

TUGAS AKHIR
**“PENGARUH LAPISAN *HYBRID* SERAT KARBON DAN
SERAT GELAS PADA KAPASITAS LENTUR BALOK
BETON BERTULANG”**



DISUSUN OLEH :
NUR LAYLA DIDIPU
D 111 09 107

JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

KAMPUS TAMALANREA TELP. (0411) 587 636 FAX. (0411) 580 505 MAKASSAR 90245
E-mail : sipil.unhas@yahoo.co.id

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : " *Pengaruh Lapisan Hybrid Serat Karbon Dan Serat Gelas Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang.*"

Disusun Oleh :

Nama : Nur Layla Didipu

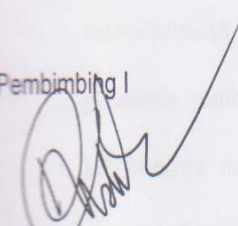
D111 09 107

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Makassar, 26 November 2013

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Rudy Djamaluddin, ST. M.Eng.
Nip. 19701108 1994121001


Dr. Eng. Hj. Rita Irmawati, ST.MT.
Nip. 197206192000122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil,


Prof. Dr.Ir.H.Lawalenna Samang, MS.M.Eng.
Nip. 19601231 198503 1 001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, segala puja dan puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, Sang Penguasa alam semesta ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat dan semua pengikutnya yang setia hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata Satu pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar. Penulis Mengangkat judul dari Tugas Akhir yaitu **PENGARUH LAPISAN *HYBRID* SERAT KARBON DAN SERAT GELAS PADA KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG** karena mengingat bahwa perlunya perkuatan pada elemen struktur gedung akibat faktor usia dan perubahan pembebanan pada bangunan tersebut yang menyebabkan tingkat kelayakannya menjadi berkurang. Selain itu perkuatan struktur juga untuk memperbaiki struktur akibat kesalahan dalam pelaksanaan konstruksi, serta memberikan tambahan faktor keamanan.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat juga terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak DR.Ing Ir. Wahyu H. Piarah, MS, ME.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

2. **Bapak Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, M.S.M.Eng.** selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Rudi Djamaluddin, S.T., M.Eng** , selaku dosen pembimbing I sekaligus Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. **Ibu Dr. Eng. Rita Irmawati, ST. MT.**, selaku dosen pembimbing II, yang senantiasa meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, pengarahan serta bantuan sampai akhir penyusunan tulisan ini.
5. **Bapak Sudirman Sitang, S.T.**, selaku staf Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan pengarahan selama pelaksanaan penelitian di Laboratorium.
6. **P.T. Graha Citra Anugerah Lestari** atas bantuan dan kerjasamanya dalam menyediakan material *GFRP* dan *CFRP* (Tyfo® Fibrwrap® Composite Systems) dan literatur serta bantuan-bantuan lainnya.
7. **Kanda Haeril Abdi Hasanuddin** atas bantuan, bimbingan dan kerjasamanya selama proses penelitian hingga selesainya penyusunan Tugas Akhir.
8. **Kanda Aswin Perdana Duhri** atas bantuan, bimbingan serta kerjasamanya selama proses penelitian ini.
9. Seluruh dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

10. Seluruh staf dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Ibunda dan ayahanda tercinta atas curahan kasih sayangNya selama ini sehingga membuat ananda tetap tabah dan tegar dalam beraktivitas. Ananda tidak mungkin dapat membalas semua pengorbanannya dan inilah salah satu karya sebagai ungkapan terima kasih ananda. Jangan pernah bosan untuk mendoakan ananda dan semoga Allah SWT berkenan mempertemukan kita hingga di surgaNya kelak.
2. Keluarga besar ayahanda dan ibunda yang terhormat atas segala bentuk bantuan dan dukungan baik spiritual maupun materil, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
3. Kakanda dan Adinda yang tercinta atas segala bantuan dan dukungannya selama ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik. Semoga pintu-pintu kebaikan senantiasa terbuka buat kita semua.
4. Sahabat dan Saudara kami seluruh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, terkhususnya kepada angkatan 2009 yang telah memberikan warna tersendiri. Khususnya kepada Anastasia Mani', Andi Cempana, Nurikhsani, Titik Kuntarti, Dewi Aryani, Imam Saleh, Rusmadi Siddiq, Tamsil Yunus, Moh. Rizal Lasarika, Hasmanullah, Ansari, dan lain-lain yang sudah bersedia membantu dalam penyusunan laporan ini. Maafkan atas segala kekhilafan saya. Terimakasih atas bantuan dan tegur spanya selama

ini. Jangan pernah berhenti untuk belajar dan mari kita raih takdir kesuksesan itu. Untuk semua junior, terima kasih atas bantuan dan dukungannya. Kepada semua senior, kami masih tetap menunggu bimbingan selanjutnya.

Akhirnya tidak ada yang sempurna kecuali Allah SWT, Sang Pemilik Kesempurnaan. Kritik dan saran yang bersifat membangun senantiasa penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Besar harapan dari penulis semoga buah karya ini dapat bermanfaat bagi pihak yang berkepentingan terkhusus di dunia ketekniksipilan karena sang pemimpin kita pernah berpesan "sebaik-baik manusia adalah yang paling banyak manfaatnya bagi orang lain".

Makassar, November 2013

Penulis

Abstrak

Dewasa ini struktur beton yang sering kita jumpai banyak yang mengalami kerusakan. Kerusakan struktur tersebut dapat disebabkan oleh kualitas bahan yang tidak memenuhi spesifikasi, pembebanan yang berlebih, kriteria perencanaannya yang tidak sesuai dengan standar, ataupun disebabkan oleh bencana alam seperti gempa. Maka untuk mengurangi resiko-resiko yang akan terjadi dibutuhkan perencanaan struktur bangunan yang lebih berkualitas lagi. Saat ini telah berkembang cara meningkatkan infrastruktur salah satunya dengan penggunaan serat FRP (Fiber Reinforced Polymer) sebagai bahan komposit. Pemilihan material ini dikarenakan FRP merupakan tulangan yang tidak berkarat, ringan, dan memiliki kekuatan yang tinggi. Pada penelitian ini dikhususkan pada penggunaan GFRP dan CFRP terhadap perlakuan lentur balok beton bertulang. Pada penelitian ini direncanakan dua macam variasi yaitu Variasi I (BGC) yang terdiri dari 1 lapis GFRP penuh permukaan + 1 lapis CFRP dengan lebar $\frac{1}{3}$ lebar balok, dan Variasi II (BGCG) yang terdiri dari 1 lapis GFRP penuh permukaan + 1 lapis CFRP dengan lebar $\frac{1}{3}$ lebar balok + 1 lapis GFRP penuh permukaan. Adapun metode penelitian ini terdiri dari dua tahap pengujian yaitu pengujian balok beton bertulang normal yang dibebani hingga mencapai tulangan leleh dan pengujian balok beton bertulang yang diperkuat dengan GFRP dan CFRP. Hasil pengujian untuk balok beton bertulang yang telah diperkuat GFRP dan CFRP menunjukkan bahwa balok mampu menahan kapasitas beban hingga mencapai 175,19% untuk balok Variasi I dan 214,69% untuk balok Variasi II terhadap balok normal.

