

DAKTILITAS KOLOM YANG DIPERKUAT DENGAN CFRP

Vera Agustriana Noorhidana¹

Eddy Purwanto²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung,
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung, 35145
Email: veraagustriana@yahoo.co.id

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145
Email: eddypurwanto55@gmail.com

Abstrak

Aspek penting dalam perkuatan kolom bukan hanya dilihat dari kontribusi perkuatan terhadap peningkatan kapasitas kolom dalam menahan beban, tetapi juga perilaku struktur yang dihasilkan oleh perkuatan tersebut, terutama dalam hal daktilitas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perkuatan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) terhadap beban maksimum dan daktilitas kolom akibat beban aksial konsentris, yang dilakukan secara eksperimental.

Benda uji terdiri dari kolom tanpa perkuatan (kode: K-0), kolom dengan perkuatan CFRP 5 strip (kode: K-5), dan kolom dengan perkuatan CFRP 7 strip (kode: K-7). CFRP dipasang melingkar pada kolom dengan lebar setiap strip adalah 50mm. Dimensi kolom 150mm x 150mm dengan tinggi 600mm. Kuat tekan beton 19,09 MPa, dengan mutu baja tulangan 240 MPa untuk 6 (sejang) dan 10 (tulangan memanjang). Pengujian kolom dilakukan dengan memberikan beban tekan vertikal secara bertahap dari atas kolom sampai kolom mengalami keruntuhan. Selama pengujian dilakukan pengamatan terhadap defleksi lateral, perpindahan, dan regangan kolom.

Hasil penelitian ini menunjukkan beban maksimum K-01, K-5, dan K-7 berturut-turut adalah 38 ton, 46 ton, dan 48 ton. Kolom K-7 memiliki perpindahan maksimum rerata terbesar yaitu 0,593 cm dan nilai daktilitas terbesar yaitu 23,475 toncm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan CFRP mampu memberikan daktilitas dan kemampuan menyerap energi yang lebih besar pada kolom beton bertulang.

Kata kunci : CFRP (Fiber Reinforced Polymer), kolom beton bertulang, daktilitas. ah asli, AASHTO mengklasifikasikan sampel tanah pada kelompok A-6 (tanah berlempung).

Abstract

An important aspect in the column strengthened is not only seen from strengthening contribution to the increase of the bearing capacity of the column, but also the behavior of the structure produced by the retrofitting, especially in terms of ductility. This study aimed to determine the effect of strengthening Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) on the maximum load and the ductility of the column due to concentric axial load, which was done experimentally.

The specimens are consisted of columns without reinforcement (code: K-0), a column with 5 CFRP strips (code: K-5), and a column with 7 CFRP strips (code: K-7). The CFRP strips is

implemented on column with the width of strip is 50mm. The dimension of columns is 150mm x 150mm x 600mm. The concrete compressive strength is 19.09 MPa, with yield stress of the steel reinforcement is 240 MPa. A vertical compressive load is applied to the center of columns gradually until collapse. During the test conducted observations of lateral deflection and shortening of columns, and strain of CFRP.

The results indicate the maximum load K-01, K-5 and K-7 in a row is 38 tons, 46 tons and 48 tons. Column K-7 has the greatest mean maximum shortening of 0.593 cm and the greatest ductility value of 23.475 toncm. It can be concluded that the strengthening of CFRP provide ductility and ability to absorb greater energy on reinforced concrete columns.

Keywords: CFRP (Fiber Reinforced Polymer), reinforced concrete columns, ductility.

1. PENDAHULUAN

Struktur beton bertulang sudah banyak diaplikasikan pada berbagai sarana dan prasarana umum seperti struktur gedung, jembatan, dan lain sebagainya. Seiring dengan berjalannya waktu, seringkali terjadi peningkatan beban yang harus dipikul oleh suatu struktur bangunan, misalnya struktur jembatan sejalan dengan meningkatnya beban lalu lintas, ataupun struktur gedung yang beralih fungsi, atau struktur beton yang telah mengalami kerusakan yang menyebabkan penurunan kapasitas struktur dalam menahan beban. Oleh karena itu struktur tersebut memerlukan perkuatan untuk meningkatkan kapasitas dalam menahan beban.

Salah satu metode perkuatan struktur beton adalah dengan menggunakan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*). FRP adalah jenis material yang ringan, mempunyai kuat tarik yang sangat tinggi (7-10 kali lebih tinggi dari baja), dan mudah dalam pelaksanaannya di lapangan. Elemen struktur beton yang dapat diperkuat dengan FRP adalah balok, pelat, dan kolom beton bertulang.

Suatu kolom beton bertulang yang menerima beban aksial tekan secara konsentris, maka akan menderita tegangan tekan dan regangan yang sama besarnya pada seluruh penampang kolom. Beton dan baja tulangan longitudinal bekerja sama dalam menahan tegangan ini. Jika kolom tersebut diberi perkuatan lembaran FRP (*FRP Wrap*) yang dipasang mengelilingi penampang kolom, maka beban aksial pada kolom akan dipikul bersama-sama antara beton, tulangan longitudinal, dan FRP.

