

PERKUATAN KOLOM BULAT BETON BERTULANG DENGAN LAPIS GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP)

I Ketut Sudarsana¹ dan A.A Gede Sutapa¹

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perkuatan kolom bulat beton bertulang dengan metode jacketing menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) dengan panjang sambungan (overlapping) GFRP yang bervariasi terhadap perilaku keruntuhan, daya dukung aksial dan daktilitas aksial kolom.

Sebanyak 21 buah silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dibuat dan dites. Variasi panjang sambungan GFRP adalah 100%, 150%, 200%, 250% dan 300% dari panjang sambungan hasil perhitungan yang didasarkan pada kuat tarik dan kuat rekatan GFRP. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban tekan pada benda uji sampai benda uji mengalami keruntuhan. Data yang dicatat dalam pengujian adalah perilaku runtuh, beban maksimum benda uji dan perpendekan longitudinal benda uji untuk setiap peningkatan beban sebesar 10 kN.

GFRP dengan sambungan 100% dan 150% mengalami gagal geser pada sambungan sedangkan GFRP dengan sambungan 200% sampai dengan 300% gagal tarik (putus) di luar sambungan. Hasil pengujian menunjukkan perkuatan kolom bulat beton bertulang dengan metode jacketing/wrapping dengan satu lapis GFRP mampu meningkatkan daya dukung aksial sebesar 11,86% sampai dengan 15,25% dan daktilitas aksial sebesar 12,41 % sampai dengan 47,14%.

Kata kunci: perkuatan, metode jacketing, kolom bulat beton bertulang, GFRP, daya dukung aksial, daktilitas aksial.

STRENGTHENING OF CIRCULAR REINFORCED CONCRETE COLUMN USING GLASS FIBER REINFORCED POLYMER (GFRP) WRAP

Abstract: The paper presents an experimental investigation the effect of circular reinforced concrete short columns strengthening using Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) wrap with variation of overlapping to failure behavior, axial capacity and axial ductility.

Twenty one cylindrical concrete specimens with diameters of 150 mm, and 300 mm high were made and tested. Variations of overlapping in this research were 100%, 150%, 200%, 250% and 300 % from overlapping that calculation with GFRP ultimate tension and ultimate debonding strength. Compressive load was applied to the specimens until the specimens failure. Data that note when test were; failure behavior, maximum load and longitudinal strain for every 10 kN increasing load.

GFRP with overlapping 100% and 150% failed by sliding (debonding) in overlapping zone, while GFRP with overlapping 200% until 300% failed by broken outside overlapping zone. The experimental results show that circular reinforced concrete columns strengthening by jacketing method/wrapping using one layer of GFRP sheet increasing axial capacity by 11,86% until 15,25% and axial ductility by 12,41% until 47,14%.

Keywords: strengthening, jacketing method, circular reinforced concrete columns, GFRP, axial capacity, axial ductility.

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Teknik perkuatan struktur, khususnya kolom beton bertulang, telah banyak dilaporkan dalam literatur, antara lain dengan menambah dimensi kolom dengan menggunakan campuran beton baru, beton pracetak atau baja, pemasangan *wire mesh reinforcement*, jacketing dengan beton atau baja serta jacketing dengan FRP. Penambahan dimensi kolom tentu akan menambah kapasitas dukung kolom, namun berat sendiri struktur juga akan bertambah besar. Hal ini tidak baik terhadap perilaku dinamis struktur.

Perkuatan kolom dengan metode jacketing menggunakan material komposit *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan kolom. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kawashiwa et.al (1997), Mirmiran dan Shahawy (1997), dibuktikan metode jacketing menggunakan FRP cukup efektif meningkatkan kapasitas aksial kolom. Jenis serat yang umum dipakai dalam FRP adalah serat gelas, karbon dan aramid.

Efektivitas perkuatan dengan metode jacketing selain ditentukan oleh kekuatan material FRP yang dipakai, juga dipengaruhi oleh kekuatan rekatan pada daerah sambungan (*overlapping zone*). Penelitian ini meninjau pengaruh perkuatan kolom bulat beton bertulang dengan metode jacketing menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) dengan panjang sambungan (*overlapping*) yang bervariasi terhadap perilaku runtuh, daya dukung aksial dan daktilitas aksial kolom.

