

SKRIPSI

**STUDI NUMERIK PERILAKU KOLOM BETON SILINDER
TERKEKANG CFRP PENUH DAN PARSIAL**



**RADEN MAS BLASIUS SOSRODINARYO
NPM : 6102001145**

PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**STUDI NUMERIK PERILAKU KOLOM BETON SILINDER
TERKEKANG CFRP PENUH DAN PARSIAL**



**RADEN MAS BLASIUS SOSRODINARYO
NPM : 6102001145**

PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**STUDI NUMERIK PERILAKU KOLOM BETON SILINDER
TERKEKANG CFRP PENUH DAN PARSIAL**



**RADEN MAS BLASIUS SOSRODINARYO
NPM : 6102001145**

BANDUNG, 26 JULI 2024

PEMBIMBING:

KO-PEMBIMBING:

Liyanto Eddy, Ph.D.

Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024**

SKRIPSI

**STUDI NUMERIK PERILAKU KOLOM BETON SILINDER
TERKEKANG CFRP PENUH DAN PARSIAL**



RADEN MAS BLASIUS SOSRODINARYO
NPM : 6102001145

PEMBIMBING: Liyanto Eddy, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

PENGUJI 1: Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc.

PENGUJI 2: Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
JULI 2024

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Raden Mas Blasius Sosrodinaryo
Tempat, tanggal lahir : Bandung, 10 Februari 2002
NPM : 6102001145
Judul skripsi : **Studi Numerik Perilaku Kolom Beton Silinder Terkekang CFRP Penuh dan Parsial**

Dengan ini Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 14 Juli 2024



Raden Mas Blasius Sosrodinaryo

STUDI NUMERIK PERILAKU KOLOM BETON SILINDER TERKEKANG CFRP PENUH DAN PARSIAL

Raden Mas Blasius Sosrodinaryo
NPM : 6102001145

Pembimbing : Liyanto Eddy, Ph.D.
Ko-Pembimbing : Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
2024

ABSTRAK

Banyak cara yang dapat digunakan untuk memperkuat struktur eksisting seperti *concrete jacketing*, *steel jacketing*, dan *CFRP wrapping*. Setiap metode memiliki keunggulannya tersendiri seperti pengaplikasian CFRP yang sederhana bila dibandingkan dengan metode lainnya. Pengaplikasian CFRP dapat dilakukan secara parsial ataupun menyeluruh sesuai kebutuhan di lapangan. Pengujian Micelli dan Modarelli menunjukkan peningkatan kekuatan tekan beton hampir sebesar 2 kali lipat pada kasus beton terkekang secara penuh. Terdapat pula eksperimen yang dilakukan oleh Barros dan Ferreira mengenai perbandingan luasan kekangan CFRP parsial terhadap perilaku beton. Hasil uji tersebut menunjukkan kekangan parsial tidak menambah kekuatan beton secara signifikan. Pemodelan uji kuat tekan pada penelitian ini akan menggunakan *software* Abaqus untuk analisis metode elemen hingga. Dari hasil analisis tersebut akan dilakukan pembahasan terkait perilaku beton saat terkekang CFRP. Selain melakukan perbandingan terhadap jurnal acuan, juga dilakukan tambahan pemodelan yakni mengasumsikan kekangan akibat CFRP bersifat aktif. Setelah itu kedua hasil analisis akan dibandingkan untuk mengetahui efektivitas jenis tegangan lateral. Hasil analisis menunjukkan kekangan aktif lebih efektif dalam menambah kekuatan tekan beton. Hasil lain yang didapat adalah kekangan parsial tidak menambah kekuatan beton secara signifikan dan semakin sedikit luasan beton terkekang CFRP, perilaku beton tersebut semakin serupa dengan beton polos.

