

SKRIPSI

**DESAIN BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN
GEMPA DENGAN SISTEM GANDA: STRUKTUR
RANGKA MOMEN KHUSUS DAN DINDING
STRUKTURAL KHUSUS YANG TERBUAT DARI *HIGH
PERFORMANCE CONCRETE***



**ROSE MARRY WIRAWAN
NPM : 2017410051**

PEMBIMBING: Herry Suryadi, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wisena Perceka, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
FEBRUARI 2021**

SKRIPSI

**DESAIN BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN
GEMPA DENGAN SISTEM GANDA: STRUKTUR
RANGKA MOMEN KHUSUS DAN DINDING
STRUKTURAL KHUSUS YANG TERBUAT DARI *HIGH
PERFORMANCE CONCRETE***



**ROSE MARRY WIRAWAN
NPM : 2017410051**

PEMBIMBING: Herry Suryadi, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wisena Perceka, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
FEBRUARI 2021**

SKRIPSI

**DESAIN BANGUNAN BETON BERTULANG
TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM GANDA:
STRUKTUR RANGKA MOMEN KHUSUS DAN
DINDING STRUKTURAL KHUSUS YANG
TERBUAT DARI *HIGH PERFORMANCE
CONCRETE***



**ROSE MARRY WIRAWAN
NPM : 2017410051**

BANDUNG, 17 FEBRUARI 2021

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

Herry Suryadi, Ph.D.

Wisena Perceka, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
FEBRUARI 2021**

PERNYATAAN

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

Nama : Rose Marry Wirawan

NPM : 2017410051

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / tesis / disertasi^{*)} dengan judul:

Desain Bangunan Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Sistem Ganda: Sistem Rangka Momen Khusus dan Dinding Struktural Khusus yang Terbuat dari *High Performance Concrete*

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 Karawang

Tanggal: 27 Januari 2021



Rose Marry Wirawan
2017410051

DESAIN BANGUNAN BETON BERTULANG TAHAN GEMPA DENGAN SISTEM GANDA: SISTEM RANGKA MOMEN KHUSUS DAN DINDING STRUKTURAL KHUSUS YANG TERBUAT DARI *HIGH PERFORMANCE CONCRETE*

**Rose Marry Wirawan
NPM: 2017410051**

**Pembimbing: Herry Suryadi, Ph.D.
Ko-Pembimbing: Wisena Perceka, Ph.D.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)
BANDUNG
FEBRUARI 2021**

ABSTRAK

Surabaya merupakan salah satu kota di wilayah Indonesia dengan tingkat risiko gempa yang tinggi sehingga perencanaan struktur bangunan beton bertulang harus dilakukan sesuai standar bangunan yang berlaku, yaitu SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 1727:2020. Seiring perkembangan teknologi, teknologi beton juga terus berkembang sehingga ditemukannya *High Performance Concrete* (HPC). HPC adalah beton mutu tinggi yang memiliki banyak keunggulan, diantaranya meningkatkan durabilitas beton dan dapat mengurangi dimensi penampang elemen struktur. Akan tetapi, semakin tinggi kuat tekan beton, beton akan semakin getas. Oleh karena itu, dalam pengaplikasiannya, *steel fiber* perlu ditambahkan ke dalam HPC. Saat ini, struktur gedung beton bertulang dengan sistem ganda yang terbuat dari HPC dengan dan tanpa steel fiber masih jarang ditemukan, khususnya di Indonesia. Dengan demikian, studi analisis perilaku bangunan gedung beton bertulang dengan sistem ganda dengan material HPC dengan dan tanpa steel fiber akibat beban gravitasi dan gempa perlu dilakukan. Studi ini bertujuan untuk membandingkan perilaku bangunan gedung beton bertulang sistem ganda yang terbuat dari HPC dengan dan tanpa steel fiber. Denah lantai tipikal bangunan terdiri dari arah-*x* yang terdapat kombinasi 4 buah dinding struktural khusus dan sistem rangka pemikul momen khusus dan arah-*y* yang hanya terdapat sistem rangka pemikul momen khusus. Analisis nonlinear dengan program OpenSEES dilakukan untuk memperoleh respons nonlinier elemen struktur balok dan kolom. Untuk mengetahui respons nonlinier dinding struktural khusus, kurva tegangan – regangan HPC dengan dan tanpa steel fiber dan kurva tegangan – regangan baja tulangan diinput ke dalam program analisis struktur. Analisis statik nonlinear dilakukan untuk mengetahui perbandingan respons model 1, yaitu model dengan *steel fiber* dan model 2, yaitu model tanpa *steel fiber*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *performance level* arah-*x* dari model 1 adalah *Immediate Occupancy*, sedangkan *performance level* arah-*y* pada model 1 serta arah-*x* dan arah-*y* pada model 2 adalah *Damage Control*.

