

No 39/SKRIPSI/S.Tr-TKG/2026

**PERILAKU LENTUR KOMPONEN STRUKTUR BETON DENGAN
TULANGAN LONGITUDINAL DAN TRANSVERSAL DARI *GLASS
FIBER REINFORCED POLYMER* (GFRP)**



Disusun untuk melengkapi salah satu syarat kelulusan Program D-IV

Politeknik Negeri Jakarta

Disusun oleh :

Sinergi Rizaldi

NIM. 2201421061

Pembimbing :

Dr. Anis Rosyidah, S.Pd., S.S.T., M.T.

NIP. 197303181998022004

Jonathan Saputra, S.Pd., M.Si.

NIP 199111222019031010

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK KONSTRUKSI GEDUNG
JURUSAN TEKNIK SIPIL
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul :

**PERILAKU LENTUR KOMPONEN STRUKTUR BETON DENGAN
TULANGAN LONGITUDINAL DAN TRANSVERSAL DARI *GLASS
FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)* yang disusun oleh Sinergi Rizaldi
(2201421061) telah disetujui dosen pembimbing untuk dipertahankan dalam
Sidang Skripsi**



Pembimbing 1

Dr. Anis Rosyidah, S.Pd., S.S.T., M.T.

NIP. 197303181998022004

Pembimbing 2

Jonathan Saputra, S.Pd., M.Si.

NIP 199111222019031010



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul :

**PERILAKU LENTUR KOMPONEN STRUKTUR BETON DENGAN
TULANGAN LONGITUDINAL DAN TRANSVERSAL DARI GLASS
FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)** yang disusun oleh **Sinergi Rizaldi**
(2201421061) telah dipertahankan dalam Sidang Skripsi di depan Tim Penguji

pada hari Selasa

Tanggal 23 Juni 2026

	Nama Tim Penguji	Tanda Tangan
Ketua	Drs. Andi Indianto, S.T., M.T.	
Anggota	Amalia, S.Pd., S.S.T., M.T.	
Anggota	Rafie Itharani Ulkhaq, S.T., M.T.	

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Politeknik Negeri Jakarta

Istiatun, S.T., M.T.

NIP. 196605181990102001



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : Sinergi Rizaldi

NIM : 2201421061

Prodi : D4 Teknik Konstruksi Gedung

Alamat Email : sinergi.rizaldi.ts22@mhsw.pnj.ac.id

Judul Naskah : Perilaku Lentur Komponen Struktur Beton Dengan Tulangan Longitudinal dan Transversal dari *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP)

Dengan ini saya menyatakan bahwa tulisan yang saya sertakan dalam skripsi Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Tahun Akademik 2025/2026 adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan karya orang lain dan belum pernah diikutkan dalam segala bentuk kegiatan akademis.

Apabila dikemudian hari ternyata tulisan/naskah saya tidak sesuai dengan pernyataan ini, maka secara otomatis tulisan/naskah saya dianggap gugur dan bersedia menerima sanksi yang ada. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Depok, 10 Juni 2026

Yang menyatakan,

Sinergi Rizaldi



KATA PENGANTAR

Puji serta syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Rahmat serta hidayah-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Perilaku Lentur Komponen Struktur Beton dengan Tulangan Longitudinal dan Transversal dari Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan Program Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta. Penulis menyadari penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis yang selama ini mendukung segala kebutuhan penulis, khususnya Orang Tua penulis atas segala dukungan dan doanya serta saran dan masukan disaat penulis sedang bingung dan kehilangan arah.
2. Ibu Dr. Anis Rosyidah, S.Pd, S.S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penulis sehingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Jonathan Saputra, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penulis sehingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Ibu Istiatun, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta.
5. Bapak Mudiono Kasmuri, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Konstruksi Gedung D4 Teknik Konstruksi Gedung.
6. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuannya selama masa perkuliahan berlangsung.
7. Mas Chandra selaku tim teknis yang membantu pengambilan data dari sensor strain gauge tulangan dan inclinometer.
8. Teman-teman elektro yang membantu pengambilan data dari *sensor strain gauge*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

9. Arif Bima Fajriawan dan Nazwa Anatasya selaku rekan skripsi yang membantu seluruh proses dari persiapan, hingga selesainya skripsi ini.
10. Teman-teman Teknik Konstruksi Gedung yang selalu memberikan bantuan dan saran selama masa penyusunan skripsi.
11. Yasmin Inayah yang selalu mendampingi dan memberikan dukungan tenaga serta emosional.
12. Diri sendiri, atas segala usaha yang sudah diperjuangkan.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk memperbaiki dan menyempurnakan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan yang membacanya.