Kata Kunci: Abaqus, CFRP, Kuat tekan beton, Metode elemen hingga, Kekangan lateral

NUMERICAL STUDY OF CYLINDRICAL CONCRETE COLUMN BEHAVIOUR FULLY AND PARTIALLY CONFINED BY CFRP

Raden Mas Blasius Sosrodinaryo
NPM : 6102001145

Advisor: Liyanto Eddy, Ph.D.
Co-Advisor: Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK LAM Teknik No.0216/SK/LAM Teknik/AS/VIII/2023)
BANDUNG
2024

ABSTRACT

There are many methods that can be used to strengthen existing structure, such as concrete jacketing, steel jacketing, and CFRP wrapping. Each method has its own advantages, like the simple application of CFRP compared to other methods. CFRP applications can be done partially or fully depending on the needs in the field. Micelli and Modarelli test shows an increase of concrete compressive strength by almost 2 times on fully wrapped concrete. There is also another test carried out by Barros and Ferreira regarding the comparison of the area of partial CFRP confinement to the behavior of concrete. The test results show that partial confinement does not increase the concrete compressive strength significantly. Compressive strength test model in this research will use Abaqus software finite element method analysis. From the analysis results, a discussion of CFRP confined concrete behavior will be conducted. Besides doing comparison to reference journals, additional modelling was also carried out assuming CFRP confinement acts as active confinement. After that both analysis results will be compared to know the effectiveness of lateral stress type. Analysis results show that active confinement is more effective to increase concrete compressive strength. Other results suggest that partial confinement did not increase concrete compressive strength significantly and the lesser the area of CFRP confined concrete, the more similar the behavior of the concrete to plain concrete.

Keywords: Abaqus, CFRP, Concrete compressive strength, Finite element, Lateral confinement

PRAKATA

Puji dan syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan-Nya kepada penulis dalam penyusunan skripsi dengan judul “STUDI NUMERIK PERILAKU KOLOM BETON SILINDER TERKEKANG CFRP PENUH DAN PARSIAL” telah selesai disusun. Skripsi ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Tentunya selama penyusunan skripsi ini, terdapat kendala yang menurunkan semangat penulis, namun berkat dukungan orang-orang terdekat skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Doa dan dukungan tanpa henti dari Ibu dan Momo.
2. Bapak Liyanto Eddy, Ph.D. dan Ibu Wivia Octarena Nugroho, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan nasihat, dorongan dan bimbingan selama penyusunan skripsi ini dari awal hingga akhir.
3. Alm. Bapak Zulkifli Bachtiar Sitompul, Ir., MSIE., Bapak Ignatius Tommy Pratama, S.T., M.S., dan Ibu Buen Sian, Ir., M.T. yang telah menjadi dosen wali penulis selama masa studi penulis di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.
4. Seluruh dosen dan tenaga pendidik di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan yang telah membantu penulis selama masa studi.
5. Bapak Dr. Paulus Karta Wijaya, Ir., M.Sc. dan Bapak Helmy Hermawan Tjahjanto, Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan segala masukan untuk perbaikan penelitian ini.
6. Fahreza dan Wilson selaku teman perjuangan satu bimbingan yang turut membantu dan saling memberi semangat.
7. Masyarakat sipil khususnya teman-teman Teknik Sipil Angkatan (Kaktus) 2020 yang memberikan cerita menarik dalam masa perkuliahan.
8. Teman-teman KMK *Piernicola* yang memberikan cerita menarik dalam masa perkuliahan.
9. Cynthia yang selalu memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari kurangnya skripsi ini dari kata sempurna dan masih butuh banyak perbaikan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan penulis di masa yang akan datang.

Bandung, 19 Juli 2024



Raden Mas Blasius Sosrodinaryo

6102001145



DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Inti Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5. Metode Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2	6
STUDI LITERATUR	6
2.1 Material Beton	6
2.1.1 Kuat Tekan Beton ($f'c$)	6
2.1.2 Modulus Elastisitas Beton	7
2.1.3 Poisson's Ratio Beton	7
2.2 Material CFRP	8

2.3 Perilaku <i>Confinement</i> Secara Umum	9
2.4 Perilaku <i>Confinement</i> Oleh FRP	9
2.5 Pemasangan CFRP	13
2.6 Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>)	13
2.7 Lamina	13
2.8 Concrete Damage Plasticity	14
BAB 3	17
METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Pemodelan Numerik	17
3.2 Pemodelan Benda Uji	17
3.2.1 Pemodelan Sampel Beton Silinder	17
3.2.2 Pemodelan Sampel CFRP	17
3.3 Pendefinisian Material.....	19
3.3.1 Pendefinisian Material Beton.....	19
3.3.2 Pendefinisian Material <i>Carbon</i>	22
3.3.3 Pemodelan Boundary Condition	23
3.3.4 <i>Meshing</i>	25
3.4 Pemodelan kasus	26
3.4.1 Kasus Active Confinement	26
3.4.2 Kasus Kekangan CFRP.....	26
BAB 4	29
ANALISIS DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Analisis Kekuatan Tekan Beton Akibat Tegangan Lateral Aktif	29
4.2 Hasil Analisis Kekuatan Tekan Beton Terkekang Penuh CFRP Berdasarkan Eksperimen Micelli dan Modarelli	38

