

SKRIPSI

**KUAT LENTUR DAN POLA KEGAGALAN BALOK BETON
BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN ANGKUR,
GROUTING, DAN LEMBAR GFRP**

Disusun dan diajukan oleh:

**TRI WANA AL FANDI
D011 19 1069**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

KUAT LENTUR DAN POLA KEGAGALAN BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN ANGKUR, GROUTING, DAN LEMBAR GFRP

Disusun dan diajukan oleh

TRI WANA AL FANDI
D011 19 1069

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 01 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Rudy Djaffaruddin, ST, M. Eng

NIP: 197011081994121001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr.Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

NIP: 197206192000122001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng

NIP. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
 Nama : Tri Wana Al Fandi
 NIM : D011191069
 Program Studi : Teknik Sipil
 Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Kuat Lentur Dan Pola Kegagalan Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat Dengan Angkur, Grouting, Dan Lembar GFRP}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 13 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Tri Wana Al Fandi

ABSTRAK

TRI WANA AL FANDI. KUAT LENTUR DAN POLA KEGAGALAN BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN ANGKUR, GROUTING, DAN LEMBAR GFRP (dibimbing oleh Rudy Djamaluddin dan Rita Irmawaty)

Beton yang mengalami korosi dapat menyebabkan selimut beton mengalami *spalling* dan pengurangan luasan tulangan. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan metode perbaikan dan perkuatan yang tepat. Grouting merupakan metode perbaikan yang sering digunakan karena memenuhi persyaratan standar corps of engineering CDR C-621 dan ASTM C-1107. *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) sebagai material yang memiliki kuat tarik yang besar dan bahan yang ringan sehingga mudah dalam mobilisasi, menjadikan GFRP sebagai pilihan untuk perkuatan pada struktur yang mengalami kerusakan. Namun penggunaan bahan GFRP sebagai bahan perkuatan sangat ditunjang oleh lekatan antara beton lama dengan mortar grouting. Untuk itu, adanya penambahan dynabolt yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan sambungan antara beton lama dengan mortar grouting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku lentur serta pola retak dan mode kegagalan balok beton bertulang dengan perkuatan angkur, grouting, dan lembar GFRP. Tahapan penelitian terbagi atas dua yaitu pengujian kuat tekan mortar grouting dan pengujian lentur balok beton bertulang. Pengujian kuat tekan mortar grouting menggunakan sampel silinder 50 mm x 100 mm, diuji pada umur 28 hari. Sementara itu, pengujian lentur balok menggunakan sampel balok dengan dimensi 150 mm x 200 mm x 3300 mm sebanyak 4 buah yang terdiri dari balok normal, balok eksisting, balok dengan perkuatan grouting dan GFRP *sheet*, serta balok dengan perkuatan dynabolt, grouting dan GFRP *sheet*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan dynabolt, mortar grouting dan GFRP *sheet* sebagai material perbaikan dan perkuatan mampu meningkatkan kapasitas lentur balok beton bertulang. Dari mode kegagalan pada balok yang diberi perkuatan grouting dan GFRP *sheet* mengalami kegagalan delaminasi dan kegagalan *debonding* pada lekatan GFRP, sedangkan balok dengan perkuatan dynabolt, grouting, dan GFRP *sheet* mengalami kegagalan *debonding* pada lekatan GFRP dan beton.

Kata Kunci: Dynabolt, Grouting, Korosi, *Spalling*, GFRP

ABSTRACT

TRI WANA AL FANDI. *FLEXURAL STRENGTH AND FAILURE PATTERN OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH ANCHOR REINFORCEMENT, GROUTING, AND GFRP SHEET* (supervised by Rudy Djamaluddin and Rita Irmawaty)

Corroded concrete can cause the spalling of area cover to problem and a reduction in reinforcement. To overcome this, it is necessary to repair and strengthen the right method. Grouting is a repair method that is often used because it meets the standard requirements of the Corps of Engineering CDR C-621 and ASTM C-1107. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) as a material that has a large tensile strength and is a lightweight material that makes it easy to mobilize, making GFRP an option for strengthening damaged structures. However, the use of GFRP material as a reinforcement material is greatly supported by the bond between the old concrete and the grouting mortar. For this reason, there is the addition of dynabolt which functions to increase the strength of concrete joints with grouting mortar. This study aims to analyze the bending behavior as well as crack patterns and failure modes of reinforced concrete beams with anchor reinforcement, grouting, and GFRP sheets. The research stages were divided into two, namely testing the compressive strength of grouting mortar and testing the flexural strength of reinforced concrete beams. Testing the compressive strength of grouting mortar using a cylindrical sample of 50 mm x 100 mm, tested at 28 days of age. Meanwhile, the beam flexure test used 4 samples of beams with dimensions of 150 mm x 200 mm x 3300 mm consisting of control beams, existing beams, reinforced grouted beams and GFRP sheet, and reinforced dynabolt, grouted and GFRP sheet beams. The results showed that the use of dynabolt, mortar grouting and GFRP sheet as repair and reinforcement materials can increase the flexural capacity of reinforced concrete beams. From the failure mode, the beams that were given grouting reinforcement and GFRP sheet experienced delamination failure and debonding failure at the GFRP bond, while the beams with dynabolt reinforcement, grouting, and GFRP sheet experienced debonding failure at the GFRP and concrete attachments.

Keywords: Dynabolt, Grouting, Corrosion, Spalling, GFRP

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI..... | i |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | ii |
| ABSTRAK..... | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | vii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL..... | xi |
| KATA PENGANTAR..... | xii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan..... | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan..... | 4 |
| 1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan..... | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| 2.1 Penelitian Terdahulu..... | 6 |
| 2.2 Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang..... | 7 |
| 2.2 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang..... | 9 |
| 2.3 Lendutan Pada Balok..... | 12 |
| 2.4 Metode Perbaikan dan Perkuatan..... | 14 |
| 2.5 Mortar Grouting..... | 15 |
| 2.6 FRP..... | 15 |
| 2.6.1 GFRP..... | 15 |
| 2.7 Pola Retak..... | 20 |
| 2.8 Mode Keruntuhan Pada Balok Beton Bertulang..... | 22 |
| 2.9 Kegagalan Balok Beton Bertulang..... | 24 |
| 2.10 Kegagalan Pada Balok dengan Perkuatan GFRP..... | 25 |
| 2.11 Angkur..... | 26 |
| BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN..... | 26 |
| 3.1 Bagan Alir Penelitian..... | 26 |
| 3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian..... | 27 |
| 3.3 Alat dan Bahan..... | 27 |
| 3.3.1 Pengujian Karakteristik Mekanis Tulangan..... | 27 |
| 3.3.2 Pengujian Sifat Mekanis Beton..... | 27 |
| 3.3.3 Pengujian Kuat Tekan Mortar Grouting..... | 27 |
| 3.3.4 Pengujian Lentur Balok..... | 27 |
| 3.3.5 Bahan..... | 27 |
| 3.4 Benda Uji..... | 27 |
| 3.4.1 Pengujian Sifat Mekanis Beton..... | 27 |
| 3.4.2 Pengujian Kuat Tekan Mortar Grouting..... | 27 |
| 3.4.3 Pengujian Lentur Balok..... | 30 |
| 3.5 Tahapan Penelitian..... | 32 |