Depok, 10 Juni 2026

Yang menyatakan,

Sinergi Rizaldi

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Balok Beton Bertulang	10
2.3 Kapasitas Lentur Balok Bertulang GFRP dan Baja	11
2.4 Kapasitas Geser Balok Bertulang GFRP dan Baja	13
2.5 Pola Keruntuhan.....	14
2.6 Defleksi	15
2.7 Daktilitas	16
2.8 <i>Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)</i>	17
2.9 Tulangan Baja.....	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Gambaran Umum.....	20
3.2 Rancangan Penelitian.....	20
3.3 Objek Penelitian	21
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	22
3.4.1 Perlengkapan K3	22
3.4.2 Peralatan Pembuatan Spesimen	23

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.4.3 Bahan Penelitian	27
3.5 Tahapan Penelitian.....	29
3.5.1 Studi Literatur	31
3.5.2 Pengumpulan Data	32
3.5.3 Persiapan Alat dan Bahan	32
3.5.4 Pembuatan Spesimen.....	33
3.5.5 Perawatan Beton (Curing)	34
3.5.6 Pengujian Pendahuluan	35
3.5.7 Pengujian Kuat Lentur	36
3.5.8 Analisis Hasil Pengujian.....	36
3.6 Luaran	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Pengujian Pendahuluan	38
4.1.1 Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja dan GFRP	38
4.1.2 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton.....	41
4.2 Respons Struktural Balok pada Pengujian Lentur	41
4.2.1 Momen pada Saat Retak Pertama	43
4.2.2 Momen pada Saat Kondisi <i>Yield</i>	45
4.2.3 Momen pada Saat Kondisi Runtuh.....	47
4.3 Pola Retak dan Mode Kegagalan	49
4.4 Hubungan Beban-Regangan Tulangan	54
4.5 Daktilitas	58
4.5.1 Distribusi Defleksi Balok.....	59
4.5.2 Perhitungan Daktilitas	62
4.6 Pembahasan Hasil Penelitian	63
4.6.1 Pengaruh Jenis Tulangan terhadap Kapasitas Ultimit Balok pada Pengujian Lentur	63
4.6.2 Pengaruh Jenis Tulangan terhadap Kekakuan dan Defleksi	64
4.6.3 Hubungan Beban-Regangan dan Distribusi Deformasi	65
4.6.4 Evaluasi Daktilitas	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran.....	71
REFERENSI.....	73
LAMPIRAN 1.....	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tulangan Spiral pada Balok	11
Gambar 2.2 Distribusi Regangan Tegangan pada saat Kondisi Ultimit	11
Gambar 2.3 Pola Retak Komponen Lentur	15
Gambar 2.4 Kurva Hubungan Beban-Defleksi	16
Gambar 3.1 Hubungan Antar Kedua Variabel Penelitian	20
Gambar 3.2 Penempatan Tulangan pada Balok GFRP dan Baja	21
Gambar 3.3 Posisi Strain Gauge pada Tulangan Balok	22
Gambar 3.4 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	31
Gambar 3.5 Konfigurasi Tulangan Seluruh Spesimen.....	33
Gambar 3.6 Pemasangan Strain Gauge.....	33
Gambar 3.7 Pengecoran	34
Gambar 3.8 Curing.....	34
Gambar 3.9 <i>Setting-up</i> Balok Awal	36
Gambar 4.1 Diagram Tegangan-Regangan Tulangan Baja	39
Gambar 4.2 Diagram Tegangan-Regangan Tulangan GFRP.....	40
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Beban-Defleksi Balok Bertulangan Baja	42
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban-Defleksi Balok GFRP	43
Gambar 4.5 Perbandingan Momen Retak, Momen <i>Yield</i> , dan Momen Ultimit Balok Bertulangan Baja dan GFRP	49
Gambar 4.6 Pola Retak dan mode kegagalan S2 Steel, (A) Depan, (B) Belakang	50
Gambar 4.7 Pola retak dan mode kegagalan S3 Steel, (A) Depan, (B) Belakang	51
Gambar 4.8 Pola retak dan mode kegagalan G1 GFRP, (A) Depan, (B) Belakang	52
Gambar 4.9 Pola retak dan mode kegagalan G2 GFRP, (A) Depan, (B) Belakang	53
Gambar 4.10 Pola retak dan mode kegagalan G3 GFRP, (A) Depan, (B) Belakang	54
Gambar 4.11 <i>Key Plan</i> Letak <i>Strain Gauge</i>	55
Gambar 4.12 Strain Gauge Area Geser Balok Baja.....	55
Gambar 4.13 Strain Gauge Area Lentur Balok Baja.....	56
Gambar 4.14 Strain Gauge Area Geser Balok GFRP	57

