

PENGARUH MODIFIKASI KOLOM PERSEGI MENJADI BULAT MENGUNAKAN METODE *CONCRETE JACKETING* DENGAN KAWAT KASA ATAU *FIBERGLASS* TERHADAP KAPASITAS AKSIAL KOLOM

Ida Bagus Rai Widiarsa, I Ketut Sudarsana, dan David Pramono

Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana Denpasar

Email: david.pramono22@gmail.com

ABSTRAK

Kegagalan pada kolom dapat menyebabkan keruntuhan suatu struktur bangunan. Salah satu cara meningkatkan kemampuan kolom menahan beban adalah dengan perkuatan. Material beton, kawat kasa, dan *fiberglass* merupakan material yang mudah dikerjakan dan tersedia dipasaran. Penelitian ini dibuat untuk mengetahui pengaruh modifikasi bentuk penampang kolom beton persegi menjadi bulat dengan tambahan kekangan kawat kasa atau *fiberglass* terhadap kapasitas aksial kolom. Pada penelitian ini dibuat 18 buah benda uji kolom yang dibagi menjadi 6 kelompok. Benda uji berukuran 76 mm x 76 mm x 300 mm yang terbuat dari beton polos disebut KP. Kolom KP diperkuat dengan *concrete jacketing* menjadi berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm disebut kolom KB. Selanjutnya kolom KBT merupakan kolom KB yang diberikan tambahan perlakuan *treatment sandblasting* pada permukaan *core* kolomnya. Kelompok lainnya adalah kolom KK yang merupakan kolom KBT dengan tambahan 3 lapis kawat kasa sebagai pengekang internal pada *jacketing*. Kolom KF merupakan kolom KBT dengan tambahan 3 lapis *fiberglass* yang dilapisi resin sebagai pengekang internal pada *jacketing*. Kelompok keenam merupakan kolom KFP dengan tambahan pin dari serat *fiberglass* terpasang kearah luar *jacketing*. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan kapasitas kolom akibat perlakuan *sandblasting* sebesar 10%. Penggunaan kawat kasa atau *fiberglass* sebagai pengekang memberikan peningkatan kapasitas pada kolom KK, KF, KFP masing-masing sebesar 21%, 29% dan 30%. Keruntuhan kolom pada kolom KP, KB, KBT, KF dan KFP adalah non-duktail sedangkan kolom KK menghasilkan perilaku keruntuhan yang lebih duktail dibandingkan dengan benda uji kolom lainnya.

Kata kunci: *kapasitas aksial, concrete jacketing, kawat kasa, fiberglass, pin*

EFFECT OF MODIFICATION OF SQUARE COLUMNS TO CIRCULAR COLUMNS BY CONCRETE JACKETING METHOD WITH WIRE MESH OR FIBERGLASS ON AXIAL CAPACITY OF THE COLUMNS

ABSTRACT

Failure of column causes collapse of a building. One method to restore the ability of the column in resisting loads is by strengthening the column. Concrete, wire mesh and fiberglass are materials that are available on the market. This research was done to determine the effect of modification of square concrete columns into circular columns with the addition of wire mesh or fiberglass on the axial capacity of the columns. In this study 18 column specimens were made which were divided into 6 groups. The specimen dimension was 76 mm x 76 mm x 300 mm made of plain concrete, called column KP. Then column KP was reinforced with concrete jacketing, called column KB which was 150 mm in diameter and 300 mm high. Column KBT was column KB with additional sandblasting treatment on the core column surface. Column KK was column KBT with 3 layers of wire-mesh as an internal restraint on jacketing. Column KF was column KBT with 3 layers of fiberglass, as an internal restraint on jacketing as well. The sixth group was column KFP with additional pins of fiberglass attached to the outside of the jacketing. The results showed that a 10% increase in column capacity due to sandblasting treatment was obtained. The use of wire-mesh or fiberglass resulted in an increase of axial capacity in the columns KK, KF, KFP by 21%, 29% and 30%, respectively. The collapse in columns KP, KB, KBT, KF and KFP was non-ductile, meanwhile column KK had more ductile failure behavior than the other columns.

Keywords: *axial capacity, concrete jacketing, wire-mesh, fiberglass, pin*

1 PENDAHULUAN

Kolom merupakan komponen struktur yang menahan beban aksial tekan dan lentur. Kegagalan pada kolom menyebabkan keruntuhan total pada suatu bangunan. Desain perencanaan kolom suatu bangunan ditentukan pada besarnya gaya dalam akibat beban yang bekerja pada kolom. Pada bangunan sederhana sering ditemukan material beton dengan kuat tekan berkisar 17-18 MPa. Sementara SNI 2847:2013 mensyaratkan penggunaan mutu beton f_c' 20 MPa untuk bangunan tahan gempa. Terjadinya penambahan beban aksial akibat perubahan fungsi ruang atau perubahan standar beban gempa menuntut perlu ditingkatkannya kemampuan kolom dalam menerima beban aksial. Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan kolom tersebut adalah dengan perkuatan. Metode perkuatan kolom dapat dilakukan dengan metode *concrete jacketing* yaitu menambahkan lapis beton dengan ketebalan tertentu pada komponen struktur yang sudah berdiri.

Hadi dan Zhao (2011) melakukan penelitian penggunaan material jaring kawat *fiber glass fly mesh* (FGFM) dan galvanis *steel wire meshes* (S12.7WM) sebagai pengekang tambahan pada kolom bulat. Hasil penelitiannya menunjukkan penggunaan jaring kawat galvanis tidak memberikan pengaruh daktilitas yang signifikan. Sedangkan pada kolom yang menggunakan *fiber glass* terjadi peningkatan daktilitas pada uji beban konsentrik, tetapi terjadi penurunan yang signifikan pada kolom yang diuji beban eksentrik. Wibowo dkk. (2012) meneliti tentang perkuatan kolom persegi yang diperkuat dengan mortar (sika *grouting*) dan kawat kasa berdiameter 1,7 mm dengan jarak kawat 25 mm menjadi penampang bulat berdiameter 220 mm dengan tinggi 730 mm. Untuk perkuatan digunakan tulangan longitudinal berdiameter 12 mm dengan pengekangnya adalah kawat kasa. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban siklik serta beban tekan aksial dengan bentuk variasi berupa jumlah lapis perkuatan kawat. Hasil penelitiannya menunjukkan penambahan tulangan dan kawat kasa memberikan peningkatan kapasitas kolom serta daktilitas dalam menahan gaya lateral.