Kata kunci: Balok Beton Bertulang, Glass Fiber Reinforced Polymer, Carbon Fiber Reinforced polymer.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN.....	I - 1
1.1 Latar Belakang	I - 1
1.2 Rumusan Masalah	I - 3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I - 4
1.4 Batasan Masalah.....	I - 4
1.5 Sistematika Penulisan.....	I - 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II - 1
2.1 Beton Bertulang.....	II - 1
2.1.1 Pengertian	II - 1
2.1.2 Prinsip Dasar Beton Bertulang	II - 2
2.1.3 Metode Perencanaan Beton Bertulang	II - 2
2.1.4 Balok Beton Bertulang Normal	II - 3
2.1.5 Perencanaan Batas	II - 5

2.2 Karakteristik Beton.....	II – 6
2.2.1. Kekuatan Tekan	II - 6
2.2.2. Kekuatan Tarik.....	II - 6
2.2.3. Kekuatan Geser	II - 7
2.2.4. Kurva Tegangan-Regangan.....	II - 7
2.3 Desain dan Analisis Lentur Balok Beton Bertulang Rangkap	II - 9
2.4 Fiber Reinforced Polymer (FRP)	II - 12
2.4.1. Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)	II - 14
2.4.2. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP).....	II -15
2.5 Epoxy Resin	II - 17
2.6 Mode Kegagalan.....	II - 18
2.7 Kapasitas Balok Beton Bertulang dengan FRP	II -19
2.8 Analisa Lendutan pada Balok.....	II - 19
2.9 Retak pada Balok.....	II - 23
BAB III METODE PELAKSANAAN DAN PENELITIAN	III - 1
3.1. Jenis Penelitian dan Desain Penelitian	III - 1
3.1.1. Jenis Penelitian.....	III - 1
3.1.2. Desain Penelitian.....	III - 4
3.2 .Kerangka Prosedur Penelitian	III - 8
3.3. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	III - 9
3.4. Alat dan Bahan Penelitian	III - 9

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV - 1
4.1. Hasil Pengujian Agregat.....	IV - 1
4.1.1. Pemeriksaan Agregat.....	IV - 1
4.1.2. Komposisi Mix Design.....	IV - 2
4.1.3. Kuat Tekan Beton.....	IV - 2
4.1.4. Kuat Tarik Baja	IV - 3
4.1.5. Modulus Elasisitas.....	IV - 3
4.2. Hasil Analisis Balok Beton Bertulang	IV - 4
4.2.1. Perbandingan Beban Maksimum	IV - 6
4.2.2. Hubungan Beban Lendutan.....	IV - 8
4.2.3. Hubungan Beban Lendutan Tengah Bentang.....	IV - 14
4.2.4. Grafik Beban Regangan	IV - 15
4.2.5. Pola Retak Balok	IV - 20
4.2.6. Mode Kegagalan Balok.....	IV - 23
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	V - 1
5.1. Kesimpulan.....	V - 1
5.2. Saran	V - 2

DAFTAR PUSTAKA

DOKUMENTASI PELAKSANAAN KEGIATAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Karakteristik Material CFRP	II - 7
Tabel 2.2 Data karakteristik Material GFRP	II - 9
Tabel 2.3 Karakteristik Material Resin Epoksi.....	II - 20
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat	IV - 1
Tabel 4.2 Komposisi Bahan Campuran Beton untuk 1 m ³	IV - 2
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Benda Uji	IV - 2
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	IV - 3
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Benda Uji	IV - 4
Tabel 4. 6 Beban Balok Bertulang Normal.....	IV - 5
Tabel 4. 7 Beban Balok Bertulang yang diperkuat FRP	IV - 5
Tabel 4. 8 Peningkatan Kapasitas Balok Bertulang Normal.....	IV - 5
Tabel 4. 9 Beban dan Lendutan untuk Setiap Variasi Balok	IV - 14

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 CFRP (<i>Carbon Fiber Reinforced Polymer</i>)	I - 3
Gambar 2. 2 GFRP (<i>Glass Fiber Reinforced Polymer</i>)	I - 3
Gambar 2. 1 Kurva Tegangan-Regangan Beton	II - 8
Gambar 2. 2 Kurva Tegangan-Regangan Baja	II - 8
Gambar 2. 3 Balok dengan Tulangan Rangkap	II - 9
Gambar 2. 4 Regangan Untuk Metode ACI 440-2R-08	II - 19
Gambar 2. 5 Hubungan Beban-Defleksi pada Balok (E.G.Nawy : 1990)	II - 19
Gambar 2. 8 Jenis Retakan Pada Beton	II - 24
Gambar 3. 1 Desain Beban dan Balok	III - 5
Gambar 3. 2 Desain Tulangan dan Penampang Balok.....	III - 5
Gambar 3. 3 Desain Posisi FRP	III - 5
Gambar 3. 4 Desain Penampang Permukaan Balok FRP	III - 6
Gambar 3. 5 Variasi Benda Uji balok Beton Bertulang.....	III - 7
Gambar 3. 6 Kerangka Prosedur Penelitian	III - 9
Gambar 4. 1 Alat Pengujian Kuat Tekan Beton.....	IV - 3
Gambar 4.2 Alat LVDT	IV - 4
Gambar 4.3 Beban Maksimum dan Persentase Peningkatan Baban.....	IV - 7
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Balok Normal	IV - 8
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban-Lendutan BGC-1.....	IV - 9
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Beban-Lendutan BGC-2.....	IV - 10
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Beban-Lendutan BGCG-1.....	IV - 11
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Beban-Lendutan BGCG-2.....	IV - 12

Gambar 4.9 Grafik Hubungan Beban-Lendutan BGCG-3.....	IV - 13
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Beban-Lendutan Tengah Bentang.....	IV - 14
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Beban-Regangan Balok Normal	IV - 16
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Beban-Regangan Balok BGC	IV - 17
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Beban-Regangan Balok BGCG.....	IV - 17
Gambar 4.14 Grafik Gabungan Beban-Regangan	IV - 18
Gambar 4.15 Grafik Beban-Regangan GFRP dan CFRP BGC	IV - 19
Gambar 4.16 Grafik Beban-Regangan GFRP dan CFRP BGCG	IV - 19
Gambar 4.17 Grafik gabungan BGC dan BGCG.....	IV - 20
Gambar 4.18 Pola Retak Beton Normal.....	IV - 20
Gambar 4.19 Pola Retak BGC-1	IV - 21
Gambar 4.20 Pola Retak BGC-2.....	IV - 21
Gambar 4.21 Pola Retak BGCG-1	IV - 21
Gambar 4.22 Pola Retak BGCG-2	IV - 22
Gambar 4.23 Pola Retak BGCG-3	IV - 22
Gambar 4.24 Moda Keruntuhan BGC-1	IV -23
Gambar 4.25 Mode Keruntuhan BGC-2	IV -23
Gambar 4.26 Mode Keruntuhan BGCG-1	IV - 24
Gambar 4.27 Mode Keruntuhan BGCG-2	IV - 24
Gambar 4.28 Mode Keruntuhan BGCG-3	IV - 24