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.15 Strain Gauge Area Lentur Balok GFRP.....	58
Gambar 4.16 Defleksi pada Balok Steel	61
Gambar 4.17 Defleksi pada Balok GFRP	61



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2 Perbandingan Sifat Karakteristik GFRP <i>Bars</i> dan Tulangan Baja	17
Tabel 2.3 Sifat Mekanis Baja Tulangan	18
Tabel 3.1 Tabel Rencana Variasi Spesimen	21
Tabel 3.2 Alat Pelindung Diri	23
Tabel 3.3 Alat Membuat Spesimen	23
Tabel 3.4 Bahan Pengujian Balok	27
Tabel 4.1 Hasil Uji Tarik Tulangan Baja dan GFRP	38
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Silinder ..	41
Tabel 4.3 Perbandingan Momen Retak Pertama Hasil Eksperimen dan Analitis ..	44
Tabel 4.4 Perbandingan Momen Yield Hasil Eksperimen dan Analitis	46
Tabel 4.5 Rekapitulasi Beban Ultimit dan Momen Ultimit Hasil Eksperimen	47
Tabel 4.6 Defleksi Pada Balok GFRP	59
Tabel 4.7 Defleksi Pada Balok Steel	60
Tabel 4.8 Faktor daktilitas untuk spesimen yang diuji	62

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1** Rincian Perhitungan
- LAMPIRAN 2** Hasil Pengujian Beban-Defleksi
- LAMPIRAN 3** Hasil Analisis Regangan dari Sensor Strain Gauge
- LAMPIRAN 4** Dokumentasi Pelaksanaan Pengujian
- LAMPIRAN 5** FORM SI-1 (Pernyataan Calon Pembimbing)
- LAMPIRAN 6** FORM SI-2 (Lembar Pengesahan)
- LAMPIRAN 7** FORM SI-3 (Lembar Asistensi)
- LAMPIRAN 8** FORM SI-4 (Lembar Persetujuan Pembimbing)
- LAMPIRAN 9** FORM SI-5 (Lembar Persetujuan Penguji)
- LAMPIRAN 10** FORM SI-7 (Lembar Bebas Pinjaman dan Urusan Administrasi)

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Beton bertulang merupakan material struktur yang paling luas digunakan pada berbagai komponen bangunan, seperti balok, pelat, dan elemen struktur lainnya. Pada umumnya, beton bertulang menggunakan tulangan baja sebagai elemen penahan gaya tarik. Namun demikian, penggunaan baja memiliki kelemahan utama, yaitu rentan terhadap korosi, terutama pada lingkungan agresif. Korosi pada tulangan baja dapat menyebabkan penurunan kapasitas struktur serta berkurangnya umur layan beton bertulang (Jabed et al., 2023; Sasikumar & Manju, 2024; Tweek & Abdulsada, 2023).

Sebagai alternatif pengganti tulangan baja, *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) mulai banyak dikembangkan dan diteliti sebagai material tulangan beton. Material GFRP memiliki keunggulan berupa ketahanan tinggi terhadap korosi, rasio kekuatan terhadap berat yang besar, serta sifat non-magnetik. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penggunaan tulangan GFRP pada komponen struktur beton mampu memberikan kinerja struktural yang memadai, khususnya pada kondisi lingkungan yang berpotensi menyebabkan degradasi pada tulangan baja. Namun, perilaku mekanik GFRP yang bersifat linier-elastis hingga runtuh menyebabkan karakteristik perilaku lentur yang berbeda dibandingkan beton bertulangan baja, terutama pada fase pasca-retak dan mekanisme keruntuhan struktur (Amit & Shantharam, 2023; Saad & Polak, 2025; Xie et al., 2025).

