.16 Spektrum Kapasitas dari Analisis 17 Arah X	4-16
Gambar 4.17 Pembagian Segmen Spektrum Kapasitas dari Analisis 17 Arah X....	4-16
Gambar 4.18 Spektrum Kapasitas dan Representasi Bilinear Spektrum Kapasitas	4-17
Gambar 4.19 Respons Spektra Desain.....	4-18
Gambar 4.20 Respons Spektra ADRS	4-18

Gambar 4.21 Respons Spektra ADRS Vs Kurva Kapasitas ADRS.....	4-19
Gambar 4.22 Respons Spektra ADRS Vs Kurva Kapasitas ADRS Sebelum Perkuatan Vs Kurva Kapasitas ADRS Setelah Perkuatan	4-20
Gambar 4.23 Respons Spektra ADRS VS Kurva Kapasitas ADRS Arah X	4-21
Gambar 4.24 Respons Spektra ADRS VS Kurva Kapasitas ADRS Arah Y	4-22
Gambar 4.25 Pengecekan <i>Member Chord Rotations</i> Terhadap Kinerja <i>Life Safety</i> Level Gempa 20%/50 Tahun	4-23
Gambar 4.26 Pengecekan <i>Member Chord Rotations</i> Terhadap Kinerja <i>Collapse Prevention</i> Level Gempa 5%/50 Tahun.....	4-23
Gambar 4.27 Pengecekan <i>Member Shear Forces</i> Terhadap Kinerja <i>Life Safety</i> Level Gempa 20%/50 Tahun	4-24
Gambar 4.28 Pengecekan <i>Member Shear Forces</i> Terhadap Kinerja <i>Collapse Prevention</i> Level Gempa 5%/50 Tahun.....	4-24
Gambar 4.29 Pengecekan <i>Joint Shear Forces</i> Terhadap Kinerja <i>Life Safety</i> Level Gempa 20%/50 Tahun	4-25
Gambar 4.30 Pengecekan <i>Joint Shear Forces</i> Terhadap Kinerja <i>Collapse Prevention</i> Level Gempa 5%/50 Tahun	4-25

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa	2-2
Tabel 2.1 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (lanjutan).....	2-4
Tabel 2.2 Faktor keutamaan gempa	2-4
Tabel 2.3 Koefisien situs F_a	2-6
Tabel 2.4 Koefisien situs F_v	2-7
Tabel 2.5 Simpangan Antar Tingkat Izin.....	2-7
Tabel 2.6 Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur	2-8
Tabel 2.7 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur	2-11
Tabel 2.8 Modulus Elastisitas, Kekuatan Ultimate dan <i>Minimum Rupture Strain</i> ..	2-15
Tabel 2.9 Faktor Reduksi Lingkungan, C_E untuk Berbagai Kondisi Lingkungan ...	2-16
Tabel 2.10 <i>Modeling Parameters</i> dan <i>Numerical Acceptance Criteria</i> untuk Prosedur Nonlinear-Balok Beton Bertulang	2-29
Tabel 2.11 <i>Modeling Parameters</i> dan <i>Numerical Acceptance Criteria</i> untuk Prosedur Nonlinear-Kolom Beton Bertulang selain Kolom Lingkaran.....	2-30
Tabel 2.12 <i>Modeling Parameters</i> dan <i>Numerical Acceptance Criteria</i> untuk Prosedur Nonlinear-Joint Balok dan Kolom Beton Bertulang.....	2-31
Tabel 2.13 Probabilitas terlampaui dan periode ulang gempa.....	2-32
Tabel 2.14 Target Level Kinerja Gedung	2-33
Tabel 2.15 Nilai untuk Faktor Modifikasi C_0	2-35
Tabel 2.16 Faktor Modifikasi Redaman	2-39
Tabel 3.1 Beban hidup terdistribusi merata minimum.....	3-8
Tabel 3.2 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b pada Struktur	3-9
Tabel 3.3 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b pada Struktur	3-10

