

SKRIPSI

**UJI NUMERIK BALOK BETON BERTULANG BFRP
YANG DIBEKANI MONOTONIK TERPUSAT
DENGAN BANTUAN ATENA 3D**



ALMIRA JANUARITA KUSUMADEWI

NPM : 2014410136

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JULI 2018**

SKRIPSI

**UJI NUMERIK BALOK BETON BERTULANG BFRP
YANG DIBEKANI MONOTONIK TERPUSAT
DENGAN BANTUAN ATENA 3D**



ALMIRA JANUARITA KUSUMADEWI

NPM : 2014410136

BANDUNG, 5 JULI 2018

PEMBIMBING

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JULI 2018**

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

Nama lengkap : Almira Januarita Kusumadewi

NPM : 2014410136

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul : *Uji Numerik Balok Beton Bertulang BFRP yang Dibebeani Monotonik Terpusat dengan Bantuan Atena 3D* 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.



Bandung, 5 Juli 2018



Almira Januarita Kusumadewi

2014410136

UJI NUMERIK BALOK BETON BERTULANG BFRP YANG DIBEKANI MONOTONIK TERPUSAT DENGAN BANTUAN ATENA 3D

**Almira Januarita Kusumadewi
NPM : 2014410136**

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

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JULI 2018**

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu material utama untuk pembangunan konstruksi. beton membutuhkan tulangan – tulangan baja untuk memberikan kekuatan tarik yang diperlukan pada beton. Akan tetapi kontak langsung dengan air dan klorida dapat mengurangi kandungan yang ada di tulangan baja dan dapat membuat tulangan baja menjadi korosi. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu digunakan tulangan anti korosi seperti tulangan *Basalt Fiber Reinforced Polymer* yang mempunyai sifat kuat tarik yang tinggi. Untuk mengetahui perilaku suatu elemen beton bertulang dengan tulangan membutuhkan suatu uji eksperimental, tetapi karena uji eksperimental akan memakan waktu dan biaya yang banyak maka program komputer berbasis metode elemen hingga menjadi alternatif. Dalam skripsi ini, uji numerik dilakukan terhadap balok beton bertulang dengan tulangan BFRP berdasarkan uji eksperimental oleh Luna Salh. Uji dilakukan menggunakan program Atena 3D. Program ini mempunyai tiga fungsi utama yaitu pre-processing, analisis dan post-processing. Hasil yang didapat dari uji numerik mampu menghasilkan nilai beban. Pada balok beton bertulang dengan tulangan BFRP perbedaan beban puncaknya sebesar 0.62 kN.

Kata Kunci : Beton bertulang, fiber reinfocef polymer,metode elemen hingga,
Atena 3D

NUMERICAL TESTS OF BFRP REINFORCED CONCRETE CENTRAL MONOTONIC LOAD WITH ATENA 3D HELP

Almira Januarita Kusumadewi

NPM : 2014410136

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

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 227/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JULY 2018**

ABSTRACT

Concrete is one of the main materials for construction. concrete requires steel reinforcement to provide the required tensile strength to the concrete. However, direct contact with water and chlorides can reduce the existing content in the steel reinforcement and can make steel reinforcement into corrosion. To overcome the problem it is necessary to use anti-corrosion reinforcement like Basalt Fiber Reinforced Polymer reinforcement which has high tensile strength properties. To know the behavior of a reinforced concrete element with reinforcement requires an experimental test, but because the experimental test will take a lot of time and cost then the computer program based on finite element method becomes an alternative. In this thesis, numerical tests were performed on reinforced concrete beams with BFRP reinforcement based on experimental test by Luna Salh. The test is done using the 3D Atena program. The program has three main functions, pre-processing, analysis and post-processing. Results obtained from numerical tests are able to generate load values. In the concrete beam betulang with BFRP reinforcement the difference of peak load is 0.62 kN.

Keywords : Reinforced concrete, reinfocef polymer fiber, finite element method,
Atena 3D

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan penyertaanNya selama penulis menjalani penyusunan skripsi yang berjudul *Uji Numerik Balok Beton Bertulang BFRP yang Dibebeani Monotonik Terpusat dengan Bantuan Atena 3D* akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan studi S-1 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung tempat penulis menjalankan studinya.

Proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari hambatan, baik selama proses persiapan, pelaksanaan, pengujian, maupun penulisan. Oleh karenanya penulis sangat berterima kasih atas saran, kritik, serta dorongan yang diberikan oleh berbagai pihak selama proses pembuatan skripsi ini hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam – dalamnya kepada :

1. Bapak Dr. Djoni Simanta, Ir., M.T selaku dosen pembimbing yang selalu membantu dan membimbing serta memberi masukan dan saran selama proses pembuatan skripsi ini.
2. Ibu Lidya Fransisca Tjong, Ir., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Buen Sian, Ir., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Alm mama, papa dan kakak penulis yang senantiasa memberi doa, dorongan semangat dan bantuan yang tiada hentinya dalam proses penelitian skripsi ini.
5. Gita Indah Puspitasari Wahyudi, teman satu bimbingan yang selalu berada dikondisi yang sama, suka, senang, duka, ataupun sedih.
6. Teman – teman seperjuangan teknik sipil Laurentia Inez, Aisyah Arifin, Bella Siti Fauziah, Annisa Soliha, Ressa Regina, Astrid Marion, Gina Gestiana.

7. Teknik Sipil 2014 atas kebersamaannya selama 4 tahun studi di Universitas Katolik Parahyangan.
8. Semua pihak yang telah membantu dan mendoakan yang tak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Penulis menerima segala bentuk saran dan kritik yang membangun dan berharap skripsi ini dapat berguna untuk penelitian dan penerapan kelak di masa yang akan datang.

Bandung, 5 Juli 2018

Penulis,



Almira Januarita Kusumadewi

2014410136

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-2
1.3 Tujuan Penelitian	1-2
1.4 Pembatasan Masalah	1-2
1.5 Metode Penelitian	1-4
1.6 Diagram Alir	1-4
1.7 Sistematika Penulisan	1-5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2-1
2.1 Tesis “ <i>Analysis and Behaviour of Structural Concrete Reinforced with Sustainable Materials</i> ”	2-1
2.1.1 Pendahuluan	2-1
2.1.2 Tujuan Penelitian	2-1
2.1.3 Model Benda Uji	2-2
2.2 Beton (SNI 2847-2013)	2-2
2.2.2 Kuat Tarik	2-2
2.2.3 Kuat Tekan	2-4

2.2.4	Kuat Lentur	2-5
2.3	<i>Fiber Reinforced Polymer</i> (ACI 440.1R-15)	2-6
2.4	<i>Basalt Fiber Reinforced Polymer</i> (BFRP)	2-8
2.5	Teori Desain	2-9
2.5.1	Properti Material Desain	2-9
2.5.2	Desain Lentur	2-11
2.5.3	Lendutan.....	2-14
2.6	Analisis Elemen Hingga.....	2-15
2.6.1	Elemen dalam Analisis Elemen Hingga.....	2-16
BAB 3 PROGRAM ATENA 3D		3-1
3.1	Pendahuluan	3-1
3.2	Pemodelan Material Beton	3-1
3.2.1	Constitutive Model SBETA (CCSbetaMaterial).....	3-1
3.2.2	<i>Fracture-Plastic Constitutive Model</i>	3-11
3.3	Pemodelan Material Tulangan.....	3-13
3.3.1	Hubungan Tegangan-Regangan Bilinier.....	3-13
3.3.2	Hubungan Tegangan-Regangan Multilinier.....	3-14
3.4	Elemen Hingga	3-15
3.4.1	Elemen Solid 3D	3-15
3.5	Mesh Elemen Hingga (Finite Element Mesh).....	3-17
3.6	Parameter Solusi Nonlinier pada Atena 3D.....	3-17
3.6.1	Metode Newton-Raphson Penuh.....	3-17
3.6.2	Metoda Newton-Raphon Modifikasi	3-19
BAB 4 STUDI KASUS.....		4-1
4.1	Model Atena	4-1
4.2	Pemodelan Benda Uji	4-1