4.2.1 Perbandingan Beton Terkekang Secara Aktif dengan Terkekang CFRP	39
4.3 Hasil Analisis Kekuatan Tekan Beton Terkekang CFRP Parsial Berdasarkan Eksperimen Barros dan Ferreira	47
4.3.1 Perbandingan Beton Terkekang Secara Parsial.....	48
BAB 5	60
KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ACI	:	<i>American Concrete Institute</i>
$CFRP$:	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>
D	:	Diameter Beton Silinder
E_c	:	Modulus Elastisitas Beton
E_{frp}	:	Modulus Elastisitas FRP
f'_c	:	Kuat Tekan Beton Tanpa Kekangan CFRP
f'_{cc}	:	Kuat Tekan Beton Terkekang CFRP
f_l	:	Tegangan Maksimum Akibat Kekangan FRP
H	:	Tinggi Beton Silinder
MEH	:	Metode Elemen Hingga
R	:	Jari-jari Beton Silinder
t_f	:	Tebal Lapisan CFRP
w	:	Lebar per Setrip CFRP
δ	:	Deformasi Arah Longitudinal Beton
δ'	:	Deformasi Arah Lateral Beton
ε	:	Regangan Saat Keruntuhan Beton
ε_{c0}	:	Regangan Saat Puncak Kuat Tekan
ε_h	:	Regangan CFRP
$\varepsilon_{h,rup}$:	Regangan CFRP saat keruntuhan
η	:	Rasio Regangan dengan Regangan Puncak
ν	:	<i>Poisson's Ratio</i>
σ	:	Tegangan Beton
σ_{cfrp}	:	Kuat Tarik CFRP
σ_{cu}	:	Kuat Tekan Beton Ultimit
σ_h	:	Tegangan Tarik pada CFRP
$\sigma_{h,rup}$:	Tegangan Tarik pada CFRP saat keruntuhan
σ_r	:	Tegangan pada beton akibat kekangan CFRP
γ_c	:	Massa Jenis Beton

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pemasangan CFRP pada kolom	1
Gambar 1.2 Kurva tegangan-regangan CFRP (Zhang et al., 2019)	2
Gambar 2.1 Kurva Tegangan-Regangan Beton dengan Berbagai Mutu	7
Gambar 2.2 Skema Kekangan oleh FRP pada Beton (Lam & Teng, 2003)	9
Gambar 2.3 Diagram Tegangan Regangan Beton Terkekang FRP (Lam & Teng, 2003)	11
Gambar 2.4 Kurva Tegangan-Regangan Uji Tekan Beton Polos dan Terkekang (Micelli & Modarelli, 2013)	11
Gambar 2.5 Kurva Tegangan-Regangan Uji Tekan Beton Polos dan Terkekang (Baros & Ferreira, 2008)	12
Gambar 2.6 Ilustrasi Tipe Lamina	14
Gambar 2.7 Hubungan Antar Parameter Pada Tipe Lamina	14
Gambar 2.8 Respon Beton Akibat Beban Uniaksial Tarik	15
Gambar 2.9 Respon Beton Akibat Beban Uniaksial Tekan	15
Gambar 3.1 Pemodelan Beton silinder	17
Gambar 3.2 Pemodelan CFRP Mengacu pada Studi Eksperimental	18
Gambar 3.3 Ilustrasi Pemasangan CFRP Sesuai Uji oleh Barros dan Ferreira	18
Gambar 3.4 Parameter Kerapatan Massa Beton	19
Gambar 3.5 Kurva Tegangan-Regangan Perhitungan <i>Eurocode</i>	21
Gambar 3.6 Parameter Kerapatan Massa CFRP	22
Gambar 3.7 Parameter Elastisitas CFRP	23
Gambar 3.8 Input Boundary Condition	24
Gambar 3.9 Ilustrasi <i>Boundary Condition</i>	24
Gambar 3.10 Ilustrasi Sampel yang Sudah di- <i>Mesh</i>	25
Gambar 3.11 Ilustrasi Pemodelan <i>Active Confinement</i>	26
Gambar 3.12 Ilustrasi Pemasangan CFRP	27
Gambar 4.1 Kurva Tegangan-Regangan Perbandingan Hasil Analisis dengan Teoritis	30