Tabel 3.4 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2 pada Struktur.....	3-11
Tabel 3.5 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b pada Struktur	3-11
Tabel 3.6 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal dan Ketidakberaturan Vertikal	3-12
Tabel 3.7 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat.....	3-12
Tabel 3.8 Periode dan Partisipasi Massa Tiap Ragam.....	3-16
Tabel 3.9 Nilai Gaya Dalam Terfaktor Maksimum dan Minimum dari Setiap Elemen	3-22
Tabel 3.10 Kebutuhan Tulangan Atas, Tulangan Bawah dan Tulangan Geser Maksimum dan As Pakai untuk B1	3-24
Tabel 3.11 Kebutuhan Tulangan Atas, Tulangan Bawah dan Tulangan Geser Maksimum dan As Pakai untuk B2	3-24
Tabel 3.12 Kebutuhan Tulangan Atas, Tulangan Bawah dan Tulangan Geser Maksimum dan As Pakai untuk B3	3-24
Tabel 3.13 Kebutuhan Tulangan Atas, Tulangan Bawah dan Tulangan Geser Maksimum dan As Pakai untuk RB1.....	3-25
Tabel 3.14 Momen Ultimate, ϕM_n Eksisting dan ϕM_n Jacketing dari setiap Tipe Elemen yang Diperkuat.....	3-28
Tabel 3.15 Gaya Geser Ultimate, ϕV_n Eksisting dan ϕV_n Jacketing dari setiap Tipe Elemen yang Diperkuat.....	3-28
Tabel 3.16 Data <i>Fiber-Reinforced Polymer</i>	3-28
Tabel 3.17 Pengecekan Kekuatan Geser untuk Kolom K1 dan K2	3-34
Tabel 3.18 Perbandingan Tulangan yang Diperlukan dan Tulangan yang Terpasang ..	3-37
Tabel 3.19 Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Sebelum dan Sesudah Perkuatan	3-40
Tabel 4.1 Nilai DCR dari Balok-balok yang Gagal.....	4-25
Tabel 4.2 Nilai DCR dari Kolom-kolom yang Gagal	4-28

Tabel 4.3 Nilai DCR dari *Joints* yang Gagal4-30



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.....	L1-1
LAMPIRAN 2.....	L2-1
LAMPIRAN 3.....	L3-1
LAMPIRAN 4.....	L4-1
LAMPIRAN 5.....	L5-1
LAMPIRAN 6.....	L6-1
LAMPIRAN 7.....	L7-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Peraturan mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa, pembebanan dan ketetapan detailing untuk bangunan gedung berubah seiring berjalannya waktu. Semenjak tahun 2000 sampai 2021, sudah terdapat 3 buah peraturan mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung, yaitu SNI-1726-2002, SNI-1726-2012, dan SNI-1726-2019. Untuk peraturan mengenai beban desain minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, terdapat SNI-1727-1989, SNI-1727-2013 dan SNI 1727:2020. Sementara peraturan mengenai persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, terdapat SNI-2847-2002, SNI-2847-2013 dan SNI-2847-2019.

Peraturan SNI-1726 berubah menjadi semakin ketat seiring dengan berjalannya waktu sehingga sebuah gedung yang didesain berdasarkan SNI-1726-2019 akan dituntut untuk menerima gaya gempa yang lebih besar daripada gedung yang didesain berdasarkan SNI-1726-2002. SNI-2847-2002 dan SNI-2847-2019 juga mempunyai peraturan mengenai ketetapan detailing yang berbeda. Selain itu, sebuah gedung yang didesain berdasarkan SNI 1727:2020 akan dituntut untuk menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan gedung yang didesain sesuai dengan SNI-1727-1989. Oleh karena itu, muncul sebuah hipotesis bahwa gedung yang didesain berdasarkan SNI-1726-2002, SNI-1727-1989 dan SNI-2847-2002 yang masih ada sampai sekarang tidak memenuhi syarat kekuatan seperti yang ada pada peraturan yang baru sehingga perlu dilakukan evaluasi.

Retrofit atau perkuatan gedung adalah salah satu solusi untuk memperbaiki komponen-komponen gedung yang dianggap tidak memenuhi syarat-syarat desain bangunan. *Retrofit* untuk bangunan memiliki bermacam-macam jenis, misalnya penambahan dimensi, *steel plate bonding*, *eksternal stressing*, *concrete jacketing*, dan

Fiber-Reinforced Polymer. Retrofit yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *Fiber-Reinforced Polymer* untuk kolom dan *concrete jacketing* untuk balok.