4.3	Data Pemodelan.....	4-2
4.4	Data Pembebanan	4-2
4.5	Data Material	4-2
4.5.1	Material Beton.....	4-2
4.5.2	Material Pelat Baja.....	4-3
4.5.3	Material Tulangan	4-4
4.6	Langkah Pemodelan	4-5
4.6.1	Pre-Processing.....	4-5
4.6.2	Analisis.....	4-10
4.6.3	Post-Processing	4-11
BAB 5 PEMBAHASAN HASIL ANALISIS		5-1
5.1	Grafik Beban Peralihan Hasil Eksperimental.....	5-1
5.2	Grafik Beban Peralihan Hasil Analisis Program.....	5-2
5.3	Perbandingan Grafik Beban Peralihan dari Hasil Eksperimental dan Analisis Program.....	5-4
5.4	Pola Retakan dari Hasil Analisis Program Atena 3D.....	5-6
5.5	Perbandingan Rasio Tulangan.....	5-7
5.6	Pembahasan Hasil Analisis Penampang menggunakan ACI 440.1R-15	5-9
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		6-1
6.1	Kesimpulan.....	6-1
6.2	Saran.....	6-2
DAFTAR PUSTAKA		xvi
LAMPIRAN A PERHITUNGAN RASIO TULANGAN DENGAN ACI 440.1R-15.....		L1-1
LAMPIRAN B TABEL HASIL ANALISIS BALOK DENGAN TULANGAN BFRP.....		L2-1

LAMPIRAN C TABEL HASIL ANALISIS BALOK DENGAN TULANGAN BAJA.....	L3-1
LAMPIRAN D TABEL HASIL ANALISIS BALOK TULANGAN BFRP DENGAN RASIO TULANGAN 0.6%	L4-1
LAMPIRAN E TABEL HASIL ANALISIS BALOK TULANGAN BFRP DENGAN RASIO TULANGAN 1 %	L5-1
LAMPIRAN F TABEL HASIL ANALISIS BALOK MENGGUNAKAN TULANGAN BFRP DENGAN JUMLAH <i>LOAD STEP</i> 100	L6-1
LAMPIRAN G CEK ANALISIS PENAMPANG	L7-1

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_f	= Luas Tulangan FRP
$A_{f,min}$	= Luas minimum dari tulangan FRP
b	= Lebar balok
C_E	= Faktor reduksi pengaruh lingkungan
d	= Tinggi efektif balok
d_b	= Diameter tulangan
d_{bs}	= Diameter tulangan sengkang
E_c	= Modulus elastisitas beton
E_f	= Modulus elastisitas FRP
E_o	= Modulus elastisitas awal
$f(p)$	= Vektor gaya dalam titik
f_c'	= Kuat tekan beton silinder
f_{cu}	= Kekuatan beton kubus
f_f	= Kuat tarik nominal FRP
f_{fu}	= Kuat tarik <i>ultimate</i> FRP untuk perencanaan
f_{fu}^*	= Kuat tarik <i>ultimate</i> FRP jaminan dari pabrik
f_c^{ef}	= Kekuatan tekan efektif beton
f_t^{ef}	= Kekuatan tarik berasal dari fungsi kegagalan
f_r	= Modulus keruntuhan (<i>modulus of rupture</i>)
f_t	= Kuat tarik beton
f_y	= Tegangan leleh tulangan baja

G_f	= Energi retak yang dibutuhkan untuk membentuk sebuah area dari retak tegangan bebas
h	= Panjang silinder beton
I	= Momen inersia
I_{cr}	= Momen inersia penampang retak
I_e	= Momen inersia efektif
I_g	= Momen inersia bruto
k	= Parameter bentuk
$K(p)$	= Matriks kekakuan
L	= Panjang bentang
M_a	= Momen ultimit
M_{cr}	= Momen retak
M_n	= Momen nominal
n_f	= Rasio modulus elastisitas FRP terhadap modulus elastisitas beton
p	= Deformasi struktur sebelum peningkatan beban
q	= Vektor beban titik nodal
x	= Regangan ternormalisasi
y_t	= Setengah tinggi balok
α_L	= Koefisien ekspansi termal tulangan longitudinal
α_T	= Koefisien ekspansi termal tulangan transversal
Δp	= Peningkatan deformasi karena pembebanan bertingkat
ε	= Regangan
ε_c	= Regangan pada tegangan puncak
ε_{cu}	= Regangan tekan beton