Kata Kunci: *Steel Fiber*, *High Performance Concrete*, Analisis Statik *Pushover*, Sistem Ganda

SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE DUAL-SYSTEM BUILDING: SPECIAL MOMENT FRAME-SHEAR WALL SYSTEM MADE OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Rose Marry Wirawan
NPM: 2017410051

Advisor: Herry Suryadi, Ph.D.
Co-Advisor: Wisena Perceka, Ph.D.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)

BANDUNG
FEBRUARY 2021

ABSTRACT

Surabaya is the one of the cities in Indonesia located in high seismic region. All RC building structures designed and constructed shall satisfy every requirement of building codes, i.e. SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, and SNI 1727:2020. With increasing concrete technology, concrete material with strength much greater than normal concrete can be developed, where this material can be named High Performance Concrete (HPC). By using HPC, concrete durability increases and structural members' section size can be reduced. However, concrete turns more brittle as its compressive strength increases. For application purpose, steel fibers can be applied to HPC. Currently, RC dual-system building made of HPC with or without steel fibers, particularly in Indonesia is rare to found. Accordingly, seismic response of RC dual-system consisting of special moment frame and special wall structure made of HPC with or without steel fiber is required to be performed. This study is conducted to compare the performance of RC dual-system building made of HPC with that made of HPC with steel fibers. Typical floor plan of RC dual-system building consists of combination of 4 shear walls and special moment frame parallel to x-direction and special moment frame without shear wall parallel to y-direction. OpenSEES is used to figure out nonlinear response of beam and column. Stress strain curve of HPC with and without steel fibers and stress-strain curve of steel reinforcing bar is defined in structural analysis software in order to simulate nonlinear response of all shear walls. Pushover analysis is performed to analyze nonlinear behavior of 2 model buildings. Model 1 and model 2 are structural model with steel fibers and without steel fibers, respectively. According to analysis results, performance levels of building in x-direction and y-direction are Immediate Occupancy and Damage Control, respectively. Meanwhile, the performance levels of model 2 in x-direction and y-direction are Damage Control.

Key: Steel Fiber, High Performance Concrete, Static Pushover Analysis, Dual System

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Desain Bangunan Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Sistem Ganda: Sistem Rangka Momen Khusus dan Dinding Struktural Khusus yang Terbuat dari High Performance Concrete*. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat S1 di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan dan menjadi bagian dari penelitian dosen pembimbing dan ko-pembimbing penulis, yaitu Bapak Herry Suryadi, Ph.D. dan Bapak Wisena Perceka, Ph.D.

Dalam penyusunan skripsi ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, tetapi berkat saran serta bantuan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Wisena Perceka, Ph.D. selaku ko-pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing dan memberikan pengetahuan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Ibu Dr. -Ing Dina Rubiana Widarda dan Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, masukan, dan kritik yang membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Seluruh dosen Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu selama penulis berada di bangku perkuliahan. Ilmu-ilmu yang telah diberikan secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Catherine Laurensia selaku teman seperjuangan selama menyusun skripsi.
5. Orang tua dan saudara dari penulis yang memberikan semangat dan dukungan doa kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Teman-teman Angkatan 2017 yang telah berjuang bersama-sama selama masa perkuliahan di Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna dan menambah pengetahuan bagi pihak yang membacanya.

Bandung, Februari 2021



Rose Marry Wirawan
2017410051



DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| PRAKATA | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR NOTASI | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR TABEL | xix |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1-1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1-1 |
| 1.2 Inti Permasalahan..... | 1-2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 1-3 |
| 1.4 Pembatasan Masalah..... | 1-3 |
| 1.5 Metode Penelitian | 1-4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 1-5 |
| 1.7 Diagram Alir | 1-6 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 2-1 |
| 2.1 Beton Mutu Tinggi..... | 2-1 |
| 2.2 High Performance Concrete (HPC) | 2-2 |
| 2.3 <i>Fiber Reinforced Concrete</i> | 2-2 |
| 2.4 Aplikasi Steel Fiber Reinforced Concrete | 2-3 |
| 2.5 Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa..... | 2-10 |
| 2.5.1 Penentuan Beban Gravitasi Berdasarkan SNI 1727:2020 | 2-10 |

| | | |
|------------------------------------|--|------|
| 2.5.2 | Penentuan Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726:2019..... | 2-10 |
| 2.5.3 | Perencanaan Komponen Struktur Beton Tahan Gempa Berdasarkan SNI 2847:2019..... | 2-25 |
| 2.6 | Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa | 2-35 |
| 2.6.1 | Model Tegangan-Regangan Beton dengan <i>Steel Fiber</i> Akibat Beban Tekan Uniaksial | 2-35 |
| 2.6.2 | Model Tegangan-Regangan Beton Mutu Tinggi Terkekang Akibat Beban Tekan Uniaksial | 2-41 |
| 2.6.3 | Efisiensi Kekangan Beton Mutu Tinggi Terkekang Akibat Beban Tekan Uniaksial | 2-42 |
| 2.6.4 | Analisis Nonlinear Balok dan Kolom Menggunakan <i>OpenSEES</i> | 2-53 |
| 2.6.5 | Kolom Kantilever Ekuivalen | 2-53 |
| 2.6.6 | Model Analisis | 2-54 |
| 2.6.7 | Definisi <i>Fiber Element</i> pada Program Analisis Struktur | 2-58 |
| 2.6.8 | Analisis <i>Pushover</i> | 2-58 |
| BAB 3 Desain struktur gedung | | 3-1 |
| 3.1 | Data Struktur | 3-1 |
| 3.2 | Pemodelan Struktur | 3-3 |
| 3.3 | Input Pembebanan | 3-5 |
| 3.4 | Hasil Analisis | 3-10 |
| 3.5 | Perencanaan Elemen Struktur..... | 3-26 |
| 3.6 | Pengecekan Simpangan | 3-28 |
| BAB 4 ANALISIS NONLINEAR | | 4-1 |
| 4.1 | Pemodelan Tegangan-Regangan Beton Tak Terkekang (Dengan dan Tanpa <i>Fiber</i>) | 4-1 |

