

SKRIPSI

***APLIKASI HIGHLY-FLOWABLE STRAIN HARDENING
FIBER REINFORCED CONCRETE (HF-SHFRCC) PADA
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS
BETON BERTULANG DI WILAYAH GEMPA***



**CATHERINE LAURENSIA
NPM : 2017410140**

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

***APLIKASI HIGHLY-FLOWABLE STRAIN HARDENING
FIBER REINFORCED CONCRETE (HF-SHFRCC) PADA
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS
BETON BERTULANG DI WILAYAH GEMPA***



**CATHERINE LAURENSIA
NPM : 2017410140**

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

APLIKASI *HIGHLY-FLOWABLE STRAIN HARDENING FIBER REINFORCED CONCRETE (HF-SHFRC)* PADA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS BETON BERTULANG DI WILAYAH GEMPA



CATHERINE LAURENSIA
NPM : 2017410140

BANDUNG, 17 FEBRUARI 2020

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

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Catherine Laurensia

NPM : 2017410140

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul *Aplikasi Highly-Flowable Strain Hardening Fiber Reinforced Concrete (HF-SHFRC) Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Beton Bertulang di Wilayah Gempa* adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 27 Januari 2021



CATHERINE LAURENSIA

2017410140

APLIKASI *HIGHLY-FLOWABLE STRAIN HARDENING FIBER REINFORCED CONCRETE (HF-SHFRC)* PADA SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN KHUSUS BETON BERTULANG DI WILAYAH GEMPA

Catherine Laurensia
NPM: 2017410140

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
FEBRUARY 2021

ABSTRAK

Pembangunan gedung bertingkat di Jakarta terus meningkat untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap gempa, sehingga semua gedung bertingkat harus memenuhi persyaratan sebagai gedung tahan gempa. Beton adalah salah satu material konstruksi yang sering digunakan untuk pembuatan struktur gedung di Indonesia karena dapat dibentuk sesuai perencanaan dan material yang mudah diperoleh. Seiring dengan berkembangnya teknologi beton, beton mutu tinggi sudah dapat diproduksi. Keuntungan menggunakan beton mutu tinggi adalah dimensi elemen struktur yang dapat diperkecil dan beton memiliki durabilitas yang lebih baik. Akan tetapi, beton mutu tinggi memiliki sifat yang lebih getas jika dibanding dengan beton normal. Oleh karena itu, tulangan sengkang yang diperlukan akan meningkat untuk mencegah keruntuhan yang bersifat *brittle*. Selain itu, dimensi penampang elemen struktur perlu diperbesar agar tidak terjadi penumpukan tulangan sengkang. *Steel fiber* adalah material alternatif yang dapat digunakan untuk meningkatkan daktilitas beton tanpa memperbesar dimensi elemen struktur atau menambah tulangan sengkang secara berlebihan. Salah satu teknologi beton dengan fiber adalah *Highly-Flowable Strain Hardening Fiber Reinforced Concrete (HF-SHFRC)*, yaitu material yang memiliki sifat *Self-Compacting Concrete (SCC)* sebelum mengeras, dan memiliki kemampuan *tensile strain hardening* setelah mengeras. Studi ini mengkaji respons bangunan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) yang terbuat dari material HF-SHFRC mutu tinggi dan membandingkannya dengan bangunan SRPMK tanpa *steel fiber*. Analisis respons nonlinier elemen struktur dilakukan menggunakan program *OpenSEES*, kemudian dilanjutkan dengan analisis *pushover* untuk mengetahui respons bangunan dengan program analisis struktur. Hasil analisis menunjukkan model dengan *steel fiber* mencapai *drift ratio* 0,24% lebih besar dibandingkan tanpa *steel fiber* pada kondisi ultimit. Sendi plastis pertama kali muncul pada balok untuk semua model yaitu saat *drift ratio* sebesar 0,5% untuk model tanpa *steel fiber* dan 0,6% untuk dengan *steel fiber*. Ini membuktikan *steel fiber* mempengaruhi proses plastifikasi pada bangunan. Gaya geser leleh semua model lebih besar dibandingkan gaya geser desain. *Performance level* untuk semua model adalah *Damage Control*.

Kata Kunci: *Steel Fiber*, Analisis *Pushover*, SRPMK, Beton Mutu Tinggi, HF-SHFRC

APPLICATION OF HIGHLY-FLOWABLE STRAIN HARDENING FIBER REINFORCED CONCRETE (HF-SHFRC) TO REINFORCED CONCRETE SPECIAL MOMENT FRAME IN HIGH SEISMIC REGION

