

**STUDI EKSPERIMENTAL PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG  
DENGAN MENKOMBINASIKAN PENGGUNAAN BAHAN  
TAMBAHAN *WIREMESH* DAN *GFRP* PADA BETON MUTU NORMAL**

**(Skripsi)**

**Oleh :**

**DEDI VERNANDA**



**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2019**

## ABSTRAK

### STUDI EKSPERIMENTAL PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN MENKOMBINASIKAN PENGGUNAAN BAHAN TAMBAHAN *WIREMESH* DAN GFRP PADA BETON MUTU NORMAL

Oleh:

**DEDI VERNANDA**

Balok beton bertulang adalah elemen struktur yang dapat mengalami kerusakan dan kegagalan akibat momen lentur. Kerusakan pada elemen ini dapat diperbaiki dengan perkuatan yang salah satunya adalah menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP).

Penelitian ini membahas perkuatan elemen balok dengan menggunakan perkuatan hybrid yaitu gabungan antara FRP dan *wiremesh* yang diikat dengan lem epoxy resin. Balok mempunyai bentang diantara dua tumpuan sederhana 1,5 m, lebar dan tinggi 15 cm. Balok diuji dengan dua beban titik secara bertahap dari nol sampai dengan runtuh. Balok yang diuji ada 6 buah, 2 buah balok tanpa perkuatan, 4 buah balok dengan perkuatan 2 lapis GFRP dan 2 lapis *wiremesh*, dimana *wiremesh* diletakkan di tengah antara lapisan GFRP dan diberi kode (GWWG), balok selanjutnya dengan perkuatan 2 lapis GFRP dan 2 lapis *wiremesh* yang diletakkan paling bawah dan diberi kode (GGWW).

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa balok dengan perkuatan mampu meningkatkan kapasitas beban sampai dengan 200% dibandingkan balok tanpa perkuatan. Untuk batas beban aman sebelum terjadinya kegagalan pada balok terletak pada beban 75% dari beban desain. Beban retak awal ( $P_{cr}$ ) balok dengan perkuatan juga meningkat 100% dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan. Namun, balok tanpa perkuatan lebih daktail dibandingkan dengan balok dengan perkuatan.

Kata kunci: Balok, Beton, GFRP, Perkuatan, *Wiremesh*

## **ABSTRACT**

### **EXPERIMENTAL STUDY OF CONCRETE BEAMS WITH COMBINATION OF ADDITIONAL MATERIALS WIREMESH AND GFRP IN NORMAL QUALITY CONCRETE**

**By:**

**DEDI VERNANDA**

Reinforced concrete beams are structural elements that can experience damage and failure due to bending moments. The damage on this element can be repaired through reinforcement, one of which is using Fiber Reinforced Polymer (FRP).

This study discusses the reinforcement of beam elements using hybrid reinforcement, which is a combination of FRP and wire mesh which are bonded by using epoxy resin glue. The beam has a span between two simple support of 1.5 m width and 15 cm height. The Beams are tested with two point loads gradually, started from zero to collapse. There were 6 pieces of beams tested, 2 beams without reinforcement, 4 beams with reinforcement of 2 layers of GFRP and 2 layers of wire mesh, where the wire mesh was placed in the middle between layers of GFRP and was coded (GWWG). And two more beams with 2 layers of GFRP and 2 layers of wire mesh placed at the bottom and was coded (GGWW).

The experimental results show that reinforced beams can increase load capacity up to 200% compared to unreinforced beams. The initial first load ( $P_{cr}$ ) with reinforced beams also increases 100% compared to unreinforced beams. However, beams without reinforcement are more ductile than reinforced beams.

**Keywords:** Beams, Concrete, GFRP, Strengthening, Wiremesh

**STUDI EKSPERIMENTAL PERKUATAN BALOK BETON BERTULANG  
DENGAN MENKOMBINASIKAN PENGGUNAAN BAHAN  
TAMBAHAN *WIREMESH* DAN *GFRP* PADA BETON MUTU NORMAL**

Oleh

**DEDI VERNANDA**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

**SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil**

**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2019**

Judul Skripsi : **STUDI EKSPERIMENTAL PERKUATAN  
BALOK BETON BERTULANG DENGAN  
MENGKOMBINASIKAN PENGGUNAAN  
BAHANTAM BAHAN *WIREMESH* DAN  
*GFRP* PADA BETON MUTU NORMAL**

Nama Mahasiswa : **Dedi Vernanda**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415011040

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

  
**Dr. Eng. Mohd Isneini, S.T., M.T.**  
NIP 19721026 200003 1 001

  
**Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**  
NIP 19720308 199802 1 004

**2. Ketua Jurusan Teknik Sipil**

  
**Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19700915 199503 1 006

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Eng. Mohd Isneini, S.T., M.T.** .....

Sekretaris : **Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.** .....

Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. C. Niken DWSBU, M.T.** .....

### 2. Dekan Fakultas Teknik



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**  
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **7 Februari 2019**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Dedi Vernanda  
NPM : 1415011040  
Prodi/ Jurusan : S1/ Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik Universitas Lampung.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 7 Februari 2019



Dedi Vernanda  
NPM. 1415011040

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di sukoharjo 3, Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Pringsewu Lampung pada tanggal 20 November 1995, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, adik dari Deni Verdianto dan anak kandung dari Orang tua bernama, Ibu Taryanti dan Bapak Rawuh .

Penulis memulai jenjang Pendidikan dari Taman kanak-kanak di TK Aisyah Pandansurat dan diselesaikan pada tahun 2005. Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 1 Sukoharjo 3, Kabupaten Pringsewu pada tahun 2008, Sekolah Menengah Pertama (SMP) diselesaikan di SMP Negeri 1 Sukoharjo 3 pada tahun 2011, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Negeri 1 Pringsewu pada tahun 2014.

Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswi Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai Kepala Divisi departemen Penelitian periode tahun 2016-2017. Penulis juga aktif mengikuti ajang perlombaan yang dilaksanakan oleh universitas se Indonesia salah satunya penulis pernah menjadi juara 3 Tingkat Nasional dalam ajang perlombaan Rancang Bangun Gedung Tingkat Nasional yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil

Universitas Lampung tahun 2016. Pada tahun 2017 pernah mengikuti lomba beton di Universitas Ageng Tirtayasa dan Universitas Udayana, serta pada tahun 2018 penulis juga menjadi finalis lomba beton mutu tinggi yang dilaksanakan oleh PT Semen Padang dan dilaksanakan di Padang Sumatera Barat dan menjadi juara harapan 3 pada ajang tersebut.

Pada tahun 2016 penulis melakukan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera di Kota Baru – Terbanggi Besar selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjung Harapan, Kecamatan Anak Tuha, Kabupaten Lampung Tengah selama 40 hari pada periode I, Januari – Maret 2017. Dalam tugas akhir penulis mengambil konsentrasi struktur dengan tema penelitian perkuatan balok beton bertulang menggunakan GFRP dan *wiremesh*. Selama masa perkuliahan, penulis pernah diangkat menjadi Asisten Dosen Universitas Teknokrat Indonesia mata kuliah Teknologi Bahan pada tahun 2018, Asisten Dosen Institut Teknologi Sumatera untuk mata kuliah Teknologi Bahan pada tahun 2017 dan menjadi Asisten Dosen Universitas Lampung untuk mata kuliah Teknologi Bahan pada tahun 2017 dan 2018, serta menjadi asisten dosen untuk mata kuliah Hidrolika pada tahun 2017 untuk Universitas Lampung.

## **HALAMAN PENGAKUAN**

Pertama-tama saya bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Skripsi ini dapat selesai pada akhirnya. Saya mengekspresikan terima kasih saya kepada pembimbing saya Bapak Fikri Alami dan Bapak Mohd. Isneini yang telah membimbing, memberikan ide penelitian yang sangat menarik dan sekaligus mendukung dalam pembiayaan. Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari penelitian besar yang mereka miliki.

Pada kesempatan ini juga saya menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang besar kepada P.T. Fyfe Fibrwrap Indonesia atas bantuannya dalam memberikan material yang dibutuhkan dalam penelitian ini dan sekaligus kunjungan mereka pada saat pengujian. Semoga kerjasama ini tetap akan berlanjut.

Dan terakhir saya mendedikasikan skripsi ini untuk kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan yang tiada henti-hentinya sehingga saya dapat menyelesaikan studi saya hingga mendapat gelar sarjana.

## **Motto**

“Barang siapa yang bersungguh sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri”  
(Al-Ankabut : 6)

"Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah dilaksanakan " (Ali Bin Abi Thalib)

“Kesuksesan tidak akan bertahan jika dicapai dengan jalan pintas”

“Jangan tunda sampai besok apa yang bisa engkau kerjakan hari ini”

“Hidup adalah pelajaran tentang kerendahan hati”

"Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah." (Lessing)

“Tiada doa yg lebih indah selain doa agar skripsi ini cepat selesai”  
(Dedi Vernanda)

## **Persembahan**

**Alhamdulillah, Puji syukur kepada Allah SWT atas karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Ku persembahkan skripsi ini untuk :**

**Kedua Bapak dan Ibuku, Bapak Rawuh S.Pd. SD dan ibu Taryanti, terima kasih atas kasih sayang dan segala pengorbanan yang luar biasa yang tidak akan pernah bisa Ananda balas. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan Bapak Ibu kesehatan, kebahagiaan di dunia dan akhirat. Untuk Teknik Sipil Unila 2014, terimakasih atas segala dukungan dan kekeluargaan yang terjalin selama ini, semoga silaturahmi kita bisa selalu terjaga.**

**Untuk almamater tercinta Universitas Lampung.**

**Dedi Vernanda**

**Jazakumullah Khairan Katsiran Wa Jazakumullah Ahsanal Jaza**

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul "*Studi Eksperimental Perkuatan Balok Beton Bertulang dengan Mengkombinasikan Penggunaan Bahan Tambahan Wiremesh dan GFRP pada Beton Mutu Normal*" adalah salah satu syarat bagi penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Gatot Eko S, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Mohd Isneini S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, ide-ide dan saran serta kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Fikri Alami S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediaan memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. Ibu Dr. Ir. C. Niken DWSBU, M.T., selaku Dosen Penguji Utama yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak I Wayan Diana Drs., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
8. Seluruh teknisi dan karyawan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan dan bimbingan selama penulis melakukan penelitian.
9. Keluargaku tercinta terutama orang tuaku terkasih, ibu Taryanti dan bapak Rawuh, kakak ku Deni Verdianto, yang sangat sabar dalam doanya dan pengertian dalam memberikan dukungan, nasehat dan motivasi dan materi dalam menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Teman dekatku Intan Aghniya Safitri yang selalu memberikan semangat, nasehat dan dukungannya baik moril maupun tenaganya dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga yang terbaik untuk kita.

11. Teman terbaik seperjuangan Candra Fauzan Akbar, Farida Rahma Hadi Putri dan Klara Nalarita yang telah memberikan dukungan dan berbagi cerita suka maupun duka dalam menyelesaikan lika-liku skripsi ini hingga akhirnya dapat terselesaikan.
12. Adik-adikku angkatan 2017 dan 2018 yang telah membantu skripsi ini hingga selesai, semoga apa yang dicita citakan kalian dipermudah dalam memperjuangkannya.
13. Saudara-saudaraku Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2014 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan, terimakasih atas kebersamaan kalian. Sukses untuk kita semua.
14. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat disebutkan secara keseluruhan satu per satu, semoga kita semua berhasil menggapai impian.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 7 Februari 2019

Penulis

**Dedi vernanda**

## DAFTAR ISI

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....  | xiv     |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....  | xvi     |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....   | xvii    |
| <b>DAFTAR NOTASI</b> .....   | xxi     |
| <br>   |         |
| <b>I. PENDAHULUAN</b>  |         |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1       |
| 1.2 Tujuan.....  | 3       |
| 1.3 Manfaat Penelitian.....  | 3       |
| 1.4 Hipotesis.....   | 4       |
| 1.5 Batasan Masalah.....   | 4       |
| 1.6 Sistematika Laporan .....  | 4       |
| <br>   |         |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>  |         |
| 2.1 Umum.....  | 6       |
| 2.2 GFRP dan Aplikasi pada Perkuatan Struktur .....                            | 7       |
| 2.3 <i>Wiremesh</i> .....  | 10      |
| 2.4 Aplikasi <i>Wiremesh</i> .....   | 11      |
| 2.5 Perkuatan GFRP pada Konstruksi Beton .....                                 | 11      |
| 2.6 Analisis Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Tunggal.....                | 12      |
| 2.6.1 Analisis Momen Crack Pada Balok .....                                    | 15      |
| 2.6.2 Koreksi Kapasitas Beban Maksimum pada Balok<br>dengan Perkuatan .....    | 15      |
| 2.7 <i>State of Art</i> Perkuatan Lentur dengan GFRP dan <i>Wiremesh</i> ..... | 17      |
| <br>   |         |
| <b>III. METODE PENELITIAN</b>  |         |
| 3.1 Metode Eksperimental.....  | 20      |
| 3.1.1 Benda Uji .....  | 20      |
| 3.1.2 Persiapan Pengujian .....  | 24      |
| 3.1.3 Hasil Yang Didapat .....   | 26      |
| 3.1.3.1 Hubungan Beban dan Lentutan .....                                      | 26      |
| 3.1.3.2 Hubungan Beban dan Regangan .....                                      | 27      |
| 3.2 Metode Teoritis .....  | 28      |
| 3.3 Diagram Alir Penelitian .....  | 32      |

