

**TESIS**

**ANALISA POLA KEGAGALAN BALOK BETON MENGGUNAKAN  
*GFRP* BAR DAN *GFRP* SHEET**

**FAILURE MODE ANALYSIS OF CONCRETE BEAMS  
USING *GFRP* BAR AND *GFRP* SHEET**

**A.ALAL AZHARI YUSUF**

**D012201023**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022**

## LEMBAR PENGESAHAN (TESIS)

### ANALISA POLA KEGAGALAN BALOK BETON MENGUNAKAN GFRP BAR DAN GFRP SHEET

Disusun dan diajukan oleh:

**A.ALAL AZHARI YUSUF**

**D012201023**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

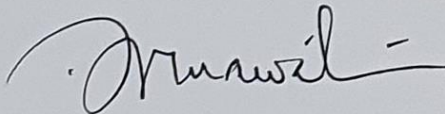
pada tanggal 16 Agustus 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

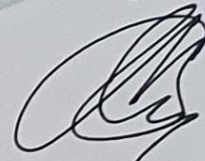
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.  
NIP. 19720619 200012 2 001



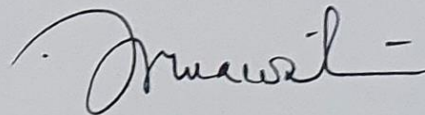
Ir.A. Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19600730 198603 1 003

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.  
NIP. 19730926 200012 1 002



Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.  
NIP. 19720619 200012 2 001



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : A.ALAL AZHARI YUSUF  
Nomor mahasiswa : D012201023  
Program studi : S2 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Agustus 2022



menyatakan

A. Alal Azhari Yusuf

## P R A K A T A

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT dan shalawat atas Rasulullah Muhammad SAW atas anugerah kesehatan fisik dan spiritual sebagai modal besar untuk menyelesaikan tulisan ini.

Tulisan ini merupakan Tesis yang menjadi bagian dari proses penyelesaian studi magister di Universitas Hasanuddin. Tulisan ini telah diselesaikan, namun masih memiliki banyak kekurangan sehingga masukan dan kritikan diharapkan dapat memperbaiki dan meningkatkan mutunya.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sangat tinggi kepada ibu **Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT** dan , Bapak **Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, Msc., Ph.D** yang telah membimbing kami merampungkan Tesis ini.

Ucapan terima kasih kepada tim penguji **Prof. Dr. Ing. Herman Parung M. Eng., Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin ST., MT.** dan **Dr. Eng. Fakhruddin, ST., MT** yang telah memberikan saran dan masukan untuk kesempurnaan disertasi ini.

Ucapan terima kasih kami kepada Rektor Universitas Hasanuddin **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, Dekan Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin **Prof. dr. Budu, Ph.D., Sp.M(K), M.MedEd** Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Prof. Dr. Eng. Arsyad Muh. Isranramli, ST., MT.** Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. Ir. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**), Ketua program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin **Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT.** dan seluruh dosen dan staf di lingkungan S2 Teknik Sipil.

Terima kasih juga kami sampaikan kepada rekan mahasiswa S1 terkhusus **Kaleb** dan rekan mahasiswa S2 angkatan 2020 yang telah membantu kami dalam penyelesaian studi Magister.

Akhir kata terkhusus untuk kedua orang tua tercinta **A.Muhammad Yusuf, S.Pd.** dan **Hj. Haerani P, S.Pd.** atas doa dan dorongan semangat menuntut ilmu yang ditanamkan sejak kecil dan kepada Istriku **Febiyuni Salsabila, ST.** serta **Kak Eka** dan **Kak Enul** yang telah banyak membantu dan memotivasi dalam menyelesaikan studi ini, saya ucapkan banyak terima kasih.

Makassar, Agustus 2022

**A.Alal Azhari Yusuf**

## ABSTRAK

**A.ALAL AZHARI YUSUF.** Analisa Pola Kegagalan Balok Beton Menggunakan GFRP Bar dan GFRP Sheet (dibimbing oleh **Rita Irmawaty** dan **Achmad Bakri Muhiddin**)

