

RETROVIT KOLOM PENDEK BETON BERTULANG PERSEGI DENGAN PERKUATAN EKSTERNAL CARBON FIBER-REINFORCED POLYMER DI BAWAH PENGARUH PEMBEBANAN SIKLIK

**Agus Sulistiawan
Agoes Soehardjono M.D.
Tavio**

Abstrak: Tujuan penelitian ini mengetahui peningkatan kekuatan dan daktilitas elemen struktur kolom yang mengalami kerusakan awal, kemudian diperbaiki, dan diperkuat dengan perkuatan eksternal *carbon fiber-reinforced polymer (CFRP)*. Pengujian terhadap elemen struktur kolom dilakukan dengan memberikan beban aksial yang konstan dan memvariasikan beban siklik dengan kontrol perpindahan. Dalam penelitian ini digunakan dua spesimen yaitu kolom C-1 (kolom original) dan kolom C-1RC (kolom retrofit). Hasil penelitian menunjukkan: (1) efektivitas pengekanan C-1RC meningkat 1,58 kali dan kekuatan terhadap momen meningkat sebesar 52,78% dibanding kolom C-1, dan (2) pemasangan perkuatan *CFRP* memberikan peningkatan kekuatan dalam menerima beban lateral sebesar 52,15% dan penurunan daktilitas sebesar -52,12%.

Kata-kata kunci: *carbon fiber-reinforced polymer*, beban siklik, daktilitas

Abstract: *The Retrofit of Non-Slender Square Concrete Column with an External Strengthener of Carbon Fiber-Reinforced Polymer (CFRP) Under the Influence of Cyclic Load. The purpose of this study is to know the increase of strength and ductility of a column structure element that has an initial damage, then it is fixed and strengthened by CFRP external strengthening. The column structure element is tested by giving a constant axial load and varying the cyclic load using a displacement control. In this research, two specimens are used, C-1 column (original column) and C-1RC column (retrofit column). The results of the study show that: (1) the effectiveness of the C-1RC's restraint and moment of force are increased by 1.58 times and 52.78% compared to the C-1's ones, and (2) the installation of CFRP reinforcement increases the strength in accepting lateral load by 52.15% and decreases of ductility by 52.12%.*

Keywords: *carbon fiber-reinforced polymer, cyclic load, ductility*

Kejadian gempa sering sekali terjadi di Indonesia karena posisi Indonesia yang menempati zona tektonik sangat aktif akibat bertemunya tiga lempeng

besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya. Banyak metode yang dikembangkan untuk melakukan *retrofit* (perbaikan) bangunan yang mengalami kerusakan,

Agus Sulistiawan adalah Mahasiswa Program Magister Teknik Sipil-Struktur FT Universitas Brawijaya; Agoes Soehardjono M.D. adalah Guru Besar Teknik Sipil-Struktur FT Universitas Brawijaya Malang; dan Tavio adalah Dosen Jurusan Teknik Sipil-Struktur FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

namun terkendala dari sisi praktis dan efisiensi biaya. Sehingga saat ini berkembang suatu metode *retrofit* dengan menggunakan perkuatan eksternal *CFRP* (*Carbon Fiber-Reinforced Polymer*). *CFRP* memiliki batas kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) lebih tinggi dibandingkan material *Fiber-Reinforced Polymer* lainnya, sehingga material ini dapat dijadikan suatu alternatif yang menarik dalam teknik *retrofitting* dan perbaikan pada struktur bangunan maupun jembatan yang mengalami kerusakan, baik akibat gempa maupun akibat kerusakan lainnya. Material *CFRP* yang akan digunakan seperti ditampilkan pada Gambar 1. Penelitian ini akan meninjau elemen struktur kolom karena kegagalan kolom akan berakibat pada keruntuhan elemen struktur lainnya. Dengan adanya kerusakan elemen struktur kolom maka resiko keruntuhan struktur bangunan secara keseluruhan akan semakin tinggi.



Gambar 1. *Tyfo[®] SCH System Uni-Directional Carbon Composite*

Jenis kerusakan yang sering terjadi akibat gempa adalah keretakan dan *spalling*. Keretakan, yaitu keretakan-keretakan struktur dan nonstruktur. Untuk perbaikan retak nonstruktur digunakan metode injeksi dengan menggunakan material pasta semen yang dicampur *expanding agent* serta *latex* atau dengan melakukan *sealing* menggunakan material *polymer mortar* atau *polyurethane sealant*. Untuk

retak struktur digunakan metode injeksi dengan material *epoxy* yang mempunyai viskositas rendah sehingga dapat mengisi sekaligus melekatkan kembali bagian beton yang terpisah. *Spalling*, metode perbaikannya adalah *patching*, *grouting*, *shotcrete* (beton tembak), *grout preplaced aggregate* (beton *prepack*). Seible dkk. (1997), mengidentifikasi kegagalan kolom *reinforced concrete* dalam 3 mode kegagalan yaitu kegagalan geser, kegagalan pengekangan di daerah lentur sendi plastis, dan kegagalan sambungan tulangan dari tulangan baja longitudinal. Penentuan tingkat kerusakan komponen struktur akibat terjadinya gempa dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkatan Kerusakan Berdasarkan Gejala Visual Akibat Gempa

Ranking Kerusakan	Deskripsi Kerusakan Komponen Struktur
1	Retak rambut dapat terlihat pada permukaan beton (lebar retak < 0,20 mm)
2	Retakan dapat terlihat pada permukaan beton (lebar retakan kira-kira 0,20–1,00 mm)
3	Kehancuran lokal pada selimut beton dan retakan yang sangat jelas (lebar retakan kira-kira 1,00–2,00 mm)
4	Kehancuran beton sangat nyata dengan tulangan beton terlihat Selimut beton hancur
5	Tulangan tertekuk, inti penampang beton beton hancur, deformasi vertikal pada kolom (dinding) dapat terlihat serta penurunan dan/atau kemiringan lantai dapat terlihat

Kapasitas beban aksial nominal teoritis dari kolom *non-slender* perkuatan *FRP* dengan pengekangan *tied* adalah:

$$P_d(n(maks)) = 0,80[0,85(\psi_f f'_c) \downarrow] cc(A_{dg} - A_{dst}) + f_y A_{dst} \tag{1}$$

di mana:

A_g = luas bruto beton (mm^2), A_{st} = luasan tulangan memanjang baja (mm^2), f'_c = kuat tekan beton terkekang (MPa), f_y = tegangan leleh baja longitudinal (MPa), P_n = kapasitas aksial nominal (N), dan ψ_f = faktor reduksi FRP.