Hadi dkk. (2013) melakukan penelitian perbaikan kolom yang mengubah bentuk penampang kolom persegi dengan menambah empat segmen beton pada sisi kolom persegi menjadi kolom bulat. Keempat segmen tersebut di tempelkan dengan resin epoxy dan kemudian dibungkus dengan lapis CFRP dan dikekang dengan strap baja. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan kapasitas kolom. Pada kolom persegi yang diperbesar dimensinya menjadi penampang bulat, terjadi reduksi tegangan pada sudut penampang kolom serta meningkatkan pengaruh efektivitas kekangan kolom. Kristianto dan Yansusan (2015), melakukan penelitian perkuatan kolom menggunakan pin untuk meningkatkan daktilitas kolom beton bertulang. Penelitian dilakukan dengan memasang pin kearah dalam jacketing pada tulangan sengkang dengan sudut 90°. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan daktilitas sebesar 133% pada kolom yang menggunakan pin jika dibandingkan dengan kolom bertulangan sengkang standar. Kaontole dkk. (2015) meneliti kapasitas kolom beton bertulang yang diperkuat dengan metode *concrete jacketing*. Pengujian dilakukan dengan membuat benda uji silinder berdiameter 10 cm dengan ketinggian 35 cm dan 50 cm. Benda uji tersebut diperbesar menjadi berdiameter 15 cm. Kapasitas untuk kolom dengan tinggi 35 cm meningkat dari 184,49 KN menjadi 274,41 KN. Dan untuk kolom dengan tinggi 50 cm, kapasitasnya meningkat sebesar 64,25 KN dari nilai awal sebelum jacketing yaitu 238,25 KN.

Umumnya perkuatan *concrete jacketing* dilakukan dengan melapisi *core* kolom *existing* menggunakan beton dan menambahkan tulangan pokok dan tulangan sengkang didalam *jacketing*. Penggunaan *fiberglass* untuk perkuatan umumnya juga direncanakan sebagai pengekang eksternal. Sehingga pada penelitian ini dicoba menggunakan kawat kasa atau *fiberglass* sebagai pengekang *internal*. Pemilihan kawat kasa dan *fiberglass* dipilih karena kemudahan dalam pengerjaan dan pengadaan bahannya di lapangan. Pemilihan modifikasi kolom menjadi bentuk bulat dipilih agar meningkatkan efek pengekangan pada kolom. Untuk mengatasi kelemahan yang dapat terjadi akibat hubungan *interface* dari material *core* kolom dan *jacketing* dilakukan *surface treatment* dengan metode *sandblasting*. Selain itu pada pengekang *fiberglass* juga dilakukan penambahan pin berupa serat *fiberglass* yang dipasang kearah selimut beton atau *jacketing* terluar. Pemasangan pin dimaksudkan untuk meningkatkan rekatan pada *jacketing* terluar kolom dengan lapisan *fiberglass*.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton dan Campuran Beton

Menurut Mulyono (2005), beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*Portland cement*), agregat kasar, agregat halus, air dan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Kekuatan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat (linear) sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Metode yang digunakan untuk menentukan campuran beton adalah SNI 7656-2012.

2.2 Kapasitas Penampang Kolom

Menurut McCormac (2004), meskipun tegangan kolom dalam daerah elastis tidak dapat ditentukan secara tepat, pada kolom tidak dipermasalahkan apakah beton atau tulangan yang lebih dahulu mendekati kekuatan ultimitnya. Jika salah satu dari dua material diberikan tegangan mendekati kekuatan ultimitnya, deformasi besar

akan menyebabkan kenaikan tegangan yang lebih cepat pada material lainnya. Pada saat runtuh, kekuatan nominal kolom pendek yang dibebani aksial dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$P_n = 0,85.f'_c (A_g - A_{st}) + f_y.A_{st} \quad (3)$$

Kapasitas aksial yang dapat dipikul oleh kolom yang dibungkus lapis GFRP dihitung dengan persamaan (ACI 2008):

$$P_n = 0,85.f'_c \psi_f (A_g - A_{st}) + f_y.A_{st} \quad (4)$$

dimana : A_g = luas penampang bruto kolom

A_{st} = luas total tulangan

f'_c = kuat tekan beton

f'_{cc} = kuat tekan beton terkekang

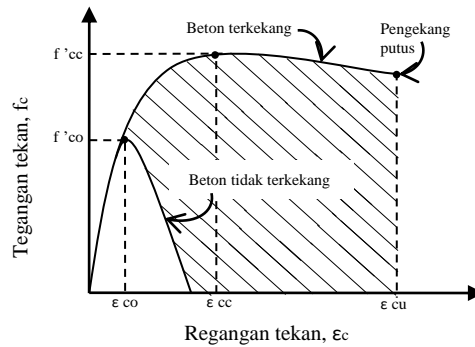
f_y = mutu baja tulangan

P_n = kapasitas nominal aksial kolom

ψ_f = faktor reduksi untuk kolom yang diselimuti fiberglass secara penuh (0,95).

2.3 Kekangan Kolom

Efek pengekanan pada kolom diperlukan agar kolom lebih daktil pada saat menerima beban ultimit. Dengan adanya efek pengekanan yang terjadi, kekuatan dan daktilitas dari suatu penampang atau struktur akan meningkat. Hal ini disebabkan adanya peningkatan tegangan dan kekuatan pada material beton yang mengalami pengekanan.



Gambar 1. Kurva tegangan dan regangan beton terkekang dan tidak terkekang (Mander 1988)

Menurut Mander (1988), kuat tekan beton terkekang dinyatakan dengan rumus berikut :

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1.f_l \quad (5)$$

dimana : f'_{cc} = kuat tekan beton terkekang

f'_{co} = adalah kuat tekan beton *uniaxial* dan

f_l = tegangan lateral pengekanan dengan nilai konstan.

Richart dkk. (1928) dalam penelitian Mander (1988) mengusulkan nilai k_1 sebesar 4,1 untuk beton mutu normal. Pengaruh pengekanan juga dapat dilihat pada kurva tegangan dan regangan yang direkomendasikan oleh Mander (1988) seperti pada Gambar 1.