Korosi merupakan reaksi elektrokimia yang dapat menyebabkan kerusakan pada baja tulangan struktur beton bertulang. Untuk meningkatkan ketahanan dan kapasitas lentur pada balok, maka metode yang digunakan yaitu *GFRP bar* sebagai pengganti tulangan tarik baja dan *GFRP sheet* sebagai pengganti tulangan geser dimana selimut beton dapat dihilangkan untuk menambah tinggi efektif penampang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas lentur, pola retak dan pola kegagalan balok beton bertulang *GFRP bar* tanpa selimut beton yang menggunakan 2 lapis *GFRP sheet* sebagai tulangan geser dengan lebar 50 mm (BFGS50), balok beton bertulang *GFRP bar* tanpa selimut beton yang menggunakan *GFRP sheet* sebagai tulangan geser dengan lebar 100 mm (BFGS100) dibandingkan dengan balok beton bertulang baja (BK) serta balok bertulang *GFRP bar* yang menggunakan tulangan geser baja (BFTS). Pengujian dilakukan dengan pemberian pembebanan secara statis monotonic dengan kecepatan 0.03 mm/detik sampai benda uji gagal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas lentur pada balok BFTS dan BFGS50 lebih besar 36.2% dan 7.8% dibandingkan dengan balok tulangan baja (BK) sedangkan kapasitas beban lentur balok BFGS100 lebih rendah dibandingkan dengan balok BFGS50 dikarenakan luas tulangan geser pada balok BFGS100 lebih kecil dibandingkan dengan luas tulangan geser pada balok BFGS50. Pola kegagalan beton yang terjadi pada balok tulangan baja mengalami kegagalan lentur tekan ditandai dengan retakan yang terjadi pada sisi tertekan dan membentuk retakan tegak dengan sumbu netral beton yang tertekan, sedangkan pada balok tanpa selimut beton mengalami kegagalan keruntuhan tekan geser dengan kondisi tulangan berdeformasi dengan retak miring dan secara tiba-tiba menjalar menuju sumbu netral beton yang tertekan sehingga terjadi keruntuhan tiba-tiba.

Kata kunci : *GFRP bar*, *GFRP Sheet*, Balok beton bertulang tanpa selimut, Kapasitas lentur

## ABSTRACT

**A.ALAL AZHARI YUSUF.** Failure Mode Analysis Of Concrete Beams Using GFRP bar and GFRP sheet (supervised by **Rita Irmawaty** and **Achmad Bakri Muhiddin**)

Corrosion is an electrochemical process or reaction that occurs naturally and can cause damage to reinforcing steel in reinforced concrete structures. To increase the resistance and flexural capacity of the beam, one of the methods used is GFRP bar as a substitute for steel tensile reinforcement and GFRP sheet as a substitute for steel shear reinforcement where concrete cover is removed to increase the effective depth of section. This study aims to analyze the flexural capacity, crack patterns and failure patterns of reinforced concrete beams GFRP bar without concrete cover using 2 layers of GFRP sheet as shear reinforcement with a width of 50 mm (BFGS50), reinforced concrete beam GFRP bar without concrete cover using GFRP sheet as shear reinforcement with a width of 100 mm (BFGS100) compared to steel reinforced concrete beams (BK) and GFRP bar reinforced beams using steel shear reinforcement (BFTS). The loading was static-monotonic until the beams rupture with a constant ramp actuator speed of 0.03 mm/second. The results of the research indicate the flexural capacity of the BFTS and BFGS50 beams was higher by 36.2% and 7.8% compared to steel reinforcement beams (BK) and while the load capacity of the BFGS100 beam is lower than BFGS50 beam because the shear reinforcement area in the BFGS100 beam is smaller than the shear reinforcement area in the BFGS50 beam. The failure mode analysis occurs in steel reinforcement beams experiencing compressive failure. Failure was characterized by cracks that occur on the depressing side and form vertical cracks with the neutral axis of the stressed concrete, whereas the beam without a concrete cover experiences a shear compression failure with deformed reinforcement conditions with sloping cracks and suddenly spread towards the neutral axis of the compressed concrete causing a sudden collapse.

Keywords: GFRP bar, GFRP Sheet, Reinforced concrete beam without cover, Flexural Capacity

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>PRAKATA</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Permasalahan .....	7
C. Tujuan.....	7
D. Ruang Lingkup.....	8
E. Manfaat Penelitian.....	8
F. Sistematika Penulisan.....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>11</b>
A. Karakteristik Lentur Balok Beton Bertulang FRP Bar .....	11
1. Sifat Mekanik Material Tulangan FRP .....	12
2. Mode Keruntuhan .....	14
3. Momen Retak Awal .....	14



