

Pemodelan dan Analisis Reinforced Concrete Kolom Persegi Panjang Dengan Komposit Carbon Fiber Reinforced Polymer**Modeling and Analysis of Rectangular Reinforced Concrete Columns with Carbon Fiber Reinforced Polyme Composites****Adrianus Zega**

Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan,
IKIP Gunungsitoli
Jln. Yos Sudarso No. 118/E-S, Ombolata Ulu, Gn. Sitoli, Kota Gunungsitoli, Sumatera Utara 22812
email: adri_zega80@yahoo.com

Abstract

The structural behavior of rectangular reinforced concrete (RC) columns confined with different configurations of carbon fiber-reinforcement polymer (CFRP) sheets is investigated by using nonlinear finite element analysis (NLFEA). SOLID65, LINK8, SOLID45, and SOLID46 elements represented the concrete, steel bars, steel plates, and CFRP sheets, respectively. Based on each simulated component's actual characteristics, the nonlinear material properties are defined for each type of element. The NLFEA results confirmed that the use of the CFRP composite strengthening system for RC columns improves the ductility and catastrophic axial strength capacity. The enhancement in the ductility and destructive axial strength increased with the increasing of the number of CFRP composite layers. The CFRP composite strengthening system of rectangular RC columns can be categorized as efficient and profitable only if a significant increase in the catastrophic axial strength capacity is achieved. As confirmed by the results of this study, NLFEA can efficiently simulate the structural behavior of rectangular RC columns confined with CFRP sheets. It is recommended that the NLFEA model be used in additional research studies to develop design guidelines and rules for RC structural elements strengthened with CFRP composites.

Keywords: CFRP; RC columns; NLFEA

Abstrak

Perilaku struktural kolom beton bertulang persegi panjang (RC) dibatasi dengan konfigurasi yang berbeda dari lembaran polimer penguat serat karbon (CFRP) diselidiki dengan menggunakan analisis elemen hingga nonlinier (NLFEA). SOLID65, LINK8, SOLID45, dan SOLID46 elemen masing-masing mewakili beton, batang baja, pelat baja, dan lembaran CFRP. Berdasarkan karakteristik aktual masing-masing komponen yang disimulasikan, sifat material nonlinier ditentukan untuk setiap jenis elemen. Hasil NLFEA menegaskan bahwa penggunaan sistem penguatan komposit CFRP untuk kolom RC meningkatkan daktilitas dan kapasitas kekuatan aksial katastrofik. Peningkatan daktilitas dan kekuatan aksial destruktif meningkat dengan meningkatnya jumlah lapisan komposit CFRP. Sistem penguatan komposit CFRP kolom RC persegi panjang dapat dikategorikan sebagai efisien dan menguntungkan hanya jika peningkatan signifikan dalam kapasitas kekuatan aksial katastrofik tercapai. Seperti yang dikonfirmasi oleh hasil penelitian ini, NLFEA dapat secara efisien mensimulasikan perilaku struktural kolom RC persegi panjang yang dibatasi dengan lembaran CFRP. Disarankan bahwa model NLFEA digunakan dalam studi penelitian tambahan untuk mengembangkan pedoman desain dan aturan untuk elemen struktural RC diperkuat dengan komposit CFRP.

Kata kunci: CFRP; Kolom RC; NLFEA

PENDAHULUAN

Saat ini *Carbon Fiber Reinforced Polimer (CFRP)* menjadi tren di dunia, baik di bidang transportasi, industri, infrastruktur,

hingga permukiman. *CFRP* dipilih sebagai alternatif material struktur karena *rasio strength* terhadap berat sendiri yang sangat tinggi disamping memiliki sifat lainnya seperti non konduktif, anti korosi, dan sebagainya. Sementara itu, sampai saat ini umumnya

Please cite this article as:

Zega, A. (2020). Pemodelan dan Analisis Reinforced Concrete Kolom Persegi Panjang Dengan Komposit Carbon Fiber Reinforced Polymer. *Media Teknik Sipil*, 18(1). doi:<https://doi.org/10.22219/jmts.v18i1.12026>

material pembuat konstruksi jembatan masih berupa elemen yang relatif berat dan sulit untuk dibawa tanpa menggunakan alat berat.