ϵ_{fu}	= Regangan ultimit FRP untuk desain
ϵ_{fu}^*	= Regangan ultimit FRP jaminan dari pabrik
ρ_f	= Rasio tulangan FRP
ρ_{fb}	= Rasio tulangan seimbang
σ	= Tegangan normal pada retak (kohesi retak)
σ_{c1}, σ_{c2}	= Tegangan prinsipal beton
σ_c^{ef}	= Tegangan efektif beton
β_1	= Rasio yang tergantung dengan mutu beton f_c'
ϕ	= Faktor reduksi kekuatan
ν	= Rasio Poisson (<i>Poisson's Ratio</i>)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tulangan BFRP (<i>RockBar</i>).....	1-1
Gambar 1.2 Dimensi Balok (Luna Salh, 2014)	1-3
Gambar 1.3 Detail Tulangan (Luna Salh, 2014)	1-3
Gambar 1.4 Kurva Tegangan-Regangan BFRP (Luna Salh, 2014)	1-4
Gambar 1.5 Diagram Alir.....	1-5
Gambar 2.1 Uji Belah Silinder untuk Kekuatan Tarik (Park dan Paulay, 1974)	2-3
Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan untuk Silinder Beton Hasil Pembebanan Uniaksial (Park dan Paulay, 1974).....	2-4
Gambar 2.3 Kurva Tegangan-Regangan Ideal untuk Beton dengan Pembebanan Uniaksial (Park dan Paulay, 1974).....	2-5
Gambar 2.4 <i>Fiber Reinforced Polymer Bars</i> (ACI 440.1R-15)	2-6
Gambar 2.5 <i>Basalt Fiber Rebar (RockBar)</i>	2-9
Gambar 2.6 Diagram Kegagalan Dikontrol Oleh Pecahnya Beton (ACI 440.1R- 15)	2-11
Gambar 2.7 Diagram Keadaan Seimbang (ACI 440.1R-15).....	2-11
Gambar 2.8 Diagram Kegagalan Dikontrol Oleh Pecahnya FRP (ACI 440.1R-15)	2-12
Gambar 2.9 Dua Dimensi Elemen (Darly L. Logan, 2012)	2-16
Gambar 2.10 Tiga Dimensi Elemen (Darly L. Logan, 2012).....	2-17
Gambar 3.1 Hubungan Tegangan Regangan Untuk Beton (Cervenka, 2007) ...	3-2
Gambar 3.2 Dalil pembukaan retak eksponensial (Cervenka, 2007)	3-3
Gambar 3.3 Dalil pembukaan retak linier (Cervenka, 2007)	3-4
Gambar 3.4 Penghalusan linear berdasarkan regangan lokal (Cervenka, 2007)	3-5
Gambar 3.5 Diagram tegangan-regangan tekan beton (Cervenka, 2007)	3-6
Gambar 3.6 Dalil perpindahan penghalusan tekan (Cervenka, 2007).....	3-8
Gambar 3.7 Kegagalan kondisi tegangan biaksial beton (Cervenka, 2007).....	3-8
Gambar 3.8 Kegagalan tegangan biaksial tarik-tekan (Cervenka, 2007)	3-10
Gambar 3.9 Hubungan tegangan-regangan bilinier tulangan (Cervenka, 2007)..	3-