| | |
|--|----|
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 36 |
| 4.1 Pengujian Tarik Tulangan Baja..... | 36 |
| 4.2 Pengujian Sifat Mekanis Beton..... | 36 |
| 4.3 Pengujian Kuat Tekan Mortar Grouting | 38 |
| 4.4 Pengujian Lentur Balok | 38 |
| 4.4.1 Hubungan Beban dan Lendutan | 39 |
| 4.4.2 Beban Maksimum | 41 |
| 4.4.3 Hubungan Beban dan Regangan Beton | 43 |
| 4.4.4 Hubungan Beban dan Regangan Baja..... | 44 |
| 4.4.5 Hubungan Beban dan Regangan GFRP | 44 |
| 4.5 Pola Retak dan Mode Kegagalan | 45 |
| 4.5.1 Pola Retak dan Mode Kegagalan Pada Balok BN | 46 |
| 4.5.2 Pola Retak dan Mode Kegagalan Pada Balok BE..... | 47 |
| 4.5.3 Pola Retak dan Mode Kegagalan Pada Balok BGF..... | 48 |
| 4.5.4 Pola Retak dan Mode Kegagalan Pada Balok BGF-D..... | 50 |
| 4.6 Perhitungan Gaya Tarik Pada Balok Beton Bertulang BN dan BGF | 62 |
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN..... | |
| 5.1 Kesimpulan | 64 |
| 5.2 Saran..... | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1 Spalling pada beton bertulang akibat korosi | 2 |
| Gambar 2 Diagram regangan dan tegangan balok beton bertulang dengan kondisi seimbang..... | 8 |
| Gambar 3 Grafik hubungan tegangan-regangan kondisi plastis..... | 9 |
| Gambar 4 Perlawanan terhadap geseran | 11 |
| Gambar 5 Hubungan beban – lendutan pada balok. Daerah I, Taraf praretak; Daerah II, Taraf pascaretak ; Daerah III, Taraf pasca-serviceability | 13 |
| Gambar 6 Faktor Pengali untuk lendutan jangka panjang | 14 |
| Gambar 7 Grafik hasil perhitungan | 21 |
| Gambar 8 Jenis Retakan Pada Beton | 22 |
| Gambar 9 Transfer geser di dalam beton bertulang..... | 23 |
| Gambar 10 Putusnya FRP Dan Hancurnya Beton Pada Sisi Tekan | 25 |
| Gambar 11 Diagram Alur Penelitian..... | 29 |
| Gambar 12 Universal Testing Machine | 30 |
| Gambar 13 Alat Pengujian Lentur Balok..... | 31 |
| Gambar 14 Mortar Grouting | 32 |
| Gambar 15 Sika Bond..... | 32 |
| Gambar 16 Dynabolt M10 | 32 |
| Gambar 17 Serat GFRP..... | 32 |
| Gambar 18 Benda uji (a) Kuat tekan (b) Kuat Tarik Belah | 33 |
| Gambar 19 Dimensi benda uji tekan..... | 33 |
| Gambar 20 Benda Uji - Balok Normal (BN) | 34 |
| Gambar 21 Benda Uji - Balok Eksisting (BE) | 35 |
| Gambar 22 Benda Uji - Balok Grouting + GFRP (BGF) | 36 |
| Gambar 23 Benda Uji – Balok Grouting + Dynabolt (Jarak Dynabolt 50 cm) + GFRP (BGF-D) | 36 |
| Gambar 24 Pabrikasi Benda Uji Balok | 37 |
| Gambar 25 Pemasangan Dynabolt | 38 |
| Gambar 26 Pembuatan Mortar Grouting..... | 39 |
| Gambar 27 Pengecoran Material Perbaikan | 40 |
| Gambar 28 Tahapan Pemasangan GFRP | 41 |
| Gambar 29 <i>Set – up</i> Pengujian Lentur Balok..... | 42 |
| Gambar 30 Pengujian Sifat Mekanis Beton | 44 |
| Gambar 31 Uji Kuat Tekan Mortar | 45 |
| Gambar 32 Hubungan Beban – Lendutan Benda Uji | 46 |
| Gambar 33 Beban Maksimum | 49 |
| Gambar 34 Hubungan Beban – Regangan Beton..... | 50 |
| Gambar 35 Hubungan Beban – Regangan Baja..... | 51 |
| Gambar 36 Hubungan Beban – Regangan GFRP Pada Balok BGF dan BGF-D..... | 52 |
| Gambar 37 Pola Retak Pada Balok Normal | 53 |
| Gambar 38 Retak Awal Balok BN..... | 53 |
| Gambar 39 Kehancuran Sisi Tekan Pada Balok BN | 54 |
| Gambar 40 Pola Retak Pada Balok Eksisting | 54 |
| Gambar 41 Retak Awal Pada Balok Eksisting | 54 |
| Gambar 42 Kehancuran Sisi Tekan Pada Balok BE..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Gambar 43 Pola Retak Pada Balok Grouting Dan GFRP Sheets (BGF)..... | 55 |
| Gambar 44 Retak Awal Pada Balok BGF..... | 56 |
| Gambar 45 Pengukuran Lebar Retak Pada Balok BGF..... | 56 |
| Gambar 46 Delaminasi Antara Beton Lama dan Mortar Grouting..... | 56 |
| Gambar 47 <i>Debonding</i> Antara Beton Grouting Dan GFRP..... | 57 |
| Gambar 48 Pola Retak Pada Balok Angkur, Grouting dan GFRP Sheets (BGF-D)..... | 57 |
| Gambar 49 Retak Awal Pada Balok BGF-D..... | 57 |
| Gambar 50 Perubahan Arah Retak Rambut Pada Balok BGF-D..... | 58 |
| Gambar 51 Pengukuran Lebar Retak Pada Balok BGF-D..... | 59 |
| Gambar 52 Salah Satu Posisi Dynabolt Terpasang Pada Balok BGF-D..... | 59 |
| Gambar 53 Kegagalan <i>Debonding</i> Pada Balok BGF-D..... | 60 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. Perhitungan kapasitas lentur dan kapasitas geser balok beton bertulang..... | 66 |
|---|----|

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Karakteristik Sika Grout 215..... | 16 |
| Tabel 2. Spesifikasi MapeWrap G UNI-AX | 19 |
| Tabel 3. Spesifikasi MapeWrap 31 SP | 19 |
| Tabel 4. Komposisi Bahan Campuran Beton Eksisting per m ³ | 31 |
| Tabel 5. Variasi Benda Uji | 32 |
| Tabel 6. Variasi Benda Uji | 42 |
| Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan..... | 43 |
| Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah..... | 44 |
| Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Grouting | 45 |
| Tabel 10. Rekapitulasi Nilai Beban – Lendutan..... | 47 |
| Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian Beban – Regangan Beton..... | 51 |
| Tabel 12. Karakteristik Glass Fiber Reinforced Polymer | 52 |

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

| Lambang/Singkatan | Arti dan Keterangan |
|-------------------|--|
| Cc | Gaya tekan pada beton (kN) |
| $f'c$ | Kuat tekan beton eksisting (MPa) |
| a | Tinggi balok tekan ekuivalen (mm) |
| Ts | Jumlah gaya total dari tulangan tarik (kN) |
| b | Lebar balok (mm) |
| As' | Luas tulangan tekan balok (mm ²) |
| fy | Kuat leleh tulangan longitudinal (MPa) |
| Mn | Momen nominal (kN.m) |
| d | Jarak serat tekan ke titik berat tulangan tarik (mm) |
| c | Letak Garis Netral (mm) |
| h | Tinggi balok (mm) |
| Ec | Modulus elastisitas beton (MPa) |
| p | rasio tulangan |
| ϵ_s | regangan leleh baja (mm) |
| Vu | Gaya geser berfaktor (kN) |
| Vc | Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton (kN) |
| Vs | Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN) |
| Vn | Kekuatan geser nominal (kN) |
| ϕ | Faktor reduksi kekuatan |
| fy' | Kuat leleh tulangan geser (Mpa) |
| d' | Jarak serat tekan ke titik berat tulangan tekan (mm) |
| As | Luas tulangan tarik balok (mm ²) |
| Pn | Kapasitas lentur (kN) |

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kebaikan dan karunia-Nya kepada setiap insan intelektual, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir yang berjudul **“KUAT LENTUR DAN POLA KEGAGALAN BALOK BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN ANGKUR, GROUTING DAN LEMBAR GFRP”** merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagi pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.,IPM** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.,** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Prof. Dr. Ir. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.,** selaku dosen pembimbing I dan **Ibu Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.,** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
4. **Bapak Dr. Eng. Ir. Andi Arwin Amiruddin, S.T., M.T.,** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.

5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Hasdan Saleh** dan ibunda **Hatina**, serta saudari Nova dan Feby atas semua kasih sayang, bantuan dan doa yang tulus serta nasehat – nasehat yang selalu melekat pada penulis setiap waktu.
2. **Pak Ardi Azis Sila S.T, M.T** mahasiswa S3, **Kak Muhammad Ali S.T**, mahasiswa S2, **Yonex, Jono** dan **Meichin** selaku rekan dan teman dalam penelitian ini, yang selalu membantu dan menjadi teman berdiskusi serta memberi masukan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. **Pengurus HMS FT-UH Periode 21/22** dan **Penghuni Destroyer** sebagai teman bertukar pikiran sedari awal perkuliahan dan turut mewarnai masa perkuliahan penulis.
4. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman dekat yang senantiasa memberikan solusi pada setiap masalah yang penulis hadapai, baik dari segi penyelesaian tugas akhir ini maupun hal yang lain.
7. Saudari **Alya Ramadhani**, yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan untuk penulis dalam berbagai hal.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan berkembangnya zaman tidak dipungkiri bahwa teknologi dan ilmu pengetahuan tiap tahunnya berkembang pesat, berbagai inovasi telah diterapkan di dalam dunia konstruksi di era sekarang, namun beton masih menjadi bahan bangunan komposit yang paling sering digunakan di seluruh dunia. Penggunaan beton sebagai bahan penyusun konstruksi menjadi salah satu unsur yang paling dominan untuk dipergunakan dan dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, melalui berbagai riset yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya guna memperoleh material beton yang mampu menahan terhadap perubahan bentuk akibat beban yang bekerja.

