

**PEMODELAN NUMERIS BALOK BETON BERTULANG  
MENGUNAKAN TULANGAN *FRP***

Laporan Tugas Akhir

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

**Oleh :**

**BONAVENTURA**

**NPM : 16 02 16539**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

**YOGYAKARTA**

**2020**

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa

Tugas Akhir saya dengan judul :

### PEMODELAN NUMERIS BALOK BETON BERTULANG MENGUNAKAN TULANGAN FRP

Benar-benar merupakan hasil karya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data, dan hasil penelitian, kutipan langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir ini. Apabila terbukti kemudian hari bahwa Tugas Akhir ini merupakan plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



(Bonaventura)

**PENGESAHAN**

Laporan Tugas Akhir

**PEMODELAN NUMERIS BALOK BETON BERTULANG  
MENGUNAKAN TULANGAN FRP**

Oleh:

BONAVENTURA

NPM : 16 02 16539

Telah diuji dan disetujui oleh Pembimbing:

Yogyakarta, .....

Pembimbing



(Dinar Gumilang Jati, S.T., M.Eng.)

Disahkan Oleh:

Program Studi Teknik Sipil

Ketua



(Ir. AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Ph.D.)

**PENGESAHAN**

Laporan Tugas Akhir

**PEMODELAN NUMERIS BALOK BETON BERTULANG  
MENGUNAKAN TULANGAN FRP**



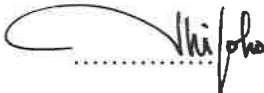


Oleh :

**BONAVENTURA**

NPM : 16 02 16539

Telah diuji dan disetujui oleh

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Dinar Gumilang Jati, S.T., M.Eng.		.....
Sekretaris	: Angelina Eva Lianasari, S.T., M.T.		.....
Anggota	: Dr. Ir. J. Dwijoko Anusanto, M.T.		9-8-2021

## KATA HANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena anugerah serta rahmat dan penyertaan-Nya, penulis telah diberikan kekuatan dan kesabaran untuk menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir yang berjudul PEMODELAN NUMERIS BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN *FRP*, adapun Tugas Akhir ini ditujukan sebagai syarat pemenuhan ketentuan kelulusan pada Program Strata-1 di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Hambatan yang penulis hadapi dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir, dapat diselesaikan dengan berkat kehendak-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikannya. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis juga mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak yang telah memberikan dukungan dan bimbingan:

1. Teristimewa kepada orang tua, kakak dan adik penulis atas dukungan baik materil dan moril serta doanya selama menempuh pendidikan hingga penyusunan Tugas Akhir.
2. Segenap keluarga besar yang telah menyemangati dan membantu penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Dinar Gumilang Jati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, sabar dalam memberikan arahan, petunjuk dan sangat peduli terhadap penulis sehingga Tugas Akhir ini boleh terselesaikan dengan baik.

4. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D., selaku Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Bapak Dr. Eng. Luky Handoko, S.T., M.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
6. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki, M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
7. Bapak Ir. AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
8. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mengajarkan dan memberikan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil yang sangat berguna bagi penulis.
9. Sahabat seperjuangan Kelas C, Andra, Gabriel, Budhhi, Dika, Habib, Gio, Evans, Mikha, Can, Warren, Dandi, Bangkit, Edo, Dudut, Andre, Berti, Michael, Nico, David dan Uchal yang selalu mendukung dalam suka maupun duka dari awal perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir.
10. Sahabat seperjuangan Berna, Monsan, Amel, Prada dan Krisna yang telah memberi dukungan, masukan dan saran kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir.
11. Sahabat Nax Rantau PL2 Victor, Tinez, Mute, Gaby, Febby, Louis, Yeriko, Ferrow, Kevin, Jaya dan Boy yang selalu memberikan dukungan serta memberikan warna selama masa perkuliahan hingga menyelesaikan Tugas Akhir.

12. Sahabat BCA Dita, Sessy, Adam, Dede, dan Dava yang telah memberikan dukungan dan pengertian kepada penulis.
13. Rekan satu peminatan Tugas Akhir Edison, Yosua dan Yoga yang telah mendukung serta membantu penulis dalam menyusun Tugas Akhir.
14. Sahabat KKN 75 Ketapang Bang Willy, Bang Wisnu, Kak Wulan, Vinny, Mikha, Ayu, Bian, dan Boro yang telah memberi dukungan kepada penulis.
15. Seluruh teman-teman seangkatan, kakak tingkat dan adik tingkat penulis yang berada di Universitas Atma Jaya Yogyakarta maupun di luar Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang selalu memberikan dukungan moril kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak keukrangan dikarenakan keterbatasan pengalaman dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Semoga kedepannya Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca semua khususnya di bidang Teknik Sipil.

