

Pemodelan Metode Elemen Hingga Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan *CFRP* (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) yang Dikenai Lentur dan Geser

Stefanus Rada¹, Putu A. A. Aptiyasa²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Pertanian, Universitas Nani Bili Nusantara

¹Stefanusrada@gmail.com*, ²aptiyasa@gmail.com

Abstract

Reinforced concrete beams as structural elements are designed to withstand working load. Expenses that exceed the capacity of the beam section, would result in the failure load bearing beams in flexure and shear. In this analysis, the beam with two point loading using CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) as reinforcement against bending and shear capacity. Modeling carried out by the three dimensional shape, using the Abaqus Student Edition program 6.14. There are three sections in the analysis is the eight point solid elements (beams), shell element (CFRP), and truss elements (reinforcement), using the concept of embedded elements and tie fuction. The steps that must be overcome in the process of analysis is pre processing, simulation and post-processing. The results of the analysis of Abaqus Student Edition 6.14 with experimental results performed by others, that the concrete beams reinforced by CFRP reinforcement subjected to bending and shear, did not show a significant difference in the difference in value. The beams are subjected to bending has a difference of values, namely: the type of R1 = 8,197%; R2 = 1,443%; R3 = 1,393%; EBR_M 1 layer = 4,360%; EBR_M 2 layers = 2,390%; and EBR_M 3 layers = 0,115%. While the beam is subjected to shear has a difference of values, namely: the type A10_R = 0,199%; A10_S = 22,055%; A10_M = 0,770%; A12_R = 0,429%; A12_S = 39,546%; A12_M = 21,421%; B10_R = 10,781%; and B12_R = 8,322%.

Keywords: : Reinforced concrete beam, CFRP, Abaqus Student Edition 6.14.

Abstrak

Balok beton bertulang sebagai elemen struktur yang didesain untuk dapat menahan beban yang bekerja. Beban yang melebihi kapasitas penampang balok, akan mengakibatkan kegagalan balok dalam menahan beban lentur maupun geser. Pada analisis ini, balok dengan dua titik pembebanan menggunakan *CFRP* (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) sebagai perkuatan terhadap kapasitas lentur dan geser. Pemodelan dilakukan dengan bentuk tiga dimensi, menggunakan program *Abaqus Student Edition 6.14*. Ada tiga bagian dalam analisis yaitu elemen *solid* delapan titik (balok), elemen *shell* (*CFRP*), dan elemen *truss* (tulangan), dengan menggunakan konsep *embedded element* dan *tie fuction*. Langkah-langkah yang harus dilewati dalam proses analisis yaitu *pre processing*, *Simulasi* dan *post processing*. Hasil analisis *Abaqus Student Edition 6.14* dengan hasil experimental yang dilakukan oleh orang lain, bahwa balok beton bertulang yang diberi perkuatan *CFRP* yang dikenai lentur maupun geser, tidak menunjukkan perbedaan selisih nilai yang signifikan. Balok yang dikenai lentur memiliki selisih nilai, yaitu: tipe R1= 8,197 %; R2 = 1,443 %; R3 = 1,393 %; EBR_M 1 lapis = 4,360 %; EBR_M 2 lapis = 2,390 %; dan EBR_M 3 lapis = 0,115 %. Sedangkan balok yang dikenai geser memiliki selisih nilai, yaitu: tipe A10_R = 0,199 %; A10_S = 22,055 %; A10_M = 0,770 %; A12_R = 0,429 %; A12_S = 39,546 %; A12_M = 21,421 %; B10_R = 10,781 %; dan B12_R = 8,322 %.

Kata kunci: Balok beton bertulang, CFRP, Abaqus Student Edition 6.14.

