

# PERKUATAN STRUKTUR DENGAN CARBON FIBER REINFORCED POLYMER

Hartono Hioe \*

## ABSTRACT

*Now often, the strengthening is needed for few reasons such as the structure changes to carry the higher load and the error in construction.*

*Many of the strengthening methods that can be found, however, Strengthening with the Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) methods are more popular nowadays. CFRP method has to be done with a correct comprehension in the design and execution of the strengthening.*

*Keywords : strengthening, design, competent, carbon.*

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini para praktisi kontruksi dihadapkan dengan makin banyaknya struktur yang membutuhkan perkuatan, dengan bermacam alasan seperti :

- Perubahan fungsi struktur bangunan yang membutuhkan kapasitas menahan beban yang lebih tinggi.
- Adanya beban yang tidak diantisipasi pada perencanaan awal.
- Kesalahan dalam pelaksanaan (misal kesalahan pemasangan tulangan atau mutu beton yang tidak sesuai dengan perencanaan)

Banyak perkuatan yang dilakukan pada struktur yang sedang digunakan, sehingga gangguan pada saat pelaksanaan perkuatan harus minimal sekali dan dilaksanakan dalam waktu secepat mungkin, maka seringkali perkuatan yang dilakukan tidak direncanakan dengan baik dan juga tidak memperhatikan beberapa kaidah, prosedur dan kontrol pelaksanaan.

Oleh sebab itu untuk mendapatkan hasil perkuatan yang tepat guna dan mencapai sasaran yang telah ditetapkan, maka diperlukan beberapa pertimbangan dalam melakukan perkuatan dengan melalui tahapan investigasi, analisa dan evaluasi serta kontrol pelaksanaan, dimana semua tahapan ini adalah sangat penting dan tidak ada satupun tahapan yang boleh diabaikan, dan harus dilakukan oleh pihak-pihak yang kompeten dan profesional dalam bidangnya.

---

\* Target Market Manager Refurbishment – PT Sika Indonesia

## 2. PERTIMBANGAN PERKUATAN

Tujuan perkuatan pada struktur beton, adalah untuk meningkatkan kapasitas dari struktur dalam menahan beban yang diperlukan baik akibat perubahan fungsi maupun beban yang baru.

Proses perencanaan perkuatan :

- Review Struktur  
Review dokumen perencanaan, pelaksanaan dan perhitungan, yang diverifikasi dengan inspeksi lapangan dan beberapa non-destructive test apabila diperlukan, untuk mengetahui pembebanan yang ada dan karakteristik material yang digunakan.
- Analisa Struktur  
Menentukan tipe dan berapa besar kekurangan kapasitas yang perlu diperkuat, dengan membandingkan antara kapasitas awal dengan kapasitas yang dibutuhkan sekarang.
- Metode dan Material Perkuatan  
Penentuan metode dan material perkuatan yang tepat dengan mempertimbangkan pelaksanaan pekerjaan, gangguan selama pelaksanaan, keawetan, keindahan dan faktor biaya.
- Pelaksanaan  
Pelaksanaan harus mengikuti metode pelaksanaan yang mengandung detail proses pekerjaan dan kontrol kualitas.

## 3. METODE DAN MATERIAL PERKUATAN

Metode dan material perkuatan yang sering digunakan adalah :

- Perpendekan bentang  
Dilakukan dengan penambahan support berupa kolom baru atau balok lateral, dari konstruksi beton bertulang, baja atau komposit  
Metode ini sangat efektif untuk meningkatkan kapasitas dari elemen horizontal yang didominan oleh lentur.  
Perencana harus melakukan analisa ulang akibat dari perpendekan bentang ini yang menyebabkan perubahan dari gaya-gaya dalam struktur yang diperkuat.
- Pembesaran Dimensi.  
Dilakukan dengan menambah dimensi beton existing, menggunakan material beton yang memadat sendiri (self compacting concrete) atau non-shrink grouting semen, tanpa atau dengan aggregate kasar.  
Akibat dari penambahan dimensi tersebut, maka harus diperhatikan bahwa secara keseluruhan beban dari bangunan tersebut bertambah, sehingga harus dilakukan analisa secara menyeluruh dari struktur atas sampai pondasi.