Sheikh dan Uzumeri (1982) mengadopsi langkah untuk menentukan batas kekangan yang efektif pada beton. Tekanan transversal maksimum dari pengekanan baja hanya dapat diberikan secara efektif pada bagian inti beton di mana tegangan yang terkekang tersebar merata dari pengaruh kekangan bulat.

Efektivitas kekangan lateral dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$f'_{cc} = f'_{co} + k_1.f'_l \quad (6)$$

$$f'_l = k_e.f_l \quad (7)$$

$$k_e = A_e / A_{cc} \quad (8)$$

$$A_{cc} = A_c (1 - \rho_{cc}) \quad (9)$$

dimana : f'_{cc} = kuat tekan beton terkekang

f'_{co} = adalah kuat tekan beton *uniaxial* dan

f_l = tegangan lateral pengekanan dengan nilai konstan.

f'_l = tegangan lateral akibat tulangan pengekanan

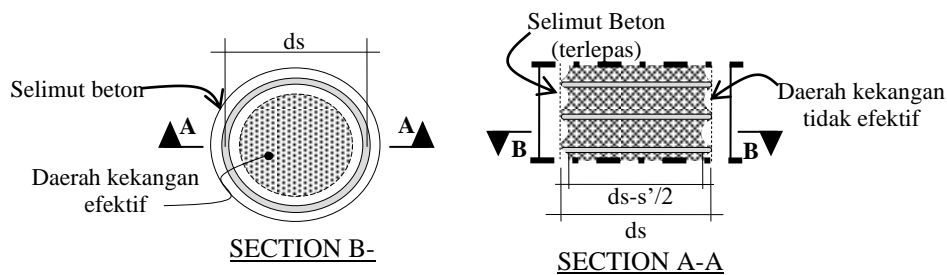
k_e = efektivitas pengekanan lateral

A_e = luas efektif inti beton terkekang

A_{cc} = luas inti beton terkekang

d_s = diameter area beton terkekang

s = jarak antar pengekanan



Gambar 2. Efektivitas kekangan untuk tulangan bulat (Mander, 1988)

Kuat tekan akibat kekangan *fiberglass* pada kolom dihitung dengan persamaan berikut Lam dan Teng (2003):

$$f'_{cc} = f'_{co} + 3,3 f'_{la} \quad (10)$$

$$f'_{la} = k_e (2f_{fp} \cdot t / d) \quad (11)$$

dimana : f'_{cc} = kuat tekan beton terkekang
 f'_{co} = adalah kuat tekan beton *uniaxial* dan
 f_{la} = tegangan efektif pengekang
 k_e = efektivitas pengekang lateral
 f_{fp} = tegangan tarik *fiberglass*
 t = tebal pengekang *fiberglass*
 d_s = diameter area beton terkekang

Harries dan Carey (2003) dalam penelitian Lam dan Teng (2003) menyebutkan bahwa nilai efektivitas kekangan lateral *fiberglass* yang menyelimuti seluruh permukaan kolom bulat adalah 0,586.

2.4 Concrete jacketing

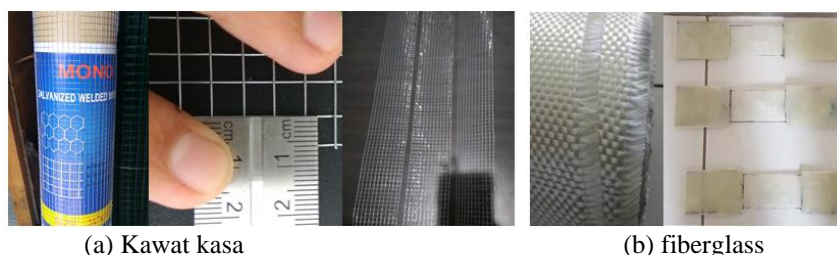
Konsep dasar metode *concrete jacketing* adalah pembesaran dimensi dan penambahan tulangan pada elemen struktur untuk meningkatkan kinerja elemen tersebut. Pembesaran tersebut dilakukan dengan *Jacketing*. *Jacketing* dari bahan beton telah terbukti sebagai solusi perkuatan yang efektif untuk meningkatkan kinerja seismik kolom. Teknik perkuatan struktur ini digunakan pada kolom bangunan yang bertujuan untuk memperbesar penampang kolom, sehingga kekuatan geser beton menjadi meningkat. Keuntungan utama dari metode ini adalah memberikan peningkatan dan pertambahan batas dari kekuatan dan daktilitas beton pada kolom aslinya. *Concrete jacketing* beton juga dapat mengurangi kegagalan akibat geser langsung (*direct shear*) dan memiliki kemampuan untuk menahan beban.

2.5 Daktilitas Kolom

Menurut Sudarsana (2007), daktilitas aksial kolom dapat dihitung berdasarkan rasio regangan aksial pada tegangan 85% tegangan maksimum setelah melewati beban puncak dengan regangan aksial pada saat tegangan puncak maksimum dicapai (ϵ_{85}/ϵ_1).

3 METODE

Penelitian tentang modifikasi perkuatan kolom direncanakan menggunakan metode *concrete jacketing*. Bahan campuran beton dipersiapkan untuk memenuhi kondisi tertentu. Bahan campuran yang digunakan adalah semen Tiga Roda (40 kg), agregat kasar ukuran butir maksimum 12,5 mm dari Karangasem, pasir dari Karangasem, kawat kasa diameter 0,38 mm jarak antar kawat 6 mm dan *fiberglass* (woving roven 200 + resin epoxy). Material kawat dan benda uji fiber yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. Untuk kolom *core* persegi digunakan rencana kuat tekan 18 MPa dengan perbandingan berat semen, air, agregat kasar, agregat halus adalah 1:0,56:2,15:2,56. Untuk lapis kolom modifikasi digunakan rencana kuat tekan 22 MPa dengan perbandingan berat semen, air, agregat kasar, agregat halus adalah 1:0,53:2,00:2,28.