Menurut ACI 440.2R-02, kekuatan tekan pengekanan, f'_c yang merupakan persamaan kekuatan beton terkekang yang dikembangkan oleh Mander dkk. (1988), dengan tekanan pengekanan disediakan oleh FRP adalah f_l :

κ_a merupakan faktor efisiensi yang bergantung dari bentuk kolom, untuk kolom persegi.

Rasio perkuatan kotor untuk kolom persegi dengan syarat $h/b \leq 1,5$ serta b dan h lebih kecil dari 36 in. Rasio perkuatan FRP, ρ_f untuk kolom persegi adalah:

$$\rho_f = \frac{2n_f(b+h)}{bh} \tag{5}$$

Daktilitas menjadi pertimbangan dalam mendesain struktur terutama ketika struktur mengalami *overload*. Material

$$f'_c = f'_c \left(2,25 \sqrt{1 + 7,9 \frac{f_l}{f'_c}} - 2 \frac{f_l}{f'_c} - 1,25 \right) \tag{2}$$

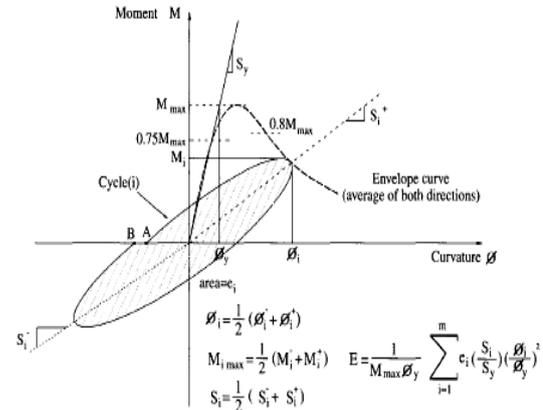
$$f_l = \frac{K_a \rho_f E_f \epsilon_{fe}}{2} \tag{3}$$

$$K_a = 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{3bh(1-\rho_g)} \tag{4}$$

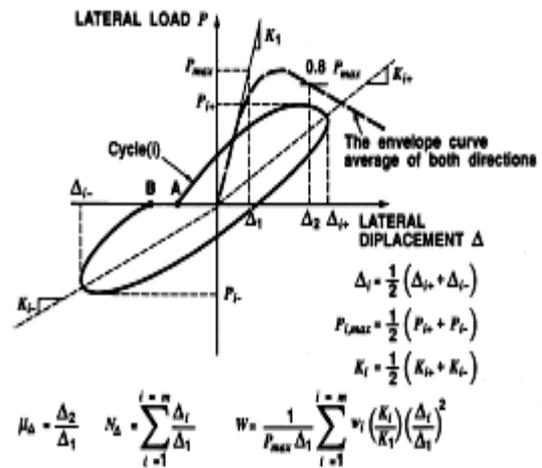
$$\rho_g = \frac{(A_s + A'_s)}{A_g}$$

ductile mampu menyerap sejumlah energi yang besar sebelum terjadi kegagalan di mana material ini mampu berdeformasi

besar sebelum hancur dengan parameter daktilitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



a. Section ductility parameters



b. Member ductility parameters

Gambar 2. Definisi Parameter Daktilitas

$$\mu_\phi = \phi_u / \phi_y \tag{6}$$

$$\mu_\Delta = \Delta_u / \Delta_y \tag{7}$$

$$\delta = \Delta_u / L \tag{8}$$

di mana: μ_ϕ = curvature ductility factor, μ_Δ = displacement ductility factor, ϕ_u = curvature ultimit (m^{-1}), ϕ_y = curvature leleh (m^{-1}), Δ_u = displacement ultimit (m), Δ_y = displacement leleh (m), dan L = tinggi efektif kolom (m).

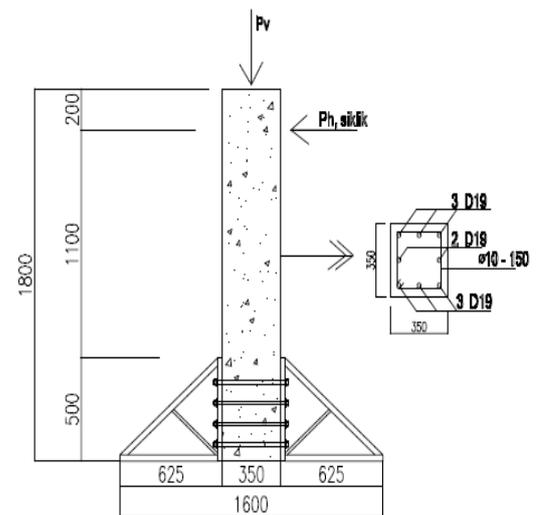
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya peningkatan kekuatan dan daktilitas kolom pendek segi-empat beton bertulang sebelum mengalami kerusakan (kolom original) jika dibandingkan dengan kolom pendek persegi beton bertulang yang telah mengalami kerusakan dan diretrofit dengan *Carbon Fiber-Reinforced Polymer* (kolom retrofit).

