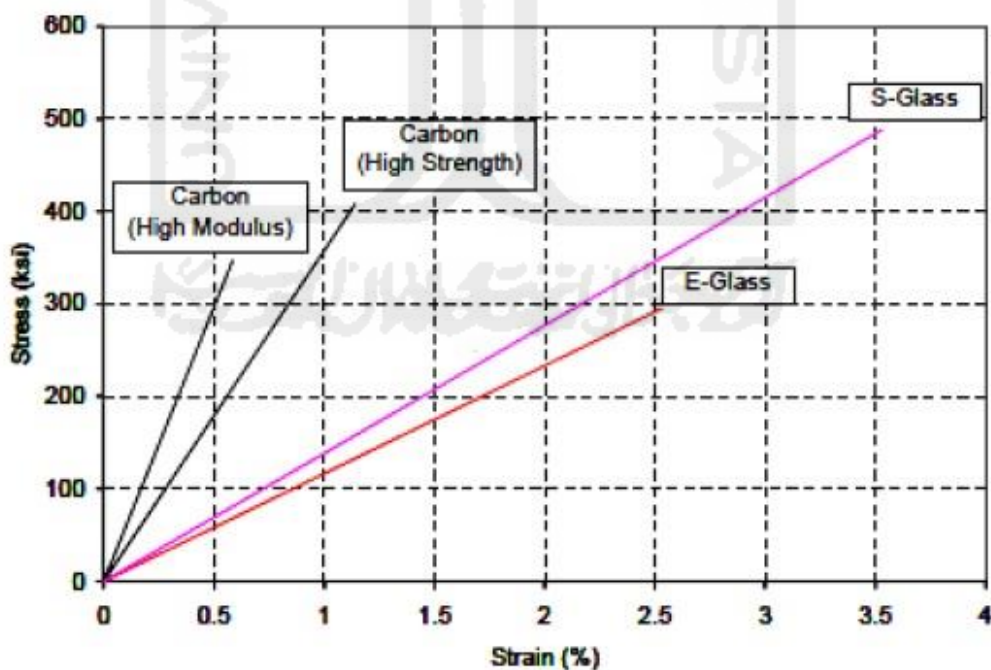


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER (GFRP)

*Fibre Reinforced Polymer (FRP)* adalah inovasi perkuatan komposit yang saat ini banyak digunakan sebagai perkuatan eksternal tambahan pada struktur karena sifatnya setelah dipasang pada struktur beton mampu menghilangkan kekurangan beton yang getas menjadi struktur yang *ductile*. Dua jenis serat yang umum digunakan untuk perkuatan struktur adalah *Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP)* dan *Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP)*.

Komposit serat kaca adalah jenis serat yang relatif lebih murah dibanding serat karbon dan serat aramid. Serat kaca memiliki regangan yang lebih besar dibandingkan serat karbon (Parmo dan Taufikurrahman, 2014). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sifat mekanis serat kaca dan serat karbon  
(Sumber : Parmo dan Taufikurrahman, 2014)

*Glass Fibre Reinforced Polymer (GFRP)* adalah material komposit yang terdiri dari *fibre* (serat) *glass* yang disatukan zat matrik, seperti *epoxy* atau *polyester*. Matrik itu sendiri berfungsi sebagai media penyalur tegangan ke serat dan melindungi serat dari pengaruh lingkungan yang agresif (William, 2014). Material ini cukup memiliki banyak keuntungan yang dapat diberikan yaitu merupakan material yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas, lebih ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk dibawa ke lokasi.

Beberapa jenis serat kaca yang tersedia di pasaran adalah sebagai berikut.

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

Serat *glass* adalah jenis serat sintesis yang paling banyak digunakan. Harganya relatif murah dan sudah tersedia cukup banyak di pasaran. Serat jenis ini biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polymer (William, 2014).

## **2.2 RETROFITTING, PERBAIKAN ARSITEKTUR (REPAIR), RESTORASI (RESTORATION), PERKUATAN (STRENGTHENING)**

### **2.2.1 Retrofitting**

Tujuannya adalah memperbaiki struktur bangunan tanpa harus merubah wajahnya. Tindakan *retrofit* terhadap sebuah bangunan dapat dilakukan asal memenuhi beberapa pertimbangan berikut.