4. Momen Nominal.....	15
5. Daya Layan.....	16
6. Rekatan Tulangan-Beton.....	17
7. Rekatan tulangan FRP-Beton.....	19
B. Kuat Geser Balok Beton Menggunakan <i>GFRP</i> Sheet	
U-Wrap .....	19
1. Kontribusi geser beton yang ditulangi tulangan FRP	19
2. Kontribusi geser lembaran FP .....	20
C. Penelitian Terdahulu.....	22
1. Kusnadi.....	22
2. Saddam Husein.....	23
3. Erikson Petrus Fonataba.....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
A. Rancangan Penelitian .....	27
B. Studi Analisis.....	29
1. Perhitungan momen retak awal .....	29
2. Perhitungan momen ultimit.....	29
C. Perhitungan lendutan .....	30
D. Uji Properti .....	30
1. Pengujian Kapasitas Balok.....	34
a. Pembuatan benda uji.....	34
b. Uji Lentur static monotonik .....	38

<b>BAB 4.HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
A.Hasil pengujian karakteristik Agregat .....	40
A.1.Uji Tarik Tulangan Baja.....	401
A.2.Karakteristik <i>GFRP</i> bar .....	39
A.3.Karakteristik Beton .....	42
B.Hasil analisa balok beton bertulang.....	43
B.1 Kapasitas Momen dan Beban .....	43
B.2 Hubungan Beban dan Lendutan .....	46
B.3 Hubungan Beban dan Regangan Beton .....	54
B.4 Hubungan Beban dan Regangan Baja.....	56
B.5 Pola Retak dan Mode Kegagalan .....	57
<b>BAB 5.KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>68</b>
A. Kesimpulan .....	68
B. Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Kerusakan pada beton akibat korosi tulangan baja .....	1
Gambar 2	Jumlah tulangan yang terlindungi dari korosi .....	2
Gambar 3	Diagram tegangan dan regangan balok beton bertulang .	4
Gambar 4	Ilustrasi proses pembuatan balok beton bertulangan <i>GFRP</i> tanpa selimut beton dengan <i>GFRP</i> - Sheet sebagai kekuatan geser. ....	6
Gambar 5	Distribusi regangan dan tegangan pada batang lentur yang menggunakan tulangan FRP .....	11
Gambar 6	Perbandingan Hubungan Tegangan lekatan-Slip ketiga Variasi Benda Uji .....	25
Gambar 7	Tegangan Lekatan Maksimum Rata-Rata.....	25
Gambar 8	Diagram alir penelitian .....	28
Gambar 9	Dimensi balok uji .....	30
Gambar 10	Dimensi dan penulangan balok BK .....	31
Gambar 11	Dimensi dan penulangan balok BFTS .....	32
Gambar 12	Dimensi dan penulangan balok BFGS50 .....	33
Gambar 13	Dimensi dan penulangan balok BFGS100 .....	34
Gambar 14	Jumlah dan posisi strain gauge pada tulangan tarik Balok BK dan BFTS.....	35
Gambar 15.	Jumlah dan posisi strain gauge pada tulangan tarik Balok BFGS50 dan BFGS100.....	35

Gambar 16 Skema pengujian balok.....	38
Gambar 17 Uji kuat tekan dan kuat tarik.....	39
Gambar 18 Penempatan LVDT pada pengujian lentur .....	43
Gambar 19. Hubungan beban dan lendutan Balok Kontrol (BK) .....	47
Gambar 20. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi <i>crack</i> awal balok BK (Balok Kontrol) .....	47
Gambar 21. Hubungan beban dan lendutan Balok <i>GFRP</i> dengan Selimut Beton (BFTS) .....	48
Gambar 22. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi <i>crack</i> awal balok BFTS .....	49
Gambar 23. Hubungan beban dan lendutan Balok <i>GFRP</i> bar tanpa selimut (BFGS50) .....	50
Gambar 24. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi <i>crack</i> awal.	50
Gambar 25. Hubungan beban dan lendutan Balok <i>GFRP</i> bar tanpa selimut (BFGS50) .....	51
Gambar 26. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi <i>crack</i> awal....	52
Gambar 27 Hubungan beban dan lendutan Sampel Balok.....	52
Gambar 28. Hubungan beban dan regangan Beton BK,BFTS,BFGS50, BFGS100.....	54
Gambar 29. Hubungan beban-regangan baja (BK) dan beban regangan <i>GFRP</i> (BFTS dan BFGS) .....	56
Gambar 30. Pola Retak Balok BK-A .....	57
Gambar 31 Pola Retak Balok BK-B .....	57
Gambar 32 Pola Retak Balok BFTS-A.....	58
Gambar 33 Pola Retak Balok BFTS-B.....	58