Catherine Laurensia
NPM: 2017410140

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

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

BANDUNG
FEBRUARY 2021

ABSTRACT

Building construction in Indonesia, especially in Jakarta, is increasing over time due to increase of population every year. Indonesia is one of countries that is located within ring of fire. Therefore, earthquake resistant design of building structures is required. Concrete is one of construction materials that is commonly and widely used in high-rise building construction, since a member shape is generally easy to construct and raw materials for concrete is not difficult to get. With increasing concrete technology, high strength concrete can be produced. By using high strength concrete, the RC member section size can be reduced, and concrete durability increases as well. However, high strength concrete is more brittle than normal strength concrete. Therefore, in order to prevent brittle failure, more confinement reinforcement is required. Thus, RC member section size may need to be increased to avoid reinforcement congestion. Steel fibers can be used as one of alternative materials to increase the ductility of concrete without enlarging the dimensions of structural members or adding excessive reinforcement. One of steel fiber concrete technology is Highly-Flowable Strain Hardening Fiber Reinforced Concrete (HF-SHFRC). HF-SHFRC has good workability in fresh state as Self-Compacting Concrete (SCC) has, and exhibits tensile strain hardening in the hardened state. This study examines the response of RC special moment resisting frame buildings made of high strength HF-SHFRC, and compared them with RC buildings without steel fiber. Analysis nonlinear of structural members was performed using OpenSEES, then analysis was continued by performing pushover analysis to determine the building response with a structural analysis program. The analysis showed that the ultimate drift of structural model with steel fiber is only 0.24% greater than that of structural model without steel fibers. The first plastic hinges appeared in beams for all models with corresponding drift ratio of 0.5% for model without steel fiber and 0.6% for model with steel fiber. This proves that the presence of steel fiber affects the distribution of plastic hinges in an RC buildings. The yield base shear of all models is greater than the design base shear. The performance level for all models is Damage Control.

Keywords: Earthquake, Steel Fiber, Pushover Analysis, SRPMK, HF-SHFRC

PRAKATA

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Aplikasi *Highly-Flowable Strain Hardening Fiber Reinforced Concrete* (HF-SHFRC) Pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Beton Bertulang di Wilayah Gempa yang merupakan bagian penelitian dari dosen pembimbing penulis, Bapak Herry Suryadi, Ph.D. dan Bapak Wisena Perceka, Ph.D. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Sarjana di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Selama proses penyusunan skripsi, banyak hambatan yang dialami penulis. Akan tetapi, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini berkat bantuan dari berbagai pihak untuk mengatasi hambatan tersebut. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan adik penulis yang senantiasa memberikan semangat, dukungan dan doa untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Herry Suryadi, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
3. Bapak Wisena Perceka, Ph.D. selaku dosen ko-pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberikan wawasan dan saran kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
4. Ibu Dr.-Ing. Dina Rubiana Widarda dan Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan staff pengajar Teknik Sipil UNPAR yang telah memberikan ilmu dan materi kepada penulis selama penulis menempuh perkuliahan di UNPAR
6. Rose Marry Wirawan selaku rekan bimbingan skripsi yang telah berjuang bersama-sama dengan penulis dalam menyelesaikan skripsi.

7. Marvyn Marvellino dan Vivilia Puspita Dewi yang telah menemani penulis sejak tahun pertama perkuliahan hingga akhir.
8. Seluruh Angkatan 2017 yang telah berjuang bersama dan memberikan bantuan kepada penulis sejak masuk UNPAR hingga sekarang.
9. Serta seluruh pihak lainnya yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan banyak kekurangan serta keterbatasan akibat kemampuan penulis, sehingga penulis menerima dengan lapang dada kritik dan saran yang dapat membangun. Penulis berharap skripsi ini dapat menjadi manfaat dan bahan pengetahuan bagi mahasiswa dan penelitian selanjutnya. Sekian dan sekali lagi penulis ucapkan Terima Kasih.

Tangerang, 5 Februari 2020



Catherine Laurensia

2017410140

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan.....	1-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	1-3
1.4 Batasan Masalah.....	1-4
1.5 Metode Penelitian.....	1-5
1.6 Metode Penelitian.....	1-5
1.7 Diagram Alir.....	1-6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	2-1
2.1 Beton Mutu Tinggi.....	2-1
2.2 <i>Fiber Reinforced Concrete</i>	2-2
2.3 <i>Highly-Flowable Strain Hardening Fiber Reinforced Concrete</i>	2-3
2.4 <i>Aplikasi Steel Fiber Reinforced Concrete</i>	2-3
2.4.1 Perilaku Beton Dengan <i>Steel Fiber</i> Akibat Beban Uniaksial Tekan.....	2-4
2.4.2 Perilaku Tarik <i>Steel Fiber Reinforced Concrete</i>	2-5
2.4.3 Perilaku Kolom Beton Mutu Tinggi Dengan <i>Steel Fiber</i> Akibat Beban Uniaksial Tekan.....	2-7

