

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH LUAS BAJA TULANGAN LONGITUDINAL DAN  
MUTU BETON TERHADAP BALOK YANG DIPERKUAT  
FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) MENGGUNAKAN  
*SOFTWARE ATENA***



**Disusun oleh:**

**Ahmad Ridlwan Arif**

**20170110266**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

**2021**

## **TUGAS AKHIR**

# **PENGARUH LUAS BAJA TULANGAN LONGITUDINAL DAN MUTU BETON YANG DIPERKUAT FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) MENGGUNAKAN *SOFTWARE ATENA***

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik  
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Ahmad Ridlwan Arif**

**20170110266**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
2021**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Ridlwan Arif  
NIM : 20170110266.  
Judul : Pengaruh Luas Baja Tulangan Longitudinal Dan Mutu Beton Terhadap Balok Yang Diperkuat Fiber Reinforced Polymer (FRP) Menggunakan Software ATENA

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, ..... 2021

Yang membuat pernyataan



## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Tugas akhir ini dipersembahkan untuk kedua orang tuaku dan seluruh saudaraku.  
Semoga dapat bermanfaat bagi agama, bangsa, dan negaraku.

## PRAKATA



*Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk membantu dalam penelitian di bidang Teknik sipil.

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

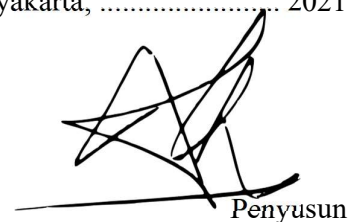
1. Ir. Puji Harsanto, ST, MT, Ph.D
2. Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc, Ph.d
3. Ir. As'at Pujianto. M.T., IPM.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan.

*Wallahu a'lam bi Showab.*

*Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Yogyakarta, ..... 2021



Penyusun

Ahmad Ridlwan Arif

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN .....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG.....	xvii
DAFTAR SINGKATAN .....	xviii
DAFTAR ISTILAH .....	xix
ABSTRAK .....	xx
<i>ABSTRACT</i> .....	xxi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori .....	22
2.2.1 Hubungan Beton dengan Baja.....	23
2.2.2 Gaya-Gaya Statis.....	23
2.2.3 Kekakuan.....	25
2.2.4 Daktilitas .....	26
2.2.5 Pola Keretakan .....	27
2.2.6 <i>Fiber Reinforced Polymer</i> .....	28
2.2.7 Metode Elemen Hingga.....	29
BAB III. METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Bahan atau Material.....	33
3.2 Alat .....	35
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	35

3.4	Tahapan Penelitian.....	35
3.4.1	Diagram Alir .....	38
3.4.2	Langkah-Langkah Pemodelan.....	41
3.4.3	Langkah-Langkah <i>Input Material</i> .....	66
3.4.4	Langkah-Langkah Pembebanan dan Monitor .....	81
3.5	Analisis Data.....	91
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....		102
4.1	Beban-Defleksi .....	102
4.1.1	Balok beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa.....	102
4.1.2	Balok beton bertulang dengan kuat tekan 30 MPa.....	105
4.2	Kekakuan .....	109
4.3	Daktalitas .....	111
4.4	Pola Keretakan.....	113
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....		122
5.1	Kesimpulan .....	122
5.2	Saran .....	123
DAFTAR PUSTAKA .....		xxii
LAMPIRAN.....		xxiv

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan hasil perhitungan Teoritis dengan atena v5 .....	9
Tabel 2.2 Perbandingan peneilitan terdahulu dengan sekarang .....	16
Tabel 3.1 <i>Input</i> parameter <i>solid concrete</i> .....	33
Tabel 3.2 <i>Input</i> parameter <i>Id reinforced</i> .....	34
Tabel 3.3 <i>Input</i> parameter <i>fiber reinforced polymer</i> .....	34
Tabel 3.4 <i>Input</i> parameter spesifikasi material <i>fiber reinforced polymer</i> .....	34
Tabel 4.1 Beban maksimum hasil analisis komputasi untuk kuat tekan 20 MPa	104
Tabel 4.2 Beban maksimum hasil analisis komputasi untuk kuat tekan 30 MPa	107
Tabel 4.3 Nilai kekakuan beton bertulang 20 MPa.....	109
Tabel 4.4 Nilai kekakuan beton bertulang 30 MPa.....	110
Tabel 4.5 Nilai daktalitas beton bertulang 20 MPa.....	111
Tabel 4.6 Nilai daktalitas beton bertulang 30 MPa.....	111