Diterima Redaksi : 21-02-2025 | Selesai Revisi : 24-02-2025 | Diterbitkan Online : 24-02-2025

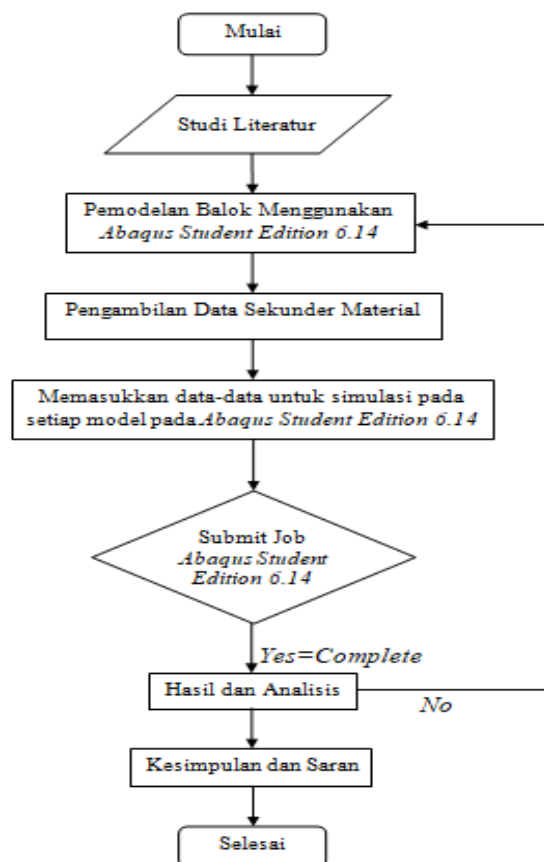
1. Pendahuluan

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk mengembalikan atau meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai rencana. Perkuatan struktur dapat dilakukan dalam beberapa metode yaitu *Concrete Jacketing*, *Steel Jacketing* dan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* (Sunaryo dkk, 2009).

CFRP adalah serat karbon yang didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90% berat karbon. Serat karbon tidak menunjukkan korosi atau pecah pada suhu kamar. Cara pemasangan *CFRP* adalah dengan melilitkannya mengelilingi permukaan elemen struktur yang diperkuat dengan menggunakan perekat *epoxy*. Sistem kerjanya sama dengan tulangan transversal konvensional (Karmila dkk, 2013).

Saat ini telah berkembang berbagai metode perbaikan dan perkuatan struktur, salah satunya adalah menggunakan lembaran *FRP (Fiber Reinforced Polymer)*. Secara umum bahan serat yang digunakan pada *FRP* ada 3 jenis, yaitu serat karbon (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*), serat gelas (*Glass Fiber Reinforced Polymer*), dan serat aramid (*Aramid Fiber Reinforced Polymer*).

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Langkah Penelitian

2.1 Data Penelitian

Data penelitian menggunakan data sekunder dari pengujian kuat lentur dan geser balok beton bertulang yang dilakukan oleh J.A.O. Barros, S.J.E.Dias, dan J.L.T.Lima dalam jurnal berjudul “Efficacy of CFRP-based techniques for the flexural and shear strengthening of concrete beams” yang dipublikasikan di *Journal of Engineering Sciences*, Department of Civil Engineering, School of Engineering, Universitas of Minho, Azurem, 4800-058 Guimaraes, Portugal.

2.2 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1, dimulai dengan mengidentifikasi masalah yang ada saat ini mengenai perilaku lentur dan geser pada balok beton bertulang dengan perkuatan CFRP. Dalam peraturan ACI Committee 440 Appendix A, telah dibahas mengenai balok beton bertulang dengan perkuatan FRP.

Langkah selanjutnya adalah mempelajari metode dari penelitian yang dilakukan oleh J.A.O. Barros, S.J.E.Dias, dan J.L.T.Lima, tentang efektifitas CFRP dengan teknik NSM dan EBR, dan ternyata bahwa teknik NSM lebih efektif dibandingkan teknik EBR yang sebatas pada perkuatan geser dan lentur pada balok beton bertulang, tetapi untuk teknik kombinasi belum dilakukan.

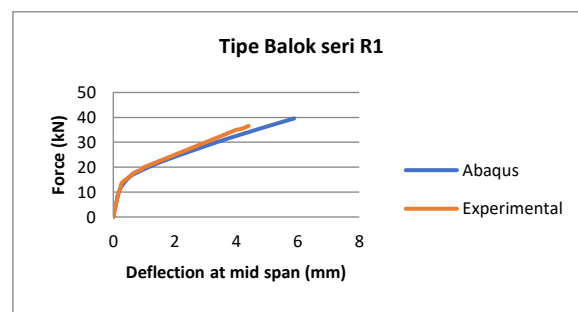
Selanjutnya melakukan pemodelan *FEM Non Linear* balok beton bertulang dengan perkuatan CFRP pada program Abaqus 6.14 *Student Edition* untuk mendapatkan nilai yang lebih efektif terhadap kombinasi perkuatan pada balok beton bertulang dengan CFRP. Selanjutnya memvisualisasikan hasil tersebut dalam bentuk tabel dan grafik. Pada tahapan terakhir adalah memberikan kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

3. Hasil Analisis dan Pembahasan

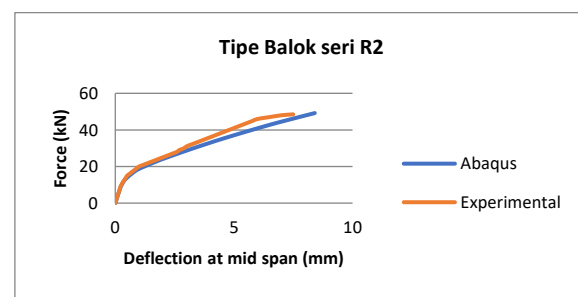
3.1 Balok beton bertulang yang dikenai lentur

Tabel 1. Perbandingan Beban dan Momen Maksimum Hasil Experimental dengan Hasil *Abaqus Student Edition 6.14*

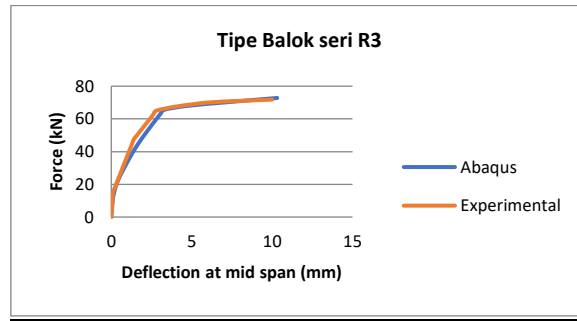
Beam Designation	Experimental		Abaqus	
	P max (kN)	M max (kN m)	P max (kN)	M max (kN m)
R1	36,60	5,49	39,60	5,94
R2	48,50	7,28	49,20	7,38
R3	71,80	10,77	72,80	10,92
EBR_M1	43,00	6,45	44,88	6,73
EBR_M2	79,50	11,93	81,40	12,21
EBR_M3	87,30	13,10	87,20	13,08



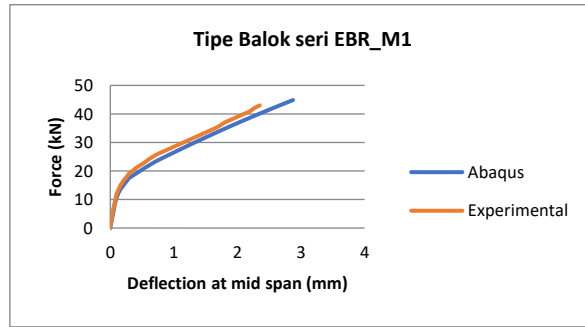
Gambar 2. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri R1



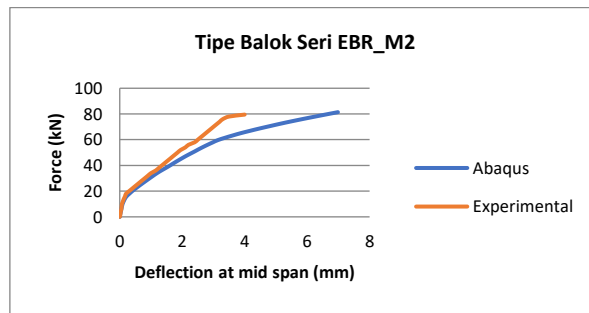
Gambar 3. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri R2



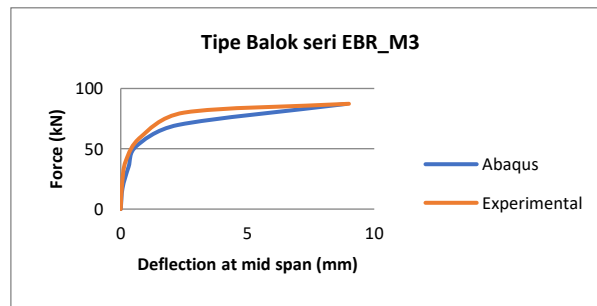
Gambar 4. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri R3



Gambar 5. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri EBR_M 1 lapis



Gambar 6. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri EBR_M 2 lapis

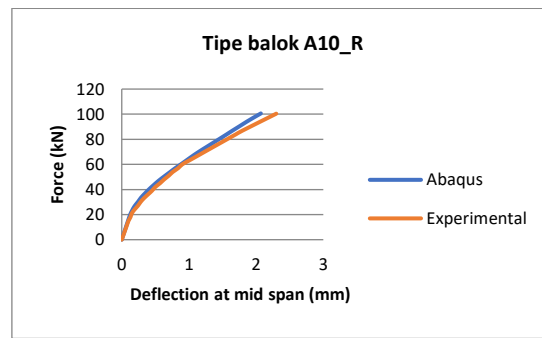


Gambar 7. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri EBR_M 3 lapis

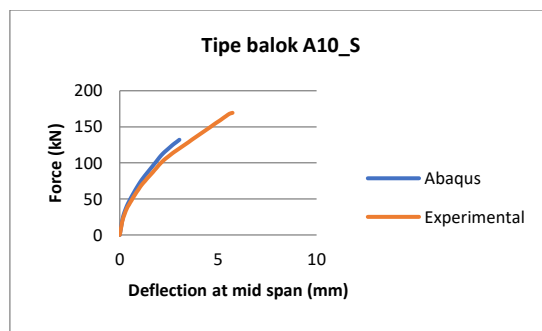
3.2 Balok Beton Bertulang yang Dikenai Geser

Tabel 2. Perbandingan Beban dan Momen Maksimum Hasil Experimental dengan Hasil *Abaqus Student Edition* 6.14

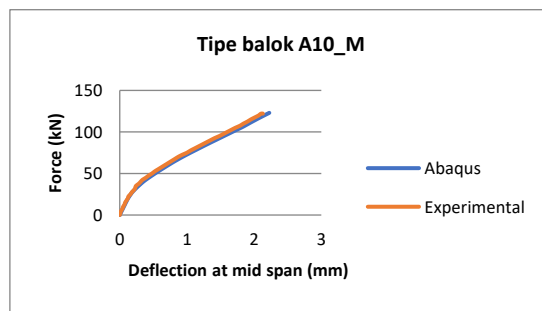
Beam Designation	Experimental		Abaqus	
	P max (kN)	V max (kN m)	P max (kN)	V max (kN m)
A10_R	100,40	50,20	100,60	50,30
A10_S	169,35	84,68	132,00	66,00
A10_M	122,06	61,03	123,00	61,50
A10_r	116,50	58,25	117,00	58,50
A12_S	215,04	107,52	130,00	65,00
A12_M	179,54	89,77	218,00	109,00
B10_R	74,02	37,01	82,00	41,00
B12_R	75,70	37,85	82,00	41,00



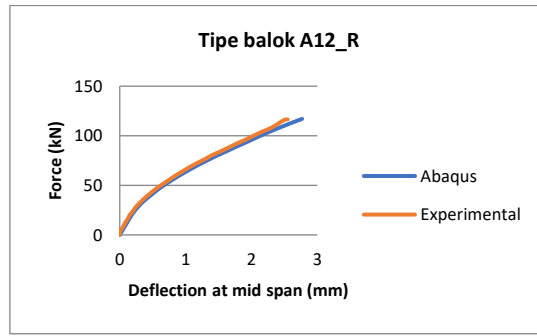
Gambar 8. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri A10_R



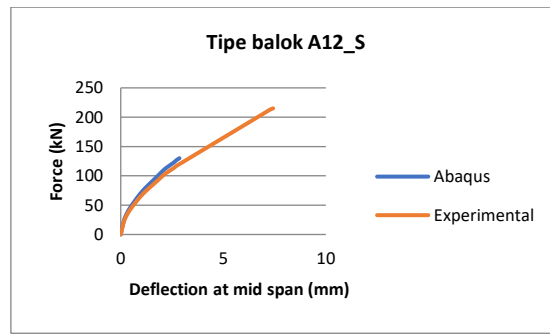
Gambar 9. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri A10_S



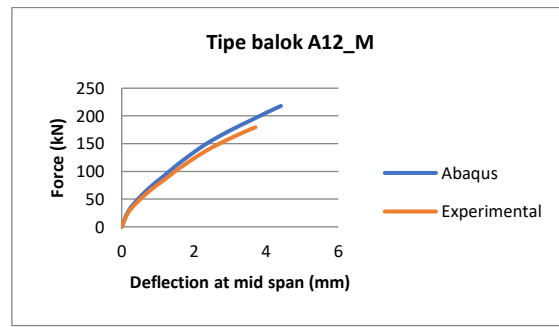
Gambar 10. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri A10_M



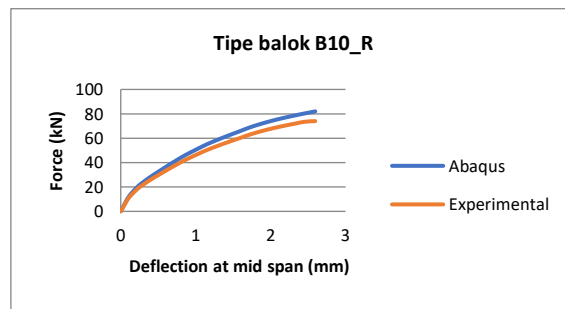
Gambar 11. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri A12_R



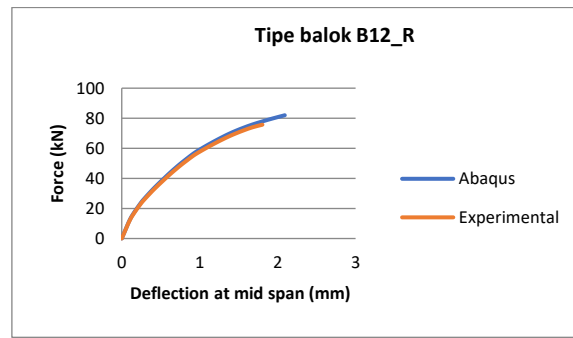
Gambar 12. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri A12_S



Gambar 13. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri A12_M



Gambar 14. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri B10_R



Gambar 15. Grafik Perbandingan Beban-Lendutan Balok Tipe Seri B12_R

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang yang diberi perkuatan *CFRP* yang dibebani menggunakan metode dua titik beban (*two point loading*), dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis *Abaqus Student Edition 6.14* dengan hasil experimental yang dilakukan oleh orang lain, bahwa balok beton bertulang yang diberi perkuatan *CFRP* yang dikenai lentur maupun geser, tidak menunjukkan perbedaan selisih nilai yang signifikan.
2. Balok yang dikenai lentur memiliki selisih nilai, yaitu: tipe R1= 8,197 %; R2 = 1,443 %; R3 = 1,393 %; EBR_M 1 lapis = 4,360 %; EBR_M 2 lapis = 2,390 %; dan EBR_M 3 lapis = 0,115 %.
3. Sedangkan balok yang dikenai geser memiliki selisih nilai, yaitu: tipe A10_R = 0,199 %; A10_S = 22,055 %; A10_M = 0,770 %; A12_R = 0,429 %; A12_S = 39,546 %; A12_M = 21,421 %; B10_R = 10,781 %; dan B12_R = 8,322 %.

Daftar Rujukan

- [1] Abaqus 6.14 Student Edition, 2014, *Abaqus Theory Guide*, Simulia.
- [2] American Concrete Institute (ACI), 2008, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, ACI 440.2R-08
- [3] Chen. C and Cheng.L,2015, *Fatigue Bond Characteristics and Degradation of Near-Surface Mounted CFRP Rods and Strips in Concrete*, Journal of Composites for Construction, ASCE, V. 18.
- [4] Dias, S. J. E., and Barros, J. A. O,2013, *Shear Strengthening of RC Beams with NSM CFRP Laminates*, Experimental Research and Analytical Formulation, Composite Structures, V. 99.
- [5] Endah Kanti Pangestuti, 2009, *Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Plate sebagai Bahan Komposit Eksternal pada Struktur Balok Bertulang*, Jurnal Dinamika TEKNIK SIPIL. IX (2): 180 – 188.
- [6] Harmon. Thomas, Kim. Yoo. John, Kardos, Johnson. Timothy, and Stark.Andrew, 2003, *Bond of Surface – Mounted Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures*, ACI Structural Journal, V.100, No. 5, September – October 2003, page 557 – 564.
- [7] Hibbitt, Karlsson & Sorensen, 2006, *ABAQUS user's manual*, volumes I, II, and III, version 6.1.
- [8] Kuriger.Rex, Sargand.Shad, Ball. Ryan and Alam. Khairul, 2001, *Analysis of Composite Reinforced Concrete Beams*, Department of Mechanical Engineering, Ohio University.
- [9] Lam and Teng, (2003), *Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete*, Construction and Building Materials, 17, 471-489.
- [10] Lorenzis,Laura and Nanni, Antonio, 2001, *Characterization of FRP Rods as Near Surface Mounted Reinforcement*, Journal of Composite for Construction, May 2001, page 114 – 121.
- [11] Nawy, Edward, 1995, *Reinforced Concrete A Fundamental Approach*, Department of Civil and Environmental Engineering, Rutgers University, The State University of New Jersey, New Jersey.
- [12] Ozel, Bank, Arora, and Gonenc, 2003, *Comparison Between FRP Rebar, FRP Grid, and Steel Rebar Reinforced Concrete Beams*, Department of Civil Engineering, University of Wisconsin-Madison, USA.
- [13] Park and Paulay, 1974, *Reinforced Concrete Structures*, Department of Civil, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [14] Purwanto, Edi, 2001, *Perkuatan Lentur dan Geser Balok Beton Bertulang Pascabakar dengan Carbon Fiber Strips dan Carbon Wrapping*, Tesis, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [15] Simonelli. G,2005, *Finite Element Analysis of RC beams retrofitted with Fibre Reinforced Polymer*.
- [16] Standar Nasional Indonesia, (2013), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2013.
- [17] Veccio, F.J. dan Collins, M.P, 1986, *Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear*, ACI Journal, Proceedings, Vol.83, No.2, pp.219-213.
- [18] Wight, J.K. dan MacGregor, J.G, 2012, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, sixth edition, Pearson Education, Inc, Upper River Saddle, NJ.
- [19] Yan. X, Miller. B, Nanni. A, and Bakis.C,1999, *Characterization of CFRP Rods Used as Near Surface Mounted Reinforcement*, 8th International Conference on Structural Faults and Repair, Edinburgh, Scotland