Gambar 34 Pola Retak Balok BFGS50-A .....	59
Gambar 35 Pola Retak Balok BFGS50-B .....	59
Gambar 36 Pola Retak Balok BFGS100-A .....	60
Gambar 37 Pola Retak Balok BFGS100-B .....	60
Gambar 38 Mode keruntuhan balok BK-A .....	63
Gambar 39 Mode keruntuhan balok BK-B .....	63
Gambar 40. Mode keruntuhan balok BFTS-A .....	64
Gambar 41 Mode keruntuhan balok BFTS-B .....	64
Gambar 42 Mode keruntuhan balok BFGS50-A .....	65
Gambar 43 Mode keruntuhan balok BFGS50-B .....	66
Gambar 44 Mode keruntuhan balok BFGS100-A .....	66
Gambar 45 Mode keruntuhan balok BFGS100-B .....	67



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Variasi dan jumlah sampel balok beton bertulang.....	29
Tabel 2. Jumlah strain gauge pada balok BK .....	34
Tabel 3. Jumlah strain gauge pada balok BFTS.....	34
Tabel 4. Jumlah strain gauge pada balok BFGS50, BFGS100.....	34
Tabel 5. Nilai mekanis beton.....	39
Tabel 6. Nilai mekanis tulangan baja.....	39
Tabel 7. Karakteristik mekanis tulangan GFRP bar diameter 13 mm.....	40
Tabel 8. Karakteristik mekanis GFRP sheet tipe SEH51.....	40
Tabel 9. Kapasitas momen dan beban eksperimental pada kondisi crack dan ultimate.....	41
Tabel 10. Rekapitulasi Mode keruntuhan semua sample Balok.....	62

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

$\Delta$	=	lendutan/perpindahan (mm)
$\beta_l$	=	factor reduksi kuat tekan beton
$\varepsilon_{fu}^*$	=	regangan runtuh garansi tulangan FRP dari pabrik
$\varphi_{0.001}$	=	kurvatur pada kondisi regangan beton 0.001 (radian/mm)
$\varepsilon_{cu}$	=	regangan ultimit beton
$d_c$	=	tebal selimut yang dihitung dari sisi tarik ke as tulangan terdekat (mm)
$\rho_f$	=	rasio tulangan FRP
$\rho_{fb}$	=	rasio tulangan seimbang dari tulangan FRP
$\varepsilon_{fu}$	=	regangan runtuh disain tulangan FRP
$h$	=	tinggi penampang (mm)
$\varphi_m$	=	kurvatur pada nilai momen tertentu dalam (radian/mm)
$M_a$	=	momen maksimum pada level lendutan yang dihitung (Nmm)
$\varphi_u$	=	kurvatur ultimit (rad/mm)
$\varphi_y$	=	kurvatur kondisi leleh (radian/mm)
$a$	=	jarak bentang geser (mm)

$a$	=	tinggi blok tekan equivalen (mm)
$A_f$	=	luas tulangan FRP (mm <sup>2</sup> )
$A_{fv}$	=	luas tulangan geser dari FRP sheet (mm <sup>2</sup> )
$b$	=	lebar penampang (mm)
$b_w$	=	lebar badan balok (mm)
$c$	=	kedalaman penampang tak retak terhadap sumbu netral (mm)
$C_E$	=	faktor reduksi lingkungan
$d$	=	tinggi efektif penampang (mm)
$d_b$	=	diameter tulangan FRP (mm)
$d_{fv}$	=	tinggi efektif tulangan geser FRP sheet (mm)
$E_c$	=	modulus elastisitas beton (MPa)
$E_f$	=	modulus elastisitas tulangan FRP (MPa)
$f_{fu}^*$	=	kuat tarik ultimit garansi tulangan FRP dari pabrik (MPa)
$f'_c$	=	kuat tekan beton (MPa)
$f_f$	=	tegangan dalam tulangan FRP (MPa)
$f_{fbt}$	=	kuat tarik disain bengkokan tulangan FRP (MPa)
$f_{fe}$	=	tegangan dalam FRP sheet (MPa)
$f_{fu}$	=	kuat tarik ultimit disain tulangan FRP (MPa)
$f_r$	=	modulus keruntuhan beton (MPa)
$f_y$	=	tegangan leleh tulangan baja (MPa)