| | | |
|----------------------------------|---|------|
| 4.2 | Ekuivalen <i>Confinement</i> Kolom dengan <i>Steel Fiber</i> yang Dikekang oleh Tulangan Transversal | 4-2 |
| 4.3 | Model Tegangan-Regangan Beton Terkekang (Dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i>) | 4-4 |
| 4.4 | Spring Rotasi dan Buckling Spring | 4-5 |
| 4.5 | Perilaku Siklik Balok dan Kolom | 4-8 |
| 4.6 | Penentuan Kurva Envelope..... | 4-9 |
| 4.7 | Input Parameter <i>Fiber Element</i> di dalam Program Analisis Struktur untuk Dinding Struktural Khusus | 4-10 |
| 4.8 | Static Pushover Analysis | 4-12 |
| 4.8.1 | Input Sendi Plastis | 4-12 |
| 4.8.2 | Analisis Model 1 (Dengan <i>Fiber</i>)..... | 4-15 |
| 4.8.3 | Analisis Model 2 (Tanpa <i>Fiber</i>)..... | 4-16 |
| BAB 5 PEMBAHASAN | | 5-1 |
| 5.1 | Desain SRPMK..... | 5-1 |
| 5.2 | Desain Dinding Struktural Khusus | 5-2 |
| 5.3 | Analisis Nonlinear | 5-4 |
| 5.4 | <i>Static Pushover Analysis</i> | 5-6 |
| 5.5 | <i>Performance Level</i> | 5-8 |
| BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN | | 6-1 |
| 6.1 | Kesimpulan | 6-1 |
| 6.2 | Saran | 6-2 |
| DAFTAR PUSTAKA | | |
| LAMPIRAN | | |

DAFTAR NOTASI

- a : Tinggi Blok Tegangan Persegi Ekuivalen (mm)
- A_{ch} : Luas Penampang Komponen Struktur yang Diukur sampai Tepi Luar Tulangan Transversal (mm²)
- A_{cp} : Luas yang Dibatasi oleh Keliling Luar Penampang Beton (mm²)
- A_{cv} : Luas Bruto Penampang Beton yang Dibatasi oleh Tebal Badan dan Panjang Penampang dalam Arah Gaya Geser yang Ditinjau pada Kasus Dinding dan Luas Bruto Penampang Beton dalam Kasus Diafragma, Tebalnya Tidak Melebihi Lebar Diafragma (mm²)
- A_{cw} : Luas Penampang Beton Pilar Tunggal, Segmen Horizontal Dinding (mm²)
- A_g : Luas Bruto Penampang Beton (mm²)
- A_j : Luas Penampang Efektif pada *Joint* di Bidang yang Paralel terhadap Bidang Tulangan yang Menimbulkan Geser dalam *Joint* (mm²)
- A_s : Luas Tulangan Lentur (mm²)
- A_{sh} : Luas Penampang Total Tulangan Transversal dan Tegak Lurus terhadap Dimensi bc (mm²)
- $A_{s\ min}$: Luas Minimum Tulangan Lentur (mm²)
- A_v : Luas Tulangan Geser (mm²)
- $A_{v\ min}$: Luas Minimum Tulangan Geser (mm²)
- A_x : Faktor Amplifikasi Torsi
- b_w : Lebar Badan (mm)
- c : Jarak dari Sumbu Netral Suatu Elemen yang Mengalami Lentur Hingga Serat yang Mengalami Regangan Tekan Maksimum (mm)
- C_d : Faktor Pembesaran Simpangan Lateral
- C_u : Koefisien untuk Batasan Atas pada Periode yang Dihitung
- d : Jarak dari Serat Tekan Terjauh ke Pusat Tulangan Tarik atau Tekan Longitudinal (mm)

| | |
|----------|--|
| d_b | : Diameter Nominal Tulangan (mm) |
| D | : Pengaruh dari Beban Mati Layan |
| E_c | : Modulus Elastisitas Beton (MPa) |
| E_x | : Pengaruh Gaya Seismik Horizontal |
| E_y | : Pengaruh Gaya Seismik Vertikal |
| f_c' | : Kekuatan Tekan Beton yang Disyaratkan (MPa) |
| F_a | : Koefisien Situs untuk Periode Pendek (0.2 detik) |
| F_v | : Koefisien Situs untuk Periode Panjang (1 detik) |
| h_x | : Tinggi di Atas Daerah Batas Isolasi yang Berada pada Level x (m) |
| h_n | : Batasan Tinggi Struktur (m) |
| h_{sx} | : Tinggi Tingkat di Bawah Level x (m) |
| I | : Momen Inersia Penampang terhadap Sumbu Pusat (mm ⁴) |
| I_e | : Faktor Keutamaan Gempa |
| L | : Pengaruh Beban Hidup Layan |
| L_n | : Panjang Bentang Bersih yang Diukur dari Muka ke Muka Tumpuan (mm) |
| L_r | : Pengaruh Beban Hidup Atap Layan |
| M_{pr} | : Kekuatan Lentur Komponen Struktur yang Mengasumsikan Tegangan Tarik dalam Batang Tulangan Longitudinal Paling Sedikit $1.25 f_y$ (Nmm) |
| M_u | : Momen Terfaktor pada Penampang (N) |
| n | : Jumlah Benda |
| n_l | : Jumlah Tulangan Longitudinal Sekeliling Tepi Inti Kolom dengan Sengkang Tertutup yang Ditumpu Secara Lateral pada Sudut Sengkang atau Kait Gempa |
| N_u | : Gaya Aksial Terfaktor Tegak Lurus terhadap Penampang yang Terjadi Secara Serentak dengan V_u atau T_u (N) |
| P_{cp} | : Keliling Luar Penampang Beton (mm) |