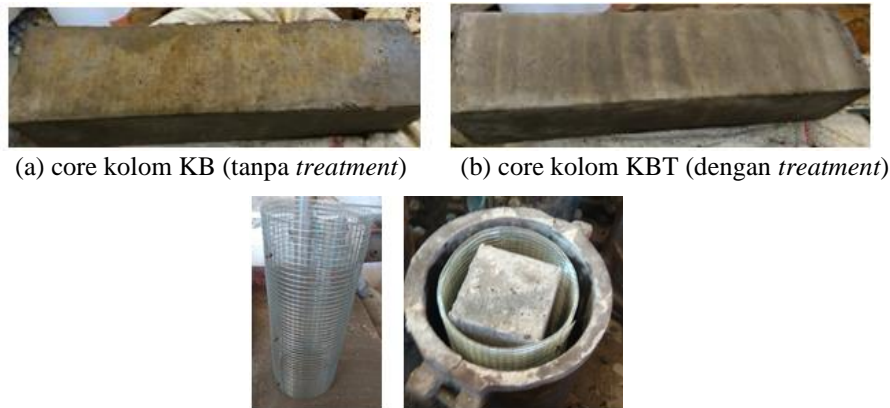


(a) Kawat kasa

(b) fiberglass

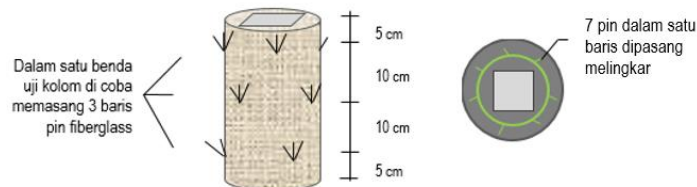
Gambar 3. Material pengekang kolom (a) kawat kasa dan (b) *fiberglass*

Penelitian ini dilakukan dengan memodifikasi penampang kolom persegi (76 mm x 76 mm x 300 mm) menjadi penampang bulat berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Terdapat enam kelompok benda uji kolom seperti yang tertera pada Tabel 1. Kelompok pertama berupa kolom yang dicor berbentuk persegi tanpa menggunakan perkuatan ataupun pembesian yang disebut KP (kolom persegi). Kelompok kedua (kolom KB) merupakan modifikasi kolom KP dengan metode *concrete jacketing* berpenampang bulat. Kolom KBT adalah pengembangan kolom KB yaitu dengan menambahkan *treatment sandblasting* pada permukaan *core* kolom. Kelompok keempat (kolom KK) merupakan pengembangan kolom KBT, dimana pada kelompok ini kolom persegi yang sudah dilakukan *surface treatment* dimodifikasi menjadi kolom bulat dengan metode *concrete jacketing* serta ditambahkan 3 lapis kawat kasa sebagai pengekang internal. Pengekang kawat kasa diletakkan di dalam *jacketing* modifikasi kolom. Pada *overlapping* akhir kawat dicoba menggunakan *overlapping* sepanjang 20 cm. Tegangan putus kawat kasa yang digunakan adalah 612 MPa dengan tegangan leleh 428 MPa.



Gambar 4. (a) core kolom KB (b) core kolom KBT (c) pengekang kawat kasa kolom KK

Kelompok kelima (kolom KF) merupakan pengembangan kolom KBT dengan menambahkan 3 (tiga) lapis *fiberglass* yang dilapisi resin dan bekerja sebagai pengekang beton di dalam *jacketing* modifikasi kolom. Pada bagian *overlapping* lapis *fiberglass* digunakan panjang *overlapping* sebesar 10 cm. Kelompok keenam merupakan modifikasi kolom KF yang diberi kode KFP. Dimana pada bagian pengekang *fiberglass* ditambahkan serabut *fiberglass* yang bekerja sebagai pin kearah selimut *jacketing* terluar. Perletakan pin *fiberglass* dapat dilihat seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengekang fiberglass dan penempatan pin benda uji KFP

Tabel 1. Jumlah dan Variasi benda uji kolom

Kode Benda Uji	Core Kolom	Modifikasi Kolom	Material Pengekang	Jumlah Benda Uji	Perlakuan Sandblasting
KP	Kolom persegi berukuran 76 mm x 76 mm x 300 mm	-	-	3 bh	Tidak ada
KB	Kolom persegi berukuran 76 mm x 76 mm x 300 mm	Menjadi berpenampang bulat dia.150 mm tinggi 300 mm	-	3 bh	Tidak ada
KBT	Kolom persegi berukuran 76 mm x 76 mm x 300 mm	Menjadi berpenampang bulat dia.150 mm tinggi 300 mm	-	3 bh	Ada
KK	Kolom persegi berukuran 76 mm x 76 mm x 300 mm	Menjadi berpenampang bulat dia.150 mm tinggi 300 mm	Kawat kasa 3 lapis	3 bh	Ada
KF	Kolom persegi berukuran 76 mm x 76 mm x 300 mm	Menjadi berpenampang bulat dia.150 mm tinggi 300 mm	Fiberglass 3 lapis + resin	3 bh	Ada
KFP	Kolom persegi berukuran 76 mm x 76 mm x 300 mm	Menjadi berpenampang bulat dia.150 mm tinggi 300 mm	Fiberglass 3 lapis + resin + pin	3 bh	Ada

Pada penelitian ini rencana mutu beton kolom persegi awal adalah mutu $f'c = 18$ MPa. Untuk material perkuatan digunakan rencana mutu beton 22 MPa. Untuk tindakan modifikasi dilakukan setelah *core* kolom

berumur 14 hari. Pengujian terhadap benda uji dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari atau *jacketing* terluar dari modifikasi benda uji berumur 28 hari. Setiap benda uji dirawat dan diuji untuk melihat kapasitas tekan, serta perilaku keruntuhannya. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tekan konsentris.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji kuat tekan beton silinder kolom inti dan kolom modifikasi dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai kuat tekan beton pada silinder beton *core* kolom menghasilkan nilai yang saling mendekati. Pada benda uji silinder SJC juga mengalami selisih yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan hasil uji tekan silinder SJA dan SJB. Hal tersebut terjadi karena kontrol air semen yang kurang pada saat pengecoran.

