

PENGARUH CARBON FIBRE SHEET TERHADAP PENINGKATAN KAPASITAS LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG

Mulyadi

Prodi Matematika, STKIP Bina Bangsa Meulaboh
e-mail: mul_young@yahoo.co.id

Abstract

This research aims to determine the effect of using carbon fiber sheet (cfs) to bending behavior of reinforced concrete beams. The test object that became the object of this research is a reinforced concrete beam with the addition of cfs with size 20 cm x 30 cm x 220 cm. The number of beam test objects is 3 beams and 19 concrete quality control test objects. The test specimen is divided into three types: type I test specimen without reinforcement, type II specimen with 1 layer reinforcement and type III specimen with 2 layer cfs reinforcement. Flexural testing is done by placing a beam on two pedestals with a spacing between 200 cm and then loaded with two centralized loads with the distance between the two loads is 60 cm. The beams are loaded gradually until they reach the peak load. Each load stage recorded the amount of load and tensile reinforcement strain that occurred. The results showed that the addition of cfs can increase the bending capacity. In the case of yield capacity of non-reinforced beam bending, with 1 layer reinforcement and with 2 layer cfs strengthening are 1095 kgm, 2471 kgm and 3892 kgm, respectively. Improved bending capacity of beams with 1 layer reinforcement and with 2 layer cfs reinforcement of cuffs without reinforcing cfs are 126% and 255% respectively. Under ultimate circumstances, the bending capacity of the test specimen without reinforcement, with 1 layer reinforcement and with 2 cylinders reinforcement are 2380 kgm, 3500 kgm and 4655 kgm, respectively. Improved bending capacity of specimens by reinforcing 1 layer and beam with 2 lapis cfs retrofitting of test specimens without reinforcing cfs were 47% and 96% respectively.

Keywords—*cfs, bending capacity, reinforced concrete beams*

1. PENDAHULUAN

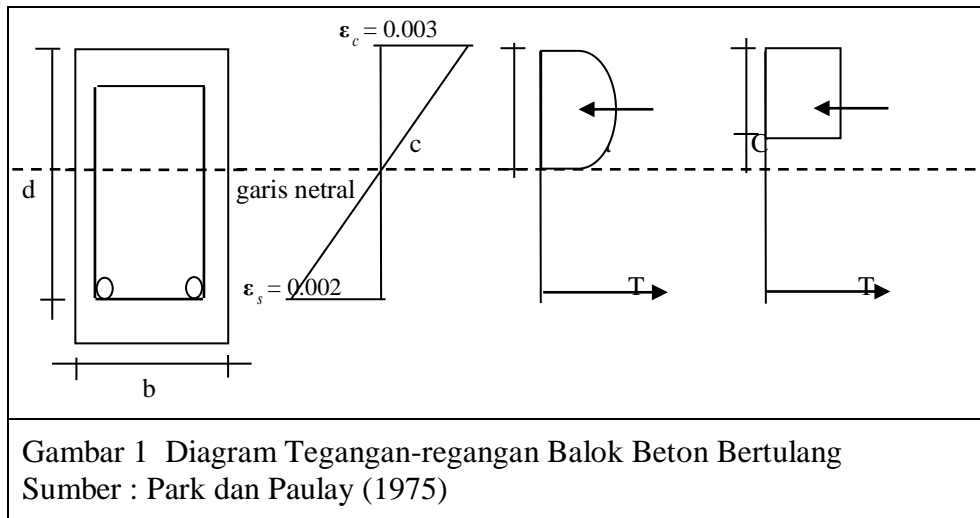
Pada setiap bangunan satu-satunya pertimbangan adalah bagian konstruksi harus mampu memikul beban yang diberikan secara aman. Struktur yang direncanakan harus pula mempunyai nilai ekonomis.

Tujuan dari pada perbaikan/perkuatan konstruksi, umumnya adalah untuk meningkatkan kapasitas struktur dalam menahan beban atau mengembalikan ke kapasitas rencana. Dalam setiap langkah perbaikan/perkuatan yang dilakukan harus diupayakan agar penyebab kerusakan dihilangkan atau diminimalkan. Selain itu perlu dipertimbangkan upaya-upaya perlindungan dan pencegahan terhadap kemungkinan kerusakan struktur beton bertulang di kemudian hari.

Perbaikan atau perkuatan struktur beton kerap kali dilakukan baik pada saat pelaksanaan konstruksi maupun pada struktur yang sudah digunakan. Biaya untuk perbaikan/perkuatan struktur bangunan akan lebih murah dibandingkan dengan biaya untuk membongkar dan membangun kembali bangunan yang baru.

Untuk memperkuat struktur beton bertulang khususnya bagian balok bisa dilakukan dengan beberapa cara antara lain dengan memperluas tampang balok beton bertulang atau dengan melapisi bagian luarnya dengan baja atau dengan bahan komposit nonlogam sebagai contoh *Carbon Fibre Sheet (CFS)*.

Selama ini banyak gedung yang berubah fungsinya dari ruang kantor menjadi ruang rapat/seminar yang bebannya bertambah. Jadi karena berubah fungsi itu sebaiknya gedung itu hanya perlu peningkatan ketahanan terhadap beban. Selain itu gedung akibat gempa juga juga dapat diperbaiki tanpa dihancurkan/dibongkar dengan cara menempelkan carbon fiber pada bagian yang rusak itu.



Kapasitas momen nominal penampang balok beton bertulang dapat dihitung dengan prinsip kesetimbangan gaya dan momen pada diagram tegangan-regangan balok. Diagram tegangan-regangan sebuah tampang balok diperlihatkan pada Gambar 1 (Park dan Paulay, 1975). Kapasitas momen nominal penampang balok beton bertulang menurut Park dan Paulay (1975), dihitung dengan Persamaan berikut ini :

$$M_n = \rho b d^2 f_y \left(1 - 0,59 \rho \frac{f_y}{f'c} \right)$$

$$a = \frac{A_s x f_s}{0,85 x f'c x b}$$

dimana :

- M_n = momen nominal (kgcm);
- ρ = rasio tulangan;
- A_s = luas tulangan baja (cm²);
- b = lebar balok (mm);
- d = tinggi efektif balok (mm);
- f_y = tegangan baja (kg/cm²);
- f'c = kuat tekan beton (kg/cm²);
- a = tinggi blok tegangan equivalen (cm).

2. METODE PENELITIAN

Benda uji yang dibuat berjumlah 3 buah balok beton bertulang dengan ukuran 20 cm x 30 cm x 220 cm, serta 19 buah silinder standar dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm sebagai benda uji kontrol. Variabel benda uji adalah penggunaan carbon fibre sheet. Perencanaan benda uji selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Rancangan Penelitian

No.	Benda Uji	Beban (P) & Defleksi (δ)
1.	Balok Tipe I (tanpa perkuatan carbon fibre)	A ₁
2.	Balok Tipe II (1 lapis carbon fibre sheet)	A ₂
3.	Balok Tipe III (2 lapis carbon fibre sheet)	A ₃

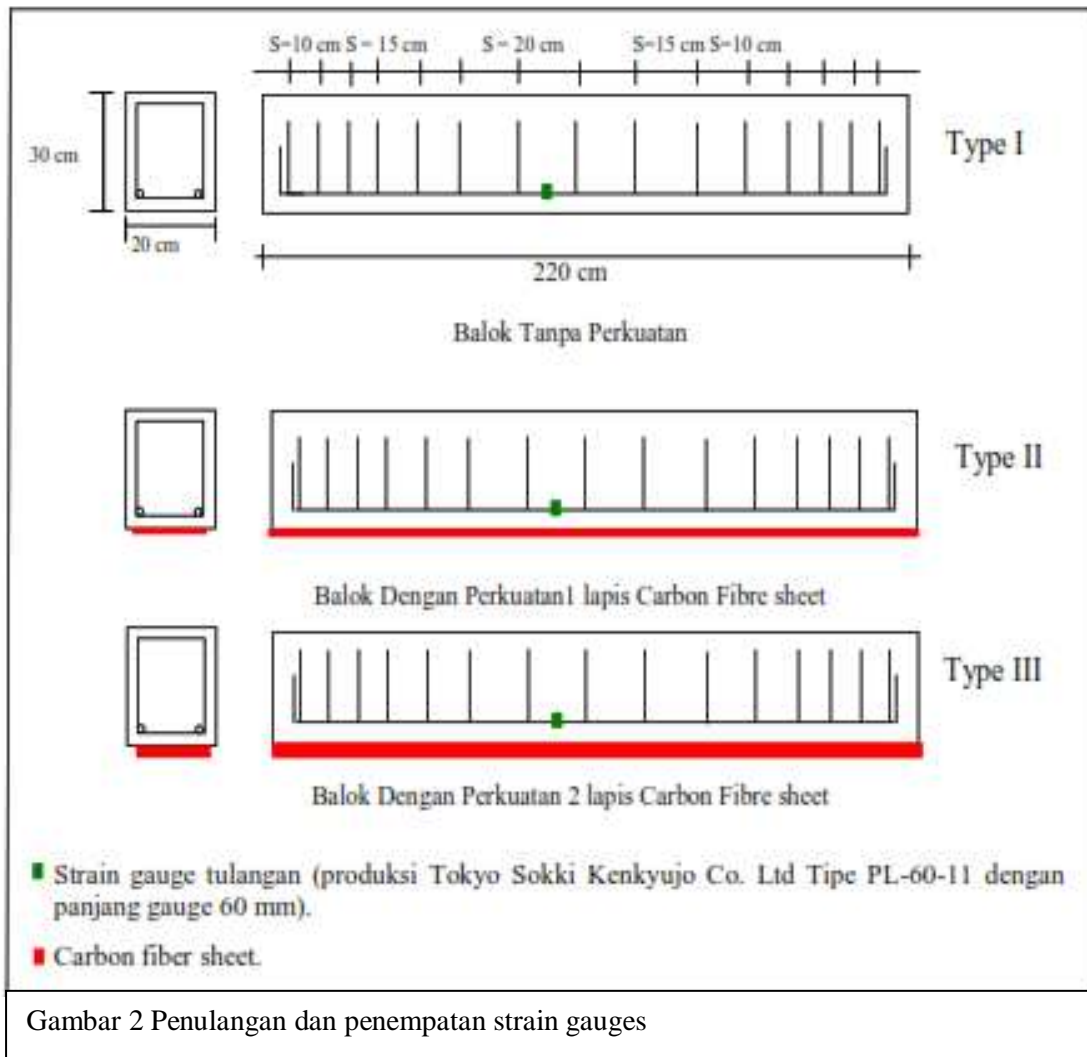
Pembuatan benda uji balok dimulai dengan membuat rangkaian tulangan balok sesuai dengan perencanaan seperti tampak pada Gambar 3.1. Pembebanan yang diberikan pada balok berupa dua buah beban terpusat yang terletak 70 cm dari tumpuan dan berjarak 60 cm satu sama lain. Akibat pembebanan ini pada benda uji tersebut diharapkan akan terjadi lentur murni. Untuk dapat mengukur regangan pada tulangan utama dipasang electric strain gauge dengan panjang gauge 6 mm. Detail penempatan strain gauge dan carbon fibre sheet untuk setiap benda uji balok beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah.

Pekerjaan pengecoran dilakukan berdasarkan jumlah dan komposisi campuran pada perencanaan campuran.. Material yang telah disiapkan ditimbang sesuai komposisi campuran pada perencanaan campuran. Kemudian cetakan yang telah disiapkan diolesi oli agar cetakan mudah dibuka. Setelah benda uji berumur 2 x 24 jam, bekisting dibuka dan diberi nomor/kode sesuai dengan yang direncanakan. Perawatan benda uji balok beton bertulang dan silinder beton dilakukan dengan cara menutupinya dengan goni basah serta dilakukan penyiraman setiap 24 jam sekali. Tujuan dari perawatan benda uji ini adalah untuk menjaga agar beton tidak kekurangan air selama berlangsungnya proses pengerasan dan tidak terjadi penyusutan mendadak yang mengakibatkan retak rambut pada beton.

Pemasangan carbon fibre dilakukan pada benda uji tipe II (dengan perkuatan 1 lapis carbon fibre sheet) dan tipe III (dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet) setelah masa perawatan selesai. Carbon fibre yang digunakan adalah produksi dari negara United Emirates Arab.

Penelitian ini memakai carbon fibre berbentuk lembaran (sheet). Spesifikasi carbon fibre sheet adalah sebagai berikut:

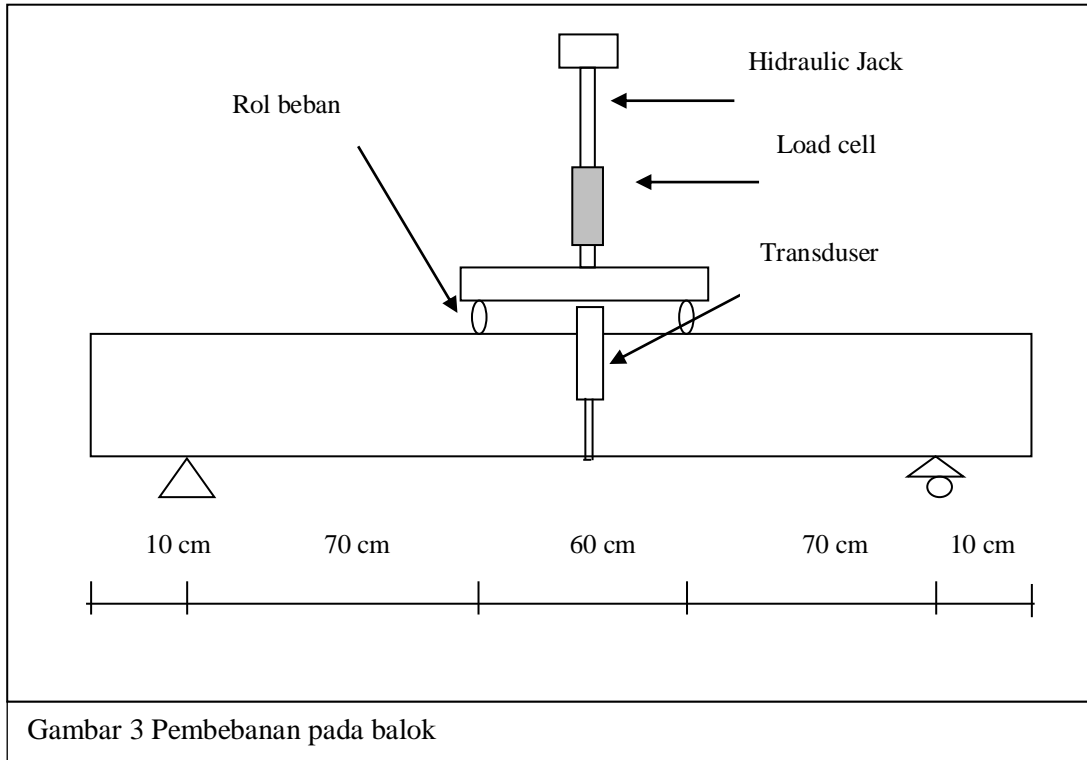
Tipe	=	S 512
Lebar	=	1300 mm
Lebar digunakan	=	120 mm
Tebal	=	1,2 mm
f_{LU}	=	2400 Mpa
ϵ_L	=	0,004
E_L	=	165000 Mpa
Density	=	1,5 gram/cm ³



Pemasangan carbon fibre dilakukan pada benda uji tipe II (dengan perkuatan 1 lapis carbon fibre sheet) dan tipe III (dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet) setelah masa perawatan selesai. Carbon fibre yang digunakan adalah produksi dari negara United Emirates Arab. Penelitian ini memakai carbon fibre berbentuk lembaran (sheet). Bahan perekat yang digunakan adalah Nitowrap Primer Base, Nitowrap Primer Hardener (perekat dasar), Nitowrap Encapsulation dan Nitowrap Encapsulation Hardener (perekat utama). Carbon fibre sheet ditempelkan pada bagian bawah benda uji balok. Sebelum ditempelkan balok terlebih dahulu dihaluskan permukaannya. Setelah permukaannya halus kemudian diberikan perekat dasar dengan mencampurkan Nitowrap Primer Base dan Nitowrap Primer Hardener, dibiarkan 1 x 24 jam. Setelah itu diberikan perekat utama dengan mencampurkan Nitowrap Encapsulation Base dan Nitowrap Encapsulation Hardener kemudian ditempelkan carbon fibre sheet pada permukaan yang telah diberikan perekat tersebut. Setelah ditempelkan carbon fibre sheet, benda uji balok dengan perkuatan 1 lapis dan 2 lapis carbon fibre sheet siap untuk dilakukan pengujian lentur.

Pengujian benda uji tanpa perkuatan dapat dilakukan setelah masa perawatan selesai, sedangkan untuk benda uji dengan perkuatan carbon fibre sheet dilakukan setelah pemasangan carbon fibre sheet. Pengujian lentur balok dilakukan dengan membebani balok tersebut secara bertahap. Balok ditumpu oleh dua tumpuan sendi dan rol dengan jarak tumpuan 200 cm dan

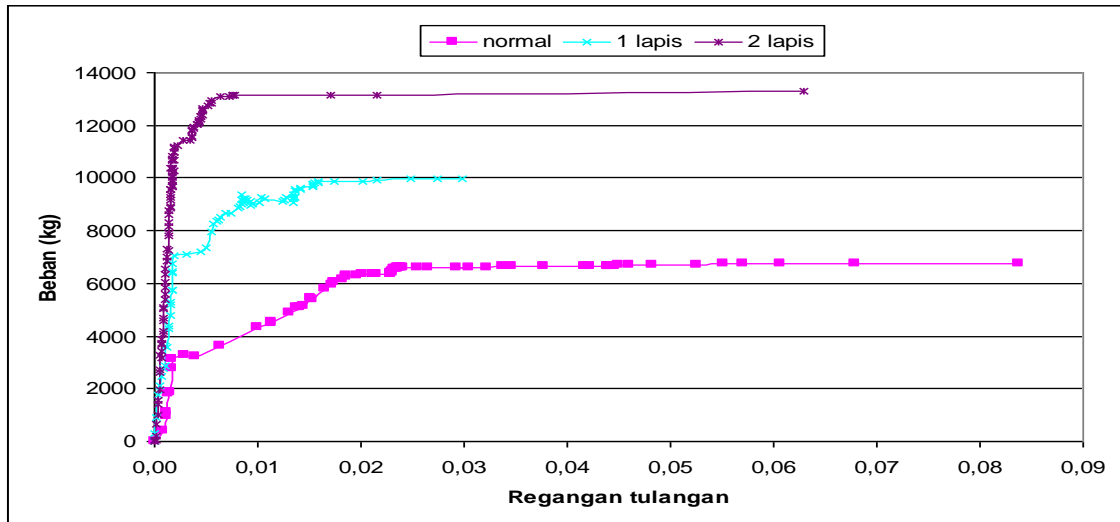
dibebani dengan dua beban terpusat seperti diperlihatkan pada Gambar 3 dibawah. Beban disalurkan oleh Load Cell Tipe CLP-100B kapasitas 1 MN yang menekan rol beban. Beban tersebut dinaikkan secara bertahap menggunakan Compressor merek Freesia Macross Tipe HJ-15A.



Lendutan diukur dengan menggunakan sebuah transduser tipe CDP-100 dengan tingkat ketelitian 1000×10^{-6} mm yang diletakkan pada tengah balok untuk membaca lendutan pada tengah bentang. Pada setiap tahap akan dicatat besar beban, regangan baja, lendutan pada tengah bentang dan pola retak yang terjadi. Semua data ini di monitor dan direkam melalui Portable Data Logger TDS 302, kecuali pola retak yang hanya dicatat secara manual.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan momen lentur pada keadaan yield menurut hasil eksperimen dilakukan dengan menganalisa regangan baja untuk mendapatkan beban yield atau beban yang bekerja pada saat baja mulai luluh.



Gambar 4 Grafik hubungan antara beban dan regangan tulangan tanpa perkuatan, dengan perkuatan 1 lapis dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet

Pada Gambar 4 diatas diperlihatkan grafik hubungan beban dan regangan tulangan pada pengujian balok beton bertulang tanpa perkuatan, dengan perkuatan 1 lapis dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet. Dari grafik tersebut dapat ditentukan besarnya beban yield atau beban yang bekerja pada saat regangan mencapai titik luluh sebesar 0,0018 (sesuai dengan hasil uji tarik baja diameter 14 mm). Dari grafik hubungan regangan dan beban gambar diatas dapat ditentukan beban pada saat yield sebesar 1565 kg, 3530 kg dan 5560 kg untuk balok beton bertulang tanpa perkuatan carbon fibre, dengan perkuatan carbon fibre sheet 1 lapis dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet.

Karena beban (P) yang diberikan pada balok adalah beban terpusat yang dikonvesikan menjadi dua titik beban, maka besarnya beban (P₂) pada masing-masing titik adalah setengah dari beban terpusat yang diberikan. Momen lentur dapat ditentukan dengan cara mengalikan beban yield (P_{2y}) dengan jarak dari tumpuan ke titik beban yaitu sebesar 70 cm. Hasil perhitungan momen lentur secara teoritis dan eksperimental dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Kapasitas lentur balok beton bertulang pada keadaan yield

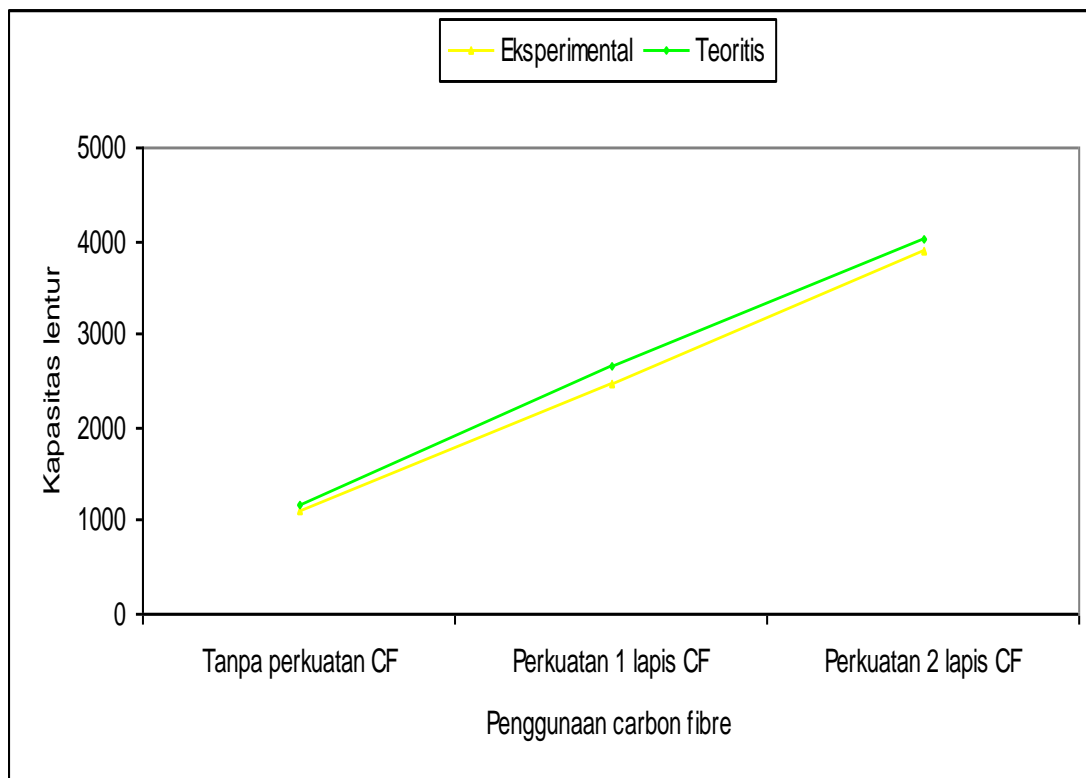
No.	Balok Beton Bertulang	Eksperimental		Teoritis	
		P _{2y} (kg)	M _y (kg.m)	P _{2y} (kg)	M _y (kg.m)
1.	Tanpa perkuatan carbon fibre	1565	1095	1691	1183
2.	Dengan perkuatan 1 lapis carbon fibre sheet	3530	2471	3783	2648
3.	Dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet	5560	3892	5722	4005