- P_h : Keliling Garis Pusat Tulangan Torsi Transversal Tertutup Terluar (mm)
- P_n : Kekuatan Aksial Nominal Penampang (N)
- P_u : Gaya Aksial Terfaktor (N)
- $P - \Delta$: Momen Sekunder yang Diakibatkan Defleksi Lateral (Nmm)
- S_{Ds} : Parameter Percepatan Respons pada Periode Pendek dengan Redaman 5%
- S_{D1} : Parameter Percepatan Respons Spektral pada Periode 1 Detik dengan Redaman 5%
- S_{Ms} : Parameter Percepatan Respons Spektral MCE pada Periode Pendek
- S_{M1} : Parameter Percepatan Respons Spektral MCE pada Periode 1 Detik
- S_s : Parameter Percepatan Respons Spektral dari Peta Gempa pada Periode Pendek dengan Redaman 5%
- S_1 : Parameter Percepatan Respons Spektral dari Peta Gempa pada Periode 1 Detik dengan Redaman 5%
- T : Periode Fundamental Bangunan (detik)
- T_a : Periode Fundamental Pendekatan (detik)
- T_L : Periode Transisi Periode Panjang (detik)
- β_1 : Faktor yang Menghubungkan Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen dengan Tinggi Sumbu Netral
- Δ : Simpangan Antar Tingkat Desain
- Δ_a : Simpangan Antar Tingkat yang Diizinkan
- S_x : Defleksi Pusat Massa di Tingkat x
- ρ : rasio A_s terhadap bd
- ρ_l : Rasio Luas Tulangan Longitudinal Terdistribusi terhadap Luas Beton Bruto yang Tegak Lurus terhadap Tulangan yang Dimaksud
- ρ_t : Rasio Luas Tulangan Transversal Terdistribusi terhadap Luas Beton Bruto yang Tegak Lurus terhadap Tulangan Yang Dimaksud
- ϕ, \emptyset : Faktor Reduksi Kekuatan
- Ω_o : Faktor Kuat Lebih

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|------|
| Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian..... | 1-6 |
| Gambar 2.1 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan | 2-1 |
| Gambar 2.3 Kurva Hubungan Tegangan dan Defleksi..... | 2-3 |
| Gambar 2.4 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Hasil Uji Uniaksial Tekan (Sumber Liao et al., 2015)..... | 2-4 |
| Gambar 2.5 Dimensi Kolom..... | 2-5 |
| Gambar 2.6 Hasil Uji Uniaksial Tekan Kolom | 2-6 |
| Gambar 2.7 Kurva histeresis S130-1.0 dan T100-1 (Huang, 2013)..... | 2-7 |
| Gambar 2.8 Perilaku Siklik pada Dinding Bertingkat Rendah yang Menggunakan HPFRCC..... | 2-9 |
| Gambar 2.9 Parameter Gerak Tanah, S_s | 2-11 |
| Gambar 2.10 Parameter Gerak Tanah, S_1 | 2-11 |
| Gambar 2.11 Peta Transisi Periode Panjang, T_L | 2-11 |
| Gambar 2.12 Spektrum Respons Desain | 2-16 |
| Gambar 2.13 Perhitungan Simpangan Antar Lantai..... | 2-19 |
| Gambar 2.14 Segmen Horizontal dan Vertikal Dinding | 2-32 |
| Gambar 2.15 Kurva Tegangan-Regangan | 2-36 |
| Gambar 2.16 Hubungan f_{cf}'/f_c' dan R_{lv} dengan f_c' yang sama..... | 2-37 |
| Gambar 2.17 Hubungan $\frac{\epsilon_{cf}'}{\epsilon_c'}$ dengan faktor fiber utama..... | 2-38 |
| Gambar 2.18 Hubungan n_1 dan R_{lv} | 2-40 |