1. Bangunan yang mempunyai nilai sejarah atau bersifat monumental yang perlu dilestarikan.
2. Biaya *retrofit* masih relatif kecil atau biaya pembangunan baru tidak mencukupi dalam hal:
  - a. bangunan lama yang mengalami penurunan kualitas/cacat pada komponen/elemen struktur atau *non*-struktur akibat umur, bencana, (seperti kebakaran, gempa, angin, banjir),
  - b. bangunan lama yang mengalami perubahan fungsi, dan
  - c. bangunan baru atau masih dalam tahap konstruksi yang mengalami kegagalan akibat kesalahan pelaksanaan atau perencanaan.
3. Pembongkaran tidak dapat dilakukan karena tidak tersedianya teknologi pembongkaran (*demolishing*), tidak tersedianya tempat akhir pembuangan, bangunan lama harus segera berfungsi karena pertimbangan nilai ekonomis (Amri, 2006).

### **2.2.2 Perbaikan Arsitektur (Repair)**

Tujuannya adalah mengembalikan bentuk arsitektur bangunan agar semua perlengkapan/peralatan dapat berfungsi kembali. Tindakan-tindakan yang termasuk jenis ini:

1. menambal retak-retak pada tembok, plesteran, dan lain-lain,
2. memperbaiki pintu-pintu, jendela-jendela, mengganti kaca, dan lain-lain,
3. memperbaiki kabel-kabel listrik,
4. memperbaiki pipa-pipa air, pipa gas, saluran pembuangan,
5. membangun kembali dinding pemisah, cerobong, pagar, dan lain-lain,
6. memplester kembali dinding,

7. mengatur kembali genteng-genteng, dan
8. mengecat ulang (Dirjen Cipta Karya, 2006).

### 2.2.3 Restorasi (*Restoration*)

Tujuannya adalah melakukan perbaikan pada struktur penahan beban. Tindakan-tindakan yang termasuk jenis ini:

1. menginjeksi air semen atau bahan-bahan epoxy (bila ada) kedalam retak-retak kecil terjadi pada dinding pemikul beban, balok, maupun kolom. Retak kecil adalah retak yang mempunyai lebar kecil antara 0,075 cm dan 0,6 cm,
2. penambahan jaringan tulangan pada dinding pemikul balok, maupun kolom yang mengalami retak besar kemudian diplester kembali. Retak besar adalah retak yang mempunyai lebar celah lebih besar dari 0,6 cm, dan
3. membongkar bagian-bagian dinding yang terbelah dan menggantikannya dengan dinding baru dengan spesi yang lebih kuat dan dijangkar pada portal.

Teknik restorasi:

1. pengisian bagian yang retak (tidak dalam) dengan adukan semen, dan
2. jaringan kawat ayam pada bagian yang retak (dalam).

Teknik restorasi pada kolom:

1. untuk kolom yang mengalami retak sedang, bagian yang rusak dibobok dan dibersihkan, setelah itu dicor kembali, dan
2. untuk kolom yang rusak berat, yaitu kolom yang berkurang kekuatannya berdasarkan pengamatan dan perhitungan, bagian yang rusak dibobok dan setelah itu (kalau perlu) kolom dibungkus dengan tambahan tulangan baru dan sengkang, kemudian dicor kembali (Dirjen Cipta Karya, 2006).

### 2.2.4 Perkuatan (*Strengthening*)

Tujuannya adalah peningkatan dari kekuatan semula. Tindakan-tindakan yang termasuk jenis ini adalah:

1. menambah daya tahan terhadap beban lateral. Dengan jalan menambah dinding, menambah kolom, dan lain-lain,

2. menjadikan bangunan sebagai satu kesatuan dengan jalan mengikat semua unsur-unsur penahan beban satu dengan yang lainnya,
3. menghilangkan sumber-sumber kelemahan atau yang bisa menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan dibagian-bagian tertentu. Diantaranya : penyebaran letak kolom yang tidak simetris, penyebaran letak dinding yang tidak simetris, bukaan-bukaan yang berlebihan, dan
4. menghindari terjadinya kehancuran getas dengan cara memasang tulangan sesuai dengan detail-detail untuk mencapai daktilitas yang cukup (Dirjen Cipta Karya, 2006).

### **2.3 PERKUATAN DENGAN GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER**

Menurut Fikri A dan Ratna W (2010), dalam penelitiannya yang berjudul “Studi Eksperimental Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Dengan *GFRP* (*Glass Fibre Reinforced Polymer*)”, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pemasangan *GFRP* terhadap peningkatan kekuatan geser balok beton bertulang dan mempelajari perilaku retak balok beton bertulang tanpa perkuatan dengan balok beton bertulang yang diberi perkuatan menggunakan *GFRP*. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan dari hasil uji laboratorium variasi pemasangan *GFRP*, balok-balok BP1-FRP3 dan BP1-FRP5 mengalami peningkatan kekuatan, masing-masing sebesar 14.46 % dan 20.13 % terhadap balok BP1. Akan tetapi, secara teori balok tersebut tidak mengalami peningkatan kekuatan geser dikarenakan balok mengalami keruntuhan lentur terlebih dahulu (belum mencapai keruntuhan geser). Keruntuhan lentur yang terjadi secara teori mengakibatkan setiap balok mempunyai kemampuan beban maksimum yang sama pada saat balok runtuh karena jumlah dan dimensi tulangan serta dimensi penampang dan mutu beton sama pada setiap baloknya.
2. Penurunan kapasitas beban terjadi pada balok BP yang diperkuat yaitu balok BP-FRPC. Hal tersebut diakibatkan adanya penurunan mutu beton

pada BP-FRPC karena terjadi kesalahan dalam pelaksanaan pembuatan campuran beton pada benda uji.

3. Peningkatan kekakuan terjadi pada balok BP1-FRP3 dan BP1-FRP5 terhadap balok pembandingnya (BP1). Peningkatan daktilitas hanya terjadi pada balok BP1-FRP5, sedangkan pada balok BP1-FRP3 menurun kedaktilannya. Pada balok BP yang diperkuat (BP-FRPC) terjadi penurunan kekakuan dan daktilitasnya. (lihat Gambar 6 dan Lampiran 2)
4. Secara teori, jika balok mengalami keruntuhan geser, maka perkuatan *GFRP* dapat memberikan sumbangan kekuatan masing-masing sebesar 48.42 % untuk BP-FRPC, 19.182 % untuk BP1-FRP3, dan 28.581% untuk BP1-FRP5.
5. Penambahan *GFRP* pada kedua sisi balok sepanjang bentang geser mempengaruhi pola retak yang terjadi. Retak pada beton beralih/terjadi ke posisi yang tidak ada perkuatan *GFRP*. Hal tersebut membuat beton bertambah kedaktilannya. Dilihat dari pola retaknya, keruntuhan geser-lentur hanya terjadi pada balok BP saja, selebihnya mengalami keruntuhan lentur.
6. Keruntuhan lentur yang terjadi disebabkan oleh beberapa hal, antara lain sebagai berikut.
  - a. dimensi/jumlah tulangan lentur yang terlalu kecil seharusnya  $\rho > \rho_{balance}$ ,
  - b. bentang geser yang terlalu panjang seharusnya  $2,5 < a/d \leq 5,5$  , dan
  - c. dimensi balok yang terlalu besar.

Akibat hal tersebut,  $P_{lentur\ max}$  yang dihasilkan lebih kecil dari pada  $P_{geser\ max}$ , sehingga keruntuhan lentur terjadi terlebih dahulu sebelum tercapainya keruntuhan geser.

Menurut Fitriana dkk (2012), dalam penelitiannya yang berjudul “Perkuatan Kolom Bulat Dari Beton Bertulang Dengan Menggunakan *Glass Fibre Reinforced Polymer Sheet*”, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan lapis *GFRP* terhadap peningkatan kapasitas beban lentur kolom bulat beton bertulang.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya peningkatan kapasitas beban aksial dengan penambahan 1 lapis *GFRP-S jacketing* dan 2 lapis *GFRP-S jacketing* masing-masing sebesar 30.0% dan 42.1% terhadap kolom bulat beton bertulang normal, peningkatan kapasitas beban lentur dengan penambahan 1 lapis *GFRP-S jacketing* dan 2 lapis *GFRP-S jacketing* masing-masing sebesar 114.5 % dan 156.5 % terhadap kolom bulat beton bertulang normal dan model kegagalan yang terjadi adalah kegagalan geser pada kolom bulat beton bertulang normal dan model kegagalan yang terjadi pada kolom bulat beton bertulang dengan *GFRP-S jacketing* adalah kegagalan lentur dan sobeknya *GFRP-S* setelah tulangan tarik meleleh (*rupture failure of GFRPS*).

Menurut Ginardi (2014), dalam penelitiannya yang berjudul “Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan *CFRP* Dan *GFRP*”, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beban maksimal yang dapat ditahan balok dengan menggunakan perkuatan *CFRP* dan *GFRP*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa *CFRP* dan *GFRP* berpengaruh terhadap kuat lentur balok. Beban maksimal yang bisa ditahan balok dengan perkuatan *CFRP* maupun *GFRP* lebih besar dari pada beban maksimal yang dapat ditahan balok kontrol. *CFRP* lebih baik dalam menambah kekuatan lentur balok daripada *GFRP*. Pertambahan besar beban yang bisa ditahan balok BC dari balok kontrol lebih besar dari pertambahan beban BG dari balok kontrol. Hal ini dikarenakan mutu dan bahan dasar *CFRP* yang lebih baik dalam menahan beban daripada mutu dan bahan dasar *GFRP*. Selain itu, inersia penampang balok yang diperkuat *CFRP* lebih kecil daripada inersia dari balok yang diperkuat *GFRP*.

## 2.4 PERBANDINGAN PENELITIAN SEKARANG DAN PENELITIAN TERDAHULU

Tabel 2.1 Perbandingan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu

Penelitian Sebelumnya		Penelitian Sekarang
Peneliti	Substansi Penelitian	Substansi Penelitian
Fikri A Ratna W (2010)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengetahui pengaruh variasi pemasangan <i>GFRP</i> terhadap peningkatan kekuatan geser balok beton bertulang dan mempelajari perilaku retak balok beton bertulang tanpa perkuatan dengan balok beton bertulang yang diberi perkuatan menggunakan <i>GFRP</i></li> <li>2. Benda uji yang digunakan adalah balok beton bertulang.</li> <li>3. Perkuatan dilakukan sebelum balok diberi beban.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengetahui perilaku kerusakan kolom tanpa perkuatan tulangan sengkang menggunakan <i>GFRP</i>.</li> <li>2. Mengetahui perilaku kerusakan kolom dengan perkuatan tulangan sengkang menggunakan <i>GFRP</i>.</li> </ol>
Fitriana dkk (2012)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menganalisis kapasitas beban maksimum dan mode kegagalan yang terjadi pada kolom yang diperkuat dengan <i>GFRP-S jacketting</i>.</li> <li>2. Benda uji yang digunakan adalah kolom bulat beton bertulang spiral.</li> <li>3. Pemasangan <i>GFRP</i> dilakukan sebelum kolom bulat beton bertulang mengalami kerusakan.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Mengetahui beban maksimal yang dapat diterima kolom beton bertulang setelah diperkuat (<i>strengthening</i>) dengan <i>GFRP</i>.</li> </ol>
Ginardi (2014)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengetahui pengaruh <i>CFRP</i> dan <i>GFRP</i> terhadap perilaku lentur balok beton bertulang.</li> <li>2. Mengetahui perbandingan kekuatan balok dengan menggunakan <i>CFRP</i> dan <i>GFRP</i>.</li> <li>3. Benda uji yang digunakan adalah balok beton bertulang.</li> <li>4. Pemasangan <i>GFRP</i> dilakukan sebelum balok beton bertulang mengalami kerusakan.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Mengetahui pengaruh <i>GFRP</i> sebagai perkuatan sengkang sebagai pengekang pada kolom.</li> <li>5. Benda uji yang digunakan adalah kolom persegi beton bertulang.</li> </ol>



Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu

Penelitian Sebelumnya		Penelitian Sekarang
Peneliti	Substansi Penelitian	Substansi penelitian
		6. Bahan perkuatan ( <i>strengthening</i> ) dipasang sebelum kolom mengalami kerusakan dan hanya dipasang di daerah lapangan kolom.

## 2.5 KEASLIAN PENELITIAN

Pada penelitian-penelitian yang telah dipaparkan di atas, memiliki topik-topik yang berbeda. Pada penelitian Fikri A dan Ratna W (2010) dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi pemasangan *GFRP* terhadap peningkatan kekuatan geser balok beton bertulang dan mempelajari perilaku retak balok beton bertulang tanpa perkuatan dengan balok beton bertulang yang diberi perkuatan menggunakan *GFRP*. Penelitian Fitriana dkk (2012) dilakukan untuk menganalisis kapasitas beban maksimum dan mode kegagalan yang terjadi pada kolom bulat beton bertulang dan mengetahui pengaruh penambahan lapis *GFRP* terhadap peningkatan kapasitas beban lentur kolom bulat beton bertulang yang belum mengalami kerusakan. Penelitian Ginardi (2014) dilakukan untuk mengetahui pengaruh dan perbandingan *CFRP* dan *GFRP* terhadap perilaku dan kekuatan balok beton bertulang.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan saat ini adalah untuk mengetahui perilaku kerusakan kolom dengan dan tanpa perkuatan tulangan sengkang menggunakan *GFRP*, mengetahui beban maksimal yang mampu ditahan kolom setelah diperkuat dengan *GFRP*, dan mengetahui pengaruh *GFRP* terhadap perkuatan sengkang sebagai pengekang pada kolom.

Penelitian ini terdapat perbedaan nyata dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya, sehingga memberikan kontribusi terhadap rekayasa konstruksi pada struktur kolom beton bertulang.