Dalam sistem beton bertulang, selain tulangan utama, tulangan transversal atau sengkang memiliki peran penting dalam meningkatkan kinerja struktur. Sengkang berfungsi dalam meningkatkan kapasitas geser, mengontrol perkembangan dan lebar retak, serta menjaga integritas penampang beton melalui mekanisme pengekangan. Salah satu konfigurasi sengkang yang mampu memberikan pengekangan lebih merata adalah sengkang spiral. Dibandingkan sengkang konvensional berbentuk tertutup persegi, sengkang spiral mampu memberikan distribusi tegangan yang lebih kontinu sepanjang elemen, sehingga berpotensi meningkatkan kapasitas geser, memperbaiki perilaku pasca-retak, serta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

meningkatkan daktilitas struktur akibat efek *konfinemen* yang lebih efektif (Kartal & Kısıklı, 2024; Youssef et al., 2024).

Meskipun penelitian mengenai beton bertulangan GFRP telah berkembang cukup pesat, sebagian besar studi masih berfokus pada penggunaan sengkang konvensional atau hanya meninjau perilaku lentur balok bertulangan GFRP tanpa mengkaji secara spesifik pengaruh konfigurasi sengkang spiral berbahan GFRP terhadap respons struktur. Kajian yang mengevaluasi peningkatan kapasitas geser, kontribusi pengekanan terhadap kekuatan tekan beton inti, serta pengaruhnya terhadap daktilitas dan pola keruntuhan pada balok beton bertulangan GFRP masih relatif terbatas (Mohammed et al., 2025; Wang et al., 2023).

Selain respons lentur, perilaku geser juga menjadi aspek penting pada balok beton bertulangan GFRP. Hal ini disebabkan karena material GFRP tidak mengalami leleh seperti baja dan memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah, sehingga redistribusi tegangan internal dapat berbeda dibandingkan balok beton bertulangan konvensional. Pada kondisi tertentu, terutama ketika kontribusi tulangan transversal belum optimal, balok dapat mengalami keruntuhan geser yang bersifat lebih getas dibanding keruntuhan lentur.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji perilaku lentur balok beton bertulangan GFRP dengan konfigurasi sengkang spiral melalui pengujian eksperimental di laboratorium. Parameter yang diamati meliputi kapasitas beban, respons beban–defleksi, pola keruntuhan, serta evaluasi daktilitas struktur. Kajian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai respons struktural balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral, meliputi respons beban–defleksi, kapasitas beban, pola keruntuhan, perilaku geser, serta daktilitas struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana kapasitas lentur balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP dibandingkan dengan balok beton bertulangan baja?
2. Bagaimana pola keruntuhan balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP dibandingkan dengan balok beton bertulangan baja?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Bagaimana hubungan beban terhadap regangan tulangan pada balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP dibandingkan dengan balok beton bertulangan baja?
4. Bagaimana daktilitas balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP dibandingkan dengan balok beton bertulangan baja?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan penelitian dalam penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut :

1. Menganalisis perbandingan kapasitas lentur balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP terhadap balok beton bertulangan baja.
2. Mengidentifikasi perbedaan pola keruntuhan balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP dan balok beton bertulangan baja.
3. Menganalisis perbandingan hubungan beban terhadap regangan tulangan pada balok bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP dan balok beton bertulangan baja.
4. Menganalisis perbandingan daktilitas balok beton bertulangan GFRP dengan sengkang spiral GFRP terhadap balok beton bertulangan baja.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan sesuai dengan tujuan yang ditetapkan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan beton instan dengan mutu rencana $f'_c = 25$ MPa.
2. Tulangan GFRP yang digunakan merupakan produk komersial dari PT Kuria Komposit Teknologi.
3. Pengujian difokuskan pada perilaku lentur balok beton, meliputi hubungan beban–defleksi, kapasitas beban, hubungan beban–regangan tulangan, beban retak pertama, pola keruntuhan, dan tingkat daktilitas.
4. Penelitian tidak membahas perilaku lekatan (*bond behavior*) antara tulangan GFRP dan beton secara khusus.
5. Pengujian pendahuluan yang dilakukan meliputi uji kuat tekan beton serta uji tarik tulangan baja dan tulangan GFRP untuk memperoleh sifat mekanis material yang digunakan dalam penelitian.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini mengikuti pedoman yang telah ditetapkan.