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik hubungan beban dan defleksi beton <i>fiber reinforced polymer</i>	6
Gambar 2.2 Pola retak balok BPA .....	7
Gambar 2.3 Pola retak balok BPC-2 .....	7
Gambar 2.4 Grafik beban-defleksi dari model numerik .....	8
Gambar 2.5 Arah atau orientasi dari pelapisan FRP mempengaruhi retak akibat tegangan.....	10
Gambar 2.6 Perbedaan panjang <i>fiber reinforced polymer</i> .....	11
Gambar 2.7 Grafik hasil beban-defleksi .....	12
Gambar 2.8 Penambahan kuat lentur .....	13
Gambar 2.9 Detail posisi baja tulangan didalam beton.....	23
Gambar 2.10 Kurva beban-lendutan pada balok (Nawy, 2008).....	25
Gambar 2.11 Kegetasan ( <i>brittle</i> ) dan daktilitas ( <i>ductility</i> ).....	26
Gambar 2.13 Retak pada balok beton bertulang (a) retak lentur (b) retak geser- lentur (c) retak geser (Gilbert dan Mickleborough, 1990).....	28
Gambar 2.14 Aplikasi laminasi <i>polymer</i> dilapangan .....	29
Gambar 2.15 Pemodelan struktur balok dengan metode elemen hingga (Zdenka Procházková dkk., 2019) .....	30
Gambar 2.16 (a) Hukum tegangan-rengangan dan (b) <i>biaxial law</i> (Červenka dkk., 2020).....	31
Gambar 2.17 (a) modulus elastisitas dan pengerasan untuk baja (b) <i>multi-linear</i> <i>law</i> regangan-tegangan (Červenka dkk., 2020).....	32
Gambar 3.1 Detail balok beton .....	35
Gambar 3.2 Proses <i>pre-processing</i> .....	36
Gambar 3.3 Proses <i>running</i> .....	36
Gambar 3.4 Proses <i>post-processing</i> .....	37
Gambar 3.5 Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 3.6 Diagram alir <i>pre-processing</i> .....	39
Gambar 3.7 Diagram alir <i>running analysis</i> .....	40
Gambar 3.8 <i>Problem type</i> .....	41
Gambar 3.9 <i>Problem data</i> .....	41
Gambar 3.10 Memilih <i>tool point</i> .....	42
Gambar 3.11 Membuat titik-titik koordinat .....	43
Gambar 3.12 Membuat titik-titik .....	43
Gambar 3.13 Klik <i>Join Ctrl-a</i> .....	44