$I_{cr}$	=	inersia penampang retak ( $\text{mm}^4$ )
$I_e$	=	inersia penampang efektif ( $\text{mm}^4$ )
$I_g$	=	inersia penampang bruto ( $\text{mm}^4$ )
$K$	=	kekakuan (N/mm)
$k$	=	rasio kedalaman sumbu netral terhadap kedalaman tulangan
$k_1$	=	faktor modifikasi kekuatan beton yang dipakai untuk menghitung $K_v$
$k_2$	=	faktor modifikasi skema laminasi untuk menghitung $K_v$
$k_b$	=	koefisien derajat kelekatan tulangan dengan beton, (ACI 440.1R-06 2003) mengasumsikan sebesar 1.4
$K_V$	=	koefisien reduksi ikatan laminasi FRP sheet
$L$	=	panjang bentang (mm)
$L_e$	=	panjang lekatan aktif laminasi FRP sheet (mm)
$M$	=	momen dari beban merata (Nmm)
$M_{cr}$	=	momen retak (Nm)
$M_n$	=	momen nominal penampang (Nmm)
$n$	=	jumlah lapis FRP sheet
$n_f$	=	rasio modulus elastisitas FRP dengan beton
$P$	=	beban terpusat (N)
$r_b$	=	jari-jari lengkung bengkokan (mm)

$s$	=	jarak spasi tulangan memanjang (mm)
$s_f$	=	jarak FRP sheet (mm)
$t_f$	=	tebal FRP sheet (mm)
$V_c$	=	kontribusi beton menahan geser (N)
$V_f$	=	kuat geser dari FRP sheet (N)
$w$	=	lebar retak maksimum (mm)
$w_f$	=	lebar FRP sheet (mm)
$E_{fe}$	=	modulus elastisitas FRP sheet (MPa)
$E_s$	=	modulus elastisitas tulangan baja (Mpa)
$M_u$	=	momen ultimit (Nmm)
$M_{0.001}$	=	momen pada saat regangan beton 0.001 (Nmm)
$\beta$	=	rasio jarak garis netral ke muka sisi tarik dengan garis netral ke as tulangan tarik
$\beta_l$	=	faktor reduksi kuat tekan beton
$\beta_d$	=	koefisien reduksi dalam perhitungan lendutan
$\varepsilon_c$	=	regangan beton
$\varepsilon_{fe}$	=	regangan efektif FRP sheet
$\varepsilon_{fu}$	=	regangan ultimit FRP sheet
$\mu_M$	=	indeks deformability
$\mu_\varphi$	=	daktilitas kurvatur
$\rho_f$	=	rasio tulangan terpasang balok beton bertulang FRP



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat dan berlangsung secara alamiah. Proses ini dapat mempengaruhi struktur bangunan khususnya bangunan yang berada di daerah pesisir. Dalam mekanismenya, korosi tidak dapat dicegah atau dihentikan namun dapat dikendalikan dengan cara memperlambat lajunya. Kerusakan pada beton bertulang akibat korosi disebabkan oleh karbonasi dan kontaminasi khlorida.

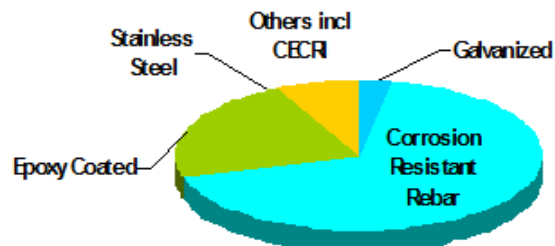


**Gambar 1.** Kerusakan pada beton akibat korosi tulangan baja

Kerusakan beton seperti yang terlihat pada **Gambar 1** disebabkan oleh korosi tulangan baja. Korosi dapat menyebabkan pengurangan luas penampang tulangan dan dapat menurunkan kemampuan layan struktur. Disamping mengurangi luas penampang tulangan, korosi juga dapat menyebabkan retakan dan pemisahan selimut beton (*spalling*) (Balafas and Burgoyne 2010). Korosi tulangan baja mengurangi ketahanan lentur

(Torres-Acosta at al., 2007) dan ketahanan geser (L. Wang et al. 2015) penampang beton bertulang.

Beberapa cara telah diterapkan untuk mengatasi masalah korosi pada tulangan seperti penggunaan *catodic protection*, *epoxy coating*, galvanisasi, serta penggunaan tulangan tahan korosi. Data yang dipublikasikan oleh *Frost and Sullivan* berdasarkan survey tahun 2010 sampai tahun 2011 menunjukkan bahwa penggunaan tulangan tahan korosi mendominasi pasar untuk mengatasi masalah korosi pada tulangan beton. (Sabarinath Sathyamoorthy, Industry Manager, Metals and Minerals Practice, Frost & Sullivan, South Asia, 2011) seperti yang terlihat pada **Gambar 2**.