Aspek penting dalam perkuatan kolom bukan hanya dilihat dari kontribusi perkuatan terhadap peningkatan kapasitas kolom dalam menahan beban, tetapi juga perilaku struktur yang dihasilkan oleh perkuatan tersebut, terutama dalam hal daktilitas. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang daktilitas kolom yang diperkuat dengan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

2. TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) terhadap beban maksimum dan daktilitas kolom akibat beban aksial konsentris. Deformasi kolom dilihat dari 3 aspek yaitu defleksi lateral di tengah tinggi kolom, perpendekan kolom, dan regangan pada perkuatan CFRP. CFRP diimplementasikan melingkar pada kolom dengan spasi tertentu. Variasi dalam penelitian ini adalah jumlah lilitan CFRP. Selanjutnya, hasil pengujian dari kolom yang diperkuat dengan CFRP dibandingkan dengan hasil pengujian kolom tanpa CFRP.

3. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung. Pelaksanaannya dibagi menjadi enam tahap yaitu : pemeriksaan bahan campuran beton, pembuatan rencana campuran (mix design), pembuatan benda uji, pemeliharaan terhadap benda uji (curing), pemasangan CFRP pada kolom uji,

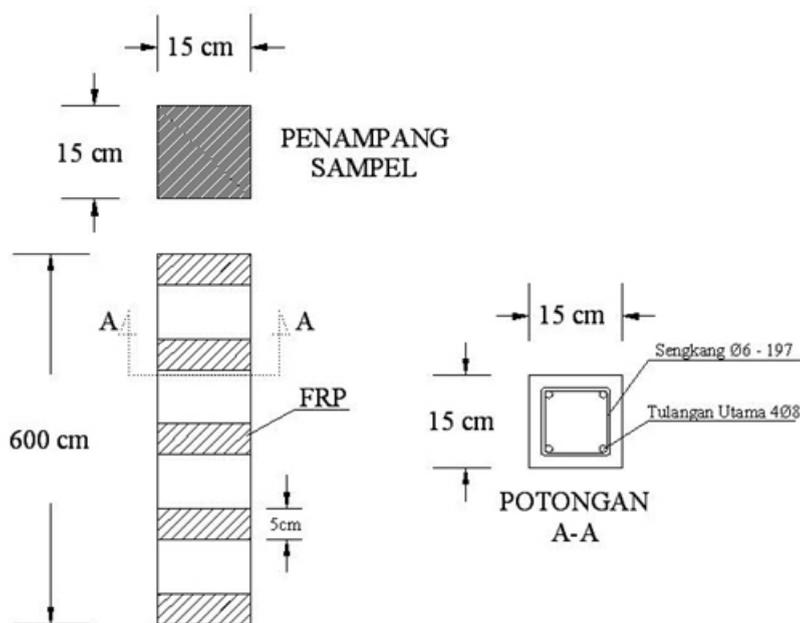
pelaksanaan pengujian, dan analisis hasil pengujian.

Material untuk pembuatan beton berasal dari bahan lokal, yaitu pasir dari Gunung Sugih (Lampung Tengah), split dengan ukuran maksimum 19 mm berasal dari Tanjungan (Lampung Selatan), dan semen portland tipe I merk Tiga Roda. Material tersebut terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sesuai standar ASTM (American Society For Testing and Materials). Perencanaan komposisi campuran pada penelitian ini menggunakan metode ACI 211. 4R - 93 (American Concrete Institute) dengan kuat tekan beton rencana (f'_c) 20 MPa.

Benda uji utama adalah kolom beton bertulang dengan variasi jumlah lilitan CFRP, yang termasuk dalam kategori kolom pendek. Untuk pengujian ini dibuat 3 variasi kolom uji

yang terdiri dari kolom tanpa CFRP sebanyak 2 sampel (Kode: K-01 dan K-02), 1 buah kolom dengan 5 lilitan FRP (Kode: K-5), dan 1 buah kolom dengan 7 lilitan CFRP (Kode: K-7). Satu lilitan FRP berukuran 5cm x 100cm, dipasang mengelilingi kolom (berukuran 15cm x 15cm, tinggi 60cm). Kolom tanpa CFRP digunakan sebagai pembanding. Dimensi kolom uji dan detail perkuatan dengan CFRP (kolom K-5) dapat dilihat pada Gambar 1.

Ketika kolom uji berumur 28 hari setelah pengecoran, dilakukan pemasangan lembaran CFRP pada kolom uji. Lembaran FRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah CFRP yang diproduksi oleh PT. SIKA, dengan merk dagang SikaWrap-230C. Untuk melekatkan lembaran CFRP pada kolom beton digunakan epoxy Sikadur-330.



Gambar 1. Dimensi benda uji kolom K-5 dan detail penulangannya.

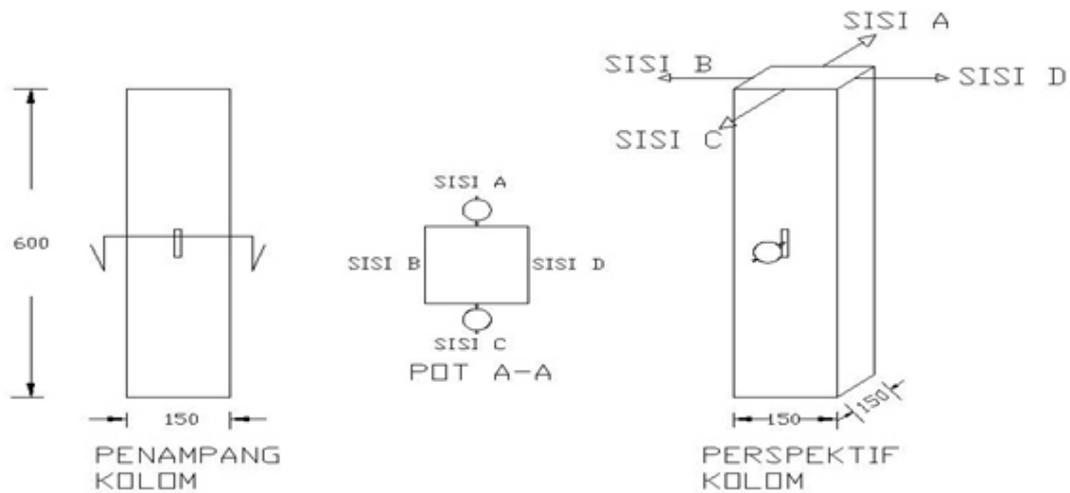
Untuk mengetahui kuat tekan beton dari kolom uji, dilakukan pembuatan benda uji silinder beton dari tiap-tiap adukan beton kolom uji. Pengujian kuat tekan beton digunakan alat UTM (Universal Testing Machine) yang mengacu pada ASTM C 39.