Gambar 3.14 Membuat garis dan membentuk persegi.....	44
Gambar 3.15 Memilih <i>tool nurbs surfaces</i> .....	45
Gambar 3.16 Memilih garis-garis menjadi permukaan.....	45
Gambar 3.17 Garis-garis menjadi permukaan .....	46
Gambar 3.18 Membuka <i>tool copy</i> .....	46
Gambar 3.19 Menggunakan <i>tool copy</i> .....	47
Gambar 3.20 Balok sudah menjadi model tiga dimensi .....	47
Gambar 3.21 Memilih <i>utilities</i> lalu <i>copy</i> .....	48
Gambar 3.22 Posisi garis yang akan <i>copy</i> .....	48
Gambar 3.23 Pemilihan garis yang akan <i>copy</i> .....	49
Gambar 3.24 Garis yang sudah <i>copy</i> .....	49
Gambar 3.25 Tampilan <i>window copy</i> .....	50
Gambar 3.26 Garis di <i>copy</i> menjadi <i>surface</i> ditandai dengan kotak berwarna ungu .....	50
Gambar 3.27 Menggunakan <i>tools copy</i> .....	51
Gambar 3.28 Menggunakan <i>tools copy</i> .....	51
Gambar 3.29 Elemen plat baja sudah terdefiniskan tiga dimensi atau volume ...	52
Gambar 3.30 Detail setengah balok beton dengan panah menandakan tumpuan	52
Gambar 3.31 Garis berwarna biru muda berubah menjadi merah menandakan volume sudah terpilih .....	53
Gambar 3.32 Plat baja kedua bagian bawah sebagai tumpuan sudah berhasil <i>ter-copy</i> .....	53
Gambar 3.33 Membagi permukaan.....	54
Gambar 3.34 Pilih arah untuk membelah permukaan .....	54
Gambar 3.35 Plat baja bagian atas terbagi dua .....	55
Gambar 3.36 Garis tulangan kedua.....	55
Gambar 3.37 Klik pada garis di plat baja bagian atas.....	56
Gambar 3.38 Garis terbagi menjadi dua .....	56
Gambar 3.39 Membuat garis.....	57
Gambar 3.40 Membuat titik awal garis.....	57
Gambar 3.41 Membuat titik awal garis.....	58
Gambar 3.42 Pilih garis tulangan pertama .....	58
Gambar 3.43 Garis tulangan kedua.....	59
Gambar 3.44 Garis tulangan ketiga dan keempat .....	59
Gambar 3.45 Membuat garis.....	60
Gambar 3.46 Garis laminasi <i>fiber reinforced polymer</i> .....	60

Gambar 3.47 Garis laminasi <i>fiber reinforced polymer</i> .....	61
Gambar 3.48 Membuat garis.....	61
Gambar 3.49 Garis laminasi <i>fiber reinforced polymer</i> .....	62
Gambar 3.50 Garis laminasi <i>fiber reinforced polymer</i> .....	62
Gambar 3.51 Garis laminasi <i>fiber reinforced polymer</i> .....	63
Gambar 3.52 Mengubah nama <i>layer</i> .....	64
Gambar 3.53 Memindah elemen volume .....	64
Gambar 3.54 Volume balok beton terpilih.....	65
Gambar 3.55 Membuat layer baru .....	65
Gambar 3.56 Elemen sudah mempunyai masing-masing <i>layer</i> .....	65
Gambar 3.57 <i>Materials solid concrete</i> .....	66
Gambar 3.58 <i>Materials solid concrete</i> .....	66
Gambar 3.59 <i>Materials solid concrete</i> .....	67
Gambar 3.60 <i>Materials solid concrete</i> .....	67
Gambar 3.61 <i>Materials solid concrete</i> .....	67
Gambar 3.62 <i>Materials solid concrete</i> .....	68
Gambar 3.63 <i>Materials solid concrete</i> .....	68
Gambar 3.64 Memilih elemen yang ingin diberi tipe material .....	69
Gambar 3.65 Balok beton terpilih untuk material.....	69
Gambar 3.66 Memunculkan <i>Materials solid concrete</i> .....	70
Gambar 3.67 Beton 20 MPa sudah muncul di balok beton.....	70
Gambar 3.68 <i>Solid elastic</i> untuk plat baja .....	71
Gambar 3.69 <i>Solid elastic</i> untuk plat baja .....	71
Gambar 3.70 <i>Solid elastic</i> untuk plat baja .....	71
Gambar 3.71 Plat baja terpilih .....	72
Gambar 3.72 Memunculkan <i>materials elastic 3d</i> .....	72
Gambar 3.73 <i>Materials 1d reinforcement</i> .....	73
Gambar 3.74 Membuat data <i>reinforcement</i> baru .....	73
Gambar 3.75 Material <i>1d reinforcement</i> diameter 10 mm.....	74
Gambar 3.76 Material <i>1d reinforcement</i> diameter 10 mm.....	74
Gambar 3.77 Material <i>1d reinforcement</i> diameter 10 mm.....	75
Gambar 3.78 Material <i>1d reinforcement</i> diameter 10 mm.....	75
Gambar 3.79 Memilih <i>materials 1d reinforcement</i> .....	75
Gambar 3.80 Tulangan longitudinal terpilih.....	76
Gambar 3.81 <i>Materials 1d reinforcement</i> .....	77
Gambar 3.82 Material <i>fiber reinforced concrete</i> .....	77

