

PENGARUH PENGGUNAAN CARBON FIBRE SHEET TERHADAP KEKAKUAN PADA BALOK BETON BERTULANG

Mulyadi

*STKIP Bina Bangsa Meulaboh, Jl. Nasional Meulaboh-Tapaktuan Peunaga Cut Ujong Kec. Meureubo Kab. Aceh Barat
23615, E-mail: mul_young@yahoo.co.id*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan carbon fibre sheet (cfs) terhadap perilaku lentur balok beton bertulang. Benda uji yang menjadi objek penelitian ini adalah balok beton bertulang dengan penambahan cfs dengan ukuran 20 cm x 30 cm x 220 cm. Jumlah benda uji balok adalah 3 buah dan 19 benda uji kontrol mutu beton. Benda uji itu dibagi dalam tiga tipe yaitu tipe I benda uji tanpa perkuatan, tipe II benda uji dengan perkuatan 1 lapis dan tipe III benda uji dengan perkuatan 2 lapis cfs. Pengujian lentur dilakukan dengan meletakkan balok di atas dua tumpuan dengan jarak antar tumpuan 200 cm dan kemudian dibebani dengan dua buah beban terpusat dengan jarak antar kedua beban tersebut adalah 60 cm. Balok dibebani secara bertahap hingga mencapai beban puncak. Setiap tahapan beban dicatat besarnya beban, lendutan dan diamati pola retak yang terjadi. Hasil penelitian penambahan carbon fibre sheet dapat menurunkan kekakuan awal maupun kekakuan retak. Pola kehancuran pada penelitian ini pun berubah dari kehancuran lentur menjadi kehancuran geser seiring penambahan lapis cfs.

Kata-kata kunci: CFS, kekakuan, balok beton bertulang

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.

Namun demikian pada kenyataannya banyak sekali bangunan-bangunan sipil yang menunjukkan kelemahannya pada saat operasi awalnya. Adanya retak-retak yang berlebihan, korosi pada tulangan beton atau kegagalan lekatan baja beton dapat berakibat pada menurunnya daya dukung komponen struktur terhadap beban-beban yang bekerja.

Selain itu variasi yang merugikan dari kekuatan bahan, pengerjaan dan tingkat pengawasan juga dapat mengurangi kekuatan dari suatu komponen struktur. Meningkatnya deformasi struktur bahkan dapat menyebabkan

runtuhnya suatu struktur. Kesalahan dalam pengambilan mutu bahan, volume yang tidak mencukupi, kesalahan prosedur pelaksanaan, peningkatan beban pemakaian, mengakibatkan kapasitas konstruksi tidak sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Untuk menghindari keadaan tersebut perlu dilakukan alternatif peningkatan kekuatan dengan perbaikan/perkuatan konstruksi.

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. Balok

merupakan komponen struktur yang berperan penting untuk mendukung beban, momen lentur dan gaya geser. Balok yang didesain adalah untuk mendapatkan struktur yang aman terhadap beban atau efek beban yang bekerja selama masa penggunaan bangunan.

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.

Abdullah (2004), menjelaskan bahwa salah satu metode untuk perbaikan/ perkuatan struktur adalah dengan menggunakan carbon fibre sheet (CFS), dengan perekat menggunakan polymer epoksi resin.

Hartono (2003), mengatakan bahwa untuk mencegah terjadinya geser pada beton bertulang perlu ditingkatkannya kapasitas momen lentur pada balok atau plat dengan menambahkan FRP pada bagian tarik. Bentuk plat lebih efektif dan efisien untuk perkuatan lentur baik pada balok maupun plat pada dinding.

Tumatar dan Hartono (2004), tujuan dari perkuatan struktur beton umumnya adalah untuk

meningkatkan kapasitas dari struktur dalam menahan beban atau mengembalikan ke kapasitas rencana

Takeshi dkk (1997), telah membuat perkuatan balok beton bertulang dengan menggunakan Carbon Fibre strip yang diletakkan pada lapisan bawah, dan 1 buah benda uji mempunyai CFS yang dibungkus atau ditempelkan berbentuk U, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Lekatan kekuatan ketika CFS digunakan untuk membungkus beton adalah lebih besar daripada tanpa CFS.