Pengujian kolom beton bertulang dilakukan dengan meletakkan sampel kolom beton bertulang pada posisi berdiri tegak dengan asumsi tumpuan adalah sendi-sendi.

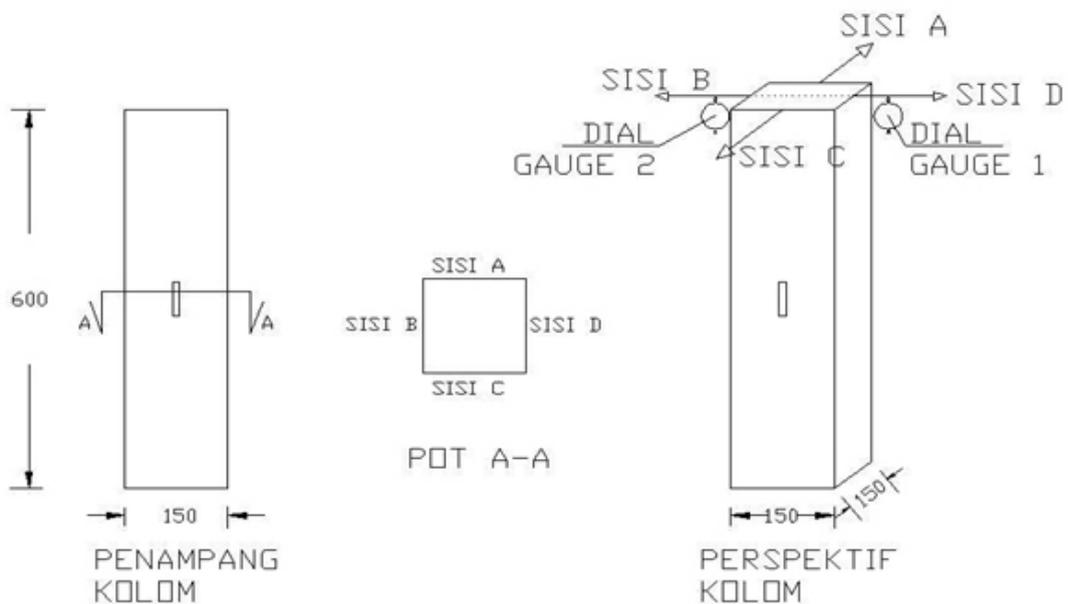
Beberapa dial-gauge dipasang untuk mengukur defleksi lateral dan perpindahan kolom. Strain-gauge dipasang pada lilitan CFRP untuk mengukur regangan CFRP selama pengujian kolom. Setting-up dial-gauge dan strain-gauge disajikan dalam Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4. Pembebanan pada kolom uji diberikan secara bertahap sampai dengan kolom uji mengalami kehancuran. Beban diberikan pada titik berat penampang

kolom tanpa adanya pengaruh eksentrisitas. Pembebanan pada kolom dilakukan secara langsung dan bertahap dengan sistem Load Control, melalui alat hydraulic jack

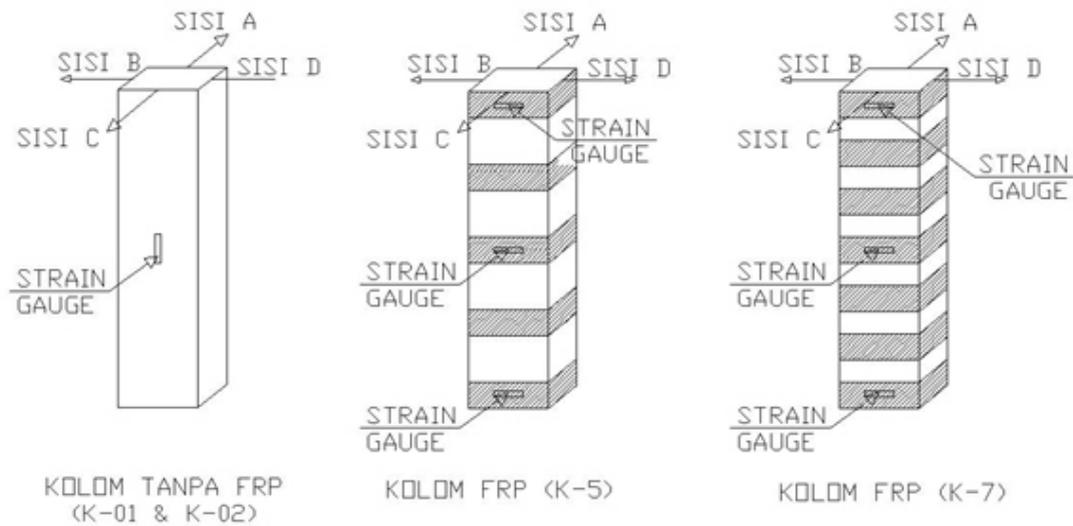
berkapasitas 100 ton. Selama pengujian dilakukan pengamatan terhadap pola retak, defleksi lateral dan perpendekan kolom, serta regangan pada CFRP.



Gambar 2. Setting-up dial-gauge untuk mengukur defleksi lateral di tengah tinggi kolom



Gambar 3. Setting-up dial-gauge untuk mengukur perpendekan kolom



γ Gambar 4. Setting-up strain-gauge untuk mengukur regangan

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, diperoleh beban maksimum dari masing-masing kolom beton bertulang. Seperti terlihat dalam Tabel 1, kolom uji K-01 dan K-02 memiliki nilai beban maksimum yang sama yaitu 38 ton, sedangkan beban maksimum K-5 dan K-7 secara berurutan adalah 46 ton dan 48 ton. Terjadi peningkatan

kapasitas beban maksimum yaitu 21,05% dan 26,316 % pada K-5 dan K-7 sebagai efek perkuatan FRP. Terlihat bahwa lilitan CFRP yang mengelilingi penampang kolom dapat meningkatkan kapasitas kolom dalam menahan beban aksial tekan. Semakin banyak jumlah lilitan CFRP maka peningkatan beban maksimum juga semakin besar.

Peningkatan kapasitas kolom tersebut disebabkan oleh efek kekangan CFRP pada inti beton yang menimbulkan tekanan lateral pada penampang kolom. Tekanan lateral efektif tersebut memberikan kontribusi terhadap kapasitas kolom dalam menahan beban aksial.

Tabel 1. Beban Maksimum Kolom Beton Bertulang Hasil Pengujian

No.	Benda uji (Kode)	Kuat tekan beton rerata (MPa)	Beban maksimum (ton)	Peningkatan beban maksimum (%)
1.	K-01	19,09	38	-
2.	K-02	19,09	38	-
3.	K-5	19,09	46	21,05
4.	K-7	19,09	48	26,32

4.2 Hubungan Beban dan Defleksi Lateral

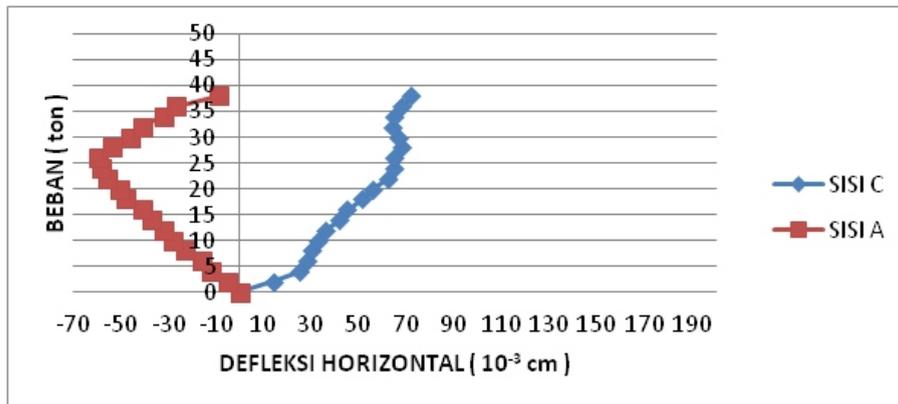
Untuk mengetahui nilai defleksi lateral pada saat pembebanan terjadi digunakan *dial-gauge*, yang diletakkan di tengah tinggi kolom beton bertulang (Gambar 2), hal ini berdasarkan asumsi bahwa kolom pendek mengalami pengelembungan di tengah tinggi kolom. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dibuat grafik hubungan beban dan defleksi lateral seperti disajikan dalam Gambar 5 sampai dengan Gambar 7.

Gambar 5 menunjukkan bahwa pola pertambahan defleksi pada kedua kolom tanpa perkuatan CFRP hampir serupa. Pada sisi C, defleksi bernilai positif dengan nilai defleksi yang terus bertambah sejalan pertambahan beban, yang berarti sisi C dari kolom melengkung ke arah luar. Namun pada sisi A, defleksi bernilai negatif yang sisi A melengkung searah dengan sisi C. Hal ini

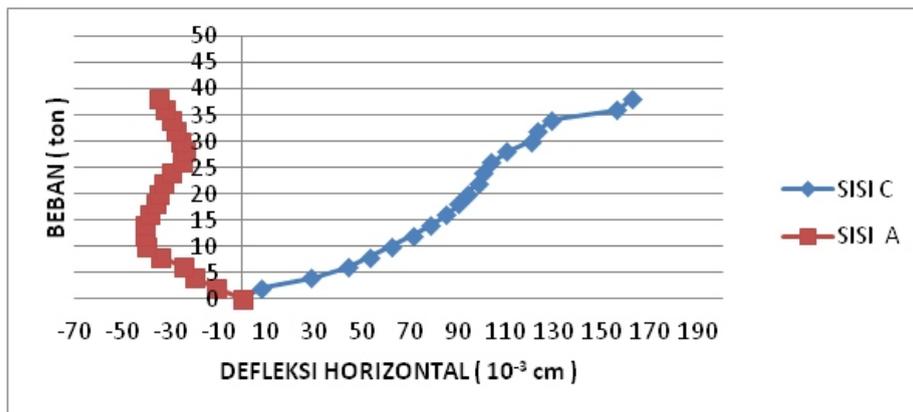
berarti kolom tidak mengalami pengelembungan seperti yang diharapkan semula, tetapi kolom melengkung ke satu sisi yaitu ke arah sisi C.

Kolom dengan perkuatan 5 lilitan CFRP (K-5) memiliki perilaku defleksi lateral yang hampir sama dengan kolom K-0, namun memiliki defleksi maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan defleksi maksimum K-0.

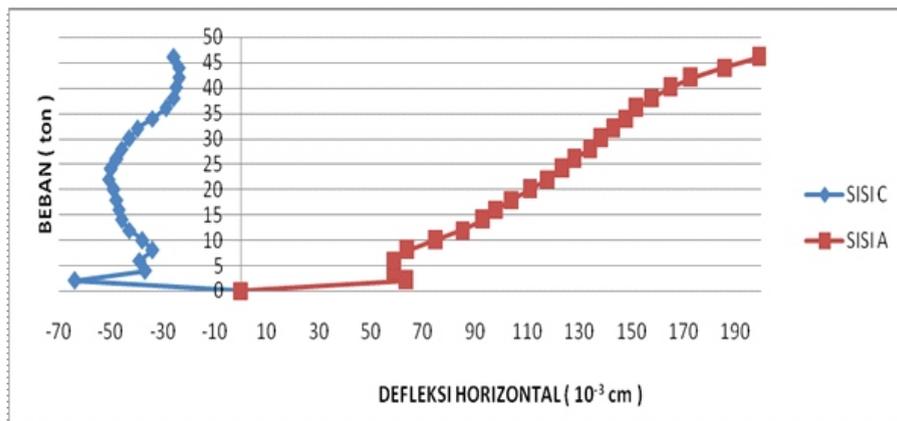
Perilaku yang berbeda ditunjukkan kolom dengan perkuatan 7 lilitan CFRP (K-7) pada Gambar 7. Angka *dial-gauge* pada kedua sisi bernilai positif, yang berarti penampang pada tengah tinggi kolom mengalami pengelembungan. Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan CFRP dengan jarak antar lilitan yang lebih rapat memungkinkan terdistribusinya tegangan secara merata di dalam penampang kolom sehingga kolom dapat menyerap energi lebih besar.



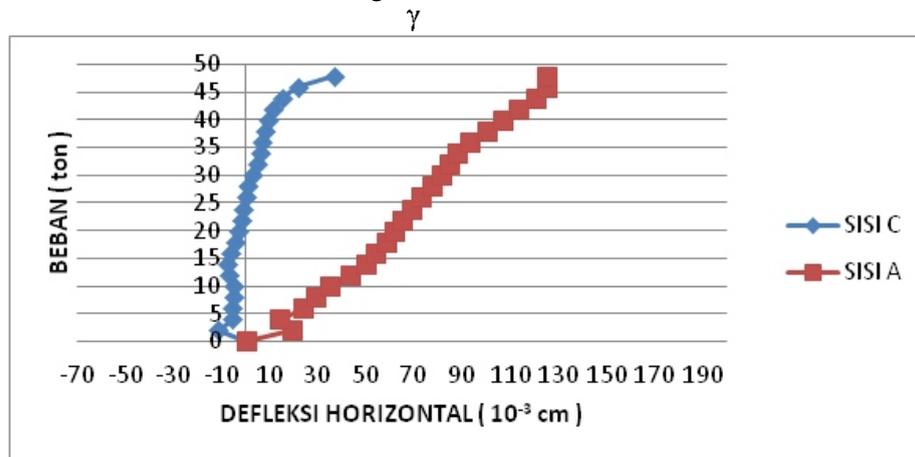
Gambar 5. Grafik hubungan beban dan defleksi lateral kolom K-01



Gambar 6. Grafik hubungan beban dan defleksi lateral kolom K-02



Gambar 7. Grafik hubungan beban dan defleksi lateral kolom K-5



Gambar 8. Grafik hubungan beban dan defleksi lateral kolom K-7

4.3 Hubungan Beban dan Perpendekan Kolom.

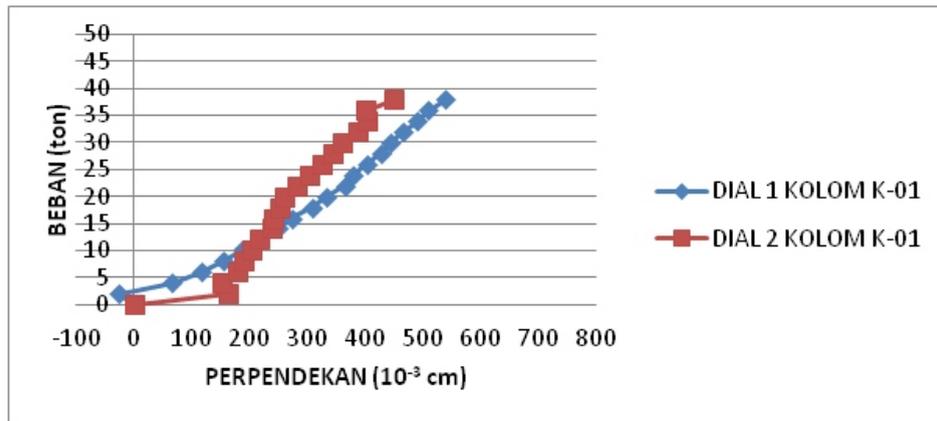
Nilai perpendekan kolom uji diukur dengan menggunakan 2 buah dial gauge pada sisi B dan sisi D kolom uji (Gambar 3). Selanjutnya dibuat grafik hubungan beban dan perpendekan kolom untuk setiap kolom uji seperti ditampilkan dalam Gambar 9 sampai Gambar 12.

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa seluruh sampel memiliki pola perpendekan yang sama. Pada kolom K-01 dan K-02 nilai perpendekan pada kedua sisi (B dan D) dapat dikatakan berimbang, tetapi pada kolom K-5 dan K-7 nilai perpendekan yang terjadi antara satu sisi dengan sisi yang lainnya memiliki nilai selisih perpendekan yang cukup besar.

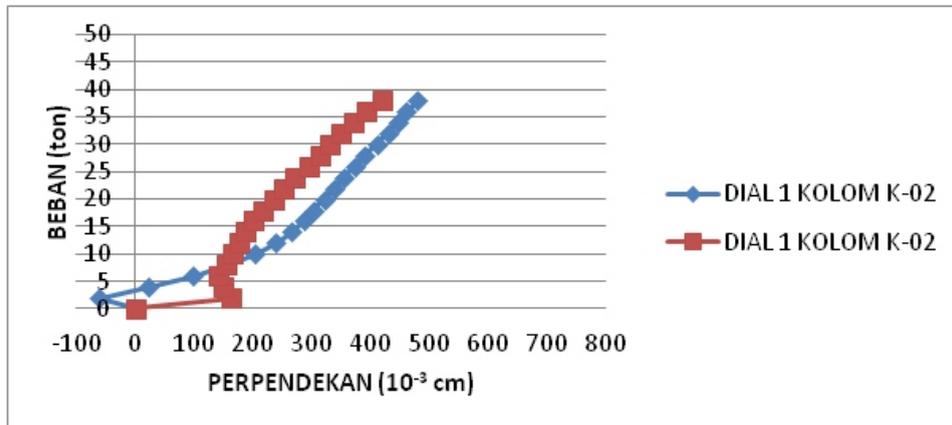
Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa perpendekan maksimum rata-rata dari kedua sisi kolom (B dan D) yang mampu ditahan K-01, K-02, K-5, dan K-7 berturut-turut adalah sebesar 0,495 cm; 0,450 cm; 0,541 cm; dan sebesar 0,593 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan CFRP pada kolom maka kemampuan kolom untuk berdeformasi semakin besar.

Nilai daktilitas kolom uji dapat ditentukan dengan menghitung luas dibawah kurva beban-perpendekan kolom uji. Semakin besar luasan yang dihasilkan maka nilai daktilitas pada kolom dinyatakan semakin besar. Nilai luas di bawah kurva beban-perpendekan pada kolom uji K-01, K-02, K-5, dan K-7 secara berurutan adalah 15,818 toncm; 14,1363 toncm; 19,977 toncm; dan 23,475 toncm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa

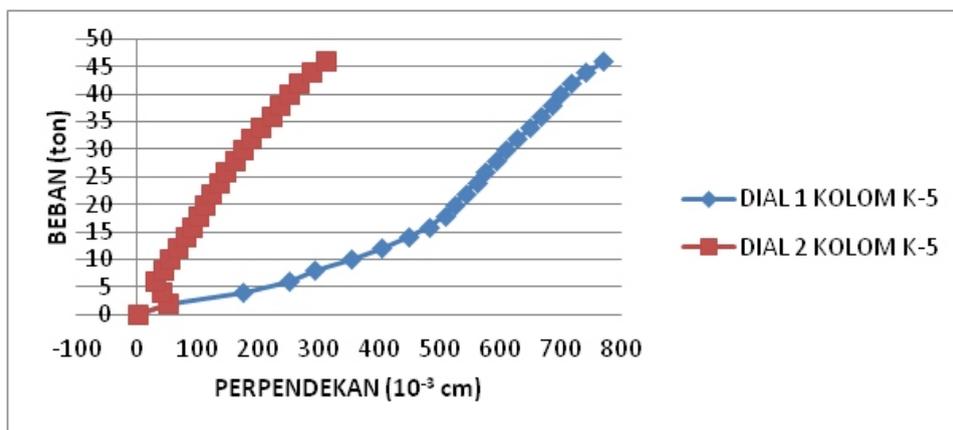
penambahan CFRP mampu memberikan daktilitas yang lebih besar pada kolom beton bertulang.



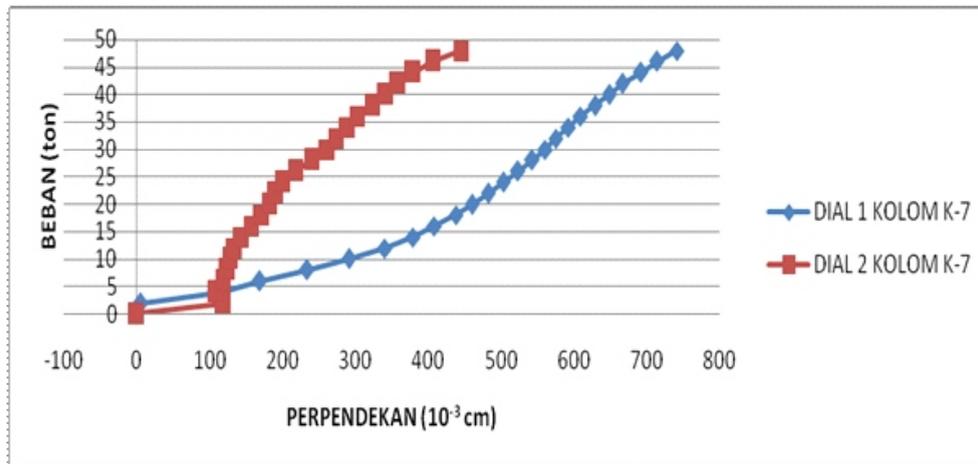
Gambar 9. Grafik hubungan beban dan perpendekan kolom K-01



Gambar 10. Grafik hubungan beban dan perpendekan kolom K-02



Gambar 11. Grafik hubungan beban dan perpendekan kolom K-5



Gambar 12. Grafik hubungan beban dan perpindahan kolom K-7

4.4 Hubungan Beban dan Regangan

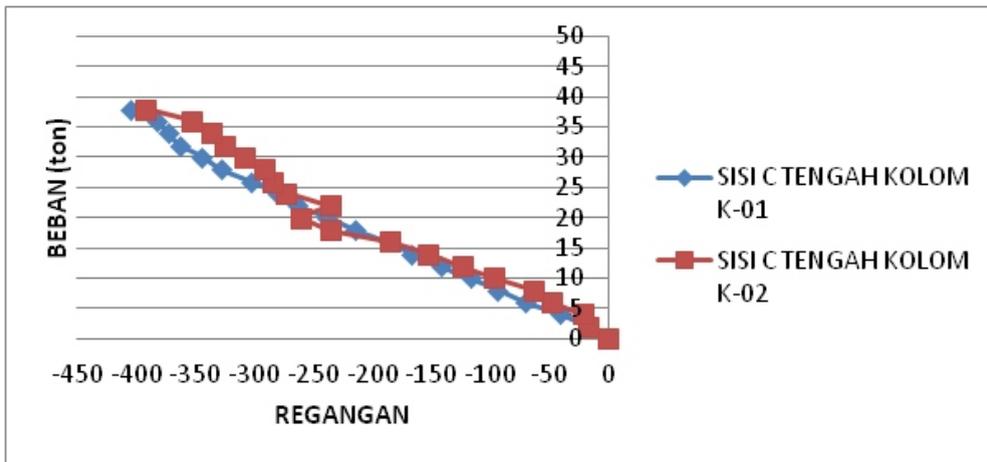
Pengamatan nilai regangan pada masing-masing kolom dilakukan dengan menggunakan *strain-gauge* yang dipasang pada titik-titik tertentu, yang dianggap dapat mewakili nilai regangan yang terjadi pada kolom uji. Untuk kolom tanpa perkuatan CFRP (K-0), *strain-gauge* dipasang pada permukaan beton di tengah tinggi kolom, untuk mengukur regangan arah memanjang kolom. Sedangkan pada kolom dengan penambahan CFRP (K-05 dan K-07), *strain gauge* dipasang pada permukaan CFRP pada tiga titik, yaitu di bagian atas kolom, di tengah kolom, dan di bagian bawah kolom. *Strain-gauge* tersebut dimaksudkan untuk mengukur regangan pada arah lateral kolom (pada Gambar 4). Selanjutnya data ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan beban dan regangan untuk masing-masing kolom uji, seperti ditampilkan dalam Gambar 13 sampai Gambar 15.

Berdasarkan Gambar 13 terlihat bahwa kolom K-01 dan kolom K-02 memiliki nilai regangan yang cenderung sama. Nilai regangan maksimum rata-rata dari kedua sampel kolom (K-01 dan K-02) yang terjadi pada saat beban puncak 38 ton adalah sebesar $398,5 \times 10^{-6}$ mm. Nilai regangan tersebut lebih

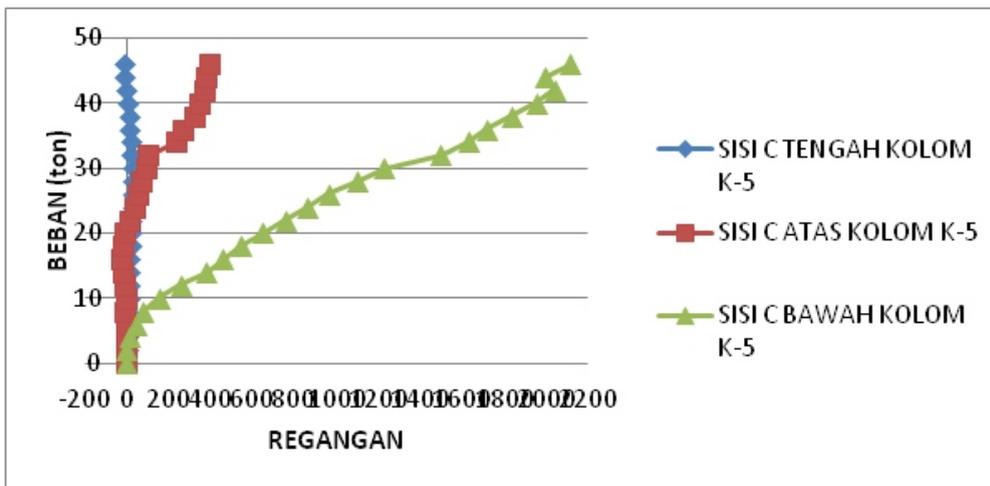
besar dari nilai regangan beton ultimit (ϵ_{cu}) menurut SNI 03 2847 2002 yaitu sebesar 0,003.

Regangan terbesar pada kolom dengan penambahan CFRP (K-5 dan K-7), terjadi pada sisi bawah kolom beton bertulang. Pada kolom K-5 nilai regangan maksimum yang terjadi ketika beban puncak 46 ton adalah sebesar 0,002118 mm. Sedangkan pada kolom K-7 nilai regangan yang terjadi pada saat beban puncak 48 ton adalah sebesar 0,001307 mm. Terlihat bahwa regangan maksimum K-7 lebih kecil dibandingkan regangan maksimum K-5. Hal ini disebabkan deformasi yang terjadi pada K-7 terdistribusi pada 7 lilitan CFRP, sedangkan pada K-5 deformasi terdistribusi pada 5 lilitan CFRP. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah lilitan yang terdapat pada kolom, maka nilai regangan yang terjadi akan semakin kecil.

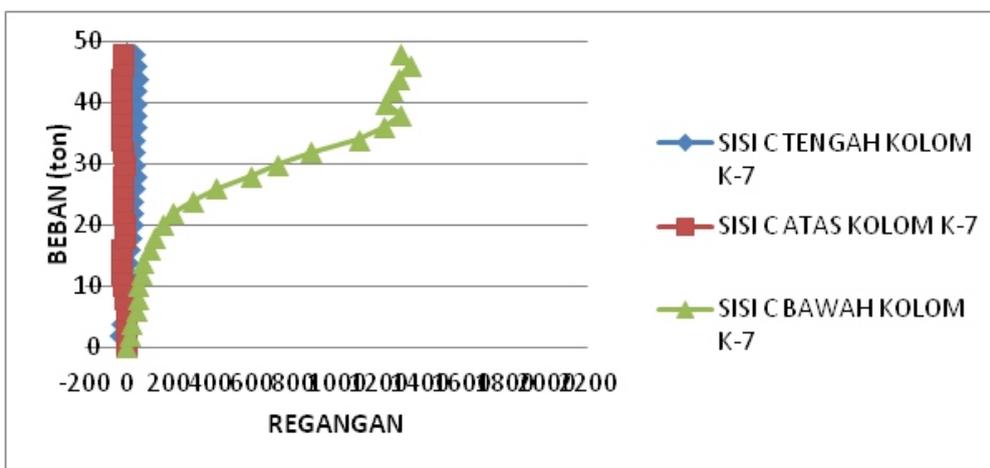
Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa regangan lateral terbesar terjadi pada bagian bawah semua kolom uji, yang dibuktikan dengan kehancuran kolom terletak di kolom bagian bawah. Hal ini berarti bahwa deformasi terpusat di bagian bawah kolom, bukan di tengah tinggi kolom seperti asumsi sebelumnya.



Gambar 13. Grafik hubungan beban dan regangan kolom K-01 dan K-02



Gambar 14. hubungan beban dan regangan kolom K-5



Gambar 15. Grafik hubungan beban dan regangan kolom K-7

5. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perkuatan CFRP pada kolom dapat meningkatkan kapasitas beban maksimum kolom, yang besarnya tergantung dari jumlah lilitan perkuatan tersebut. Peningkatan beban maksimum sebesar 21,05% terjadi pada K-5 dan 26,32% pada K-7. Semakin banyak jumlah lilitan maka semakin besar nilai beban maksimum kolom.
2. Perkuatan CFRP dengan jarak antar lilitan yang lebih rapat memungkinkan terdistribusinya tegangan secara merata di dalam penampang kolom sehingga kolom dapat berdeformasi dan menyerap energi yang lebih besar.
3. Kolom uji K-7 memiliki perpendekan rerata maksimum paling besar yaitu 0,593 cm. Nilai daktilitas kolom uji dihitung berdasarkan luas dibawah kurva beban-perpendekan kolom uji. Nilai daktilitas terbesar dimiliki oleh K-7, yaitu sebesar 23,475 toncm, yang menunjukkan bahwa penambahan CFRP mampu memberikan daktilitas yang lebih besar pada kolom beton bertulang.
4. Semakin banyak jumlah lilitan CFRP pada kolom, deformasi akan terdistribusi lebih merata di sepanjang kolom, sehingga nilai regangan maksimum yang terjadi semakin kecil. Seperti diperlihatkan bahwa regangan maksimum di bagian bawah kolom K-5 lebih besar dibandingkan K-7. Dengan demikian kolom dengan perkuatan CFRP dengan jarak yang lebih rapat akan dapat menyerap energi yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsayed, S. H., Al-Salloum, Y. A., and Almusallam, T. H. (2003). *Upgrading and/Or Strengthening Of Rectangular Columns Using FRP Fabrics: Prediction Model*.
- Azadeh, P., & Wang, W. (2001) *Tests on Concrete Square Columns Confined by Composite Wraps*.
- Bayrak, Oguzhan., and Sheikh, Shamim A., (1997). *High-Strength Concrete Columns under Simulated Earthquake Loading*. ACI Structural Journal No. 94-S65.
- Ghali, K. N., et al. (2001). *FRP-Confined Circular Columns Under Small Eccentric Loading*.
- Hartono, & Santosa H. M. (2003). Perkuatan Struktur Beton Bertulang. Dalam buku: *Concrete Repair & Maintenance*, Penerbit: Yayasan John Hi-Tech Idetama.
- Parvin, A., & Wang, W., (2003). *Tests on Concrete Square Columns Confined by Composite Wrap*.
- Purbaya, Lafonda. 2009. "Pengaruh Penambahan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) Terhadap Kekuatan Kolom Beton Bertulang dengan Beban Konsentris". Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Saadatmanesh, H., Ehsani, M. R., Li, M. W., (1994). *Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Strap.*, ACI Structural Journal No. 91-S43.