Manfaat

Beberapa penelitian penggunaan lapis GFRP sebagai perkuatan komponen struktur terutama kolom telah banyak dilakukan dan menunjukkan hasil yang baik. Sebagian besar penelitian menggunakan GFRP dengan arah yang unidirection. Penggunaan serat dengan tipe woven roving belum banyak dilakukan pada

bangunan sipil, sementara keberadaan tipe ini banyak dijumpai dilapangan. Oleh karena itu masih perlu dilakukan penelitian

Landasan Teori

Beton yang dikekang lateral mengalami kondisi tegangan tiga arah (*triaxial stress*). Kuat tekan beton yang didapat dari pengujian silinder yang diberi tekanan lateral berupa benda cair mengalami peningkatan dibandingkan dengan kuat tekan silinder dengan pembebanan uniaksial (MacGregor, 2000). Untuk beton normal, hubungan antara kedua kuat tekan silinder beton dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$f'_{cc} = f'_c + 4,1f_l \quad (1)$$

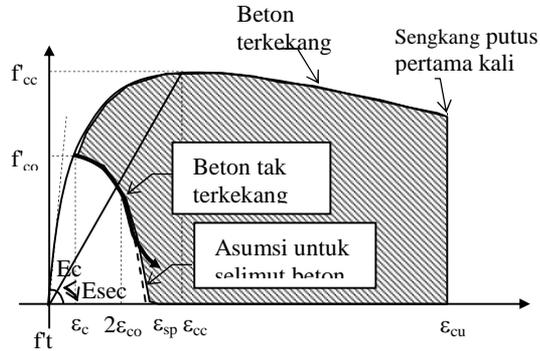
sedangkan pengaruh dari pengekangan terhadap beton ringan dan beton mutu tinggi tidak terlalu tinggi (Park and Paulay, 1975; MacGregor, 1997) dan dapat dinyatakan :

$$f'_{cc} = f'_c + 2,0f_l \quad (2)$$

Dimana f'_{cc} adalah kuat tekan beton terkekang; f'_c adalah kuat tekan beton uniaksial; dan f_l adalah tegangan lateral benda cair dengan nilai konstan.

Daktilitas Aksial Beton Terkekang

Daktilitas merupakan ukuran suatu komponen struktur untuk mampu berdeformasi (pasca-elastik) tanpa kehilangan kekuatan yang cukup besar. Razvi dan Saatcioglu (1989) mengusulkan daktilitas aksial kolom yang dibebani sentris dapat dihitung berdasarkan rasio regangan aksial pada tegangan 85 % tegangan maksimum setelah melewati beban puncak dengan regangan aksial pada saat tegangan puncak maksimum dicapai ($85/1$). Perilaku daktail dari kolom dengan beban aksial sentris dapat juga dilihat dari diagram hubungan antara tegangan dengan regangan yang terjadi seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model tegangan-regangan beton terkekang dengan pembebanan statik (sumber: Mander et.al.,1984)

MATERI DAN METODE

Kuat Tekan Beton (f’c)

Campuran beton dibuat berdasarkan rancangan campuran menurut SNI-2002. Kuat tekan rata-rata rencana adalah 20 MPa. Pemeriksaan terhadap material agregat halus dan kasar didapat hasil seperti pada Tabel 1. Berdasarkan karakteristik material penyusunnya didapat perbandingan semen:pasir:kerikil adalah 1:2:3. Pengujian tekan beton pada umur 28 hari didapatkan kuat tekan rata-rata rencana sebesar 14,56 MPa.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat (halus dan kasar)

No.	Keterangan	Satuan	Agregat halus (Pasir)	Agregat kasar (Kerikil)
1	Berat jenis	Kg/ltr	2,538	1,855
2	Penyerapan air	%	3,627	2,74
3	Modulus kehalusan	-	2,540	7,065
4	Berat satuan	Kg/ltr	1,582	1,456
5	Kadar air	%	3,541	3,093
6	Kadar lumpur	%	2,889	-