#### **IV. MATERIAL PROPERTIS DAN PENGUJIAN SAMPEL**

|  |    |
|--|----|
| 4.1 Pengujian Material (Sesuai Standar ASTM) .....     | 34 |
| 4.1.1 Pengujian Tulangan.....                          | 35 |
| 4.2.1 Pengujian <i>Wiremesh</i> .....                  | 36 |
| 4.2 Pengujian Silinder .....                           | 36 |
| 4.3 Pembuatan Balok Uji dan Perkuatan pada Balok ..... | 38 |
| 4.3.1 Pembuatan Balok .....                            | 38 |
| 4.4 Pengujian Balok.....                               | 45 |

#### **V. HASIL DAN PEMBAHASAN**

|  |    |
|--|----|
| 5.1 Metode Teoritis .....  | 51 |
| 5.1.1 Analisa Balok Normal (Tanpa Perkuatan).....                                      | 51 |
| 5.1.2 Analisa Balok dengan Perkuatan 2 Lapis GFRP dan 2 Lapis<br><i>Wiremesh</i> ..... | 55 |
| 5.1.3 $P_{cr}$ dan $M_{cr}$ Secara Teoritis .....                                      | 58 |
| 5.2 Metode Eksperimental .....   | 64 |
| 5.2.1 Hasil Pengujian .....  | 64 |
| 5.2.1.1 Beban Maksimum Balok.....  | 64 |
| 5.2.2 Hubungan Beban dengan Defleksi.....  | 65 |
| 5.2.2.1 Balok Normal .....   | 65 |
| 5.2.2.2 Balok GWWG .....   | 67 |
| 5.2.2.3 Balok GGWW .....   | 71 |
| 5.2.2.4 Perbandingan Balok Normal dan Perkuatan.....                                   | 74 |
| 5.2.3 Hubungan Beban dengan Regangan .....   | 75 |
| 5.2.3.1 Regangan pada Balok Normal .....   | 76 |
| 5.2.3.2 Regangan pada Balok GWWG .....   | 80 |
| 5.2.3.3 Regangan pada Balok GGWW .....   | 84 |
| 5.2.4 Model Retakan pada Balok .....   | 89 |
| 5.3 Koreksi Metode Teoritis .....  | 94 |

#### **VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 6.1 Kesimpulan ..... | 98  |
| 6.2 Saran .....      | 101 |

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN A ( UJI BAHAN)**

#### **LAMPIRAN B (PERHITUNGAN)**

#### **LAMPIRAN C (HASIL PENGUJIAN)**

#### **LAMPIRAN D ( DOKUMENTASI PENELITIAN)**

## DAFTAR TABEL

| Tabel   | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Jenis-jenis FRP .....                               | 10      |
| 4.1 Hasil pengujian agregat .....                       | 35      |
| 4.2 Hasil pengujian silinder .....                      | 37      |
| 5.1 Hasil perhitungan $P_{cr}$ teoritis .....           | 63      |
| 5.2 Beban maksimum dan retak awal pada balok.....       | 64      |
| 5.3 Beban dan defleksi pada balok normal .....          | 65      |
| 5.4 Beban dan defleksi pada balok GWWG.....             | 68      |
| 5.5 Beban dan defleksi pada balok GGWW .....            | 71      |
| 5.6 Defleksi akibat beban yang bekerja pada balok ..... | 74      |
| 5.7 Regangan pada balok Normal 1 .....                  | 76      |
| 5.8 Regangan pada balok Normal 2.....                   | 77      |
| 5.9 Regangan pada balok GWWG 1.....                     | 80      |
| 5.10 Regangan pada balok GWWG 2.....                    | 80      |
| 5.11 Regangan pada balok GGWW 1.....                    | 84      |
| 5.12 Regangan pada balok GGWW 2.....                    | 85      |
| 5.13 Model keruntuhan balok .....                       | 92      |
| 5.14 Kalkulasi momen nominal saat pengujian .....       | 96      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar   | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Distribusi tegangan regangan pada penampang balok .....          | 13      |
| 3.1 Balok tanpa perkuatan. ....                                      | 21      |
| 3.2 Balok dengan perkuatan kombinasi GGWW. ....                      | 21      |
| 3.3 Balok dengan perkuatan kombinasi GWWG .....                      | 21      |
| 3.4 Balok beton tanpa perkuatan. ....                                | 22      |
| 3.5 Balok beton dengan perkuatan GWWG .....                          | 22      |
| 3.6 Balok beton dengan perkuatan GGWW .....                          | 22      |
| 3.7 Posisi <i>strain gauge</i> pada balok normal.....                | 24      |
| 3.8 Posisi <i>strain gauge</i> pada balok dengan perkuatan GWWG..... | 24      |
| 3.9 Posisi <i>strain gauge</i> pada balok dengan perkuatan GGWW..... | 24      |
| 3.10 <i>Set up</i> pengujian dan pemasangan <i>dial gauge</i> . .... | 25      |
| 3.11 Hubungan beban-defleksi pada balok.....                         | 26      |
| 3.12 Regangan untuk perkuatan dengan FRP.....                        | 28      |
| 3.13 Diagram alir pembuatan sampel benda uji .....                   | 32      |
| 3.14 Diagram alir penelitian .....                                   | 33      |
| 4.1 Beton silinder yang sedang diuji.....                            | 36      |
| 4.2 Pemasangan tulangan kedalam bekisting. ....                      | 38      |
| 4.3 Pemasangan pengaku di sisi pinggir.....                          | 39      |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 4.4  | Bekisting yang siap digunakan. ....                       | 39 |
| 4.5  | Pencampuran agregat. ....                                 | 40 |
| 4.6  | Pengukuran <i>slump</i> . ....                            | 41 |
| 4.7  | Pengecoran. ....  | 41 |
| 4.8  | Pemadatan beton. ....                                     | 42 |
| 4.9  | Penutupan beton menggunakan plastic. ....                 | 42 |
| 4.10 | <i>Curing</i> dengan menggunakan <i>geotextile</i> . .... | 43 |
| 4.11 | Menimbang epoxy. ....                                     | 44 |
| 4.12 | Mengaduk epoxy. ....                                      | 44 |
| 4.13 | Penempelan perkuatan pada balok. ....                     | 45 |
| 4.14 | Peletakan balok ke tumpuan. ....                          | 45 |
| 4.15 | Pemasangan <i>proving ring</i> . ....                     | 46 |
| 4.16 | Pemasangan <i>dial gauge</i> . ....                       | 46 |
| 4.17 | Pompa hidrolik. ....                                      | 47 |
| 4.18 | Pembacaan <i>strain indicator</i> . ....                  | 47 |
| 4.19 | Pembacaan defleksi pada <i>dial gauge</i> . ....          | 48 |
| 4.20 | Bacaan beban pada <i>proving ring</i> . ....              | 48 |
| 4.21 | Pembacaan besaran retak dengan <i>microcrack</i> . ....   | 49 |
| 4.22 | Retak pada balok. ....                                    | 49 |
| 4.23 | Kegagalan pada balok. ....                                | 50 |
| 5.1  | Penampang balok normal. ....                              | 52 |
| 5.2  | Diagram momen ....  | 54 |
| 5.3  | Penampang balok dengan perkuatan. ....                    | 55 |
| 5.4  | Diagram momen akibat beban. ....                          | 58 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 5.5  | Grafik hubungan beban dan defleksi pada balok normal .....                            | 66 |
| 5.6  | Grafik hubungan beban dan defleksi balok GWWG 1 .....                                 | 69 |
| 5.7  | Grafik hubungan beban dan defleksi pada balok GGWW. ....                              | 72 |
| 5.8  | Grafik hubungan beban dan defleksi pada balok normal dan balok dengan perkuatan ..... | 75 |
| 5.9  | Grafik hubungan beban dan regangan pada balok BN 1. ....                              | 77 |
| 5.10 | Grafik diagram regangan BN 1.....   | 78 |
| 5.11 | Grafik hubungan beban dan regangan pada balok BN 2 .....                              | 78 |
| 5.12 | Grafik diagram regangan BN 2.....   | 79 |
| 5.13 | Grafik hubungan beban dan regangan pada balok GWWG 1. ....                            | 81 |
| 5.14 | Grafik diagram regangan balok GWWG 1.....   | 82 |
| 5.15 | Grafik hubungan beban dan ragangan pada balok GWWG 2. ....                            | 83 |
| 5.16 | Grafik diagram regangan balok GWWG 2.....   | 83 |
| 5.17 | Grafik hubungan beban dan regangan balok GGWW 1 .....                                 | 86 |
| 5.18 | Grafik diagram regangan balok GGWW 1.....   | 86 |
| 5.19 | Grafik hubungan beban dan regangan pada balok GGWW 2 .....                            | 87 |
| 5.20 | Grafik diagram regangan balok GGWW 2 .....  | 87 |
| 5.21 | Pola retakan tampak depan pada balok BN 1 .....                                       | 89 |
| 5.22 | Pola retakan tampak belakang pada balok BN 1 .....                                    | 89 |
| 5.23 | Pola retakan tampak depan pada balok BN 2 .....                                       | 89 |
| 5.24 | Pola retakan tampak belakang pada balok BN 2 .....                                    | 90 |
| 5.25 | Pola retakan tampak depan pada balok GWWG 1 .....                                     | 90 |
| 5.26 | Pola retakan tampak belakang pada balok GWWG 1 .....                                  | 90 |
| 5.27 | Pola retakan tampak depan pada balok GWWG 1 .....                                     | 90 |

|   |    |
|---|----|
| 5.28 Pola retakan tampak belakang pada balok GWWG 2 ..... | 91 |
| 5.29 Pola retakan tampak depan pada balok GGWW 1 .....    | 91 |
| 5.30 Pola retakan tampak belakang pada balok GGWW 1 ..... | 91 |
| 5.31 Pola retakan tampak depan pada balok GGWW 2 .....    | 91 |
| 5.32 Pola retakan tampak belakang pada balok GGWW 2 ..... | 92 |

## DAFTAR NOTASI

|          |   |
|----------|---|
| ACI      | = <i>American Concrete Institute</i>                    |
| ASTM     | = <i>American Society for Testing and Material</i>      |
| CTM      | = <i>Compression Testing Machine</i>                    |
| GFRP     | = <i>Glass Fiber Reinforcement Polymer</i>              |
| GWVG     | = <i>GFRP Wiremesh Wiremesh GFRP</i>                    |
| GGWW     | = <i>GFRP GFRP Wiremesh Wiremesh</i>                    |
| $f'_c$   | = <i>Kuat Tekan Beton</i>                               |
| FRP      | = <i>Fiber Reinforcement Polymer</i>                    |
| CFRP     | = <i>Carbon Fiber Reinforcement Polymer</i>             |
| $f_r$    | = <i>Modulus Hancur Beton (Mpa)</i>                     |
| $I_g$    | = <i>Inersia Beton (mm<sup>4</sup>)</i>                 |
| $M_{cr}$ | = <i>Momen Crack Beton</i>                              |
| $E_s$    | = <i>Modulus Elastisitas Baja Tulangan (MPa)</i>        |
| $f_y$    | = <i>Tegangan Leleh Baja Tulangan (MPa)</i>             |
| $c$      | = <i>Jarak Serat Tekan Terluar ke Garis Netral (mm)</i> |
| $C$      | = <i>Gaya Tekan Beton (N)</i>                           |
| $T$      | = <i>Gaya Tarik Baja Tulangan (N)</i>                   |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| $M_n$                         | = Momen Nominal Penampang (Nmm)                           |
| $\beta_1$                     | = Faktor yang Besarnya Dipengaruhi Oleh Mutu Beton        |
| $a$                           | = Tinggi Blok Tegangan Persegi Ekuivalen (mm)             |
| $d$                           | = Tinggi Efektif Balok (mm)                               |
| $s$                           | = Jarak Antar Tulangan (mm)                               |
| $A_{s \text{ perlu}}$         | = Luas Tulangan Tarik yang Diperlukan ( $\text{mm}^2$ )   |
| $A_{s \text{ pasang}}$        | = Luas Tulangan Tarik yang Dipasang ( $\text{mm}^2$ )     |
| $t$                           | = Tebal Selimut Beton (mm)                                |
| WM                            | = <i>Wiremesh</i>   |
| $\emptyset_{\text{Sengkang}}$ | = Diameter Tulangan Sengkang (mm)                         |
| $\emptyset_{\text{tul}}$      | = Diameter Tulangan Lentur (mm)                           |
| $\rho$                        | = Rasio Tulangan Tarik Non Pratekan                       |
| $\rho_b$                      | = Rasio Tulangan pada Kondisi Seimbang ( <i>Balance</i> ) |
| $\varepsilon$                 | = Regangan  |
| $\Delta_L$                    | = Pertambahan Panjang (Ukuran) yang Terjadi Pada Struktur |
| L                             | = Panjang Beban ke Tumpuan                                |
| $\sigma$                      | = Tegangan (MPa)  |
| E                             | = Modulus Elastisitas (MPa)                               |

|        |   |
|--------|---|
| $F_M$  | = <i>Fine Modulus</i>   |
| CTM    | = <i>Compression Testing Machine</i>                          |
| D      | = Diameter Silinder Beton                                     |
| $E_c$  | = Nilai Modulus Elastisitas ( <i>Elasticity of Concrete</i> ) |
| L      | = Panjang Benda Uji   |
| $MP_a$ | = <i>Mega Pascal</i>  |
| N      | = <i>Newton</i>   |
| P      | = Beban Tekan Maksimum  |
| SNI    | = Standar Nasional Indonesia                                  |
| SSD    | = <i>Saturated Surface Dry</i>                                |
| b      | = Lebar Benda Uji   |
| cm     | = Centimeter  |
| h      | = Tinggi Benda Uji  |
| Kg     | = Kilogram  |
| $K_N$  | = Kilo <i>Newton</i>  |
| $m^3$  | = Meter Kubik   |
| mm     | = Milimeter   |
| A      | = Luas Penampang Silinder                                     |
| ACI    | = <i>American Concrete Institute</i>                          |
| D      | = Diameter Silinder Beton                                     |
| $E_c$  | = Nilai Modulus Elastisitas ( <i>Elasticity of Concrete</i> ) |
| L      | = Panjang Benda Uji   |

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| UTM             | = <i>Universal Testing Machine</i>   |
| $F_{fe}$        | = Kuat Tarik GFRP                    |
| $E_f$           | = Modulus Elastisitas GFRP           |
| $\epsilon_{Ec}$ | = Regangan Beton pada Balok          |
| $\epsilon_0$    | = Regangan Tekan Maksimum pada Balok |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Beton merupakan elemen struktur bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan hingga saat ini. Salah satunya penggunaan beton bertulang, beton bertulang banyak diterapkan pada bangunan, seperti gedung, bendungan, tandon air dan berbagai konstruksi lainnya. Pada bangunan gedung beton bertulang dijumpai dari beberapa elemen struktur, misalnya kolom, balok, plat lantai, ataupun atap. Pada balok, beton bertulang sebagai elemen struktur harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur dan penulangan geser. Penulangan lentur berfungsi sebagai penahan beban momen lentur yang terjadi pada balok. Penulangan geser berfungsi sebagai penahan beban geser yang terjadi pada balok.