Peningkatan kapasitas lentur terhadap balok tanpa perkuatan carbon fibre sheet dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Peningkatan kapasitas lentur balok beton bertulang pada keadaan yield terhadap penggunaan carbon fibre sheet

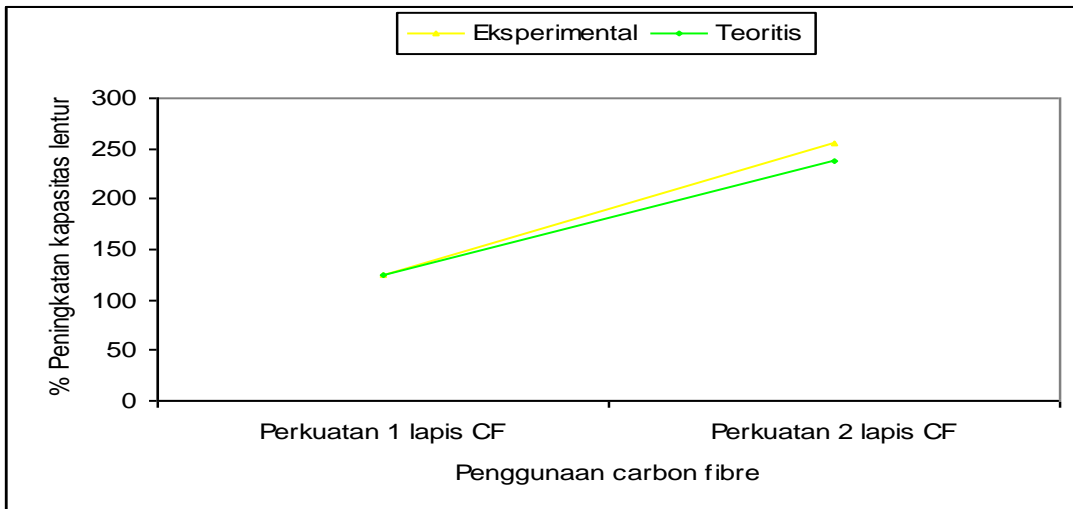
No.	Balok Beton Bertulang	Kapasitas Lentur (M_y) (kg.m)		Peningkatan Kapasitas Lentur (%)	
		Eksperimental	Teoritis	Eksperimental	Teoritis
1.	Dengan perkuatan 1 Lapis	2471	2471	126	124
2.	Dengan perkuatan 2 Lapis	3892	3892	255	238

Dari hasil perhitungan momen lentur secara teoritis dan eksperimental pada keadaan yield dapat dibuat grafik hubungan penggunaan carbon fibre dengan kapasitas lentur yang disajikan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5 Grafik hubungan penggunaan carbon fiber sheet terhadap peningkatan kapasitas lentur pada keadaan yield

Dari grafik diatas dapat dibuat grafik hubungan persentase peningkatan kapasitas lentur secara teoritis dan eksperimental terhadap penggunaan carbon fibre pada keadaan yield.



Gambar 6 Grafik hubungan penggunaan carbon fiber sheet terhadap persentase peningkatan kapasitas lentur pada keadaan yield

Hasil perhitungan momen lentur secara teoritis dan eksperimen pada keadaan ultimit dapat dilihat pada Tabel 4 dan Peningkatan kapasitas lentur terhadap balok tanpa perkuatan carbon fibre dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