Gambar 4.2 Kurva Tegangan-Regangan Beton Silinder Sebelum dan Sesudah Menerima Tegangan Lateral Aktif	31
Gambar 4.3 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik A	33
Gambar 4.4 Kontur <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik B.....	35
Gambar 4.5 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik C.....	37
Gambar 4.6 Perbandingan Kurva Tegangan-Regangan Berdasarkan Perhitungan <i>Eurocode</i> dengan Hasil Analisis MEH	38
Gambar 4.7 Kurva Tegangan-Regangan Percobaan Micelli dan Modarelli Sebelum dan Sesudah diberi Tegangan Lateral dan Kekangan CFRP.....	39
Gambar 4.8 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik A	41
Gambar 4.9 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik B.....	43
Gambar 4.10 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik C.....	45
Gambar 4.11 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> pada CFRP	46
Gambar 4.12 Perbandingan Kurva Tegangan-Regangan Perhitungan <i>Eurocode</i> dengan Hasil Analisis MEH	47
Gambar 4.13 Kurva Tegangan-Regangan Perbandingan Beton Silinder Polos dengan Terkekang CFRP Parsial.....	48
Gambar 4.14 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik A	50
Gambar 4.15 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik B.....	52
Gambar 4.16 Kontur Tegangan <i>Von Mises</i> dan <i>Damage</i> Beton Silinder pada Titik C.....	54
Gambar 4.17 Kontur Tegangan <i>Mises</i> CFRP	56
Gambar 4.18 Kurva Tegangan-Regangan Perbandingan Hasil Analisis dengan Perhitungan Teoritis.....	57
Gambar 4.19 Kurva <i>Volumetric Ratio</i> Vs % Peningkatan Kekuatan Tekan.....	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Tarik Tipikal CFRP yang Digunakan Dalam Sistem FRP	8
Tabel 3.1 Parameter Modulus Elastisitas yang Digunakan Dalam Pemodelan....	20
Tabel 3.2 Parameter Plastis Untuk CDP	20
Tabel 4.1 Rekapitan Kuat Tekan Beton Silinder	30
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Analisis dengan Teoritis	31
Tabel 4.3 Rekapitan Hasil Analisis Studi Eksperimental.....	40
Miceli dan Modarelli dengan Abaqus	40
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Studi Eksperimental.....	47
Miceli dan Modarelli dengan Analisis Abaqus	47
Tabel 4.5 Hasil Peningkatan Kuat Tekan Beton Silinder.....	49
Sesudah Dikekang CFRP	49
Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Studi Eksperimental.....	57
Barros dan Ferreira dengan Analisis Abaqus	57
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Studi Eksperimen	58
dengan Analisis Abaqus.....	58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Input Kurva Tegangan-Regangan Mutu Beton 28 Mpa....	64
Lampiran 2	Data Input Kurva Tegangan-Regangan Mutu Beton 23 Mpa....	65
Lampiran 3	Perhitungan Parameter Elastisitas CFRP.....	66



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Retrofitting adalah upaya penyesuaian kinerja bangunan Gedung yang telah dimanfaatkan agar memenuhi persyaratan bangunan Gedung (PUPR, 2018). *Retrofitting* berfungsi untuk mengembalikan bangunan eksisting ke usia awalnya ataupun untuk memperkuat struktur bangunan. *Retrofitting* diperlukan jika terdapat perubahan aturan mengenai spesifikasi bangunan gedung, adanya perubahan fungsi bangunan, dan jika terjadi bencana di daerah bangunan tersebut berada yang bisa melemahkan struktur bangunan. Terdapat 2 macam *retrofitting* yakni global dan lokal. Salah satu contoh *retrofitting* lokal adalah penggunaan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP).