2.4.4	Perilaku Siklik Kolom Beton Mutu Tinggi Dengan <i>Steel Fiber</i>	2-8
2.5	Sistem Struktur.....	2-10
2.5.1	Sistem Rangka Pemikul Momen.....	2-10
2.5.2	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	2-10
2.6	Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa	2-10
2.6.1	Penentuan Beban Gravitasi Berdasarkan SNI 1727:2020	2-10
2.6.2	Penentuan Beban Gempa Berdasarkan SNI 1726-2019	2-12
2.6.3	Perencanaan Komponen Struktur Beton Tahan Gempa Berdasarkan SNI 2847:2019	2-32
2.7	Analisis Non-Linear	2-37
2.7.1	Kurva Tegangan-Regangan Beton Dengan <i>Steel Fiber</i> Akibat Beban Tekan Uniaksial	2-37
2.7.2	Kurva Tegangan-Regangan Beton Dengan <i>Steel Fiber</i> Akibat Beban Tarik Uniaksial.....	2-39
2.7.3	Kurva Tegangan-Regangan Beton Mutu Tinggi Terkekang Akibat Beban Tekan Uniaksial	2-39
2.7.4	Efisiensi Kekangan Beton Mutu Tinggi Dengan <i>Steel Fiber</i> Yang Terkekang Akibat Beban Uniaksial Tekan	2-48
2.7.5	OpenSEES.....	2-51
2.7.6	Kolom Kantilever Ekuivalen	2-51
2.7.7	Model Analisis	2-52
2.7.8	Analisis <i>Pushover</i>	2-56
2.8	Mekanisme Sendi Plastis	2-59
BAB 3 DESAIN STRUKTUR GEDUNG.....		3-1
3.1	Data Pemodelan	3-1
3.2	Data Struktur Bangunan.....	3-2
3.3	Pemodelan Struktur	3-4
3.4	Data Pembebanan	3-5
3.5	Hasil Analisis	3-8
3.5.1	Periode Fundamental dan Partisipasi Massa.....	3-8

3.5.2	Pemeriksaan Ketidakberaturan Horizontal	3-10
3.5.3	Pemeriksaan Ketidakberaturan Vertikal	3-13
3.5.4	Faktor Skala	3-17
3.5.5	Cek Faktor Redundansi	3-17
3.6	Perencanaan Elemen Struktur	3-18
3.6.1	Penulangan Balok kN/m^2	3-18
3.6.2	Penulangan Kolom	3-18
3.7	Pengecekan Simpangan	3-19
3.8	Pengaruh P-Delta	3-20
BAB 4 ANALISIS NONLINEAR		4-1
4.1	Kurva Tegangan-Regangan Beton Tak Terkekang (Dengan dan Tanpa <i>Fiber</i>)	4-1
4.2	Ekivalen <i>Confinement</i> Kolom dengan <i>Steel Fiber</i> yang Dikekang oleh Tulangan Transversal	4-2
4.3	Kurva Tegangan-Regangan Beton Terkekang Dengan dan Tanpa <i>Fiber</i> ..	4-3
4.4	Ekivalen Kantilever Komponen Beton Bertulang dengan <i>Rotation Spring</i> dan <i>Buckling Spring</i>	4-4
4.5	Perilaku Siklik Balok dan Kolom	4-6
4.6	Penentuan Kurva Envelope	4-7
4.7	<i>Pushover Analysis</i>	4-9
4.8	Input Sendi Plastis	4-9
4.9	Analisis Model 1	4-10
4.10	Analisis Model 2	4-12
4.11	Analisis Model 3	4-14
4.12	Analisis Model 4	4-15
BAB 5 PEMBAHASAN		5-1
5.1	Desain Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	5-1
5.2	Analisis Non-Linear	5-2
5.3	Analisis Statik <i>Pushover</i>	5-6