METODE

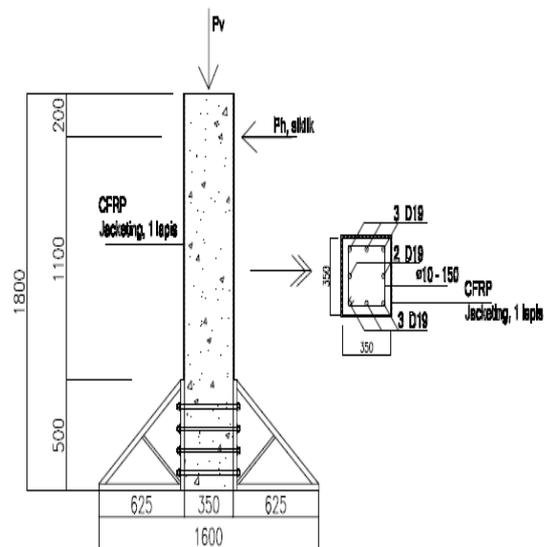
Spesimen yang diuji adalah kolom persegi dengan ukuran 350 x 350 mm dan tinggi 1080 mm. Pada bagian bawah kolom dijepit setinggi 500 mm. Asumsi yang digunakan adalah kolom dengan tumpuan jepit-bebas. Pada bagian atas kolom dibiarkan bebas bergerak sesuai dengan beban yang bekerja. Mutu beton yang digunakan adalah 20,34 MPa dan mutu baja untuk tulangan longitudinal adalah 549,94 MPa dengan jumlah tulangan longitudinal 8D19 dan mutu baja untuk tulangan transversal 386,52 Mpa dengan diameter tulangan $\phi 10$ dan jarak antar tulangan 200 mm. Benda uji ditampilkan pada Gambar 3 dan *set up* ditunjukkan pada Gambar 4.

Jumlah spesimen ada 2 kolom yang masing-masing terdiri dari kolom original yaitu kolom tanpa perkuatan *fiber* atau kolom original (*C-1*) dan kolom retrofit dengan perkuatan *CFRP* 1 lapis arah serat horisontal (*C-IRC*). Yang dimaksud dengan kolom retrofit disini adalah kolom uji yang telah mengalami pemberian kerusakan awal kemudian diperbaiki baik dengan metode grouting maupun injeksi. Aplikasi *CFRP* dilakukan menurut prosedur yang ditentukan oleh produsen. Sebelum dilakukan pemasangan *CFRP*, permukaan beton sebelumnya dibersihkan dan permukaan benda uji harus benar-benar kering sebelum diberi resin. Lapisan

resin pertama dipasang pada lembaran *FRP* kemudian langsung dibungkus pada permukaan. Untuk memastikan tidak ada *void* antara lembar *FRP* dan permukaan beton maka digunakan rol khusus dapat untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap dan dilakukan penekanan pada resin sampai menembus ke dalam serat dan baru dihentikan sam-

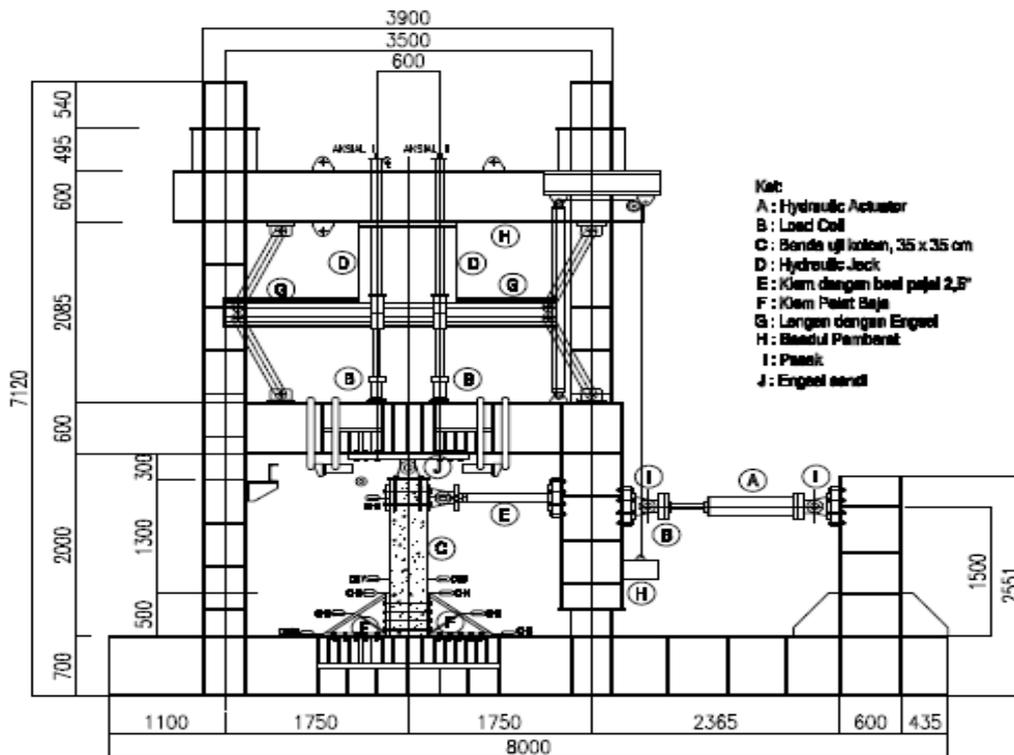


(a) Kolom C-1



(b) Kolom C-IRC

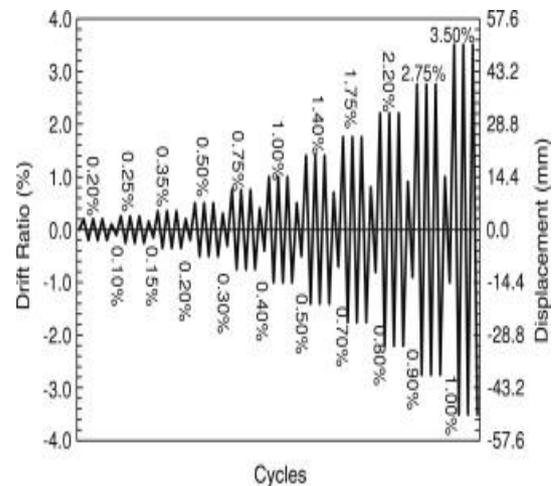
Gambar 3. Spesimen Kolom



Gambar 4. Set-up Pengujian Kolom

pai pembasahan sempurna yaitu sampai resin menembus permukaan serat. Kemudian dilakukan pemasangan lapisan *resin coat* pada permukaan kolom yang telah dibungkus *CFRP*. Spesimen kolom *CFRP Jacketing* dibiarkan pada suhu kamar selama 7 hari untuk memastikan bahwa *epoxy* telah benar-benar kering. Dalam penelitian ini digunakan panjang *overlap CFRP* 200 mm.