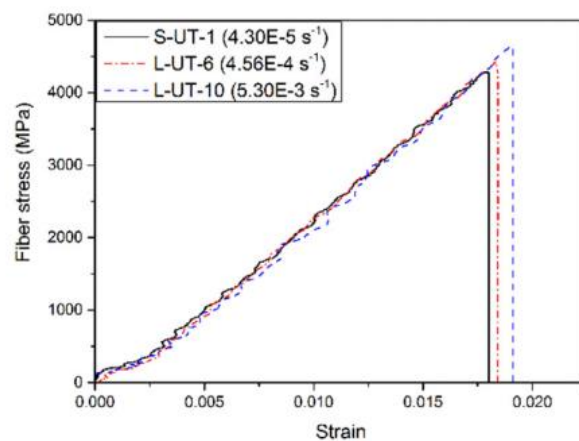
Penggunaan FRP sebagai pengekang kolom beton bertulang untuk kekuatan dan perbaikan struktur semakin meningkat belakangan ini (Bisby, 2005). FRP adalah material komposit yang umumnya terbuat dari serat yang direkatkan menggunakan resin (ACI). FRP dapat diaplikasikan dengan membungkus sisi luar struktur yang ingin diperkuat, struktur tersebut dapat dibungkus secara keseluruhan ataupun parsial. FRP memiliki keunggulan diantaranya kekuatan yang tinggi, ringan, tahan terhadap korosi, mudah dipasang, dan tidak membutuhkan bekisting (Layang, 2021). Gambar 1.1 menunjukkan kemudahan dalam pengaplikasian FRP, hanya dibutuhkan perekat dan *scaffolding* bagi pekerja.



Gambar 1.1 Pemasangan CFRP pada kolom

Berbagai macam bahan dasar serat adalah kaca, karbon, kevlar, boron, dan basalt. Karbon atau *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) adalah serat yang paling umum digunakan. Karena CFRP memiliki keunggulan dalam kekuatan dan menunjukkan ketahanan yang tinggi terhadap kegagalan fatigue dan rangka dibandingkan FRP bahan lainnya. (Abbood et al., 2020).

Kekangan FRP pada beton memberikan tekanan pasif lateral. Beton akan berdeformasi secara lateral saat menerima beban aksial tekan sehingga luas penampang beton akan bertambah. Deformasi inilah yang ditahan oleh FRP. Berbeda dengan struktur beton yang dikekang oleh tulangan baja, tekanan akibat kekangan baja akan mengikuti kelesahan baja sedangkan tekanan akibat FRP terus meningkat karena FRP tidak memiliki batas leleh (Lam & Teng, 2003). Pada gambar 1.2 menampilkan kurva tegangan-regangan saat pengujian tarik pada CFRP, terlihat bahwa CFRP tidak memiliki batas leleh melainkan langsung mencapai tegangan maksimum atau bersifat *brittle*.



Gambar 1.2 Kurva tegangan-regangan CFRP (Zhang et al., 2019)

Barros dan Ferreira melakukan studi eksperimental pada tahun 2008 mengenai efisiensi kekangan CFRP parsial untuk beton silinder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemakaian CFRP bisa meningkatkan kapasitas beton dalam menerima beban, dan deformabilitas khususnya bagi benda uji dengan kuat tekan beton lebih rendah dan kekakuan CFRP lebih tinggi. Didapatkan pula semakin rapat jarak antar setrip CFRP semakin besar beban yang dapat diterima oleh benda uji.

Penggunaan 1 setrip dan 3 setrip tidak terlalu signifikan dalam meningkatkan kapasitas pemikul beban beton maupun daktilitasnya. Sedangkan pada penggunaan 5 setrip, peningkatan kapasitas pemikul beban beton mulai terlihat dan penambahan lapis CFRP mampu menambah daktilitas benda uji. Terdapat pula studi eksperimental lain yang dilakukan oleh Micelli dan Modarelli pada tahun 2013. Dalam uji tersebut beton dengan mutu yang sama yakni 28 MPa mengalami kenaikan kuat tekan mencapai 55 MPa jika dibungkus secara penuh oleh CFRP.