1.2 Inti Permasalahan

Untuk saat ini, gedung-gedung yang sudah berumur dan didesain sesuai dengan SNI-1726-2002, SNI-1727-1989 dan SNI-2847-2002 berpotensi memiliki masalah-masalah tertentu seperti desain yang tidak sesuai dengan SNI-1726-2019, SNI 1727:2020 dan SNI-2847-2019. Selain itu, sengkang yang digunakan pada gedung eksisting adalah tulangan polos, sedangkan SNI 2847-2019 pasal 20.2.1.1 mewajibkan tulangan harus berulir sehingga gedung berpotensi mengalami kegagalan dalam menahan gaya gempa. Oleh karena itu, diperlukan *Retrofit* atau perkuatan pada gedung tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini:

1. Melakukan rehabilitasi struktur eksisting menggunakan perkuatan *Concrete Jacketing* dan Fiber-Reinforced Polymer (FRP).
2. Mengevaluasi kinerja dari struktur gedung eksisting yang sudah direhabilitasi.

1.4 Pembatasan Masalah

Batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bangunan gedung yang dianalisis adalah bangunan gedung eksisting yang diasumsikan didesain berdasarkan peraturan SNI-1726-2002, SNI-1727-1989 dan SNI-2847-2002.
2. Data dan spesifikasi material dari gedung diambil sesuai data gedung eksisting yang dibangun tahun 2009.
3. Bangunan eksisting tidak dicek apakah memenuhi seluruh persyaratan-persyaratan yang terdapat pada peraturan lama.

4. Analisis data menggunakan bantuan perangkat lunak Etabs dan SeismoBuild 2018.
5. Gedung akan dianalisis terhadap peraturan SNI-1726-2019 untuk spesifikasi gempa, SNI 1727:2020 untuk peraturan pembebanan dan SNI-2847-2019 untuk peraturan beton.
6. *Retrofit* atau perkuatan gedung yang digunakan adalah *Fiber-Reinforced Polymer* (FRP) untuk kolom dan *concrete jacketing* untuk balok.
7. Metode yang digunakan untuk penentuan elemen yang diperkuat adalah analisis linear dinamik, sementara metode yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja gedung adalah Analisis Beban Dorong.
8. Standar acuan *retrofitting* dan *FRP* yang digunakan adalah ASCE 41/17 dan ACI 440.2R-17.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan berasal dari Peraturan SNI-1726, SNI-1727, SNI-2847 dan ASCE/SEI 41/17

Selain itu, digunakan juga peraturan-peraturan tambahan mengenai *Retrofitting* seperti ACI MNL-3(20), ACI 440.2R-17, ACI 369.1M-17, ACI 374.3R-16 dan ACI 562-19.

2. Studi analisis

Studi dilakukan dengan metode linear dinamik menggunakan Etabs dan Analisis Beban Dorong menggunakan perangkat lunak analisis struktur *SeismoBuild* 2018.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini dilakukan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembedaan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan;

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori yang digunakan pada studi ini sebagai landasan penelitian;

BAB III REHABILITASI STRUKTUR GEDUNG EKSISTING DENGAN ETABS

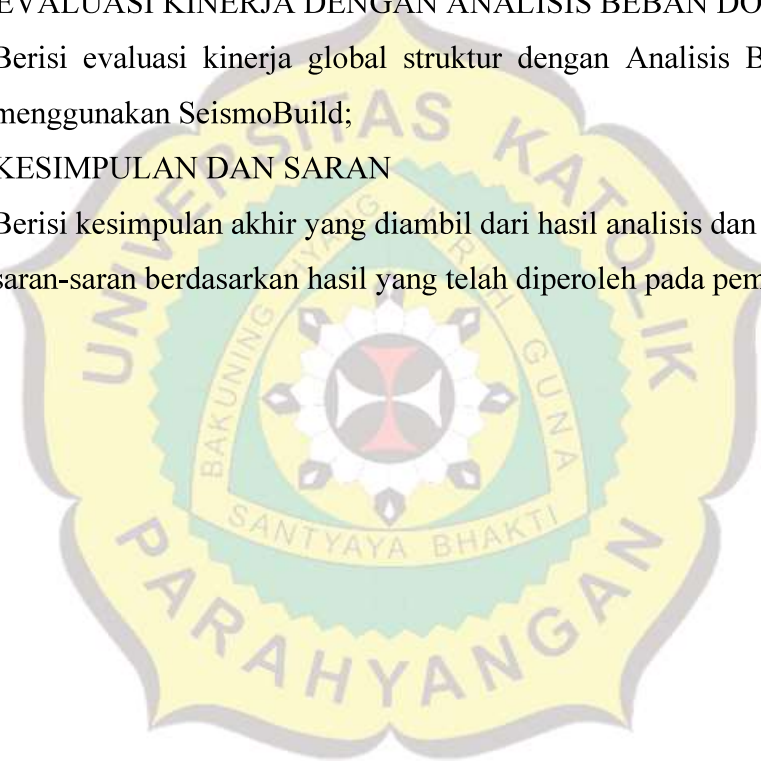
Berisi pemodelan dan analisis Linear Dinamik gedung dengan Etabs, penentuan dan pengecekan elemen-elemen yang akan diperkuat;