Dengan menggunakan CFS berbentuk U, peningkatan kekuatan lentur kecil tetapi defleksi mengalami peningkatan sebesar 50%.

Jin Hong dkk (1997), menggunakan Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) untuk perkuatan balok beton bertulang, yang diletakkan pada bagian bawah yang menunjukkan bahwa perekatan di plat CFRP pada balok beton bertulang adalah lebih cepat dan lebih mudah dari perekatan plat baja. CFRP mempunyai kapasitas beban yang cukup besar dari baja.

Purwanto dkk (2002), menunjukkan perkuatan terhadap balok beton bertulang pasca bakar dengan carbon fibre strip pada sisi bawah seperti Gambar 2.1 di bawah ini. Kekuatan naik rata-rata 2,41% dibanding dengan balok tanpa perkuatan. Setelah diperkuat dengan carbon fibre strip pada bagian lenturnya terhadap beton bertulang yang terbakar maka kuat lentur ultimit naik rata-rata 6,06% dibanding dengan balok tanpa perkuatan.

Sudjati dan Triwiyono (2003), menggunakan carbon fibre strip jacket mengelilingi benda uji kolom yang menunjukkan bahwa dapat mengubah pola kerusakan dari rusak geser menjadi rusak lentur. Kapasitas beban lateral lebih besar rata-rata 75,566% dibanding dengan kolom tanpa perkuatan.

Tavakkolizadeh dan Saadatmanesh (2003), telah melakukan perkuatan dengan menggunakan carbon fibre reinforced polymer sheet pada balok profil W 14x30, dipasang pada bagian bawah atau bagian tarik dengan 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis. Dari hasil pengujian menunjukkan adanya perkuatan yang berarti terhadap balok yang diperkuat dibanding dengan tidak diperkuat.

Fukuyama dan Shusunke (2000), menggunakan carbon fibre sheet untuk perkuatan kolom bangunan setelah gempa Hyogoken-Nanbu. Fibre sheet dilekatkan pada seluruh permukaan kolom.

Hayati (2004), menggunakan perkuatan dengan FRP (Fibre Reinforced Polymer) sheet yang dipasang pada daerah geser dan berbentuk strip yang penempatannya bertujuan untuk

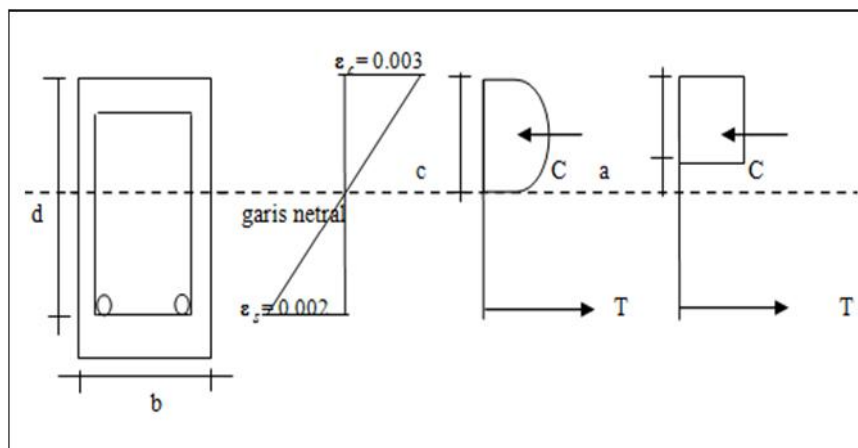
pengekanan balok. Hasil menunjukkan bahwa penambahan rasio FRP sheet dapat meningkatkan kekuatan geser yang besar pada balok beton bertulang dan kolom.

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 and Paulay, 1975). Kapasitas momen nominal penampang balok beton bertulang menurut Park dan Paulay (1975), dihitung dengan Persamaan berikut ini :

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

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



Gambar 1 Diagram Tegangan-regangan Balok Beton Bertulang
Sumber : Park dan Paulay (1975)

dimana :

- Mn = 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).