Yogyakarta, Agustus 2021

Penulis,

Bonaventura

NPM: 16 02 16539

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
INTISARI .....	xiii
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	3
1.5 Keaslian Tugas Akhir .....	3
1.6 Manfaat Tugas Akhir.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Umum .....	5
2.2 Eksperimen Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang dengan <i>Hybrid FRP System</i> .....	6
2.3 Pemodelan <i>Hybrid FRP Reinforced Beam</i> dengan <i>Finite Element Analysis</i> .....	7

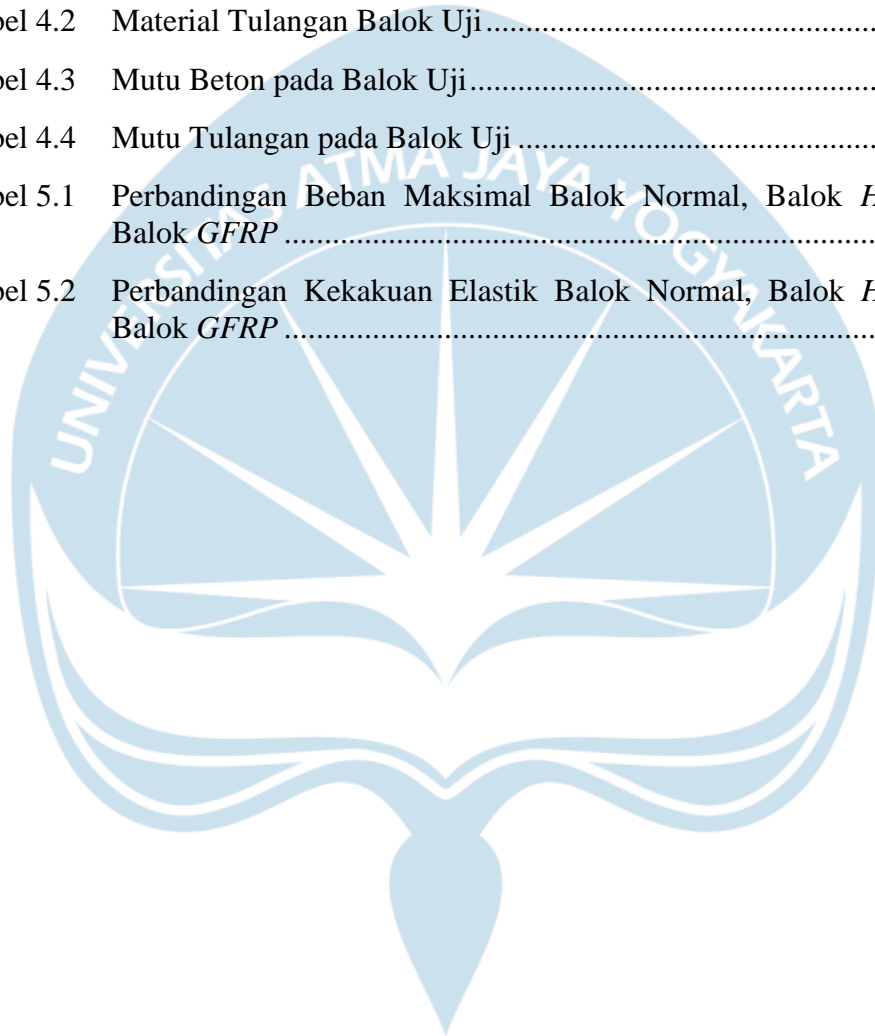


2.4	Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan <i>GFRP</i> dan <i>CFRP</i> .....	8
2.5	Pengaruh Variasi Pemasangan <i>GFRP</i> Terhadap Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang.....	8
<b>III.</b>	<b>LANDASAN TEORI .....</b>	<b>10</b>
3.1	Beton.....	10
3.2	Bahan Penyusun Beton.....	11
3.2.1	Semen.....	11
3.2.2	Air.....	11
3.2.3	Agregat.....	11
3.3	<i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i> .....	12
3.4	<i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)</i> .....	12
3.5	Balok Beton Bertulang.....	14
3.6	Kuat Lentur Balok Beton Bertulang.....	15
3.7	Kuat Lentur <i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> .....	17
3.8	Kekakuan Elastik Balok.....	19
3.9	<i>Finite Element Method (FEM)</i> .....	19
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>22</b>
4.1	Rancangan Penelitian.....	22
4.2	Penetapan Model.....	22
4.3	Desain Penampang Balok.....	23
4.4	Diagram Alir Penelitian.....	26
<b>V.</b>	<b>ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
5.1	Pemodelan Balok dengan <i>LUSAS</i> .....	28
5.2	Analisis Penampang ( <i>ACI Committee 440.2R-17</i> ).....	31
5.2.1	Analisis Penampang Balok Normal (BN) ( $F'_c = 45 \text{ Mpa}$ ).....	31