| | |
|--|------|
| Gambar 2.19 Hubungan f_c'/f_{cf}' dan R_{lv} | 2-40 |
| Gambar 2.20 <i>Arching Action</i> pada Beton Terkekang | 2-44 |
| Gambar 2.21 Pengaruh <i>Confinement</i> pada Kekuatan Puncak Beton | 2-46 |
| Gambar 2.22 Pengaruh <i>Confinement</i> pada Regangan Puncak Beton | 2-46 |
| Gambar 2.23 Pengaruh <i>Confinement</i> pada Daktilitas Beton..... | 2-46 |
| Gambar 2.24 Usulan Kurva Tegangan-Regangan untuk Beton Mutu Tinggi Terkekang..... | 2-48 |
| Gambar 2.25 Pengaruh Kekangan terhadap Koefisien k_2 | 2-49 |
| Gambar 2.26 Definisi <i>Toughness Ratio</i> (TR) | 2-50 |
| Gambar 2.27 <i>Arching Ratio</i> pada Beton Terkekang dan Inti Terkekang Efektif... 2-51 | |
| Gambar 2.28 Hubungan TR dan <i>Effective Confinement Index</i> | 2-52 |
| Gambar 2.29 Konfigurasi Tes Kolom..... | 2-54 |
| Gambar 2.30 Model Analisis | 2-55 |
| Gambar 2.31 Hubungan Tegangan-Regangan Konstitutif..... | 2-56 |
| Gambar 2.33 <i>Shear Spring</i> dengan Kurva Batas yang Berpindah..... | 2-57 |
| Gambar 2.34 Kurva <i>Static Pushover</i> Teridealisasi | 2-59 |
| Gambar 2.35 Kurva Gaya Perpindahan Teridealisasi..... | 2-59 |
| Gambar 3.1 Model 3 Dimensi Gedung Perkantoran..... | 3-4 |
| Gambar 3.2 Tampak Atas Gedung Perkantoran | 3-4 |
| Gambar 3.3 Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah Sumbu- x | 3-8 |
| Gambar 3.4 Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah Sumbu- y | 3-8 |
| Gambar 3.5 Beban Gempa Respons Spektrum Kota Surabaya | 3-9 |

| | |
|--|------|
| Gambar 4.1 Perbandingan Kolom 900 mm × 900 mm Beton Tak Terkekang dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i> | 4-1 |
| Gambar 4.2 Kolom Terkekang dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i> | 4-4 |
| Gambar 4.3 <i>K-Boundary</i> Terkekang pada Dinding Struktural Khusus Dengan dan Tanpa <i>Fiber</i> | 4-5 |
| Gambar 4.4 Perilaku Siklik Balok 400 mm × 900 mm..... | 4-8 |
| Gambar 4.5 Perilaku Siklik Kolom 900 mm × 900 mm dengan Aksial Rasio 0,1 | 4-9 |
| Gambar 4.6 Kurva Envelope Balok 400/900..... | 4-9 |
| Gambar 4.7 Kurva Envelope Kolom 900 mm × 900 mm dengan Aksial Rasio 0,1 | 4-10 |
| Gambar 4.8 Input pada <i>K-Boundary</i> | 4-11 |
| Gambar 4.9 Input pada <i>Web-Boundary</i> | 4-11 |
| Gambar 4.10 Input pada <i>Web-Wall</i> | 4-12 |
| Gambar 4.11 Input Sendi Plastis pada Arah Sumbu- <i>x</i> | 4-13 |
| Gambar 4.12 Input Sendi Plastis pada Arah Sumbu- <i>y</i> | 4-14 |
| Gambar 4.13 Persebaran Sendi Plastis pada Model 1 Arah Sumbu- <i>x</i> | 4-14 |
| Gambar 4.14 Persebaran Sendi Plastis pada Model 1 Arah Sumbu- <i>y</i> (Sumber: Program Analisis Struktur)..... | 4-15 |
| Gambar 4.15 Hubungan Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Lateral pada Arah- <i>x</i> Model 1..... | 4-15 |
| Gambar 4.16 Hubungan Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Lateral pada Arah- <i>y</i> Model 1..... | 4-16 |
| Gambar 4.17 Persebaran Sendi Plastis Model 2 pada Arah Sumbu- <i>x</i> | 4-17 |

| | |
|---|------|
| Gambar 4.18 Persebaran Sendi Plastis Model 2 pada Arah Sumbu-y | 4-18 |
| Gambar 4.19 Hubungan Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Lateral Arah-x Model 2 | 4-18 |
| Gambar 4.20 Hubungan Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Lateral Arah-y Model 2 | 4-19 |
| Gambar 5.1 Daerah Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> | 5-2 |
| Gambar 5.2 Hasil Pengecekan Kebutuhan <i>Boundary Element</i> pada Dinding | 5-3 |
| Gambar 5.3 Kurva Siklik Hubungan Momen dan <i>Drift Ratio</i> dengan Aksial Rasio 0,1, 0,2, dan 0,25 | 5-4 |
| Gambar 5.4 Kurva Siklik Hubungan <i>Lateral Force</i> dan <i>Drift Ratio</i> dengan Aksial Rasio 0,1, 0,2, dan 0,25 | 5-5 |
| Gambar 5.5 Hubungan Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Lateral pada Arah-x Bangunan | 5-7 |
| Gambar 5.6 Hubungan Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Lateral pada Arah-y Bangunan | 5-7 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|------|
| Tabel 2.1 Hasil Uji Uniaksial Tekan..... | 2-4 |
| Tabel 2.2 Klasifikasi Situs | 2-12 |
| Tabel 2.3 Koefisien Situs, | 2-12 |
| Tabel 2.4 Koefisien Situs, | 2-13 |
| Tabel 2.5 Rumus S_{Ms} , S_{M1} , S_{DS} , | 2-13 |
| Tabel 2.6 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa | 2-14 |
| Tabel 2.7 Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode pendek (S_{DS})..... | 2-15 |
| Tabel 2.8 Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode 1 detik (S_{D1})..... | 2-15 |
| Tabel 2.9 Penentuan Kurva Parameter Spektrum Respons | 2-16 |
| Tabel 2.10 Faktor R , C_d , dan Ω_o | 2-17 |
| Tabel 2.11 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung..... | 2-17 |
| Tabel 2.12 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x | 2-18 |
| Tabel 2.13 Simpangan antar tingkat izin, | 2-19 |
| Tabel 2.14 Ketidakberaturan Horizontal..... | 2-21 |
| Tabel 2.15 Ketidakberaturan Vertikal..... | 2-23 |
| Tabel 2.16 Menentukan Jumlah Tulangan Transversal | 2-29 |
| Tabel 2.17 Persyaratan Tulangan Minimum..... | 2-31 |
| Tabel 2.18 Tulangan Transversal untuk Elemen Batas Khusus | 2-34 |
| Tabel 2.19 Tingkat Kinerja Struktur Sesuai ATC-40 | 2-61 |