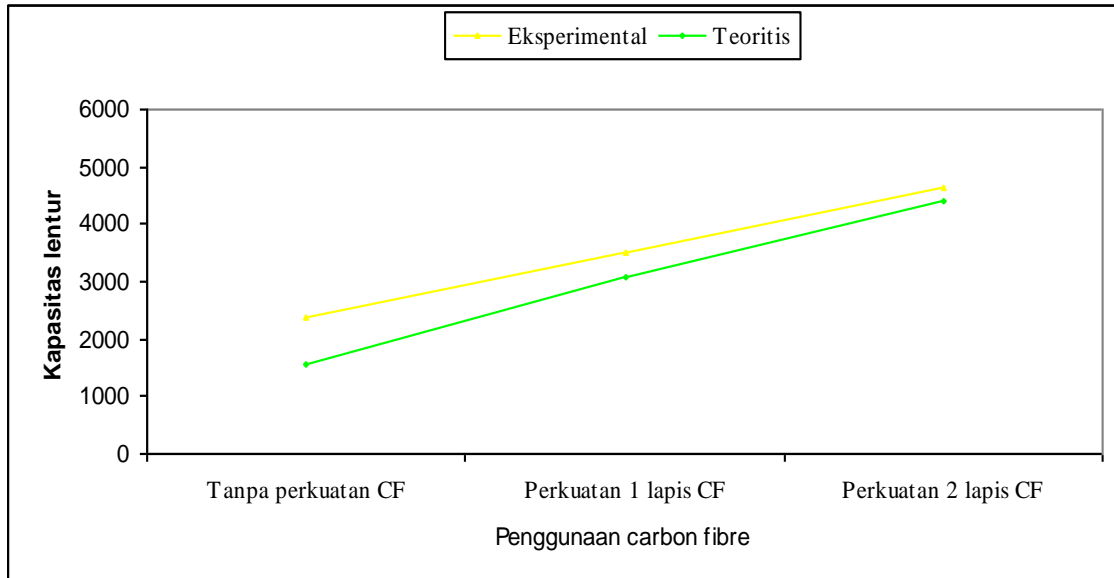
Tabel 4 Kapasitas lentur balok beton bertulang pada keadaan ultimit

No.	Balok Beton Bertulang	Eksperimental		Teoritis	
		P _{2u} (kg)	M _u (kg.m)	P _{2u} (kg)	M _u (kg.m)
1.	Tanpa perkuatan carbon fibre	3400	2380	2229	1561
2.	Dengan perkuatan 1 lapis carbon fibre	5000	3500	4408	3085
3.	Dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre	6650	4655	6315	4420

Tabel 5 Peningkatan kapasitas lentur balok beton bertulang pada keadaan ultimit terhadap perkuatan carbon fibre sheet

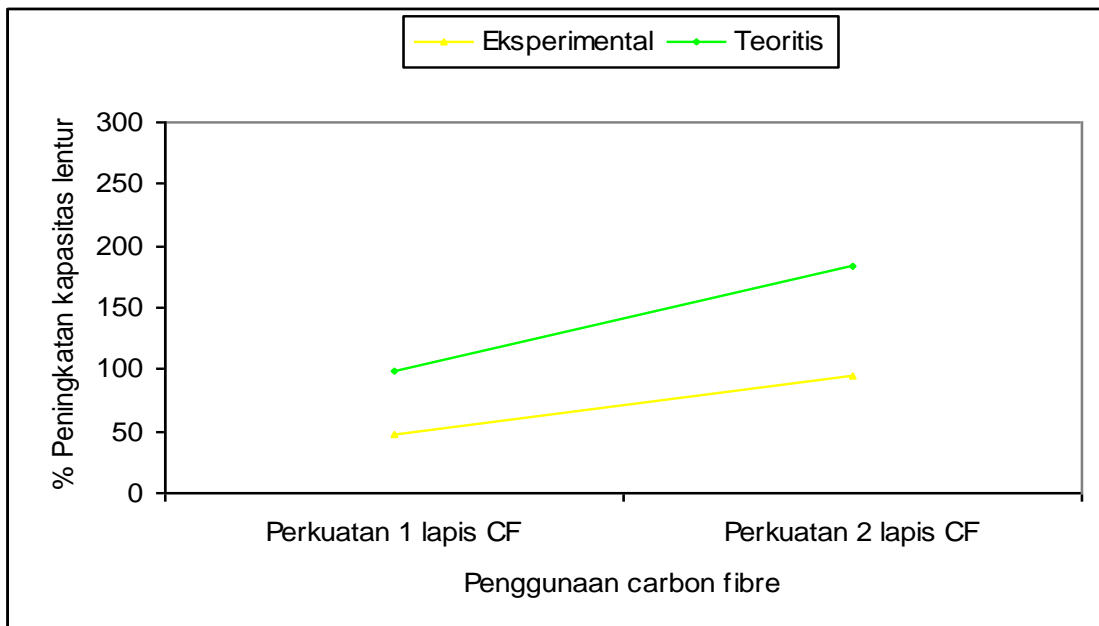
No.	Balok Beton Bertulang	Kapasitas Lentur (M _u) (kg.m)		Peningkatan Kapasitas Lentur (%)	
		Eksperimental	Teoritis	Eksperimental	Teoritis
1.	Dengan perkuatan 1 lapis	3500	3085	47	98
2.	Dengan perkuatan 2 lapis	4655	4420	96	183

Dari hasil perhitungan momen lentur secara teoritis dan eksperimental pada keadaan ultimit dapat dibuat grafik hubungan penambahan carbon fibre dengan kapasitas lentur yang disajikan pada Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7 Grafik hubungan penambahan carbon fiber sheet terhadap peningkatan kapasitas lentur pada keadaan ultimit

Dari grafik diatas dapat dibuat grafik hubungan persentase peningkatan kapasitas lentur secara teoritis dan eksperimental terhadap penggunaan carbon fibre pada keadaan ultimit yang disajikan pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8 Grafik hubungan penambahan carbon fiber sheet terhadap persentase peningkatan kapasitas lentur pada keadaan ultimit

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian pengaruh carbon fibre sheet terhadap peningkatan lentur balok beton bertulang dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Penambahan carbon fibre sheet berpengaruh terhadap peningkatan kapasitas lentur balok beton bertulang. Pada keadaan yield kapasitas lentur balok tanpa perkuatan, dengan perkuatan 1 lapis dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet masing-masing sebesar 1095 kgm, 2471 kgm dan 3892 kgm.
- Peningkatan kapasitas lentur balok dengan perkuatan 1 lapis dan 2 lapis carbon fibre sheet terhadap balok tanpa perkuatan carbon fibre sheet pada keadaan yield adalah masing-masing sebesar 126% dan 255%.
- Pada keadaan ultimit kapasitas lentur balok tanpa perkuatan, dengan perkuatan 1 lapis dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet adalah masing-masing sebesar 2380 kgm, 3500 kgm dan 4655 kgm.
- Peningkatan kapasitas lentur balok dengan perkuatan 1 lapis dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet terhadap balok tanpa perkuatan fibre sheet pada keadaan ultimit adalah masing-masing sebesar 47% dan 96%.

5. SARAN

Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk diterapkan pada pekerjaan konstruksi yang berhubungan dengan elemen struktur. Untuk maksud itu penulis menyarankan melanjutkan penelitian, dengan memasukkan beberapa hal tambahan sebagai berikut:

- Penelitian dilanjutkan dengan melihat lebih khusus tentang pengaruh penggunaan carbon fibre sheet terhadap kekakuan balok beton bertulang.
- Penelitian dilanjutkan dengan mengambil variabel lain seperti rasio tulangan tarik, rasio tulangan geser dan mutu beton

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih yang tak terhingga yang telah banyak memberikan bekal berupa ilmu kepada Penulis sejak awal penelitian sampai menyelesaikan laporan penelitian ini kepada :

- Civitas akademik STKIP Bina Bangsa Meulaboh,
- Ketua UPPM STKIP Bina Bangsa Meulaboh,
- Ketua, Sekretaris dan Staff Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala;
- Bapak-bapak dan Ibu-ibu Dosen di lingkungan Jurusan Teknik Sipil Bidang Struktur Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala,
- Pihak-pihak yang telah membantu dan menyukseskan pelaksanaan kegiatan ini.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal atas jasa-jasa dan budi baik semua pihak yang telah membantu Penulis dalam menyelesaikan laporan penelitian ini. mengucapkan terima kasih kepada xxx yang telah memberi dukungan **financial** terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, 2004, Retrofitting Existing R/C Structures and Repair Materials, Seminar Sehari Department of Civil Engineering Syiah Kuala University, Darussalam Banda Aceh.
- [2] Dipohusodo, I., 1996, Struktur beton Bertulang Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- [3] Gere, J.M., dan Stephen P. Timoshenko, 1996, Mekanika bahan, Edisi kedua, Penerbit Gramedia, Jakarta
- [4] Hartono, 2003, Perkuatan Struktur beton dengan FRP, Proceeding Advances on Concrete Technology and Structures, Universitas Andalas Padang, Padang.
- [5] Hayati, Y., 2004, Strengthening Method of Existing RC Structure by Using FRP sheet, Jurnal Teknik Sipil Volume 3 Tahun III No.1 Mei 2004, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh.
- [6] Nawy, E.G., 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Penerbit PT. Etrasco, Bandung.
- [7] Park, R., and Paulay, T., 1994, Reinforced Concrete Structures, Jhon Wiley & Sons inc, New York.
- [8] Purwato, Suhendro, dan Triwiyono, 2002, Perkuatan Lentur dengan Geser Balok beton Bertulang Pasca Bakar dengan Carbon Fibre Strip dan Carbon Wrapping, Forum teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [9] Schwegler, G., dan Harri M. Santoso, 1998, Strengthening Structures with Carbon Fibre Reinforced Polymer Strip (kursus singkat) PAU ITB, Bandung.
- [10] Sudjati, J.J., dan Adreas Triwiyono, 2003, Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Carbon fibre Jacket, Jurnal Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- [11] Tavakkolizadeh, M., and Saadatmanesh, 2003, Strengthening of Steel Concrete Composite Girders Fibre Reinforced Polymer Patch, Journal of Sturctural Engineering, vol. 129 NO. 2, ASCE.
- [12] Tumatar, J., dan Hartono, 2004, Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton, Proceeding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Fakultas teknik Universitas Syiah kuala Banda Aceh.
- [13] ACI Committee, 1991, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight and Mass Concrete, ACI 211.1-91, Michigan