

PERKUATAN (*STRENGTHENING*) STRUKTUR BETON DENGAN *FIBER REINFORCED POLYMER (FRP)*

Ignatius Christiawan

Jurusan Teknik Sipil PSD III Teknik, UNDIP Semarang
Jl. Prof Sudarto SH, Pedalangan Tembalang, Semarang 50239

Abstract

In effort fulfill requirement the well building infrastructure, safety of building user such as building avalanche damage as result of earthquake is principal priority. Load addition on building exceeds the planning load as result of the involuntary building function change always generating the building avalanche damage. It was needed evaluate to the strength of building structure at the existing condition and strengthening if it was needed before the structure given the new load. One of the strength procedure is external reinforcement method especially give Fiber Reinforced Polymer (FRP) that it was adhered on the concrete component surface which reinforced by epoxy glue. From several former researches, base analysis and bent planning along with example of the practice calculation of beam strength by FRP can be concluded that the use of FRP in combination with the others strength method is easy and practice for conducted and also capable to increase the strength of concrete beam bent.

Keywords: load addition, strength, safety

I. PENDAHULUAN

Dalam usaha memenuhi kebutuhan infrastruktur bangunan gedung yang baik keselamatan pengguna bangunan terhadap bahaya keruntuhan bangunan merupakan prioritas utama. Penambahan beban pada bangunan diluar beban rencana sebagai akibat perubahan fungsi bangunan tanpa disengaja sering menimbulkan bencana keruntuhan bangunan. Diperlukan evaluasi kekuatan struktur bangunan pada kondisi *existing* dan perkuatan (*strengthening*) bila diperlukan sebelum struktur diberi beban yang baru

Perkuatan diterapkan pada struktur atau komponen struktur yang belum rusak, agar didapatkan kapasitas yang lebih besar

dalam mendukung beban baru akibat pertambahan beban.

Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kerusakan/kehancuran. Perkuatan atau perbaikan struktur diperlukan apabila terjadi kerusakan yang menyebabkan degradasi yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu kekuatan, kekakuan dan daktilitas, kestabilan, serta ketahanan terhadap kinerja tertentu (Triwiyono, 1998)

Secara umum dilakukannya perkuatan disebabkan oleh beberapa hal antara lain :

- (a). Kesalahan perencanaan
- (b). Kesalahan pelaksanaan
- (c). Perubahan fungsi yang berakibat penambahan beban,
- (d). Perkembangan ilmu pengetahuan,
- (e). Timbulnya keluhan terhadap kenyamanan struktur
- (f). Perubahan persyaratan untuk memenuhi peraturan yang baru.

Setelah diketahui dan dimungkinkan struktur dapat diperkuat maka langkah selanjutnya adalah pemilihan metode perkuatan untuk masing-masing elemen struktur. Pemilihan metode perkuatan dipengaruhi oleh beberapa pertimbangan, antara lain :

- (a). Efektifitas perkuatan
- (b). Kemudahan pelaksanaan perkuatan
- (c). Biaya, dalam hal ini terkait dengan pemilihan bahan agar diperoleh hasil perbaikan yang kekuatannya sesuai dengan yang diinginkan dan dapat tahan lama.

Beberapa metode perkuatan yang dapat dilakukan diantaranya adalah :

- (a). *Shotcrete*, metode ini dilakukan dengan cara menyemprotkan mortar atau beton (biasanya dengan ukuran agregat yang kecil) pada permukaan beton yang diperbaiki dengan suatu alat bertekanan,
- (b). *Jacketing*, merupakan penggunaan bahan berupa selubung yang dapat

melindungi beton terhadap kerusakan. Bahan selubung ini dapat berupa metal/baja, karet, beton, komposit.

- (c). Penambahan tulangan, metode ini digunakan untuk memperkuat elemen struktur agar dapat berfungsi lagi atau menambah kemampuan elemen struktur memikul beban. Tulangan tambahan dapat berupa tulangan longitudinal ataupun lateral.

Perkuatan dengan pemberian bahan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* yang dilakukan dengan cara menempelkan pada permukaan beton lama dengan bantuan perekat *epoxy* pada prinsipnya sama dengan metode *steel plate bonding* , *steel and concrete jacketing*.

II. Perkuatan Struktur Dengan Frp

2.1 Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan FRP

Perkuatan struktur dilakukan apabila di masa yang akan datang diperkirakan akan terjadi kerusakan yang menyebabkan penurunan kekuatan, kekakuan, stabilitas dan integritas serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan yang bersifat merusak bangunan. Pemilihan metode perkuatan merupakan keputusan hasil kompromi terhadap beberapa aspek antara lain aspek biaya, tersedianya bahan/material, kelengkapan peralatan, pembebanan, tenaga dan waktu pelaksanaan serta aspek estetika

dan arsitektur bangunan.

FRP diproduksi dalam bentuk pelat dan lembaran tipis sehingga bisa menyesuaikan dengan bentuk komponen yang akan diperkuat. Beberapa faktor keunggulan/kelebihan penggunaan *FRP* (Hartono dan Sentosa, 2003) antara lain :

- a. Kuat tarik sangat tinggi (± 7 s/d 10 kali lebih tinggi dari baja U39)
- b. Sangat ringan (density = 1,4 -2,4 gr/cm³, 4 s/d 6 kali lebih ringan dari baja)
- c. Pelaksanaan pekerjaan sangat mudah dan cepat.
- d. Pada pekerjaan perbaikan/perkuatan jembatan tidak memerlukan penutupan lalu-lintas.
- e. Tidak memerlukan area kerja yang luas.
- f. Tidak memerlukan sambungan (*joint*) walaupun bentang yang harus diperkuat cukup panjang.
- g. Tidak berkarat.

Sedangkan faktor kekurangan *FRP* diantaranya adalah :

- a. Kurang tahan terhadap suhu yang tinggi, dengan suhu sekitar 70° C, bahan perekat epoxy resin akan berubah dari kondisi keras menjadi lunak, bersifat plastis sehingga daya lekatnya akan menurun.
- b. Kurang tahan terhadap sinar ultra violet.

Sehingga untuk mengatasi kekurangan ini diperlukan proteksi, misalnya dengan pelapisan atau penutupan dengan mortar.

Penggunaan *FRP* pada bangunan yang mungkin terjadi kebakaran harus dibatasi kenaikan kapasitas lenturnya agar nantinya jika terjadi kegagalan atau kerusakan pada *FRP* karena suhu yang sangat tinggi, komponen struktur diharapkan masih bisa tetap bertahan memikul beban selama kebakaran berlangsung (sekitar 30% dari beban hidup) (Triwiyono, 2006).

2.2 Penelitian Tentang Perkuatan Dengan *FRP*

Sejauh ini diketahui bahwa penelitian tentang perkuatan struktur beton antara lain pada pelat, balok dan kolom dengan *FRP* telah banyak dilakukan, antara lain Nguyen dkk, (2003) dalam penelitiannya menyatakan bahwa penambahan plat *carbon fiber reinforced polymer (CRFP)* menunjukkan adanya peningkatan kapasitas ultimit balok sampai 132 % dengan bentuk kegagalan yang tergantung pada panjang pelat *CRFP*. Jenis kegagalan yang terjadi antara lain kegagalan lentur dan pecahnya beton antara plat *CRFP* dan tulangan longitudinal pada bagian ujung plat *CRFP*, kegagalan pecahnya beton terjadi ketika balok diperkuat dengan pelat *CRFP* dengan panjang pelat terbatas.

Lorenzis dkk, (2000), dalam

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

Chajes dkk. (1996), dalam penelitiannya dengan mempelajari lekatan antara plat komposit dan beton menyimpulkan bahwa persiapan permukaan beton dapat mempengaruhi kuat lekat ultimit. Dalam mendapatkan kemungkinan lekatan yang paling baik, permukaan beton harus dibersihkan terlebih dahulu. Permukaan plat komposit juga harus dikasarkan dengan menggunakan semprotan butiran-butiran dan kemudian dibersihkan dengan suatu larutan seperti aseton.

Dalam penelitian Arjanto (2002) didapatkan hasil bahwa perbaikan dengan *FRP* ini tidak banyak mempengaruhi sifat-sifat dinamik komponen struktur, misalnya redaman dan frekuensi alaminya, sehingga bila diterapkan nantinya juga tidak akan mengubah sifat-sifat dinamik struktur secara keseluruhan.

2.3. Perkuatan Lentur Dengan *FRP*

Dalam Triwiyono (2006), dasar perhitungan kapasitas lentur balok yang diperkuat dengan *FRP* berdasarkan rekomendasi dari *ACI Committee 440* (2002), dengan asumsi bahwa kerusakan saat mencapai kekuatan lentur tidak terjadi gagal lekat antara beton dengan pelat *FRP*, lepasnya beton disekitar pelat maupun panjang penyaluran yang kurang. Kapasitas lentur balok didasarkan pada *limit state* sesuai dengan *ACI 318*, yang ditentukan oleh batasan kuat tekan beton dan tegangan leleh baja tulangan serta tegangan efektif *FRP*.

<i>Exposure condition</i>	<i>Fiber and resin type</i>	<i>Reduction factor C_E</i>
<i>Interior exposure</i>	<i>Carbon/epoxy</i>	0,95
	<i>Glass/epoxy</i>	0,75
	<i>Aramid/epoxy</i>	0,85
<i>Interior exposure (bridges, piers, and unenclosed parking garage)</i>	<i>Carbon/epoxy</i>	0,85
	<i>Glass/epoxy</i>	0,65
	<i>Aramid/epoxy</i>	0,75
<i>Aggressive environment (chemical plants, waste water treatment plants)</i>	<i>Carbon/epoxy</i>	0,85
	<i>Glass/epoxy</i>	0,50
	<i>Aramid/epoxy</i>	0,70

Tabel 2.1. *Environmental reduction factor (ACI Committee 440)*

Kuat tarik ultimit f_{ju} yang digunakan sebagai dasar perencanaan dan analisis adalah sama dengan tegangan ultimit dari pabrik f_{fu}^* yang dikalikan dengan faktor reduksi (*reduction factor*) C_E yang nilainya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat bangunan berada, demikian pula nilai

regangannya, lihat persamaan (2.1) dan (2.2) serta Tabel 2.1.

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^* \dots\dots\dots(2.2)$$

Karena bahan fiber adalah bahan yang elastik hingga patah, nilai modulus elastisitasnya dihitung berdasarkan hukum Hook :

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Agar perkuatan optimal persyaratan minimum kualitas beton harus dipenuhi, yaitu

- a. $f_t \geq 1,4 \text{ Mpa}$
- b. $f_c \geq 17 \text{ Mpa}$
- c. sebaiknya tidak digunakan pada beton yang terjadi proses korosi baja tulangan.

Persyaratan kekuatan lentur pada kondisi batas secara umum berlaku :

$$\phi M_n \geq M_u \dots\dots\dots(2.4)$$

Dalam analisis tampang, sebagai dasar perhitungan untuk mendapatkan M_n pada kondisi lentur murni dapat diturunkan dari persamaan kesetimbangan gaya-gaya dalam, lihat persamaan (2.5) dan Gambar 2.1.

$$T_s + T_{fe} = C_c + C_s \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan : T_s : gaya tarik baja tulangan

T_{fe} gaya tarik sumbangan FRP

C_c : gaya tekan beton

C_s : gaya tekan baja tulangan

Kuat tarik ultimit f_{fu} yang digunakan sebagai dasar perencanaan dan analisis adalah sama dengan tegangan ultimit dari pabrik f_{fu}^* yang dikalikan dengan faktor reduksi (*reduction factor*) C_E yang nilainya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat bangunan berada, demikian pula nilai regangannya, lihat persamaan (2.1) dan (2.2) serta Tabel 2.1.

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^* \dots\dots\dots(2.2)$$

Karena bahan fiber adalah bahan yang elastik hingga patah, nilai modulus elastisitasnya dihitung berdasarkan hukum Hook :

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Agar perkuatan optimal persyaratan minimum kualitas beton harus dipenuhi, yaitu

- a. $f_t \geq 1,4 \text{ Mpa}$
- b. $f_c \geq 17 \text{ Mpa}$
- c. sebaiknya tidak digunakan pada beton yang terjadi proses korosi baja tulangan.

Persyaratan kekuatan lentur pada kondisi batas secara umum berlaku :

Dalam analisis tampang, sebagai dasar perhitungan untuk mendapatkan M_n pada kondisi lentur murni dapat diturunkan dari persamaan kesetimbangan gaya-gaya dalam, lihat persamaan (2.5) dan Gambar 2.1.

$$A_{fe} = \frac{\gamma_R M_d - A_s f_y}{0,8d f_{fe}} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan : γ_R : faktor pembesaran
momen (diambil 1,2)

M_d : momen desain

d : tinggi efektif balok

A_s : luas tulangan longitudinal (tarik)

f_y : tegangan leleh tulangan

f_{fe} : kuat tarik FRP

Selain itu dalam Altmark dkk (1998) disarankan bahwa kuat lentur nominal balok setelah diperkuat M_n tidak boleh melebihi dua kali kuat lentur sebelum diperkuat M_{no} , atau :

$$\eta_B = M_n/M_{no} \leq 2 \dots\dots\dots(2.12)$$

2.4. PERKUATAN GESER DENGAN FRP

Kuat geser nominal V_n merupakan gabungan kontribusi beton V_c dan tulangan geser V_s dan FRP V_f (ACI Committee 440). Ketahanan geser masih dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\Phi V_n = \Phi(V_c + V_s + \psi V_f) \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan :

Φ : 0,65 (faktor reduksi kekuatan)

ψ : 0,95 untuk komponen ditutup

lembaran keempat sisinya

0,85 untuk U-wrap tiga sisi atau

bentuk pelat

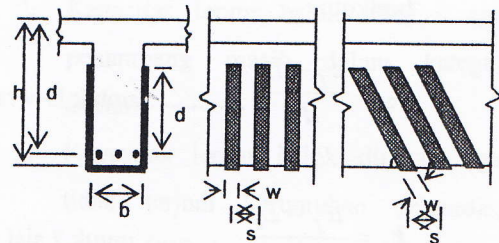
Kekuatan geser V_f kontribusi FRP dapat dihitung berdasar persamaan (2.14) berikut :

$$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_f}{s_f}$$

$$A = 2nt_f w_f \dots\dots\dots(2.15)$$

Tegangan efektif FRP ditentukan dari regangan yang terjadi pada kondisi batas geser, yaitu :

$$f_{fe} = \epsilon_{fe} E_f \dots\dots\dots(2.16)$$



Gambar 2.2. Perkuatan geser dengan FRP tiga sisi

Dalam pelaksanaannya regangan ϵ_{fe} dibatasi nilai berikut :

a. untuk wrap yang direkatkan pada empat sisi :

$$\epsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75 \epsilon_{fu} \dots\dots\dots(2.17)$$

b. untuk wrap yang direkatkan pada tiga sisi :

$$\epsilon_{fe} = k_v \epsilon_{fu} \leq 0,004 \epsilon_{fu} \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan k adalah faktor reduksi untuk lekatan geser, yang nilainya adalah sebagai berikut :

$$k_v = \frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \varepsilon_{fu}} \leq 0,75 \dots \dots \dots (2.19)$$

$$L_e = \frac{23300}{(n t_f E_f)^{0,58}} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (2.21)$$

sedangkan harga k2 dibedakan untuk 2 kondisi seperti pada persamaan (2.22) berikut :

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} \dots \dots \dots \text{untuk U-wrap}$$

$$k_2 = \frac{d_f - L_e}{d_f} \dots \dots \dots \text{untuk 2 sisi}$$

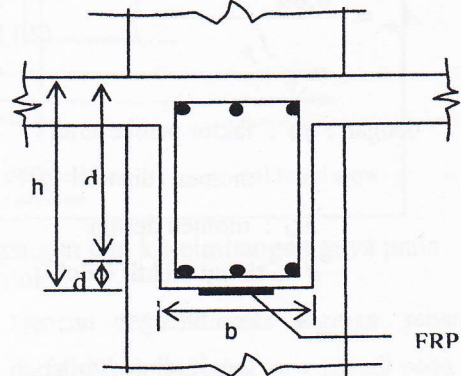
2.5. Contoh Penentuan Kuat Lentur

Balok yang diperkuat dengan FRP

Berikut adalah contoh penentuan kuat lentur balok setelah diperkuat dengan FRP :

Suatu balok dimensi 200 x 300 mm dengan tulangan rangkap 3D19 mutu beton $f'_c = 17$ Mpa, mutu baja $f_y = 390$ Mpa dari hasil analisis didapatkan hanya mampu memikul momen rencana $M_r = 52,57$ kNm, sedangkan akibat penambahan beban didapatkan momen yang harus dipikul menjadi $M_d = 78,68$ kNm, sehingga diperlukan penambahan kuat lentur. Dicoba

dengan FRP tebal = 1 mm, lebar = 100 mm, sebanyak 2 buah.



Data Balok :

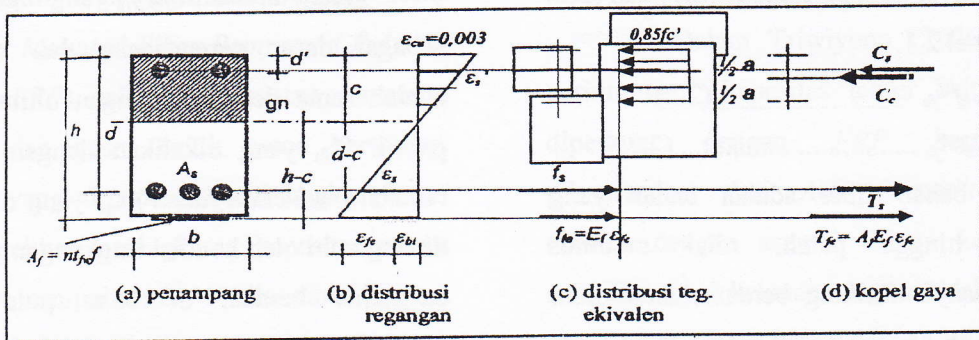
- $f_c = 17$ Mpa
- $f_y = 390$ Mpa
- $h = 300$ mm
- $b = 200$ mm
- $\phi_{tul} = 19$ mm
- $\phi_s = 8$ mm
- $t = 15$ mm
- $d' = 32,5$ mm
- $d = 267,5$ mm
- $M_d = 78,69$ kNm

Jumlah tulangan

- $A_s = 3D19$ (850,6 mm²)
- $A_s' = 3D19$ (850,6 mm²)
- $\beta_1 = 0,85$
- $\varepsilon_{cu} = 0,003$
- $a = 114,8$ mm
- $c = 135$ mm

Data FRP :

- $t_f = 1$ mm
- $f_{fu} = 589$ Mpa
- $f^*_{fu} = 620$ Mpa
- $\varepsilon_{fu} = 0,01615$
- $\varepsilon^*_{fu} = 0,017$



Gambar 2.1. Distribusi regangan, distribusi tegangan dan keseimbangan gaya pada penampang balok

$$T_s + T_{fe} = C_c + C_s \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan : T_s : gaya tarik baja tulangan

T_{fe} : gaya tarik sumbangan

FRP

C_c : gaya tekan beton

C_s : gaya tekan baja tulangan

Dengan memperhatikan letak titik masing-masing resultan gaya serta ukuran penampang, akan didapatkan kuat lentur nominal M_n .

Regangan efektif ϵ_{fe} sebagai dasar perhitungan kuat lentur pada kondisi batas adalah :

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} = \left(\frac{h-c}{c} \right) \epsilon_{bi} \leq k_m \epsilon_{fu} \dots\dots(2.6)$$

Agar keruntuhan lentur terjadi tanpa didahului dengan kerusakan delaminasi, yang sifat keruntuhannya tiba-tiba, maka regangan ϵ_{fe} perlu dibatasi sebagaimana pada persamaan (2.6), dengan nilai k_m pada persamaan (2.7) berikut :

$$k_m = \frac{1}{60 \epsilon_{fu}} \left(1 - \frac{n E_f t_f}{360000} \right) \leq 0,9$$

Dengan perbandingan segitiga sebangun dapat dicari regangan yang terjadi pada baja tulangan sehingga nilai a, dapat dicari dari pada persamaan (2.9) :

$$a = \frac{A_s f_y - A'_s f'_s + A_f F_{fe}}{0,85 f'_c b}$$

Atas saran *ACI Committee 440*, kontribusi FRP masih perlu dikalikan dengan faktor reduksi $\psi_f = 0,85$, sehingga momen nominal total M_n dapat dicari dengan persamaan (2.10) berikut :

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') + \psi_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{a}{2} \right)$$

Karena pertimbangan kompatibilitas regangan FRP sebaiknya hanya digunakan untuk menahan gaya tarik (*ACI Committee 440, 2002*). Dimungkinkan FRP digunakan pada komponen struktur yang menerima momen positif dan negatif secara bergantian, namun disarankan kekuatan tekan tidak diperhitungkan dalam menghitung kuat lenturnya.

Untuk perencanaan awal (*preliminary design*) kebutuhan luas penampang A_{fe} dapat digunakan rumus pendekatan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\psi_f &= 0,85 \\ E_f &= 3700 \text{ Mpa} \\ C_E &= 0,95 \text{ (reduction factor)}\end{aligned}$$

dicoba dengan FRP tebal (t_f) = 1 mm ;
jumlah (n) = 2 buah dan lebar (b) = 100 mm
didapat luas aktual FRP $A_f = 200 \text{ mm}^2$.

Agar keruntuhan lentur terjadi tanpa
didahului dengan kerusakan delaminasi,
yang sifat keruntuhannya tiba-tiba, maka
regangan ϵ_{fe} perlu dibatasi dengan nilai k_m :

$$\text{Untuk } n E_f t_f = 74000$$

$$K_m = 0,82 \leq 0,9$$

diambil harga $K_m = 0,90$

Regangan efektif ϵ_{fe} sebagai dasar
perhitungan kuat lentur pada kondisi batas
adalah :

$$\epsilon_{fe} = \epsilon_{cu} \left(\frac{h-c}{c} \right) - \epsilon_{bi} \leq K_m \epsilon_{fu}$$

$$= 0,0037 \leq 0,0145$$

diambil harga $\epsilon_{fe} = 0,0145$

Tegangan efektifnya (f_{fe}) adalah :

$$f_{fe} = E_f \epsilon_{fe} = 537,8 \text{ Mpa}$$

$$a = \frac{A_s f_y - A_s' f_s' + A_f f_{fe}}{(0,85 f_c')} b = 37,22 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d') + \psi_f A_f f_{fe} \left(h - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 103,68 \text{ kNm}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan setelah
diperkuat dengan FRP maka balok mampu
menahan momen lentur sebesar $M_n = 103,68$
kNm, sehingga mampu memikul beban baru
($M_n = 103,68 \text{ kNm} > M_d = 78,69 \text{ kNm}$).

KESIMPULAN

Dari uraian dan contoh perhitungan diatas
maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pemberian FRP untuk perkuatan lentur balok dapat meningkatkan kuat lentur suatu balok.
2. Kapasitas lentur balok dibatasi agar penampang masih dalam kategori daktail
3. Kapasitas lentur balok dibatasi agar tidak terjadi keruntuhan debonding antara FRP dengan beton pada bagian ujungnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee, 2002, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP System for Strengthening Concrete Structures*, American Concrete Institute.
- Arjanto, 2002, *Perilaku Dinamik Balok Beton Bertulang Retrofit dengan CRFP WRAP*, Tesis Progran Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI-2487-2002, Jakarta

- Chajes, M.J., Finch, W.W., Januszka, T.F., and Thomson, T.A., 1996, *Bond and Force Transfer of Composite Material Plates Bonded to Concrete*, *ACI Structural Journal*, vol. 93, no.2, Mar-Apr, pp.208-217
- Departemen PU, 1983, Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Gedung, Bandung
- Lorenzis, L.D., Nanni, A. dan Tegola, A., 2000, *Flexural and Shear Strengthening of Reinforced Concrete Structures with Near Surface Mounted FRP Rods*, Proc., 3rd Inter. Conf. On Advanced Composite Materials in Bridge and Structures, Ottawa, Canada, J. Humar and A.G. Razaqpur, Editors, 15-18 Aug, pp 521-528.
- Nguyen, D.M., Chan, T.K., dan Cheng, H.K., 2003, *Effects of Plates Length on the Strength of Reinforced Concrete Beams Bonded with CFRP Plates*, <http://ww.must.edu.my/tkchan/nguyen1999a.pdf>.
- Triwiyono, A., 2004, Evaluasi dan Rehabilitasi Bangunan Gedung, Bahan Ajar MPSP UGM, Yogyakarta.
- Triwiyono, A., 2001, Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton, Bahan Ajar Special Topic, Minat Studi Teknik Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.
- Triwiyono, A., 2006, Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton Pasca Gempa dengan FRP, Makalah Seminar Perkembangan Standard dan Methodologi Konstruksi Tahan Gempa, Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia, Medan.