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi, beton merupakan material utama yang memiliki peran penting untuk digunakan dalam suatu pembangunan struktur. Pada umumnya jenis beton yang digunakan dalam struktur tersebut adalah beton bertulang yaitu material komposit penyusun elemen struktur antara beton dengan tulangan baja yang saling bekerja sama dalam memikul gaya-gaya yang bekerja internal diakibatkan oleh beban eksternal. Alasan penggunaan beton itu sendiri dikarenakan oleh beberapa faktor antara lain segi material, pengerjaan tulangannya, pengecoran dan biaya, beton relatif mudah dan murah. Akan tetapi struktur beton yang sering kita jumpai sekarang ini banyak yang mengalami kerusakan. Kerusakan struktur tersebut dapat disebabkan oleh kualitas bahan yang tidak memenuhi spesifikasi, pembebanan yang berlebih, kriteria perencanaannya yang tidak sesuai dengan standar, ataupun disebabkan oleh bencana alam seperti gempa.

Maka untuk mengurangi resiko-resiko yang akan terjadi dibutuhkan adanya langkah nyata untuk memunculkan inovasi baru dalam perencanaan struktur bangunan yang lebih berkualitas lagi. Sehubungan dengan itu, dilakukanlah perbaikan struktur untuk meningkatkan kemampuannya dalam memikul beban-beban dan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai dengan beban rencana.

Perkuatan struktur bertujuan untuk penambahan faktor keamanan akibat perubahan fungsi atau peningkatan beban rencana akibat perubahan tata cara perencanaan.

Saat ini telah berkembang cara meningkatkan infrastruktur salah satunya dengan penggunaan serat FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) sebagai bahan komposit. Pemilihan material ini dikarenakan FRP merupakan tulangan yang tidak berkarat, ringan dan memiliki kekuatan yang tinggi. Pada umumnya ada tiga macam serat (*fiber*) yang dikenal yaitu GFRP (*glass fiber reinforced polymer*) atau serat gelas, AFRP (*aramid fiber reinforced polymer*) dan CFRP (*carbon fiber reinforced polymer*) atau serat karbon. Namun penelitian kali ini hanya difokuskan pada penggunaan CFRP dan GFRP terhadap perlakuan lentur balok beton bertulang.

CFRP maupun GFRP merupakan material yang keduanya sama-sama memiliki kelemahan dan kelebihan tersendiri. CFRP (*carbon fiber reinforced polymer*) merupakan sejenis plat baja tipis yang didalamnya terdapat serat-serat karbon dan fiber. CFRP digunakan pada konstruksi struktur bangunan yang sudah ada. Sedangkan GFRP (*glass fiber reinforced polymer*) merupakan serat yang paling banyak dipakai saat ini karena harganya yang relatif murah dan mudah didapatkan di pasaran. Kuat tarik fiber gelas yang kuat membuat GFRP dapat dimanfaatkan sebagai tulangan yang menerima gaya tarik pada elemen strukturnya. GFRP dapat dibuat dalam bentuk batangan atau plat. Pada umumnya persamaan antara CFRP dan GFRP adalah keduanya merupakan material yang tahan terhadap korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi,

superior dalam daktilitas, beratnya ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk membawanya ke lokasi konstruksi, dan juga tidak mengganggu aktifitas yang ada pada daerah perbaikan struktur.

Akan tetapi CFRP tergolong lebih mahal jika dibandingkan dengan GFRP. Oleh sebab itu, pada penelitian ini untuk mempertimbangkan keekonomisan dari perencanaan struktur pada beton bertulang, penggunaan CFRP akan lebih sedikit daripada GFRP. Sehingga perpaduan antara CFRP dan GFRP ini pada balok beton bertulang akan saling bekerja sama dalam meneliti perilaku lentur balok tersebut.

Dari uraian di atas, maka saya berinisiatif untuk melakukan penelitian tentang bagaimana perilaku lentur balok beton bertulang akibat pelapisan serat (*fiber*) yaitu memadukan CFRP (*carbon fiber reinforced polymer*) dengan GFRP (*glass fiber reinforced polymer*). Adapun judul penelitian dalam penyusunan Tugas Akhir ini yaitu **“PENGARUH LAPISAN *HYBRID* SERAT KARBON DAN SERAT GELAS PADA KAPASITAS LENTUR BALOK BETON BERTULANG”**.

1.1 Rumusan Masalah

Yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan kapasitas beban dan lendutan beton bertulang normal dan beton yang dilapisi dengan perpaduan antara serat karbon dan serat gelas ?

2. Bagaimana perbandingan pola retak yang terjadi pada beton normal dan beton yang diperkuat oleh serat gelas dan serat karbon?

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh serat karbon dan serat gelas sebagai bahan penguat balok beton bertulang yang telah dibebani hingga tulangan meleleh.
2. Mengetahui perbandingan perilaku lentur balok beton bertulang normal dan balok beton dengan lapisan serat karbon dan serat gelas.

1.3 Batasan Masalah

Dalam mencapai maksud dan tujuan penelitian di atas, maka ruang lingkup penelitian dibatasi sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini dimensi sampel uji yang dibuat adalah 270cm x 15cm x 20cm.
2. Menggunakan bahan beton normal dengan mutu $f'c = 25$ Mpa.
3. Jenis tulangan yang digunakan adalah tulangan ganda yang terdiri atas tulangan memanjang untuk serat tekan $\emptyset 10$, tulangan untuk serat tarik $\emptyset 6$, dan tulang geser $\emptyset 6$.
4. Balok yang akan dilapisi serat karbon maupun serat gelas telah dibebani hingga tulangan meleleh.
5. Tidak membahas pengaruh lapisan *hybrid* serat karbon dan serat gelas terhadap geser.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah membagi kerangka penulisan ke dalam bab dan sub bab, dengan maksud agar masalah yang dikemukakan akan menjadi lebih jelas dan mudah untuk dipahami.

Berikut ini adalah gambaran singkat mengenai bab yang akan dibahas dalam tulisan ini :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan penjelasan mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini merupakan penjelasan mengenai teori dasar beserta rumus-rumus yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan penentuan dimensi balok, rancang campur beton, langkah penelitian, jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian dan variable penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pemaparan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengujian bahan, pengujian balok, perbandingan antara hasil desain dan hasil pengujian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bab penutup, berupa kesimpulan singkat mengenai analisa hasil yang diperoleh saat penelitian dengan saran-saran yang diusulkan berdasarkan hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton Bertulang

2.1.1 Pengertian

Beton bertulang terdiri dari partikel-partikel agregat yang dilekatkan oleh pasta yang terbuat dari semen portland dan air. Pasta itu mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel agregat dan setelah beton segar dicorkan, material ini mengeras sebagai akibat dari reaksi-reaksi kimia eksotermis antara semen dan air membentuk suatu bahan struktur yang padat dan tahan lama. Material ini telah banyak dan lazim digunakan di Indonesia.

