

TESIS

**PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA BALOK  
BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN *CFRP*  
(*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*)  
YANG DIKENAI LENTUR DAN GESER**



STEFANUS RADA

No. Mhs.: 165102572/PS/MTS

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
2018**





UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

---

PENGESAHAN TESIS

Nama : STEFANUS RADA  
Nomor Mahasiswa : 165102572/PS/MTS  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Pemodelan Metode Elemen Hingga Balok Beton  
Bertulang Dengan Perkuatan *CFRP* (*Carbon Fiber  
Reinforced Polymer*) Yang Dikenai Lentur Dan Geser



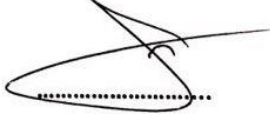
Nama Pembimbing	Tanggal	Tanda tangan
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng.	30/05/2018 .....	 .....
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D.	27/04/2018 .....	 .....



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA  
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : STEFANUS RADA  
Nomor Mahasiswa : 165102572/PS/MTS  
Konsentrasi : Struktur  
Judul Tesis : Pemodelan Metode Elemen Hingga Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) Yang Dikenai Lentur Dan Geser

Nama Penguji	Tanggal	Tanda tangan
Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. (Ketua)	30/05/2018 .....	 .....
Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. (Anggota)	27/4/2018 .....	 .....
Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng (Anggota)	25/4/18 .....	 .....

Ketua Program Studi



  
PROGRAM  
PASCASARJANA  
Dr. Ir. Imam Basuki, M.T.

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan judul :

**PEMODELAN METODE ELEMEN HINGGA BALOK BETON  
BERTULANG DENGAN PERKUATAN *CFRP* ( *CARBON FIBER  
REINFORCED POLYMER* ) YANG DIKENAI LENTUR DAN GESER**

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

Yogyakarta, April 2018

Yang membuat pernyataan

METERAI  
TEMPEL  
1872AAEF80689961A  
6000  
ENAM RIBURUPIAH  
  
(Stefanus Kada)

## MOTTO

*“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil  
tapi berusahalah menjadi manusia yang berguna”.*

*( Albert Einstein )*

“Banyak orang gagal dalam kehidupan, bukan karena kurangnya kemampuan, pengetahuan, atau keberanian, namun hanya karena mereka tidak pernah mengatur energinya pada sasaran”.

(Elbert Hubbard)

“Jangan mencari TUHAN karena anda membutuhkan jawaban, Tapi carilah TUHAN karena anda yakin bahwa DIA-lah jawaban yang anda butuhkan”.

(Andrey Redwhite)

**“Janganlah takut, sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang,  
sebab Aku ini Allahmu; Aku akan meneguhkan, bahkan akan  
menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-  
Ku yang membawa kemenangan”**

**(Yesaya 41:10)**

## INTISARI

Balok beton bertulang merupakan suatu elemen struktur yang didesain untuk dapat menahan beban yang bekerja. Beban yang melebihi kapasitas penampang balok, akan mengakibatkan kegagalan balok dalam menahan beban lentur maupun geser. Pada analisis ini, balok dengan dua titik pembebanan menggunakan *CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)* sebagai perkuatan terhadap kapasitas lentur maupun geser.

Pemodelan dilakukan dengan bentuk tiga dimensi, menggunakan *FEM Abaqus Student Edition 6.14*. Ada tiga bagian dalam analisis yaitu elemen *solid* delapan titik (balok), elemen *shell (CFRP)*, dan elemen *truss* (tulangan), dengan menggunakan konsep *embedded element* dan *tie fuction*. Langkah-langkah yang harus dilewati dalam proses analisis yaitu *pre processing*, *Simulasi* dan *post processing*.