Baja tulangan

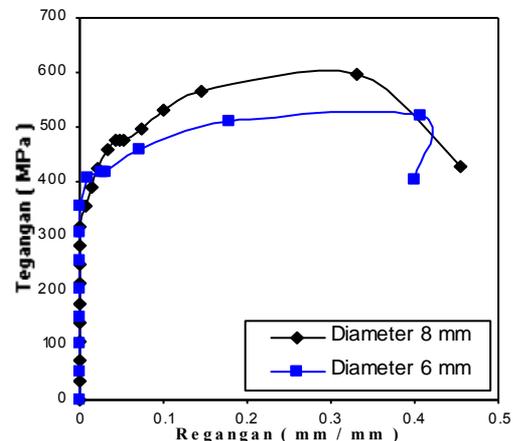
Karakteristik baja tulangan yang dipergunakan dalam penelitian ini didapat berdasarkan pengujian tarik di laboratorium untuk baja tulangan Ø 7 mm dan Ø 5 mm diperoleh hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian tarik baja tulangan

No.	Keterangan	Baja Ø 7 mm	Baja Ø 5 mm
1	Tegangan leleh baja (f _y)	474,20 MPa	417,80 MPa
2	Tegangan tarik maksimum (f _{su})	598,00 MPa	519,71 MPa
3	Tegangan putus baja (f _{sp})	428,40 MPa	402,50 MPa
4	f _{y,actual} /f _{y, spec}	1,98	1,74
5	f _{su} /f _y	1,26	1,25

Tabel 2 menunjukkan bahwa tegangan leleh baja hampir 2 kali tegangan leleh spesifikasi pabrik untuk baja polos U₂₄ (f_y = 240 MPa). Persyaratan yang ditentukan dalam SNI-2002 untuk baja tulangan pada struktur tahan gempa dimana rasio antara kuat leleh baja hasil pengujian laboratorium dan kuat leleh yang ditentukan pabrik (f_{y,actual}/f_{y,spec}) sebesar 1,30 sampai 1,35 tidak dapat dipenuhi. Kondisi ini memiliki implikasi yang sangat besar dalam menentukan kapasitas momen suatu penampang dan pengaruhnya terhadap gaya geser yang bekerja.

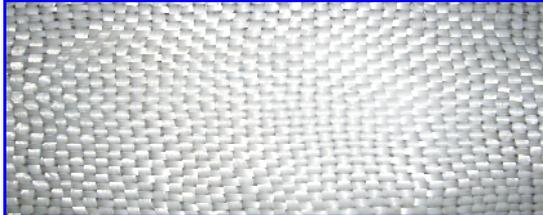
Namun persyaratan lain dari SNI-2002 untuk baja tulangan dimana baja tulangan tersebut di atas memiliki kemampuan elastoplastis yang sesuai dengan persyaratan (f_{su}/f_y > 1,25). Diagram tegangan-regangan baja hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram tegangan regangan baja tulangan

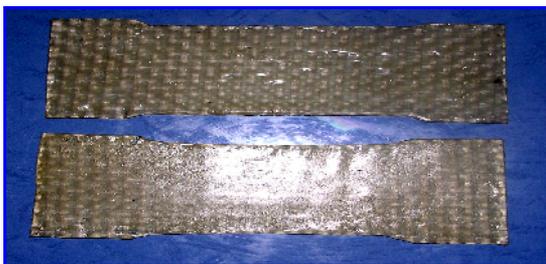
Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP)

FRP merupakan material komposit antara serat dan polymer. Dalam penelitian ini serat glass yang digunakan berupa lembaran yang telah dianyam yang termasuk tipe *woven roving*. Sedangkan perekat epoxy didapat dari produk komersial yang banyak beredar dipasaran. Serat gelas yang belum digabungkan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Serat gelas tipe woven roving sebelum digabungkan

Pengujian tarik di laboratorium dilakukan setelah kedua material tersebut digabungkan sehingga membentuk material komposit seperti terlihat pada Gambar 4, specimen pengujian tarik GFRP dibuat mengikuti bentuk pengujian tarik baja profil (*coupon test*). Hasil uji tarik diketahui tegangan tarik ultimit (f_{tu}) dan tegangan rekatan ultimit (f_{bu}) GFRP adalah berturut-turut sebesar 63,7 MPa dan 12,5 MPa.