Seiring berjalannya waktu, beton mengalami penurunan kekuatan bahkan beton bisa mengalami kerusakan atau kegagalan struktur, hal ini tidak terlepas dari fungsi balok yaitu menahan gaya momen yang mengakibatkan lentur dan geser yang bisa ditimbulkan dari pembebanan yang berlebih atau akibat bencana alam. Untuk menghindari kegagalan struktur tersebut maka dapat dilakukan dengan cara perkuatan struktur. Salah satu metode perkuatan struktur dengan GFRP (*Glass Fiber Reinforcement Polymer*). Metode perkuatan dengan GFRP ini

diaplikasikan bersama dengan epoxy. Epoxy adalah perekat yang berfungsi merekatkan GFRP dengan bahan lain seperti beton, baja, pipa dan lain-lain.

Pada penelitian terdahulu, I Ketut Sudarsana dan Ida Bagus Rai Widiarsa (2008) balok yang diperkuat dengan GFRP dapat meningkatkan kuat lentur balok, dimana pada penambahan 1 lapis GFRP terjadi peningkatan sebesar 10,8 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan putusnya GFRP. Sedangkan pada penambahan 2 lapis GFRP terjadi peningkatan kuat lentur sebesar 13,4 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan pelepasan lekatan antara GFRP dengan beton (debonding). Hal ini menunjukkan penggunaan GFRP untuk perkuatan balok sangat berpengaruh besar terhadap kapasitas menahan beban pada balok. Namun hal ini menunjukkan GFRP belum bekerja maksimum, mengingat terjadi keruntuhan yang berbeda pada kedua model tersebut. Karena hal itu, penulis akan melakukan penelitian mengenai perkuatan balok beton bertulang dengan mengkombinasikan *wiremesh* dan GFRP. Penulis akan menggunakan perkuatan dengan kombinasi GWWG (GFRP *wiremesh wiremesh* GFRP) dan GGWW ( GFRP GFRP *wiremesh wiremesh*) kombinasi antara GFRP dan *wiremesh* ini diharapkan dapat lebih memaksimalkan penggunaan GFRP dan juga lebih meningkatkan nilai daktilitas pada balok.

## 1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Membandingkan kekuatan balok sebelum diperkuat dan setelah diperkuat dengan menggunakan kombinasi GWWG dan GGWW terhadap gaya lentur.
2. Mengetahui nilai daktilitas sebelum dan sesudah diperkuat berdasarkan grafik perbandingan beban lendutan.
3. Mempelajari perilaku lentur balok yang diperkuat dengan kombinasi GWWG dan GGWW terhadap balok normal tanpa perkuatan.

## 1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh perkuatan dengan kombinasi pertama yaitu GFRP dilapisan pertama, *wiremesh* dilapisan kedua dan ketiga dan GFRP dilapisan keempat serta kombinasi yang kedua yaitu GFRP dilapisan pertama dan kedua, *wiremesh* dilapisan ketiga dan ke empat pada balok beton bertulang.
2. Memberikan sumbangan kepada ilmu pengetahuan tentang perkuatan balok dengan menggunakan kombinasi GWWG dan GGWW.
3. Memberikan informasi untuk penelitian lanjutan dalam bidang perkuatan struktur.

#### 1.4. Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah :

1. Lapis *wiremesh* yang digunakan akan meningkatkan kekuatan lentur terhadap balok, sehingga dengan semakin banyak lapisan *wiremesh* yang digunakan maka akan menghasilkan daktilitas yang semakin besar juga terhadap struktur balok.
2. Penambahan lapisan GFRP pada balok akan meningkatkan nilai kekakuan, sehingga apabila semakin banyak dipasang lapisan GFRP maka kemampuan menahan beban pada balok tersebut akan semakin besar juga.

#### 1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Benda uji beton yang digunakan adalah beton normal ( $f'c = 25 \text{ MP}_a$ ) dengan 3 buah benda uji balok dimensi 15 cm x 15 cm x 170 cm dan 30 buah benda uji silinder dimensi diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm.
2. Metode pengujian yang dilakukan adalah metode eksperimental dengan uji lentur menggunakan alat *loading frame*.

#### 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

## BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, tujuan, manfaat, hipotesis, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil, yaitu perkuatan balok beton bertulang dengan kombinasi *wiremesh* dan GFRP pada beton normal.

## BAB III : METODE PENELITIAN

Terdiri dari hal-hal yang berhubungan dengan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode-metode, pelaksanaan benda uji.

## BAB IV : MATERIAL PROPERTIS DAN PENGUJIAN SAMPEL

Terdiri dari pengujian-pengujian material yang digunakan dalam penelitian di laboratorium. Data hasil pengujian dalam bab ini akan digunakan sebagai acuan dalam perhitungan teoritis.

## BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdiri dari hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah pengujian.

## BAB VI : SIMPULAN DAN SARAN

Terdiri dari hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan berdasarkan data-data dari penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Umum

Semakin berkembangnya teknologi bahan pada saat ini, berdampak kepada konstruksi beton semakin banyak dipilih sebagai bahan konstruksi. Pemilihan konstruksi dari beton banyak memiliki keuntungan seperti harga yang relatif lebih murah, mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, serta mudah dalam hal perawatannya, sehingga banyak bangunan-bangunan yang didirikan memilih konstruksi yang terbuat dari beton sebagai bahan utamanya.

Pemilihan bahan untuk konstruksi telah membuat para ahli beton menciptakan bahan tambahan bagi beton. Bahan tambahan merupakan bahan yang dianggap perlu, terutama untuk konstruksi pada saat sekarang ini yang membutuhkan segala sesuatu yang serba efisien, tanpa mengurangi kekuatan dari beton tersebut.

Penggunaan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) untuk perbaikan dan perkuatan beton merupakan salah satu alternatif yang bisa digunakan. Dengan cara perbaikan yang lebih mudah dari segi pelaksanaan dan dapat diaplikasikan oleh setiap pelaksana (kontraktor). Metode penguatan dengan serat polimer membutuhkan perencanaan yang tepat, baik dari segi desain (analisis perilaku struktur beton), kondisi lapangan (pengaruh lingkungan) dan pemeliharaan jenis tipe serat (*fiber*). Hal ini untuk menghindari tidak terjadinya kegagalan pada saat penguatan. Penggunaan serat polimer pada kondisi lingkungan yang ekstrim, akan memerlukan suatu sistem perlindungan

terhadap permukaan serat dari pengaruh suhu, zat kimia maupun radiasi sinar matahari (Basuki, Ariyadi, 2005)

## **2.2. FRP dan Aplikasi Pada Perkuatan Struktur**

Salah satu material perkuatan struktur yang sekarang ini banyak digunakan adalah FRP. FRP adalah perkuatan yang memiliki kemampuan menahan Tarik yang besar. FRP juga memiliki kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Proses pemasangannya pun sangatlah mudah dilakukan. Material ini bisa diperoleh dalam bentuk lembaran yang dalam penggunaannya digabungkan dengan *epoxy*. Metode tradisional dengan menggunakan material pelat baja yang diikat dengan *epoxy* pada struktur kolom beton bertulang. Namun lambat laun teknik atau metode ini mulai tergeser dengan hadirnya material baru yang disebut dengan FRP. Dengan material ini perkuatan struktur dapat menghasilkan peningkatan kekuatan yang cukup tinggi (US Army, 2002).

FRP dapat dibuat dari material yang berbeda seperti kaca, karbon, aramid, boron, dan produk lainnya. FRP kuat terhadap tarik dan memiliki kekuatan paling tinggi sepanjang arah longitudinal. Keuntungan penggunaan pada material kaca yaitu harga murah, kekuatan tarik tinggi, reaksi terhadap kimia tinggi, berat jenis relative tinggi, sensitif terhadap abrasi. Keuntungan penggunaan pada material karbon yaitu perbandingan kekuatan tarik terhadap berat yang tinggi (Gangarao dkk, 2006).

Karakteristik FRP juga memiliki gaya tarik lebih besar dari baja namun beratnya lebih ringan, serta FRP rendah listrik dan konduktifitas termal. Jenis produk FRP yaitu *carbon*, *glass* dan *aramid fiber* dengan kombinasi yang unik

dengan *polymer* menjadi satu kesatuan komposit fiber. CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) dan GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) berpengaruh terhadap kuat lentur balok. Beban maksimal yang bisa ditahan balok dengan perkuatan CFRP maupun GFRP lebih besar daripada beban maksimal yang dapat ditahan balok normal (McDanie, 2014).

CFRP lebih baik dalam menambah kekuatan lentur balok daripada GFRP. Hal ini dikarenakan mutu dan bahan dasar CFRP yang lebih baik dalam menahan beban dari pada mutu dan bahan dasar GFRP (Petrico, 2013).

Prinsip dari penambahan FRP sama seperti penambahan plat baja, yaitu menambah kekuatan di bagian tarik dari struktur. FRP yang sering digunakan pada perkuatan struktur adalah *plate* dan *wrap*. Bentuk *plate* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan lentur baik pada balok maupun pelat serta pada dinding, sedangkan bentuk *wrap* lebih efektif dan efisien untuk perkuatan geser pada balok serta meningkatkan kapasitas beban aksial dan geser pada kolom (McDanie, 2014).

GFRP dapat digunakan untuk:

1. Melindungi struktur secara keseluruhan.
2. Memperbaiki ketahanan gempa suatu bangunan.
3. Memperkuat jembatan terhadap ketahanan gempa, perbaikan dampak kerusakan dan memperpanjang umur jembatan.
4. *Mengupgrade* struktur (menaikkan kekuatan balok, pelat, dan kolom yang sudah ada).

5. Memperkuat struktur yang tidak lagi memiliki kekuatan disain aslinya karena kesalahan konstruksi, korosi dan penambahan beban
6. Memperbaiki struktur yang korosi atau berkarat
7. Memperkuat struktur beton dan struktur pada area laut yang mana dapat memperbaiki dan memelihara element struktur yang ada

Keuntungan perkuatan menggunakan GFRP adalah sebagai berikut:

1. Mudah dipasang serta tidak merusak
2. Penggunaan alat berat yang minim
3. Untuk lokasi yang sempit bisa dipergunakan
4. Dapat menyatu dengan material *finishing*
6. Meningkatkan kuat geser pada balok, kolom dan dinding
7. Meningkatkan daya tahan terhadap beban vertikal pada kolom

Selain memiliki kelebihan, GFRP juga memilii kekurangan, adapun kekurangan

GFRP adalah sebagai berikut:

1. Harga GFRP mahal.
2. GFRP tidak tahan api.

Adapun jenis-jenis dari FRP itu sendiri yang akan dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jenis-jenis FRP (U.S. Army, 2002)

| <i>Fiber</i>                  | Diameter<br>( $\mu\text{m}$ ) | <i>Relative Density</i> | <i>Modulus of Elasticity (GPa)</i> | <i>Tensile Strength (GPa)</i> | <i>Elongation at Break (%)</i> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| <i>Steel</i>                  | 5-500                         | 7.84                    | 200                                | 0.5-2.0                       | 0.5-3.5                        |
| <i>Glass</i>                  | 9-15                          | 2.60                    | 70-80                              | 2-4                           | 2-3.5                          |
| <i>Asbestos</i>               |                               |                         |                                    |                               |                                |
| - <i>Crocidolite</i>          | 0.02-0.4                      | 3.40                    | 196                                | 3.5                           | 2.0-3.0                        |
| - <i>Chrysotile</i>           | 0.02-0.4                      | 2.60                    | 164                                | 3.1                           | 2.0-3.0                        |
| <i>Aramid (Kevlar)</i>        | 10                            | 1.45                    | 65-133                             | 3.6                           | 2.1-4.0                        |
| <i>Carbon (High Strength)</i> | 9                             | 1.90                    | 230                                | 2.6                           | 1                              |
| <i>Nylon</i>                  | -                             | 1.10                    | 4.0                                | 0.9                           | 13.0-15.0                      |

1 GPa = 1000 MPa = 145 x 10 psi

### 2.3. Wiremesh

*Wiremesh* adalah jaring kawat baja las yang berkualitas tinggi, setiap detail *wiremesh* dibuat dengan pengawasan yang sangat teliti. Dimana mulai dari pemilihan material atau bahan yaitu besi melalui kontrol yang ketat kemudian di las dengan mesin las otomatis yang berteknologi tinggi, sehingga menghasilkan *wiremesh* berkualitas tinggi. Pada penelitian ini *wiremesh* yang digunakan tipe kawat jala las segi empat diameter 0.53 mm dengan lebar bukaan 6 mm x 6 mm.