Dalam ACI 440.2R-17 disarankan untuk membungkus beton secara keseluruhan. Namun, bila tidak memungkinkan untuk melaksanakan hal tersebut jarak antar setrip FRP tidak boleh lebih dari 150 mm. Hal tersebut dimaksudkan jika ada keretakan beton di daerah yang tidak dikekang, FRP tetap bisa mencegah terjadinya *buckling* pada tulangan.

1.2 Inti Permasalahan

ACI 440.2R-17 tidak mewajibkan perkuatan struktur dengan CFRP harus digunakan secara menyeluruh. Hanya disebutkan bahwa jarak maksimum antar setrip CFRP adalah 150 mm. Maka, diperlukan sebuah analisis yang dapat mengetahui perilaku beton terkekang CFRP dan membandingkan peningkatan kekuatan beton yang terkekang penuh dengan terkekang parsial oleh CFRP.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka tujuan penelitian skripsi ini adalah:

1. Memodelkan perilaku beton terkekang CFRP dengan *finite element*.
2. Mempelajari perilaku beton terkekang CFRP penuh dan parsial.

1.4 Pembatasan Masalah

Penelitian terkait memiliki beberapa batasan, antara lain:

1. Spesifikasi beton Barros dan Ferreira:
 - a. Dimensi beton; $D = 150$ mm dan $H = 300$ mm
 - b. Massa jenis beton, $\gamma_c = 24$ kN/m³
 - c. Mutu beton, $f_c' = 23$ MPa
 - d. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700 * \sqrt{f_c'}$

- e. *Poisson's ratio*, $\nu = 0,2$.
2. Spesifikasi CFRP Barros dan Ferreira:
 - a. Tebal CFRP, $t_f = 0,176$ mm
 - b. Lebar per setrip, $w = 15$ mm
 - c. Modulus elastisitas CFRP, $E_{cfpr} = 230$ GPa
 - d. Regangan CFRP, $\varepsilon_h = 1,46\%$
 - e. Kuat Tarik, $\sigma = 3250$ MPa.
 3. Spesifikasi beton Micelli dan Modarelli:
 - a. Dimensi beton; $D = 150$ mm dan $H = 300$ mm
 - b. Massa jenis beton, $\gamma_c = 24$ kN/m³
 - c. Mutu beton, $f_{c'} = 28$ MPa
 - d. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700 * \sqrt{f_{c'}}$
 - e. *Poisson's ratio*, $\nu = 0,2$.
 4. Spesifikasi CFRP Micelli dan Modarelli:
 - a. Tebal CFRP, $t_f = 0,165$ mm
 - b. Modulus elastisitas CFRP, $E_{cfpr} = 230$ GPa
 - c. Regangan CFRP, $\varepsilon_h = 1,5\%$
 - d. Kuat Tarik, $\sigma = 3430$ MPa.

Spesifikasi beton dan CFRP di atas mengacu pada studi eksperimental yang dilakukan Barros dan Ferreira serta Micelli dan Modarelli.

5. Pemodelan plastis material beton menggunakan *Concrete Damage Plasticity*.
6. Acuan desain yang digunakan adalah ACI 440.2R-17 *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP System for Strengthening Concrete Structures*.
7. Pemodelan menggunakan *software ABAQUS CAE*
 - a. Beton silinder akan dimodelkan sebagai solid sedangkan CFRP akan dimodelkan sebagai *shell*.
 - b. Pemodelan material mengikuti tegangan-regangan CFRP sesungguhnya.

1.5. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan data yang digunakan sebagai referensi dari buku, jurnal, dan materi perkuliahan yang berkaitan dengan FRP

2. Studi Analisis

Studi analisis pada skripsi ini dilakukan dengan menggunakan *software* Abaqus CAE untuk perhitungan model.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan singkat dari latar belakang, inti permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 STUDI LITERATUR

Bab ini membahas tentang konsep dasar yang akan digunakan sebagai dasar dan pedoman dalam mengerjakan proses desain dan analisis.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan pembuatan model dan kasus yang dibuat sesuai pembatasan masalah yang akan digunakan dalam analisis data.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil yang didapat dari pemodelan pada *Abaqus*. Hasil yang didapat pada bab ini akan digunakan untuk penyusunan kesimpulan dan saran.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan hasil uji yang telah dilakukan dalam pemodelan, serta saran yang dapat dilakukan dan berguna untuk penelitian selanjutnya.