Tabel 2. Pengujian kuat tekan silinder beton

Kode Benda Uji	Beton Rencana (MPa)	Rencana Umur Benda Uji (hari)	Keterangan	Kuat Tekan rerata (MPa)
S-A	18	28	kolom persegi (KP)	17,5
S-B	18	42	Core kolom persegi (KB, KBT, KK)	17,4
S-C	18	56	Core kolom persegi (KF, KFP)	17,9
SJA	22	28	Jacketing modifikasi (KB, KBT, KK)	27,0
SJB	22	42	Modifikasi <i>jacketing core fiberglass</i> (KF, KFP)	26,8
SJC	22	28	Jacketing luar untuk pengekang <i>fiberglass</i> (KF, KFP)	24,5

Hasil pengujian kuat tekan pada benda uji kolom menunjukkan perilaku yang serupa dengan silinder. Hasil pengujian tekan kolom memiliki nilai yang beragam seperti yang terlihat pada Tabel 3. Masing-masing perlakuan pada variabel benda uji memberikan perilaku tegangan dan kapasitas beban yang berbeda.

Tabel 3 Tabel hasil uji tekan kolom

Kode Benda Uji	Keterangan	A (mm ²)	P (KN)	P _{aktual} rata-rata (KN)	Tegangan (MPa)	Rasio kapasitas tegangan terhadap			
						KP	KB	KBT	KF
KP-1	<i>core</i>	5776	100	98	17,02	0%	-	-	-
KP-2		5776	100						
KP-3		5776	95						
KB-1	<i>core + jacketing</i>	17679	280	300	16,97	-0,3%	0%	-	-
KB-2*		17679	240						
KB-3		17679	320						
KBT-1	<i>core + treatment + jacketing</i>	17679	320	330	18,67	9,6%	10%	0%	-
KBT-2		17679	340						
KBT-3		17679	330						
KK-1	<i>core + treatment + jacketing + kawat kasa</i>	17679	420	400	22,63	32,9%	-	21%	-
KK-2		17679	380						
KK-3*		17679	320						
KF-1	<i>core + treatment + jacketing + fiberglass</i>	17679	400	427	24,14	41,1%	-	29%	0%
KF-2		17679	440						
KF-3		17679	440						
KFP-1*	<i>core + treatment + jacketing + fiberglass + pin</i>	17679	380	430	24,32	42,9%	-	30%	1%
KFP-2		17679	440						
KFP-3		17679	420						

Catatan : benda uji yang diberi tanda (*) tidak disertakan dalam perhitungan P_{aktual} rata-rata.

Dari Tabel 3 dapat dilihat hasil pengujian tekan kolom KP, KB, KBT, KK, KF dan KFP menunjukkan tegangan tekan rata-rata kolom masing-masing sebesar 17,02 MPa, 16,97 MPa, 18,67 MPa, 22,63 MPa, 24,14 MPa dan 24,32 MPa. Modifikasi pada kolom KB memberikan pengaruh peningkatan beban menjadi 300 KN namun besarnya peningkatan beban yang terjadi tidak diikuti dengan adanya peningkatan tegangan pada kolom.

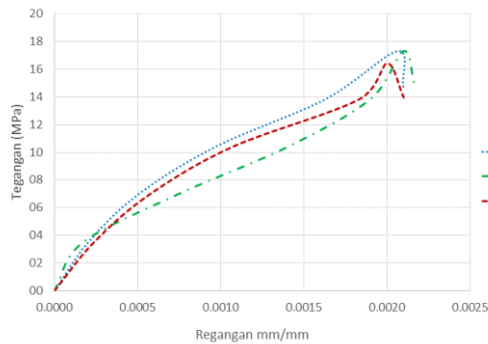
Hal ini dapat terjadi karena baik pada *core* maupun *jacketing* tidak terjadi kerjasama yang baik. Modifikasi kolom KB hanya memberikan peningkatan kapasitas beban akibat adanya penambahan luasan penampang kolom. Hasil pengujian tekan benda uji KB-2 sebesar 240 KN, nilai ini berada sangat jauh dari sampel yang lainnya. Sehingga kolom KB-2 tidak disertakan pada perhitungan P aktual rata-rata kolom KB.

Kolom KBT menunjukkan adanya peningkatan tegangan kolom sebesar 9,6% menjadi 18,67 MPa jika dibandingkan dengan kolom KP. Perlakuan *surface treatment* pada *core* kolom dapat meningkatkan kapasitas beban dan tegangan sebesar 10%. Perlakuan *treatment* pada *core* kolom meningkatkan rekatan antara *core* dan *jacketing* yang juga mempengaruhi kapasitas tegangan pada kolom.

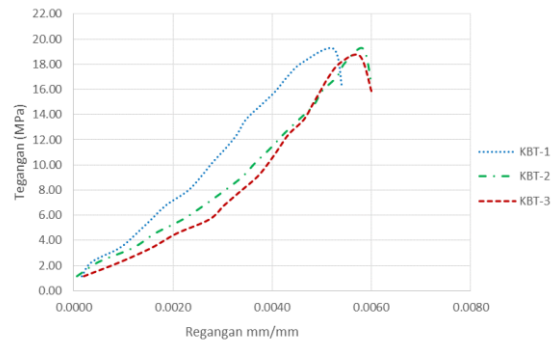
Kolom KK menunjukkan peningkatan kapasitas tegangan sebesar 5,61 MPa atau 32% terhadap *core* kolom. Penggunaan pengekang kawat kasa memberikan peningkatan tegangan sebesar 3,96 MPa atau 21% terhadap kolom KBT. Pada kolom KK-3 hasil pengujian tekan menunjukkan beban yang sangat kecil. Hal ini dapat terjadi karena terjadinya rongga pada beton. Sehingga kolom KK-3 tidak disertakan dalam menghitung nilai P aktual rata-rata. Benda uji yang dimodifikasi dengan pengekang memiliki tingkat kesulitan yang lebih tinggi dalam pengecoran *jacketing*.

Kolom KF menunjukkan peningkatan kapasitas tegangan sebesar 7,12 MPa atau 41,1% terhadap *core* kolom. Penggunaan pengekang *fiberglass* memberikan peningkatan tegangan sebesar 5,47 MPa atau 29% terhadap kolom KBT. Kolom KF menghasilkan nilai kapasitas beban rata-rata dan tegangan rata-rata yang lebih besar jika dibandingkan dengan kolom KK.

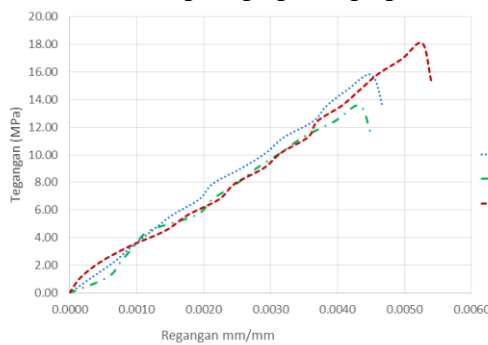
Kolom KFP menunjukkan peningkatan kapasitas tegangan sebesar 7,30 MPa atau 42,9% terhadap *core* kolom. Penggunaan pengekang *fiberglass* dan pin memberikan peningkatan tegangan sebesar 5,65 MPa atau 30% terhadap kolom KBT. Pada benda uji KFP-1 terjadi degradasi hasil pengujian kapasitas beban yang nilainya berada jauh dari sampel benda uji KFP lainnya. Sehingga pada benda uji KFP-1 tidak digunakan dalam perhitungan P aktual rata-rata kolom. Tegangan rata-rata yang ditunjukkan oleh kolom KFP menunjukkan hasil yang terbesar dibandingkan dengan kelompok benda uji lainnya. Penggunaan pin mampu memberikan peningkatan sebesar 0,18 MPa atau 1% namun nilai ini tidak memberikan efek yang signifikan pada kolom dengan pengekang *fiberglass*.



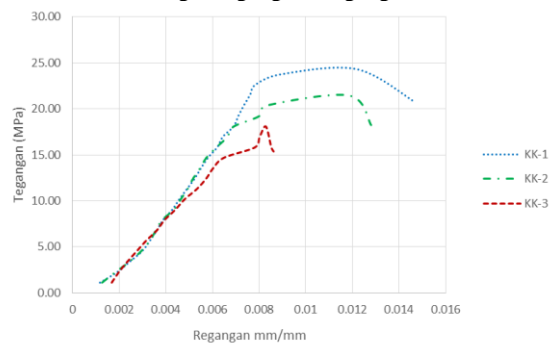
Gambar 7. Hubungan tegangan - regangan kolom KP



Gambar 9. Hubungan tegangan - regangan kolom KBT

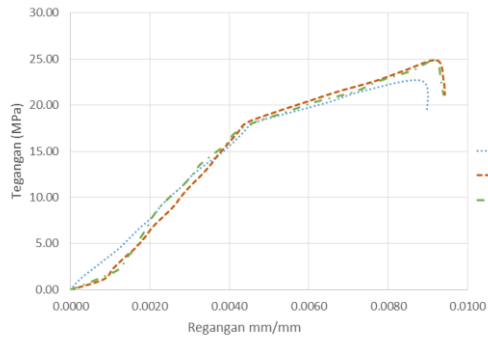


Gambar 8. Hubungan tegangan - regangan kolom KB

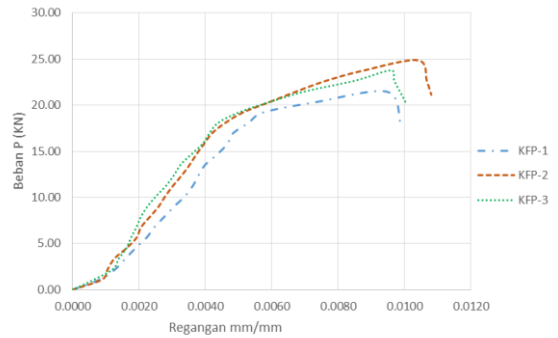


Gambar 10. Hubungan tegangan - regangan kolom KK

Pengaruh Modifikasi Kolom Persegi Menggunakan Metode *Concrete Jacketing* Berpenampang Bulat Dengan Kawat Kasa Atau *Fiberglass* Terhadap Tekan Aksial Kolom



Gambar 11. Hubungan tegangan - regangan kolom KF

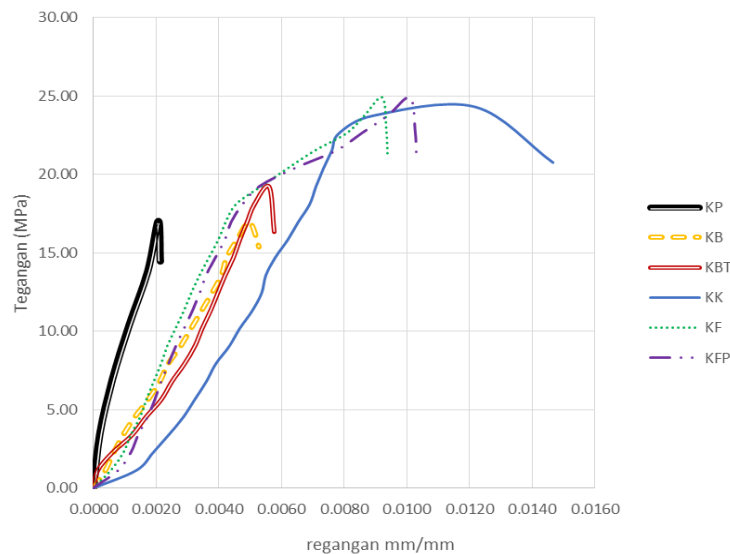


Gambar 12. Hubungan tegangan - regangan kolom KFP

Hasil grafik hubungan beban dan perpindahan yang diperlihatkan pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 12 memperlihatkan bahwa pada kolom KP, KB, KBT, KF dan KFP perilaku keruntuhan kolom yang terjadi adalah getas atau non-duktail. Lengkung yang terlihat pada hubungan beban dan perpindahan pada kolom KP, KB dan KBT terjadi karena retak pada beton saat dilakukan pengujian tekan beton.

Pada Gambar 10 kurvatur yang diperlihatkan pada benda uji KK-1 dan KK-2 menunjukkan bahwa penambahan pengekang kawat menghasilkan perilaku yang lebih duktail pada kolom. Kolom yang tertekan mengalami pertambahan regangan setelah kolom mengalami keruntuhan. Kolom KK-3 menghasilkan bentuk kurvatur yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena adanya rongga pada benda uji kolom.

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan penggunaan pengekang *fiberglass* menghasilkan perilaku keruntuhan kolom yang getas atau non-duktail. Pengaruh penambahan serat *fiberglass* kearah selimut beton menunjukkan perilaku keruntuhan yang tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan kolom KF.



Gambar 13. Hubungan beban-perpindahan sampel benda uji kolom

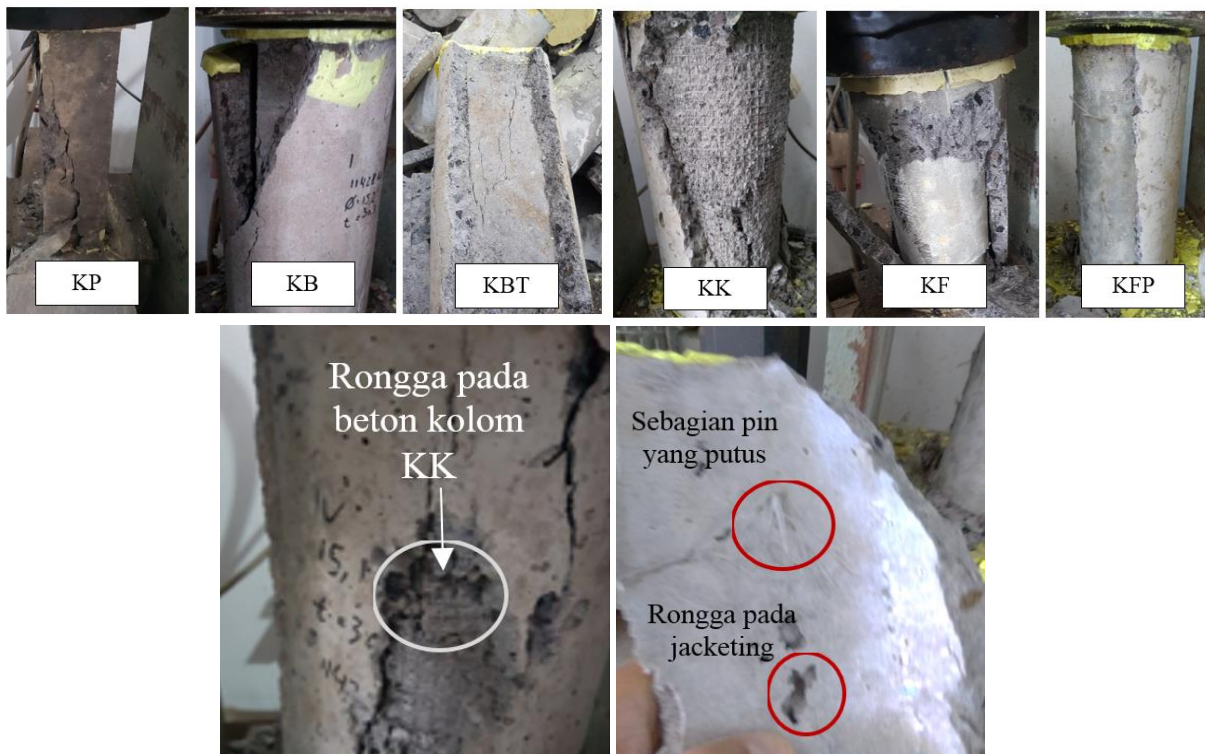
Tabel 4. Regangan dan perhitungan daktilitas kolom

Benda Uji	ϵ_1 rata-rata mm/mm	ϵ_{85} rata-rata mm/mm	Daktilitas rata-rata ($\epsilon_1 / \epsilon_{85}$)
KP	0,0021	0,0021	1,0326
KB	0,0049	0,0050	1,0312
KBT	0,0056	0,0058	1,0336
KK	0,0120	0,0137	1,1436
KF	0,0091	0,0094	1,0342
KFP	0,0100	0,0104	1,0418

Dari Gambar 13 dan Tabel 4 terlihat modifikasi kolom menghasilkan peningkatan perilaku terhadap tegangan tekan, regangan, dan pola keruntuhan. Pada kolom KP dapat terlihat tegangan puncak kolom memiliki

nilai yang hampir sama dengan kolom KB. Perilaku keruntuhan yang diperlihatkan adalah penurunan yang tajam setelah mencapai tegangan puncak. Hal ini menunjukkan terjadi keruntuhan yang getas pada kolom KP. Regangan rata-rata kolom KP adalah 0,0021 mm/mm. Modifikasi pada kolom KB tidak menghasilkan peningkatan tegangan tekan namun memberikan peningkatan regangan rata-rata menjadi 0,0049 mm/mm. Perlakuan *treatment* pada *core* kolom KBT memberikan peningkatan hubungan rekatan *interface* pada *core* kolom dengan *jacketing* yang lebih baik terlihat dari peningkatan tegangan tekan dan regangan rata-rata yang terjadi pada kolom KBT mencapai 0,0056 mm/mm. Namun modifikasi kolom tanpa pengekang memberikan perilaku keruntuhan yang non-daktail.

Penambahan pengekang kawat kasa ataupun *fiberglass* memberikan perilaku peningkatan tegangan tekan yang lebih besar dari pada kolom modifikasi tanpa pengekang. Pada kolom KK terjadi peningkatan tegangan tekan, peningkatan regangan rata-rata menjadi 0,0120 mm/mm serta pola keruntuhan yang lebih landai atau daktail. Modifikasi kolom menjadi kolom KK, KFP yang menggunakan pengekang internal berupa *fiberglass* memberikan peningkatan tegangan tekan terbesar dengan perilaku keruntuhan yang getas. Regangan rata-rata yang mampu dicapai oleh masing-masing kolom KF, KFP adalah 0,0091 mm/mm dan 0,0100 mm/mm. Penambahan pin berupa serat *fiberglass* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kapasitas, tegangan tekan, regangan ataupun daktilitas kolom. Perilaku keruntuhan yang getas akan menyebabkan keruntuhan yang tiba-tiba tanpa peringatan dan hal ini sangat dihindari dalam perencanaan struktur. Sehingga penggunaan kawat kasa sebagai pengekang internal dapat dikatakan lebih baik dalam memberikan peningkatan kapasitas, tegangan tekan, daktilitas dan pola keruntuhan jika dibandingkan dengan penggunaan *fiberglass* sebagai pengekang internal.



Gambar 14. Keruntuhan benda uji kolom

Keruntuhan pada kolom KP, KB dan KBT diawali dengan retak rambut yang semakin lama semakin lebar dan runtuh secara tiba-tiba. Pada Gambar 14 menunjukkan pola keruntuhan yang terbentuk adalah retak sejajar arah longitudinal kolom. Pada kolom KB jacketing yang runtuh terlepas seluruhnya dari *core* kolom. Pada kolom KBT jacketing yang hancur tidak seluruhnya terlepas dari *core* kolom. Keruntuhan pada kolom KK diawali dengan retak rambut dengan pola sejajar dengan sumbu longitudinal kolom. Retak rambut yang timbul semakin lama semakin membesar sampai kolom runtuh. Keruntuhan kolom diikuti dengan lepasnya sebagian selimut beton dan putusnya kawat kasa kearah longitudinal. Pada kolom KF dan KFP perilaku keruntuhan yang terjadi diawali dengan retak rambut pada kolom yang semakin membesar dan kolom runtuh diikuti dengan lepasnya selimut beton secara keseluruhan dari pengekang *fiberglass*. Lepasnya selimut beton menyebabkan kolom kehilangan luasan penampang kolom yang cukup signifikan dan membuat kolom langsung runtuh dengan getas. Pola keruntuhan pada kolom KF dan KFP mendekati perilaku keruntuhan kolom KB dan KBT.

5 KESIMPULAN

Kesimpulan

Modifikasi kolom persegi dengan menggunakan metode *concrete jacketing* berpenampang bulat tanpa tulangan, tanpa pengekang dan tanpa perlakuan *treatment sandblasting* pada permukaan inti kolom hanya memberikan peningkatan regangan dan peningkatan kapasitas beban akibat penambahan luas penampang saja. Modifikasi kolom KB tidak memberikan peningkatan terhadap tegangan, daktilitas dan perilaku pola keruntuhan. *Surface Treatment* berupa *sandblasting* pada permukaan *core* kolom (KP) sebelum dimodifikasi (kolom KBT) mampu menghasilkan peningkatan kapasitas rata-rata sebesar 30 KN atau 10% terhadap kolom KB. Peningkatan tegangan dan regangan rata-rata masing-masing meningkat sebesar 1,69 MPa atau 9,6% dan 0,0035 mm/mm atau 173%, dibandingkan dengan kolom yang belum dimodifikasi (KP). Penggunaan pengekang internal berupa kawat kasa memberikan peningkatan kapasitas kolom sebesar 70 KN atau sebesar 21% terhadap kolom KBT. Peningkatan tegangan dan regangan rata-rata masing-masing meningkat sebesar 5,61 MPa atau 32,9% dan 0,0099 mm/mm atau 484%, dibandingkan dengan kolom yang belum dimodifikasi (KP). Penggunaan pengekang internal berupa *fiberglass* memberikan peningkatan kapasitas kolom sebesar 97 KN - 100 KN atau 29% - 30% terhadap kolom KBT. Peningkatan tegangan dan regangan rata-rata masing-masing meningkat sebesar 7,12 MPa - 7,3 MPa atau 41,1% - 42,9% dan 0,0071 mm/mm - 0,0079 mm/mm atau 341% - 386%, dibandingkan dengan kolom yang belum dimodifikasi (KP). Modifikasi kolom dengan metode *concrete jacketing* tanpa pengekang kolom dan dengan menggunakan pengekang internal berupa *fiberglass* menghasilkan perilaku keruntuhan yang *non-daktail*. Penggunaan kawat kasa sebagai pengekang internal dapat memberikan perilaku keruntuhan kolom yang daktail. Penggunaan pin berupa serat *fiberglass* kearah selimut beton atau *jacketing* tidak efektif dalam memberikan perbaikan perilaku terhadap kapasitas, tegangan tekan, daktilitas dan pola keruntuhan.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk memberikan perilaku hubungan *interface* beton lama dan baru yang lebih baik dapat dicoba dengan menggunakan alternatif *hard treatment* (membuat permukaan beton menjadi sangat kasar).
2. Pada penelitian selanjutnya penggunaan tulangan pada benda uji kolom bisa menjadi pertimbangan untuk mendapatkan perbandingan perilaku kolom yang mendekati kondisi aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. 2008. *Guide For The Design And Construction Of Externally Bonded FRP Systems For Strengthening Concrete Structures (ACI 440.2R-08)*. ACI Committee 440.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa (SNI 7656:2012)*. BSN. Jakarta : Departemen pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. BSN. Jakarta : Departemen pekerjaan Umum.
- Hadi M.N.S. dan Zhao, H. 2011. Eksperimental Investigation on Using Mesh as Confinement Materials For High Strength Concrete Columns. *Procedia Engineering* 14(2011)2848-2855.
- Hadi M.N.S., Pham, Thong M. dan Lei, Xu. 2013. New Method Of Strengthening Reinforced Concrete Square Columns By Circularizing and Warping With FRP Or Steel Straps. *Journal Of Composites For Constructions*. ASCE.
- Kaontole, J. T., Sumajouw, M.D.J. dan Windah, R.S. 2015. Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang Dengan Metode *Concrete Jacketing*. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.3 No.3. 167-174. ISSN 2337-6732.
- Kristanto, A dan Yansusan, Ichsan. 2015. Studi Perkuatan Kolom Eksisting Dengan Pen-Binder Untuk Peningkatan Daktilitas Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*. Volume 11 Nomer 1, April 2015: 1-75.
- Lam, L., dan Teng, J. G. 2003. Design-Oriented Stress-Strain Model For FRP-Confined Concrete. *Constr. Build. Mater.*, 17(6-7), 471-489.
- Mander, J. B., Priestley, M. J. N. dan Park, R. 1998. Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*. ASCE. 114(8), 1804-1825.
- McCormac, Jack.C. 2004. *Desain Beton Bertulang Jilid I*. Jakarta. Erlangga.
- Sheikh, S. A., and Uzumeri, S. M. 1982. "Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns", *Journal of the Structural Division, ASCE*. Volume 108, ST12, 2703-2722.
- Sudarsana, I K. dan Sutapa, A. A. G. 2007. Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Perkuatan CFRP Dan GFRP. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol.11 No.1.
- Wibowo, Dian E., Triwiyono, A. dan Siswosukarto, S. 2012. Perkuatan Geser Kolom Bertulang Berpenampang Persegi Dengan Kawat Kasa Metode Mortar Jacketing Berpenampang Bulat. *INERSIA*. Vol.VIII. No.1.