Gambar 4. Serat gelas dan perekat epoxy setelah digabungkan

SET-UP PENGUJIAN

Rancangan Benda Uji

Benda uji yang digunakan berupa silinder beton bertulang ukuran 150 x 300 mm dengan jumlah tulangan longitudinal 4Ø7 mm dan sengkang Ø5-55 mm, seperti terlihat pada Gambar 5. Jumlah tulangan

longitudinal ini ditentukan dengan memperhitungkan kapasitas alat uji yang akan digunakan dengan sengkang bulat sejarak $d/2$, dimana d didapat dengan mengambil penutup beton bersih sebesar 20 mm. Panjang overlapping sengkang ini mengikuti ketentuan dalam SNI-2002.

Pengecoran benda uji dilakukan secara bertahap setiap 3 buah benda uji mengingat kapasitas alat pencampur (*concrete mixer*) terbatas. Untuk mendapatkan campuran beton yang konsisten, terutama mengenai gradasi agregatnya, maka dilakukan pengaturan kandungan diameter agregat yang sama untuk setiap pencampuran.

Perawatan benda uji dengan *moist curing* selama 7 hari dilakukan setelah cetakan dibuka. Perawatan ini dilakukan dengan menutupi benda uji dengan karung goni basah dan dibungkus dengan plastik. Setelah masa perawatan, benda uji disimpan pada tempat yang aman dalam kondisi ruangan sampai pemasangan FRP siap dilakukan pada umur 14 hari.



Gambar 5. Konfigurasi tulangan

Panjang Overlapping GFRP

Panjang overlapping GFRP dihitung berdasarkan tegangan tarik ultimit GFRP (f_{tu}) dan tegangan rekatan ultimit GFRP (f_{bu}). Panjang sambungan (overlapping) minimal yang diperlukan satu lapis GFRP dapat bekerja maksimal yaitu tercapainya f_{tu} dihitung berdasarkan persamaan keseimbangan antara gaya yang mampu dipikul oleh serat (F_t) dan gaya yang dipikul oleh overlapping (F_b):

$$F_b = F_t$$

$$A_b \times \tau_b = A_f \times f_{fu}, \text{ dimana:}$$

$$A_b = \text{Luas permukaan overlapping}$$

$$\tau_b = 12,5 \text{ MPa}$$

$$A_f = \text{Luas fiber}$$

$$f_{fu} = 63,7 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} A_b &= (A_f \times f_{fu}) / \tau_b \\ &= ((280 \times 1,5) \times 63,7) / 12,5 \\ &= 2140,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Bila lebar overlapping dinyatakan dengan a , maka:

$$\begin{aligned} a &= A_b / t \\ &= 2140,32 / 280 = 7,644 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Panjang sambungan (overlapping) minimal untuk mendukung tercapainya kekuatan serat adalah 8 mm.

Variasi Benda Uji

Keefektifan penggunaan GFRP sebagai *eksternal reinforcement* pada kolom ditentukan salah satunya oleh kekuatan overlapping sambungannya. Variasi benda uji yang digunakan terletak pada variasi panjang overlappingnya. Adapun variasi ini didapat dari panjang overlapping minimal hasil perhitungan untuk satu lapis GFRP. Panjang overlapping ini kemudian ditingkatkan sebesar 50%, 100%, 150% dan 200% sehingga diperoleh panjang overlapping sambungan berturut-turut sebesar 12 mm, 16 mm, 20 mm, 24 mm. Rangkuman semua benda uji ditunjukkan pada Tabel 3.

Prosedur Pemasangan GFRP

Langkah kerja pemasangan lapis GFRP dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Meratakan permukaan beton yang akan dilapisi dengan menggunakan gerinda.
2. Setelah permukaan beton rata, lalu dibersihkan dengan menggunakan amplas dan sikat kawat untuk menghilangkan butiran-butiran lepas yang masih tersisa pada permukaan beton.
3. Pencampuran resin dan *hardener* dengan perbandingan 1 : 1
4. Melapisi permukaan beton dengan resin epoxy dengan menggunakan kuas

5. Pemasangan serat gelas dengan panjang sambungan (overlapping) yang sudah ditentukan, kemudian dijenuhkan dengan menggunakan roller .
6. Melapisi resin epoxy untuk melindungi serat gelas, kemudian dikeringkan