Dalam dunia konstruksi, beton bertulang sudah banyak diterapkan di berbagai struktur bangunan seperti gedung, tunnel, jalan, dan jembatan. Menurut SNI 03-2847-2002 beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Struktur beton bertulangan pada suatu konstruksi didesain untuk memenuhi kriteria kekuatan tekan pada beton dan kekuatan tarik pada tulangan baja yang bekerja secara bersamaan agar tidak terjadi kegagalan pada struktur.

Balok beton bertulang merupakan elemen struktur yang bekerja untuk menahan lentur dan deformasi yang pada umumnya terbentuk dari campuran agregat halus, agregat kasar, semen, air, serta baja tulangan. Sifat utama beton sangat kuat dalam menahan gaya tekan, tetapi lebih lemah dalam menahan gaya tarik. Oleh karena itu beton akan mengalami retak apabila diberi beban yang dapat menimbulkan tegangan tarik yang lebih besar dari kuat tarik beton tersebut. Maka dari itu fungsi utama baja tulangan didalam beton untuk menahan gaya tarik dan sebagian gaya tekan, serta mencegah beton retak tidak melebar.

Salah satu dasar anggapan yang digunakan dalam perencanaan dan analisis struktur beton bertulang adalah lekatan batang tulangan baja dengan beton yang mengelilinginya berlangsung sempurna tanpa terjadi pergelinciran atau pergeseran. Berdasarkan atas anggapan tersebut maka pada waktu komponen struktur beton bertulang bekerja menahan beban akan timbul tegangan lekat pada permukaan singgung antara batang tulangan dengan beton (Dipohusodo, 1994 dalam Arusmalem G., 2008).

Pada struktur beton dalam penggunaan akan mengalami penurunan kekuatan bahkan sampai mengalami kerusakan. Pengaruh lingkungan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi struktur beton itu sendiri dimana terjadi ketidaksesuaian pada rancangan desain awal pada struktur beton sehingga mengalami penurunan kekuatan ataupun mengalami kerusakan. Kerusakan struktur beton akibat pengaruh lingkungan yang sering terjadi di dunia konstruksi berasal dari reaksi kimia antara karbon dioksida (CO_2), ferrum (Fe) dan air (H_2O) sehingga membentuk asam karbonat yang dapat menimbulkan korosi pada baja tulangan. Beton yang terletak pada lingkungan yang korosif dapat membuat beton bertulang mudah mengalami korosi dan membuat selimut beton mengalami pengelupasan atau disebut *spalling*. Apabila *spalling* dibiarkan seiring berjalannya waktu maka akan berdampak fatal dan menyebabkan terjadi keruntuhan secara tiba-tiba. Maka dari itu, ada dua cara yang dapat dilakukan, yaitu membongkar struktur yang rusak lalu mengganti dengan struktur yang baru, atau memberikan perkuatan pada struktur yang mengalami kerusakan.



Gambar 1. Spalling pada beton bertulang akibat korosi

Dari beberapa metode perbaikan yang sering dilakukan pada beton pasca *spalling* diantaranya yang paling sering dilakukan adalah dengan *grouting*.

Grouting adalah salah satu metode yang dianggap paling mudah dan paling murah untuk dilaksanakan. Keunggulan dari bahan grouting yang berupa semen grout yang memiliki mutu yang tinggi serta daya susut yang rendah sehingga dapat diharapkan menggantikan beton yang mengalami *spalling* dan kekuatan beton dapat kembali seperti semula. Selain menggunakan metode perbaikan, *spalling* pada beton bertulang juga dapat dilakukan dengan memberikan perkuatan pada struktur dengan teknologi yang berkembang pada konstruksi saat ini contohnya *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) .

Namun penggunaan bahan GFRP sebagai bahan perkuatan sangat ditunjang oleh lekatan antara beton lama dengan beton baru atau grouting, dimana pada penelitian sebelumnya terdapat kegagalan perkuatan GFRP. Hal ini dikarenakan lekatan antara beton lama dengan beton baru yang tidak maksimal. Maka dari itu dilakukanlah penelitian terkait penambahan angkur atau dynabolt dalam perkuatan beton bertulang dengan material grouting dan lembaran GFRP ditinjau dari pola retak yang terjadi.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang **“Kuat Lentur Dan Pola Kegagalan Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat Dengan Angkur, Grouting, Dan Lembar GFRP”**

1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini, dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana kapasitas lentur pada balok beton bertulang dengan metode perkuatan angkur, grouting dan lembar GFRP?
2. Bagaimana pola retak dan pola kegagalan pada balok beton bertulang dengan metode perkuatan angkur, grouting dan lembar GFRP?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis kapasitas lentur balok beton bertulang dengan metode perkuatan angkur, grouting dan lembar GFRP.

2. Menganalisis pola retak dan pola kegagalan pada balok beton bertulang dengan metode perkuatan angkur, grouting dan lembar GFRP.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Penelitian ini dapat diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan dalam pemberian informasi yang efektif, efisien, dan berkelanjutan.
2. Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan permasalahan tersebut.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Ruang lingkup dalam penelitian ini, dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan terhadap benda uji balok beton bertulang eksisting yang diperkuat dengan material grouting dan penambahan dynabolt dengan dimensi 150 mm x 200 mm x 3300 mm.
2. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah f'_c 25 Mpa dan tulangan polos diameter 8 mm serta tulangan ulir diameter 10 mm.
3. Menggunakan mortar grouting komersial dari pencampuran air dengan Sika Grout 215 (New) dan Dynabolt Komersial M10.
4. Terdapat 6 benda uji yang terdiri dari:
 - a) Dua benda uji balok beton bertulang sebagai balok normal.
 - b) Dua benda uji balok beton bertulang sebagai balok eksisting.
 - c) Dua benda uji balok beton yang diperkuat dengan mortar grouting dan GFRP.
 - d) Dua benda uji balok beton yang diperkuat dengan dynabolt M10, mortar grouting, dan GFRP.
 - e) Pengujian lentur menggunakan beban statik monotonik terhadap seluruh variabel benda uji.
 - f) Pembebanan dilakukan pada benda uji hingga mengalami keretakan pada kondisi beban maksimum.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan dari penelitian, dilengkapi dengan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan gambaran mengenai teori dan prinsip dasar yang digunakan untuk memperoleh pemecah masalah dan pelaksanaan penelitian yang sesuai.

BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas seputar penelitian yang meliputi tahapan dalam melakukan penelitian yang tertuang dalam bagan alir, lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan, metode penelitian serta variabel benda uji.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijabarkan hasil pengujian yang berisi data penelitian serta analisis perhitungan data yang diperoleh untuk selanjutnya diberi uraian pembahasan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini memuat kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian dan saran untuk perbaikan dan kelanjutan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Yuqni Maulidya (2022) melakukan penelitian tentang Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Grouting Dan GFRP Sheet. Tujuan Penelitian ini untuk menganalisis pola retak balok beton bertulang yang diperkuat dengan material grouting dan GFRP sheet. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen yaitu dengan cara melakukan perkuatan pada beton dengan metode grouting dan perkuatan GFRP sheet. Adapun kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini yaitu penggunaan mortar grouting dan GFRP *sheet* sebagai material perbaikan dan perkuatan mampu meningkatkan beban maksimum balok beton bertulang sebesar 2,76%, sedangkan balok dengan perbaikan grouting mengalami penurunan 47,62% terhadap balok kontrol. Selain itu, balok BGR memiliki perilaku yang lebih daktail dibandingkan balok BK dan balok BGRF-S dan pola retak pada balok BGR dan BGRF-S memperlihatkan kemiripan yaitu retakan yang terjadi pada daerah sambungan. Sementara untuk mode kegagalan, pada balok BGR balok mengalami kegagalan *debonding* pada lekatan mortar grouting dan beton *eksisting*, sedangkan pada balok BGRF-S balok mengalami delaminasi antara mortar grouting dan beton *eksisting* dan terjadi kegagalan *debonding* pada lekatan GFRP.