#### 2.4. Aplikasi Wiremesh

Salah satu aplikasi penggunaan *wiremesh* yaitu untuk penambahan kapasitas lentur pada perkuatan balok beton bertulang dengan metode retrofit yang menggunakan material *wiremesh* dan *self compacting concrete* (SCC) (Amirudin , 2014).

Selain untuk penambahan kapasitas lentur, aplikasi lain dari *wiremesh* yaitu pada penggunaannya terhadap *ferroement*. *Ferroement* adalah konstruksi beton tipis yang dibentuk dengan pasir, semen, air dan *wiremesh* sebagai pengganti tulangan, penggunaan *ferroement* biasanya digunakan pada konstruksi yang memerlukan bentuk lengkung atau parabola serta beban yang ringan, seperti pada kubah masjid, pembangunan saluran air, serta pembuatan simbol daerah.

#### 2.5. Perkuatan GFRP Pada Konstruksi Beton

Proses aplikasi GFRP dan epoxy pada struktur bangunan adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan GFRP pada beton dengan cara dibalut (*wrapping*). Perbaikan ini dibagi menjadi tiga yaitu perbaikan ringan, perbaikan sedang dan perbaikan berat. Metode perbaikan berat ditentukan oleh jenis kerusakan strukturnya yang meliputi:

- a. *Coating*

Perbaikan *coating* adalah melapisi permukaan beton dengan cara mengoleskan atau menyemprotkan bahan yang bersifat plastik dan cair. Lapisan ini digunakan untuk menyelimuti beton terhadap lingkungan yang merusak beton.

b. *Injection (grouting)*

Perbaikan *injection* adalah memasukkan bahan yang bersifat encer ke dalam celah atau retakan pada beton, kemudian disuntikkan dengan tekanan, sampai terlihat pada lubang atau celah lain telah terisi atau mengalir keluar.

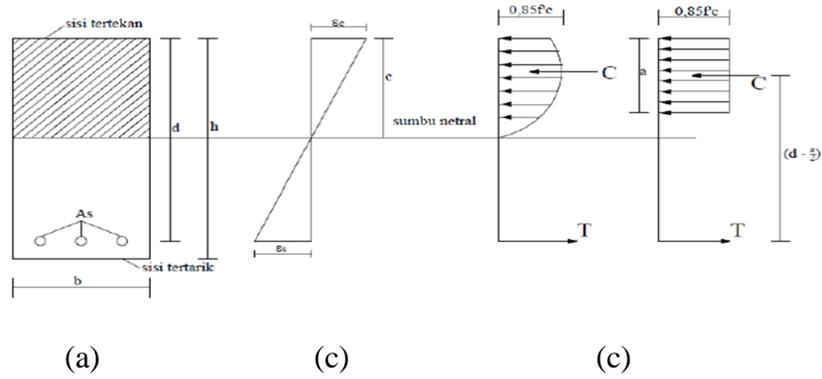
c. *Shotcrete*

Perbaikan *shotcrete* adalah menembakkan mortar atau beton dengan ukuran agregat yang kecil pada permukaan beton yang akan diperbaiki. *Shotcrete* dapat digunakan untuk perbaikan permukaan yang vertikal maupun horisontal dari bawah.

2. Cat dasar atau mengoleskan (*priming*) permukaan beton dengan tyfo SW-1 Epoxy.
3. Penjenuhan (*saturation*) Tyfo SEH 51-A dengan Tyfo SW-1 epoxy menggunakan kuas.
4. Membungkus (*wrapping*) permukaan beton dengan Tyfo seh-51 A setelah permukaan dioleskan epoxy.

## **2.6. Analisis Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Tunggal**

Beton mempunyai kekuatan tarik yang sangat kecil, untuk menambah kemampuan dan kapasitas dukung struktur balok beton diperlukan batang tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja. Sistem tulangan tunggal hampir tidak pernah dimanfaatkan untuk balok, karena pemasangan tulangan tambahan di daerah tekan. Perencanaan penulangan lentur didasarkan pada asumsi bahwa tulangan baja telah mencapai regangan leleh sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003.



Gambar 2.1. Distribusi tegangan regangan pada penampang balok: (a) penampang melintang; (b) regangan; (c) blok regangan ekuivalen yang diasumsikan.

berdasarkan bentuk empat persegi panjang pada balok beton, intensitas tegangan beton rata-rata ditentukan sebesar  $0,85 f'c$  dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar  $b$  dan sedalam  $a$ , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus (SNI 2847:2013) :

Persamaan keseimbangan gaya horizontal gaya internal:

$$C = T \dots\dots\dots (1)$$

Daerah tekan beton:

$$C = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2)$$

Daerah tarik baja tulangan:

$$T = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (3)$$

Rasio penulangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \& \quad \rho_{min} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \dots\dots\dots (5)$$

$$\rho_{maks} = \left( \frac{0,003 + \left(\frac{f_y}{E_s}\right)}{0,003 + \epsilon_t} \right) \cdot \rho_b \dots\dots\dots(6)$$

Syarat faktor  $\beta_1$ :

Untuk  $f'_c \leq 28$  Mpa

$$\beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots (7)$$

Untuk  $f'_c > 28$  Mpa

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7 \cdot (f'_c - 28)} \dots\dots\dots(8)$$

Syarat rasio tulangan yang dipakai:

$$\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{maks} \dots\dots\dots(9)$$

Syarat tebal selimut beton yang digunakan:

$$P \geq 20 \text{ mm} \dots\dots\dots(10)$$

Tinggi efektif balok beton:

$$d = h - P - \phi \text{ sengkang} - 1/2 \phi \text{ tul} \dots\dots\dots(11)$$

luas tulangan yang diperlukan:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (12)$$

Syarat luas tulangan yang dipasang :

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu} \dots\dots\dots (13)$$

Persamaan momen nominal:

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right) \text{ atau } C \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (14)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (15)$$

### 2.6.1 Analisis Momen *Crack* Pada Balok

Momen crack pada balok dihitung menggunakan rumus dibawah ini :

- Menghitung modulus hancur beton

$$f_r = 0,62 \times f_c^{0.5} \dots\dots\dots (16)$$

- Menghitung momen inersia

$$I_g = 1/12 \times b \times h^3 \dots\dots\dots (17)$$

- Mencari momen retak beton

$$c = h/2 \dots\dots\dots (18)$$

$$M_{cr} = f_r \times ( I_g / c ) \dots\dots\dots (19)$$

### 2.6.2 Koreksi Kapasitas Beban Maksimum Pada Balok Dengan Perkuatan

Analisis teori pada balok dengan perkuatan perlu direvisi apabila nilai kapasitas beban maksimum pada teori berbeda dengan hasil eksperimental. Hal dapat dilihat dari kegagalan terhadap balok, apabila balok mengalami kegagalan *debonding* yaitu lepasnya lekatan antara perkuatan dengan beton. Maka regangan pada beton belum maksimum dan  $\epsilon_c$  belum mencapai 0,003. Sehingga perlu dilakukan perhitungan ulang untuk mencari kapasitas beban sebenarnya. Perhitungan dapat dilihat pada rumus dibawah ini.

Persamaan gaya tekan pada balok akibat beban belum maksimum (Park & Paulay, 1975 ) :

$$C_c = \alpha f'_c b a \dots\dots\dots (20)$$

Dimana:

$\alpha$  = Faktor tegangan pada balok

$$\varepsilon_0 = \frac{2 \times f'_c}{E_c} \dots\dots\dots (21)$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_{Ec}}{\varepsilon_0} - \frac{\varepsilon_{Ec}^2}{3\varepsilon_0^2} \dots\dots\dots (22)$$

$\varepsilon_{Ec}$  = regangan beton pada balok pada saat pengujian

$\varepsilon_0$  = regangan tekan maksimum pada balok

Keterangan :

$f_r$  = modulus hancur beton (Mpa)

$I_g$  = inersia beton (mm<sup>4</sup>)

$M_{cr}$  = momen *crack* beton

$E_s$  = modulus elastisitas baja tulangan (MPa)

$f_y$  = tegangan leleh baja tulangan (MPa)

$c$  = jarak serat tekan terluar ke garis netral (mm)

$C$  = gaya tekan beton (N)

$T$  = gaya tarik baja tulangan (N)

$M_n$  = momen nominal penampang (Nmm)

$a$  = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

$d$  = tinggi efektif balok (mm)

$s$  = jarak antar tulangan (mm)

$A_{s \text{ perlu}}$  = luas tulangan tarik yang diperlukan (mm<sup>2</sup>)

$A_{s \text{ pasang}}$  = luas tulangan tarik yang dipasang (mm<sup>2</sup>)

$P$  = tebal selimut beton (mm)

$\emptyset_{\text{Sengkang}}$  = diameter tulangan sengkang (mm)

- $\phi_{tul}$  = diameter tulangan lentur (mm)
- $\rho$  = rasio tulangan tarik
- $\rho_b$  = rasio tulangan pada kondisi seimbang (*balance*)

## 2.7. State of Art Perkuatan Lentur dengan GFRP

Balok yang diperkuat dengan GFRP dapat meningkatkan kuat lentur balok, dimana pada penambahan 1 lapis GFRP terjadi peningkatan sebesar 10,8 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan putusnya GFRP. Sedangkan pada penambahan 2 lapis GFRP terjadi peningkatan kuat lentur sebesar 13,4 % dengan model keruntuhan yang terjadi yaitu keruntuhan lentur yang disertai dengan pelepasan lekatan (*debonding*) antara GFRP dengan beton (Sudarsana dan Widiarsa, 2008).

Penggunaan FRP memberikan kontribusi peningkatan secara signifikan terhadap besarnya kapasitas aksial maupun daktilitas sebesar berturut-turut 97.5% dan 64.2% dari kolom dengan tulangan non standar. Penggunaan FRP sebagai perkuatan pada tulangan pengegang yang tidak standar (senggang lingkaran) memberikan peningkatan kapasitas aksial sebesar 58% dari kolom dengan tulangan standar (Kristianto dkk, 2016).

Perbaikan kekuatan dan daktilitas balok dan kolom beton bertulang menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) seperti yang telah diteliti. dengan retrofit FRP mengalami penambahan sebesar 20 % dibandingkan dengan kolom original. Nilai meningkat sebesar 4% pada balok FRP dibandingkan dengan balok original (Taufikurrahman, 2013).

Alami (2010) meneliti balok beton bertulang yang diperkuat dengan GFRP. Balok beton bertulang berukuran 20 cm x 30 cm x 300 cm sebanyak 4 buah dengan variasi jumlah layer yaitu tanpa GFRP, dengan GFRP 1 layer, 2 layers dan 3 layers. Pengujian lentur dilakukan pada 4 balok beton bertulang. Peningkatan kekuatan berdasarkan hasil eksperimen di laboratorium ditunjukkan dengan meningkatnya nilai beban yang mampu ditahan oleh balok dari (BL) 4,198 ton, (BL-1) 6,804 ton (meningkat 62,08 %), (BL-2) 7,078 ton (meningkat 68,60 %), dan (BL-3) 7,352 ton (meningkat 75,13 %). Mode kegagalan pada balok beton (BL) pada penelitian ini ialah keruntuhan lentur, keruntuhan GFRP yang terjadi ialah *pulling off* atau pelat GFRP mengelupas (Alami, 2010).

Djamaluddin (2009) meneliti pengaruh hybrid serat carbon (CFRP) dan serat glass (GFRP) terhadap kapasitas lentur balok beton bertulang. Pada penelitian ini dimensi balok yang digunakan adalah 150 cm x 20 cm dengan panjang 270 cm. Ada dua macam variasi yang digunakan yaitu variasi I (BGC) yang terdiri dari 1 lapis GFRP penuh permukaan + 1 lapis CFRP dengan lebar 1/3 lebar balok, dan variasi II (BGCG) yang terdiri dari 1 lapis GFRP penuh permukaan + 1 lapis CFRP dengan lebar 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 GFRP dan CFRP. Hasil pengujian untuk 19 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. Mode kegagalan yang terjadi pada balok semuanya mengalami lepasnya lekatan antara FRP dan beton. Sedangkan pada lapisan hybrid-nya

tidak terjadi kerusakan antara GFRP dan CFRP (Djamaluddin dkk, 2013).

Amirudin (2014) meneliti balok yang diperkuat dengan *wiremesh*, hasil menunjukkan bahwa rata-rata kapasitas bahan uji dengan 1 lapis penuh *wiremesh* diameter tulangan 2.3 mm spasi, 25 mm dan SCC setebal 25 mm sepanjang bentang balok dan 1 lapis penuh *wiremesh* diameter tulangan 3 mm spasi 50 mm sepanjang bentang balok adalah masing-masing 26.989 kN dan 35.513 kN. Sebagai pembanding, hasil pengujian pada balok kontrol memiliki kapasitas lentur sebesar 25.358 kN. Sehingga dapat di simpulkan bahwa perkuatan menggunakan material *wiremesh* pada balok beton bertulang dengan metode *retrofit* memiliki kapasitas lentur yang lebih tinggi 6.44 % untuk balok dengan diameter 2,3 mm dan 40.06 % untuk balok dengan diameter 3 mm dari balok normal.