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 (mm^2)
- A_{cp} : Luas yang Dibatasi oleh Keliling Luar Penampang Beton (mm^2)
- A_{cv} : Luas Bruto Penampang Beton dalam Kasus Diafragma, Tebalnya Tidak Melebihi Lebar Diafragma (mm^2)
- A_{cw} : Luas Penampang Beton Pilar Tunggal (mm^2)
- A_g : Luas Bruto Penampang Beton (mm^2)
- A_j : Luas Penampang Efektif pada *Joint* di Bidang yang Paralel terhadap Bidang Tulangan yang Menimbulkan Geser dalam *Joint* (mm^2)
- A_s : Luas Tulangan Lentur (mm^2)
- A_{sh} : Luas Penampang Total Tulangan Transversal dan Tegak Lurus terhadap Dimensi b_c (mm^2)
- $A_{s \min}$: Luas Minimum Tulangan Lentur (mm^2)
- A_v : Luas Tulangan Geser (mm^2)
- $A_{v \min}$: Luas Minimum Tulangan Geser (mm^2)
- 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_{D5} : 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 : Peta 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 b_d
 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 Studi	1-7
Gambar 2.1 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan	2-2
Gambar 2.2 Kurva hubungan tegangan dan regangan beton mutu tinggi dengan fraksi volume fiber yang berbeda.....	2-4
Gambar 2.3 Respons tegangan-regangan FRC konvensional dan HPFRCC	2-5
Gambar 2.4 Kurva tegangan-regangan tarik dengan regangan hingga 0.5% dari... 2-6	
Gambar 2.5 Kurva tegangan-regangan tarik dengan regangan hingga 2% dari.....	2-6
Gambar 2.6 Detail dan konfigurasi dari spesimen yang diuji	2-7
Gambar 2.7 Beban normalisasi P_c/P_o vs kurva regangan aksial beton untuk spesimen kolom: (a) S80-0.0 dan S80-0.75; (b) S120-0.0 dan S120-1.0	2-8
Gambar 2.8 Kurva histeresis S140-1.0 dan S140-1.5	2-9
Gambar 2.9 Spektrum respons desain, SNI 1726:2019.....	2-19
Gambar 2.10 Penentuan simpangan antar tingkat, SNI 1726:2019	2-27
Gambar 2.11 Model kurva tegangan-regangan untuk SRFC	2-37
Gambar 2.12 <i>Arching action</i> pada beton terkekang	2-40
Gambar 2.13 Pengaruh <i>Confinement</i> pada Kekuatan Puncak Beton	2-44
Gambar 2.14 Pengaruh <i>Confinement</i> pada Regangan Puncak Beton.....	2-44
Gambar 2.15 Pengaruh <i>Confinement</i> pada Daktilitas Beton.....	2-45
Gambar 2.16 Usulan Kurva Tegangan-Regangan untuk Beton Mutu Tinggi Terkekang	2-46
Gambar 2.17 Pengaruh Kekangan terhadap Koefisien k_2	2-47
Gambar 2.18 Definisi <i>Toughness Ratio (TR)</i>	2-48
Gambar 2.19 <i>Arching Action</i> pada Beton Terkekang dan Inti Terkekang Efektif	2-49
Gambar 2.20 Hubungan <i>TR</i> dan <i>Effective Confinement Index</i> ke $p_s f_{ytc}'$	2-50
Gambar 2.21 Konfigurasi Tes Kolom	2-52
Gambar 2.22 Model Analisis.....	2-53
Gambar 2.23 Hubungan tegangan-regangan pokok	2-54
Gambar 2.24 <i>Shear Spring</i> dengan Kurva Batas Geser yang Digeser	2-55
Gambar 2.25 Kurva <i>Static Pushover</i> Teridealisasi	2-57

Gambar 2.26 Kurva Gaya Perpindahan Teridelisasi	2-57
Gambar 3.1 Gedung 12 Lantai Berdasarkan FEMA P-695.....	3-1
Gambar 3.2 Model 3D Bangunan.....	3-4
Gambar 3.3 Denah Tipikal Bangunan	3-5
Gambar 4.1 Kurva tegangan-regangan beton tak terkekang	4-1
Gambar 4.2 Kurva tegangan-regangan beton terkekang	4-4
Gambar 4.3 Kurva histeresis balok	4-7
Gambar 4.4 Kurva histeresis kolom 650 mm x 650 mm.....	4-7
Gambar 4.5 Kurva histeresis dan <i>backbone</i> balok	4-8
Gambar 4.6 Kurva histeresis dan <i>backbone</i> kolom.....	4-8
Gambar 4.7 Gambar pemodelan lokasi sendi plastis	4-10
Gambar 4.8 Gambar persebaran sendi plastis model 1	4-11
Gambar 4.9 Hasil <i>pushover analysis</i> model 1	4-12
Gambar 4.10 Gambar persebaran sendi plastis model 2	4-13
Gambar 4.11 Hasil <i>pushover analysis</i> model 2	4-13
Gambar 4.12 Gambar persebaran sendi plastis model 3	4-14
Gambar 4.13 Hasil <i>pushover analysis</i> model 3	4-15
Gambar 4.14 Gambar persebaran sendi plastis model 4	4-16
Gambar 4.15 Hasil <i>pushover analysis</i> model	4-16
Gambar 5.1 Hasil kurva histeretik kolom tanpa fiber	5-2
Gambar 5.2 Hasil kurva histeretik kolom dengan fiber	5-3
Gambar 5.3 Hasil kurva histeretik kolom 0,1Agf°c	5-4
Gambar 5.4 Hasil kurva histeretik kolom 0,2Agf°c	5-4
Gambar 5.5 Hasil kurva histeretik kolom 0,25Agf°c	5-5
Gambar 5.6 Hasil kurva kapasitas keempat model	5-6