Semua pengujian kolom dilakukan di bawah beban aksial konstan dan variasi beban siklik dengan *displacement control*. Digunakan tingkat beban aksial rendah sebesar 30,00% dari kapasitas beban aksial. Pola pembebanan siklik mengacu pada pola pembebanan ACI 374.1-05 seperti pada Gambar 5 dengan rasio *drift* Δ/L ($\times 10^2$) : 0,20; 0,25; 0,35; 0,50; 0,75; 1,00; 1,40; 1,75; 2,20; 2,75 dan 3,50. Pengujian dihentikan saat terjadi kegagalan spesimen.



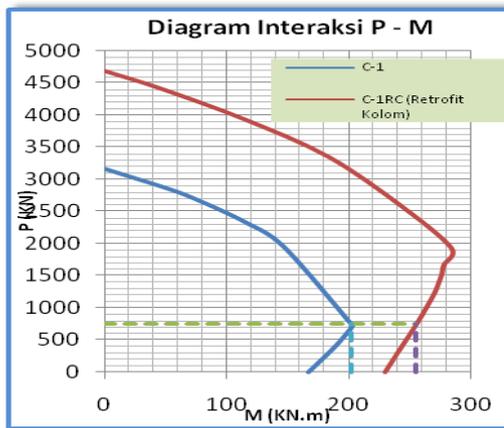
Gambar 5. Pola Pembebanan

HASIL

Hasil pengujian yang akan dibahas dalam artikel ini adalah beban rencana dan pengujian siklik pada benda uji.

Penentuan Beban Rencana

Nilai beban rencana diperoleh dari perhitungan diagram interaksi kolom seperti pada Gambar 6 dan detail hasil analisis yang diperoleh dari perhitungan ditampilkan pada Tabel 2.



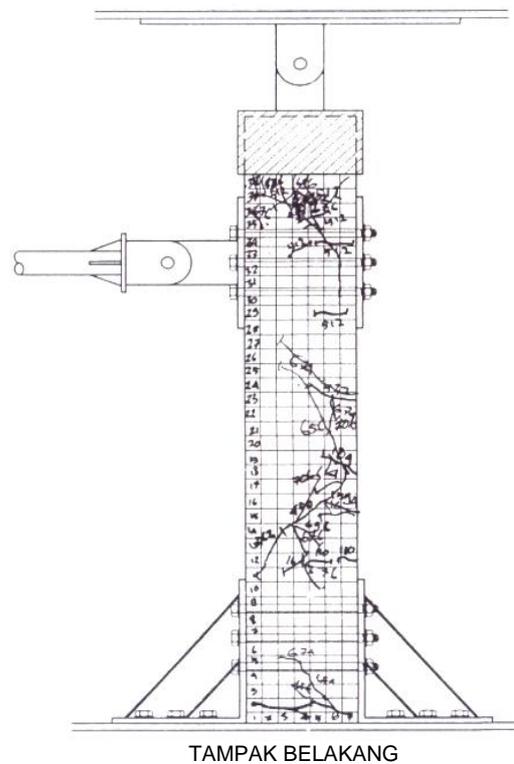
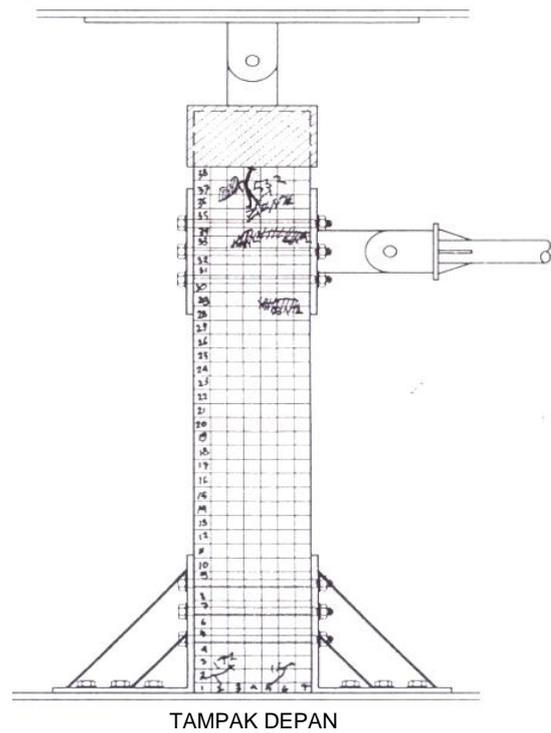
Gambar 6. Diagram Interaksi P-M Kolom Teoritis

Tabel 2. Beban Rencana

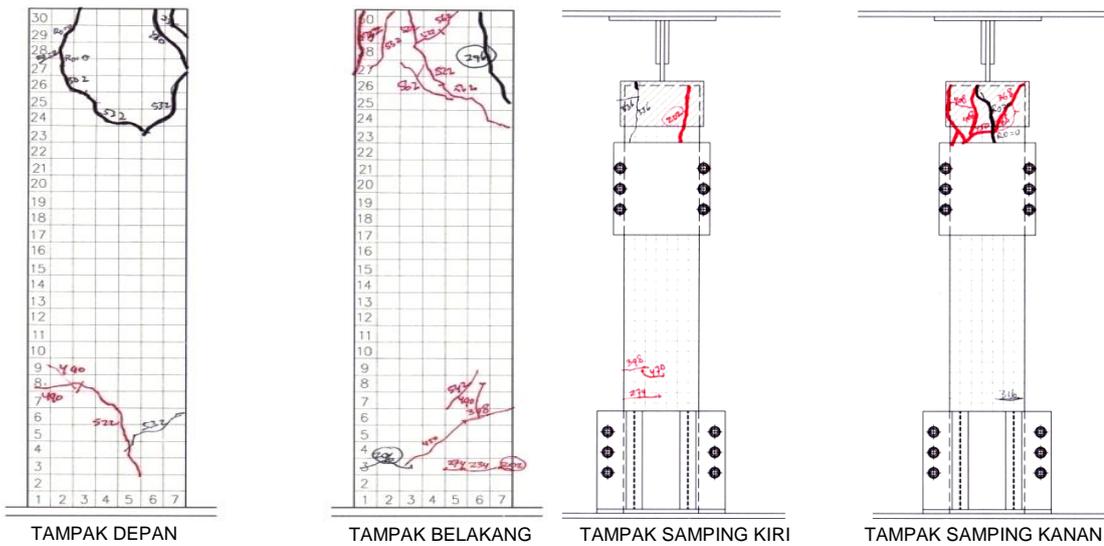
	<i>Original Column</i>	<i>Strengthened Column CFRP 1 lapis</i>
C (mm)	164	125
Pv (kN)	748	748
e (mm)	250	329
Mn (kNm)	187,02	246,3
Ph (kN)	181,57	225,96