Penelitian yang dilakukan oleh Luciano Ombres dan Salvatore Verre Ph.D pada tahun 2019 memuat tentang perkuatan lentur balok beton bertulang menggunakan *Steel Reinforced Grout* (SRG) baik secara eksperimental di laboratorium maupun secara analitis. Pengujian dilakukan pada empat balok beton bertulangan: satu tidak diperkuat (sebagai balok kontrol) dan tiga lainnya diberi perkuatan SRG. Sistem SRG terbuat dari kain tekstil dari baja galvanis berkekuatan tinggi dari kawat mikro yang dipilin, masing-masing dengan penampang lintang $0,11 \text{ mm}^2$. Balok berukuran panjang 5000 mm dan memiliki penampang berbentuk persegi panjang dengan lebar 140 mm dan tinggi 300 mm.

Huilin Le, Shaorui Sun, dan Jihong Wei (2018) meneliti pengaruh jenis bahan *grouting* pada kuat tekan dan perilaku retak benda uji mirip batuan dengan perbaikan grout dibawah beban aksial. Benda uji mirip batuan dengan isian grout dengan sudut kemiringan berbeda disiapkan untuk pengujian tekan uniaksial untuk mempelajari pengaruh jenis bahan *grouting* dan sudut kemiringan kerusakan pada kuat tekan dan pola retak benda uji. Sifat mekanis kedua bahan *grouting* ini sangat berbeda. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa jenis bahan *grouting* berperan penting dalam meningkatkan kuat tekan uniaksial benda uji dengan perbaikan metode *grouting*.

Yasser dkk (2015) menyajikan hasil studi tentang kapasitas lentur balok beton bertulang dengan atau tanpa *styrofoam* sebagai beton pengisi (SFC) pada daerah tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan beban dan lendutan pada balok dengan SFC-30 menggunakan sistem rangka beton bertulang memiliki daktilitas yang lebih baik dari pada balok beton normal. Selain itu, kapasitas lentur balok beton komposit menunjukkan lendutan lebih besar dibandingkan beton normal.

Machmud et.al.,(2019) melakukan uji eksperimental untuk mengevaluasi kapasitas lentur *post rebar* yang dihasilkan, dengan perkuatan lembaran GFRP dan CFRP, serta GFRP straps. Benda uji menggunakan balok beton bertulang dengan dimensi 15 cm x 20 cm x 330 cm. Pada daerah lentur balok diperkuat dengan variasi lembaran GFRP dan CFRP. Sedangkan strap GFRP dipasang dengan variasi lebar 300 mm dan 600 mm. Sebelum diperkuat, balok beton bertulang dibebani sampai mencapai batas leleh tulangan tarik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengguna CFRP pada daerah tarik meningkatkan kapasitas beban secara signifikan dibandingkan dengan GFRP, dan penambahan lebar strap GFRP kurang efektif dalam meningkatkan kapasitas beban. Selain itu, pola retak pada semua benda uji merupakan pola retak lentur yang ditunjukkan dengan adanya retakan merambat dalam arah vertikal dari daerah tarik ke sisi tekan.

2.2 Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang

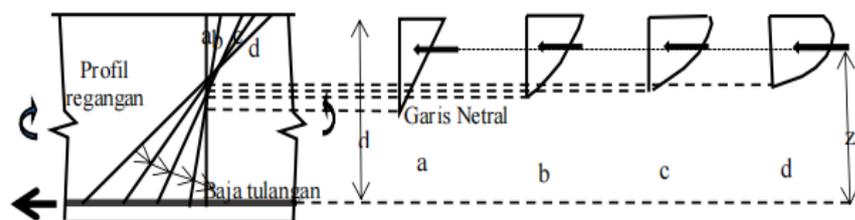
Menurut Mosley dan Bugay (1989) kekuatan tarik beton besarnya hanya kira – kira 10% kekuatan tekannya. Nilai kuat tarik yang relatif lebih kecil dari kuat tekan merupakan salah satu kelemahan dari beton biasa.

Menurut SNI 03-2847-2013 beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan dapat direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya.

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada balok terjadi reformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat mengakibatkan keruntuhan elemen struktur. Pada saat beban luar mencapai taraf pembebanan demikian disebut keadaan batas keruntuhan karena lentur. Karena itu perencana harus mendesain penampang elemen pada balok sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban kerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan (Nawy, 2009).

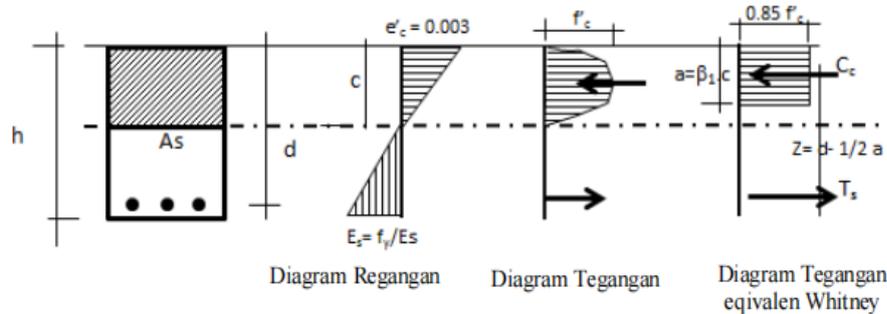
Kekuatan elemen (penampang) yang mengalami lentur tergantung pada distribusi material pada penampang, juga jenis materialnya. Sebagai respon (reaksi) atas adanya lentur yang bekerja pada penampang struktur maka penampang akan memberikan gaya perlawanan (aksi) untuk mengimbangi gaya tarik dan tekan yang terjadi pada penampang (Mulyono, 2004).

Menurut Park & Paulay (1933), apabila suatu beban bekerja pada balok maka kondisi seimbang antara tegangan – regangan akan lenyap dan diagram tegangan tekan pada penampang balok beton akan berbentuk setara dengan kurva tegangan – regangan tekan seperti terlihat pada **Gambar 2.** berikut :



Gambar 2. Diagram regangan dan tegangan balok beton bertulang dengan kondisi seimbang

Pada kondisi plastis tegangan beton tekan akan membentuk kurva nonlinier. Kurva tegangan di atas garis netral berbentuk sama dengan tegangan– regangan beton. Kurva tegangan non linier tersebut kemudian disederhanakan oleh Whitney sebagaimana **Gambar 3.** berikut :



Gambar 3. Grafik hubungan tegangan-regangan kondisi plastis

Besar gaya-gaya dalam :

$$\text{Gaya Tekan: } C_c = 0,85 f'_c b a \quad (1)$$

$$\text{Gaya Tarik: } T_s = A_s f_y \quad (2)$$

dan keseimbangan gaya dalam $C_c = T_s$ memberikan hasil tinggi blok tegangan : a

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad (3)$$

$$\text{letak garis netral } c = a / \beta_1 \quad (4)$$

$$\text{Momen Nominal: } M_n = C_c (d - a/2) \quad (5)$$

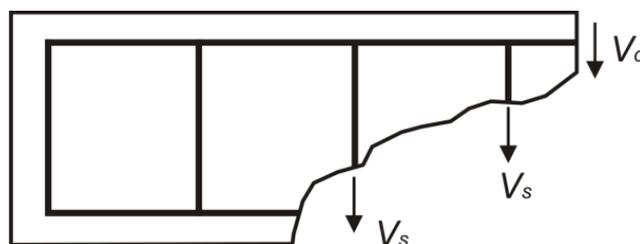
$$\text{atau } M_n = T (d - a/2) \quad (6)$$

2.3 Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang

Kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, umumnya kerusakan terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok dan dinamakan bentang geser. Retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Pada bentang geser yang lebih pendek, kerusakan timbul akibat kombinasi dari pergeseran, remuk dan belah, sedangkan untuk balok tanpa tulangan geser dengan bentang geser lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum retak karena tarik diagonal. Terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan geser merupakan peringatan awal kerusakan geser.