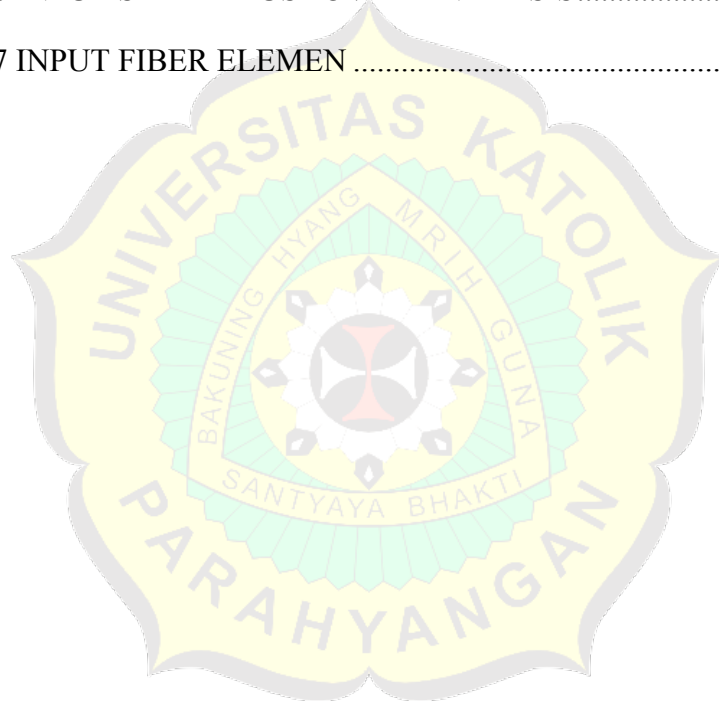
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Beban Mati Tambahan pada Pelat Lantai	2-11
Tabel 2.2 Beban Mati Tambahan pada Pelat Atap.....	2-11
Tabel 2.3 Beban Mati Tambahan pada Dinding	2-12
Tabel 2.4 Beban Hidup.....	2-12
Tabel 2.5 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa Berdasarkan Jenis Pemanfaatan Bangunan.....	2-13
Tabel 2.6 Faktor Keutamaan Gempa.....	2-15
Tabel 2.7 Klasifikasi Situs	2-15
Tabel 2.8 Koefisien Situs, F_a	2-17
Tabel 2.9 Koefisien Situs, F_v	2-17
Tabel 2.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek (S_d)	2-20
Tabel 2.11 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik (S_{d1}).....	2-20
Tabel 2.12 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa	2-21
Tabel 2.13 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	2-24
Tabel 2.14 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x	2-25
Tabel 2.15 Ketidakberaturan Horizontal.....	2-28
Tabel 2.16 Ketidakberaturan Vertikal.....	2-30
Tabel 2.17 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa Berdasarkan Jenis Pemanfaatan Bangunan.....	2-36
Tabel 2.18 Tingkat Kinerja Struktur Sesuai ATC-40	2-59
Tabel 3.1 Data Material.....	3-3
Tabel 3.2 Ukuran Penampang Elemen Struktur yang Digunakan	3-4
Tabel 3.3 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Lantai	3-5
Tabel 3.4 Beban Mati Tambahan Pada Pelat Atap.....	3-6
Tabel 3.5 Beban Mati Tambahan Pada Dinding	3-6
Tabel 3.6 Beban Hidup.....	3-6
Tabel 3.7 <i>Modal Participating Mass Ratio</i> Model 1	3-9

Tabel 3.8 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b Model 1	3-10
Tabel 3.9 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 1a dan 1b Model 1	3-13
Tabel 3.10 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal 2 Model 1	3-15
Tabel 3.11 Hasil Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 5a dan 5b Model 1	3-16
Tabel 3.12 Faktor Skala	3-17
Tabel 3.13 Faktor Redundansi	3-17
Tabel 3.14 Penulangan Balok.....	3-18
Tabel 3.15 Penulangan Kolom	3-18
Tabel 3.16 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Arah X Model 1	3-19
Tabel 3.17 Pengecekan Simpangan Antar Tingkat Arah Y Model 1	3-20
Tabel 3.18 Pengaruh P-Delta Arah X Model 1	3-21
Tabel 3.19 Pengaruh P-Delta Arah Y Model 1	3-21
Tabel 4.1 Ekuivalen <i>Confinement</i> Kolom dengan <i>Steel Fiber</i> yang dikekang Tulangan Transversal.....	4-3
Tabel 4.2 Spring Rotasi Dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i>	4-5
Tabel 4.3 <i>Buckling Spring</i> Dengan <i>Fiber</i> dan Tanpa <i>Fiber</i>	4-6
Tabel 5.1 Perpindahan dan gaya geser dasar maksimum.....	5-6
Tabel 5.2 Tingkat kinerja struktur.....	5-7

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN PENULANGAN BALOK	L1-1
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN PENULANGAN KOLOM	L2-1
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN JOINT	L3-1
LAMPIRAN 4 INPUT ANALISIS NONLINEAR	L4-1
LAMPIRAN 5 MAINPROGRAM ANALISIS NONLINEAR.....	L5-1
LAMPIRAN 6 INPUT STATIK PUSHOVER ANALYSIS.....	L6-1
LAMPIRAN 7 INPUT FIBER ELEMEN	L7-1



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan sarana dan prasarana untuk menunjang kehidupan dibutuhkan dengan semakin berkembangnya jaman dan pertumbuhan penduduk Indonesia yang semakin pesat. Konstruksi bangunan gedung bertingkat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan sarana dan prasarana karena keterbatasan lahan di daerah perkotaan. Perancangan struktur adalah salah satu aspek penting dalam pembangunan gedung bertingkat. Dalam perancangan struktur, perlu diperhatikan kekuatan dan stabilitas bangunan.