Struktur penulisan terdiri dari lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas penelitian-penelitian terdahulu yang relevan serta landasan teori yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi rencana penelitian, spesifikasi spesimen, bahan yang digunakan, serta prosedur pengujian yang dilakukan di laboratorium.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian eksperimental serta analisis data yang diperoleh dari pengujian lentur balok beton bertulang. Pembahasan difokuskan pada kapasitas beban, respons beban-defleksi, respons beban-regangan tulangan, deformasi, daktilitas, dan mekanisme keruntuhan pada masing-masing variasi spesimen.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental dan analisis terhadap balok beton bertulang *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) dengan variasi jenis sengkang, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis tulangan longitudinal memberikan pengaruh signifikan terhadap kapasitas ultimit balok pada pengujian lentur. Balok bertulangan baja memiliki kapasitas beban ultimit yang lebih tinggi dibandingkan balok bertulangan GFRP. Rata-rata beban ultimit balok bertulangan baja sebesar 266,94 kN dengan rata-rata momen ultimit 33,37 kNm, sedangkan balok bertulangan GFRP sebesar 240,75 kN dengan rata-rata momen ultimit 30,09 kNm. Selisih kapasitas ultimit keduanya sebesar 10,9%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tulangan GFRP memiliki kuat tarik lebih tinggi, modulus elastisitas baja yang lebih besar membuat balok baja memiliki kekakuan dan kapasitas ultimit yang lebih baik pada pengujian lentur. Namun demikian, balok GFRP tetap menunjukkan performa struktural yang kompetitif serta memiliki keunggulan dalam ketahanan terhadap korosi.
2. Penggunaan sengkang spiral kontinu berpengaruh terhadap pola keruntuhan balok. Seluruh spesimen, baik balok bertulangan baja maupun GFRP, mengalami keruntuhan yang didominasi oleh kegagalan geser (*shear cracking*) yang diawali oleh retak lentur pada daerah momen maksimum, kemudian berkembang menjadi retak diagonal pada daerah geser hingga kondisi ultimit. Dominasi keruntuhan geser ini sejalan dengan rasio shear span terhadap tinggi balok (a/h) sebesar 0,893 yang mengategorikan spesimen sebagai balok tinggi (*deep beam*). Sengkang spiral kontinu terbukti mampu memberikan efek confinement pada inti beton, menunda perkembangan retak diagonal kritis, serta mengurangi sifat getas keruntuhan geser melalui peningkatan stabilitas inti beton. Dengan demikian, respons keruntuhan balok menjadi lebih gradual dan terkontrol.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Hubungan beban–regangan menunjukkan bahwa peningkatan beban diikuti oleh peningkatan regangan pada seluruh spesimen. Balok bertulangan baja menunjukkan distribusi regangan yang lebih stabil dan relatif merata pada daerah lentur maupun geser. Sebaliknya, balok bertulangan GFRP mengalami regangan yang lebih besar, baik pada daerah lentur maupun geser, akibat modulus elastisitas material yang lebih rendah. Meskipun demikian, penggunaan sengkang spiral kontinu tetap membantu mengontrol perkembangan deformasi geser sehingga respons struktur masih berlangsung secara bertahap hingga kondisi ultimit.
4. Jenis tulangan berpengaruh signifikan terhadap daktilitas balok. Balok bertulangan baja memiliki daktilitas yang lebih tinggi dengan rentang 3,36–3,90 dan rata-rata 3,63. Sementara itu, balok bertulangan GFRP memiliki daktilitas lebih rendah dengan rentang 1,19–1,47 dan rata-rata 1,35. Hal ini menunjukkan bahwa balok baja memiliki kemampuan deformasi pasca-*yield* yang lebih baik akibat adanya fase leleh plastis. Sebaliknya, balok GFRP yang bersifat linear elastis hingga mendekati kondisi ultimit memiliki kemampuan deformasi pasca-elastis yang lebih terbatas. Namun, penggunaan sengkang spiral kontinu tetap memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan stabilitas respons pasca-puncak pada balok GFRP.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi diameter dan jarak spiral (spacing) yang lebih beragam untuk mengetahui pengaruh konfigurasi spiral terhadap kapasitas lentur, geser, dan daktilitas balok secara lebih mendalam.
2. Jumlah spesimen uji dapat diperbanyak agar hasil pengujian memiliki tingkat keandalan statistik yang lebih baik dan dapat merepresentasikan perilaku struktur secara lebih akurat.
3. Penelitian lanjutan disarankan mengkaji penggunaan kombinasi material tulangan longitudinal dan transversal lainnya, seperti hybrid steel–GFRP