Retak miring akibat geser di badan balok bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan sebagai retak geser badan. Retak miring yang terjadi sebagai proses kelanjutan dari retak lentur yang timbul sebelumnya dinamakan sebagai retak geser lentur. Retak jenis terakhir ini dapat dijumpai pada balok beton bertulang biasa maupun prategang. Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung melambat dimulai dari tepi masuk kedalam balok dengan arah hampir tegak lurus. Proses tersebut terus berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai terjadinya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser di ujung salah satu rekatan terdalam, yang terjadi tegangan geser cukup besar dan mengakibatkan terjadinya retak miring. Tulangan baja pada balok beton bertulang lentur arah memanjang bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat, tulangan baja yang diperuntukkan menahan momen lentur didalam balok letaknya tidak berada pada tempat terjadinya tegangan tarik diagonal, sehingga diperlukan tambahan tulangan baja untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat yang sesuai (Dipohusodo, 1994). Menurut Vis dan Kusuma (1995), pergeseran beton ditahan oleh:

- 1). Aksi pasak oleh tulangan memanjang (V_d)
- 2). Komponen vertikal gaya geser yang terdapat pada retak miring akibat permukaan retakan yang tidak teratur (menghindari butiran – butiran kerikil). Gaya geser (V_a) pada retak miring disebut “interlocking”
- 3). Komponen vertical gaya geser pada daerah tekan yang belum retak (V_c).
- 4). Gaya (T_s) yang terdapat dalam tulangan geser



Gambar 4. Perlawanan terhadap geseran

Perencanaan penulangan geser menurut SNI 2847:2019 menggunakan persamaan:

$$\phi V_n \geq V_u \text{ atau } V_n = V_c + V_s \quad \dots\dots\dots (7)$$

Dimana

V_u = gaya geser berfaktor (kN),

V_c = kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton (kN),

V_s = kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan (kN),

V_n = kekuatan geser nominal (kN),

ϕ = faktor reduksi.

Untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja menggunakan persamaan:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (8)$$

Untuk gaya geser yang disumbangkan oleh sengkang vertikal (V_s) menggunakan persamaan:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad \dots\dots\dots (9)$$

Dimana,

s = Jarak pusat ke pusat batang tulangan geser kearah sejajar tulangan pokok penampang (mm)

f_y = Kuat leleh tulangan geser (MPa).

Tetapi kuat geser V_s tidak boleh diambil lebih dari nilai

$$V_s = \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{f'c} b_w d \quad \dots\dots\dots (10)$$

Untuk jarak tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ untuk struktur non-prategang dan $(3/4)h$ untuk komponen struktur prategang, atau 600 mm. Ketentuan tulangan geser minimum dapat diabaikan bila dapat ditunjukkan dengan pengujian bahwa komponen struktur tersebut mampu mengembangkan kuat lentur dan geser nominal yang diperlukan tanpa adanya tulangan geser.

Bila hasil analisa diperlukan tulangan geser, maka luas tulangan geser minimum untuk komponen struktur nonprategang harus dihitung dengan persamaan dibawah.

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f'c} b_w d}{(1200) f_y} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Tetapi A_v tidak boleh kurang dari $\frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$, dengan b_w dan s dinyatakan dalam millimeter.

Secara umum besarnya tegangan geser (τ) yang berlaku adalah.

$$\tau = \frac{V.Q}{b.I} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

τ = Tegangan geser pada balok (Mpa)

V = Kuat geser pada balok (KN)

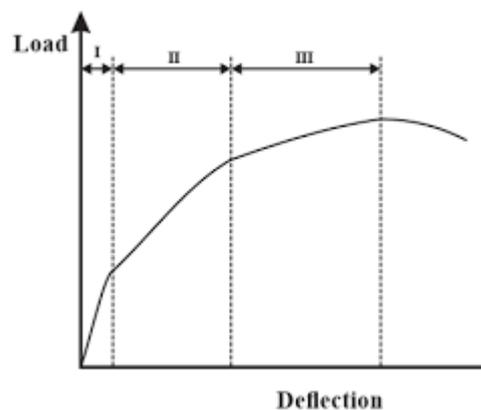
I = Momen inersia penampang (mm^4)

Q = Statis momen (mm^3)

b = lebar badan balok (mm)

2.3 Lendutan Pada Balok

Hubungan beban-lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3. Hubungan ini terdiri atas tiga daerah sebelum terjadinya rupture. Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak. Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya. Daerah III : Taraf pasca-serviceability, di mana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya (Nawy, 2009).

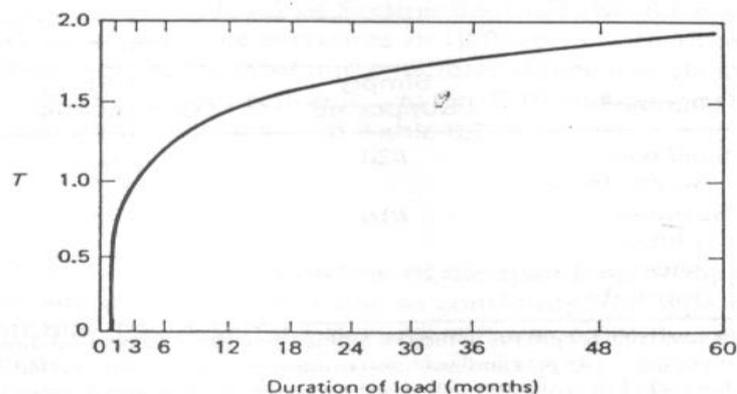


Gambar 5. Hubungan beban – lendutan pada balok. Daerah I, Taraf praretak; Daerah II, Taraf pascaretak ; Daerah III, Taraf pasca-serviceability (Nawy,2003).

Menurut Nawy (2003), Faktor-faktor yang bergantung pada waktu dapat memperbesar lendutan terhadap bertambahnya waktu. Sebagai akibatnya perencana harus mengevaluasi lendutan sesaat (immediate) maupun lendutan jangka panjang (long-term) agar lendutan ini terjamin tidak akan melebihi suatu kriteria tertentu. Efek-efek yang bergantung pada waktu ini disebabkan oleh rangkakan (creep), susut (shrinkage) dan regangan-regangan yang bergantung pada waktu. Regangan-regangan tambahan ini menyebabkan perubahan distribusi tegangan pada beton dan baja tulangan sehingga kelengkungan pada elemen struktural bertambah untuk suatu beban luar yang tetap. Lendutan tambahan akibat beban sustained dan susut jangka panjang yang sesuai dengan prosedur ACI dapat dihitung dengan menggunakan faktor pengali seperti pada persamaan dibawah ini:

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50\rho'}$$

Dimana ρ' adalah rasio penulangan tekan yang dihitung pada lapangan untuk balok ditumpu sederhana dan balok menerus dan balok T. adalah faktor yang diambil sebesar 1,0 untuk lama pembebanan 3 bulan, 1,2 untuk lama pembebanan 6 bulan, dan 2,0 untuk lama pembebanan 5 tahun atau lebih.



Gambar 6. Faktor Pengali untuk lendutan jangka panjang [Nawy,2003].

Lendutan yang diizinkan pada sistem struktur sangat bergantung pada besarnya lendutan yang masih dapat ditahan oleh komponen-komponen struktur yang berinteraksi tanpa kehilangan penampilan estetis dan tanpa kerusakan pada elemen yang terdefleksi. Akan tetapi struktur-struktur pada masa sekarang dirancang dengan menggunakan prosedur kekuatan batas (ultimate), yaitu dengan

memanfaatkan kekuatan tinggi baja dengan betonnya. Dengan demikian akan diperoleh elemen-elemen struktur yang semakin langsing dan dalam hal demikian lendutan sesaat maupun jangka panjang sangat perlu dikontrol.

2.4 Metode Perbaikan dan Perkuatan

Perkuatan struktur menurut Triwiyono (2004) dilakukan untuk bangunan yang riskan terhadap beban baru yang akan harus didukung, sehingga perlu meningkatkan kemampuan bangunan tersebut atau menambahkan elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak ada pada saat struktur di bangun. Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kehancuran. Sedangkan perbaikan struktur diterapkan pada bangunan yang telah rusak, yaitu merupakan upaya untuk mengembalikan fungsi struktur seperti semula setelah terjadi penurunan perkuatan. Jika bangunan tidak segera ditangani perbaikan atau perkuatannya, kerusakan dapat berlanjut lebih parah lagi. Agar bangunan yang sudah rusak dapat terus difungsikan, diperlukan tindakan rehabilitasi yang dapat berupa perbaikan (retrofit) atau perkuatan (strengthening).

Lorenzis dkk (2000) dalam penelitiannya menggunakan batang Near Surface Mounted Fiber Reinforced Polymer (NSM FRP) sebagai perkuatan kapasitas lentur dan geser balok beton bertulang. Balok yang diperkuat pada bagian lentur menunjukkan peningkatan kapasitas antara 25,7 % sampai 44,3 %, jika dibandingkan dengan balok kontrol, sedangkan pada balok yang diperkuat pada bagian geser akan terjadi peningkatan kapasitas hingga 105,7 %. Dalam penggunaan metode ini, lekatan antara batang Near Surface Mounted Fiber Reinforced Polymer (NSM FRP) dan beton merupakan hal penting yang perlu diperhatikan.