Indonesia yang terletak pada perbatasan tiga lempeng tektonik mengakibatkan wilayah Indonesia rawan mengalami gempa bumi karena pergerakan lempeng tersebut. Oleh karena itu, pembangunan gedung bertingkat tahan gempa diperlukan agar bangunan tersebut dapat menahan gaya gempa yang terjadi. Salah satu sistem struktur gedung tahan gempa adalah sistem rangka pemikul momen yang merupakan sistem rangka ruang yang terdiri dari balok, kolom, di mana daerah balok yang merangka ke dalam kolom yang kemudian disebut dengan joint. Selain itu, sistem rangka pemikul momen mendisipasi energi gempa melalui mekanisme lentur, yaitu terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujung balok dan kaki kolom lantai dasar. Seperti yang telah diketahui, terdapat 3 sistem rangka pemikul momen, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Sistem SRPMK digunakan untuk wilayah dengan tingkat kegempaan yang tinggi.

Salah satu material yang sering digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat di Indonesia dengan sistem SRPMK adalah beton karena lebih kuat menahan tekan dibandingkan baja dan mudah dibentuk sesuai keinginan. Seiring dengan perkembangan jaman, teknologi beton juga terus berkembang yang diantaranya adalah beton mutu tinggi. Salah satu keuntungan beton mutu tinggi adalah dapat memperkecil dimensi

yang dibutuhkan, seperti memperkecil dimensi kolom dan balok agar area di dalam gedung tersebut menjadi lebih luas. Namun, struktur beton memiliki kelemahan yaitu bersifat getas dan tidak kuat menahan gaya tarik. Sifat getas beton ini juga dipengaruhi oleh mutu beton dan gaya aksial yang ada di mana semakin tinggi mutu beton dan gaya aksial yang diterima, semakin getas beton tersebut (Ou dan Kurniawan, 2015). Hal ini terutama terjadi pada kolom lantai dasar yang menerima akumulasi beban dari lantai di atasnya.

Tulangan sengkang digunakan untuk mengatasi sifat getas beton mutu tinggi yang juga menerima beban aksial yang besar. Jumlah tulangan sengkang harus direncanakan sedemikian agar kolom tetap bersifat daktail. Namun, penggunaan tulangan sengkang yang terlalu rapat akan mempersulit pelaksanaan saat konstruksi. SNI 2847 juga membatasi besarnya gaya geser yang disumbangkan tulangan transversal. Di samping itu, penambahan tulangan yang terlalu banyak membuat jarak antar tulangan terlalu rapat yang mengakibatkan dimensi kolom harus diperbesar. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daktilitas beton tanpa memperbesar dimensi ataupun menggunakan tulangan sengkang berlebihan adalah dengan menggunakan *steel fiber*.

Penggunaan *steel fiber* pada beton dapat mempengaruhi ratakan yang terjadi dan mengurangi degradasi kekakuan pada beton (Liao et.al., 2015). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Liao dkk, kinerja kolom ditingkatkan dengan menambahkan serat baja pada beton tersebut. Selain itu, penggunaan *steel fiber* dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekuatan lentur benton (Balendran et.al., 2002). Namun, penambahan *steel fiber* dapat mengurangi tingkat *workability* beton sebelum mengeras. Pada tahun 2017, Liao dkk mengusulkan *Highly-Hlowable Strain Hardening Fiber Reinforced Concrete* (HF-SHFRC) yang merupakan gabungan antara *self-compacting concrete* ketika dalam keadaan segar dan memiliki *tensile strength hardening* yang merupakan karakteristik dari *High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites* (HPFRCC) pada saat mengeras. Aplikasi HF-SHFRC pada elemen struktur beton bertulang mutu tinggi sudah dilakukan dan terbukti dapat mensubstitusi tulangan transversal (Perceka et.al., 2016). Namun, analisis pengaruh dari aplikasi HF-SHFRC pada perilaku SRPMK di wilayah gempa di Indonesia belum dilakukan.