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

atau CFRP, untuk mengevaluasi potensi peningkatan kapasitas dan efisiensi struktur.

4. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperhatikan detail penempatan tulangan longitudinal pada daerah ujung balok, terutama agar ujung tulangan dapat menumpu secara optimal pada sistem tumpuan. Penggunaan selimut beton yang berlebihan pada ujung balok sebaiknya dihindari karena dapat mengurangi efektivitas transfer gaya dari tulangan ke tumpuan.
5. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi rasio shear span terhadap tinggi balok (a/h) untuk mengevaluasi transisi mode keruntuhan dari lentur menuju geser secara lebih komprehensif.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

REFERENSI

- ACI 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*.
- ACI Committee 440. (2015). 440.1R-15: Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. In *American Concrete Institute* (Issue 4).
- Ali, N. K. S., Mahfouz, S. Y., & Amer, N. H. (2023). *Flexural Response of Concrete Beams Reinforced with Steel and Fiber Reinforced Polymers*.
- Alsuhaibani, E., & Aldukail, A. (2025). *Experimental Study on Hybrid Steel – GFRP Reinforced Concrete Beams with Different Stirrup Types and Spacings*. 1–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings15224047>
- Amit, T., & Shantharam, K. (2023). A Critical Review on Glass Fiber - Reinforced Polymer Bars as Reinforcement in Flexural Members. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 104(2), 501–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40030-023-00729-6>
- Duan, J., Yang, D., Liu, X., & Xiang, P. (2024). Seismic Energy Dissipation and Hysteresis Performances of Distinctly Shaped Steel-Reinforced Concrete Column–Beam Joints under Cyclic Loading. *Buildings*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/buildings14092777>
- Elbawab, Y., Elbawab, Y., El Zoughby, Z., ElKadi, O., AbouZeid, M., & Sayed-Ahmed, E. (2025). Flexural Testing of Steel-, GFRP-, BFRP-, and Hybrid Reinforced Beams. *Polymers*, 17(15). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym17152027>
- Fan, P., Zhao, H., & Liu, W. (2025). *The Restraint Mechanism of High-Strength Rectangular Spiral Stirrup Confined Fiber Reinforced Concrete*. 1, 1–20.
- GIVARDI, M. T. (2024). *PENGARUH SERAT BAMBU TERHADAP KAPASITAS LENTUR PELAT BETON CAMPURAN STYROFOAM DENGAN PERKUATAN ANYAMAN BAMBU*. February, 4–6.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Hamed, T. M., & Said, A. I. (2025). *Shear Strength and Serviceability of GFRP-Reinforced Concrete Beams : A Study on Varying Reinforcement Ratios*. 11(03), 857–883. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-03-04> ©
- Jabed, A., Tusher, M. H., Shuvo, S. I., & Imam, A. (2023). *Corrosion of Steel Rebar in Concrete : A Review*. 22(4), 273–286. <https://doi.org/https://doi.org/10.14773/cst.2023.22.4.273>
- Kartal, S., & Kısıklı, E. (2024). Bending Behavior of RC Beams with Regular Web Openings and Non - corroding GFRP Reinforcement. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. <https://doi.org/10.1186/s40069-024-00719-3>
- Li, S., Wu, Z., Zhang, J., & Xie, W. (2022). *Experimental Study and Calculation Methods of Shear Capacity for High-Strength Reinforced Concrete Full-Scale Deep Beams*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma15176017>
- Ling, J. H., Lim, Y. T., & Jusli, E. (2023). Methods to Determine Ductility of Structural Members: A Review. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 9(May), 181–194. <https://doi.org/10.22146/jcef.6631>
- Lopes, A. V., & Lopes, S. M. R. (2023). Revisiting Cracking in Reinforced Concrete Beams: An Updated Analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/app13063926>
- Matilla, A. L., Ferrández, D., Isabel, M., Barrio, P., Israel, F., & Zazo, O. (2025). *Mechanical Behavior and Ductility of Reinforcing Steel Under High-Temperature Exposure with Different Cooling Methods*. 1–23.
- Mohammed, N. S., Fadiel, A. A. M., Rahman, A. B. A., Ali, E. A. B., Abulebdeh, T., Kantaros, A., & Petrescu, F. I. (2025). Spirally Confined Reinforcing Bar for Flexural Behavior of Glass Fiber-Reinforced Concrete Beam. *Journal of Composites Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jcs9040149>
- Mostafa, H. M. F., Mahmoud, A. A., Mostafa, T. S., & Khater, A. N. M. (2024).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Performance of reinforced concrete flat slabs having GFRP gratings.