Khan dkk (2013) meneliti perkuatan balok menggunakan *ferosemen* dengan panjang *wiremesh* 700 mm dan 850 mm dengan variasi 2 lapis *wiremesh* dan 3 lapis *wiremesh*. Hasil pengujian untuk panjang 700 mm dengan variasi lapisan *wiremesh* 2 lapis dan 3 lapis masing-masing mampu meningkatkan kemampuan menahan beban sebesar 15% dan 13,9% dari beban awal, sedangkan untuk panjang 850 mm dengan variasi 2 lapis dan 3 lapis *wiremesh* mampu meningkatkan kemampuan menahan beban sebesar 18,7% dan 13%.

### **III. METODE PENELITIAN**

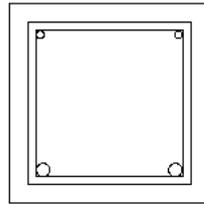
Penelitian yang dilakukan adalah studi eksperimental perkuatan balok beton bertulang dengan mengkombinasikan penggunaan bahan tambahan *wiremesh* dan GFRP pada beton mutu normal. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ada dua metode yaitu metode eksperimental dan metode teoritis. Metode eksperimental dilakukan di laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Metode ini menampilkan hubungan antara beban dan defleksi serta beban dan regangan dari awal sampai balok mengalami kegagalan. Perilaku lentur balok tanpa perkuatan dan dengan perkuatan juga ditampilkan dalam metode ini. Sedangkan metode teoritis digunakan sebagai pembandingan hasil yang didapat dari metode eksperimental, meliputi kapasitas beban balok, retak awal secara teori, dan defleksi..

#### **3.1. Metode Eksperimental**

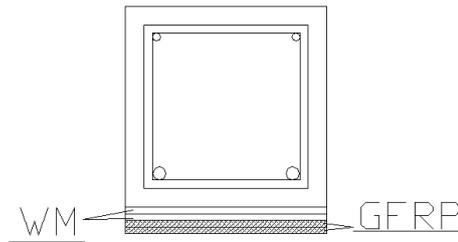
##### **3.1.1 Benda uji**

Penelitian ini menggunakan 30 buah benda uji silinder dengan dimensi diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm, dan 3 buah benda uji balok beton bertulang dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 170 cm. Ketiga benda uji mempunyai variasi yang berbeda-beda. Balok pertama (BN) merupakan balok beton bertulang tanpa perkuatan atau

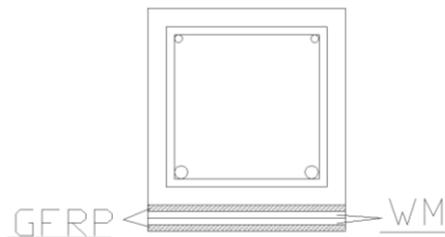
disebut balok normal, balok kedua merupakan balok yang diperkuat dengan kombinasi GWWG, dan balok yang ketiga merupakan balok yang diperkuat dengan kombinasi GGWW. Balok normal, kombinasi GWWG dan kombinasi GGWW bisa dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Balok tanpa perkuatan.

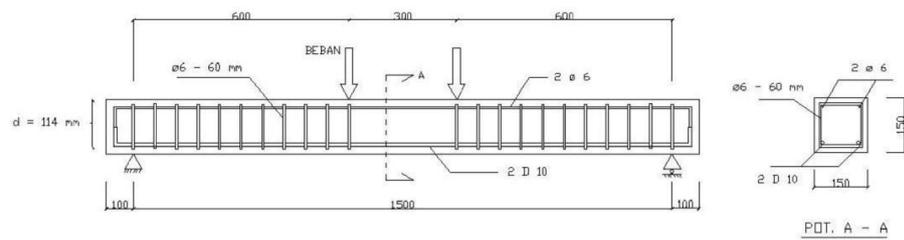


Gambar 3.2. Balok dengan perkuatan kombinasi GGWW.

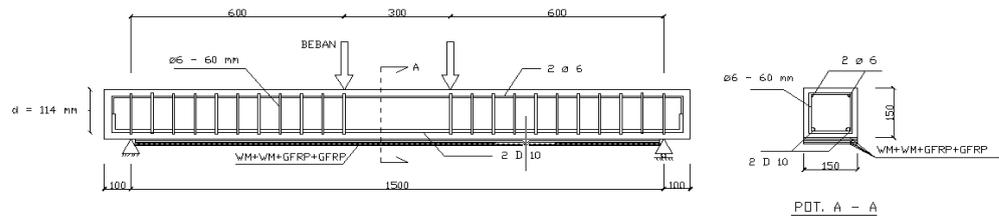


Gambar 3.3. Balok dengan perkuatan kombinasi GWWG.

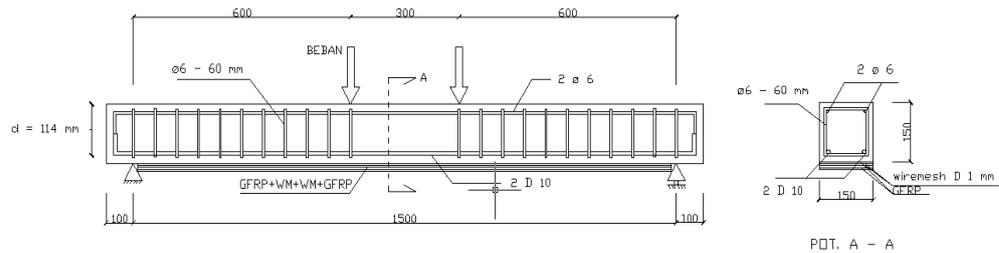
Untuk daerah tekan, tulangan yang digunakan adalah 2  $\varnothing$  6 dan pada daerah tarik digunakan tulangan 2 D 9. Sementara untuk tulangan sengkang digunakan  $\varnothing$  6 – 60 mm. Detail benda uji dapat dilihat seperti pada Gambar 3.4, 3.5, dan 3.6 . Benda uji akan dicor menggunakan *ready mix* dengan kuat tekan  $f'_c = 26,43$  MPa.



Gambar 3.4. Balok beton tanpa perkuatan.



Gambar 3.5. Balok beton dengan perkuatan GWG.



Gambar 3.6. Balok beton dengan perkuatan GGWW.

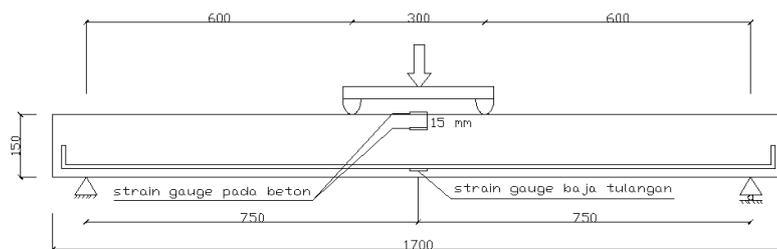
GFRP dan *wiremesh* akan dipasang setelah benda uji dicuring selama 28 hari. GFRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah GFRP tipe SEH51 dengan *ultimate tensile strength* dalam arah serat utama sebesar 460 MPa, dan *tensile modulus* sebesar 20900 MPa. Ketebalan 1 lapis GFRP yang digunakan yaitu 1,33 mm. Sedangkan *wiremesh* yang digunakan tipe kawat jala las segi empat diameter 0,55 mm dengan lebar bukaan 7 mm x 7 mm. Proses pemasangan balok dengan ini terdiri dari 4 tahapan yaitu:

1. Pertama dilakukan proses penghalusan permukaan beton yang akan dipasang lapisan perkuatan dengan menggunakan gurinda atau amplas.
2. Kedua yaitu pemotongan GFRP maupun *wiremesh* dengan ukuran 15 cm x 150 cm.
3. Ketiga yaitu menambahkan bahan perekat *epoxy resin* pada permukaan beton yang telah diperhalus menggunakan kuas *roller*.
4. Keempat adalah penempelan GFRP dan *wiremesh* pada benda uji menggunakan metode *wet lay-up*.

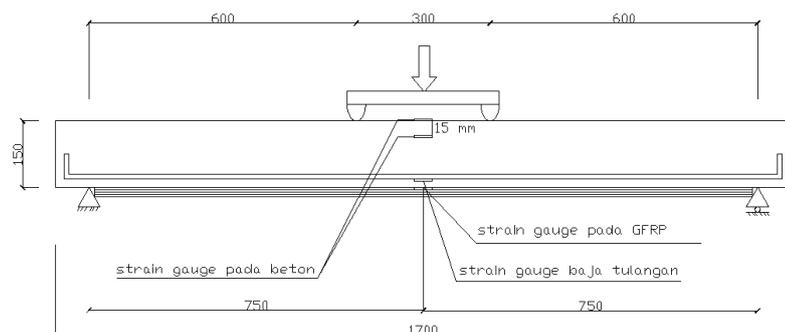
Sedangkan metode *wet lay-up* yaitu metode pemasangan FRP, dimana FRP yang akan dipasang harus dibasahi sebelumnya terlebih dahulu dengan *epoxy resin* untuk selanjutnya dilekatkan pada benda uji yang akan diperkuat (Sultan dkk, 2015). Posisi penempelan GFRP dan *wiremesh* berada pada daerah sisi tarik benda uji balok. Hal ini dikarenakan penelitian ini berfokus pada perilaku balok akibat gaya lentur dengan kombinasi perkuatan yang berbeda atau tanpa adanya perkuatan sama sekali.

### 3.1.2. Persiapan Pengujian

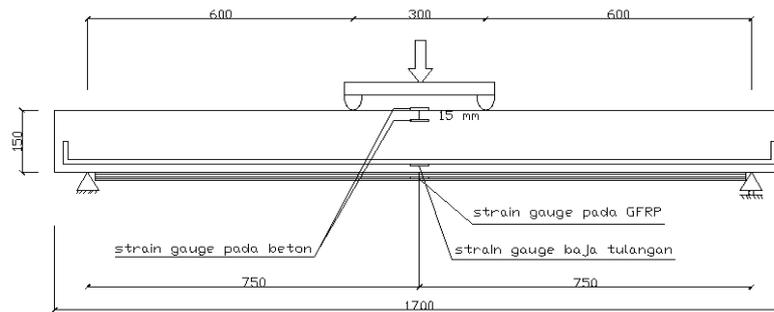
Untuk mengukur lendutan pada balok setelah dilakukan pembebanan maka dipasang *strain gauge*. Pemasangan *strain gauge* pada baja tulangan di daerah tarik sebanyak 1 buah. Pada beton dipasang *strain gauge* sebanyak 2 buah yaitu pada daerah tekan benda uji dan daerah 15 mm tinggi dari atas benda uji. Pada GFRP dipasang *strain gauge* sebanyak 1 buah yang posisi pemasangannya berada di tengah benda uji seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.7. Posisi *strain gauge* pada balok normal.

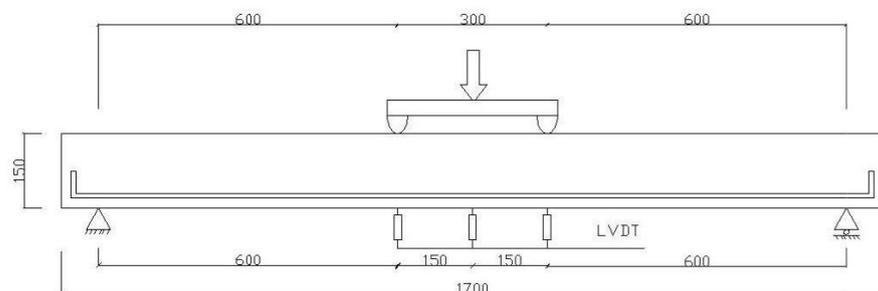


Gambar 3.8. Posisi *strain gauge* pada balok dengan perkuatan GWWG.



Gambar 3.9. Posisi *strain gauge* pada balok dengan perkuatan GGWW.

Set up pengujian diilustrasikan seperti Gambar (3.9), sebelum pengujian dipasang *dial gauge* sebanyak 2 buah untuk merekam lendutan vertikal pada tengah bentang. Pengujian dilakukan dengan two point load, digunakan pembebanan yang bersifat monotonik dengan kecepatan ramp actuator konstan sebesar 0,05 mm/dt sampai benda uji mengalami kegagalan. Pembacaan data pada ring power diambil setiap kenaikan 380 kg.. Sementara pengamatan terhadap benda uji terus dipantau secara visual, terutama terhadap perkembangan retak yang terjadi akibat bertambahnya beban, juga terhadap perilaku keruntuhan yang terjadi. Pembebanan dilakukan hingga mencapai beban ultimit.



Gambar 3.10. *Set up* pengujian dan pemasangan *dial gauge*.