Pengujian Benda Uji

Hasil pengujian siklik yang diperoleh berupa pola retak (Gambar 7) dan grafik beban-perpindahan (Gambar 8). Pola retak merupakan hasil pengamatan selama pengujian berlangsung hingga benda uji mengalami kegagalan. Grafik beban perpindahan merupakan aplikasi dari data beban lateral yang bekerja pada setiap *step* pengujian dan perpindahan merupakan data *displacement* yang terjadi bagian atas kolom sebagai perpindahan terbesar yang diambil dari data *LVDT* 2.



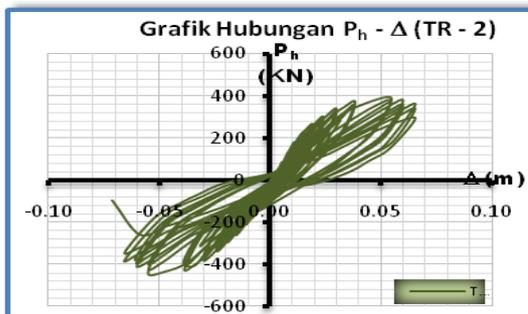
(a) C-1



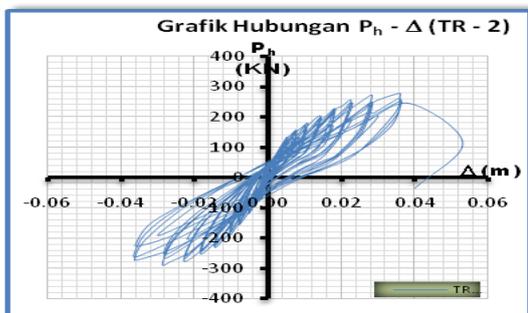
(b) C-IRC

Gambar 7. Pola Retak Benda Uji

Grafik hubungan beban-perpindahan ($P-\Delta$) yang diperoleh selama pengujian adalah:



(a) C-1



(b) C-IRC

Gambar 8. Grafik Hubungan Beban-Perpindahan

PEMBAHASAN

Dalam artikel ini akan membahas tentang pengaruh pengekanan dan hasil pengamatan selama pengujian siklik berlangsung.

Pengaruh Pengekanan

Dari analisis diagram interaksi menunjukkan bahwa kolom dengan pengekanan CFRP memberikan peningkatan beban aksial nominal sebesar 134,66% terhadap C-1. Juga terjadi peningkatan momen nominal C-IRC sebesar 20,54% terhadap C-1. Tabel 3 menunjukkan bahwa secara teoritis kolom yang telah diberi CFRP memberikan pengaruh pengekanan lebih baik di mana efektivitas pengekanan meningkat 1,58 kalinya dibandingkan kolom C-1.

Tabel 3. Pengaruh Pengekanan CFRP

Benda Uji Kolom	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton Terkekang	Hasil Analisis
	f_c (MPa)	f_{cc} (MPa)	
C-1	25	-	-
C-IC	25	39,47	1,58

Hasil Pengamatan

Kolom C-1

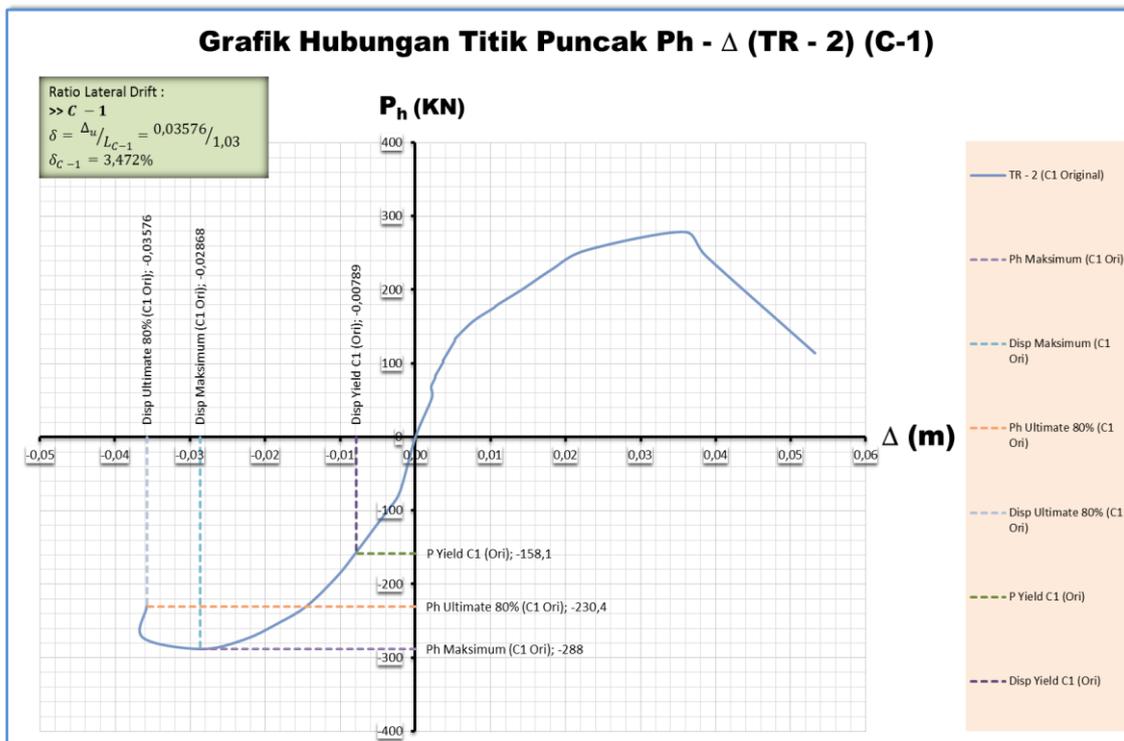
Pada kolom C-1 keretakan awal terjadi di daerah sendi plastis pada *step* 110 dengan *displacement* 2,58 mm, beban lateral 79,1 KN dan *ratio lateral drift* sebesar 0,25%. Keretakan yang terjadi merupakan keretakan lentur yang terjadi pada daerah sendi plastis kolom dan ditemukan pertama kali pada daerah tarik kolom. Lebar retak lentur awal ini berkisar antara 0,01–0,02 mm. Retak awal ini terjadi pada saat beban baru mencapai 10,58% dari beban nominal (P_n).