Lamanna dkk (2001) yang meneliti masalah Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Menggunakan Fasthener dan Fiber Reinforced Polimer Strips menyimpulkan, bahwa perkuatan balok dengan menggunakan Powder actuated fastener mencapai peningkatan 65 % sampai dengan 70 % dari kapasitas balok dengan perkuatan menggunakan metode peningkatan konvensional, selain itu

metode fastening lebih cepat dan model kehancurannya lebih daktail disbanding dengan metode metode pengikatan konvensional.

Iswari (2004) dalam penelitiannya tentang perkuatan lentur balok tampang persegi dengan penambahan tulangan menggunakan perekat epoxy menyimpulkan, bahwa benda uji setelah diperkuat dengan penambahan tulangan mengalami peningkatan kapasitas lentur balok yang diperkuat pada bagian tarik, balok yang diperkuat pada bagian tarik dan tekan terhadap balok kontrol, balok yang diperkuat pada bagian tarik dan tekan berturut-turut sebesar 63,04 %, 139,95 % dan 124,14 % terhadap balok kontrol. Kekakuan balok yang diperkuat pada bagian tarik, balok yang diperkuat pada bagian tarik dan tekan terhadap balok kontrol, balok yang diperkuat pada bagian tarik dan tekan meningkat berturut-turut sebesar 14,03 % 41,04 % dan 100,18 % terhadap balok kontrol. Daktilitas balok yang diperkuat pada bagian tarik, balok yang diperkuat pada bagian tarik dan tekan terhadap balok kontrol, balok yang diperkuat pada bagian tarik berturut-turut sebesar 37,59 %, 65,68 % dan 81,66 % terhadap balok kontrol. Pola keruntuhan yang terjadi pada benda uji adalah keruntuhan lentur pada balok yang diperkuat pada bagian tarik, balok yang diperkuat pada bagian tarik dan tekan terhadap balok kontrol, balok yang diperkuat pada bagian tarik dan delaminasi pada balok yang diperkuat pada bagian tarik dan tekan.

2.5 Mortar Grouting

Berdasarkan SNI 03-6825-2002 mortar didefinisikan sebagai campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), bahan perekat (tanah liat, kapur, semen Portland) dan air dengan komposisi tertentu. Mortar memiliki nilai penyusutan yang relative kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan geser yang dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan adhesinya. Fungsi mortar dalam kontruksi bangunan sipil adalah sebagai bahan perekat dalam pekerjaan pasangan batu atau bata, penutup permukaan pasangan juga sebagai pengisi rongga diantara pasangan batu. perkembangan pembangunan fasilitas fisik bangunan sipil dibutuhkan pula mortar

yang mempunyai kuat tekan tinggi. Meningkatkan kuat tekan mortar sampai batas tertentu dapat dilakukan dengan dengan menambah porsi jumlah semen portland. Namun pemakaian semen portland yang berlebihan dapat mendorong terjadinya retak pada pasangan ketika terjadi penyusutan pada semen.

Aspek sifat mekanis yang penting dari mortar adalah kuat tekannya. Kuat tekan mortar adalah kemampuan mortar untuk menahan beban tekan. Kuat tekan mortar ditentukan dengan uji tekan terhadap benda uji kubus mortar ukuran 5x5x5 cm pada umur 28 hari. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan mortar adalah diantaranya : bahan - bahan penyusun (air, semen, agregat, bahan tambah); metode pencampuran, meliputi proporsi bahan, pengadukan, pengecoran dan pemadatan; dan perawatan pasca pengecoran/pemasangan.

Injeksi semen bertekanan/sementasi (*grouting*) adalah suatu proses, di mana suatu cairan diinjeksikan/disuntikan dengan tekanan sesuai uji tekanan air (*water pressure test*) ke dalam rongga, rekah dan retakan batuan/tanah, yang mana cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

Mortar grouting adalah bahan pengisi yang digunakan untuk perbaikan suatu komponen struktur. Sika Grout 215 merupakan salah satu produsen bahan bangunan dan produk kimia yang sering digunakan dalam suatu proyek konstruksi. Dalam pengerjaan grouting tentunya dibutuhkan semen grouting yang siap pakai dan mempunyai karakteristik tidak susut, dapat mengalir dengan baik serta memenuhi persyaratan standar corps of engineering CDR C-621 dan ASTM C-1107 yang keseluruhannya terdapat pada Sika Grout 215. Sika Grout 215 berfungsi sebagai komponen semen grouting untuk memperbaiki beton yang keropos dan juga untuk pengisi celah dan rongga, serta dapat diaplikasikan pada stuktur bangunan.

Tabel 1. Karakteristik Sika Grout 215

| Sifat- Sifat Material Grouting | | | |
|--------------------------------|---------|------------------------|--------|
| Sifat- Sifat | | Nilai Test | |
| | 1 day | 25.0 N/mm ² | |
| Kuat | 3 days | 40.0 N/mm ² | (ASTM |
| Tekan | 7 days | 52.0 N/mm ² | C-109) |
| | 28 days | 65.0 N/mm ² | |

| | | | |
|----------------------|--------------------------------------|--|-----------------|
| Kuat Tarik Lentur | 28 days | $> 6.0 \text{ N/mm}^2$ | (ASTM C-348) |
| Kuat Tarik Adhesi | 28 days | $>1.5 \text{ N/mm}^2$ (Kegagalan Beton) $>2.5 \text{ N/mm}^2$ | |
| Expansion | 1 – 3 h (at $\pm 27^\circ\text{C}$) | 0.30 – 1.40% | (ASTM C-940) |

2.6 FRP

FRP merupakan material komposit yang digunakan dalam konstruksi sipil. Produk FRP yang terbuat dari kaca lebih dikenal dengan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP). GFRP terbuat dari kaca cair yang dipanaskan sekitar 2300°F dan dipintal dengan bantuan *Bushing Platinumrhodium* pada kecepatan 200 mph, dan yang terbuat dari karbon dikenal dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP).

Material komposit mempunyai beberapa kelebihan seperti berkekuatan tinggi, ringan dan punya daya tahan yang tinggi. Selain itu FRP juga merupakan bahan non korosi, netral terhadap gaya magnet jika dibandingkan terhadap baja, FRP punya kuat tarik lebih besar, modulus elastisitas kecil dan hubungan tegangan-regangan elastisitas. Terdapat beberapa keuntungan menggunakan FRP sebagai bahan perkuatan struktur:

- a. Teknik yang digunakan dalam pemasangan tidak mengganggu penggunaan struktur lainnya.
- b. Meningkatkan kapasitas struktur dengan penambahan berat struktur sendiri adalah minimum.
- c. Teknik yang digunakan relatif cepat, meminimalkan waktu bekerja.
- d. Material FRP lebih tipis dan lebih ringan daripada menggunakan perkuatan dari baja.

Akan tetapi perlu diperhatikan kelemahan-kelemahan pemakaian bahan ini, antara lain kurang tahan terhadap suhu yang tinggi. Dengan suhu sekitar 70°C bahan perekat *epoxy resin* akan berubah dari kondisi keras menjadi lunak, bersifat plastis sehingga daya lekatnya akan menurun.

Selain itu material FRP ini juga tidak tahan terhadap sinar ultra violet. Maka untuk mengatasi kelemahan ini perlu dilakukan proteksi, misalnya pelapisan atau penutupan dengan mortar. FRP terdiri atas tiga macam berdasarkan bahan seratnya yaitu *Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)* yang terbuat dari serat gelas, *Aramid Fiber Reinforced Polymer (AFRP)* yang terbuat dari aramid, dan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* yang terbuat dari karbon.

2.6.1 GFRP

Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) adalah serat polimer yang terbuat dari matriks plastik diperkuat oleh serat halus dari kaca . GFRP merupakan jenis perkuatan yang memiliki kekuatan yang sangat besar , dan bahan yang ringan. Meskipun sifat kekuatan yang agak lebih rendah dari serat karbon dan kurang kaku, bahan yang biasanya jauh lebih sedikit rapu, dan bahan baku jauh lebih murah. Kekuatan massal dan sifat berat badan juga sangat menguntungkan bila dibandingkan dengan logam, dan dapat dengan mudah dibentuk dengan menggunakan proses pencetakan. (Petrico G, 2013).