BAB IV EVALUASI KINERJA DENGAN ANALISIS BEBAN DORONG

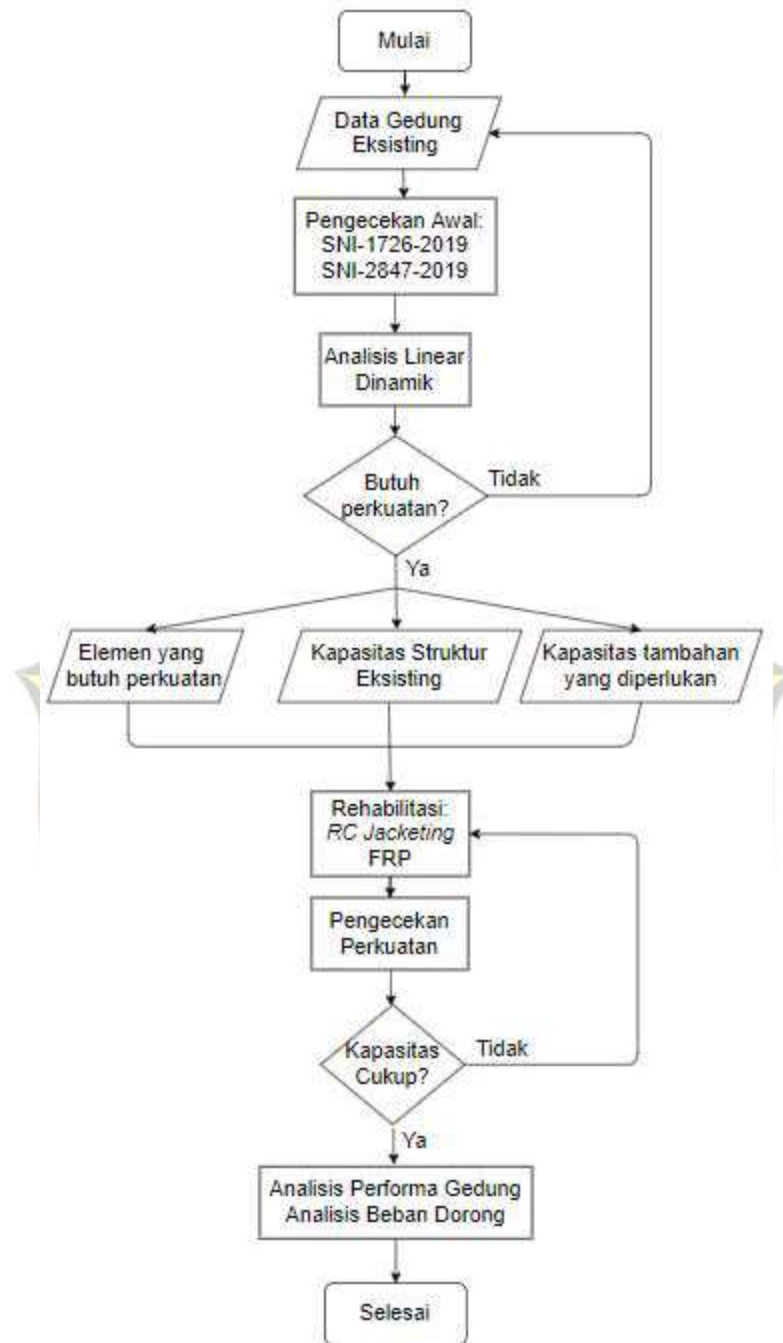
Berisi evaluasi kinerja global struktur dengan Analisis Beban Dorong menggunakan SeismoBuild;

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan akhir yang diambil dari hasil analisis dan saran-saran berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada pembahasan



1.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian