

# PENGARUH VARIASI LUASAN CFRP (*CARBON FIBER REINFORCED POLYMER*) PADA KOLOM PENDEK TANPA TULANGAN PENAMPANG PERSEGI TERHADAP KUAT TEKAN AKSIAL

**Frandhy Naufal Setyawan**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[naufalandik@gmail.com](mailto:naufalandik@gmail.com)

## Abstrak

Kolom pada umumnya mendapatkan kekangan internal dari tulangan transversal dan tidak menggunakan kekangan eksternal. Efek dari pengekangan adalah untuk meningkatkan kekuatan dan tegangan ultimit pada beton. Kolom dengan pengekangan yang diakibatkan karena tulangan sengkang dapat meningkatkan beton pada tes kuat tekan, sehingga kolom tersebut memiliki kekuatan yang lebih besar dalam menerima gaya aksial yang lebih besar. Namun pada penelitian ini tidak digunakan tulangan transversal melainkan menggunakan CFRP sebagai kekangan eksternal. Penambahan CFRP sebagai kekangan eksternal dilakukan pada penelitian ini dengan cara memberikan tiga variasi luasan CFRP dengan tiga variasi jarak pula. Penggunaan CFRP pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kontribusi murni dari kekangan eksternal beton. Semakin meningkat luasan CFRP yang digunakan maka semakin meningkat juga kuat tekan pada benda uji. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan pada benda uji dengan menggunakan kekangan eksternal dalam menerima kuat tekan aksial. Benda uji dengan empat strip CFRP mengalami peningkatan sebesar 26,55%, benda uji dengan lima strip CFRP mengalami peningkatan sebesar 34,75%, sedangkan benda uji dengan CFRP penuh mengalami peningkatan sebesar 63,91%.

**Kata Kunci:** Kekangan Eksternal, Jarak Tulangan Transversal, Kuat Tekan.

## Abstract

*Column in general have internal confinement from transverse reinforcement and do not have external confinement. The effect of confinement is to increase the strength and ultimate stress on the concrete. Confined concrete cause of transverse reinforcement will increase concrete on the compressive test, therefore the column have greater strength of compressive strength. However, in this study the specimens did not use the transverse reinforcement, instead of using CFRP as external confinement. The addition of CFRP as an external confinement is applied by three kind of CFRP area variation and three kind of CFRP spacing variation as well. The use of CFRP in this study aims to determine the contribution of external confinement. Bigger area of CFRP will cause bigger compressive strength on the specimens. The result of this study indicates that there is an increase in specimens using external confinement in compressive strength. The specimens of four CFRP strips increased by 26.55%, specimens of five CFRP strips increased by 34.75%, while full CFRP specimens increased by 63.91%.*

**Keywords:** CFRP, Compressive Strength, Transverse Reinforcement Spacing.

## PENDAHULUAN

Kolom merupakan batang tekan vertikal dalam rangka struktural yang memikul beban dari balok serta beban yang ada di atasnya. Kolom meneruskan beban-beban dari atas ke bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur (Nawy, 1990).

Kolom memegang peranan penting dari suatu bangunan karena memikul beban aksial, momen lentur, dan gaya geser sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Kolom yang runtuh dapat dicegah dengan cara perbaikan atau perkuatan struktur. Dengan perkuatan yang dilakukan, akan meningkatkan kekuatan kolom pada struktur yang menurun kekuatannya, sehingga kekuatan kolom dapat kembali sesuai dengan kekuatan rencana. Perkuatan struktur yang dapat dilakukan antara lain yaitu *fiber reinforcement polymer* (FRP).

Efek dari pengekangan adalah untuk meningkatkan kekuatan dan tegangan ultimit pada beton. Dengan adanya kolom dengan pengekangan yang diakibatkan karena tulangan sengkang sangat berpengaruh sekali terhadap ketahanan struktur yang direncanakan, sehingga kolom tersebut memiliki kekuatan yang lebih besar dan pada penampang kolom lebih dapat menerima gaya aksial yang lebih besar.

Pada umumnya, pengekangan dapat menggunakan sengkang biasa ataupun tulangan berbentuk spiral.

Pengekangan kolom dengan tulangan berbentuk spiral sangat rapat (kolom spiral) memiliki perilaku yang lebih daktail daripada pengekangan kolom dengan sengkang biasa ataupun pengekangan kolom dengan spiral kurang rapat (Winter dan Nilson, 1993).