1.2 Inti Permasalahan

Penambahan tulangan pada balok dan kolom beton bertulang mempunyai pengaruh besar terhadap tingkat daktilitas beton bertulang. Meningkatnya daktilitas beton berarti meningkatnya kemampuan beton untuk menahan respon inelastik dalam memikul beban agar keruntuhan yang bersifat tidak terjadi. Namun, penambahan tulangan yang berlebihan menyebabkan spasi antar tulangan semakin rapat sehingga diperlukan penambahan dimensi. Di sisi lain, penambahan dimensi merupakan hal yang tidak diharapkan guna memperoleh ruang lebih besar dalam area yang terbatas. Penggunaan *Highly-flowable strain hardening fiber reinforced concrete* (HF-SHFRC) sudah terbukti secara analisis dan eksperimental dapat menambah kekuatan, kekerasan, dan daktilitas beton tanpa memperbesar dimensi. Namun, belum ada penelitian baik secara eksperimental maupun analisis mengenai kinerja SRPMK yang menggunakan material HF-SHFRC. Maka, perlu dilakukan studi dalam mendesain bangunan beton bertulang SRPMK di wilayah gempa tinggi yang sesuai dengan SNI 2847 dan SNI 1726 dan mengetahui respons struktur bangunan tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendesain gedung tahan gempa di Indonesia dengan sistem rangka pemikul momen khusus berdasarkan SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.
2. Mengaplikasikan HF-SHFRC sebagai pensubstitusi tulangan *confinement* kolom yang direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013 pada bangunan yang telah didesain seperti yang telah disebutkan pada poin 1.
3. Membandingkan gaya geser dasar, perpindahan atap lateral struktur, dan penyebaran sendi platis dari kedua model.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Pemodelan gedung struktur beton bertulang mengacu pada FEMA P-695 dengan jumlah tingkat 12 lantai.
2. Dimensi elemen struktur yang digunakan sama untuk kedua model.
3. Fungsi bangunan adalah sebagai gedung kantor dengan tinggi lantai 1 ke lantai 2 sebesar 4,5 m dan tinggi lantai 2 ke lantai berikutnya sebesar 4 m.
4. Bangunan terdapat di Jakarta dengan kondisi tanah lunak (situs tanah E).
5. Sistem struktur gedung menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
6. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 70$ MPa
7. Mutu baja tulangan yang digunakan adalah $F_y = 420$ MPa
8. *Steel fiber* yang digunakan adalah *hooked-end steel fiber* dengan volume fraksi sebesar 1,5%.
9. Tegangan tarik *steel fiber* yang digunakan adalah 2300 MPa.
10. Perhitungan struktur menggunakan bantuan program analisis struktur.
11. Perhitungan dan desain pondasi tidak dilakukan.
12. Untuk mengetahui respons nonlinear elemen-elemen struktur, digunakan aplikasi *OpenSEES*.
13. Analisis nonlinear yang dilakukan adalah analisis *pushover*.
14. Peraturan yang digunakan:
 - 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. RSNI 1727:2018 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
 - d. ACI ITG-4.3R-07 tentang *Report on Structural Design and Detailing for High-Strength Concrete in Moderate to High Seismic Applications*

1.5 Metode Penelitian

Penulisan skripsi ini menggunakan dua metode sebagai berikut:

1. Studi pustaka

Beberapa bahan seperti buku, skripsi, jurnal, dan peraturan-peraturan yang bersangkutan digunakan sebagai referensi untuk tinjauan pustaka dan landasan dalam pembahasan masalah.

2. Studi analisis

Program analisis struktur digunakan untuk melakukan analisis linier dan non-linier. Proses perhitungan untuk desain tulangan balok dan kolom menggunakan bantuan program Microsoft Excel. *Program OpenSEES* digunakan untuk analisis non-linear komponen struktur.

1.6 Metode Penelitian

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini, disusun sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, sistematika penulisan, dan diagram alir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar-dasar teori yang akan digunakan dalam penelitian ini.

BAB 3 STUDI KASUS

Bab ini berisi desain dan pemodelan struktur bangunan dan pengecekan syarat struktur bangunan tahan gempa.

BAB 4 ANALISIS

Bab ini berisi hasil analisis gedung menggunakan bantuan program analisis struktur. Terdapat juga hasil analisis non-linear yang menggunakan bantuan program *OpenSEES*.

BAB 5 PEMBAHASAN

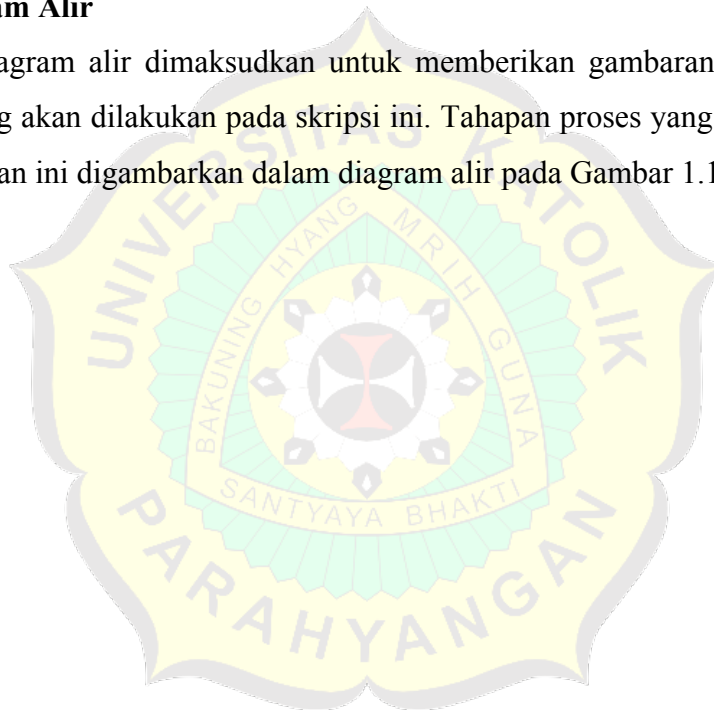
Bab ini berisi hasil analisis dari model yang ada dan pembahasan dari hasil analisis tersebut.