Tabel 3. Variasi pemasangan lapis GFRP pada benda uji

Kode Benda Uji	Variasi Perlakuan benda uji	Jumlah
A	Tanpa tulangan, tanpa lapis GFRP	3
B	Dengan tulangan, tanpa lapis GFRP	3
C	Dengan tulangan, 1 lapis GFRP panjang overlapping 100%	3
D	Dengan tulangan, 1 lapis GFRP panjang overlapping 150 %	3
E	Dengan tulangan, 1 lapis GFRP panjang overlapping 200 %	3
F	Dengan tulangan, 1 lapis GFRP panjang overlapping 250 %	3
G	Dengan tulangan, 1 lapis GFRP panjang overlapping 300 %	3
TOTAL		21

Pengujian dan Peralatan

Pengujian dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari dengan menggunakan mesin desak kapasitas 2000 kN. Untuk mengukur perpindahan longitudinal benda uji pada saat pengujian, dipasang 2 buah *dial gauge*. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan peningkatan sebesar 10 kN sampai benda uji mengalami keruntuhan. Perpindahan yang terjadi dicatat untuk setiap peningkatan beban 10 kN sampai benda uji hancur. Set-up pengujian benda uji ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Set-up pengujian benda uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Keruntuhan Benda Uji

Benda uji diperhitungkan telah mengalami keruntuhan pada saat pengujian setelah beban maksimum dicapai dan tidak mengalami peningkatan kapasitas beban lagi. Hal-hal yang menyebabkan keruntuhan diamati dan dicatat selama proses pengujian terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Model keruntuhan benda uji

No	Kode Benda Uji	Panjang Sambungan (mm)	Model Keruntuhan
1	A1	-	splitting
2	A2	-	splitting
3	A3	-	splitting
4	B1	-	tekan
5	B2	-	tekan
6	B3	-	tekan
7	C1	8	geser overlap
8	C2	8	geser overlap
9	C3	8	geser overlap
10	D1	12	geser overlap
11	D2	12	geser overlap
12	D3	12	GFRP putus
13	E1	16	GFRP putus
14	E2	16	GFRP putus
15	E3	16	GFRP putus
16	F1	20	GFRP putus
17	F2	20	GFRP putus
18	F3	20	GFRP putus
19	G1	24	GFRP putus
20	G2	24	GFRP putus
21	G3	24	GFRP putus

Keruntuhan benda uji tanpa tulangan dan tanpa lapis GFRP (Tipe A) diawali dengan terjadinya retak halus pada

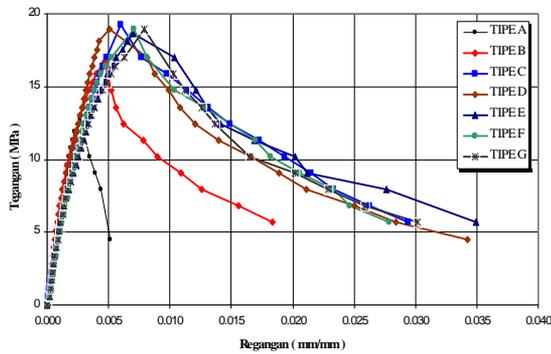
permukaan benda uji. Retak ini bertambah panjang dan lebar ketika beban ditingkatkan. Setelah mencapai beban puncak, keruntuhan terjadi secara cepat. Model keruntuhan benda uji tanpa tulangan dan GFRP (tipe A) dikategorikan sebagai keruntuhan *splitting*, dimana pola retak sejajar dengan sumbu longitudinal benda uji. Benda uji ini sama seperti benda uji untuk pengujian kuat tekan silinder beton.

Keruntuhan benda uji dengan tulangan tanpa lapis GFRP (tipe B) ditandai dengan lepasnya selimut beton ketika beban mendekati beban maksimum, dan setelah melewati beban maksimum benda uji masih mampu memberikan regangan yang cukup besar sampai akhirnya terjadi tekuk lokal pada tulangan longitudinal. Perilaku keruntuhan ini hamper sama seperti kolom dengan pembebanan uniaksial.

Benda uji dengan penambahan satu lapis GFRP, keruntuhan terjadi setelah lapis GFRP mengalami kegagalan. Kegagalan lapis GFRP ditentukan oleh dua kondisi, yaitu gagal geser pada sambungan dan putus di luar sambungan. GFRP yang dipasang dengan sambungan 8 mm dan 12 mm mengalami gagal geser pada sambungan, sedangkan kegagalan GFRP yang dipasang dengan sambungan 16 mm, 20 mm dan 24 mm disebabkan putusnya GFRP di luar sambungan. Kondisi ini menunjukkan bahwa untuk mendapatkan kondisi dimana keruntuhan kolom dengan 1 (satu) lapis GFRP tipe woven roving sebagai perkuatan kolom yang menerima beban uni-aksial, panjang overlapping diperlukan minimal 200% dari panjang overlapping hasil perhitungan dengan prinsip keseimbangan gaya.

Hubungan Tegangan – Regangan

Diagram tegangan-regangan untuk semua benda uji dengan penambahan lapis GFRP diplot bersama-sama dengan benda uji tanpa penambahan lapis GFRP seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan tegangan – regangan rata-rata setiap benda uji

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa adanya tulangan transversal dan longitudinal (Tipe B) meningkatkan tegangan tekan aksial. Peningkatan ini disamping kontribusi dari tulangan longitudinal, juga kontribusi tegangan kekang dari tulangan transversal. Pengaruh dari tegangan kekang ini lebih jelas terlihat pada benda uji dengan penambahan lapis GFRP (Tipe C, D, E, F dan G). Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh MacGregor (1997) yang menyatakan kekuatan dan daktilitas beton dengan pembebanan triaksial tekan (pengekangan) lebih besar daripada dengan pembebanan uniaksial tekan.

Regangan pada saat dicapainya tegangan maksimum untuk benda uji dengan tulangan, baik dengan maupun tanpa penambahan lapis GFRP berkisar antara 0,005 sampai dengan 0,0075. Regangan ini berkisar antara 2-3 kali regangan silinder beton ($\pm 0,0025$).

Secara umum kurva σ - ϵ seperti pada Gambar 7 dapat dibedakan atas bagian ascending dan descending branch. Sebelum retak internal mengalami perubahan akibat beban yang bekerja, kurva masih merupakan garis lurus. Dengan meningkatnya beban, retak-retak internal bertambah dan juga terjadi penggabungan antara satu retak dengan retak lainnya. Ini dapat dilihat dari perilaku nonlinier bagian kurva ascending branch. Efek pengekangan baru akan bekerja setelah terjadinya perubahan volume pada beton. Tingkat daktilitas benda uji dapat dilihat dari

bagian descending branch dari kurva. Semakin landai bagian ini, maka semakin daktail keruntuhannya. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa penambahan lapis GFRP menghasilkan kurva descending branch yang lebih landai dan memiliki keruntuhan yang lebih daktail.

Dari Gambar 7 juga dapat diamati, memperpanjang sambungan minimal hasil perhitungan tidak mempengaruhi peningkatan kekuatan benda uji, seperti yang ditunjukkan oleh kurva tegangan-regangan benda uji tipe C sampai dengan tipe G. Dalam hal ini tegangan maksimum yang dicapai hampir sama, yaitu sekitar 18 MPa. Hal ini menunjukkan panjang sambungan minimal hasil perhitungan berdasarkan kuat tarik ultimit dan kuat rekatan GFRP bekerja cukup baik.

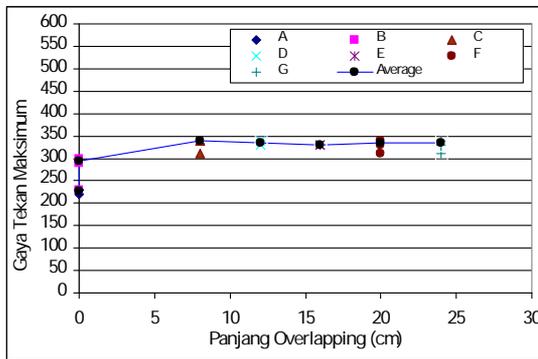
Daya Dukung Aksial Maksimum

Daya dukung aksial maksimum benda uji merupakan gaya maksimum yang mampu dipikul benda uji sebelum mengalami keruntuhan. Tabel 5 menunjukkan hasil gaya maksimum rata-rata tiga buah benda uji dengan berbagai panjang overlapping GFRP. Kecenderungan hubungan antara panjang overlapping dengan kapasitas maksimum ditampilkan pada Gambar 8. Tabel 5 dan Gambar 8 menunjukkan efektivitas dari GFRP wrapping sebagai perkuatan kolom tergantung dari kekuatan material fiber dan panjang overlapping pada sambungannya.

Dari Tabel 5 dapat diamati penambahan satu lapis GFRP dengan panjang sambungan yang bervariasi pada benda uji tipe C sampai dengan tipe G mampu meningkatkan daya dukung aksial benda uji sebesar 11,86 % sampai dengan 15,25 % jika dibandingkan dengan benda uji tipe B. Penggunaan panjang overlapping yang berlebihan ($\pm 250\%$ dari hasil perhitungan) tidak memberikan peningkatan daya dukung aksial kolom, karena keruntuhan GFRP akan ditentukan hancurnya serat diluar overlapping. Hal ini ditunjukkan oleh benda uji tipe C sampai G.

Tabel 5. Daya dukung aksial setiap tipe benda uji

Type Overlap (cm)	Rata-rata Daya Dukung Aksial (kN)	Peningkatan Daya Dukung Aksial (kN)	Persentase Peningkatan Daya Dukung Aksial (%)
A (0)	226,67	-	-
B (0)	295,00	0	0
C (8 cm)	340,00	45	15.25
D (12 cm)	335,00	40	13.56
E (16 cm)	330,00	35	11.86
F (20 cm)	335,00	40	13,56
G (24 cm)	335,00	40	13,56



Gambar 8. Hubungan antara panjang overlapping dan gaya tekan maksimum.

Daktilitas Aksial Kolom

Daktilitas benda uji yang dibebani aksial dihitung berdasarkan rasio antara regangan pada saat tegangan mengalami penurunan 15 % dari tegangan maksimum (ϵ_{85}) dengan regangan pada saat tegangan puncak (ϵ_1). Daktilitas masing-masing benda uji akibat beban aksial ditampilkan pada Tabel 6.

Persentase peningkatan daktilitas benda uji dihitung dengan menggunakan nilai rata-rata daktilitas benda uji dengan tulangan tanpa lapis GFRP adalah sebagai berikut :

- Benda uji dengan tulangan tanpa penambahan lapis GFRP (B): 0 %
- Benda uji dengan tulangan dan lapis GFRP sambungan 8 mm (C): 30,82 %
- Benda uji dengan tulangan dan lapis GFRP sambungan 12 mm (D): 47,14 %

- Benda uji dengan tulangan dan lapis GFRP sambungan 16 mm (E): 39,76 %
- Benda uji dengan tulangan dan lapis GFRP sambungan 20 mm (F): 12,41 %
- Benda uji dengan tulangan dan lapis GFRP sambungan 24 mm (G): 15,45 %

Hasil pengujian menunjukkan penambahan satu lapis GFRP dengan panjang sambungan yang bervariasi pada benda uji dengan tulangan mampu meningkatkan daktilitas benda uji sekitar 12,41 % hingga 47,14%. Dari tipe keruntuhan yang terjadi dapat juga diketahui keruntuhan yang diawali dengan hancurnya serat GFRP lebih getas dibandingkan dengan keruntuhan pada overlapping seperti ditunjukkan oleh benda uji tipe F dan G.

Tabel 6. Daktilitas benda uji akibat beban aksial

Benda Uji	ϵ_1	ϵ_{85}	$\epsilon_{85} / \epsilon_1$	$\epsilon_{85} / \epsilon_1$ rata-rata
A1	0.00241	0.00260	1.079	1.061
A2	0.00296	0.00300	1.014	
A3	0.00266	0.00290	1.090	
B1	0.00474	0.00556	1.173	1.152
B2	0.00461	0.00521	1.130	
C1	0.00678	0.00859	1.267	1.478
C3	0.00513	0.00866	1.688	
D1	0.00554	0.00900	1.625	1.695
D3	0.00453	0.00800	1.766	
E1	0.00691	0.01144	1.656	1.610
E2	0.00706	0.01105	1.565	
F1	0.00677	0.00870	1.285	1.295
F2	0.00706	0.00918	1.300	
G2	0.00790	0.01200	1.519	1.330
G3	0.00789	0.00900	1.141	

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Kegagalan perkuatan dengan satu lapis Glass Fiber Reinforced Polymer pada

kolom bulat beton bertulang dengan metode jacketing/wrapping terjadi dalam dua kondisi, yaitu gagal geser pada sambungan dan putus di luar sambungan.