Gambar 3.83 Material <i>fiber reinforced concrete</i> .....	78
Gambar 3.84 Material <i>fiber reinforced concrete</i> .....	78
Gambar 3.85 Material <i>fiber reinforced concrete</i> .....	79
Gambar 3.86 Material <i>fiber reinforced concrete</i> .....	79
Gambar 3.87 Memilih elemen dengan material <i>fiber reinforced polymer</i> .....	80
Gambar 3.88 Memunculkan elemen dengan material <i>fiber reinforced polymer</i> ..	80
Gambar 3.89 Membuka <i>window conditions</i> .....	81
Gambar 3.90 Tumpuan jepit pada model setengah beton .....	81
Gambar 3.91 Memunculkan tumpuan.....	82
Gambar 3.92 Setengah beton sudah mempunyai tumpuan .....	82
Gambar 3.93 Membuka <i>window conditions</i> .....	83
Gambar 3.94 klik pada <i>x-constraint</i> untuk menghilangkan centang pada kotak disampingnya.....	83
Gambar 3.95 Plat baja sudah mempunyai tumpuan.....	84
Gambar 3.96 Membuka <i>window conditions</i> .....	84
Gambar 3.97 Memilih titik untuk memberikan perpindahan.....	85
Gambar 3.98 Titik sudah mempunyai perpindahan .....	85
Gambar 3.99 Membuat pembaca data.....	86
Gambar 3.100 Pembaca data diletakan di titik yang sama dengan perpindahan ..	86
Gambar 3.101 Membuat pembaca defleksi.....	87
Gambar 3.102 Pembaca defleksi diletakan pada titik balok beton .....	87
Gambar 3.104 Memberikan kontak antara beton dengan plat .....	88
Gambar 3.105 Balok beton sebagai <i>master</i> .....	89
Gambar 3.106 Membuat kontak beton dengan plat .....	89
Gambar 3.107 Plat baja bagian atas sebagai <i>slave</i> .....	90
Gambar 3.108 Plat baja dan balok beton sudah saling bersentuhan .....	90
Gambar 3.109 <i>Id reinforcement</i> .....	91
Gambar 3.110 Interval data untuk beton tanpa <i>fiber reinforced concrete</i> .....	91
Gambar 3.111 Interval data untuk beton tanpa <i>fiber reinforced concrete</i> .....	92
Gambar 3.112 Membagi model menjadi elemen-elemen .....	93
Gambar 3.113 Lebar beton dibagi menjadi dua elemen .....	93
Gambar 3.114 Pilih garis lebar beton.....	93
Gambar 3.115 Tinggi beton terbagi menjadi elemen-elemen.....	94
Gambar 3.116 Panjang beton terbagi menjadi elemen-elemen.....	94
Gambar 3.117 Tipe elemen dibuat menjadi <i>hexahedra</i> .....	95
Gambar 3.118 Pilih volume beton .....	95