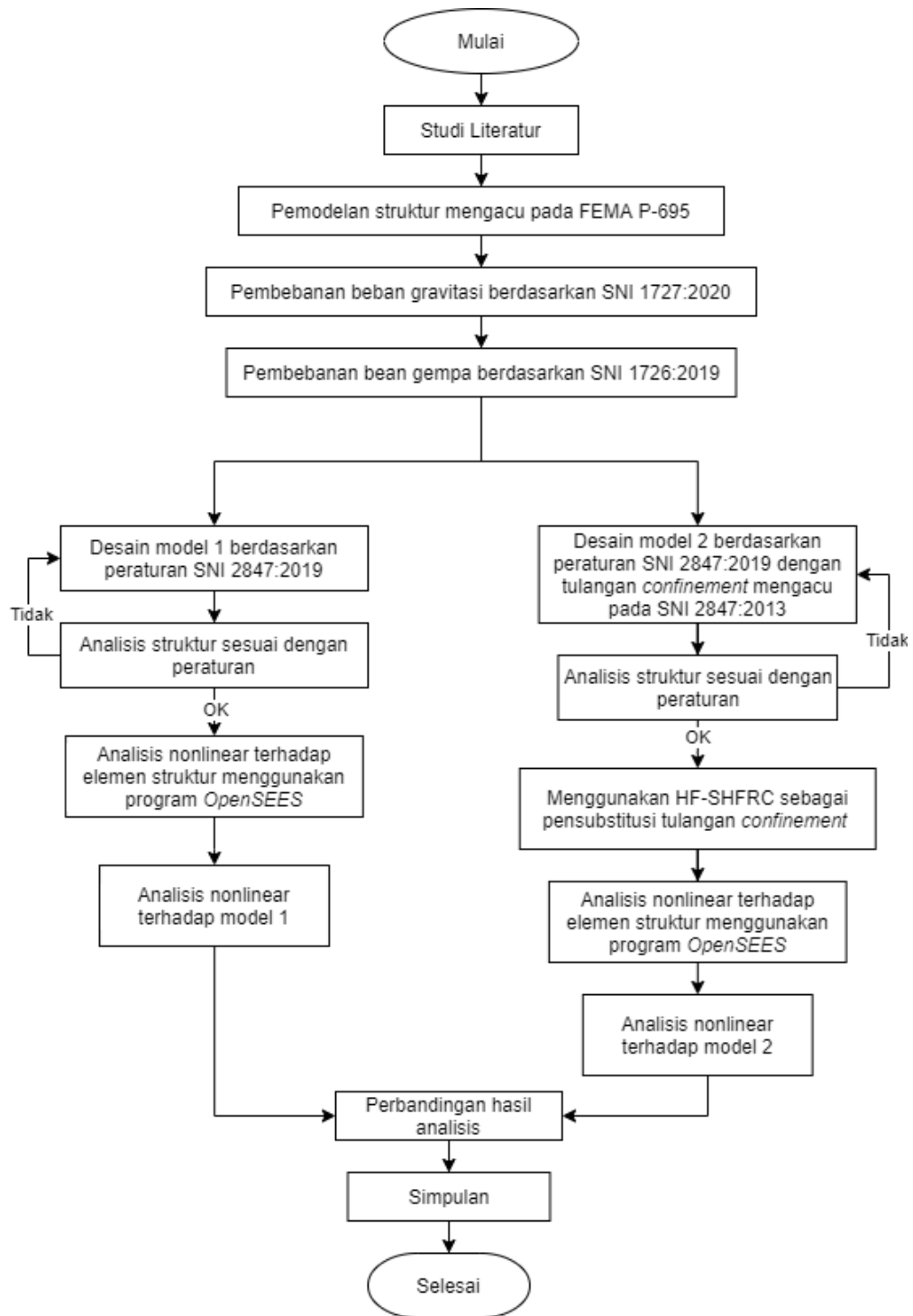
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan akhir berdasarkan hasil analisis yang ada dan saran-saran terhadap penelitian ini.

1.7 Diagram Alir

Pembuatan diagram alir dimaksudkan untuk memberikan gambaran tentang proses penelitian yang akan dilakukan pada skripsi ini. Tahapan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 1.1 berikut:





Gambar 1.1 Diagram Alir Studi