Gambar 3.10 Hubungan tegangan-regangan multilinier tulangan (Cervenka, 2007)	3-14
Gambar 3.11 Elemen Tetrahedral (Cervenka, 2007).....	3-16
Gambar 3.12 Elemen Bata (Cervenka, 2007).....	3-16
Gambar 3.13 Elemen Baji (Cervenka, 2007)	3-16
Gambar 3.14 Metoda-Newton-Raphson Penuh (Cervenka, 2007).....	3-19
Gambar 3.15 Metode Newton-Raphson Modifikasi (Cervenka, 2007)	3-20
Gambar 4.1 Model Benda Uji.....	4-1
Gambar 4.2 Material Beton	4-3
Gambar 4.3 Material Pelat Baja	4-3
Gambar 4.4 Material Tulangan BFRP	4-4
Gambar 4.5 Material Tulangan Baja	4-4
Gambar 4.6 Material Sengkang	4-5
Gambar 4.7 Input Material	4-5
Gambar 4.8 Pemodelan Balok	4-6
Gambar 4.9 Pemodelan Pelat Baja	4-6
Gambar 4.10 Pemodelan Tulangan	4-7
Gambar 4.11 Perletakan Rol.....	4-7
Gambar 4.12 Beban Peralihan	4-8
Gambar 4.13 Kondisi Batas.....	4-8
Gambar 4.14 <i>Mesh</i> Elemen	4-9
Gambar 4.15 Parameter Solusi Newton-Raphson	4-9
Gambar 4.16 Langkah Analisis	4-10
Gambar 4.17 Pengaturan Titik Pantau.....	4-10
Gambar 4.18 Tampilan Analisis	4-11
Gambar 4.19 Tampilan <i>Post Processing</i>	4-11
Gambar 5.1 Grafik Peralihan-Beban Hasil Uji Eksperimental dengan Tulangan BFRP (Luna Salh, 2014).....	5-1
Gambar 5.2 Grafik Peralihan-Beban Hasil Uji Eksperimental dengan Tulangan Baja (Luna Salh, 2014)	5-2
Gambar 5.3 Grafik Beban-Peralihan Tulangan BFRP	5-3
Gambar 5.4 Grafik Beban-Peralihan Tulangan Baja.....	5-3

Gambar 5.5 Grafik Beban-Peralihan Tulangan BFRP dengan 100 Kali <i>Load Steps</i>	5-4
Gambar 5.6 Perbandingan Grafik Beban-Peralihan Tulangan BFRP	5-5
Gambar 5.7 Perbandingan Grafik Beban-Peralihan Tulangan Baja.....	5-6
Gambar 5.8 Pola Retakan Hasil Program Atena 3D	5-7
Gambar 5.9 Output Tegangan dan retakan pada Atena 3D.....	5-7
Gambar 5.10 Perbandingan Rasio Tulangan	5-8

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat Jenis Tipikal Penguatan	2-7
Tabel 2.2 Koefisien <i>Thermal Expansion</i>	2-8
Tabel 2.3 Karakteristik Tulangan Penguat	2-8
Tabel 2.4 Faktor Reduksi Lingkungan (ACI 440.1R-15)	2-10
Tabel 3.1 Nilai penentu kurva hiperbolik (Cervenka, 2007).....	3-10
Tabel 3.2 Parameter default SBETA Constitutive Model (Cervenka, 2007)	3-11
Tabel 5.1 Hasil Analisis dengan Tulangan BFRP.....	5-5
Tabel 5.2 Hasil Analisis dengan Tulangan Baja	5-6
Tabel 5.3 Hasil Analisis Penampang.....	5-9

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu material utama untuk pembangunan konstruksi. Beton didapat dari campuran agregat halus, agregat kasar, air, dan campuran yang dibutuhkan lainnya. Material beton tersebut kuat terhadap tekan tetapi lemah terhadap tarik. Maka dari itu beton membutuhkan tulangan – tulangan baja untuk memberikan kekuatan tarik yang diperlukan pada beton. Beton yang ditanamkan tulangan baja disebut beton bertulang.

Beton bertulang biasanya digunakan disegala wilayah, termasuk wilayah ekstrim. Kontak langsung dengan air dan klorida dapat mengurangi kandungan yang ada di tulangan baja dan dapat membuat tulangan baja menjadi korosi. Hal tersebut membuat kualitas beton bertulang tersebut menurun. Penggunaan tulangan anti korosi menjadi salah satu alternatif.