Perkuatan dengan menggunakan lembaran *GFRP* pada balok beton bertulang yang telah terbebani hingga leleh tulangan memiliki kapasitas lentur yang lebih tinggi dari balok aslinya. (Djamaluddin dan Hino,2011)

Balok yang diperkuat dengan FRP akan meningkatkan kekakuan, batas leleh dan kekuatan batas pada penelitian perbaikan tulangan yang telah korosi pada balok. (Rose dkk,2009).

Metode perkuatan menggunakan lembaran FRP merupakan metode yang efektif dan populer untuk saat ini, hal ini dikarenakan banyaknya keuntungan di dalam penggunaan FRP, baik dari segi ekonomi maupun dari segi fungsinya. Adapun beberapa mode kegagalan yang biasa terjadi pada balok yang diperkuat dengan FRP yaitu:

1. Rusaknya FRP setelah tulangan tarik meleleh.
2. Hancurnya beton sekunder setelah tulangan tarik meleleh.
3. Inti beton rusak karena tekanan sebelum tulangan tarik meleleh.
4. Lepasnya ikatan antara FRP dan beton (debonding).

Pada penelitian ini GFRP yang digunakan adalah *type* MapeWrap G UNI-AX. Adapun spesifikasi karakteristik material GFRP-S dapat dilihat pada Tabel 2. berikut ini:

Tabel 2. Spesifikasi MapeWrap G UNI-AX

| Sifat- Sifat Material MapeWrap G UNI-AX | |
|---|-----------------------------|
| Sifat- Sifat | Nilai Test |
| Massa jenis | 2.62 kg/dm ³ |
| Kuat Tarik | ≥ 2,560 MPa |
| Regangan Tarik | 3-4% |
| Berat | 900 g/m ² |
| Lekatan Pada Beton | > 3 MPa (Kegagalan beton) |
| Modulus Elastisitas | 80.7 Gpa |

Dalam penggunaannya, FRP digabungkan dengan suatu bahan perekat (*Epoxy Impregnation Resin*) yang akan merekatkan lembaran fiber pada balok beton. Bahan perekat yang akan digunakan pada penelitian ini berupa Epoxy dengan nama MapeWrap 31 SP yang merupakan produk dari MAPEI terdiri dari 2 (dua) komponen yaitu komponen A merupakan resin dan komponen B merupakan hardener. Perbandingan campuran antara bagian A : bagian B = 3 : 1. Adapun spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi MapeWrap 31 SP

| Sifat- Sifat Material MapeWrap 31 SP | |
|--------------------------------------|-------------|
| Sifat- Sifat | Nilai Test |
| Kuat Tarik | ≥ 40 MPa |
| Modulus Tarik | ≥ 2,500 MPa |
| Regangan Tarik | 4,50% |
| Kuat Tekan | ≥ 50 MPa |

| | | |
|---------------------|--|--------------------------|
| Kuat Lentur | | $\geq 50 \text{ MPa}$ |
| Modulus Elastisitas | | $\geq 2,000 \text{ MPa}$ |
| Tekanan | | |

2.7 Pola Retak

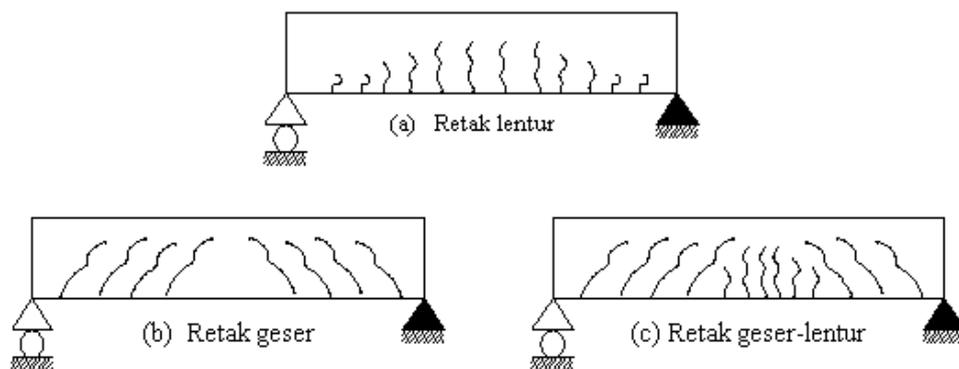
Pola retak pada dasarnya adalah sebuah tanda atau indikasi bahwa suatu struktur pada bangunan akan mengalami kerusakan. Dimana, bisa dikatakan bahwa kegagalan suatu struktur bisa dilihat dari pola retak yang terjadi pada struktur. Namun, tidak bisa langsung disimpulkan bahwa suatu struktur mengalami kegagalan apabila ditemui retak pada suatu bangunan tetapi perlu melihat anomali yang terjadi pada suatu struktur bangunan sehingga bisa dikatakan suatu struktur mengalami kegagalan.

Keretakan dapat menimbulkan kerusakan dan keruntuhan konstruksi. Retakan pada beton dipengaruhi oleh tegangan, regangan dan suhu yang akan mengakibatkan kegagalan yang berbeda, sehingga banyak dilakukan optimasi dilakukan seperti pada material, struktur dan proses konstruksi untuk mengurangi pengaruh retak. (Zhu et al., 2020).

Faktor yang menyebabkan retak pada beton sendiri terbagi menjadi dua yaitu saat proses pembuatan beton bertulang dan setelah pembuatan beton (Ulum et al., 2015). Pada saat terjadi keretakan besi tulangan akan mengambil alih penuh beban Tarik yang terjadi. Pada balok beton bertulang, lokasi retakan pada daerah tumpuan/ujung balok sisi atas dan tengah bentang sisi bawah. Keretakan yang ada pada komponen beton bertulang bisa timbul pada masa pra-konstruksi maupun pada saat pasca konstruksi. Pada setiap komponen beton bertulang pada sebuah struktur akan mengalami retak, yang perlu diperhitungkan sebenarnya apakah retak tersebut melemahkan kekuatan beton sehingga membahayakan struktur bangunan secara keseluruhan atau tidak. Penyebab terjadinya keretakan pada beton bertulang beberapa macam, antara lain faktor lingkungan dari luar yang mempengaruhi permukaan beton secara langsung maupun karena pengaruh dari sifat beton itu sendiri.

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok, (Gilbert, 1990):

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai nilai momen lentur yang lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada balok. (lihat Gambar 7.(a)).
2. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tahanan aksial sangat kecil. (lihat Gambar 7.(b)).
3. Retak geser lentur (*flexural shear crack*), terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Retak geser lentur merupakan perambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya. (lihat Gambar 7.(c)).



Gambar 7. Jenis Retakan Pada Beton

2.8 Mode Keruntuhan Balok Beton Bertulang

Tegangan-tegangan pada balok tinggi berbeda dengan tegangan balok normal. Karena geometrinya maka balok tinggi lebih berperilaku dua dimensi bukan satu dimensi. Sebagai akibatnya, bidang datar sebelum melentur tidak harus tetap datar setelah melentur. Distribusi tegangannya tidak lagi linier dan deformasi geser yang diabaikan pada balok biasa menjadi suatu yang cukup berarti dibandingkan dengan deformasi lentur murni (Nawy, 1990).

Geser pada balok tinggi merupakan tinjauan yang utama dalam desainnya. besar dan jarak penulangan geser vertikal dan horisontal sangat berbeda dengan yang dipakai pada balok biasa, begitu pula persamaan-persamaan yang digunakan didalam desainnya (Nawy, 1990).

Pada beberapa test dapat diketahui bahwa mode atau pola keruntuhan sangat kuat tergantung pada a/d , dimana: a = jarak dari tumpuan ke beban terpusat, d = tinggi efektif. (Kongdan Evans. 1987), yaitu :

1. Runtuh lentur dimana : $ad > 6$ Balok yang memiliki perbandingan a/d seperti ini biasanya runtuh pada lentur.
2. Runtuh tarik geser dimana : $6 > a/d > 2,5$ Balok yang memiliki perbandingan a/d lebih kecil daripada 6 condong runtuh di geser. retak diagonal atau miring (1-2-3) dengan penambahan lebih lanjut pada V atau beban, maka kerusakan biasa terjadi dalam 1 dan 2 mode, jika perbandingan a/d relatif tinggi, retak miring akan menjalar cepat ke e, menghasilkan keruntuhan oleh terpisahnya balok menjadi 2 bagian. Mode keruntuhan ini sering disebut keruntuhan tarik diagonal. Jika perbandingan a/d relatif rendah, retak miring condong berhenti 15 disuatu tempat pada 7. Sejumlah retak yang tak beraturan mungkin mengembang pada beton sekitar penulangan tank longitudinal. Jika V meningkat lebih jauh, retak miring melebar dan menyebar sepanjang tingkat penulangan tank (gambar retak 5-6). Gaya geser yang meningkat mendesak turun baja longitudinal dan menyebabkan kerusakan pada ikatan antara beton dan baja, biasanya menimbulkan pemisahan pada beton sepanjang 5-6.