Gambar 3.119 Tulangan menjadi satu elemen .....	95
Gambar 3.120 <i>Fiber reinforced polymer</i> menjadi satu elemen .....	96
Gambar 3.121 <i>Mesh generation</i> .....	96
Gambar 3.122 Proses pembuatan elemen .....	96
Gambar 3.123 Elemen terbagi menjadi elemen lebih kecil .....	97
Gambar 3.124 <i>Problem data</i> .....	97
Gambar 3.125 <i>Assemble Stiffnes Matrix</i> .....	98
Gambar 3.126 Memberhentikan sementara perhitungan .....	98
Gambar 3.127 Membuat diagram baru .....	98
Gambar 3.128 Defleksi menjadi sumbu horizontal .....	99
Gambar 3.129 Beban menjadi sumbu vertikal .....	99
Gambar 3.130 Beban menjadi sumbu vertikal .....	100
Gambar 3.131 Mengambil data grafik .....	100
Gambar 3.132 Memindahkan data ke <i>Microsoft Excel</i> .....	101
Gambar 4.1 Beban-defleksi kuat tekan 20 MPa tanpa <i>fiber reinforced polymer</i>	102
Gambar 4.2 Beban-defleksi kuat tekan 20 MPa dengan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	103
Gambar 4.3 Grafik hubungan beban maksimum diameter tulangan pada beton dengan kuat tekan 20 MPa.....	104
Gambar 4.4 Grafik hubungan defleksi diameter tulangan pada beton dengan kuat tekan 20 MPa.....	105
Gambar 4.5 Beban-defleksi kuat tekan 30 MPa tanpa <i>fiber reinforced polymer</i>	106
Gambar 4.6 Beban-defleksi kuat tekan 30 MPa dengan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	107
Gambar 4.7 Grafik hubungan beban maksimum dengan defleksi pada beton dengan kuat tekan 30 MPa.....	108
Gambar 4.8 Grafik hubungan defleksi dengan defleksi pada beton dengan kuat tekan 30 MPa.....	108
Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai kekakuan .....	110
Gambar 4.10 Grafik perbandingan nilai daktalitas .....	112
Gambar 4.11 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 10 mm tanpa perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	113
Gambar 4.12 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 10 mm dengan perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> . .....	114
Gambar 4.13 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 12 mm tanpa perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	115
Gambar 4.14 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 12 mm dengan perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> . .....	115

Gambar 4.15 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 16 mm tanpa perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> . .....	116
Gambar 4.16 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 16 mm dengan perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	117
Gambar 4.17 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 10 mm tanpa perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> . .....	118
Gambar 4.18 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 10 mm dengan perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	118
Gambar 4.19 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 12 mm tanpa perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> . .....	119
Gambar 4.20 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 12 mm dengan perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	120
Gambar 4.21 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 16 mm tanpa perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> . .....	121
Gambar 4.22 Merupakan pola retakan beton bertulang diameter 16 mm dengan perkuatan <i>fiber reinforced polymer</i> .....	121

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Output</i> ATENA.....	xxiv
Lampiran 2. Grafik perbandingan beban maksimum dan defleksi kuat tekan...	xxix

## DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
$f_c$	MPa	Kuat tekan beton
$f'_c$	MPa	Kuat tekan rencan beton
$f_y$	MPa	Tegangan leleh baja
K	kN/mm	Kekakuan
P	kN	Beban
$\delta$	mm	Lendutan
$\mu$	mm	Faktor perpindahan daktalitas
$\Delta u$	mm	Leleh puncak
$\Delta y$	mm	Leleh akhir



## DAFTAR SINGKATAN

FRP : *Fiber reinforced polymer*

## DAFTAR ISTILAH

1. **Beton**  
Bahan komposit (campuran) dari beberapa material yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu
2. **Baja tulangan**  
Baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan beton
3. **Balok**  
Struktur melintang yang memiliki fungsi sebagai penyalur gaya menuju kolom
4. *Fiber reinforced polymer*  
Perkuatan eksternal pada beton yang sudah mengeras dengan salah satunya metode laminasi
5. **Defleksi**  
Jarak dari sebuah struktur berubah atau lendut
6. **ATENA**  
Program lunak komputer untuk membantu analisis dengan basis perhitungan metode elemen hingga khusus nya struktur beton
7. **GiD**  
Program lunak komputer untuk membantu pemodelan geometris 3 dimensi