Selain semen, beton juga terbentuk akibat adanya agregat dari campuran agregat halus dan kasar. Biasanya pasir untuk agregat halus dan kerikil atau batu pecah untuk agregat kasar. Agregat ringan yang terbuat dari serpih, batu tulis atau tanah liat menjadi bertambah penting. Agregat-agregat lain, seperti terak (slag) juga digunakan. Ukuran (dan juga gradasi) agregat mempunyai pengaruh yang penting terhadap jumlah semen dan air yang diperlukan untuk membuat satu satuan beton dari suatu konsistensi tertentu. Banyaknya air relatif terhadap banyaknya semen merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan kekuatan beton.

Beton harus mempunyai sifat dapat dikerjakan yang memadai untuk menjamin konsolidasinya di dalam acuan (bekisting) tanpa ruang-ruang kosong yang berlebihan. Sifat ini biasanya secara tidak langsung diukur di lokasi

pekerjaan dengan pengujian slump. Slump yang diperlukan mungkin kecil apabila digunakan alat-alat penggetar (*vibrators*) untuk mengkonsolidasikan beton.

Perawatan pengerasan (*curing*) yang tepat dari beton menghendaki agar air dalam adukan tidak diperbolehkan menguap dari beton sampai beton telah mencapai kekuatan yang diinginkan. Beton yang kering-udara dapat mencapai kekuatannya apabila dibasahi kemudian. Temperature juga merupakan salah satu faktor yang penting terhadap kecepatan dimana beton mencapai kekuatannya, temperatur-temperatur yang rendah dapat memperlambat proses tetapi meningkatkan kekuatan potensial apabila temperatur normal dikembalikan. Temperatur-temperatur awal yang tinggi menghasilkan pengikatan yang cepat dan kehilangan permanen yang lama dari kekuatan potensial.

2.1.2 Prinsip Dasar Beton Bertulang

Beton merupakan material yang kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Beton itu akan retak ketika mendapatkan tegangan tarik yang melebihi kekuatan tariknya. Sehingga untuk menahan gaya tarik, beton dikombinasikan dengan tulangan baja yang akan memberikan kelebihan dalam menahan adanya tegangan tarik. Dengan menanamkan tulangan baja pada beton seperlunya diperoleh beton bertulang dengan baja pemikul tarik sedangkan beton untuk pemikul tekan.

2.1.3 Metode Perencanaan Beton Bertulang

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 10 ayat 1, perencanaan elemen struktur beton bertulang dapat dilakukan dengan salah satu dari dua metode sebagai berikut :

1. Metode Beban Kerja

Dengan metode beban kerja, elemen struktur beton bertulang direncanakan kuat memikul beban-beban yang bekerja pada elemen , dimana pengertian kuat disini, ditandai dengan lebih kecil atau sama dengannya tegangan yang terjadi pada elemen akibat beban kerja tersebut dibandingkan dengan tegangan yang diizinkan, dimana tegangan izin adalah tegangan batas/ultimit material yang sudah dibagi dengan suatu faktor keamanan.

$$\sigma \leq \bar{\sigma} \quad (2.1)$$

2. Metode Kekuatan Batas/Ultimit

Dengan menggunakan metode kekuatan batas elemen struktur direncanakan harus kuat memikul beban terfaktor. Beban terfaktor adalah kombinasi beban-beban yang bekerja dimana masing-masing beban sudah dikalikan dengan suatu faktor keamanan tertentu. Tegangan-tegangan yang terjadi pada elemen tidak boleh melebihi tegangan batas/ultimit dari material. Atau dapat dikatakan secara umum :

$$\text{Kuat Perlu} \leq \text{Kuat Rencana}$$

Metode yang pertama (metode tegangan kerja) merupakan metode lama dalam merencanakan elemen struktur beton bertulang. SNI 03-2847-2002

lebih menyarankan untuk menggunakan metode kedua (metode kekuatan batas), karena lebih realistis.

2.1.4 Balok Beton Bertulang Normal

Balok beton bertulang akan mengalami lentur ketika beban bekerja, Lentur ini sebagai akibat dari regangan deformasi yang disebabkan oleh beban eksternal. Pada saat beban ditingkatkan, balok tersebut akan menahan regangan dan defleksi tambahan, sehingga terjadi retak lentur di sepanjang bentang balok. Penambahan yang terus menerus terhadap tingkat beban maka akan mengakibatkan kegagalan elemen struktural ketika beban eksternal mencapai kapasitas elemen tersebut.

Kegagalan pada balok beton bertulang pada dasarnya dipengaruhi oleh melelehnya tulangan baja dan hancurnya beton bertulang. Ada 3 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 : $\epsilon_c = 0.003$ dan $\epsilon_s = \frac{fy}{Es}$

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

b. Kondisi *Over-Reinforced*

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 $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

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 $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

Dalam perencanaan elemen struktur, suatu elemen struktur harus direncanakan berada pada kondisi under-reinforced.

2.1.5 Perencanaan Batas

Ada beberapa kondisi yang dapat dijadikan batasan pada perencanaan elemen beton bertulang :

1. Kondisi Batas Ultimit, yang dapat disebabkan oleh :
 - Hilangnya keseimbangan global atau lokal
 - *Rupture* : hilangnya ketahanan lentur dan geser elemen-elemen struktur
 - Keruntuhan *progressive* akibat adanya keruntuhan lokal pada daerah sekitarnya.
 - Pembentukan sendi plastis
 - Keidakstabilan struktur
 - *Fatigue*
2. Kondisi Batas Kemampuan Layan, yakni menyangkut berkurangnya fungsi struktur, antara lain :
 - Defleksi yang berlebihan pada kondisi layan
 - Lebar retak yang berlebih

- Vibrasi yang mengganggu
3. Kondisi Batas Khusus, yaitu menyangkut kerusakan/keruntuhan akibat beban abnormal, antara lain :
- Keruntuhan pada kondisi gempa ekstrim
 - Kebakaran, ledakan atau tabrakan kendaraan
 - Korosi atau jenis keruntuhan lainnya akibat keruntuhan

Perencanaan yang memperhatikan kondisi-kondisi batas di atas disebut perencanaan batas. Konsep perencanaan batas ini digunakan sebagai prinsip dasar peraturan beton Indonesia (SNI 03-2847-2002).

2.2 Karakteristik beton

2.2.1 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan beton tergantung pada tipe campuran, waktu dan kualitas perawatan. Kekuatan tekan diperoleh berdasarkan hasil uji tekan laboratorium terhadap benda uji baik silinder ataupun kubus pada saat umur beton 28 hari. Mengenai frekuensi pengetesan dianggap memuaskan jika : (1) rata-rata semua set dari tiga tes kekuatan yang berurutan sama atau melebihi kuat tekan yang disyaratkan. (2) tidak ada tes kekuatan individual (rata-rata dua silinder yang jatuh dibawah kuat tekan yang disyaratkan). Pada dasarnya kuat tekan desain seharusnya bukanlah kekuatan silinder rata-rata. Harga desain haruslah dipilih sebagai kekuatan silinder minimum yang mungkin.