Dalam beberapa tahun terakhir, metode perbaikan seismik telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja struktur-struktur Beton bertulang (*RC*). Sebuah metode *retrofit* baru (pemasangan komponen bantuan untuk perkuatan) melibatkan pemakaian serat karbon yang diperkuat plastik telah menjadi pusat perhatian. Komposit ini menawarkan keunggulan yang lebih hebat dibandingkan struktur baja, beton bertulang, maupun kayu.

Beberapa keuntungannya antara lain keunggulannya atas daya tahannya terhadap pengaruh korosi, kekakuan tinggi - terhadap berat dan rasio-rasio kekuatan terhadap berat, dan kemampuan untuk mengontrol perilaku material dengan memilih orientasi yang tepat dari serat.

Seiring dengan tingkat kerusakan struktur yang membutuhkan perkuatan lebih untuk meningkatkan kapasitas, maka dibutuhkan perkuatan. Salah satu perkuatan adalah dengan menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. *CFRP* adalah jenis material perkuatan struktur yang tahan korosi, mempunyai kuat tarik yang tinggi, superior dalam daktilitas, bobotnya ringan sehingga tidak memerlukan peralatan yang berat untuk membawanya ke lokasi (Antonius, 2010; Umbu, 2012).

Penguatan, perbaikan dan perkuatan seismik *retrofitting* beton bertulang (*RC*) dengan komposit *Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP)* telah menjadi sangat menjanjikan karena bobotnya yang ringan, kekuatan tinggi dan kemudahan aplikasi. Ada banyak aplikasi penguatan teknik di mana *CFRP* terikat secara eksternal ke permukaan elemen *RC* untuk meningkatkan keuletan dan kekuatannya (Antonius, and Imran, 2012; Howard, 2013; Nguyen, dkk, 2020).

Untuk lebih memahami mekanisme mekanik, perilaku kolom *RC* terbatas dengan lembaran *CFRP* perlu diselidiki lebih lanjut. Pemodelan perilaku nonlinier kompleks kolom persegi panjang *RC* adalah tantangan dalam *FEA* elemen beton struktural. Oleh karena itu, beberapa peneliti berusaha untuk mensimulasikan perilaku *RC* yang diperkuat secara eksternal dengan komposit *FRP* menggunakan *FEA* (*ACI*, 2011; Kachlakev, 2001; Feng, 2002; Al-Rousan, 2018; Alrousan, 2012; Mohsen, 2009).

Dalam penelitian ini, program elemen hingga *ANSYS* (*ANSYS*, 2016) digunakan untuk mensimulasikan perilaku dan efektivitas berbagai konfigurasi kurungan *CFRP* pada kolom *RC* persegi panjang. Aktual geometri dan baja memperkuat rincian eksperimental diuji percobaan kolom persegi panjang serta memperkuat konfigurasi yang digunakan dan jumlah lapisan *CFRP* Berikat eksternal dianggap dalam *NLFEA*. Respons defleksi beban, respons regangan beban, dan mode kegagalan diperoleh untuk setiap spesimen oleh *NLFEA* dan dibandingkan dengan hasil uji eksperimental yang sesuai.

METODE PENELITIAN

Analisis Elemen Hingga

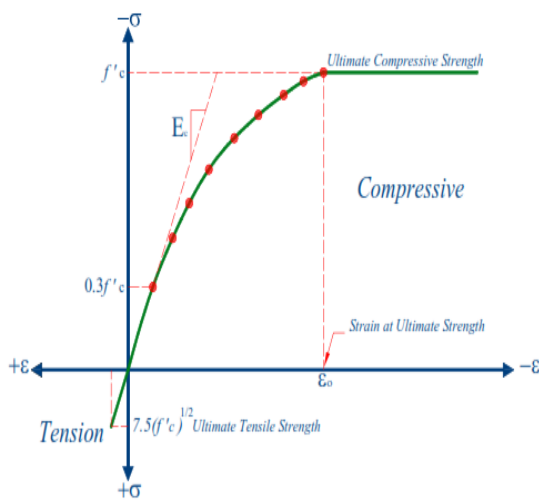
Elemen *SOLID65* digunakan untuk memodelkan material beton tanpa batang penguat baja. Unsur ini mampu retak dalam tiga arah *ortogonal*, menghancurkan, merayap dan cacat plastis (*ANSYS*, 2016). Kekuatan tarik uniaksial *ultimate* sebesar 4,5 *MPa* kuat tekan 55 *MPa* dan *modulus Young* awal (*Ec*) 35063 *MPa* diperlukan untuk menentukan permukaan kegagalan beton. William dan Warnke (1975) mendefinisikan kriteria konkret untuk kegagalan beton karena keadaan stres multiaksial seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a). Juga, *rasio Poisson* 0,2 dan koefisien transfer geser (β) 0,2 (Hemmaty, 1998) digunakan dalam penelitian ini.