### 3.1.3. Hasil yang akan didapat

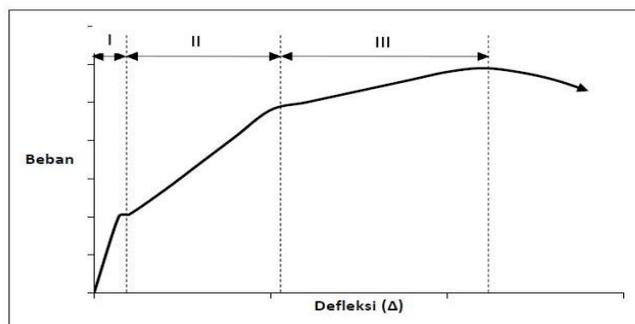
#### 3.1.3.1. Hubungan Beban Dan Lendutan (Nawy, 2003)

Hubungan beban–lendutan balok beton bertulang pada dasarnya dapat diidealisasikan menjadi beban trilinear menjadi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9. Hubungan ini terdiri dari tiga daerah sebelum terjadinya *rupture*.

Daerah I : Taraf praretak, dimana batang-batang strukturalnya bebas retak.

Daerah II : Taraf pascaretak, dimana batang-batang strukturalnya mengalami retak-retak terkontrol yang masih dapat diterima, baik dalam distribusinya maupun lebarnya.

Daerah III : Taraf pasca-*serviceability*, dimana tegangan pada tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya



Sumber: Nawy, 2003

Gambar 3.11. Hubungan beban-defleksi pada balok.

### 3.1.3.2. Hubungan Beban dan Regangan

Struktur apabila mendapat beban dari luar akan mengalami deformasi. Nilai deformasi dibagi dengan dimensi awal sebelum dibebani didefinisikan sebagai regangan (*strain*). Deformasi terjadi akibat adanya tarikan, bagian panjang  $L$  akan mengalami perpanjangan sebesar  $\Delta L$ . Adapun yang dimaksud dengan regangan adalah perpanjangan relatif, yaitu pertambahan panjang per satuan panjang awal yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (26)$$

$\varepsilon$  = regangan

$\Delta L$  = pertambahan panjang (ukuran) yang terjadi pada struktur (m)

$L$  = panjang (ukuran) struktur awal (m)

Untuk  $P$  sebagai gaya tekan, dapat juga digambarkan hubungan serupa. Formulasi yang menunjukkan hubungan linier antara tegangan dan regangan ditampilkan sebagai hukum Hooke berikut ini :

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \dots\dots\dots (27)$$

Keterangan :

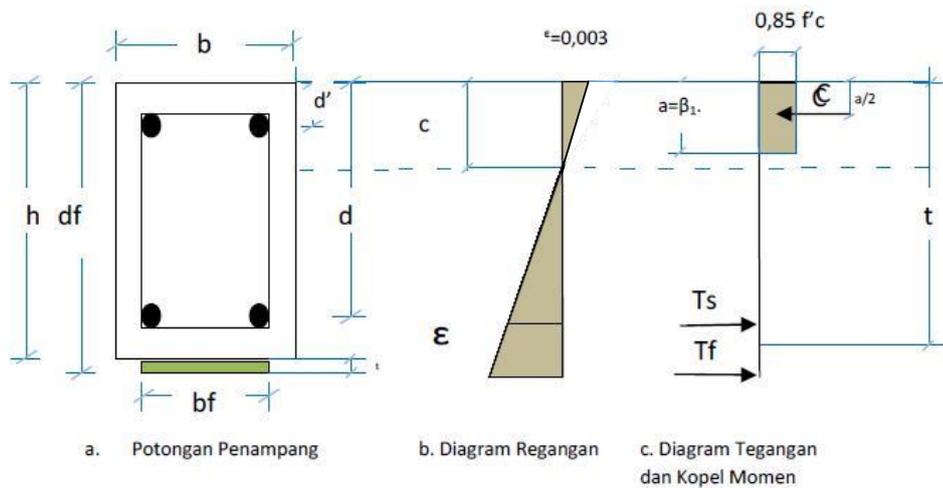
$\sigma$  = tegangan (MPa)

$\varepsilon$  = regangan

$E$  = modulus elastisitas (MPa)

### 3.2. Metode Teoritis

Untuk membandingkan dan mengecek hasil yang didapat setelah metode eksperimental dilakukan, maka untuk perhitungan momen nominal dapat dilihat dari perhitungan di bawah ini (ACI Committee 440-2R 2008).



Gambar 3.12. Regangan untuk perkuatan dengan FRP.

Untuk perkuatan lentur dengan FRP, perhitungan desain disajikan dalam rumus-rumus sebagai berikut :

- Persamaan keseimbangan gaya horizontal gaya internal:

$$C = T \dots\dots\dots (1)$$

- Daerah tekan beton:

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot C \cdot b \dots\dots\dots (2)$$

- Daerah tarik baja tulangan:

$$T = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (3)$$

- Rasio penulangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho b = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \text{ dan } \rho_{\min} = \frac{1,0,25\sqrt{f'c}}{f_y} \dots\dots\dots (5)$$

$$\rho_{\max} = \left( \frac{0,003 + \left(\frac{f_y}{E_s}\right)}{0,003 + \epsilon_t} \right) \cdot \rho b \dots\dots\dots (6)$$

- Syarat faktor  $\beta_1$ :

Untuk  $f'c \leq 28 \text{ Mpa}$

$$\beta_1 = 0,85 \dots\dots\dots (7)$$

Untuk  $f'c > 28 \text{ Mpa}$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05}{7 \cdot (f'c - 28)} \dots\dots\dots (8)$$

- Syarat rasio tulangan yang dipakai:

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$$

- Syarat tebal selimut beton yang digunakan:

$$P \geq 20 \text{ mm}$$

- Tinggi efektif balok beton:

$$d = h - P - \emptyset \text{ sengkang} - 1/2 \emptyset \text{ tul} \dots\dots\dots (11)$$

- Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots (12)$$

- Untuk menghindari keruntuhan getas maka :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

- Persamaan momen nominal ( Keseimbangan gaya  $C = T$  )

$$M_n = \sum T \left( d - \frac{c}{2} \right) \dots \dots \dots (14)$$

$$C = \frac{(T_s + T_{wiremesh} + T_{wiremesh} + T_{Gfrp})}{0,85 \times f'_c \times b} \dots \dots \dots (28)$$

$$M_n = \sum A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{c}{2} \right) \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan :

$\epsilon_c$  = regangan batas maksimum beton (0,003)

$\epsilon_s$  = regangan tul tarik pada regangan batas maks  
beton

$\epsilon_y$  = regangan leleh baja tulangan

$E_s$  = modulus elastisitas baja tulangan (MPa)

$f_y$  = tegangan leleh baja tulangan (MPa)

$c$  = jarak serat tekan terluar ke garis netral (mm)

$C$  = gaya tekan beton (N)

$T$  = gaya tarik baja tulangan (N)

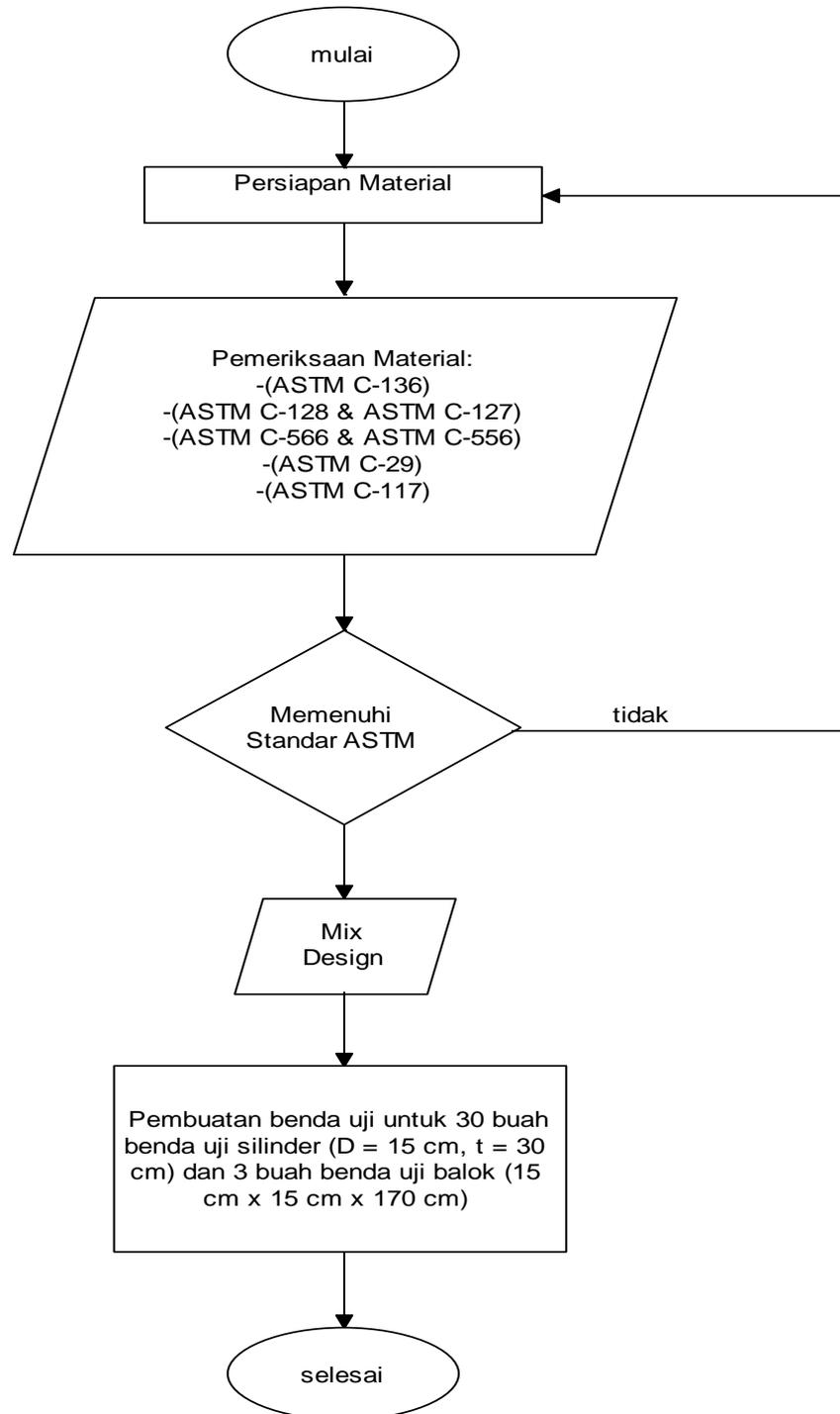
$M_n$  = momen nominal penampang (Nmm)

$\beta_1$  = faktor yang besarnya dipengaruhi oleh mutu  
beton

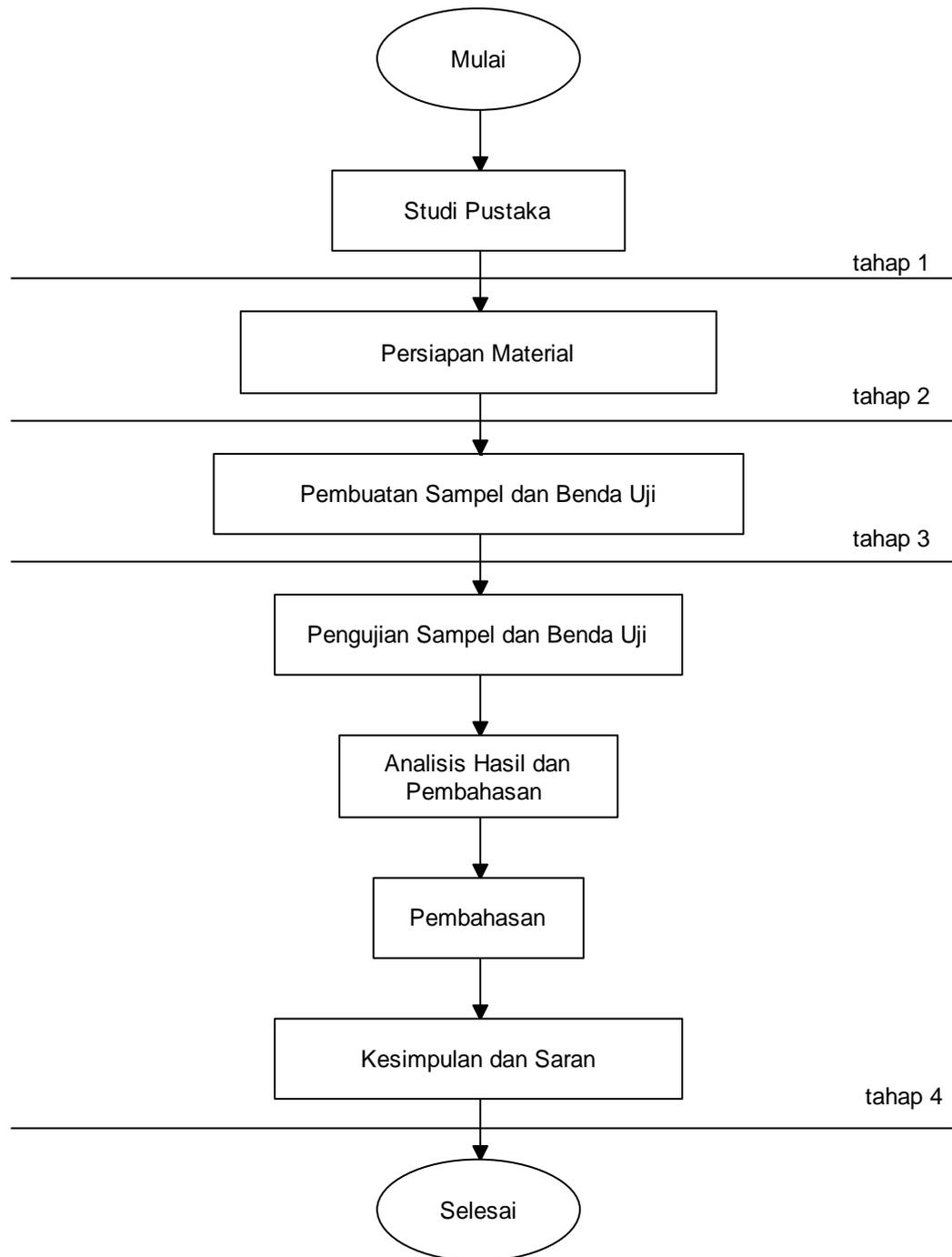
|                               |  |
|-------------------------------|--|
| $d$                           | = tinggi efektif balok (mm)                                      |
| $s$                           | = jarak antar tulangan (mm)                                      |
| $A_{s \text{ perlu}}$         | = luas tulangan tarik yang diperlukan ( $\text{mm}^2$ )          |
| $A_{s \text{ pasang}}$        | = luas tulangan tarik yang dipasang ( $\text{mm}^2$ )            |
| $P$                           | = tebal selimut beton (mm)                                       |
| $\emptyset_{\text{Sengkang}}$ | = diameter tulangan sengkang (mm)                                |
| $\emptyset_{\text{tu 1}}$     | = diameter tulangan lentur (mm)                                  |
| $\rho$                        | = rasio tulangan tarik non pratekan                              |
| $\rho_b$                      | = rasio tulangan pada kondisi seimbang<br><br>( <i>balance</i> ) |

### 3.3. Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14.



Gambar 3.13. Diagram alir pembuatan sampel benda uji.