| | |
|---|------|
| Tabel 3.1 Data Bangunan | 3-1 |
| Tabel 3.2 Data Material | 3-2 |
| Tabel 3.3 Data Elemen Struktur | 3-3 |
| Tabel 3.4 Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai..... | 3-5 |
| Tabel 3.5 Beban Mati Tambahan pada Pelat Atap | 3-5 |
| Tabel 3.6 Beban Hidup..... | 3-6 |
| Tabel 3.7 Parameter Gempa untuk Kota Surabaya..... | 3-7 |
| Tabel 3.8 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b | 3-10 |
| Tabel 3.9 Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b | 3-11 |
| Tabel 3.10 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1a dan 1b | 3-16 |
| Tabel 3.11 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 2..... | 3-19 |
| Tabel 3.12 Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b | 3-21 |
| Tabel 3.13 Faktor Skala..... | 3-22 |
| Tabel 3.14 Gaya Geser Desain yang Masuk ke Dinding Struktural Khusus..... | 3-23 |
| Tabel 3.15 Perencanaan <i>Frame</i> Memikul 25% dari Gaya Geser Desain Total..... | 3-23 |
| Tabel 3.16 Pengecekan <i>Story Shear</i> Arah Sumbu- <i>x</i> | 3-24 |
| Tabel 3.17 Pengecekan <i>Story Shear</i> Arah Sumbu- <i>y</i> | 3-25 |
| Tabel 3.18 Penulangan Balok..... | 3-26 |
| Tabel 3.19 Penulangan Kolom | 3-26 |
| Tabel 3.20 Penulangan Dinding Struktural Khusus | 3-27 |
| Tabel 3.21 Pengecekan <i>Strong Column Weak Beam</i> | 3-27 |
| Tabel 3.22 Kuat Geser <i>Joint</i> | 3-28 |

| | |
|---|------|
| Tabel 3.23 Pengecekan Simpangan | 3-29 |
| Tabel 4.1 Ekuivalen <i>Confinement</i> Kolom dengan <i>Steel Fiber</i> yang Dikekang dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i> | 4-3 |
| Tabel 4.2 Spring Rotasi Dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i> pada Kolom 900 mm × 900 mm dengan Aksial Rasio 0,1 | 4-6 |
| Tabel 4.3 <i>Buckling Spring</i> Dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i> pada Kolom 900 mm × 900 mm dengan Aksial Rasio 0,1 | 4-7 |
| Tabel 5.1 Perbandingan Nilai Maksimum Gaya Geser Dasar dan Perpindahan Lateral | 5-8 |
| Tabel 5.2 Hasil Perhitungan <i>Performance Level</i> | 5-9 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|------|
| LAMPIRAN 1 | L1-1 |
| DESAIN BALOK SRPMK..... | L1-1 |
| LAMPIRAN 2..... | L2-1 |
| DESAIN KOLOM SRPMK..... | L2-1 |
| LAMPIRAN 3..... | L3-1 |
| DESAIN JOINT SRPMK | L3-1 |
| LAMPIRAN 4..... | L4-1 |
| DESAIN DINDING STRUKTURAL KHUSUS | L4-1 |
| LAMPIRAN 5..... | L5-1 |
| INPUT ANALISIS NONLINEAR <i>OPENSEES</i> | L5-1 |
| LAMPIRAN 6..... | L6-1 |
| MAIN PROGRAM ANALISIS NONLINEAR <i>OPENSEES</i> | L6-1 |
| LAMPIRAN 7..... | L7-1 |
| INPUT FIBER ELEMENT KE DALAM ETABS | L7-1 |
| LAMPIRAN 8..... | L8-1 |
| INPUT STATIC PUSHOVER ANALYSIS | L8-1 |
| LAMPIRAN 9..... | L9-1 |
| HASIL STATIC PUSHOVER ANALYSIS | L9-1 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konstruksi bangunan bertingkat di Indonesia sedang berkembang pesat. Hal ini terjadi karena peningkatan populasi penduduk dan terbatasnya lahan untuk mendirikan bangunan sehingga didirikan bangunan bertingkat agar pemanfaatan lahan dapat dimaksimalkan. Bangunan bertingkat di Indonesia umumnya menggunakan beton sebagai material untuk konstruksi bangunan. Namun, Indonesia merupakan daerah yang memiliki tingkat risiko gempa yang tinggi sehingga desain bangunan bertingkat harus dilakukan sesuai standar bangunan beton bertulang tahan gempa.