Berdasarkan perilaku kerusakan yang terjadi pada kolom C-1 serta tingkat kerusakan yang ditargetkan, maka kolom C-1RC terlebih dahulu akan diuji hingga rasio lateral drift 2,20% dengan *displacement control* 0,02246 meter dan beban lateral sebesar 220,40 KN.

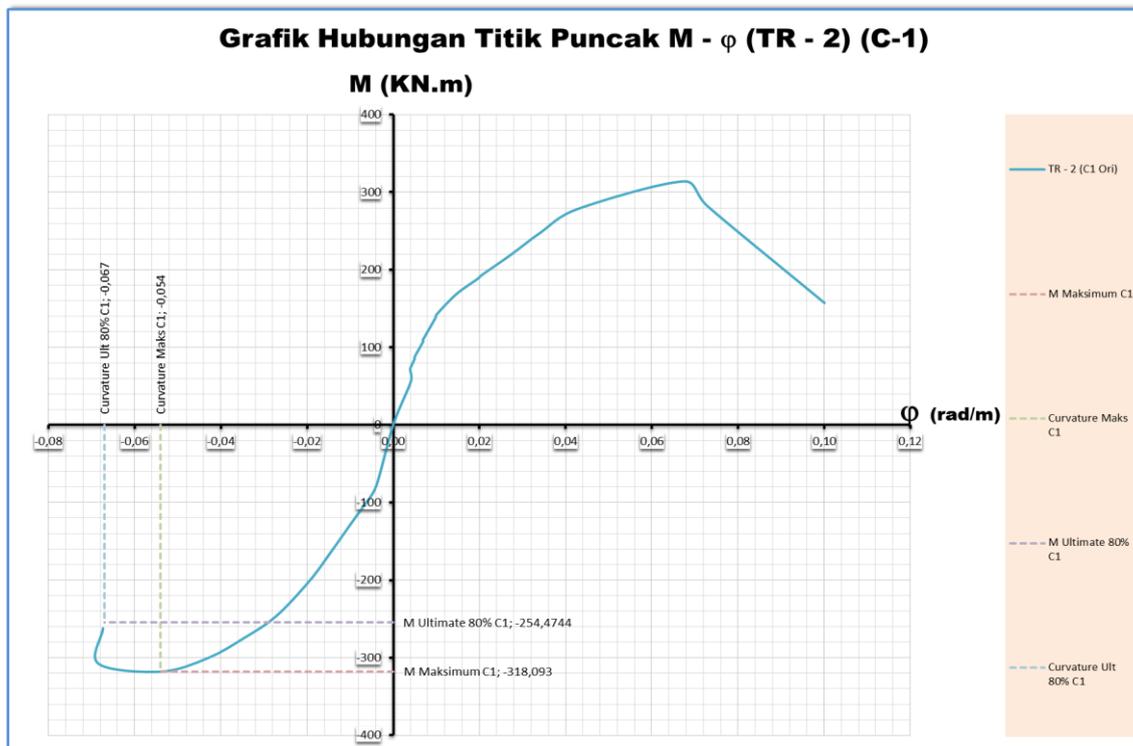
Skeleton dari hubungan beban-perpindahan dan hubungan momen-kelengkungan kolom C-1 ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10, dan didapatkan hasil uji yang dijadikan sebagai referensi untuk pengujian kolom *retrofit*, yaitu: (1) P_{max} kolom C-1: 288,00 KN, (2) $P_{ultimate}$ kolom C-1: 230,40 KN, (3) M_{max} kolom C-1: 318,093 KN.m, (4) $M_{ultimate}$ kolom C-1: 254,4744 KN.m, (5) Δ maksimum kolom C-1: 0,02868 meter, (6) $\Delta_{ultimate}$ kolom C-1: 0,03676 meter, (7) $\phi_{maksimum}$ kolom C-1: 0,064 rad/meter, (8) $\phi_{ultimate}$ kolom C-1: 0,067 rad/meter, (9) *Displacement ductility factor*:

$$\frac{\Delta_u}{\Delta_y} = 0,03576 / 0,00789 = 4,53232$$

(10) *Ratio Lateral Drift*: 3,472%, dan
(11) Taraf kinerja elemen struktur kolom C-1 adalah daktail parsial.



Gambar 9. Skeleton Beban-Perpindahan C-1



Gambar 10. Skeleton Momen-Kelengkungan C-1

Kolom C-IRC

Keretakan awal terjadi di daerah muka penjepit kolom pada *step* 686 dengan *ratio lateral drift* sebesar 2,75% siklus ke 2 dan beban lateral 370 KN. Keretakan ini terlihat dalam bentuk sobekan pada permukaan lapisan CFRP sepanjang ± 7 Cm.

Pada *step* 728 dengan *ratio lateral drift* sebesar 3,50% siklus ke 1 dan beban lateral 373,60 KN terlihat permukaan lapisan CFRP pada bagian kiri kolom di daerah sendi plastis (sisi yang berseberangan dengan aktuator) mulai menggelembung dan beberapa serat putus. Dan pada *step* 778 *ratio lateral drift* sebesar 3,50% siklus ke 3 dan beban lateral 389,20 KN panjang gelembung pada permukaan CFRP sudah mencapai 10 Cm.

Pada *step* 810 dengan *ratio lateral drift* sebesar 5,00% siklus ke 1 dan beban lateral 438,20 KN terdengar bunyi retak-

an dari bagian dalam beton. Dan pada *step* 860 dengan *ratio lateral drift* sebesar 5,50% siklus ke 1 dan beban lateral 376,90 KN permukaan daerah sendi plastis bagian belakang kolom sudah tidak rata.

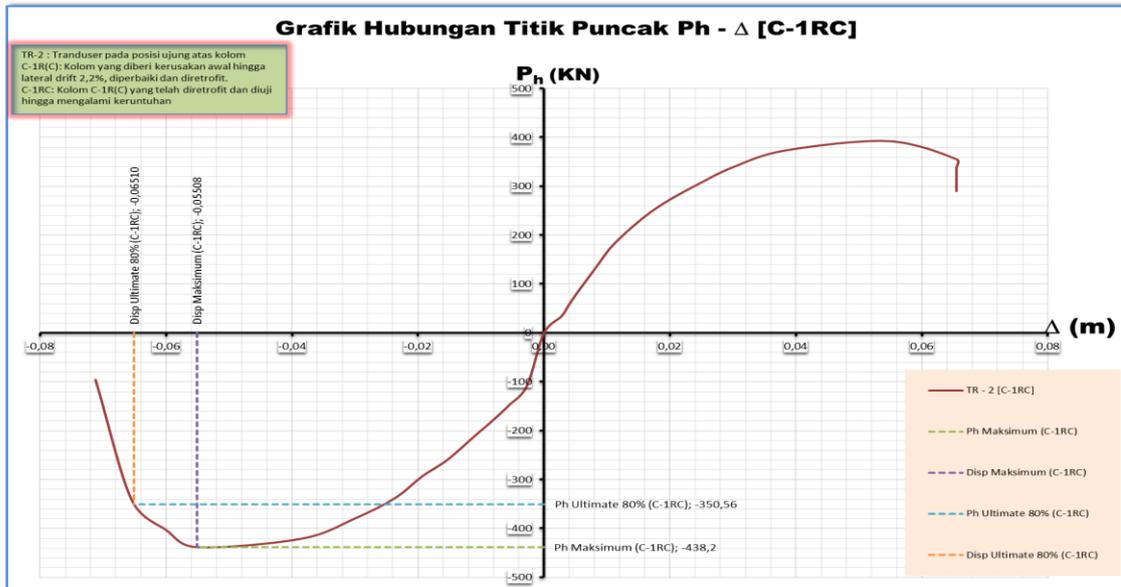
Pada *step* 949 dengan *ratio lateral drift* sebesar 6,00% siklus ke 1 dan beban lateral 318,40 KN retakan pada permukaan beton di daerah sendi plastis semakin terlihat jelas. Dan pada *step* 970 dengan *ratio lateral drift* sebesar 6,00% siklus ke 2 dan beban lateral 95,60 KN bagian kolom pada daerah sendi plastis mengalami kehancuran.

Skeleton dari hubungan beban-perpindahan dan hubungan momen-kelengkungan kolom C-IRC ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12, dan didapatkan hasil uji, yaitu: (1) P_{max} kolom C-IRC: 438,20 KN, (2) $P_{ultimate}$ kolom C-IRC: 350,56 KN, (3) M_{max} kolom C-IRC: 485,973 KN.m,

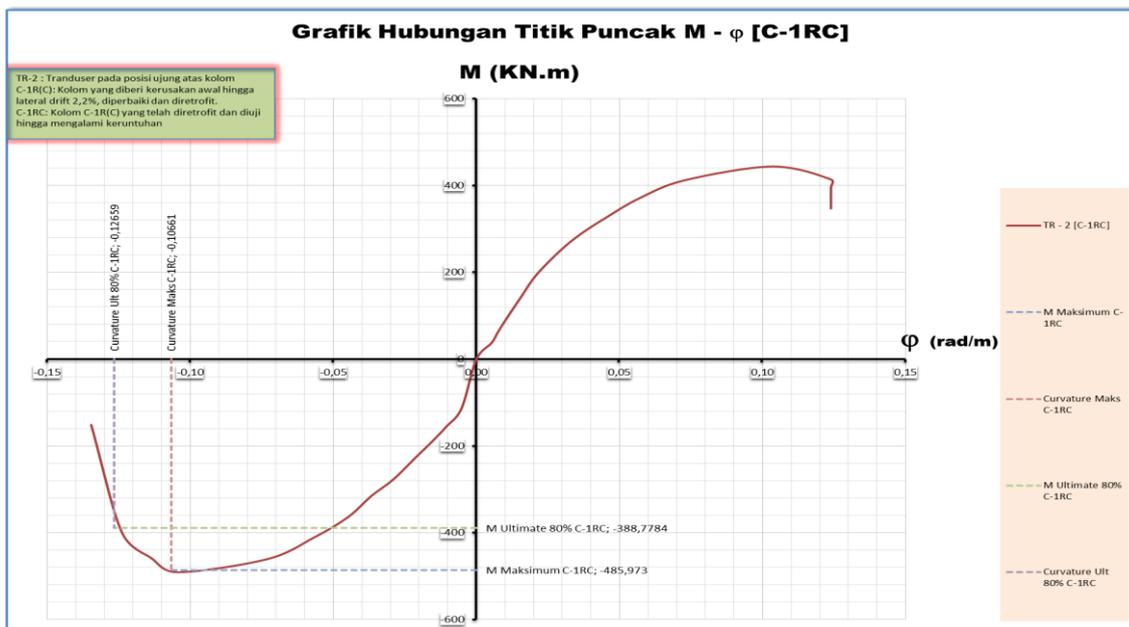
(4) $M_{ultimate}$ kolom C-IRC: 388,7784 KN.m,
 (5) Δ maksimum kolom C-IRC: 0,06508 meter,
 (6) Δ ultimate kolom C-IRC: 0,06510 meter,
 (7) $\phi_{maksimum}$ kolom C-IRC: 0,10661 rad/meter,
 (8) $\phi_{ultimate}$ kolom C-IRC: 0,12659 rad/meter,
 (9) *Displacement ductility factor* kolom C-IRC:

$$\frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{0,0651}{0,00789} = 8,25095$$

(10) *Ratio Lateral Drift* C-IRC: 6,345%,
 dan (11) Taraf kinerja elemen struktur kolom C-IRC adalah daktail parsial.



Gambar 11. Skeleton Beban-Perpindahan C-IRC



Gambar 12. Skeleton Momen-Kelengkungan C-IRC

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini *pertama*, efektivitas pengekanan *C-ICR* meningkat 1,58 kali dibanding kolom *C-1*. *Kedua*, pemasangan perkuatan *CFRP* pada struktur kolom yang mengalami kerusakan awal dapat memberikan peningkatan kekuatan dalam menerima beban lateral sebesar 52,15%, dimana Kolom *C-1* original memiliki *P* maksimum sebesar 288,00 KN, dan setelah diberi perkuatan *P* maksimum kolom retrofit *C-IRC* meningkat menjadi 438,20 KN. Demikian pula, terdapat peningkatan kapasitas kekuatan terhadap momen sebesar 52,78%, dimana momen maksimum kolom *C-1* original adalah 318,093 KN.m dan kolom retrofit *C-IRC* sebesar 485,973 KN.m. Dengan peningkatan yang signifikan terhadap kekuatan, maka material *CFRP* ini dapat digunakan untuk meretrofit dan sebagai perkuatan bagian-bagian struktur bangunan yang mengalami kerusakan baik akibat gempa maupun pembebanan yang berlebihan. *Ketiga*, *displacement ductility ratio* dari kolom original *C-1* adalah 4,532 dengan pelepasan tulangan baja terjadi pada *step* 295 dan beban lateral sebesar 158,1 KN, sedangkan untuk kolom retrofit *C-IRC* adalah sebesar 2,170 dengan pelepasan tulangan baja terjadi pada *step* 666 dan beban lateral 379,30 KN. Dengan demikian, pemberian perkuatan *CFRP* pada kolom yang mengalami kerusakan awal memberikan penurunan daktilitas yang cukup signifikan yaitu sebesar -52,122% atau dengan kata lain kolom menjadi lebih *brittle*. Hal ini terjadi disebabkan pelepasan tulangan pada kolom *C-1* (*original*) berbeda dengan kolom *C-IRC* (*retrofit*) hal ini disebabkan mutu baja tulangan yang digunakan sangat variatif. Hal ini menyebabkan kondisi kolom *C-IRC* mempunyai tulangan yang lebih kuat dibandingkan kolom *C-1*. Sebab lain

adalah serat sekunder pada arah vertikal dari lapisan *CFRP* memberikan peningkatan kekuatan terhadap tulangan baja pada kolom *C-IRC*, sehingga jarak antara kolom mengalami pelepasan baja dengan kolom mengalami beban *lateral ultimate* semakin kecil. *Ratio lateral drift* dari kolom pun mengalami peningkatan yaitu sebesar 2,87%, dimana pada kolom *C-1* *ratio lateral driftnya* adalah sebesar 3,47% dan setelah diretrofit dan diberi perkuatan *CFRP*, *ratio lateral drift* dari kolom *C-IRC* menjadi sebesar 6,35%.

Saran dari penelitian ini *pertama*, posisi eksentrisitas beban aksial sangat perlu untuk diperhatikan, karena dengan adanya eksentrisitas beban aksial di awal pengujian sangat mempengaruhi hasil dari pengujian selanjutnya. *Kedua*, pemilihan material baik untuk material beton maupun baja harus dilakukan lebih selektif sehingga variasi kekuatan beton maupun baja semakin kecil, sehingga lebih memperbesar akurasi dari hasil pengujian. *Ketiga*, perlunya ditambahkan variasi dan pengulangan spesimen agar hasil dan perilaku dari pengujian spesimen dapat lebih akurat dan teliti. *Keempat*, perlu diadakan penelitian selanjutnya agar dapat diperoleh perbandingan dengan spesimen yang sama namun tanpa menggunakan beban aksial. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui besarnya pengaruh pemberian beban aksial terhadap perilaku kekuatan dan daktilitas elemen struktur kolom dalam menerima beban gempa.

DAFTAR RUJUKAN

- ACI Committee 440. 2002. *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. ACI 440.2R-02.
- ACI Committee 374. 2005. *Acceptance*

- Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary.* ACI 374.1-05.
- Bae, S., & Bayrak, O. 2008. Seismic Performance of Full-Scale Reinforced Concrete Columns. *ACI Structural Journal*, March-April, pp. 123-133.
- Balaguru, P., Nanni, A., & Giancaspro, J. 2009. *FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures*. New York: Taylor & Francis Group.
- Bank, L. 2006. *Structural Design with FRP Materials*. Canada: John Wiley & Sons, INC.
- El-Tawil, S., & Deierlein, G.G. 1999. Strength and Ductility of Concrete Encased Composite Columns. *Journal of Structural Engineering*, September, pp 1009.
- Faella, A., Napoli, A., & Realfonzo, R. 22-24 July 2008. *Cyclic Behaviour of Concrete Columns Confined with FRP Systems*. Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2008), Zurich, Switzerland, pp. 1-6
- Gangarao, H., Taly, N., & Gangarao, H. 2007. *Reinforced Concrete Design with FRP Composites*. Prancis: CRC Press.
- Hosseini, A., Khaloo, A.R., & Fadaee, S. 2005. Seismic Performance of High Strength Concrete Square Columns Confined With CFRP. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Juny, pp 569.
- Kumar, E.S., Murugesan, A., & Thiruganatham, G.S. 2010. Experimental Study on Behavior of Retrofitted with FRP Wrapped RC Beam-Column Exterior Joints Subjected to Cyclic Loading. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 1(1):64-79.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N., & Park, R. 1998. Theoretical Sterss-Srain, Model for Confined Coroncret. *Journal of Structural Engineering ASCE*.
- Nawy, E. 2008. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama.
- Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- Park, R., & Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. Canada: John Willey and Sons.
- Sheikh, S.A., & Khoury, S.S. 1993. Confined Concrete Columns with Stubs. *ACI Journal*, July-Agustus No. 90-S44.
- Yasmen T.O. 2000. *Structural Retrofitting of Reinforced Conceret Beams Using Carbon Fibre Reinforced Polymer*. Desertation, Departmen of Construction Sciens, Lund University.