Elemen *spar 3-D (LINK8)* digunakan untuk memodelkan batang baja dengan perilaku kompresi tensi uniaksial yang mampu mengalami deformasi plastis (*ANSYS*, 2016).

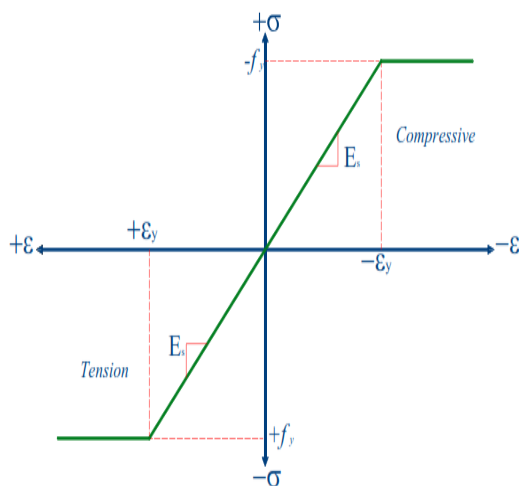
Bahan plastik elastis sempurna diasumsikan untuk baja, yang identik dalam ketegangan dan kompresi seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 1 (b). *Rasio Poisson* dan tegangan luluh baja masing-masing adalah 0,3 dan 413 *MPa*. *SOLID45* (elemen solid delapan simpul) digunakan untuk pelat baja penopang dan pemuatan aplikasi (*ANSYS*, 2016) untuk memberikan distribusi tegangan yang merata di area penopang dan pemuatan. Bahan elastis linier dengan modulus elastis yang sama dengan 200 *GPa* dan *rasio Poisson* 0,3 diasumsikan untuk pelat baja. Akhirnya, elemen berlapis (*SOLID46*) digunakan untuk memodelkan lembaran komposit *CFRP* yang memiliki sifat bahan ortotropik di setiap lapisan (*ANSYS*,

2016) dengan ketebalan 0,165 mm, modulus elastisitas 228 *GPa*, kekuatan tarik 4275 *MPa* dan regangan tarik utama dari 0,017 mm / mm dalam arah serat.

Pertama, seperempat kolom disimulasikan untuk mempelajari perilaku dengan memanfaatkan simetri geometri kolom dan memuat dengan kondisi batas yang tepat yang mengurangi kebutuhan ruang disk komputer dan waktu komputasi. Di kedua ujung kolom, salah satu ujung dimodelkan sebagai dukungan pin, sedangkan terjemahan dan rotasi dalam arah pemuatan hanya diperbolehkan di ujung kolom lainnya. Untuk menentukan kepadatan jala yang sesuai (Gambar 1), studi konvergensi dilakukan.