Gambar 3.14. Diagram alir penelitian.

#### **IV. MATERIAL PROPERTIS DAN PENGUJIAN SAMPEL**

Pengujian material dilaksanakan di laboratorium struktur Universitas Lampung. Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa data yang dipakai dalam perhitungan teoritis telah sesuai dengan kemampuan material yang sebenarnya dan dibuktikan dengan hasil pengujian laboratorium, sehingga hasil yang didapatkan pada metode eksperimental dapat mempresentasikan hasil yang sebanding dengan perhitungan teoritis. Selain itu dilakukan juga pengujian sampel silinder yang juga dilakukan di laboratorium struktur Universitas Lampung, pengujian ini meliputi uji kuat tekan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*).

##### **4.1. Pengujian Material (Sesuai Standar ASTM)**

Untuk merencanakan kuat tekan beton sebesar 25 MPa, maka diperlukan pengujian terhadap material yang akan dipakai dalam penelitian. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data-data pendukung sebagai acuan dalam melakukan perhitungan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian material agregat kasar yang berasal dari daerah tanjungan Lampung Selatan dan pengujian material agregat halus yang berasal dari Gunung Sugih dan juga dilakukan pengujian untuk kuat tarik tulangan dan

pengujian kuat tarik *wiremesh*. Hasil dari pengujian material dapat dilihat pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Hasil pengujian agregat

| No | Nama Pengujian                  | Hasil   | Referensi    |
|----|---------------------------------|---|--------------|
| 1  | Gradasi Agregat Halus           | Fm =3   | ASTM C33-03  |
| 2  | Gradasi Agregat Kasar           | Fm =6.016   | ASTM C33-03  |
| 3  | Kadar Pumpur Agregat Halus      | 0.49 %  | ASTM C117-03 |
| 4  | Berat Volume Agregat Halus      | Padat= 1492 Kg/M <sup>3</sup><br>Gembur= 1229 Kg/M <sup>3</sup> | ASTM C29     |
| 5  | Berat Volume Agregat Kasar      | Padat= 1486 Kg/M <sup>3</sup><br>Gembur= 1292 Kg/M <sup>3</sup> | ASTM C29     |
| 6  | BJ dan Penyerapan Agregat Halus | Persentase Absorpsi =<br>0.81 %                                 | ASTM C128    |
| 7  | BJ dan Penyerapan Agregat Kasar | Persentase Absorpsi =<br>2.73 %                                 | ASTM C127    |
| 8  | Pemeriksaan <i>Los Angeles</i>  | Keausan = 17.95 %   | ASTM C131    |
| 9  | Kadar Air Agregat Halus         | 2.56 %  | ASTM C70     |
| 10 | Kadar Air Agregat Kasar         | 1.56 %  | ASTM C 566   |

#### 4.1.1. Pengujian tulangan

Tulangan yang dipakai dalam penelitian ini adalah tulangan dengan diameter 9 mm. sebelum digunakan sebagai material dalam penelitian ini, tulangan terlebih dahulu diuji menggunakan alat uji *digimax UTM* milik laboratorium Universitas Lampung, dengan sampel tulangan sepanjang 30 cm. dari pengujian diperoleh kuat leleh tulangan sebesar 406 MPa dan  $f_u$  sebesar 551 MPa.

#### 4.1.2 Pengujian Wiremesh

*Wiremesh* yang digunakan adalah *wiremesh* dengan diameter 0.53 mm dengan bukaan 6 mm, *wiremesh* akan diuji kuat leleh nya sebelum digunakan sebagai material perkuatan. *Wiremesh* dipotong selebar 5 cm dan sepanjang 30 cm. *wiremesh* diuji menggunakan alat uji *digimax* UTM. Dari hasil pengujian sampel *wiremesh* diperoleh untuk kuat leleh *wiremesh* sebesar 250 MP<sub>a</sub>.

#### 4.2 Pengujian Silinder

Pengujian silinder dilakukan pada umur ke 28 hari, beton yang telah *dicuring* lalu *dicapping* menggunakan belerang. Setelah itu silinder siap diuji dengan menggunakan alat uji CTM. Proses pengujian sampel silinder dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Beton silinder yang sedang diuji.

Hasil dari pengujian ini akan dijadikan acuan dalam perhitungan kekuatan nominal balok dalam metode teoritis. Hasil pengujian sampel silinder dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Hasil pengujian silinder

| CODE      | DATE      |           | AGE | MASSA | VOLUME      | AGE FACTOR | STRESS | LUAS      | Kuat Tekan (Mpa) |
|-----------|-----------|-----------|-----|-------|-------------|------------|--------|-----------|------------------|
|           | mix       | test      |     |       |             |            |        |           |                  |
| 1         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.3  | 2320.754717 | 1          | 420    | 0.0176625 | 23.77919321      |
| 1         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.24 | 2309.433962 | 1          | 480    | 0.0176625 | 27.17622081      |
| 1         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12    | 2264.150943 | 1          | 415    | 0.0176625 | 23.49610757      |
| 1         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.5  | 2358.490566 | 1          | 405    | 0.0176625 | 22.92993631      |
| 1         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.3  | 2320.754717 | 1          | 505    | 0.0176625 | 28.59164897      |
| 1         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.8  | 2415.09434  | 1          | 415    | 0.0176625 | 23.49610757      |
| 1         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.56 | 2369.811321 | 1          | 450    | 0.0176625 | 25.47770701      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.45 | 2349.056604 | 1          | 480    | 0.0176625 | 27.17622081      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.1  | 2283.018868 | 1          | 420    | 0.0176625 | 23.77919321      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.4  | 2339.622642 | 1          | 475    | 0.0176625 | 26.89313517      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.3  | 2320.754717 | 1          | 440    | 0.0176625 | 24.91153574      |
| 2         | 23-4-2019 | 21-5-2019 | 28  | 12.5  | 2358.490566 | 1          | 440    | 0.0176625 | 24.91153574      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.6  | 2377.358491 | 1          | 450    | 0.0176625 | 25.47770701      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 13    | 2452.830189 | 1          | 500    | 0.0176625 | 28.30856334      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 12.5  | 2358.490566 | 1          | 470    | 0.0176625 | 26.61004954      |
| 2         | 23-4-2018 | 21-5-2018 | 28  | 13.1  | 2471.698113 | 1          | 450    | 0.0176625 | 25.47770701      |
| 3         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.7  | 2396.226415 | 1          | 425    | 0.0176625 | 24.06227884      |
| 3         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.6  | 2377.358491 | 1          | 420    | 0.0176625 | 23.77919321      |
| 3         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.95 | 2443.396226 | 1          | 485    | 0.0176625 | 27.45930644      |
| 3         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.6  | 2377.358491 | 1          | 440    | 0.0176625 | 24.91153574      |
| 3         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.7  | 2396.226415 | 1          | 525    | 0.0176625 | 29.72399151      |
| 3         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.6  | 2377.358491 | 1          | 560    | 0.0176625 | 31.70559094      |
| 3         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 13    | 2452.830189 | 1          | 480    | 0.0176625 | 27.17622081      |
| 4         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 13    | 2452.830189 | 1          | 465    | 0.0176625 | 26.32696391      |
| 4         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 13.25 | 2500        | 1          | 510    | 0.0176625 | 28.87473461      |
| 4         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 13    | 2452.830189 | 1          | 490    | 0.0176625 | 27.74239207      |
| 4         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.85 | 2424.528302 | 1          | 610    | 0.0176625 | 34.53644728      |
| 4         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.6  | 2377.358491 | 1          | 455    | 0.0176625 | 25.76079264      |
| 4         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.83 | 2420.754717 | 1          | 460    | 0.0176625 | 26.04387827      |
| 4         | 24-4-2018 | 22-5-2018 | 28  | 12.8  | 2415.09434  | 1          | 465    | 0.0176625 | 26.32696391      |
| RATA-RATA |           |           |     |       |             |            |        |           | 26.43076197      |

### 4.3. Pembuatan Balok Uji dan Perkuatan Pada Balok

#### 4.3.1 Pembuatan Balok

Dalam pembuatan benda uji bekisting dan tulangan dipersiapkan terlebih dahulu, oleskan terlebih dahulu oli ke dinding bekisting bagian dalam, oli akan berfungsi memudahkan pada saat pelepasan bekisting setelah beton mengeras, selanjutnya meletakkan beton tahun sebagai jagaan supaya tulangan tidak menempel ke dinding bekisting sekaligus memberikan jarak tepi terluar beton. Lalu selanjutnya memasukan tulangan kedalam bekisting dan meletakkan dengan benar.



Gambar 4.2 Pemasangan tulangan kedalam bekisting.

Pastikan bahwa *strain gauge* terpasang dengan baik dan letak pemasangan telah sesuai di daerah lentur. Setelah tulangan dipasang kedalam bekisting, maka buat pengaku di bagian atas bekisting, hal ini bertujuan agar bekisting tidak mengalami lendutan ketika dicor akibat menahan beban. Dalam penelitian ini pengaku dipasang

sebanyak 3 buah, setiap pengaku memiliki jarak 40 mm, pengaku terbuat dari multiplek yang dipotong dengan ukuran panjang 160 mm dan lebar 30 mm.



Gambar 4.3 Pemasangan pengaku di sisi pinggir.

Setelah pemasangan pengaku selesai, maka bekisting telah siap untuk digunakan.



Gambar 4.4 Bekisting yang siap digunakan.

Selanjutnya adalah proses *mixing* adukan beton, jika agregat telah tercampur secara merata, maka beton segar dapat dikeluarkan dari mesin *mixer* untuk dilakukan uji *slump*.



Gambar 4.5 Pencampuran agregat.

Uji *slump* dilakukan untuk mengetahui apakah campuran tersebut telah sesuai dengan perencanaan pada *mix design* dan juga sebagai *control* kualitas beton. Cara melakukan uji *slump* yaitu dengan memasukan beton segar kedalam kerucut *abrams*, dimasukan dengan 3 kali penumbukan, dilakukan secara bertahap dengan setiap tahap dimasukan sepertiga tinggi kerucut dan ditamper sebanyak 25 kali dalam setiap tahap dilakukan sampai kerucut *abrams* penuh. Melakukan uji *slump* dengan cara menarik secara perlahan kerucut *abrams*. Melakukan pengukuran terhadap hasil uji *slump* menggunakan mistar seperti terlihat digambar dibawah ini.



Gambar 4.6 Pengukuran *slump*.

Menyiapkan adukan untuk dimasukkan kedalam bekisting.



Gambar 4.7 Pengecoran.

Mengisi bekisting hingga penuh sampai benar benar tertutupi seluruhnya. Lalu memadatkan adukan beton menggunakan *vibrator*.



Gambar 4.8 Pemadatan beton.

Setelah proses pengisian telah selesai, maka dilanjutkan dengan menutup bekisting menggunakan plastik, hal ini bertujuan untuk mengurangi penguapan yang berlebihan pada saat proses hidrasi sehingga mencegah timbulnya retak-retak rambut.



Gambar 4.9 Penutupan beton menggunakan plastik.

Penutupan menggunakan plastik juga dilakukan kepada sampel uji kubus. Sampel kubus akan diuji bersamaan dengan balok saat pengujian, hal ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton pada saat balok diuji. Setelah balok dilepas dari bekisting selanjutnya balok akan di *curing* (masa perawatan) selama 28 hari menggunakan kain geotextile. Balok akan diselimuti oleh *geotextile* dan balok akan dibasahi setiap pagi hari dan sore hari. Berikut ini adalah proses *curing* pada balok.



Gambar 4.10 *Curing* dengan menggunakan *geotextile*.

Setelah proses pembuatan balok telah selesai, tahap selanjutnya adalah pengeleman perkuatan terhadap balok, pengeleman perkuatan terhadap balok menggunakan epoxy dengan campuran yang terlebih dahulu dihitung proporsinya. Pengeleman perkuatan terhadap balok dilakukan pada saat umur balok mencapai umur 21 hari. Hal ini bertujuan agar pada saat umur 28 hari lem telah benar benar merekat ke badan balok. Proses pertama yang dilakukan yaitu mengambil epoxy untuk dilakukan penimbangan masing masing komponen

campuran, penimbangan dilakukan menggunakan timbangan dengan ketelitian 1 gram.