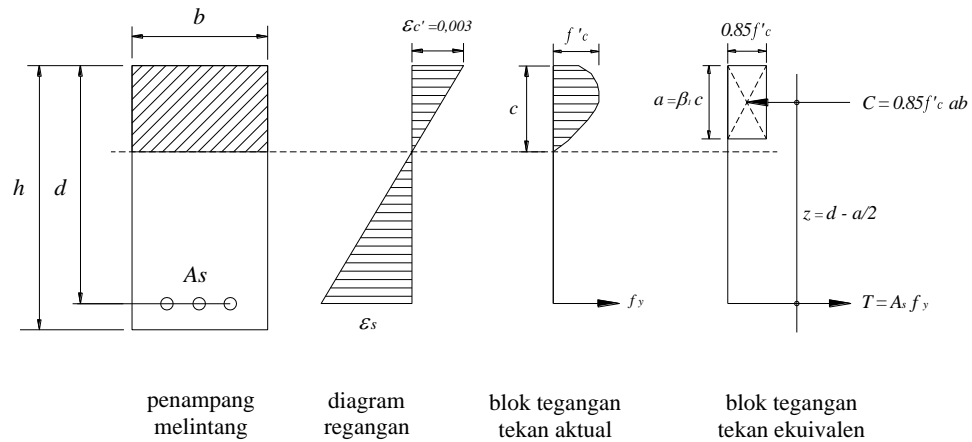
Source: Frost & Sullivan

**Gambar 2.** Jumlah tulangan yang terlindungi dari korosi (*corrosion protected rebars market: 2010-11*)

Penggunaan tulangan tahan korosi pada elemen struktur beton bertulang khususnya pada kondisi lingkungan yang agresif untuk meningkatkan umur struktur dan mengurangi biaya perawatan selama masa layan semakin meningkat. Salah satu material yang dikembangkan sebagai tulangan struktur beton bertulang adalah material FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) dalam bentuk tulangan (bar) yang berbahan dasar gelas (*GFRP bar*). Selain tahan korosi, *GFRP bar* juga memiliki kekuatan

yang tinggi, tidak terpengaruh magnet, memiliki ketahanan fatik yang baik, ringan, daya hantar panas dan listrik yang rendah (ACI 440.1R-03, 2003). (Jabbar & Farid, 2018) mengungkapkan bahwa penggunaan *GFRP* bar untuk penulangan pondasi lebih menguntungkan karena memiliki kuat tarik dan daya tahan terhadap korosi yang lebih tinggi dibandingkan tulangan besi untuk diameter yang sama. Balok beton bertulang yang memikul beban lentur, dimana penampang balok menerima tegangan lentur tekan dan tegangan lentur tarik. Tegangan lentur tekan ditahan oleh unsur beton ( $C$ ) sementara tegangan lentur tarik yang ditahan oleh baja tulangan ( $T$ ). Besarnya momen lentur nominal penampang beton bertulang ( $M_n$ ) dipengaruhi oleh panjang lengan momen yang jaraknya dihitung dari as tulangan tarik ke titik berat penampang beton tertekan, luas penampang dan mutu tulangan, serta mutu beton yang digunakan. Hubungan tegangan dan regangan balok beton bertulang serta momen nominal penampang dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan ilustrasi Gambar 3, lengan momen ( $d$ ) sangat tergantung pada tebal selimut beton. Penambahan tebal selimut beton untuk melindungi tulangan dari lingkungan yang korosif dapat mengurangi kapasitas momen penampang atau menambah dimensi penampang.

Selimut beton pada konstruksi beton bertulang yang menggunakan tulangan baja selain berfungsi untuk melindungi tulangan terhadap korosi juga menambah lekatan beton dan baja.



$$M^n = 0.85f'_c ab \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M^n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