Fiber Reinforced Polymer merupakan salah satu alternatif pengganti tulangan baja. FRP umumnya dibuat dari bahan serat kaca, karbon, aramid, dan batu basal. FRP dari serat batu basal biasanya disebut BFRP, yang dapat dilihat pada **Gambar 1.1**. Dikarenakan kuat tarik tulangan BFRP lebih tinggi dari tulangan baja, maka tulangan BFRP dipertimbangkan untuk menjadi alternatif pengganti tulangan baja.



Gambar 1.1 Tulangan BFRP (*RockBar*)

Kemungkinan tulangan BFRP mempunyai perilaku yang berbeda maka diperlukan uji eksperimental. Akan tetapi uji tersebut akan memakan waktu dan biaya yang cukup banyak. Sehingga dapat digunakan program dengan berbasis elemen hingga sebagai alat bantu pengujian.

1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan dalam skripsi ini yakni menguji hasil pemodelan di Atena 3D dari balok diatas dua tumpuan yang dibebani monotonik.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

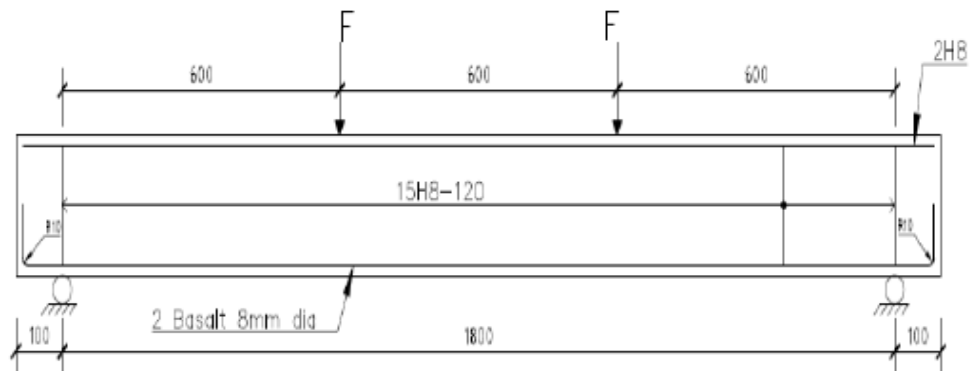
1. Melakukan pemodelan dan analisis dari balok beton bertulang dengan tulangan BFRP menggunakan program Atena 3D.
2. Membandingkan hasil pemodelan menggunakan program Atena 3D dengan hasil eksperimental yang dilakukan oleh Luna Salh yang akan disajikan dalam kurva hubungan beban-peralihan.

1.4 Pembatasan Masalah

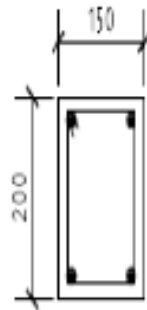
Pembatasan masalah dalam penelitian ini yakni :

1. Balok yang dimodelkan dan dianalisis adalah balok dengan tulangan BFRP dan tulangan baja.
2. Data yang digunakan dalam pemodelan adalah sebagai berikut :
 - a. Mutu beton (f_c') yang digunakan sesuai dengan mutu beton yang digunakan dalam uji eksperimental sebesar 35.2 MPa.
 - b. Dimensi balok adalah sebagai berikut dan dapat dilihat pada **Gambar 1.2**.
 - Panjang = 2000 mm
 - Lebar = 150 mm
 - Tinggi = 200 mm
 - c. Ukuran pelat baja = 30 mm x 150 mm dengan panjang 100 mm.
 - d. Tulangan yang digunakan mempunyai ukuran 8 mm.