Gambar 4.11 Menimbang epoxy.

Setelah mendapat komposisi masing masing komponen, maka epoxy tersebut perlu diaduk hingga merata. Proses pengadukan yang kami lakukan dibantu menggunakan *mixer*.



Gambar 4.12 Mengaduk epoxy.

Setelah itu menempelkan perkuatan FRP kebalok menggunakan lem dan ditambah penjepit supaya perkuatan dan balok benar-benar

merekat dengan sempurna. Proses penempelan perkuatan pada balok dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4.13 Penempelan perkuatan pada balok.

#### 4.4. Pengujian Balok

Balok yang telah berumur 28 hari dilakukan pengujian kuat lentur menggunakan alat uji *loading frame*. Balok akan dibebani sampai mengalami kegagalan. Dalam pengujian ini dibutuhkan 4 orang untuk membaca *strain indicator*, *dial gauge*, *proving ring* dan untuk memompa alat uji *loading frame*. Perlu adanya pemasangan baja I sebagai tumpuan untuk *proving ring*. Berat dari baja I tersebut seberat 36 kg.



Gambar 4.14 Peletakan balok ke tumpuan.

Melakukan pemasangan *proving ring* sebagai acuan dalam pembacaan beban.



Gambar 4.15 Pemasangan *proving ring*.

Melakukan pemasangan *dial gauge*. *Dial gauge* berfungsi untuk membaca lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja secara terus-menerus terhadap balok.



Gambar 4.16 Pemasangan *dial gauge*.

Memompa alat uji *UTM* untuk memulai melaksanakan uji balok.



Gambar 4.17 Pompa hidraulik.

Membaca dan mencatat pergerakan *strain gauge* menggunakan alat *strain indicator*.



Gambar 4.18 Pembacaan *strain indicator*.

Mencatat angka yang ditunjukkan oleh *dial gauge*, angka ini merupakan besarnya defleksi yang diakibatkan beban yang bekerja pada balok.



Gambar 4.19 Pembacaan defleksi pada *dial gauge*.

Pembebanan pada *proving ring* dilakukan setiap 5 divisi atau setara 380 kg dan dilakukan secara konstan. Pembebanan dilakukan menggunakan pompa *hidraulik* dengan memperhatikan angka pada bacaan *proving ring*.



Gambar 4.20 Bacaan beban pada *proving ring*.

Pada saat balok menahan beban secara terus-menerus, maka akan muncul retak-retak dibadan balok dan akan terus semakin banyak seiring dengan bertambahnya beban. Retak-retak tersebut dibaca lebarnya menggunakan *microcrack* dan digambar pola retaknya.



Gambar 4.21 Pembacaan besaran retak dengan *microcrack*.

Beton yang telah gagal akan menunjukkan retak yang besar lebih dari 200 divisi bacaan di *microcrack*.



Gambar 4.22 Retak pada balok.

Kegagalan yang terjadi terhadap balok setelah dilakukan pembebanan secara terus-menerus adalah lepasnya perkuatan pada salah satu bagian ujung balok (*debonding*).



Gambar 4.23 Kegagalan pada balok.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 KESIMPULAN

Dari analisa hasil penelitian dan teori yang telah dilakukan dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Perhitungan secara teoritis untuk balok normal tanpa perkuatan mampu menahan beban sebesar 1923 kg, dan untuk perhitungan secara teoritis balok dengan pekuatan *GFRP* dan *wiremesh* mampu menahan beban sebesar 6587 kg.
2. Untuk hasil metode eksperimental balok normal mampu menahan beban sebesar 2310 dan 2650 kg, sedangkan untuk balok perkuatan dengan sampel pengujian Balok GWWG 1 mampu menahan beban sebesar 5448 kg, untuk balok uji dengan sampel GWWG 2 mampu menahan beban sebesar 5145 kg, balok dengan sampel GGWW 1 mampu menahan beban sebesar 4540 kg, dan untuk balok dengan sampel GGWW 2 mampu menahan beban sebesar 5675 kg.
3. Hasil perhitungan  $P_{cr}$  secara teoritis untuk balok normal sebesar 597 kg, untuk sampel balok GWWG 1 dan GWWG 2 sebesar 606 kg dan untuk balok dengan nama sampel GGWW 1 dan GGWW 2 sebesar 605 kg.

4. Hasil uji eksperimental untuk  $P_{cr}$  dari setiap balok menunjukkan hasil yang berbeda dengan perhitungan secara teoritis, untuk balok normal,  $P_{cr}$  terjadi pada beban 1135 kg, untuk balok GWWG 1 terjadi pada beban 1589 kg, untuk balok GWWG 2 pada beban 1891 kg, untuk balok GGWW 1 pada beban 757 kg, dan untuk balok GGWW 2 pada beban 1513 kg. Perbedaan pada hasil analisis dan eksperimental disebabkan tidak adanya peralatan yang dapat membaca hasil pengujian secara *continue* pada saat metode eksperimental, untuk suara retak yang pertama kali terdengar pada saat pengujian itulah yang dianggap sebagai  $P_{cr}$  sehingga untuk hasil yang diperoleh masih kurang teliti.
5. Defleksi pada saat metode ekperimental untuk balok normal sebesar 27,29 mm pada beban 2270 kg, untuk balok GWWG 1 defleksi yang terjadi akibat beban yang bekerja sebesar 5448 kg pada balok sebesar 24,06 mm, pada balok GWWG 2 defleksi yang muncul sebesar 14,62 mm pada beban 5145 kg, dan pada beban maksimum 4540 kg defleksi pada balok GGWW 1 sebesar 15,14 mm, dan untuk balok GGWW 2 besar defleksi yang terjadi sebesar 16,55 mm terjadi pada beban 5675.
6. Pada beban 2421 kg balok normal, regangan yang terjadi pada tulangan baja sebesar 0.0020, besar regangan untuk *concrete* bagian atas (*top*) sebesar 0.001394 dan untuk regangan *concrete* bagian samping sebesar 0.0009.
7. Pada beban 5448 kg pada balok GWWG 1 regangan yang terjadi untuk tulangan baja sebesar 0,001782, selanjutnya besar regangan untuk *concrete* pada bagian atas (*top*) sebesar -0,002412, regangan untuk GFRP

- sebesar 0,001030 dan untuk regangan *concrete* bagian samping sebesar -0,001405.
8. Pada balok GWWG 2 dengan beban yang dicapai sebesar 5245 kg, regangan yang terjadi pada tulangan baja sebesar 0,001965, pada *concrete* bagian atas (*top*) sebesar -0,001121, regangan untuk *GFRP* pada beban 0.2 sebesar 0,001194, *straingauge* pada *GFRP* yang dipasang pada balok GWWG 2 ini mengalami kerusakan sehingga data yang mampu dicatat *strain indicator* hanya sebatas beban 1513 kg, dan untuk regangan *concrete* bagian samping sebesar -0,000962.
  9. Untuk balok GGWW 1 dengan beban 4540 kg besar regangan untuk *concrete* bagian atas (*top*) sebesar -0,001460, regangan untuk *GFRP* sebesar 0,004179 dan untuk regangan *concrete* bagian samping sebesar -0,001349. Pada balok GGWW 1 ini *strain gauge* yang dipasang pada tulangan mengalami *error* pada bacaan beban 605 kg, sehingga regangan untuk tulangan baja yang diperoleh sebesar 0,002752.
  10. Regangan pada balok GGWW 2 saat beban mencapai 5675 kg, regangan yang terjadi untuk tulangan baja sebesar 0,001755, pada *concrete* bagian atas (*top*) sebesar -0,002864, regangan untuk *GFRP* sebesar 0,005373 dan untuk regangan *concrete* bagian samping sebesar -0,001627.
  11. Indeks daktilitas pada balok normal sebesar 7,7 , indeks daktilitas untuk balok GWWG 1 adalah 1.33, indeks daktilitas pada balok GWWG 2 adalah 1, untuk balok GGWW 1 sebesar 1, dan untuk balok GGWW 2 sebesar 1. Dari nilai daktilitas indeks dapat diambil kesimpulan bahwa

balok tanpa perkuatan lebih daktail jika dibandingkan dengan balok dengan perkuatan.

12. Pola retak yang terjadi pada semua pengujian balok uji dalam penelitian ini adalah pola retak lentur, hal ini ditunjukkan dari adanya retakan-retakan yang arah rambatannya tegak lurus terhadap sumbu memanjang balok.
13. Model keruntuhan yang terjadi pada balok normal adalah keruntuhan lentur, sedangkan untuk balok dengan adanya penambahan perkuatan *GFRP* dan *wiremesh* adalah keruntuhan lentur bersama lepasnya (*debonding*) perkuatan pada ujung balok.
14. Beban aman sebelum terjadinya kegagalan pada balok dengan perkuatan *GGWW* sebesar 4,9 ton, beban ini turun 25% dari beban desain, untuk balok dengan perkuatan *GGWW* sebesar 5,01 ton, pada balok *GGWW* penurunan beban yang terjadi sebesar 24% dari beban desain, dan untuk balok normal sebesar 2,2 ton, penurunan beban pada balok normal sebesar 8% dari beban desain. Besarnya peningkatan beban aman untuk balok yang diberikan perkuatan yaitu sebesar 120% dari balok normal.

## 6.2 SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan perlakuan kombinasi yang berbeda untuk mengetahui lebih mendalam tentang pengaruh *GFRP* dan *wiremesh* terhadap kekuatan balok.

2. Perlu adanya pengujian menggunakan metode pengeleman yang lain, sebab ada indikasi kurang lekatnya lem terhadap beton diakibatkan proses penempelan perkuatan pada balok.
3. Untuk penelitian yang selanjutnya sebaiknya dalam proses memasang *strain gauge* dibantu menggunakan kaca pembesar agar resiko kerusakan terhadap *strain gauge* pada saat pemasangan semakin kecil.
4. Untuk penelitian selanjutnya agar penelitian dapat dilakukan dengan memasangkan angkur pada ujung balok agar tidak terjadi *debonding* atau lepasnya perkuatan pada balok.
5. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dipasang kawat pengait agar balok dapat diangkat dengan *crain* agar pada saat mobilisasi balok menjadi lebih mudah.
6. Perlu adanya penelitian lanjutan menggunakan jenis serat dan lem yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Universitas Lampung., 2018. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Unila Offset. Bandar Lampung.
- ACI Committee 440-2R., 2008. *Guide of for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. America : American Concrete Institute.
- Alami, F., 2010. *Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforce Polymer (GFRP)*. Seminar dan Pameran HAKI. Jakarta.
- Amiruddin, AA., 2014. *Metode Retrofit dengan Wiremesh dan Scs Untuk Peningkatan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang 1 Jurusan Teknik Sipil. Universitas Hasanuddin : Makassar*
- Basuki, Ariyadi., 2005. *Sistem Penguatan Struktur Beton Menggunakan Serat Polimer (Fiber Reinforced Polimer)*. Bandung : Berita Teknologi Bahan dan Barang Teknik No. 19
- Djamaludin, R. et al., 2009. *Pengaruh Lapisan Hybrid Serat Karbon dan Serat Glass Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang*.
- AL, Sulyfani. Mahmood, S. M, Abdullah., 2013. *Influence of Number of Wire Mesh Layers on the Behavior Strengthened Reinforced Concrete Columns. Department College of Engineering Mosul University*
- Gangarao, Hota V. S. Narendra Taly. P. V. Vijay., 2006. *Reinforced Concrete Design With FRP Composites*. London : CRC Press
- Gere, James M. Stephen. Timoshenko., 1972. *Mekanika Bahan Jilid 1. Department of Civil Engineering Stanford University . California*
- Kristianto. Anang. Aji Pranata, W. Imran, I., 2016. *Studi Eksperimental Penggunaan Pen Binder dan FRP sebagai Perkuatan Tulangan Tidak Standar pada Kolom Lingkaran*. Bandung
- McDanie, P.E., 2014. *Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites*. America: American Composites Manufacturers Association.

- Nawy , EG., 2003. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Penerbit Refika Aditama. Bandung.
- Petrico G. Ireneus., 2013. *Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP*. Malang
- Park R, Pauley T ., 1975. *Reinforced Concrete Structure*. John Wiley and Sons Inc.
- Santoso, Jasmono B., 2017. *Uji Perkuatan Balok Beton dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Akibat Beban Lentur*. Jurusan Teknik Sipil UM. Malang.
- SNI 2847 : 2013. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Bandung. Standar Nasional Indonesia
- Sudarsana, Widiarsa., 2008 *Perilaku Runtuh Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Lapis Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP) Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* .Universitas Udayana. Denpasar.
- Sultan, Mufti Amir et al., 2015. *Pengaruh Air Laut Air Terhadap Lapisan Lentur Balok Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. Vol 12 No 1
- S.U Khan, S.F.A. Rafeeqi. T, Ayub., (2013). *Strengthening of RC Beams in Flexure using Ferrocement*. IJST, Transactions of Civil Engineering, Vol. 37, No. C+, pp 353-365
- Taufikurrahman, P., 2013. *Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Balok Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Strips*. Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sistem. Vol. 10 No.3.
- US Army Research Laboratory., 2002. *Composite Materials Handbook Volume 3, Polymer Matrix Composites Materials Usage, Design, And Analysis*. Department of Defense Handbook MIL-HDBK-17-3F. USA.