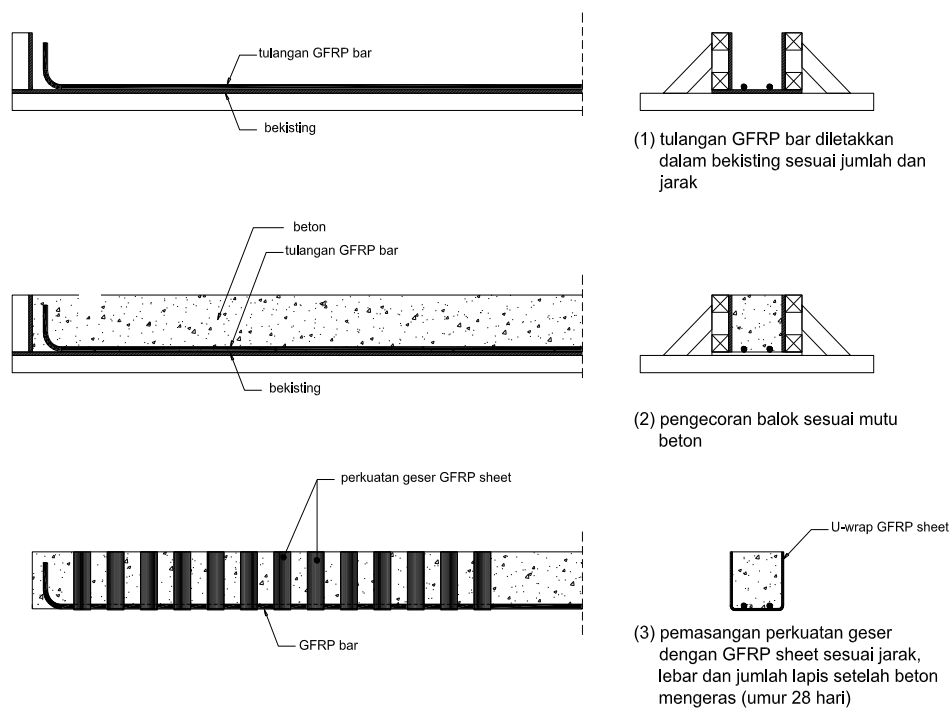
**Gambar 3.** Diagram tegangan dan regangan balok beton bertulang

Mengingat potensi yang dimiliki oleh *GFRP* Bar sebagai tulangan tahan korosi, maka tulangan *GFRP* bar memungkinkan untuk digunakan sebagai tulangan luar tanpa selimut beton. Jika selimut beton dihilangkan, maka tinggi penampang, volume beton dan berat struktur dapat dikurangi, tanpa mengurangi tinggi efektif penampang. Penggunaan tulangan luar pada balok beton sebagai akibat pengurangan beton pada sisi tarik dapat mencapai kapasitas lentur sampai 86% dan kekakuan balok sampai 60% terhadap kapasitas lentur dan kekakuan balok normal (Djamaluddin, 2013). Penggunaan tulangan luar dengan penambahan plat baja pada bagian selimut beton juga meningkatkan kapasitas lentur dan mengurangi lendutan (Saba, A. M.; Sallam, 2016). Perkuatan struktur menggunakan material FRP sebagai perkuatan luar baik dalam bentuk tulangan ataupun lembaran telah banyak dilakukan dan menunjukkan peningkatan kapasitas lentur maupun geser (Baggio, Soudki, & Noël, 2014); (Osman, Wu, Ji, &

Abdulhameed, 2016); (Seo, Choi, Kwon, & Lee, 2016); (Shaw & Andrawes, 2017).

Teknologi perkuatan struktur menggunakan bahan FRP pada struktur beton saat ini terdiri dari perkuatan luar berupa *FRP Sheet* yang direkatkan dengan resin pada permukaan beton dan *FRP Bar* atau *FRP Strip* yang dipasang pada alur yang telah disiapkan pada permukaan beton dan direkatkan dengan resin (*Near Surface Mounted*). (Chennareddy & Taha, 2017) menguji pengaruh penggabungan metode NSM *FRP Bar* dan *U-Wrap FRP Sheet* terhadap perilaku lentur balok beton bertulang pada pembebanan statik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tambahan metode *U-Wrap* pada metode NSM meningkatkan kapasitas lentur balok. Penggunaan bahan FRP sheet dalam perbaikan ataupun perkuatan struktur tidak membutuhkan energi yang besar seperti bahan-bahan konvensional. Biaya beton bertulang *GFRP* bar bisa lebih rendah daripada beton bertulang baja konvensional, apabila dalam perhitungan biaya turut diperhitungkan biaya pemeliharaan dan daya tahannya yang lama (Benmokrane, Chaallal, & Masmoudi, 1995).





**Gambar 4.** Ilustrasi proses pembuatan balok beton bertulangan *GFRP* tanpa selimut beton dengan *GFRP*- Sheet sebagai kekuatan geser.