2.2.2 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik beton relatif rendah. Suatu pendekatan yang baik terhadap kekuatan tarik beton f_{ct} adalah $0,10 f'_c < f_{ct} < 0,20 f'_c$. Karena kontribusi yang

diberikan oleh kekutan tarik beton relative rendah maka dalam perencanaan kekutan tarik beton bisa diabaikan. Metode yang sering digunakan untuk memperoleh kekuatan tekan adalah tes pembelahan tarik.

Untuk anggota-anggota elemen struktur yang dikenai lentur, harga modulus hancur (*modulus of rupture*) f_r dipergunakan dalam desain lebih tinggi dari pada kekuatan pembelahan tarik. ACI mensyaratkan suatu harga sebesar $7,5\sqrt{f'_c}$ untuk modulus hancur beton kekuatan-normal bobot-normal.

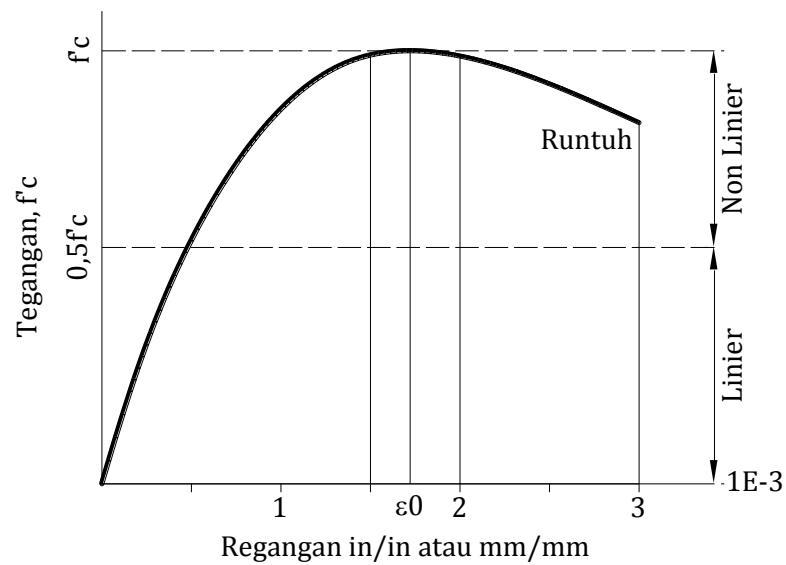
2.2.3 Kekuatan Geser

Kekuatan geser lebih sulit untuk ditentukan secara ekperimental dari pada tes-tes yang didiskusikan terdahulu karena adanya kesulitan didalam memisahkan geser dari tegangan-tegangan lainnya. Hal ini merupakan salah satu penyebab dari variasi yang besar pada harga-harga kekuatan geser yang dilaporkan dalam pustaka, yang bervariasi mulai 20% dari kekuatan tekan untuk pembebanan normal sampai suatu persentase yang jauh lebih tinggi mencapai 85% dari kekuatan tekan pada keadaan dimana geser langsung terjadi dalam kombinasi dengan tekan.

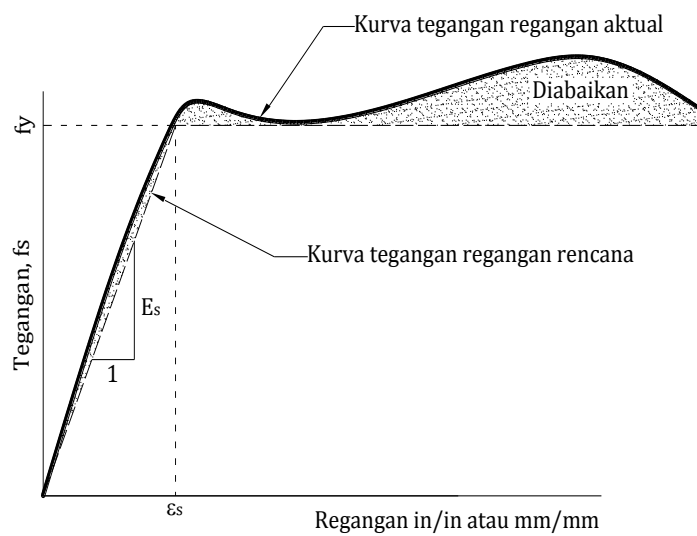
2.2.4 Kurva Tegangan-Regangan

Kurva tegangan-regangan menunjukkan suatu kurva tegangan-regangan tipikal yang diperoleh dari hasil penelitian menggunakan spesimen beton silinder yang dibebani tekan unaksial sehingga beton itu hancur. Perilaku tegangan-regangan masih bersifat linier pada saat tegang pada nilai $0,5 f'_c$ dan berubah menjadi nonlinier jika tegangan lebih besar dari $0,5 f'_c$. tegangan maksimum (f'_c) terjadi pada regangan antara 0,0015 dan 0,002. Regangan pada tegangan puncak

disebut $\epsilon_0 = 2,4 \times 10^{-4} \sqrt{f'_c}$. Regangan pada batas/ultimit beton berkisar antara 0,003 hingga 0,008 namun dalam praktek antara 0,003 hingga 0,004. ACI menetapkan *lower bound* (batas aman) regangan maksimum serat desak beton sebesar $\epsilon_{cu} = 0.003$ (begitu pula dengan SNI 03-2847-2002). Sementara untuk BS 8110 sebesar $\epsilon_{cu} = 0.0035$.



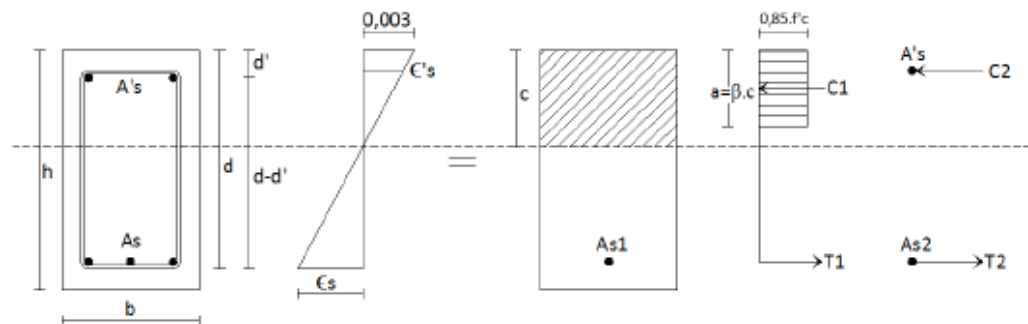
Gambar 2.1 Kurva Tegangan-Regangan Beton



Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan Baja

Kurva tegangan regangan baja akibat beban tarik ditunjukkan seperti pada gambar di atas dimana nilai modulus elastisitas baja adalah bernilai $E_s = 200.000$ Mpa. F_y adalah nilai tegangan yang diberikan ke baja yang mengakibatkan melelehnya baja. Jika tegangan baja $f_s < f_y$, maka $f_s = E_s * \epsilon_s$, namun jika tegangan baja tulan $\epsilon_s > f_y/E_s$, maka $f_s = f_y$.