Frattura Ed Integrita Strutturale, 18(67), 240–258.

<https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.67.18>

Rachman, R. U., Rosyidah, A., Saputra, J., Sucita, I. K., & Andy, M. (2026).

Flexural Performance of Concrete Slabs Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer and Steel Bars. 1.

https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-95-6895-6_12

Rasheed, M. R., & Mohammed, S. D. (2024). *Structural behavior of one-way slabs reinforced by a combination of GFRP and steel bars : An experimental and numerical investigation.*

Saad, S., & Polak, M. A. (2025). *Bond Behavior of Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars Embedded in Concrete : A Review.* 1–39.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma18143367>

Sasikumar, P., & Manju, R. (2024). Flexural behaviour of reinforced concrete beams reinforced with Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP) bars : experimental and analytical study. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(4), 3623–3636. <https://doi.org/10.1007/s42107-024-01000-4>

SNI 1974. (2011). *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder.*

SNI 2052. (2024). *Baja tulangan beton.*

SNI 2847. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD).* 8, 720.

SNI 4431. (2011). Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan. *Standarisasi Nasional Indonesia.* www.bsn.go.id

SNI 8970. (2021). *Panduan perancangan dan pelaksanaan beton struktural bertulangan batang serat berpolimer (ACI 440.1R-15, MOD).*

SNI 8974. (2021). *Spesifikasi pelaksanaan penggunaan batang tulangan dengan serat berpolimer (ACI 440.5M-08, IDT).*

Tran, H., Nguyen-Thoi, T., & Dinh, H. B. (2025). State-of-the-Art Review of



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Studies on the Flexural Behavior and Design of FRP-Reinforced Concrete Beams. *Materials*, 18(14), 1–30. <https://doi.org/10.3390/ma18143295>

Tweek, M. K., & Abdulsada, S. A. (2023). *Improvement corrosion properties of reinforcement concrete by corrosion inhibitors : A brief review*. 58, 50–58. <https://doi.org/10.2478/kom-2023-0007>

Wang, X., Zhou, L., Liang, Y., Zheng, Y., Li, L., & Di, B. (2023). *Study on Shear Behaviors and Damage Assessment of Circular Concrete Short Columns Reinforced with GFRP Bars and Spiral Stirrups*.

Xie, F., Tian, W., Li, S., Diez, P., Zlotnik, S., & Gonzalez, A. G. (2025). *Experimental Study on the Structural Performance of Glass-Fiber-Reinforced Concrete Slabs Reinforced with Glass-Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars : A Sustainable Alternative to Steel in Challenging Environments*.

Xue, H., Mao, S., Wang, L., & Deng, Z. (2025). Influence of Steel Fiber and Rebar Ratio on the Flexural Performance of UHPC T-Beams. *Journal of Composites Science*, 9(10), 1–25. <https://doi.org/10.3390/jcs9100545>

Yang, Y., Yang, H., Fan, Z., & Mu, Z. (2024). Crack Propagation Law of Reinforced Concrete Beams. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/app14010409>

Youssef, A., Mawaad, S., & Salem, H. (2024). Shear capacity of miniature beams with continuous staggered spiral stirrups. *Journal of Engineering and Applied Science*, 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s44147-024-00380-3> (2024)