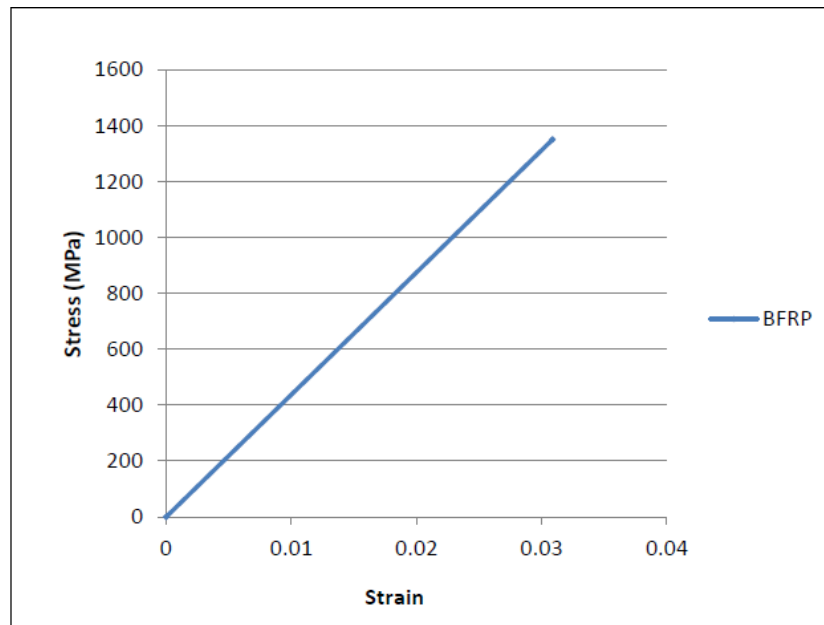
- e. Sengkang yang digunakan mempunyai ukuran 6.5 mm, $f_y=250$ MPa (*mild steel*).
- f. f_y baja yang digunakan adalah 320 MPa.
- g. Detail tulangan dapat dilihat pada **Gambar 1.3**.
- h. Mutu tulangan BFRP dimodelkan dengan kurva tegangan-regangan seperti pada **Gambar 1.4**.



Gambar 1.2 Dimensi Balok (Luna Salh, 2014)



Gambar 1.3 Detail Tulangan (Luna Salh, 2014)



Gambar 1.4 Kurva Tegangan-Regangan BFRP (Luna Salh, 2014)

1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian yakni :

1. Studi Pustaka

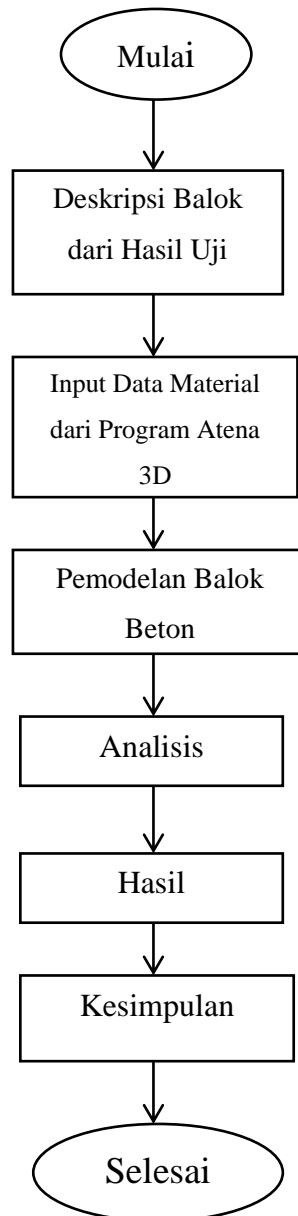
Bahan yang digunakan sebagai landasan teori adalah buku-buku pustaka, manual program, dan jurnal-jurnal.

2. Penggunaan Program

Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan program Atena 3D.

1.6 Diagram Alir

Diagram alir pada studi penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1.5** sebagai berikut :



Gambar 1.5 Diagram Alir

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan dilakukan secara sistematis untuk menyusun skripsi ini dan dibagi dalam 6 bab, yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang landasan teori mengenai tujuan penelitian, material beton, model elemen struktur, dan perangkat lunak Atena 3D.

BAB 3 PEMODELAN PADA ATENA 3D

Bab ini membahas tentang tahapan dari pemodelan elemen struktur dengan bantuan perangkat lunak Atena 3D

BAB 4 STUDI KASUS

Bab ini membahas mengenai geometri model balok, pemodelan benda uji, data pemodelan, dan data pembebanan.

BAB 5 PEMBAHASAN HASIL ANALISIS

Bab ini membahas tentang hasil uji numerik dengan bantuan perangkat lunak Atena 3D.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.