Semakin banyak jumlah lilitan CFRP maka peningkatan beban maksimum juga semakin besar. Peningkatan kapasitas kolom tersebut disebabkan oleh efek kekangan CFRP pada inti beton yang menimbulkan tekanan lateral pada penampang kolom (Noorhidana dan Purwanto, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Sulistiawan, 2012), menunjukkan bahwa kolom dengan pengekangan CFRP memberikan peningkatan beban aksial nominal.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Swamy dkk, 1979 (dalam Sudarmoko, 1990) menyimpulkan bahwa kehadiran serat (fiber) pada beton akan menaikkan kekakuan dan mengurangi lendutan (defleksi) yang terjadi. Hal tersebut juga dipertegas oleh penelitian yang menyatakan bahwa penambahan FRP akan lebih menambah daya tahan perkuatan beton bertulang (Chaallal dan Shahawy, 2000).

*Fiber reinforcement polymer* (FRP) yang akan digunakan yaitu jenis *carbon*. *Carbon fiber reinforcement polymer* (CFRP) sendiri mempunyai tiga jenis yakni anyaman serat (*wrap*), lempengan pelat (*plate*), dan batang silinder (*rod*). Maka dipilihlah jenis serat (*wrap*), yang penggunaannya untuk memperkuat kuat tekan struktur kolom.

CFRP adalah bahan serat fiber yang hanya bisa digunakan pada beton. Jenis CFRP ada 3 macam yaitu, *wrap*, tulangan, dan *plate*. Pada kolom digunakan jenis CFRP *wrap* dengan cara membungkus melingkari seluruh kolom sehingga membuat kolom tertutup rapat dari bawah ke atas dengan variasi jarak.

Kekangan dengan menggunakan CFRP dapat meningkatkan kekuatan kolom pendek untuk menerima beban aksial lebih besar. Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan CFRP sebagai pengegang yang divariasikan jaraknya untuk mengetahui kontribusi murni dari kekangan CFRP. Untuk memperjelas arah penelitian terkait kekangan kolom pendek oleh CFRP, maka penelitian ini mengambil judul "Pengaruh Variasi Luasan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) pada Kolom Pendek Tanpa Tulangan Penampang Persegi terhadap Kuat Tekan Aksial"

## KAJIAN PUSTAKA

### Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal, dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga

kali dimensi lateral terkecil (SK SNI T-15-1991-03). Fungsi kolom yaitu sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Beban dari balok dan pelat ini berupa beban aksial tekan serta momen lentur (akibat kontinuitas konstruksi). Oleh karena itu, kolom ialah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan atau tanpa momen lentur (Asroni, 2010).

Menurut Edward G. Nawy, 1998, apabila kolom runtuh karena kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), kolom ini diklasifikasikan sebagai kolom pendek (*short column*). Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. Dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek (runtuh karena material) ke kolom panjang (runtuh karena tekuk) yang terdefinisi dengan menggunakan perbandingan panjang efektif  $kl_u$  dengan jari-jari girasi  $r$ . Tinggi  $l_u$  adalah panjang tak tertumpu (*unsupported length*) kolom, dan  $k$  adalah faktor yang bergantung pada kondisi ujung kolom dan kondisi adakah penahan deformasi lateral atau tidak. Ketentuan kolom pendek dan kolom langsing didasari atas nilai rasio kelangsingan kolom.

$$kl_u/r \leq 22 \quad (1)$$

kolom diklasifikasikan sebagai kolom pendek,

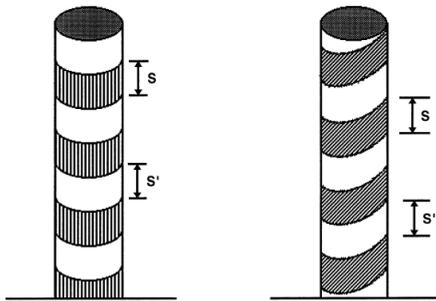
$$kl_u/r > 22 \quad (2)$$

kolom diklasifikasikan sebagai kolom langsing.