- External Prestress.  
Dapat digunakan untuk melawan gaya dan lendutan dari beban yang ada.  
Yang perlu diperhatikan adalah pada area anchor, sehingga terjadi perpindahan gaya prestress ke struktur existing.  
Material yang umumnya digunakan adalah baja prestress, tetapi pada saat ini sudah mulai digunakan bahan dari FRP (Fibre Reinforced Polymer).
- Plat Baja.  
Tujuan dari penambahan ini adalah untuk menambah kapasitas lentur, geser dan confinement kolom.  
Umumnya untuk menjamin bahwa plat baja menjadi satu kesatuan dengan struktur beton existing, digunakan epoxy adhesive berupa pasta atau cairan yang diijeksi dengan tekanan.
- Fiber Reinforced Polymer (FRP).  
Prinsip penggunaan FRP sama dengan Plat Baja.

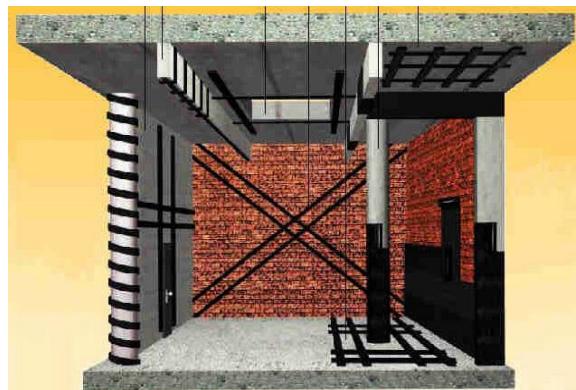


Fig 1. Perkuatan struktur dengan FRP

Material FRP yang digunakan adalah

- Carbon FRP (CFRP)
- Aramid FRP (AFRP)
- Glass FRP (GFRP).

CFRP umumnya sering digunakan dalam perkuatan dengan pertimbangan kuat tarik, kekakuan, keawetan dan sifat creepnya.

CFRP tersedia dalam bentuk :

- Plate (strip)
- Fabric (wrap)
- Rod (tulangan).

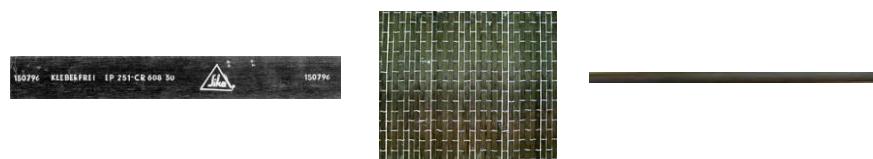


Fig 2. Bentuk-bentuk CFRP

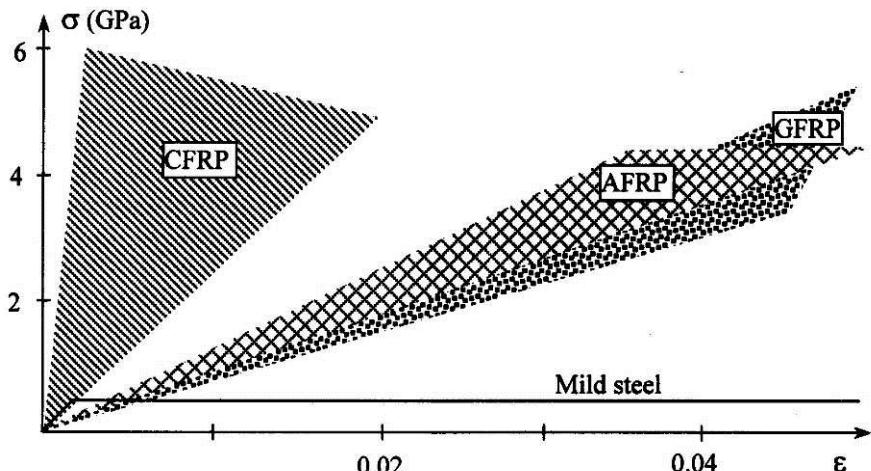


Fig 3. Diagram Tegangan - Regangan

Penggunaan CFRP sebagai material perkuatan di Indonesia sudah sejak 1997, dan saat ini metode ini makin popular, dengan alasan :

- Material
  - Kuat tarik sangat tinggi.
  - Ringan.
  - Tidak berkarat.
  - Modulus Elastisitas yang mendekati baja tulangan.
- Pelaksanaan
  - Cepat dan mudah.
  - Minimal gangguan pada operasinya bangunan (memungkinkan untuk tidak menutup lalu lintas selama pelaksanaan).
  - Tidak memerlukan area kerja yang luas.
  - Tidak memerlukan joint, meskipun bentang yang harus diperkuat cukup panjang.
  - Memungkinkan untuk tidak dilakukannya pembongkaran plumbing atau ducting AC pada waktu pelaksanaan.



Fig 4. Pelaksanaan CFRP tanpa pembongkaran plumbing

- Pemeliharaan
  - Tidak adanya perawatan meskipun di lingkungan yang aggressive.