Hasil pemodelan *FEM Abaqus Student Edition 6.14*, menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil *experimental*. Hal ini dapat dilihat dari grafik hubungan beban dan lendutan yang terjadi. Balok beton bertulang setelah diberi perkuatan *CFRP Sheet 240* terhadap bidang lentur, mengalami peningkatan kapasitas beban yaitu, tipe *EBR\_M (1 lapis)* = 44,88 kN, dengan momen maksimumnya = 6,73 kNm; tipe *EBR\_M (2 lapis)* = 81,40 kN, dengan momen maksimumnya = 12,21 kNm; dan tipe *EBR\_M (3 lapis)* = 87,20 kN, dengan momen maksimumnya = 13,08 kNm. Sedangkan balok beton bertulang setelah diberi perkuatan *CFRP Sheet 530* terhadap keempat sisi bidang geser, juga mengalami peningkatan kapasitas beban yaitu, tipe *A10\_M* = 123 kN, dengan nilai kuat geser ultimit = 61,50 kN, dan kapasitas beban tipe *A12\_M* = 218 kN, dengan nilai kuat geser ultimit = 109 kN.

**Kata kunci** : Balok beton bertulang, *CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer)*, dan Program *Abaqus Student Edition 6.14*.

## **ABSTRACT**

*Reinforced concrete beam is a structural element is designed to withstand a working load. Expenses that exceed the capacity of the beam section, would result in the failure load bearing beams in flexure and shear. In this analysis, the beam with two point loading using CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) as reinforcement against bending and shear capacity.*

*Modeling carried out by the three-dimensional shape, using FEM Abaqus Student Edition 6.14. There are three sections in the analysis is the eight-point solid elements (beams), shell element (CFRP), and truss elements (reinforcement), using the concept of embedded elements and tie fuction. The steps that must be overcome in the process of analysis is pre processing, simulation and post-processing.*

*FEM modeling results Abaqus Student Edition 6.14 shows the results are not much different from the experimental results. It can be seen from the graph of the load and deflection occurs. Reinforced concrete beams after being given the strengthening of the CFRP sheet 240 to the plane of bending, increased load capacity, namely, the type EBR\_M (1 layer) = 44,88 kN, with a maximum torque = 6,73 kNm; type EBR\_M (2 layers) = 81,40 kN, with a maximum torque = 12,21 kNm; and type EBR\_M (3 layer) = 87,20 kN, with a maximum torque = 13,08 kNm. While the reinforced concrete beams after being given the strengthening of CFRP Sheet 530 on the four sides of the shear field, also increased the load capacity that is, the type A10\_M = 123 kN, with the ultimate shear strength = 61,50 kN, and a load capacity of type A12\_M = 218 kN, with ultimate shear strength = 109 kN.*

**Keywords** : *Reinforced concrete beam, CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), and Software Abaqus Student Edition 6.14.*

## **KATA HANTAR**

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pemodelan Metode Elemen Hingga Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) Yang Dikenai Lentur Dan Geser”**.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Strata 2 (S2) di Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan tesis ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Dalam kesempatan ini penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Imam Basuki M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. dan Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah begitu sabar serta memberikan begitu banyak bantuan dan dorongan sehingga tesis ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Dr. Ir. Junaedi Utomo, M.Eng. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan dan bantuan sehingga tesis ini menjadi lebih baik.



4. Segenap dosen Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mendidik, mengajar dan membagikan ilmunya kepada penulis.
5. Bapak dan Ibu tersayang, yang telah senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta perhatian.
6. Saudara-saudari ku tersayang Octovianus Rada,SH , Ester Ina Rada,ST , dan Yustina Rada,S.Com.,MT, yang selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan tesis ini serta terimakasih terkhusus kepada yang tersayang Catarina Dian Saraswati,S.Pd. yang telah memberikan perhatian dan motivasi.
7. Teman-teman seperjuanganku Pak Stephanus Ola Demon, Mas Sungsang, Eric, Happy, Salman, Ken, Alan, Gil, Jefri yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Seluruh teman-teman Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta baik yang seangkatan maupun lain angkatan. Terima kasih untuk kebersamaannya.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian terutama bagi mahasiswa Teknik Sipil.