Menurut Nawy (1990) besarnya lendutan (defleksi) pada balok beton bertulang dapat dicari dengan Persamaan di bawah ini:

$$\Delta = \frac{Pa}{24EI}(3L^2 - 4a^2)$$

... 2-13

Dimana :

- Δ = lendutan beton (cm);
P = beban (kg);
a = jarak beban dari tumpuan (cm);
EI = kekakuan balok (kg.cm²); dan
L = panjang bentang (cm).

Jadi dengan rumus untuk mencari defleksi menurut Nawy (1990), dapat ditentukan besarnya kekakuan balok beton bertulang dengan Persamaan dibawah ini :

2) Keruntuhan Tarik Diagonal (DT)

Keruntuhan ini dapat terjadi apabila kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil dari pada kekuatan lenturnya. Retak-retak mulai terjadi di tengah bentang, berarah vertikal, yang berupa retak halus,

$$EI = \frac{pa}{24\Delta}(3L^2 - 4a^2)$$

... 2-14

Kelangsingan balok yaitu perbandingan antara bentang bersih dengan tinggi balok menentukan ragam keruntuhan/kehancuran pada balok. Menurut Nawy (1990), keruntuhan balok dapat dibagi tiga ragam keruntuhan yaitu:

1) Keruntuhan Lentur (F)

Pada daerah yang mengalami keruntuhan lentur, retak terutama terjadi pada sepertiga tengah bentang, dan tegak lurus terhadap arah tegangan utama. Retak-retak ini diakibatkan oleh tegangan geser yang sangat kecil dan tegangan lentur yang sangat dominan yang besarnya hampir mendekati tegangan utama horizontal. Dalam keadaan hancur lentur demikian, beberapa retak halus berarah vertikal terjadi di daerah tengah bentang sekitar 50% dari yang diakibatkan oleh beban lentur. Apabila bebannya bertambah terus, retak-retak di tengah bentang bertambah, dan retak awal yang sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang menuju sumbu netral penampang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan di tengah bentang.

dan diakibatkan oleh lentur. Hal ini diikuti dengan rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton disekitarnya, pada perletakan.

3) Keruntuhan Tekan Geser (SC)

Keruntuhan ini dimulai dengan timbulnya retak lentur halus vertikal ditengah bentang, dan tidak terus menjalar, karena terjadinya kehilangan lekatan antara tulangan membujur (longitudinal) dengan beton disekitarnya pada daerah perletakan. Setelah itu diikuti dengan retak miring, yang lebih curam dari pada retak diagonal tarik, secara tiba-tiba dan menjalar terus menuju sumbu netral. Kecepatan penjaran ini semakin berkurang sebagai akibat dari hancurnya beton pada tepi tertekan dan terjadinya redistribusi tegangan pada daerah atas.

Jadi Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pola kehancuran balok dan kekakuan balok dengan penambahan *Carbon Fibre Sheet (CFS)*.

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

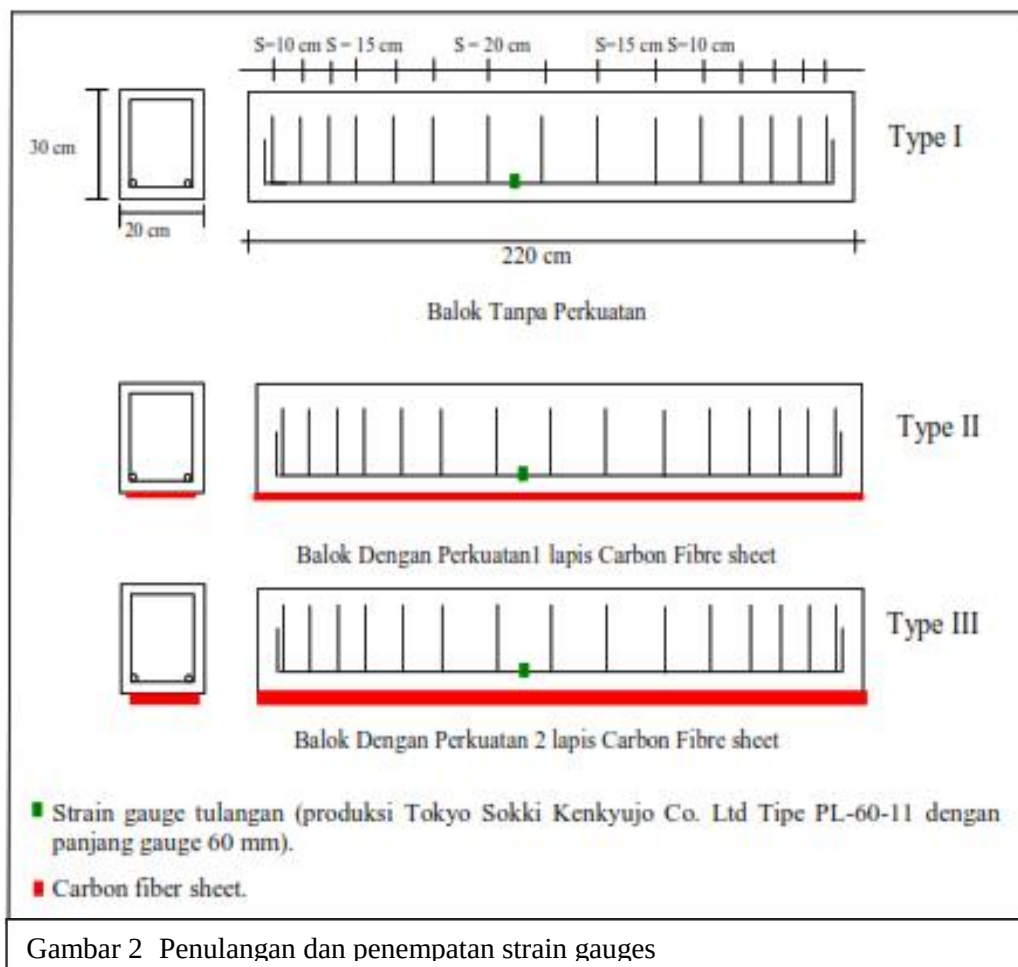
benda uji selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 1.

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 ini.



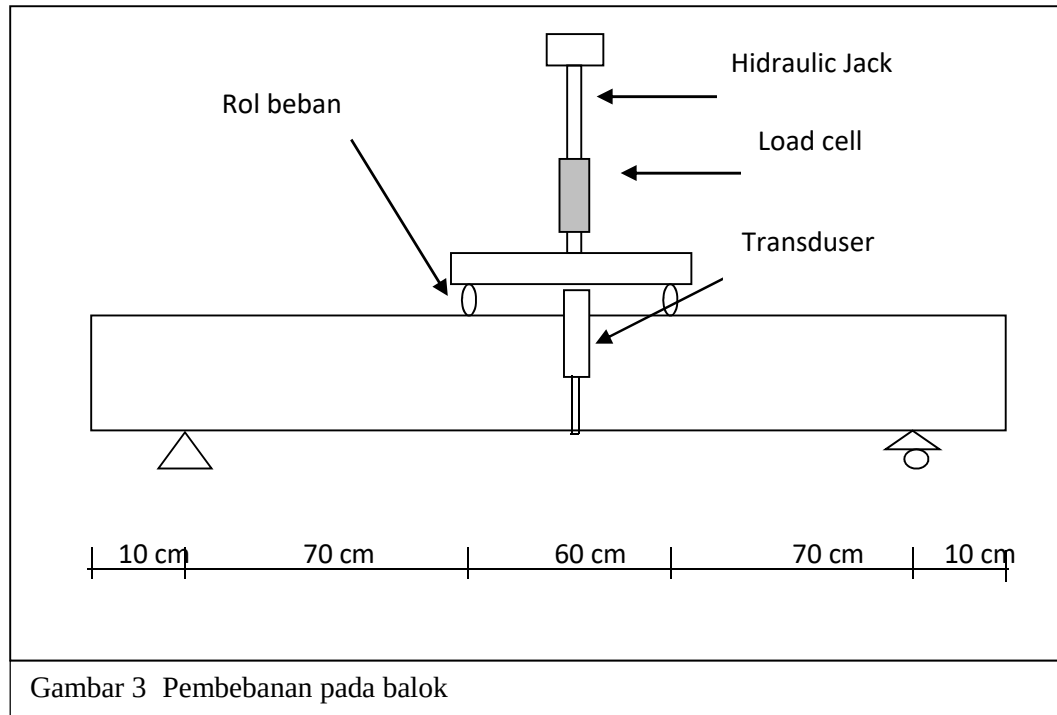
benda uji tipe II (dengan perkuatan 1 lapis carbon fibre sheet) dan tipe III (dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet) setelah masa perawatan selesai. Carbon fibre yang digunakan adalah produksi dari negara United Emirates Arab. Penelitian ini memakai carbon fibre berbentuk lembaran (sheet). Bahan 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 Compresor 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. Data yang diperoleh dari pengujian kuat tarik baja dapat ditentukan berapa tegangan luluh baja tersebut. Pengujian kuat tekan silinder beton

dihitung secara statistik sederhana yaitu dengan cara mengambil rata-rata dari kuat tekan rata-rata benda uji silinder untuk setiap benda uji balok rata dari data tersebut.

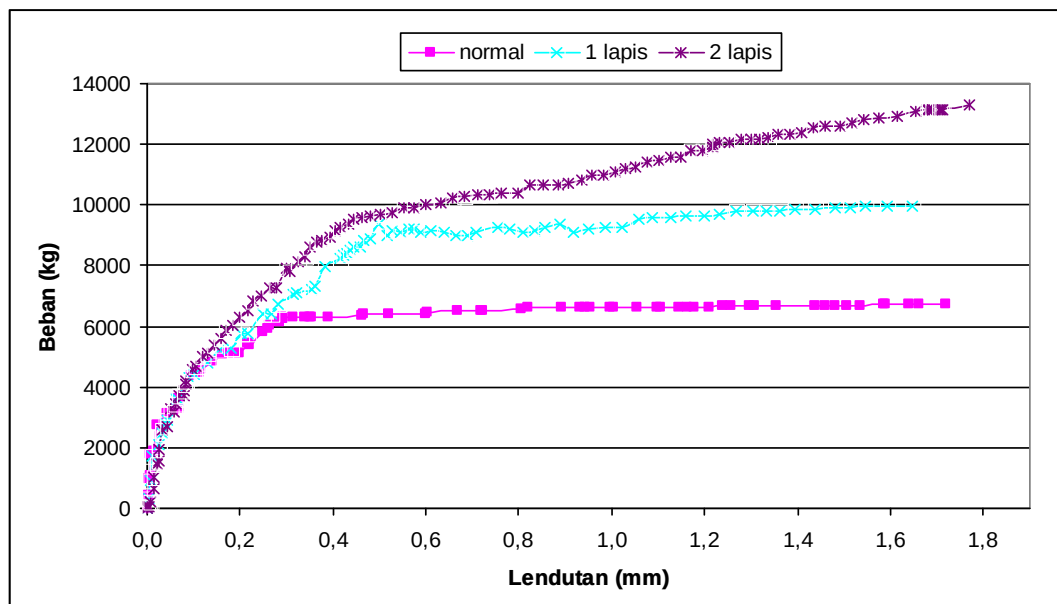
Mutu beton diperoleh. Data dari pengujian lentur balok terdiri dari data beban, regangan baja tarik, lendutan dan pola retak. Data ini dianalisis secara sederhana, dari analisis tersebut diharapkan dapat terjawab permasalahan utama dari penelitian ini yaitu pengaruh penambahan carbon fibre terhadap pola kehancuran, kapasitas lentur dan kekakuan pada balok beton bertulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Retak yang terjadi pada setiap benda uji balok beton bertulang tanpa perkuatan, dengan perkuatan 1 lapis dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre memperlihatkan pola retak lentur yang relatif sama. Pada awal pembebanan terjadi retak lentur pada daerah tengah bentang balok berupa garis-garis yang hampir tegak lurus dan kemudian bercabang menuju daerah tekan. Pada saat beban bertambah, retak di tengah bentang akan bertambah panjang bersamaan dengan bertambah besarnya defleksi di tengah bentang. Retak ini berbentuk miring dan menuju ke arah beban dan hanya sedikit bertambah panjang ketika tercapainya beban ultimit. Tetapi pada balok beton bertulang dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet terjadi retak miring (retak geser) dimulai pada tumpuan kemudian menjalar

ke arah beban pada daerah tekan pada saat beban mencapai maksimum/ultimit.

Berdasarkan pola retak yang terjadi dapat dilihat retak akibat lentur sangat dominan, maka dapat disimpulkan bahwa keruntukan yang terjadi adalah keruntukan lentur, tetapi pada balok dengan perkuatan 2 lapis terjadi pola retak/keruntukan geser pada beban maksimum/ultimit. Penentuan kekakuan dilakukan berdasarkan perbandingan antara beban dengan defleksi. Hubungan antara beban dan lendutan untuk masing-masing balok beton bertulang tanpa perkuatan carbon fibre, dengan perkuatan 1 lapis carbon fibre dan dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Grafik hubungan antara beban dan lendutan benda uji tanpa perkuatan, dengan perkuatan 1 lapis dan perkuatan 2 lapis carbon fiber sheet.

Dari grafik diatas penentuan kekakuan balok beton bertulang dibagi dua daerah, yaitu

kekakuan awal dan kekakuan retak. Kekakuan benda uji dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Hasil penentuan kekakuan pada masing-masing daerah

No.	Balok Beton Bertulang	Kekakuan (EI)	
		(10 ¹¹)	
		Awal	Retak
1.	Tanpa perkuatan carbon fibre	5,551	1,021
2.	Perkuatan 1 lapis carbon fibre	2,622	0,766
3.	Perkuatan lapis carbon fibre	1,517	0,838

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pengaruh penambahan carbon fibre sheet terhadap perilaku lentur balok beton bertulang dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- o Keruntuhan yang terjadi pada balok beton bertulang tanpa perkuatan dan dengan perkuatan 1 lapis carbon fibre sheet adalah keruntuhan lentur, tetapi pada balok dengan perkuatan 2 lapis carbon fibre sheet terjadi rusak/retak geser pada saat terjadi beban maksimum/ultimit.
- o Penambahan carbon fibre sheet menurunkan kekakuan, baik kekakuan awal maupun kekakuan retak.

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:

- o Penelitian dilanjutkan dengan melihat lebih khusus tentang pengaruh penggunaan carbon fibre sheet terhadap kekakuan balok beton bertulang.
- o Penelitian dilanjutkan dengan mengambil variabel lain seperti rasio tulangan tarik, rasio tulangan geser dan mutu beton.
- o Penelitian dilanjutkan dengan memberi penambahan carbon fibre pada lentur dan gesernya.
- o Penelitian dilanjutkan dengan mengukur pola retak geser yang terjadi pada balok beton bertulang.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, 2004, Retrofitting Existing R/C Structures and Repair Materials, Seminar Sehari Department of Civil Engineering

Syiah Kuala University, Darussalam Banda Aceh.

Dipohusodo, I., 1996, Struktur beton Bertulang Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03, Penerbit Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

- Gere, J.M., dan Stephen P. Timoshenko, 1996, Mekanika bahan, Edisi kedua, Penerbit Gramedia, Jakarta
- Hartono, 2003, Perkuatan Struktur beton dengan FRP, Proceeding Advances on Concrete Technology and Structures, Universitas Andalas Padang, Padang.
- 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.
- Nawy, E.G., 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Penerbit PT. Etrasco, Bandung.
- Park, R., and Paulay, T., 1994, Reinforced Concrete Structures, Jhon Wiley & Sons inc, New York.
- 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.
- Schwegler, G., dan Harri M. Santoso, 1998, Strengthening Structures with Carbon Fibre Reinforced Polymer Strip (kursus singkat) PAU ITB, Bandung.
- Sudjati, J.J., dan Adreas Triwiyono, 2003, Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Carbon fibre Jacket, Jurnal Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Tavakkolizadeh, M., and Saadatmanesh, 2003, Strengthening of Steel Concrete Composite Girders Fibre Reinforced Polymer Patch, Journal of Sturctural Engineering, vol. 129 N0. 2, ASCE.
- 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.
- ACI Committee, 1991, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy Weight and Mass Concrete, ACI 211.1-91, Michigan.