2. Memperpanjang overlapping hasil perhitungan tidak begitu mempengaruhi peningkatan kekuatan kolom bulat beton bertulang yang diberi perkuatan dengan satu lapis GFRP.
3. Beban aksial maksimum yang mampu dipikul oleh kolom dengan satu lapis GFRP baik yang mengalami gagal geser pada sambungan maupun putus di luar sambungan hampir sama yaitu ± 330 kN.
4. Perkuatan dengan metode jacketing menggunakan satu lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) dengan panjang sambungan (overlapping) yang bervariasi mampu meningkatkan daya dukung aksial kolom bulat beton bertulang sebesar 11,86 % sampai dengan 15,25 % dan dapat meningkatkan daktilitas aksial kolom bulat beton bertulang sebesar 12,41% hingga 47,14%.

Saran

Dari hasil penelitian ini dapat diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Untuk menentukan panjang sambungan (overlapping) antar lapis GFRP yang digunakan sebagai perkuatan kolom bulat beton bertulang dengan metode jacketing dapat dilakukan berdasarkan kuat tarik GFRP dan kuat rekatan antar lapis GFRP.
2. Dalam penelitian selanjutnya, jumlah benda uji (sampel) sebaiknya dibuat lebih banyak untuk menambah ketelitian data.
3. Perlu diadakan penelitian lanjutan tentang perkuatan kolom beton bertulang dengan metode jacketing menggunakan bahan Fiber Reinforced Polymer (FRP) pada bentuk penampang kolom yang berbeda (persegi) dengan menggunakan jenis serat seperti gelas, karbon dan aramid .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap Teknisi Laboratorium Struktur dan Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, dan semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Artha, K.J. 2004. *Pengaruh Luas Bidang Rekatan Lapis Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Terhadap Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang*, Tugas Akhir Program S1, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Udayana, Denpasar, Bali.
- Binawaty, V. 2004. *Pengaruh Rasio Volumetrik Sengkang dan Penutup Beton Terhadap Daya Dukung Aksial Tekan dan Daktilitas Kolom Bulat Beton Bertulang*, Tugas Akhir Program S1, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Udayana, Bali.
- Kawashima, K., Hosotani, M., and Hoshikuma, J. 1997. *A Model for Confinement Effect for Concrete Cylinders Confined by Carbon fiber Sheets*, NCEER - INCEDE Workshop on Earthquake Engineering Frontiers in Transportation Facilities, NCEER, State University of New York, Buffalo, N.Y.
- MacGregor, J.G. 1997. *Reinforced Concrete*, Third Edition, Prentice-Hall International, 939 pp.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R. 1998. *Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete*, ASCE Journal of Structural Engineering, vol.114, No. 8, August, pp. 1084-1823.
- Mestroni, S., Botempi, A., Gottardo, R., and Arduini, M. 2000. *Fiber Reinforced Polymers in Underwater and Splash-Zone Applications*, Advanced Composite Material in Bridges and

- Structures 3rd International Conference, pp. 45 – 52.
- Mirmiran, A., and Shahawy, M. 1997. *Behavior of Concrete Columns Confined by Fiber Composites*, Journal of Structural Engineering, May, pp. 583-590.
- Razvi, S.R and Saatcioglu, M. 1989. *Behavior of Reinforced Concrete Columns Confined with Welded Wire Fabric and/ or Rectilinear Ties*, University of Ottawa, December, 65 pp.
- Sudarsana, I K., Salain, I M.A.K., Binawaty, V. 2004. *Uniaxial Compressive Strength and Ductility of Confined R/C Circular Column*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Vol. 8 No. 15, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Udayana, Januari.