Dengan memanfaatkan kelebihan tulangan *GFRP* bar dan kemudahan penggunaan *GFRP* sheet, maka dibuat inovasi struktur beton bertulang dengan sistem tulangan luar tanpa selimut beton. Konstruksi beton bertulang tanpa selimut beton memudahkan pelaksanaan pekerjaan dan menghemat penggunaan material beton. Pelaksanaan pekerjaan pengecoran beton dengan metode ini sangat mudah dimana tulangan *GFRP* hanya diletakkan di atas bekisting kemudian dicor tanpa perakitan tulangan. Penahan geser pada balok selanjutnya diberikan setelah beton mengeras dengan metode *U-Wrap GFRP Sheet* sesuai kapasitas geser yang dibutuhkan. Ilustrasi pembuatan balok dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Balok beton bertulang tanpa selimut tentunya akan mengalami penurunan kapasitas lentur mengingat rekatan antara tulangan dan beton juga berkurang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kekuatan rekatan tulangan FRP bar dengan beton lebih rendah dari tulangan besi dan berkurangnya tebal selimut beton juga menurunkan kekuatan rekatan tulangan dengan beton (Veljkovic, Carvelli, Haffke, & Pahn, 2017). Pemasangan *GFRP* sheet selain sebagai penahan geser juga diharapkan memberikan efek kekangan pada beton sehingga meningkatkan lekatan tulangan dengan beton. Berdasarkan model yang dibuat sebagai sebuah inovasi dalam konstruksi beton bertulang maka perlu diadakan penelitian dengan judul “Analisa Pola Kegagalan Balok Beton Menggunakan *GFRP* Bar dan *GFRP* Sheet”.

### **B. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana kapasitas lentur pada balok beton bertulang *GFRP bar* tanpa selimut yang menggunakan *GFRP sheet* sebagai tulangan geser.
2. Bagaimana pola retak dan pola kegagalan balok beton bertulang *GFRP bar* tanpa selimut yang menggunakan *GFRP sheet* sebagai tulangan geser.

### **C. Tujuan**

1. Menganalisis kapasitas lentur pada balok beton bertulang *GFRP bar* tanpa selimut yang menggunakan *GFRP sheet* sebagai tulangan geser.

2. Menganalisis pola retak dan pola kegagalan balok beton bertulang *GFRP bar* tanpa selimut yang menggunakan *GFRP sheet* sebagai tulangan geser.

#### **D. Ruang lingkup**

1. Sampel balok beton bertulang (*GFRP bar* dan tulangan baja konvensional) untuk pengujian lentur statik monotonik dengan ukuran penampang 150 mm x 250 mm dan panjang 3300 mm.
2. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah mutu beton normal dengan  $f'_c = 25$  MPa.
3. Tulangan yang dipakai pada balok beton bertulang untuk pengujian lentur static monotonik yaitu:
  - Tulangan tarik : baja D13, *GFRP bar* D13
  - Tulangan geser : baja  $\varnothing 8$ , *GFRP sheet* tebal 1.3 mm
4. Tidak dilakukan uji tarik *GFRP bar* dan *GFRP sheet*, digunakan data karakteristik mekanis dari produsen.
5. Disain balok beton bertulang *GFRP bar* mengacu pada standar ACI-440-1R-06 dan ACI-440-2R-08. Disain balok beton bertulang baja mengacu pada standar ACI-318-99.

#### **E. Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan yang ingin dicapai, maka manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Terciptanya inovasi sistim penulangan beton bertulang yang lebih maksimal dalam memikul beban lentur dan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap lingkungan yang korosif.
2. Disain konstruksi beton bertulang yang lebih hemat bahan dan memiliki daya tahan tinggi.
3. Terciptanya metode konstruksi beton bertulang dengan tulangan FRP bar yang lebih mudah.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Agar tulisan ini lebih terarah, maka sistematika penulisan disertasi ini akan diurutkan sebagai berikut:

##### **1. BAB I PENDAHULUAN**

Dalam bagian ini diuraikan mengenai hal-hal yang melatarbelakangi penelitian ini dilanjutkan dengan rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan ruang lingkup penelitian.

##### **2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bagian ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep, teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

### 3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan metodologi penelitian, rancangan dan prosedur penelitian, waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian metode analisis serta bagan alir penelitian.

### 4. BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menguraikan hasil uji eksperimental, data yang diperoleh dan dianalisis serta pembahasan hasil penelitian.

### 5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini memaparkan kesimpulan yang dicapai berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya serta membuat saran-saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.