2.9 Kegagalan Balok Beton Bertulang

Kegagalan pada balok beton bertulang pada dasarnya bisa dilihat secara visual. Dimana, bisa dilihat dengan adanya fenomena yang terjadi pada beton seperti dipengaruhi oleh melelehnya tulangan baja dan hancurnya beton bertulang.

Menurut Nawy Edward G. (2003), ada tiga kemungkinan yang bisa terjadi yang menyebabkan kegagalan balok beton bertulang, yaitu:

a. Kondisi *balanced reinforced*

Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan.

Kondisi regangan : $\epsilon_c = 0,0003$ dan $\epsilon_s = f_y E_s$

Pada kondisi ini berlaku : $\rho = \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s = \epsilon_y$

b. Kondisi *Over – Reinforceid*

Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak dari yang diperlukan dalam keadaan *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan hancurnya penampang beton terlebih dahulu sebelum tulangan baja meleleh.

Pada kondisi ini berlaku: $\rho > \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s < \epsilon_y$

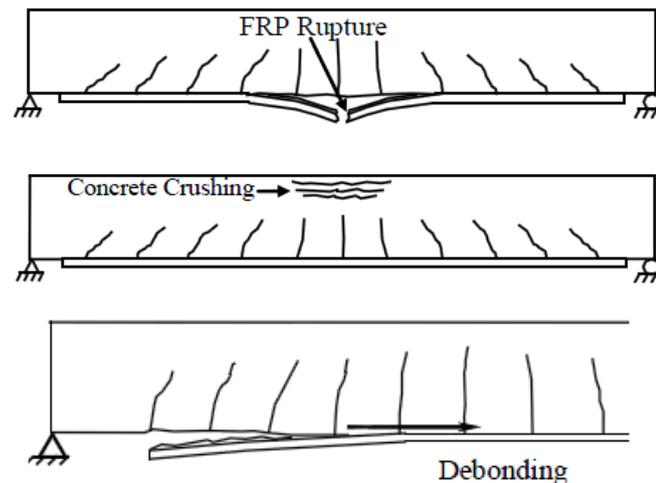
c. Kondisi Under – reinforced

Kondisi ini terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja terlebih dahulu dari betonnya. Pada kondisi ini berlaku : $\rho < 75\% \rho_{balanced}$ dan $\epsilon_s > \epsilon_y$

Balok disebut *under-reinforced* jika balok mempunyai lebih sedikit tulangan dari pada yang diperlukan untuk suatu perbandingan seimbang. Jika sebuah balok berada dalam keadaan *under-reinforced* dan beban ultimit sudah hampir tercapai, baja akan mulai meleleh meskipun tegangan pada beton tekan masih belum mencapai tegangan ultimitnya. Jika beban terus diperbesar, tulangan akan memanjang sehingga terjadi lendutan dan muncul retak besar pada beton tarik. Kondisi ini menjadi peringatan bahwa beban harus dikurangi atau struktur akan rusak dan runtuh. Hal inilah yang menjadi pertimbangan suatu balok harus didesain tetap dalam kondisi *under-reinforced*. Peningkatan komponen struktur lentur boleh dilakukan dengan menambahkan pasangan tulangan tekan dan tulangan tarik secara bersamaan. Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi *under-reinforced*.

2.10 Kegagalan pada Balok dengan Perkuatan GFRP

Model kegagalan yang terjadi pada balok beton yang diperkuat dengan FRP secara umum dapat dibedakan atas tiga yaitu rusak atau putusnya FRP (FRP *rupture*), hancurnya beton pada sisi tekan (*concrete crushing*) dan lepasnya ikatan antara beton dengan FRP (*debonding*).



Gambar 8. Putusnya FRP Dan Hancurnya Beton Pada Sisi Tekan

Model kegagalan secara berurutan ditunjukkan pada Gambar 8. yakni berupa putusnya lapisan FRP yang terjadi setelah melelehnya tulangan dan hancurnya beton pada sisi tekan. Hancurnya beton pada sisi tekan terjadi sebelum tulangan tarik meleleh sehingga kondisi ini identik dengan kondisi *over-reinforced*. Selain itu, terdapat pula kondisi di mana tulangan tarik telah meleleh namun disertai dengan hancurnya beton pada sisi tekan tanpa disertai putusnya FRP.

Debonding atau lepasnya ikatan antara FRP dengan beton ini merupakan masalah yang kritis dan sangat penting dari penggunaan material FRP dalam hal perbaikan dan perkuatan struktur. Bidang rekatan, dalam hal ini merupakan bidang antara FRP dengan beton, biasanya merupakan bagian terlemah di mana *debonding* paling sering terjadi.

Hal ini disebabkan karena adanya konsentrasi tegangan yang tinggi pada daerah tersebut saat terjadi transfer gaya dari beton ke FRP. Daerah – daerah kritis terjadinya *debonding* terletak pada ujung lapisan FRP dan juga area sekitar adanya retak geser maupun lentur.

2.11 Angkur

Angkur atau sekrup adalah salah satu teknologi paling simpel yang pernah diciptakan yang dimulai dari sebuah mesin yang dikenal dengan mesin sekrup. Baut atau sekrup diciptakan pada jaman mesir dan yunani kuno. Masyarakat yunani mengatakan bahwa penemu baut sekrup adalah filsuf Yunani Arcyitas of Tarren Tum pada sekitar 234 BC.

Pada prinsipnya, angkur merupakan alat sambung berupa batang yang berbentuk tabung dan memiliki ulir yang salah satu ujung batang tabung tersebut dibuat dengan penampang berbentuk segi enam yang berfungsi sebagai kepala angkur. Sedangkan ujung yang satunya lagi merupakan kaki baut yang akan dipasang mur sebagai pengunci. Pemasangan baut-mur juga acap kali dilengkapi ring yang berguna untuk mencegah terjadinya dol/londot saat baut-mur tersebut dikencangkan. (Rini Wulan Dary, 2014).

Angkur dapat digunakan untuk membangun konstruksi sambungan tetap, sambungan sementara, dan sambungan bergerak. Angkur yang biasa digunakan untuk konstruksi baja memiliki ulir di batangnya yang berbentuk segi tiga atau ulir tajam. Tujuannya untuk meningkatkan daya cengkeram baut tersebut sebagai pengikat. Berbeda dengan baut yang sering dipakai untuk penggerak atau pemindah tenaga seperti dongkrak dan alat mesin yang lain, baut ini dilengkapi dengan ulir yang berbentuk segi empat atau ulir tumpul. Penghubung geser secara mendasar berfungsi sebagai pentransfer gaya geser kestruktur dan berfungsi sebagai penghubung antar beton dan baja supaya tidak terjadinya perpisahan antar material tersebut saat diberikan beban. penghubung geser dapat berupa baut angkur dan besi beton (Rini Wulan Dary, 2014).

Beberapa tipe keruntuhan baut angkur akibat beban yang dipikul antara lain:

1. Tipe keruntuhan pada beton akibat gaya tarik, dengan kekuatan baut yang lebih tinggi daripada mutu betonnya, maka kegagalan akan terjadi pada beton. Beton akan hancur dan terangkat keatas
2. Tipe keruntuhan pada beton akibat gaya tarik dengan kekuatan mutu beton lebih tinggi daripada kekuatan baut angkurnya dimana kegagalan akan terjadi pada baut angkur, baut angkur akan terputus atau akan terlepas dari beton seluruhnya.
3. Tipe keruntuhan pada beton akibat gaya geser, dimana sambungan antara beton dan baut angkurnya kuat sehingga beton yang didalamnya pecah dan mengakibatkan keruntuhan pada beton
4. Tipe keruntuhan pada baut angkur akibat gaya geser, beton dan baut mempunyai kekuatan yang sama sehingga karena baut angkur bersifat daktail, baut akan terus berdeformasi hingga apabila beban geser diberikan terus menerus, maka lama kelamaan baut angkur akan putus. (Rhini Wulan Dary, 2014).