Yogyakarta, April 2018

Penulis

Stefanus Rada

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii

<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	iv
<b>MOTTO</b>	v
<b>INTISARI</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>KATA HANTAR</b>	viii
<b>DAFTAR ISI</b>	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Keaslian Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Tujuan Penelitian	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	9
3.1. Balok Beton Bertulang	9
3.2. <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	9
3.2.1. <i>Carbon</i>	11
3.2.2. <i>Glass</i>	12
3.2.3. <i>Aramid</i>	12
3.3. <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	13
3.4. Elemen Solid Hexahedral	14
3.5. Elemen Balok ABAQUS	17
3.6. Elemen Segiempat Isoparametrik Bilinear	18
3.7. Konstitutif Model Material	21
3.7.1. Material Beton	22
3.7.2. Material Baja Tulangan	25
3.7.3. Material <i>FRP</i>	26
3.8. Model Zona Kohesif	28
3.9. Lendutan	30
3.10. Kekakuan	30
3.11. Pola Keretakan	31
3.11.1. Retak Lentur ( <i>Flexural crack</i> )	31
3.11.2. Retak Arah Memanjang	32
3.11.3. Retak Geser ( <i>Shear crack</i> )	32
3.12. Permodelan Elemen Hingga	33
3.12.1. Model Beton	34

3.12.2. Model Baja Tulangan .....	35
3.12.3. Model <i>FRP</i> .....	36
3.12.4. Meshing Beton .....	37
3.12.5. Meshing Baja Tulangan .....	38
3.13. Analisis ABAQUS .....	38
3.13.1. Pre processing .....	39
3.13.2. Simulasi.....	41
3.13.3. Post Processing .....	42
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	43
4.1. Bahan Penelitian.....	43
4.2. Pemodelan Desain .....	47
4.3. Langkah-langkah Penelitian.....	48
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	50
5.1. Permodelan <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	50
5.2. Input Geometrid an Analisis Benda Uji Menggunakan <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	51
5.3. Hasil Analisis Permodelan <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	67
5.3.1. Balok Beton Bertulang Yang Dikenai Lentur.....	67
5.3.2. Balok Beton Bertulang Yang Dikenai Geser.....	71
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	78
6.1. Kesimpulan.....	78
6.2. Saran.....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	80
<b>LAMPIRAN</b> .....	82

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Diagram tegangan - regangan penampang beton bertulang dengan <i>FRP</i> .....	Halaman 10
Gambar 3.2. <i>CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)</i> .....	12

Gambar 3.3. <i>GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer)</i> .....	12
Gambar 3.4. <i>AFRP(Aramid Fiber Reinforced Polymer)</i> .....	13
Gambar 3.5. Elemen Solid Hexahedral dengan Koordinat Alami ( <i>Sumber Theory Abaqus</i> ).....	15
Gambar 3.6. Elemen Segiempat Isoparametrik Bilinier ( <i>Sumber : Theory Abaqus</i> ).....	18
Gambar 3.7. Hubungan Konstitutif Material Beton (a) Dalam arah tarik utama dan (b) Dalam arah tekan utama ( <i>Sumber : Theory Abaqus</i> ).....	22
Gambar 3.8. Hubungan Tegangan-Regangan Konstitutif Baja Tulangan ( <i>Sumber : Theory Abaqus</i> ).....	25
Gambar 3.9. Regangan Geser FRP ( <i>Sumber : Theory Abaqus</i> ).....	26
Gambar 3.10. Elemen Material Yang Diperkuat FRP ( <i>Sumber : Theory Abaqus</i> ).....	26
Gambar 3.11. Laminasi komposit elemen kohesif ( <i>Sumber : Theory Abaqus</i> ).....	28
Gambar 3.12. Hubungan beban-lendutan pada balok (Nawy,2003).....	30
Gambar 3.13. Retak pada balok beton bertulang (Aziz, 2014).....	32
Gambar 3.14. Macam-macam model elemen ( <i>Theory Abaqus</i> ).....	34
Gambar 3.15. <i>Three dimensional solid element (Theory Abaqus)</i> .....	34
Gambar 3.16. <i>Truss element (Theory Abaqus)</i> .....	36
Gambar 3.17. Konsep embedded element ( <i>Theory Abaqus</i> ).....	36
Gambar 3.18. Model <i>Tie Function (Theory Abaqus)</i> .....	37
Gambar 3.19. Model <i>brick elemet 3D</i> untuk beton ( <i>Theory Abaqus</i> ).....	38
Gambar 3.20. Model <i>truss element 3D (Theory Abaqus)</i> .....	38
Gambar 3.21. Diagram alir <i>proses running (Theory Abaqus)</i> .....	39
Gambar 4.1. Bagan alir penelitian.....	49
Gambar 5.1. Membuka aplikasi <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	50
Gambar 5.2. <i>Viewport awal Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	51
Gambar 5.3. <i>Part balok pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	51
Gambar 5.4. <i>Part longitudinal pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	52
Gambar 5.5. <i>Part stirrups pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	52
Gambar 5.6. <i>Part CFRP pemodelan lentur pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	53
Gambar 5.7. <i>Part CFRP pemodelan geser pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	53
Gambar 5.8. <i>Property balok pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	55
Gambar 5.9. <i>Property longitudinal pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	56
Gambar 5.10. <i>Property stirrups pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	56
Gambar 5.11. <i>Property CFRP pemodelan lentur pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	57
Gambar 5.12. <i>Property CFRP pemodelan geser pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	57
Gambar 5.13. <i>Assembly tulangan dan balok Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	59
Gambar 5.14. <i>Datum plane pada Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	61
Gambar 5.15. Model tumpuan pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	61
Gambar 5.16. Balok dengan dua titik pembebanan terpusat pada	

