

PERILAKU KOLOM BETON BERTULANG DENGAN PERKUATAN GESER CARBON FIBER JACKET

Shanti Wahyuni Megasari

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Lancang Kuning University

Jalan Yos Sudarso Km. 8 Rumbai - Pekanbaru

Email : shanti@unilak.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian adalah untuk mengkaji perilaku kolom beton bertulang yang diperkuat dengan metode *carbon fiber jacket* terhadap kekuatan geser kolom akibat beban aksial konstan dan beban lateral siklik. Analisis struktur dari bangunan 2 (dua) lantai yang ditingkatkan menjadi 4 (empat) lantai, yang didasarkan pada beban gempa statik ekuivalen pada peraturan gempa Indonesia SNI 03-1726-2002. Pemodelan benda uji menggunakan skala 1 : 2 berdasarkan persyaratan similaritas untuk model beton bertulang. Metode pengujian kolom dengan pembebanan lateral siklik yang didasarkan pada *load controlled* dan *displacement controlled*. Pengujian kolom dihentikan setelah tercapainya penurunan kemampuan kolom dalam menahan beban lateral mencapai sekitar 85% dari kapasitas beban maksimum. Penelitian terdiri dari 2 (dua) benda uji kolom, yaitu 1 (satu) benda uji kolom pembanding dan 1 (satu) benda uji kolom perkuatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolom perkuatan mengalami peningkatan kapasitas beban lateral sebesar 309,743% dibandingkan kolom pembanding. Perkuatan kolom dengan penambahan tulangan longitudinal, tulangan spiral dan metode *carbon fiber jacket* memberikan kontribusi yang baik terhadap peningkatan kapasitas beban lateral dan kapasitas geser kolom perkuatan. Kolom perkuatan lebih daktil dengan peningkatan defleksi hampir dua kalinya kolom pembanding dan mengalami kenaikan daktilitas sebesar 23,871%. Kondisi kerusakan pada permukaan kolom perkuatan lebih baik dibandingkan dengan kolom pembanding, sehingga dapat dinyatakan bahwa kolom perkuatan dengan metode *carbon fiber jacket* mampu mengurangi atau mengatasi retakan dan meningkatkan kekuatan geser kolom.

Kata Kunci : Beban Lateral Siklik, Kerusakan Geser, Metode Carbon Fiber Jacket

Abstract

The research objective was to examine the behavior of reinforced concrete columns with carbon fiber jacket method against a column shear strength due to the constant axial load and cyclic lateral load. Analysis of the structure of the two storey building was increased to four floors, which are based on static equivalent earthquake load, is taken from Indonesian earthquake regulations SNI 03-1726-2002. Modeling of the test specimen using a scale of 1: 2 based on the requirements of similarity to the model of reinforced concrete. Testing method column with lateral cyclic loading that is based on the controlled load and displacement controlled. Column testing was discontinued after the achievement of decreased ability to resist lateral loads reaching approximately 85% of the maximum load capacity. The study consisted of 2 (two) test specimens column, with 1 (one) of the test specimen comparative column and 1 (one) of the test specimen retrofitting column with carbon fiber jacket method. The results showed that the column reinforcement increased lateral load capacity of 309,743% over the comparative column. Retrofitting column with additional longitudinal reinforcement, spiral reinforcement and carbon fiber jacket method give a good contribution to the increased lateral load capacity and shear capacity of the column reinforcement. Retrofitting column more ductile with increased deflection almost twice the column comparator and increased ductility of 23,871%. The level of damage on the surface of the retrofitting column is better than the comparative column, so it can be stated that the retrofitting column with carbon fiber jacket method is able to reduce or overcome the cracks and increase the shear strength of the column.

Keywords : Cyclic Lateral Load, Shear Failure, Carbon Fiber Jacket Method

1. Pendahuluan

Kolom merupakan salah satu elemen struktur bangunan yang mempunyai peranan sangat

penting. Kegagalan kolom dapat mengakibatkan terjadinya keruntuhan komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau mengakibatkan terjadinya keruntuhan secara keseluruhan pada struktur bangunan. Kerusakan kolom bangunan gedung akibat gempa antara lain disebabkan kekurangan kemampuan kolom dalam menahan beban geser dan mengikuti simpangan horizontal antar lantai (*story drift*) yang cukup besar.

Menurut Xiao dan Ma (1997), gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan pada kolom yang didesain dengan peraturan lama. Beberapa faktor yang berpengaruh adalah sebagai berikut :

- a. Kapasitas lentur yang tidak mencukupi karena sambungan lewatan (*lap splice*) tulangan longitudinal yang tidak memadai,
- b. Daktilitas yang tidak mencukupi karena pengekanan tulangan transversal yang tidak memadai,
- c. Kuat geser kolom yang tidak mencukupi,
- d. Detail tulangan dan kekuatan yang tidak memadai pada sambungan antara kolom dan fondasi serta kolom dan balok.

Disisi lain, tuntutan kebutuhan dan pertumbuhan ekonomi masyarakat yang semakin meningkat membuat prasarana fisik mengalami peningkatan fungsi. Akan tetapi perubahan fungsi ini seringkali tidak diikuti dengan desain ulang mengenai struktur yang perlu diberi perkuatan.

Perkuatan (*strengthening*) merupakan salah satu konsep untuk meningkatkan kekuatan geser dan daktilitas struktur. Salah satu alternatif dari teknik perkuatan yang banyak digunakan untuk berbagai struktur beton adalah dengan menggunakan metode *carbon fiber jacket* (ikatan eksternal dari bahan perkuatan polimer) dan metoda *concrete jacketing*.