Seiring perkembangan zaman, teknologi beton pun terus berkembang. Salah satu inovasi dari perkembangan teknologi beton adalah penggunaan *High Performance Concrete* (HPC) pada konstruksi bangunan bertingkat di Indonesia. Definisi HPC adalah beton yang didesain dan dirancang dengan tujuan agar bangunan lebih tahan lama dan lebih kuat dari beton normal. Campuran HPC pada dasarnya terdiri dari bahan yang sama dengan campuran beton normal, tetapi proporsinya dirancang atau direkayasa untuk memberikan kekuatan dan daya tahan yang lebih baik. Salah satu jenis beton yang termasuk ke dalam HPC adalah beton mutu tinggi yang memiliki kuat tekan kurang lebih 41 MPa pada hari ke-28 (Wight dan Macgregor, 2012). Keuntungan menggunakan HPC pada konstruksi bangunan bertingkat adalah dapat memperkecil dimensi dari elemen struktur sehingga volume beton dan berat keseluruhan struktur bangunan dapat dikurangi. Oleh karena itu, area di dalam gedung akan menjadi lebih luas (Liao et al., 2016). Namun, perencanaan bangunan yang terbuat dari beton tidak hanya mempertimbangkan ketersediaan ruang, tetapi juga aspek keamanan terhadap gempa. Hal itu menjadi pertimbangan karena Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi gempa yang cukup tinggi sehingga dalam konstruksi bangunan bertingkat diperlukan perencanaan

bangunan beton bertulang tahan gempa. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar bangunan dapat menahan gaya gempa tersebut.

Salah satu sistem struktur bangunan tahan gempa adalah sistem ganda (*dual system*) yang merupakan kombinasi dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktural Khusus. SRPMK adalah suatu sistem struktur yang didesain dan terdiri dari tiga komponen, yaitu komponen lentur (balok), komponen pemikul lentur dan gaya aksial (kolom), serta hubungan balok-kolom (*joint*). Dalam sistem ganda, SRPMK menahan beban gravitasi dan mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan. Sedangkan, Dinding struktural khusus atau yang lebih dikenal sebagai dinding struktural khusus (*shear wall*) merupakan bagian dari suatu sistem sstruktur yang memikul beban-beban gravitasi maupun beban lateral yang bekerja pada struktur. Dinding struktural khusus memikul 75% dari gaya seismik yang bekerja (SNI 1726:2019).

Di Indonesia, struktur bangunan yang memiliki sistem ganda yang terbuat dari HPC masih jarang digunakan terutama untuk beton mutu tinggi yang memiliki kuat tekan di atas 70 MPa. HPC mempunyai kelemahan, yaitu semakin tinggi mutu beton maka beton tersebut akan semakin getas. Untuk mengurangi sifat getas dan meningkatkan kekakuan beton, maka ditambahkan *steel fiber* pada HPC (Liao et al., 2016). Namun, masih diperlukan studi lebih lanjut mengenai penggunaan HPC untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penggunaan material tersebut terhadap respons bangunan tahan gempa yang direncanakan berdasarkan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.

1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dari penelitian ini, yaitu diperlukan kajian untuk mendesain bangunan beton bertulang tahan gempa yang terbuat dari HPC dan mengetahui respons nonlinear struktur, yaitu hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral atap struktur, serta plastifikasi yang terjadi pada bangunan *dual system* yang terbuat dari HPC akibat beban gempa.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain bangunan beton bertulang tahan gempa yang terbuat dari HPC dan mengetahui respons nonlinear struktur, yaitu hubungan gaya geser dasar dan perpindahan lateral atap struktur, serta plastifikasi yang terjadi pada bangunan *dual system* yang terbuat dari HPC akibat beban gempa.

1.4 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Model bangunan mengacu pada FEMA P-751 yang dimodifikasi menjadi 20 lantai tanpa *basement*.
2. Bangunan merupakan struktur beton bertulang yang digunakan sebagai gedung perkantoran dengan tinggi *base* ke lantai 1 sebesar 5,5 m dan tinggi lantai tipikal 4 m.
3. Bangunan dianalisis pada kondisi tanah lunak (kelas situs E) di Surabaya.
4. Model struktur yang digunakan adalah sistem ganda yang merupakan kombinasi dari Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Dinding Struktural Khusus.
5. Jenis *steel fiber* yang digunakan adalah *hooked steel fiber* dengan kandungan volume fraksi *fiber* (V_f) sebesar 1%.
6. Mutu beton (f_c') yang digunakan adalah 100 MPa dan mutu tulangan (f_y) sebesar 420 MPa.
7. Analisis dilakukan dengan program analisis struktur.
8. Perhitungan dan desain pondasi tidak dilakukan.
9. Peraturan yang digunakan adalah:
 - a. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung.
 - b. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

- c. SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
 - d. ACI ITG-4.3R-0.7 tentang *Report on Structural Design and Detailing for High-Strength Concrete in Moderate to High Seismic Applications*.
10. Pengecekan *strong column weak beam* menggunakan program *Spcolumn*.
 11. Digunakan program *OpenSEES* untuk mengetahui respons nonlinear elemen-elemen struktur seperti balok dan kolom.
 12. Input sendi plastis dinding struktural khusus menggunakan tipe *fiber element* di dalam program analisis struktur.
 13. Dilakukan *Static Pushover Analysis*, yaitu analisis statik nonlinear untuk mengetahui kinerja bangunan.