2.3 Desain dan Analisis Lentur Balok Beton Bertulang Rangkap



Gambar 2.3 Balok dengan Tulangan pada Daerah Tekan dan Tarik
(Edward G. Nawy, 1990)

Dikatakan beton bertulang rangkap karena pada struktur beton terjadi dua macam tegangan yaitu tegangan tekan dan tarik. Maka pada beton tersebut diperlukan adanya tulangan atas dan tulangan bawah. Ini disebabkan karena gaya gempa yang arahnya bolak-balik juga diperhitungkan.

Beban-beban yang bekerja pada beton, akan mengakibatkan struktur akan mengalami lentur dan deformasi sebagai akibat regangan yang terjadi karena adanya beban luar yang bekerja. Di sepanjang balok akan terjadi retak lentur ketika beban bertambah. Dengan semakin bertambahnya beban, maka balok

tersebut akan mengalami keruntuhan balok yaitu pada saat beban luarnya sudah mencapai kapasitas lentur balok.

Jika suatu balok terbuat dari material yang elastis linier, isotropis, dan homogen, maka tegangan lentur maksimumnya dapat diperoleh dengan rumus:

$$f = \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.2)$$

Dimana f adalah tegangan maksimum, M adalah momen maksimum, c adalah tinggi sumbu netral pada saat beban maksimum, dan I adalah momen inersia penampang balok.

Pada keadaan beban batas, balok beton bertulang bukanlah material yang homogen dan juga tidak elastis, rumus lentur balok tersebut tidak dapat digunakan untuk menghitung tegangannya. Akan tetapi prinsip-prinsip dasar tentang teori lentur masih dapat digunakan pada analisis melintang balok beton bertulang. Asumsi-asumsi umum yang digunakan dalam memperkirakan perilaku penampang adalah sebagai berikut :

1. Distribusi tegangan dianggap linier. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernouilli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton disekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.

Agar keseimbangan gaya horisontal terpenuhi, gaya tekan C pada beton dan tulangan desak dan gaya tarik dari tulangan tarik dan beton sebelum retak harus saling mengimbangi, jadi harus

$$\Sigma C = \Sigma T \quad (2.3)$$

Ada dua hal yang harus dikontrol pada analisis beton bertulang rangkap yaitu kontrol keserasian regangan dan kontrol keseimbangan gaya-gaya internal yang bekerja dalam penampang. Setelah keduanya terkontrol barulah momen internal penampang dapat ditentukan. Selanjutnya analisis penampang didasarkan pada tahapan perubahan perilaku dari elemen penyusun penampang dalam memprediksi perilaku balok dalam melawan beban luar. Adapun tahapan perilaku itu sendiri adalah sebagai berikut :

1. Tahapan pertama adalah tahapan dimana beton pada sisi tarik belum mengalami retak. Pada tahapan ini akan diperoleh beban atau momen yang menyebabkan retaknya beton pada sisi tarik..
2. Tahapan kedua adalah tahapan dimana beton tarik telah retak dan tulangan tarik telah mencapai leleh dan menjelang plastis. Namun tahapan ini bisa menjadi tahapan ketiga akibat beton desak lebih dahulu mengalami leleh. Hal ini sangat tergantung pada mutu beton dan mutu baja tulangan yang menyusun penampang serta luas penampang keduanya.
3. Tahapan ketiga adalah tahapan dimana beton tarik telah retak dan beton pada sisi tekan menjelang leleh.
4. Tahapan keempat adalah tahapan dimana tulangan tarik telah plastis dan beton pada sisi desak telah plastis dan beton pada sisi desak mencapai ultimit.

5. Tahapan kelima adalah tahapan dimana tulangan desak berubah menjadi tulangan tarik. Namun tahapan ini dapat menjadi tahapan keempat tergantung pada mutu beton dan baja tulangannya serta luas masing-masing.
6. Tahapan keenam adalah tahapan dimana beton pada sisi desak runtuh. Pada tahapan ini akan diperoleh beban runtuh.

2.4 Fiber Reinforced Polymer (FRP)

FRP merupakan suatu material komposit yang digunakan dalam konstruksi sipil. Bahan ini menggabungkan polimer resin, *filler*, dan *fiber*. Resin yang digunakan adalah *polyester*, *vinylester* atau *epoxy*, dan *filler* yang digunakan adalah *kaolin clay*, *calcium carbonate*, dan *alumina*. Sedangkan *fiber* terdiri dari beberapa jenis *glass*, *carbon* dan *aramide*.

Material komposit punya beberapa kelebihan seperti berkekuatan tinggi, ringan dan punya daya tahan yang tinggi (BRE and Trennd:2000). Selain itu FRP juga bahan non korosi, netral terhadap gaya magnet jika dibandingkan terhadap baja, FRP punya kuat tarik lebih besar, modulus elastisitas kecil dan hubungan tegangan-regangan elstatis.

FRP untuk jenis *grid* digunakan untuk perkuatan pelat. Pengembangan penggunaan FRP pada rekayasa sipil terdiri dari dua bagian, yang pertama untuk rehabilitasi dan perbaikan struktur dan kedua untuk pembuatan konstruksi baru yang sepenuhnya menggunakan FRP maupun komposit dengan beton. Menurut BRE dan Trennd 2000 Itd terdapat beberapa keuntungan menggunakan FRP sebagai bahan perkuatan struktur :

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

Sedangkan menurut Carin L. Robert and Wallman keuntungan FRP sebagai tulangan yaitu :

1. Tulangan FRP tidak berkarat
2. Tulangan FRP sangat ringan
3. Tulangan FRP memiliki kekuatan yang tinggi.

Keuntungan pemakaian FRP menurut Hartono dan Santosa, 2003 antara lain :

1. Kuat tarik yang tinggi ($\pm 7 - 10$ kali lebih tinggi U39)
2. Sangat ringan (density : $1,4 - 2,4 \text{ gr/cm}^3$, 4 – 6 kali lebih ringan dari baja)
3. Pelaksanaan sangat mudah dan cepat
4. Memungkinkan tidak perlu penutupan lalu lintas
5. Tidak perlu area kerja yang luas
6. Tidak diperlukan join meskipun batang yang diperekat cukup panjang
7. Tidak berkarat

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. Namun pada penelitian ini hanya dikhususkan pada pembahasan mengenai GFRP dan CFRP.

2.4.1 *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP)

CFRP merupakan salah satu jenis *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) yang terbuat dari karbon. CFRP merupakan sejenis plat baja tipis yang mengandung serat-serat karbon dan *fiber*. Pemakaian CFRP biasanya disebabkan oleh :

1. Terjadinya kesalahan dalam perencanaan
2. Adanya kerusakan-kerusakan di bagian struktur sehingga dikhawatirkan tidak lagi berfungsi dengan yang diharapkan.
3. Adanya perubahan fungsi pada system struktur dan adanya penambahan beban yang melebihi beban rencana.