Melihat permasalahan dan potensi bahan dari beberapa kajian dan belum banyaknya

penelitian perkuatan yang menggunakan kombinasi metode *carbon fiber jacket (CFRP Wrap)* pada kolom berpenampang persegi, maka perlu dilakukan penelitian mengenai kuat geser kolom dengan perkuatan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji perilaku kolom beton bertulang yang diperkuat dengan metode *carbon fiber jacket (CFRP Wrap)* terhadap kekuatan geser kolom akibat beban aksial konstan dan beban lateral siklik.

Manfaat penelitian yaitu untuk meningkatkan kekuatan geser kolom beton bertulang dengan metode *carbon fiber jacket (CFRP Wrap)* serta sebagai masukan untuk melengkapi metode perkuatan kolom yang belum diatur dalam peraturan SNI 03-2847-2002.

2. Metode Penelitian

- a. Perancangan Model
Analisis struktur dari bangunan 2 (dua) lantai yang ditingkatkan menjadi 4 (empat) lantai didasarkan pada beban gempa statik ekuivalen diambil dari peraturan gempa Indonesia SNI 03-1726-2002. Beban lateral yang dianggap dominan adalah beban gempa dengan gempa rencana wilayah gempa 3 untuk tanah lunak.

Pada pemodelan digunakan skala 1 : 2, dengan faktor skala untuk pemodelan benda uji berdasarkan pada persyaratan similaritas untuk model beton bertulang (Suhendro, 2000).

- b. Bahan dan Alat Penelitian
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - 1). Sebelum perkuatan kolom menggunakan *ready mix* dari PT. Jaya Ready Mix dengan kuat tekan beton $f_c' = 21,277 \text{ MPa}$

- 2). Setelah perkuatan kolom menggunakan bahan :
 - a). Agrerat halus (pasir) berasal dari Kali Progo, Yogyakarta.
 - b). Agregat kasar (kerikil/ batu pecah) berasal dari Kali Progo
 - c). Semen portland jenis I merk *HOLCIM*
 - d). Baja tulangan produksi PT. Krakatau Steel
 - e). *Carbon Fiber Jacket* produksi PT. Sika Indonesia dengan merk dagang *SikaWrap* - 230C
 - f). *Epoxy resin* produksi PT. Sika Indonesia dengan merk dagang *SikaDur* -330, untuk melekatkan dan melapisi *Carbon fiber jacket* digunakan bahan perekat
 - 6). *Dial Gauge* untuk mengukur deformasi (defleksi horizontal)
 - 7). *Loading frame* untuk tempat dudukan benda uji dan *hydraulic jack*
 - c. Prosedur Penelitian
 Prosedur penelitian ini meliputi perancangan benda uji dan material, persiapan bahan dan alat, pengujian pendahuluan material, pembuatan benda uji kolom pembanding dan kolom perkuatan, pengujian kolom dan analisis serta pengolahan data penelitian.

 Pengujian dilaksanakan dengan memberi beban lateral siklis dengan kenaikan beban secara bertahap sampai tercapai beban maksimum. Pada pengujian kolom dengan pembebanan lateral siklik yang didasarkan pada *loadcontrolled* dan *displacement controlled*. Pengujian kolom dihentikan setelah tercapainya penurunan kemampuan menahan beban lateral mencapai sekitar 85% dari kapasitas beban maksimum.
 - d. Rancangan Benda Uji
 Penelitian terdiri dari benda uji kolom sebanyak 2 (dua) buah dengan 1 (satu) benda uji kolom asli sebagai pembanding dan 1 (satu) benda uji kolom perkuatan dengan metode *carbon fiber jacket*. Rancangan benda uji sesuai dengan Tabel 1 dan detail penulangan benda uji pada Gambar 1.
- Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :
- 1). *Hydraulic jack* untuk memberikan beban aksial dan beban lateral siklik
 - 2). *Load Cell* digunakan untuk membaca beban dari *hydraulic jack* yang dihubungkan kabel ke *data logger*
 - 3). *Linier Variable Differential Transformer*(LVDT) untuk mengukur *displacement* yang terjadi pada struktur secara elektris
 - 4). *Data Logger* untuk merekam besarnya regangan maupun *displacement* pada benda uji
 - 5). *Strain Gauge* digunakan untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi

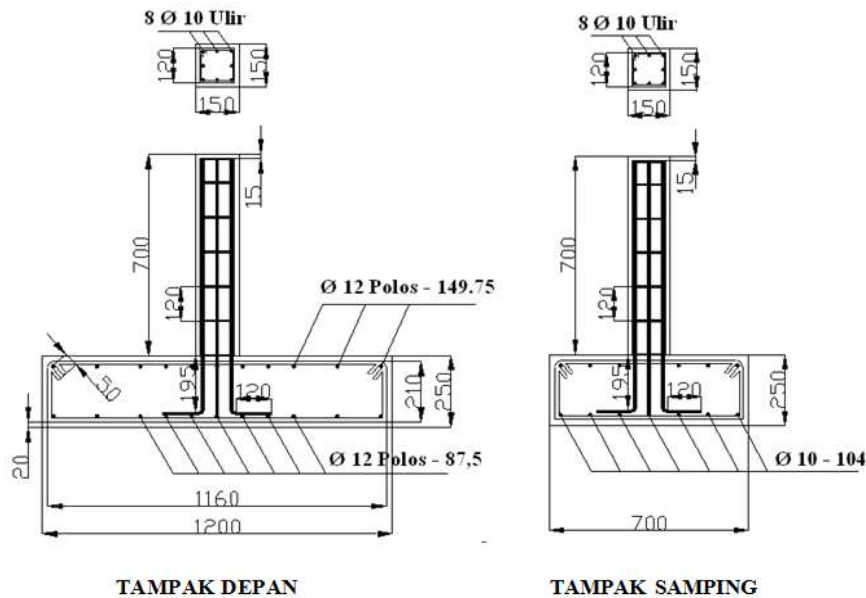
Tabel 1. Rancangan Benda Uji

Benda Uji	Tinggi (mm)	Dimensi (mm)		Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		CRFP Wrap
		Asli	Perkuatan	Asli	Perkuatan	Senggang	Spiral	
KN	700	150 x 150	-	8 ϕ 10 (ulir)	-	ϕ 6-120	-	-
KP	730	150 x 150	$\emptyset$ 250	8 ϕ 10 (ulir)	10 ϕ 12 (ulir)	ϕ 6-120	ϕ 6-40	1 Lapis

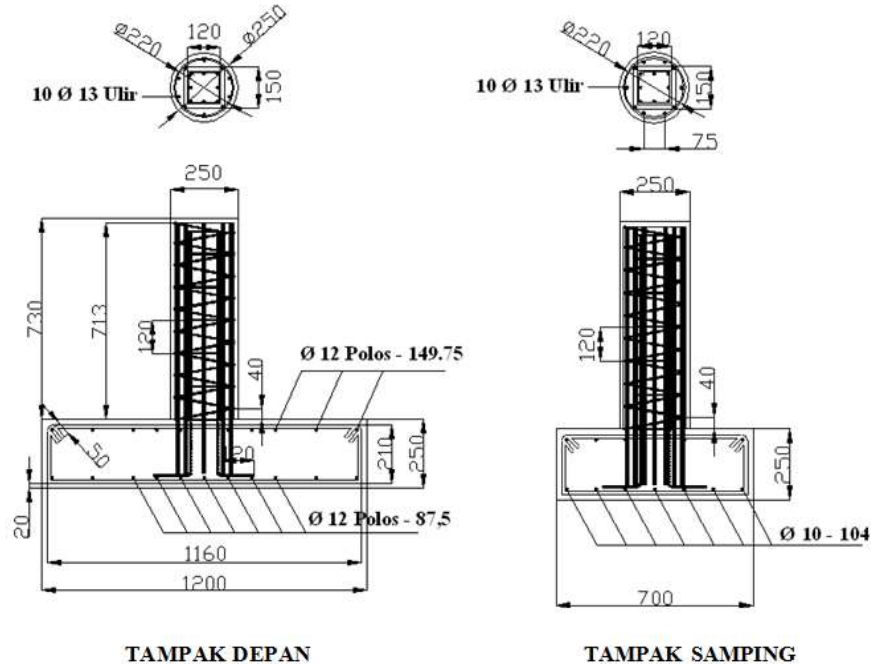
Keterangan :

KN : Kolom pembanding

KP : Kolom perkuatan dengan *carbon fiber jacket*



(a). Kolom Pemanding



(b). Kolom Perkuatan

Gambar 1. Detail Penulangan Benda Uji

e. Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

3. Hasil Penelitian

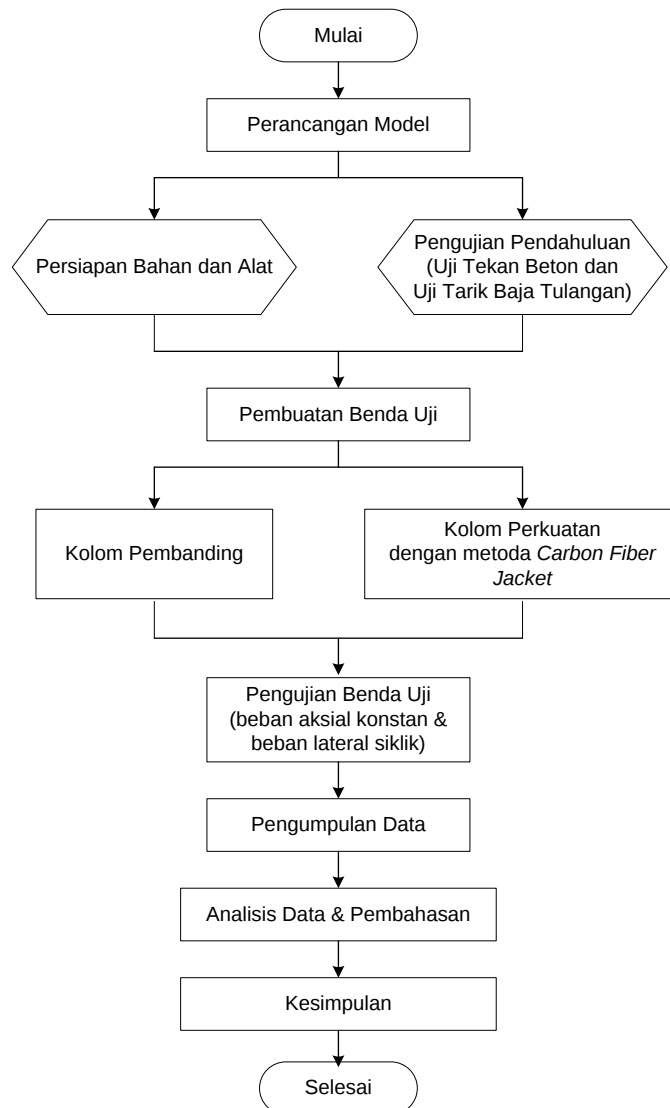
a. Hasil Pengujian Slump, Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas

Campuran adukan beton pada kolom pemanding dengan menggunakan *ready mix* dari PT. Jaya. Untuk kolom perkuatan dilakukan *trial mix design*, dengan mutu beton yang tidak jauh berbeda dengan mutu beton sebelumnya, yang digunakan untuk mencor selimut beton pada kolom perkuatan. Campuran adukan beton dengan perbandingan semen : pasir : batu

pecah : faktor air semen = 1 : 2,2913 : 2,8130 : 1,575. Hasil pengujian dilihat pada Tabel 2.

- b. Kapasitas Beban Lateral Maksimum
Hasil pengujian berdasarkan *load controlled* dan *displacement controlled*. Kapasitas beban lateral terjadi pada

masing-masing kolom pembanding dan kolom perkuatan dicapai pada beban maksimum dan terjadi pada tahap *displacement controlled*. Kapasitas beban lateral kolom pembanding dan kolom perkuatan dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Tabel 2. Hasil Pengujian Slump, Kuat Tekan Beton dan Modulus Elastisitas

Benda Uji	Nilai Slump(cm)	Kuat Tekan f_c' (MPa)	Modulus Elastisitas Eksperimen E_c (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis E_c (MPa)	Selisih Modulus Elastisitas(%)
1. KN	6	21,277	18180,954	21216,739	16,7
2. KP	11	30,713	20676,957	22396,375	8,3

Tabel 3. Kapasitas Beban Lateral Maksimum Kolom

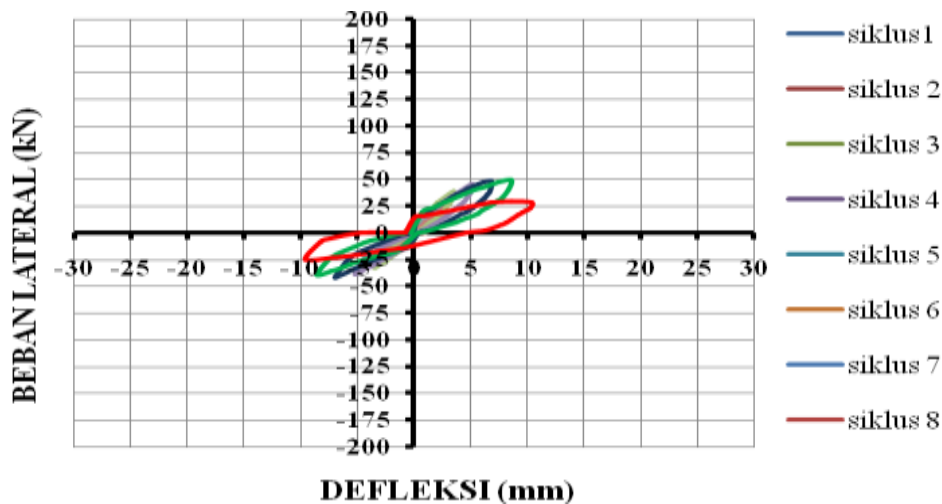
Benda Uji	Beban lateral maksimum	
	eksperimen (kN)	Keterangan
1. KN	44,573	Rusak geser
2. KP	138,233	Rusak geser

c. *Hysteresis Loop*

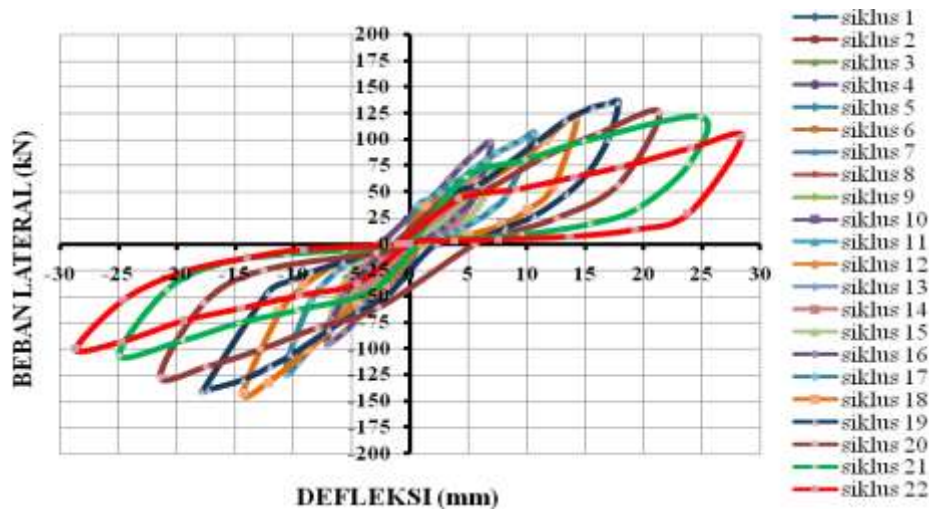
Dari hasil pengujian kolom pembandingan dan kolom perkuatan berdasarkan *load controlled* dan *displacement controlled*, diperoleh hubungan antara beban lateral dan defleksi berupa *hysteresis loop* seperti terlihat pada gambar 3.

d. Perbandingan Beban Lateral dan Defleksi

Kurva beban lateral dan defleksi rata-rata dari hasil pengujian kolom pembandingan dan kolom perkuatan dengan *carbon fiber jacket* dapat dilihat pada gambar 4.

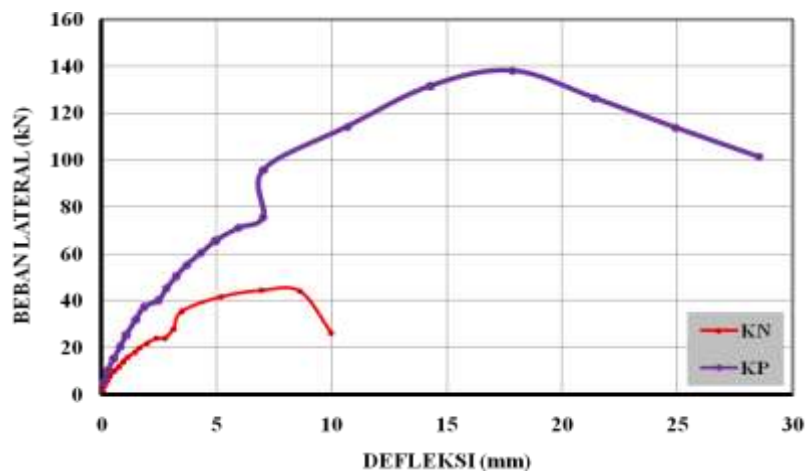


(a). *Hysteresis Curve KN*



(b). Hysteresis Curve KP

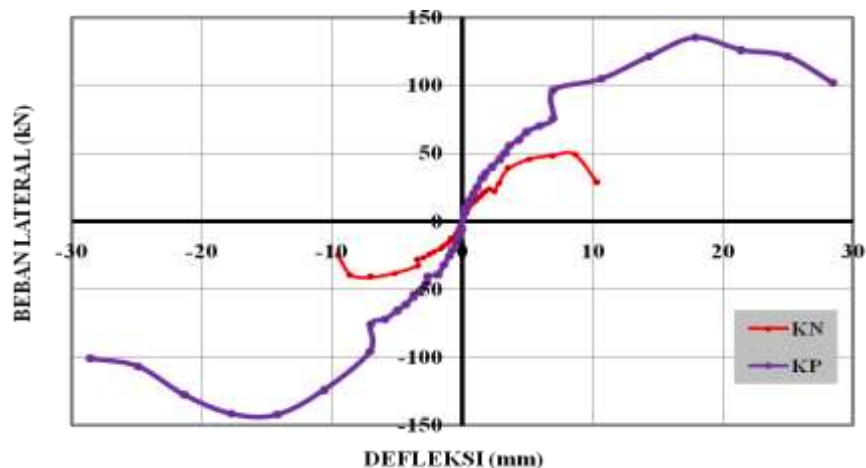
Gambar 3. Hysteresis Curve kolom



Gambar 4. Kurva Beban Lateral dan Defleksi Rata-Rata Kolom

Hasil lengkap kurva beban lateral dan defleksi dalam arah positif serta negatif pengujian pada kolom pembandingan kolom perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.

Envelope curve ini digunakan sebagai dasar perhitungan beban leleh, simpangan leleh dan daktilitas. Kolom-kolom pembandingan dengan spesifikasi sama mempunyai kapasitas beban lateral dan defleksi yang hampir merata.



Gambar 5. Kurva *Envelope* Pengujian Kolom Pemanding dan Kolom Perkuatan

Defleksi pada saat leleh dan pada akhir pengujian masing-masing untuk kolom pemanding dan kolom perkuatan dapat dilihat pada Tabel 4.

e. *Drift Ratio*

Dari hasil pengujian defleksi maksimum dapat ditentukan nilai *drift ratio* untuk masing-masing kolom pemanding dan kolom perkuatan, yang merupakan perbandingan antara defleksi maksimum terhadap tinggi kolom yaitu sebesar 500 mm.

Berdasarkan peraturan yang disyaratkan oleh ASCE (dalam Erlina, 2000) untuk terjadinya keruntuhan kolom pada bangunan gedung yaitu minimal 1,50%. Apabila nilai *drift ratio* lebih kecil dari 1,50 % maka akan terjadi keruntuhan pada kolom yang menimbulkan keruntuhan gedung secara tiba-tiba. Nilai *drift ratio* dan kekakuan kolom terlihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

f. Kekakuan Siklus Kolom

Kekakuan kolom merupakan salah satu faktor penting untuk menjaga kolom tetap kaku dan nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban lateral dan defleksi. Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan nilai kekakuan masing-masing benda uji kolom pemanding dan kolom perkuatan.

Menurut Handajani (2000), yang menyatakan bahwa peningkatan kapasitas beban lateral dan nilai *drift ratio* belum menjamin terjadinya peningkatan kekakuan pada kolom-kolom tersebut, hal ini tergantung pada tingkat kerusakan kolom sebelum diperbaiki.

Besarnya kekakuan tiap siklus pada kolom pemanding maupun kolom perkuatan diambil reratanya pada kondisi maksimum, menunjukkan bahwa nilai kekakuan pada permulaan pengujian mendapat nilai yang tinggi, selanjutnya mengalami penurunan sesuai dengan bertambahnya defleksi.

Tabel 4. Hasil Defleksi Saat Leleh (*Yield*) dan Saat Akhir Pengujian Kolom

Benda Uji	Defleksi Saat Leleh (<i>yield</i>) Δ_y (mm)	Defleksi Akhir Pengujian Δ (mm)
-----------	--	--

KN	3,483	9,972
KP	7,033	28,538

Tabel 5. Drift Ratio dan Kekakuan Kolom Pada Kondisi Maksimum

Benda Uji	Beban Lateral V_{max} (kN)	Defleksi Lateral Δ (mm)	Drift Ratio Δ / L (%)	Kekakuan (kN / mm) $K = \frac{V_{maks}}{\Delta}$
KN	44,573	6,940	1,388	6,423
KP	138,233	17,830	3,566	7,753

Tabel 6. Drift Ratio dan Kekakuan Kolom Pada Kondisi Failure

Benda Uji	Beban Lateral $V_{failure}$ (kN)	Defleksi Lateral $\Delta_{failure}$ (mm)	Drift Ratio $\Delta_{failure} / L$ (%)	Kekakuan (kN / mm) $K = \frac{V_{failure}}{\Delta_{failure}}$
KN	26,493	9,972	1,994	2,657
KP	101,400	28,538	5,708	3,553

Hasil pengujian kekakuan kolom pada kondisi maksimum dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

g. Daktilitas Kolom
Hasil pengujian daktilitas dari kolom pembanding dan kolom perkuatan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 7. Kekakuan Tiap Siklus KN Pada Kondisi Maksimum

Siklus	Displacement Ductility Factor Δ / Δ_y	Beban Lateral V_{maks} (kN)	Defleksi Leleh (yield) (mm) Δ_y	Defleksi Maksimal Δ (mm)	Kekakuan (kN / mm) $K = \frac{V_{maks}}{\Delta}$
1	0,05	2,133		0,175	12,190
2	0,17	4,267		0,607	7,033
3	0,26	6,233		0,925	6,739
4	0,25	7,100		0,933	7,607
5	0,37	9,383		1,375	6,824
6	0,50	12,217	3,510	1,805	6,768
7	0,62	13,767		2,218	6,206
8	0,75	16,400		2,630	6,236
9	0,87	18,517		3,090	5,992
10	1,0	20,050		3,510	5,712
11	1,1	20,717		3,947	5,249

12	1,2	22,400	4,363	5,134
13	1,4	22,250	4,800	4,635
14	1,6	20,283	5,683	3,569
15	1,9	21,017	6,592	3,188
16	2,1	22,867	7,463	3,064
17	2,4	22,133	8,337	2,655
18	2,6	22,900	9,238	2,479
19	2,9	20,683	10,032	2,062
20	3,6	19,550	12,950	1,510

Tabel 8. Kekakuan Tiap Siklus KPPada Kondisi Maksimum

Siklus	Displacement DuctilityFactor Δ / Δ_y	Beban Lateral Vmaks (kN)	Defleksi Leleh (yield) (mm) Δ_y	DefleksiMaksimal Δ (mm)	Kekakuan(kN / mm) $K = \frac{V_{maks}}{\Delta}$
1	0,011	5,100	7,033	0,080	63,750
2	0,037	10,267		0,260	39,487
3	0,074	15,417		0,518	29,743
4	0,115	20,450		0,808	25,299
5	0,150	25,383		1,055	24,060
6	0,211	31,917		1,482	21,541
7	0,262	37,367		1,843	20,271
8	0,351	40,217		2,468	16,293
9	0,400	45,417		2,815	16,134
10	0,462	50,467		3,248	15,536
11	0,524	55,367		3,687	15,018
12	0,615	60,467		4,325	13,981
13	0,704	65,650		4,950	13,263
14	0,843	71,083		5,927	11,994

15	0,998	75,667	7,022	10,776
16	1,0	95,967	7,033	13,645
17	1,5	114,350	10,663	10,724
18	2,0	131,700	14,273	9,227
19	2,5	138,233	17,830	7,753
20	3,0	126,517	21,397	5,913
21	3,5	113,867	24,922	4,569
22	4,0	101,400	28,538	3,553

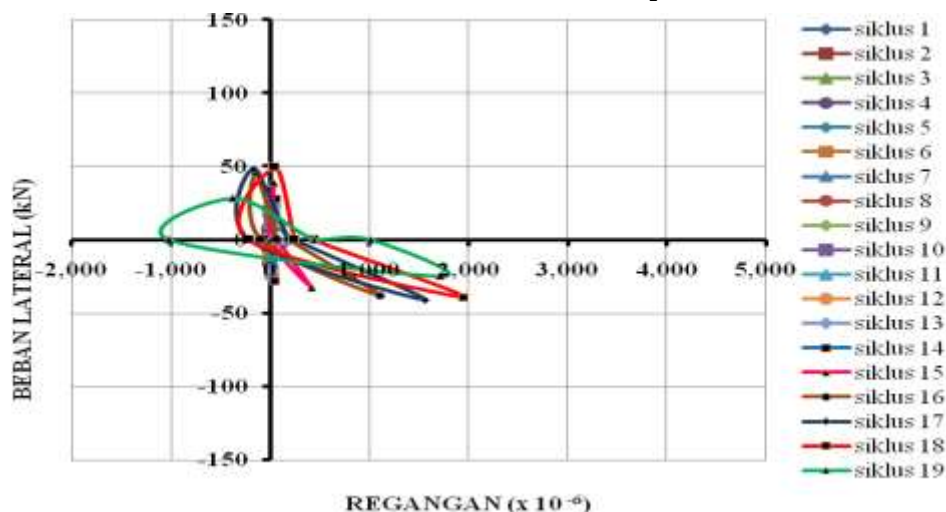
Tabel 9. Hasil Faktor Daktilitas Kolom

Benda Uji	Defleksi Saat Leleh (<i>yield</i>) Δ_y (mm)	Defleksi Maksimum Δ (mm)	Daktilitas $\mu = \frac{\Delta_{maks}}{\Delta_y}$
KN	3,483	9,972	2,863
KP	7,033	28,538	4,058

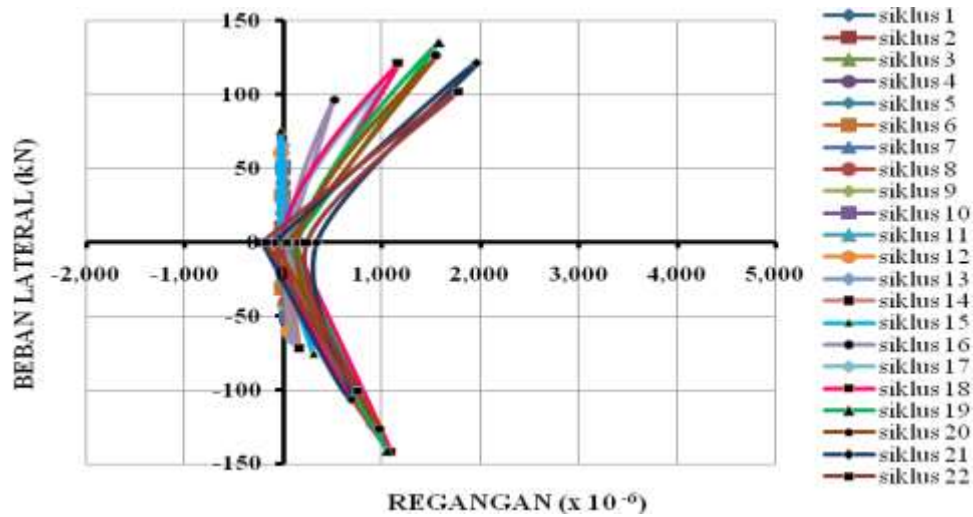
- h. Hubungan Beban Lateral dan Regangan Senggang, Spiral serta CFRP *Wrap*
Pengamatan regangan pada tulangan sengkang KN serta regangan tulangan sengkang dan CFRP *wrap* pada kolom perkuatan KP, yang kemudian dianalisis.

Hasil pengujian regangan dapat diamati pada Gambar 6 dan Gambar 7.

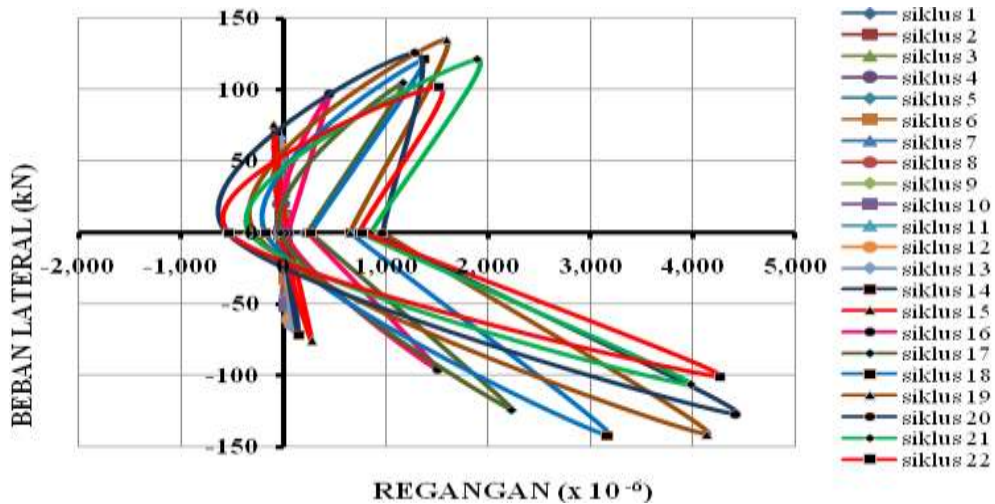
- i. Pola Retak Kolom
Hasil pola retak yang terjadi pada kolom pembanding dan kolom perkuatan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 6. Hubungan Beban Lateral dan Regangan Tulangan Senggang Kolom Pembanding



a). Hubungan Beban Lateral dan Regangan Tulangan Senggang Kolom Perkuatan



b). Hubungan Beban Lateral dan Regangan CFRW *Wrap* Kolom Perkuatan

Gambar 7. Hubungan Beban Lateral dan Regangan Kolom Perkuatan



Gambar 8. Pola Retak Kolom Pemanding



Gambar 9. Pola Retak Kolom Perkuatan

4. Pembahasan

Menurut SK SNI T-15-1991-03 beton yang diperoleh termasuk kategori beton normal (berat volume antara 22 dan 25 kN/m³). Nilai *slump* yang diperoleh juga tidak berbeda jauh dengan nilai *slump* yang direncanakan yaitu 10 cm. Kuat tekan beton perkuatan jauh lebih besar dari yang direncanakan yaitu 20 MPa.

Pada pengujian kolom pemanding dan kolom perkuatan dengan memberikan beban aksial konstan dan beban lateral siklik. Pada keseluruhan benda uji kolom asli terjadi keruntuhan geser demikian juga untuk kolom hasil perkuatan.

Berdasarkan hasil pengujian, penambahan tulangan longitudinal dan *concrete jacketing* selain menambah kuat geser kolom juga

memberikan pengekanan pada kolom sehingga kuat tekan dan regangan tekan bertambah. Dari hasil pengujian terlihat bahwa beban lateral pada kolom perkuatan meningkat jika dibandingkan dengan kolom pembanding dan perkuatan dengan metoda *carbon fiber jacket* dapat meningkatkan kuat geser kolom.

Kurva *hysteresis loop* kolom pembanding dibandingkan dengan kolom perkuatan pada defleksi yang sama yaitu diantara – 10 mm dan 10 mm. Pada kolom perkuatan menunjukkan kurva *hysteresis loop* yang lebih tegak dibandingkan kolom pembanding, menunjukkan bahwa kekakuan kolom perkuatan meningkat dan juga beban lateral yang dicapai menunjukkan kenaikan yang hampir tiga kali lipat nya jika dibandingkan dengan kolom pembanding.

Peningkatan kapasitas beban lateral kolom perkuatan terlihat lebih besar jika dibandingkan dengan kolom pembanding. Sejalan dengan itu, nilai defleksi pada kolom perkuatan menunjukkan peningkatan yang jauh lebih besar daripada kolom pembanding. Hal ini membuktikan bahwa perkuatan kolom dengan menggunakan metoda *carbon fiber jacket* memberikan kontribusi yang baik terhadap peningkatan kapasitas beban lateral dan kapasitas geser kolom perkuatan meningkat serta kolom perkuatan lebih daktil dengan peningkatan defleksi hampir dua kalinya kolom pembanding.

Kolom perkuatan KP memperoleh nilai *drift ratio* 3,566 % yang mengalami peningkatan 120,396 % dibandingkan rerata *drift ratio* kolom pembanding. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kolom perkuatan KP memenuhi persyaratan serta kolom bersifat cukup daktil.

Pada kolom perkuatan yang diberikan tambahan tulangan longitudinal dan transversal berupa tulangan spiral mengalami kenaikan daktilitas sebesar 23,871 %. Hal ini dapat dilihat pada grafik hubungan antara

beban lateral dan defleksi, yang menunjukkan bahwa kolom yang diperkuat akan lebih daktil dibandingkan dengan kolom pembanding.

Dari pengamatan pola retak yang terjadi pada benda uji sebelum perkuatan maupun setelah perkuatan, yang terlihat adalah keruntuhan geser dengan retak yang didominasi retak miring arah diagonal dalam dua arah. Pada awalnya muncul retak dalam arah horizontal yang diindikasikan sebagai retak lentur, dengan pertambahan beban muncul retak miring pertama (*first crack*). Dengan peningkatan beban, retak lentur tersebut berkembang menjadi retak miring atau retak arah diagonal yang berakibat kolom mengalami keruntuhan. Keruntuhan yang terjadi bersifat tiba-tiba sesaat setelah retak miring atau retak diagonal tersebut muncul atau menunjukkan keruntuhan yang *brittle* atau getas. Pola retak pada semua benda uji hampir sama. Setelah beban maksimum dicapai, kemampuan kolom menurun cukup drastis (*brittle shear failure*). Kondisi kerusakan pada permukaan kolom perkuatan KP lebih baik dibandingkan dengan kolom pembanding. Dimana pada dinding kolom perkuatan, tidak terlihat retak karena kolom terselubung CFRP *wrap*. Sehingga dapat dinyatakan bahwa penggunaan CFRP *wrap* mampu mengurangi atau mengatasi retakan pada kolom.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada kolom beton bertulang dengan perkuatan *carbon fiber jacket* diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Beban lateral pada kolom perkuatan meningkat jika dibandingkan dengan kolom pembanding. Pada kolom perkuatan KP (*carbon fiber jacket*) mengalami peningkatan kapasitas beban lateral sebesar 309,743 % dibandingkan kolom pembanding.
- Kolom perkuatan KP mempunyai luasan *hysteresis loop* yang kapasitasnya lebih besar dibandingkan dengan kolom

- pembanding. Selain itu, kolom perkuatan mampu menyerap beban gempa yang lebih besar, beban lateral yang dicapai menunjukkan kenaikan yang hampir tiga kali lipatnya kolom pembanding serta memiliki kekakuan yang lebih besar karena grafik yang cenderung lebih tegak dibandingkan kolom pembanding.
- c. Perkuatan kolom dengan penambahan tulangan longitudinal serta spiral dan dengan metoda *carbon fiber jacket* memberikan kontribusi yang baik terhadap peningkatan kapasitas beban lateral dan kapasitas geser kolom perkuatan meningkat serta kolom perkuatan lebih daktil dengan peningkatan defleksi hampir dua kalinya kolom pembanding.
 - d. Kolom asli maupun kolom perkuatan memenuhi persyaratan ASCE (dalam Erlina, 2000) untuk terjadinya keruntuhan kolom pada bangunan gedung yaitu minimal 1,50%, sehingga tidak akan menyebabkan keruntuhan bangunan secara tiba-tiba. Kolom perkuatan memperoleh nilai *drift ratio* dengan peningkatan cukup besar, yaitu 120,396 % dibandingkan rerata *drift ratio* kolom pembanding. Sehingga dapat dikatakan bahwa kolom perkuatan KP-1 dan KP-2 bersifat lebih daktil dibandingkan kolom pembanding.
 - e. Kolom perkuatan dapat meningkatkan kemampuan geser juga daktilitas kolom dibandingkan dengan kolom pembanding.
 - f. Kolom perkuatan mengalami kenaikan daktilitas sebesar 23,871 %. Hal ini dapat dilihat pada grafik hubungan antara beban lateral dan defleksi, dapat dikatakan bahwa kolom yang diperkuat akan lebih daktil dibandingkan dengan kolom pembanding.
 - g. Pengamatan pola retak yang terjadi pada benda uji sebelum perkuatan maupun setelah perkuatan, yang terlihat adalah keruntuhan geser dengan retak yang didominasi retak miring arah diagonal dalam dua arah.
 - h. Kondisi kerusakan pada permukaan kolom perkuatan lebih baik dibandingkan dengan kolom pembanding, sehingga dapat dinyatakan bahwa penggunaan CFRP *wrap* mampu mengurangi atau mengatasi retakan pada kolom.

Daftar Pustaka

- Barros, JAO., 2001, *Confinement Efficacy of Partially and Fully Wrapped CFRP Systems in RC Column Prototypes*, Dep. of Civil Engineering, University of Minho, Portugal.
- Chaallal, O., dan Shahawy, MA., 1999, *Behavior Of Reinforced Concrete Beam-Columns Retrofitted With Composite Wrapping Systems*, Structurak Research Center Florida Department Of Transportation, Florida.
- Edi, N. 2001, *Kuat Batas Lentur Kolom Beton Bertulang Segi Empat Dengan Perkuatan CFRP Wrap*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Lin, CT., dan Li, YF., 2003, *An Effective Peak Stress Formula For Concrete Confined With Carbon Fiber Reinforced Plastics*, Journal Civil Engineering, Vol 30, pp. 882-889.
- Pantelides, CP., Gergely, J., Reaveley, LD., dan Volny, VA., 1999, *Retrofit of Reinforced Concrete Bridge With CFRP Advanced Composites*, Journal of Structural Engineering, Oct, pp 1094-1099.
- Sudjati, J.J., 2003, *Perbaikan Kerusakan Geser Kolom Beton Bertulang Penampang Persegi Dengan Carbon Fiber Jacket*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suhendro, B., 2000, *Teori Model Struktur dan Teknik Eksperimental*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triwiyono, A., 2004, *Perbaikan Kolom Beton Bertulang dengan Metode Concrete Jacketing dengan Tulangan Spiral untuk Meningkatkan Kekuatan Geser*, Konferensi Nasional Rekayasa Kegempaan II, PSIT UGM, Yogyakarta.