<i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	62
Gambar 5.17. <i>Mesh</i> balok pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	63
Gambar 5.18. <i>Mesh longitudinal</i> pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	64
Gambar 5.19. <i>Mesh stirrups</i> pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	64
Gambar 5.20. <i>Mesh CFRP</i> pemodelan lentur pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	65
Gambar 5.21. <i>Mesh CFRP</i> pemodelan geser pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	65
Gambar 5.22. <i>Edit job</i> .....	66
Gambar 5.23. <i>Submit job</i> .....	67
Gambar 5.24. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe R1.....	68
Gambar 5.25. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe R2.....	68
Gambar 5.26. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe R2.....	69
Gambar 5.27. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe EBR_M (1 lapis).....	69
Gambar 5.28. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe EBR_M (2 lapis).....	70
Gambar 5.29. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe EBR_M (3 lapis).....	71
Gambar 5.30. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe A10_R.....	72
Gambar 5.31. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe A10_S.....	72
Gambar 5.32. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe A10_M.....	73
Gambar 5.33. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe A12_R.....	74
Gambar 5.34. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe A12_S.....	74
Gambar 5.35. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe A12_M.....	75
Gambar 5.36. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe B10_R.....	76
Gambar 5.37. Grafik perbandingan beban-lendutan balok tipe B12_R.....	76

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Karakteristik fiber.....	10
Tabel 3.2 Perbandingan karakter permukaan <i>tie formulation</i> ( <i>Theory Abaqus</i> )...37	37

Tabel 4.1	Spesifikasi material pada pemodelan balok lentur.....	43
Tabel 4.2	Spesifikasi material pada pemodelan balok geser.....	44
Table 4.3	Tipe, spesifikasi dan nilai pada pemodelan balok lentur.....	45
Table 4.4	Tipe, spesifikasi dan nilai dalam pemodelan balok geser.....	46
Tabel 5.1	Parameter <i>plasticity</i> beton (Panduan pemodelan struktur beton bertulang dengan <i>ABAQUS</i> ).....	54
Tabel 5.2	Data <i>Compressive Behaviour</i> (Panduan pemodelan struktur beton bertulang dengan <i>ABAQUS</i> ).....	54
Tabel 5.3	Data <i>tensile behavior</i> (Panduan pemodelan struktur beton bertulang dengan <i>ABAQUS</i> ).....	55
Tabel 5.4	Perbandingan beban dan momen maksimum hasil experimental dengan hasil <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	67
Tabel 5.5	Perbandingan beban dan momen maksimum hasil experimental dengan hasil <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	71

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran I. Output gambar permodelan lentur pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	82
Lampiran II. Output gambar permodelan geser pada <i>Abaqus Student Edition 6.14</i> .....	88