#### 4. NEAR SURFACE MOUNTED (NSM)

Metode NSM ini adalah dengan memasukkan CFRP bentuk strip atau rod kedalam beton yang di-groove.

Keunggulan metode ini :

- Tidak terekspose (tidak mudah rusak akibat faktor luar)
- Untuk permukaan beton yang lemah
- Lebih efektif dari segi perencanaan (regangan rencana lebih tinggi)
- Tidak mengalami buckling (perkuatan pada elemen tekan seperti kolom)

Kerugian :

- Biaya pelaksanaan lebih tinggi dibandingkan external bonding CFRP.
- Tulangan existing dapat terpotong.

Metode NSM lebih tepat digunakan untuk perkuatan lentur pada tumpuan balok atau plat dan lentur kolom.

#### 5. PERENCANAAN

Banyak standard perencanaan FRP yang sudah dikeluarkan, salah satunya yang umumnya digunakan di Indonesia adalah mengacu pada ACI 440.2R-08 (Guide For Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems For Strengthening Concrete Structures).

##### 5.1. Pedoman umum perencanaan

- Batasan perkuatan.

Syarat ini membatasi bila perkuatan yang dilakukan mengalami kegagalan akibat apapun, maka struktur existing harus mampu memikul kombinasi pembebangan sebagai berikut :

Struktur umum :

$$(\phi R_n)_{\text{existing}} \geq (1.1 S_{\text{DL}} + 0.75 S_{\text{LL}})_{\text{new}}$$

Struktur dimana beban hidup bekerja dalam waktu lama (warehouse, library, dll) :

$$(\phi R_n)_{\text{existing}} \geq (1.1 S_{\text{DL}} + 0.75 S_{\text{LL}})_{\text{new}}$$

- Ketahanan terhadap kebakaran

Syarat ini untuk melihat secara umum perlu tidaknya adanya tambahan fire-proof

$$(R_n)_{\text{existing}} \geq (S_{\text{DL}} + S_{\text{LL}})_{\text{new}}$$

- Faktor Reduksi FRP akibat lingkungan

Dalam jangka waktu lama, lingkungan dapat menyebabkan kekuatan dari FRP berkurang.

Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor $C_E$
Interior exposure	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
Exterior exposure (bridges, piers, and unenclosed parking garages)	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Aggressive environment (chemical plants and wastewater treatment plants)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

## 5.2. Perkuatan Lentur

- Regangan rencana :

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{n \cdot E_f \cdot t_f}} \leq 0.9 \varepsilon_{fu}$$

$$NSM : \varepsilon_{fd} = 0.7 \varepsilon_{fu}$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}$$

- Partial faktor reduksi untuk FRP :  $\psi_f = 0.85$

- Serviceability

$$\begin{aligned} f_{s,s} &\leq 0.80 f_y \\ f_{c,s} &\leq 0.45 f'_c \end{aligned}$$

- Creep rupture

Stress type	Fiber type		
	GFRP	AFRP	CFRP
Sustained plus cyclic stress limit	0.20f <sub>fu</sub>	0.30f <sub>fu</sub>	0.55f <sub>fu</sub>

## 5.3. Perkuatan Geser

- Partial faktor reduksi untuk FRP ( $\psi_f$ )

$$\text{Complete wrap (4 sisi)} - \psi_f = 0.95$$

$$\text{U wrap (3 sisi)} - \psi_f = 0.85$$

$$2 \text{ sisi} - \psi_f = 0.85$$

- Regangan rencana :

$$\text{Complete wrap} : \varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75 \varepsilon_{fu}$$

$$\text{U wrap dan 2 sisi} : \varepsilon_{fe} = \kappa_v \varepsilon_{fu} \leq 0.004$$

$$\kappa_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0.75$$

$$L_e = \frac{23300}{(n_f \cdot t_f \cdot E_f)^{0.58}}$$

$$k_1 = \left( \frac{f'_c}{27} \right)^{2/3}$$

$$k_2 = \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}} \text{ (U wrap)}$$

$$k_2 = \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}} \text{ (2 sisi)}$$

$$d_{fv} : \text{tinggi efektif Wrap (d - tplat)}$$

- Batasan maksimum perkuatan geser

$$V_s + V_f \leq 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d$$

## 5.4. Perkuatan Confinement kolom

- Regangan rencana :

$$\text{Axial murni} : \varepsilon_{fe} = \kappa_\varepsilon \varepsilon_{fu} \quad (\kappa_\varepsilon = 0.55)$$

$$\text{Kombinasi axial-lentur} : \varepsilon_{fe} = 0.004 \leq \kappa_\varepsilon \varepsilon_{fu} \quad (\kappa_\varepsilon = 0.55)$$

- Partial faktor reduksi untuk FRP :  $\psi_f = 0.95$
- Serviceability
 
$$f_{s,s} \leq 0.60 f_y$$

$$f_{c,s} \leq 0.65 f_c'$$
- Batasan dimensi untuk kolom persegi :
  - Maximum 900 mm
  - Ratio b/h max 2

## 6. PELAKSANAAN PERKUATAN

Pada saat pelaksanaan yang perlu mendapat perhatian adalah :

- Persiapan permukaan.  
Permukaan beton yang akan diperkuat, harus merupakan permukaan yang kuat dan padat, tidak ada keropos ataupun bagian lemah lainnya, serta harus bersih dari debu dan kotoran lainnya.  
Dengan tujuan agar terjadi ikatan yang baik; sehingga material perkuatan dengan beton lama menjadi satu kesatuan.
- Perbandingan campuran.  
Untuk menghasilkan mutu dari material bonding yang digunakan dalam perkuatan sesuai dengan yang direkomendasikan dari pabrik, maka perbandingan campuran dari material harus diikuti dengan tepat.
- Pot life.  
Adalah waktu yang dibutuhkan dari pengadukan hingga material tersebut terpasang. Apabila waktu telah melebihi pot life-nya, maka material yang sudah tercampur jangan digunakan.

Setelah pelaksanaan juga perlu dilakukan kontrol kualitas, dengan tujuan untuk melihat lekatkan antara epoxy adhesive yang digunakan untuk melekatkan FRP dengan beton.

Dilakukan dengan :

- Tapping test
- Pull-Off Test - ICRI Technical Guideline 03739.

## 7. PENUTUP

Untuk mendapatkan hasil perkuatan yang tepat guna dan mencegah hasil-hasil yang tidak diharapkan, maka diperlukan koordinasi antara pihak-pihak yang melakukan investigasi, pengujian, evaluasi dan pelaksanaan. Oleh sebab itu diperlukan keterlibatan semua pihak terkait mulai dari konsultan perencana, konsultan pengawas, kontraktor spesialis dan supplier dari bahan-bahan perkuatan. Dan yang terpenting masing-masing tahapan harus dilakukan oleh pihak-pihak yang berkompeten dan berpengalaman di bidangnya.

Dalam pemilihan metode perkuatan tergantung dari beberapa faktor, meliputi keefektifan, kemudahan pelaksanaan, keindahan dan biaya. Dan dalam perbandingan biaya, tidak hanya dari segi biaya material, tapi juga harus dipertimbangkan biaya pelaksanaan serta biaya yang timbul akibat gangguan pada operasi dari bangunan.

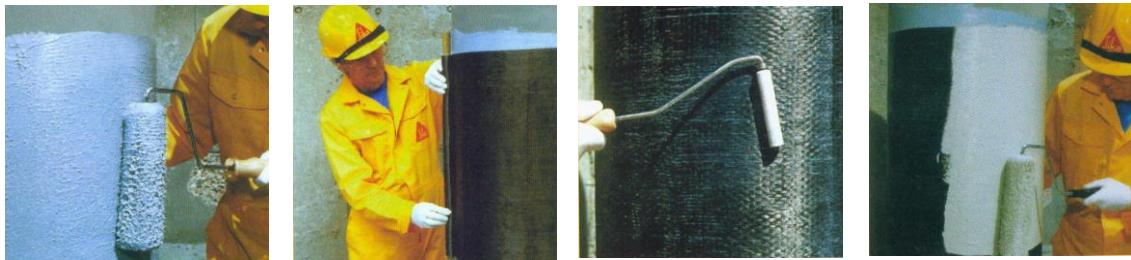
## **8. REFERENSI :**

1. FIP, Repair and Strengthening of Concrete Structures, London, 1991.
2. ACI 440.2R-08, Guide For Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems For Strengthening Concrete Structures, July 2008.
3. Meier U., Erki M.A., Advantages of Composite Materials in the Post Strengthening Technique For Developing Countries, Sixth International Colloquium on Concrete in Developing Countries, Pakistan, January 1997.
4. ICRI, Guide for the Selection of Strengthening System for Concrete Structures, February 2006.

Lampiran : Pelaksanaan perkutaan dengan CFRP Installation



*Fig 5. Pemasangan CFRP Plate*



*Fig 6. Pemasangan CFRP Wrap 'dry system'*



*Fig 7. Pemasangan CFRP NSM*