5.2.2 Analisis Penampang Balok <i>GFRP</i> (BG) ( $F'c = 45 \text{ Mpa}$ ) .....	32
5.2.3 Analisis Penampang Balok <i>Hybrid</i> (BH) ( $F'c = 45 \text{ Mpa}$ ) .....	33
5.3 Hasil Analisis.....	35
5.3.1 Grafik Beban dan Lendutan .....	35
5.3.2 Perbandingan Beban Ultimit pada Balok.....	36
5.3.3 Kekakuan Balok .....	38
5.3.4 Perhitungan Kekakuan Balok.....	38
5.3.5 Pola Retak Balok.....	39
<b>VI. KESIMPULAN .....</b>	<b>41</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Komposisi Material Balok Uji.....	24
Tabel 4.2	Material Tulangan Balok Uji.....	25
Tabel 4.3	Mutu Beton pada Balok Uji.....	25
Tabel 4.4	Mutu Tulangan pada Balok Uji.....	25
Tabel 5.1	Perbandingan Beban Maksimal Balok Normal, Balok <i>Hybrid</i> dan Balok <i>GFRP</i> .....	36
Tabel 5.2	Perbandingan Kekakuan Elastik Balok Normal, Balok <i>Hybrid</i> dan Balok <i>GFRP</i> .....	38



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Beton .....	10
Gamabr 3.2	<i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i> .....	12
Gambar 3.3	Distribusi Tegangan pada Balok Beton Bertulang.....	15
Gambar 3.4	Perilaku Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan di Area Lentur . .....	17
Gambar 3.5	Penampang balok yang diperkuat <i>FRP Laminates</i> dan <i>NSM bars</i>	18
Gambar 4.1	Skema <i>set-up</i> pengujian balok .....	23
Gambar 4.2	Desain Penampang Balok Beton Bertulang.....	24
Gambar 4.3	Diagram Alir Prosedur Penelitian .....	26
Gambar 4.4	Diagram Alir Tahapan Penelitian <i>LUSAS</i> .....	27
Gambar 5.1	Pemodelan Geometri pada <i>LUSAS</i> .....	28
Gambar 5.2	Pendefinisian <i>Meshing</i> pada <i>LUSAS</i> .....	29
Gambar 5.3	Pendefinisian <i>Geometric</i> pada <i>LUSAS</i> .....	29
Gambar 5.4	Pendefinisian Properti Material Tulangan .....	30
Gambar 5.5	Pendefinisian Properti Material Beton .....	30
Gambar 5.6	Pendefinisian Kontrol Beban pada <i>LUSAS</i> .....	31
Gambar 5.7	Grafik Perbandingan Beban dan Lentutan pada <i>LUSAS</i> .....	36
Gambar 5.8	Perbandingan $P$ Maksimum Balok Beton Bertulang .....	37
Gambar 5.9	Pola Retak Balok Normal pada <i>LUSAS</i> .....	39
Gambar 5.10	Pola Retak Balok <i>Hybrid</i> pada <i>LUSAS</i> .....	39
Gambar 5.11	Pola Retak Balok <i>GFRP</i> pada <i>LUSAS</i> .....	40

## INTISARI

**PEMODELAN NUMERIS BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN TULANGAN FRP**, Bonaventura, NPM: 160216539, Tahun 2021, Bidang Peminatan Studi Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

*GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)* merupakan bahan serat yang telah menjadi material alternatif sebagai perkuatan pada balok dalam bidang konstruksi. *GFRP* biasa digunakan sebagai perkuatan eksternal untuk meningkatkan kapasitas lentur dan geser pada balok. Selain itu, *GFRP* juga dapat digunakan sebagai perkuatan internal sebagai tulangan untuk menggantikan tulangan baja konvensional pada balok beton bertulang karena kelebihannya. Pengujian untuk mengetahui perkuatan lentur balok yang telah diberi *GFRP* dapat dilakukan dengan pengujian di laboratorium maupun menggunakan *software*. Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan balok dengan *software LUSAS* serta menggunakan material dan model yang sama dengan penelitian sebelumnya yang hasilnya nanti akan divalidasi dengan eksperimen.

Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan numeris balok beton menggunakan tulangan *GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)* secara *hybrid* maupun full *GFRP*. Data sekunder diperoleh dari eksperimen yang telah dilakukan Lau (2010). Balok beton bertulang yang dijadikan sebagai benda uji memiliki dimensi dengan lebar 280 mm, tinggi 380 mm dan panjang 4600 mm. Desain pembebanan 1 titik terletak pada titik tengah bentang balok. Metode penelitian dari pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui kapasitas beban maksimal, kekakuan dan pola retak balok beton bertulang. Perhitungan analisis penampang berdasarkan peraturan *ACI Committee 440.2R-17*.

Dari hasil pemodelan *LUSAS*, diperoleh beban maksimum pada balok normal (BN) sebesar 236 kN yang hasilnya mendekati eksperimen yaitu 240,667 kN. Beban maksimum untuk balok *hybrid* (BH) sebesar 208 kN yang tidak jauh berbeda dengan hasil eksperimen yaitu sebesar 218,095 kN. Dari pemodelan diperoleh juga kekakuan elastik pada balok normal (BN) sebesar 28,436 kN/mm, untuk balok *hybrid* (BH) sebesar 24,322 kN/mm, dan untuk balok *GFRP* (BG) sebesar 24,322 kN/mm. Selanjutnya, pada hasil pemodelan *LUSAS* balok mengalami retak lentur, begitu juga pada hasil eksperimen.

Kata kunci: Perkuatan *GFRP*, Balok, Beton, Kuat Lentur, Retak Lentur, *LUSAS*