1.5 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan 2 metode, yaitu:

1. Studi Pustaka

Studi pustaka seperti peraturan-peraturan, buku-buku, dan jurnal-jurnal digunakan untuk tinjauan pustaka dan menambah wawasan untuk referensi dalam pembahasan masalah.

2. Studi Analisis

Desain tulangan longitudinal dan transversal balok, kolom, dan dinding struktural khusus dilakukan dengan bantuan program *Excel* dan *SpColumn*. Analisis nonlinear elemen struktur menggunakan program *OpenSEES*. Analisis statik ekuivalen, analisis dinamik, dan *static pushover analysis* dilakukan dengan program analisis struktur.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

Bab 1 Pendahuluan

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

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi studi terdahulu dan teori dari SNI 2847:2019, SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, ACI ITG-4.3R-0.7, Liao et al. (2015), Liao et al. (2016), Liu dan Witarto (2015) yang menjadi landasan dalam penyusunan studi penelitian.

Bab 3 Desain Struktur Bangunan

Bab ini membahas pemodelan dan desain struktur bangunan.

Bab 4 Analisis Nonlinear

Bab ini berisi hasil analisis nonlinear elemen struktur dari *OpenSEES* dan *static pushover analysis* dari program analisis struktur.

Bab 5 Pembahasan

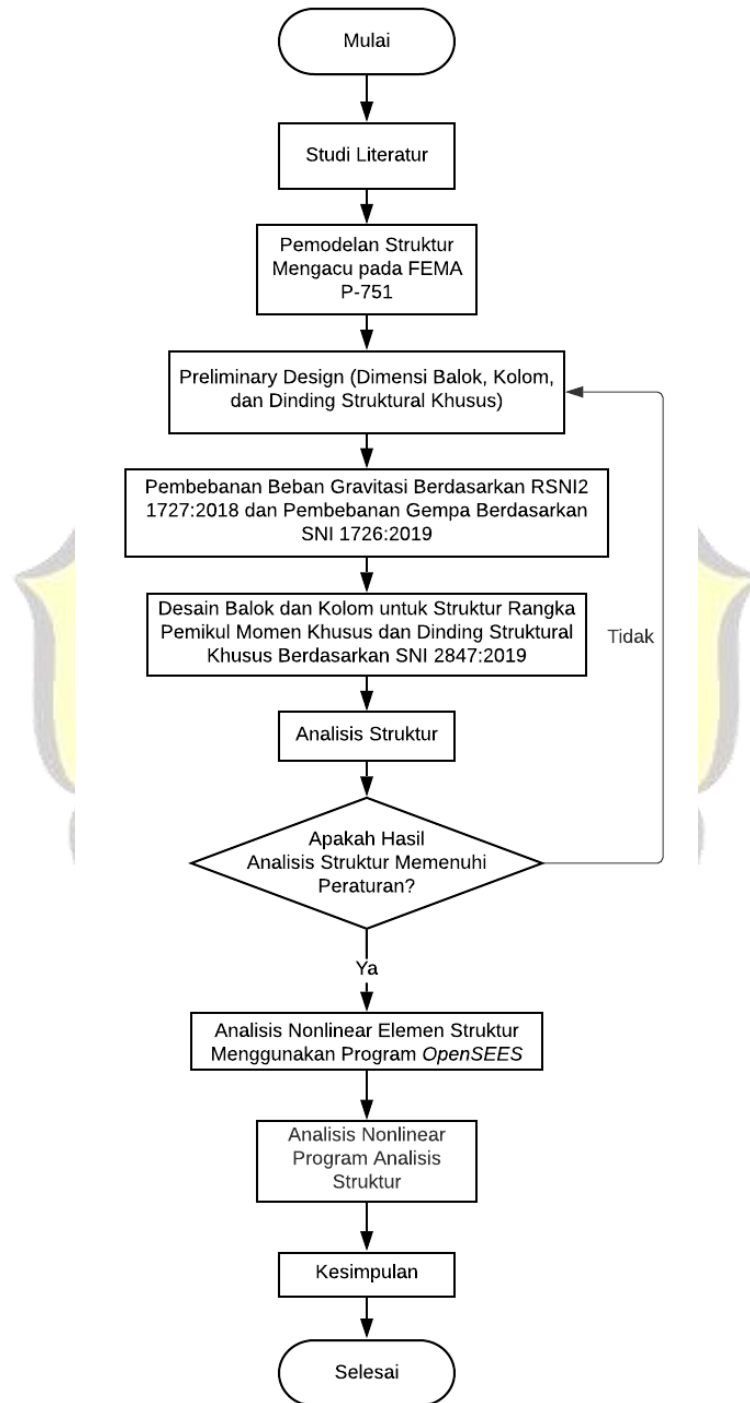
Bab ini berisi pembahasan dari hasil analisis *OpenSEES* dan program analisis struktur.

Bab 6 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis dan pembahasan yang terdapat pada Bab 4 dan 5 serta saran terhadap penelitian yang dilakukan dalam studi ini.

1.7 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian