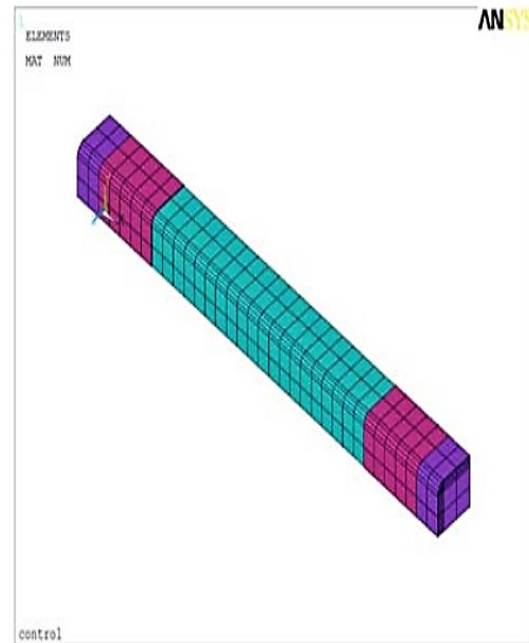


(a) Beton

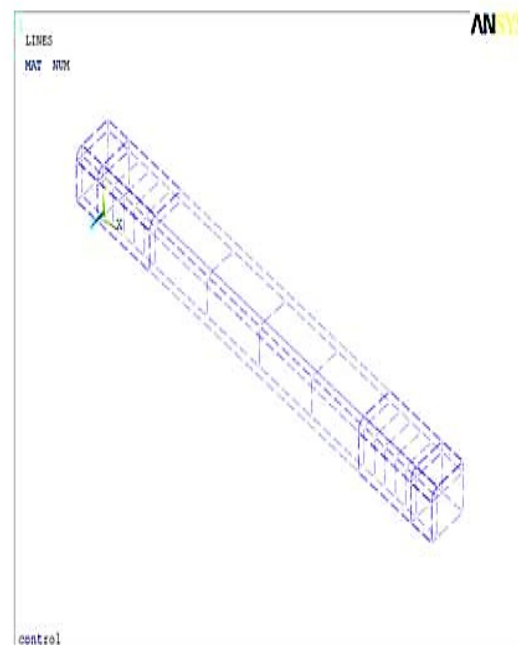


(b) Baja tulangan

Gambar 1. Kurva tegangan ikatan



(a) Seperempat kolom



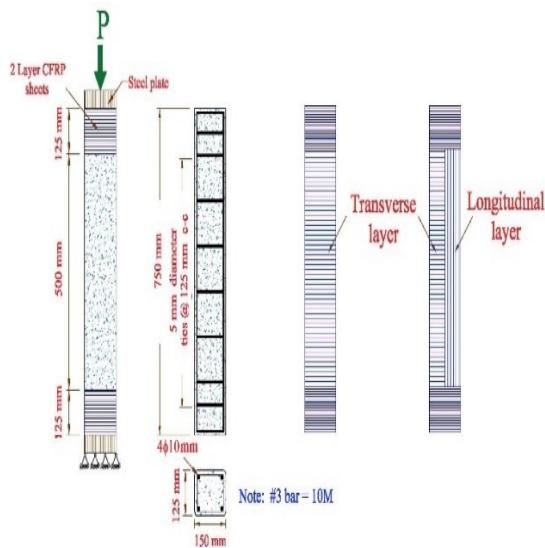
(b) Tulangan baja

Gambar 2. Penyambungan elemen hingga tipikal seperempat kolom.

Ikatan sempurna antara beton dan baja, serta antara *CFRP* komposit dan beton diasumsikan. Kolom *RC* persegi panjang, dengan panjang 750 mm dan penampang 125 × 150 mm, disimulasikan untuk memodelkan respons kolom *RC* persegi panjang terbatas dengan berbagai konfigurasi lembar *CFRP* di

bawah pemuatan aksial. Semua kolom diperkuat secara longitudinal dengan 4 bars 10 batang baja dan lateral dengan ikatan baja dengan diameter 5 mm pada jarak 125 mm kecuali pada ujungnya (jarak 25-mm) dan ini disebabkan oleh konsentrasi tegangan pada ujungnya. Juga, ujung-ujung kritis ini diperkuat dengan dua lapisan lembaran komposit CFRP untuk jarak 125 mm. Penampang, detail tulangan dan konfigurasi kurungan komposit CFRP kolom ditunjukkan pada Gambar 3. Beban vertikal yang diterapkan dibagi hingga gagal menjadi serangkaian kenaikan beban kecil 0,45 kN.

Konvergensi pada akhir setiap kenaikan beban diperiksa dengan menggunakan iterasi kesetimbangan *Newton-Raphson*. Kegagalan masing-masing model kolom diidentifikasi ketika solusi untuk kenaikan beban vertikal 0,0045 kN tidak konvergen.



Gambar 3. Rincian Penampang dan Tulangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon Pemindahan-Beban Penempatan

Karakteristik *CFRP-confined* kolom dievaluasi berdasarkan perilaku perpindahan beban katastrofik. Gambar 4 menunjukkan beban aksial *NLFEA* versus kurva perpindahan aksial dari kolom yang disimulasikan. Beban katastrofik adalah 1072, 1588, 1659, 1757, 1817, 1912, 1968 dan 2046 kN, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Peningkatan yang sesuai dalam beban aksial katastrofik sehubungan dengan spesimen kontrol adalah sekitar 48%, 55%, 64 %, 70%, 78%, 84% dan

90%, masing-masing. Kurva perpindahan aksial katastrofik beban ditunjukkan pada Gambar 4 mengungkapkan bahwa ada peningkatan yang signifikan dalam beban aksial katastrofik serta dalam perpindahan aksial pamungkas ketika membatasi kolom dengan lembaran *CFRP*. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa peningkatan beban dan pemindahan *ultimate* berhubungan langsung dengan peningkatan jumlah lapisan sheet *CFRP*.

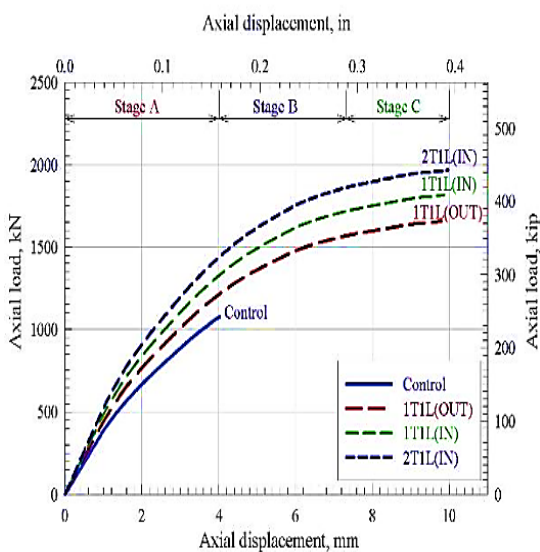
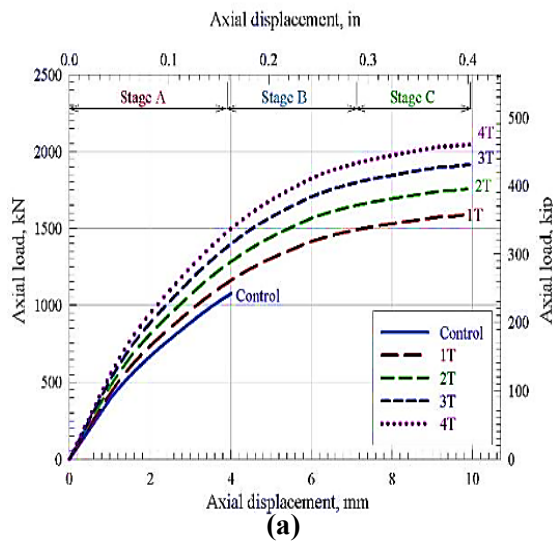
Tabel 1. Hasil *ANSYS* Pada Kegagalan

Konfigurasi pengurangan	Beban katastrofik, kN	Persentase peningkatan spesimen kontrol (%)
Kontrol (tidak terbatas)	1072	---
1 lapisan dalam arah melintang (1T)	1588	48.1
1 lapisan dalam arah melintang dan 1 lapisan dalam arah memanjang (1T1L (OUT))	1659	54.8
2 lapisan dalam arah melintang (2T)	1757	63.9
1 lapisan dalam arah memanjang dan 1 lapisan dalam arah melintang (1T1L (dalam))	1817	69.5
3 lapisan dalam arah melintang (3T)	1912	78.4
1 lapisan dalam arah memanjang dan 2 lapisan dalam arah melintang (2T1L (dalam))	1968	83.6
4 lapisan dalam arah melintang (4T)	2046	90.6

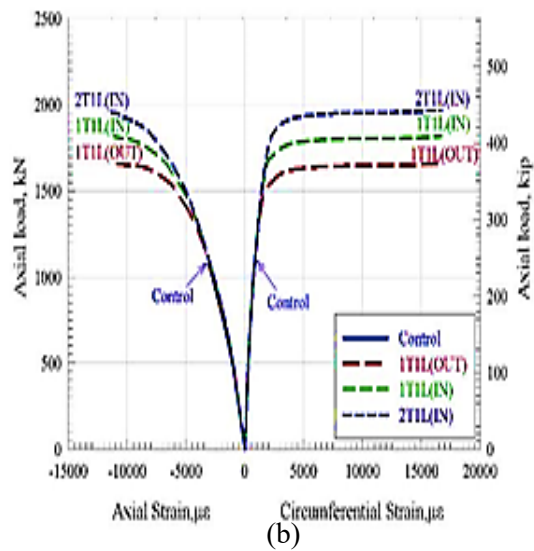
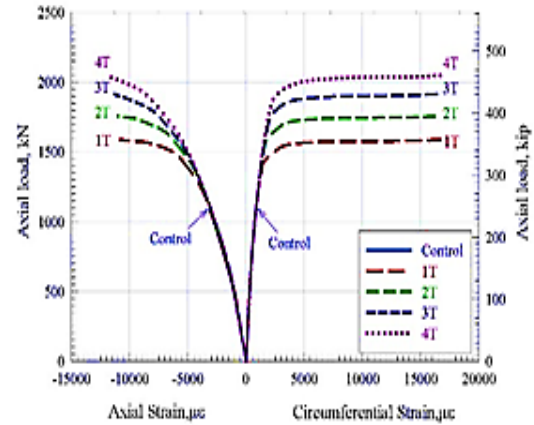
Respons Strain-Beban Strain

Aksial dan sirkumferensial pada daerah kritis kolom diplotkan terhadap beban aksial, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Respons regangan aksial beban aksial mengikuti tren yang sama dengan perpindahan aksial beban aksial untuk setiap spesimen. Tipe. Pada kegagalan, pembacaan regangan

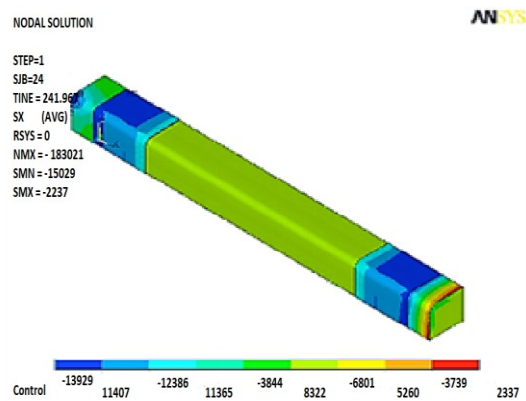
melingkar dari kolom terbatas lebih besar dari 0,017 mm / mm, yang merupakan kapasitas regangan maksimum serat karbon. Hasil regangan melingkar bertepatan dengan mode kegagalan yang diamati dari kolom terbatas; kegagalan tidak terjadi sebelum fraktur lembaran *CFRP*. Ini mengungkapkan bahwa efektivitas kurungan *CFRP* baik. Berdasarkan hasil *NLFEA* ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5, dapat diamati bahwa kurungan kolom *RC* persegi panjang dengan *CFRP* secara signifikan meningkatkan kekuatan dan kinerja daktilitas di bawah beban aksial. Distribusi tipikal lembar *CFRP* dan galur beton pada kolom kontrol dan kurungan ditunjukkan pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 13.



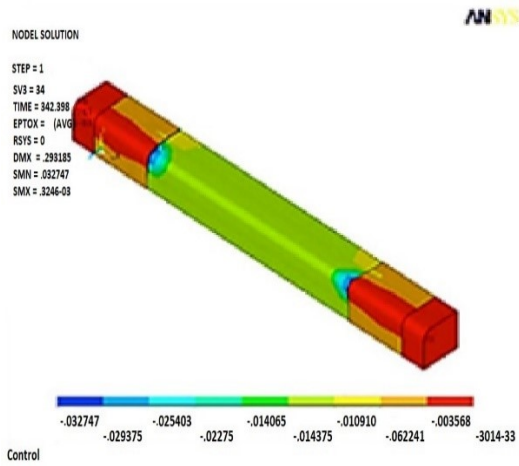
Gambar 4. Beban aksial dibandingkan perpindahan aksial



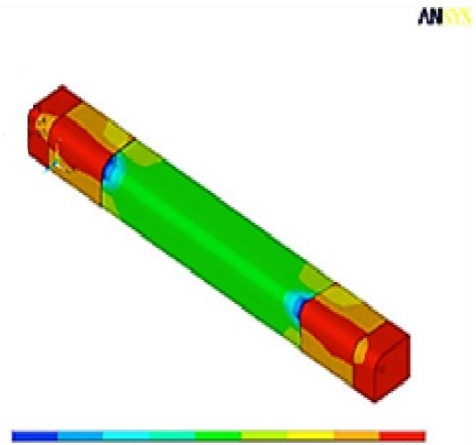
Gambar 5. Beban Aksial Versus Kurva Regangan Aksial Dan Keliling



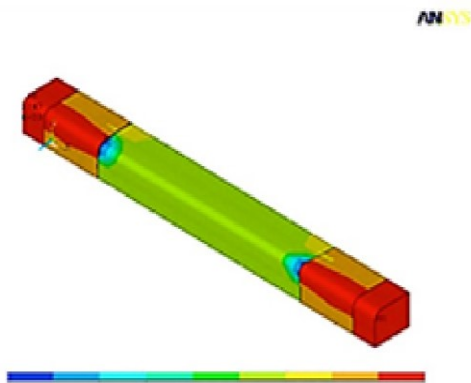
Gambar 6. Kontur Regangan Dan Tegangan Pada Kolom Kontrol



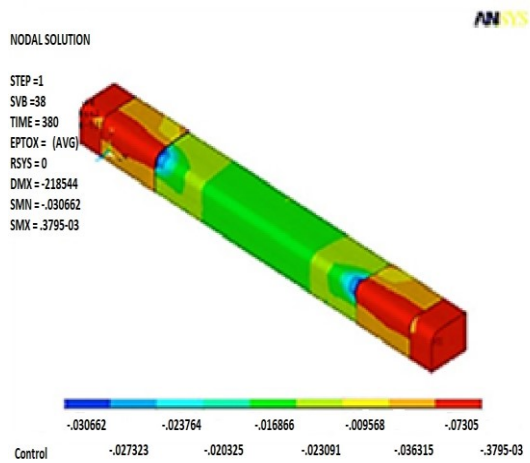
Gambar 7. Kontur Regangan Dengan Satu Lapisan Dalam Arah Melintang



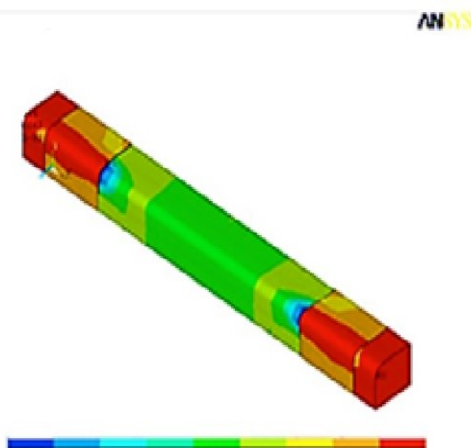
Gambar 10. Kontur Regangan Dengan 4 Lapisan Dalam Arah Melintang



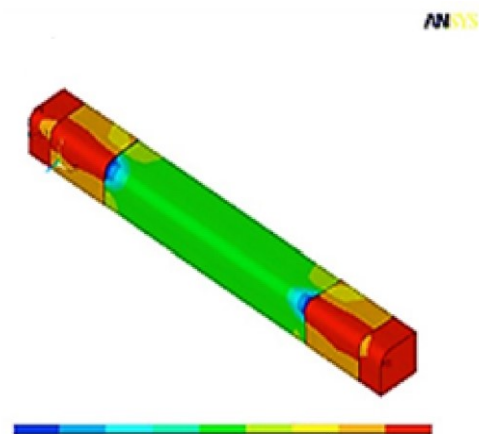
Gambar 8. Kontur Regangan Dengan 2 Lapisan Dalam Arah Melintang



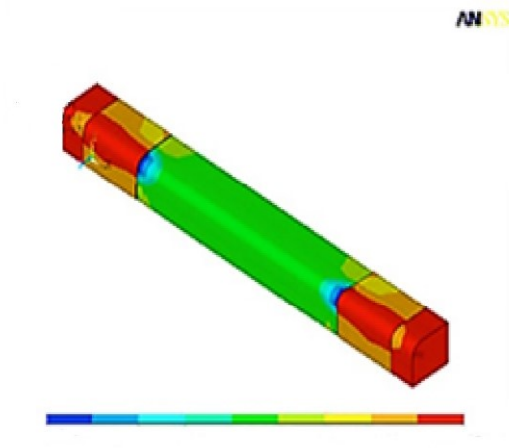
Gambar 11. Kontur Regangan Kolom Dengan Satu Lapisan Dalam *Longitudinal* (Keluar) Dan Satu Lapisan Dalam Arah Melintang



Gambar 9. Kontur Regangan Dengan 3 Lapisan Dalam Arah Melintang



Gambar 12. Kontur Regangan Kolom Dengan Satu Lapisan yang *Longitudinal* dan Satu Lapisan yang Melintang



Gambar 13. Kontur regangan kolom dengan satu lapisan yang memanjang dan dua lapisan dalam arah melintang

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini maka dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa penggunaan sistem penguatan komposit *CFRP* untuk kolom *RC* meningkatkan daktilitas dan kapasitas kekuatan aksial katastrofik. Peningkatan daktilitas dan kekuatan aksial destruktif meningkat dengan meningkatnya jumlah lapisan komposit *CFRP*. Peningkatan jumlah lapisan lembaran *CFRP* menyebabkan peningkatan signifikan dalam kekuatan aksial katastrofik dan sedikit peningkatan perpindahan katastrofik. Juga, dua lapisan lembaran *CFRP* mewakili jumlah optimal lapisan *CFRP* berdasarkan perilaku regangan beban. Beban aksial dan guncangan katastrofik pada kegagalan dicatat untuk kolom *RC* terbatas yang dibungkus dengan *CFRP* dibandingkan dengan yang tidak dibatasi. Model elemen hingga ini dapat digunakan dalam studi tambahan untuk mengembangkan aturan desain untuk memperkuat kolom *RC* menggunakan komposit *CFRP*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (2011). *ACI Committee 318 Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.
- Antonius, (2010). Evaluasi Persamaan Konstitutif Beton Mutu Normal dan Mutu Tinggi Terkekang yang

Diturunkan Berdasarkan Kriteria Leleh. *Dinamika Teknik Sipil*, 10(2), Mei 2010, hal. 159-167.

- Antonius, and Imran, I. (2012), Experimental Study of Confined Low, Medium and HighStrength Concrete Subjected to Concentric Compression. *ITB Journal of Engineering Science*, 44(3), pp. 252-269.
- Al-Rousan, R., dan Haddad, R. (2013). "Balok beton bertulang kerusakan-NLFEA yang diperkuat dengan komposit FRP". *Jurnal Struktur Komposit*, 96 (1), 433-445.
- Al-Rousan, R. (2018). Prediksi empiris dan NLFEA tentang perilaku ikatan-slip antara beton DSSF dan komposit CFRP berlabuh. *Jurnal Konstruksi dan Bahan Bangunan*, 169 (1), 530-542.
- Alrousan, R., Issa, M., dan Shabila, H. (2012). Kinerja pelat beton bertulang diperkuat dengan berbagai jenis dan konfigurasi CFRP. Komposit-Bagian B: *Jurnal Teknik*, 43 (2), 510- 521.
- ANSYS. (2016). *Manual pengguna ANSYS*. Revisi 16.0, ANSYS, Inc.
- Feng, P., Lu, XZ, dan Ye, LP (2002). Penelitian eksperimental dan analisis elemen hingga kolom beton persegi dibatasi oleh lembar FRP di bawah kompresi uniaksial. *Prosiding 17 ke-Konferensi Australasia tentang Mekanika Struktur dan Bahan. Gold Coast, Australia*, 60-65.
- Hemmaty, Y. (1998). Pemodelan gaya geser ditransfer antara retakan pada struktur beton bertulang dan diperkuat serat. *Prosiding Konferensi ANSYS*, Vol. 1, Pittsburgh, Pennsylvania.
- Kachlakev, Damian, Miller, Thomas, dan Yim Solomon. (2001). *Pemodelan elemen hingga daribeton bertulang struktur diperkuat dengan laminasi FRP*. Laporan untuk Departemen Transportasi Oregon.
- Howard, Bill (30 July 2013). *BMW i3: Cheap, mass-produced carbon fiber cars finally come of age. Extreme Tech. Archived from the original on 31 July 2015*. Retrieved 31 July 2015
- Mohsen A. Issa, Rajai Alrousan, dan Moussa Issa. (2009). Studi eksperimental dan parametrik kolom dengan komposit CFRP. *Jurnal Komposit untuk Konstruksi, ASCE*, 13 (2), 135-147.

Nguyen, Dinh; Abdullah, Mohammad Sayem Bin; Khawarizmi, Ryan; Kim, Dave; Kwon, Patrick (2020). The effect of fiber orientation on tool wear in edge-trimming of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) laminates. *Wear. Elsevier B.V.* 450–451: 203213. doi:10.1016/j.wear.2020.203213. ISSN 0043-1648.

Umbu Nday Albert Aun. (2012). Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Perkuatan Carbon Fiber Wraps (CFRP) (Balok Dibebani Oleh Beberapa Kondisi Pembebanan Awal Dan Kemudian Diperkuat Dengan CFRP). Universitas Gadjah Mada.

William, KJ, dan Warnke, EP (1975). Model konstitutif untuk perilaku triaksial beton. *Prosiding Asosiasi Internasional untuk Teknik Jembatan dan Struktural*, 19, ISMES, Bergamo, Italia, 174.