Gambar 2.4 CFRP

Kelebihan dari material ini adalah lebih baik dibandingkan GFRP maupun AFRP dilihat dari kekuatan dan elastisitasnya yang jauh lebih bagus. Yaitu mempunyai kuat tarik yang lebih tinggi dari kuat tarik baja tulangan sebesar 2800 Mpa, mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dimana modulus elastisitasnya (E) sebesar 165.000 Mpa, tidak mengalami korosi karena terbuat dari bahan non logam, mempunyai penampang yang kecil dan sangat ringan dengan berat 1,5 g/cm³ serta mudah dalam pemasangannya. Adapun kekurangannya adalah CFRP masih tergolong sangat mahal.

Interaksi antara beton dan CFRP dapat dibentuk oleh material perekat yang memberikan ikatan antara kedua bahan tersebut melalui aksi adhesi. Penggunaan material perekat pada struktur beton yang ditulangi CFRP akan memberikan dampak positif pada struktur karena penempatan CFRP pada penampang beton tidak perlu menanamkan dalam beton, mengingat bahan tersebut tahan korosi karena terbuat dari bahan non logam. Jadi bahan komposit CFRP tidak dibutuhkan adanya cover, sehingga diharapkan jarak dapat dioptimalkan sehingga dapat menghasilkan kapasitas momen lentur yang maksimal pula.

Tabel 2.1 Karakteristik CFRP

Properties	CFRP
Kuat tarik	2800 MPa
Modulus-E	165.000 MPa
ϵ_{cu}	>1,7%

Tebal / Lebar	0,8 mm / 50 mm
Berat isi	1,5 g/cm ³

2.4.2 *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. GFRP dapat dijumpai di pasaran dengan harga yang murah dan paling banyak dalam bentuk lembaran, dimana keuntungan untuk tipe lembaran ini adalah kemudahan dalam aplikasi yaitu mudah ditempel pada permukaan beton dengan menggunakan bahan perekat, memiliki kekuatan tarik yang tinggi, ketahanan yang tinggi terhadap kimia, memiliki sifat isolasi yang baik. Adapun kekurangannya dari material ini adalah berat jenisnya yang tinggi, memiliki sifat kekerasan yang tinggi, dan ketahanan kelelahan yang relatif rendah.



Gambar 2.5 GFRP

Sebagai penguatan eksternal, GFRP lembaran digunakan untuk :

- a. Perbaikan balok dan slab beton yang rusak, dengan asumsi bahwa *debonding* antara FRP dan beton tidak menyebabkan kegagalan elemen struktur

- b. Mengatasi pertambahan lebar retakan akibat beban layanan
- c. Meningkatkan kekuatan lentur akibat peningkatan beban seperti beban gempa dan beban lalu lintas
- d. Merencanakan beton baru yang memiliki daktilitas tinggi
- e. Perbaiki struktur akibat kesalahan desain atau konstruksi
- f. Meningkatkan kemampuan geser beton
- g. Meningkatkan kemampuan pengekangan kolom beton
- h. Perbaiki struktur lama dan bersejarah.

Beberapa jenis serat kaca yang tersedia di pasaran adalah :

- (a) *E-Glass*, yang memiliki kandungan alkali yang lebih rendah dan merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Keuntungannya memiliki sifat mekanis yang tinggi
- (b) *Z-Glass*, digunakan untuk mortar semen dan beton karena memiliki resistensi yang tinggi terhadap serangan alkali
- (c) *A-Glass*, yang memiliki kandungan alkali tinggi
- (d) *C-Glass*, yang digunakan untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan korosi yang besar untuk asam, seperti aplikasi kimia.
- (e) *S atau R-Glass*, yang diproduksi untuk ekstra kekuatan tinggi dan modulus yang tinggi.

Tabel 2.2Karakteristik material GFRP

KEADAAN LEPAS		KEADAAN KOMPOSIT		
SIFAT MATERIAL	NILAI TEST	SIFAT MATERIAL	NILAI TEST	
			TEST	DESAIN
Tegangan Tarik	3.24 GPa	Tegangan Ultimit	575 MPa	460 MPa
Modulus Tarik	72.4 GPa	Regangan	0.022	0.022
Regangan Maks.	0.045	Modulus Tarik	26.1 GPa	20.9 GPa
Kerapatan	2.55 g/cm ³	Teg. Tarik ultimit	25.8 GPa	20.7 GPa
Tebal Fiber	0.366 mm	Tebal komposit	1.3 mm	1.3 mm

Sumber : *Fyfo.Co LLC*

2.5 Epoxy Resin

Resin epoxy adalah larutan yang digunakan untuk merekatkan serat *fiber* pada beton atau objek yang ingin diperkuat. Campuran *resin epoxy* terdiri dari bahan padat dan cair yang saling larut. Campuran dengan *resin epoxy* yang lain dapat digunakan untuk mencapai kinerja tertentu dengan sifat yang diinginkan.

Resin epoxy yang paling banyak digunakan adalah Bisphenol A Eter Diglisidil.

Resin epoxy dikeringkan dengan menambahkan anhidrida atau pengeras amina. Setiap pengeras menghasilkan profil larutan yang berbeda dan sifat yang diinginkan untuk produk jadinya. Kecepatan pengeringan dapat dikendalikan melalui seleksi yang tepat dari pengeras atau katalis untuk memenuhi persyaratan proses.

Beberapa keuntungan *resin epoxy* sebagai berikut :

- a. Berbagai sifat mekanis memungkinkan pilihan yang lebih banyak

- b. Tidak ada penguapan selama proses pengeringan
- c. Rendahnya penyusutan selama proses pengeringan
- d. Ketahanan yang baik terhadap bahan kimia
- e. Memiliki sifat adhesi yang baik terhadap berbagai macam pengisi, serat dan substrat lainnya

Kelemahan *resin epoxy* adalah biaya yang relatif mahal dan proses pengeringan yang relatif lama.

Tabel 2.3Karateristik Material Resin Epoxy

SIFAT MATERIAL EPOXI		
Waktu pengeringan : 72 Jam (Suhu ruang :60°C)		
SIFAT MATERIAL	METODE ASTM	NILAI TEST
Kekuatan Tarik	ASTM D-638	72.4 Mpa
Modulus Tarik		3.18 Gpa
Persen Regangan	ASTM D-638	5%
Kekuatan Lentur	ASTM D-790	123.4 Mpa
Modulus Lentur	ASTM D-790	3.12 Gpa

Sumber : *Fyfo.Co LLC*

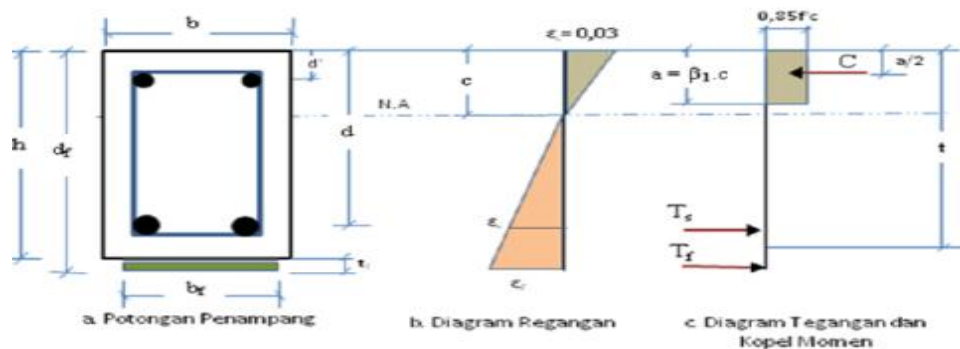
2.6 Mode Kegagalan

Beberapa mode kegagalan yang sering terjadi pada balok yang diperkuat dengan FRP yaitu :

- a. Rusaknya FRP setelah tulangan tarik meleleh
- b. Hancurnya beton sekunder setelah tulangan tarik meleleh
- c. Inti beton rusak karena tekanan sebelum tulangan tarik meleleh
- d. Lepasnya ikatan antara FRP dan beton (debonding)

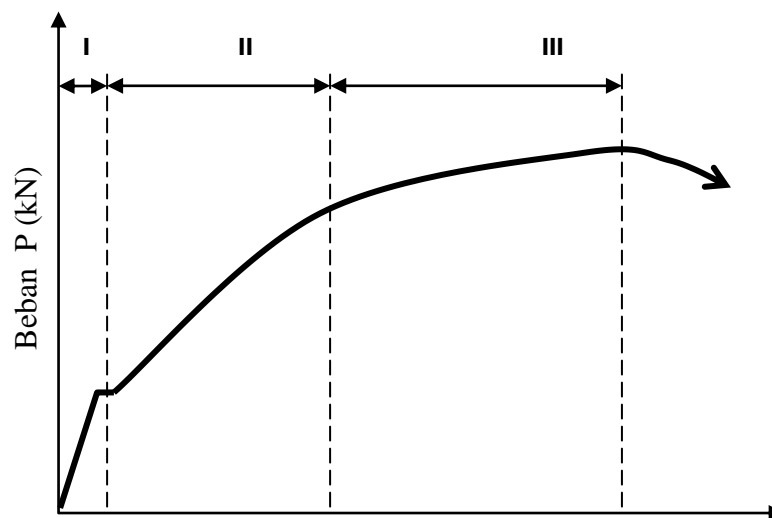
2.7 Kapasitas Balok Beton Bertulang dengan FRP (ACI 440-2R-08)

Untuk perkutan lentur dengan FRP, perhitungan desain mengacu pada ACI committee 440.



Gambar 2.6 Regangan Untuk Metode ACI 440-2R-08

2.8 Analisa Lendutan pada Balok



Gambar 2.7 Hubungan Beban-Defleksi pada Balok (E.G.Nawy : 1990)

Hubungan beban-defleksi balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi bentuk trilinear sebelum terjadi ruptur seperti pada diagram

Daerah I :Taraf praretak, dimana batang-batangnya strukturalnya bebas retak. Segmen praretak dari kurva beban - defleksi berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok lebih kecil dari kekuatan tariknya akibat lentur atau lebih kecil dari modulus rupture (f_r) beton. Kekakuan lentur EI balok dapat diestimasi dengan menggunakan modulus Young E_c dari beton, dan momen inersia penampang balok tak retak.

Daerah II :Taraf beban pascaretak, dimana batang-batang struktural mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik distribusinya maupun lebarnya. Balok pada tumpuan sederhana retak akan terjadi semakin lebar pada daerah lapangan, sedangkan pada tumpuan hanya terjadi retak minor yang tidak lebar. Apabila sudah terjadi retak lentur maka kontribusi kekuatan tarik beton sudah dapat dikatakan tidak ada lagi. Ini berarti pula kekakuan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban –defleksi di daerah ini akan semakin landai dibanding pada taraf praretak. Momen Inersia retak disebut I_{cr} .

Daerah III :Taraf retak *pasca-serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya. Diagram beban defleksi daerah III jauh lebih datar dibanding daerah sebelumnya. Ini diakibatkan oleh hilangnya kekuatan penampang karena retak yang cukup banyak dan lebar sepanjang bentang. Jika beban terus ditambah, maka regangan es pada tulangan sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya ϵ_y tanpa adanya tegangan tambahan. Balok yang tulangan tariknya telah leleh dikatakan telah runtuh secara struktural. Balok ini akan terus mengalami defleksi tanpa adanya

penambahan beban dan retaknya semakin terbuka sehingga garis netral terus mendekati tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan skunder yang mengakibatkan kehancuran total pada beton daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya rupture

Lendutan pada komponen struktur merupakan fungsi dari panjang bentang, perletakan dan kondisi ujung bentang, jenis beban, baik beban terpusat ataupun beban merata dan kekakuan lentur komponen.

2.9 Retak pada Balok

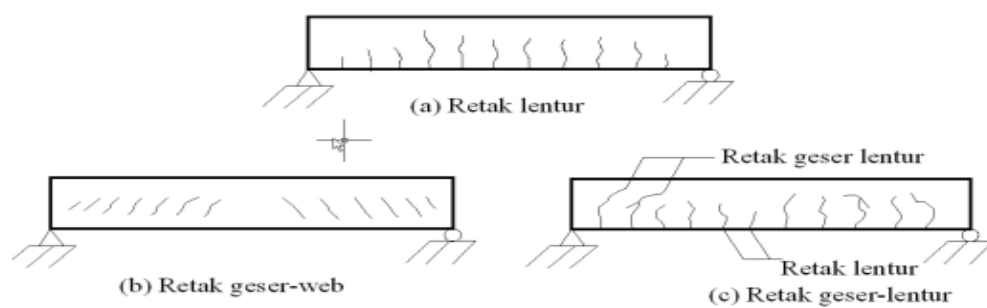
Retak terjadi pada umumnya menunjukkan bahwa lebar celah retak sebanding dengan besarnya tegangan yang terjadi pada batang tulangan baja tarik dan beton pada ketebalan tertentu yang menyelimuti batang baja tersebut. Meskipun retak tidak dapat dicegah, namun ukurannya dapat dibatasi dengan cara menyebar atau mendistribusikan tulangan.

Apabila struktur dibebani dengan suatu beban yang menimbulkan momen lentur masih lebih kecil dari momen retak maka tegangan yang timbul masih lebih kecil dari *modulus of rupture* beton $f_r = 0,70 \sqrt{f'_c}$ ($7,5 \sqrt{f'_c}$ psi). Apabila beban ditambah sehingga tegangan tarik mencapai f_r , maka retak kecil akan terjadi. Apabila tegangan tarik sudah lebih besar dari f_r , maka penampang akan retak.

Pada dasarnya ada tiga jenis keretakan pada balok :

1. Retak lentur (*flexural crack*), terjadi di daerah yang mempunyai harga momen lentur lebih besar dan gaya geser kecil. Arah retak terjadi hampir tegak lurus pada sumbu balok (gambar 2.8a)

2. Retak geser pada bagian balok (*web shear crack*), yaitu keretakan miring yang terjadi pada daerah garis netral penampang dimana gaya geser maksimum dan tegangan aksial sangat kecil (gambar 2.8b)
3. Retak geser (*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 (gambar 2.8c).



Gambar 2.8 Jenis Retakan pada Beton