Pengekangan pada kolom

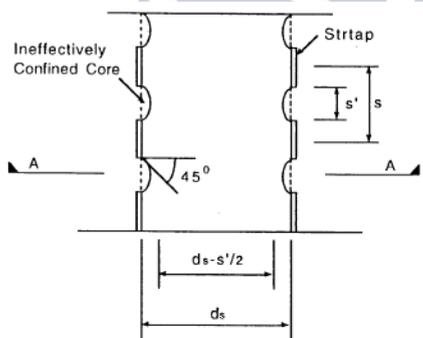
Pemakaian kekangan dan pemakaian serat baja, ternyata secara langsung dan bersama-sama dapat meningkatkan kemampuan inti kolom beton dalam menerima gaya aksial tekan, sebab kekangan ini pada dasarnya dapat meningkatkan kekuatan inti kolom beton sedangkan serat baja dapat meningkatkan kemampuan tarik beton. Dengan demikian jika kedua-duanya bekerja secara bersama-sama, maka dapat meningkatkan kemampuan inti kolom pendek beton terkekang (Sabariman, 2018). Pengekangan pada beton berfungsi mengurangi inti beton untuk mengembang kesamping saat menerima tekanan lateral dan menunda kerusakan pada beton. Tulangan transversal spiral memberikan kekangan yang lebih baik pada inti beton saat menerima tekanan, sedangkan tulangan transversal persegi dapat memberikan kekangan yang efektif pada keempat sisi tulangan transversal untuk inti beton mengembang. Meskipun tidak sebaik tulangan transversal spiral dalam memberikan keefektifan pengekangan pada inti beton, tulangan transversal persegi masih dapat memperbaiki kuat tekan dan daktilitas beton secara signifikan. (Sabariman et al., 2018).

Pada studi yang dilakukan oleh Saadatmanesh, pemasangan CFRP sebagai pengekanan eksternal beton dapat dilakukan dengan *individual rings* dan *continuous spiral* seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1 Kolom dengan CFRP (sumber: Saadatmanesh, 1994)

Teknik yang dilakukan oleh Sheikh dan Uzumeri digunakan untuk menentukan area efektif dari pengekanan beton antara *strap* CFRP seperti tampak pada Gambar 2. Gambar tersebut diasumsikan bahwa terdapat sudut antara *strap* dalam bentuk parabola dengan kemiringan singgung sebesar 45 derajat. Beton pada area parabola ini diasumsikan tidak efektif.



Gambar 2 Pengekanan beton dengan CFRP *individual rings* (sumber: Saadatmanesh, 1994)

### CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)

Menurut Meier (1997) dalam Petrico (2014), CFRP adalah aplikasi lanjutan atau perkembangan dari FRP (Fiber Reinforced Polymer). Carbon Fiber Reinforced Polymer digunakan pada konstruksi struktur bangunan yang harus diperbaiki. Teknik perkuatan seperti ini dapat dibuat efisien, tidak menyebabkan karat seperti pelat baja eksternal. Fungsi perkuatan dengan sistem komposit CFRP adalah untuk meningkatkan kekuatan atau memberikan peningkatan kapasitas lentur, geser, aksial, dan daktilitas, atau berbagai kombinasi diantaranya. Daya tahan CFRP yang lebih tinggi lebih ekonomis digunakan pada lingkungan korosif dimana baja akan mudah berkarat. Penggunaan CFRP lebih populer mengingat banyaknya keuntungan yang dapat diperoleh seperti bobot

unit yang kecil, mudah diaplikasikan dan ditangani, biaya instalasi dan pemeliharaan yang rendah. Kerugian yang paling prinsip penggunaan CFRP sebagai sistem perkuatan adalah harga material yang relatif mahal.

### Perhitungan kekangan CFRP

Menurut ACI 440.2R-17 *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures* Pasal 12.1, perhitungan kekangan eksternal beton yang berasal dari CFRP dikalkulasikan berdasarkan persamaan berikut:

$$f'_{cc} = f'_c + \Psi_f 3,3K_a f_t \quad (3)$$

$$f_t = \frac{2E_f n t_f \epsilon_{fe}}{D} \quad (4)$$

$$\epsilon_{fe} = K_\epsilon \epsilon_{fu} \quad (5)$$

$$D = \sqrt{b^2 + h^2} \quad (6)$$

$$K_a = \frac{A_e}{A_c} \left(\frac{b}{h}\right)^2 \quad (7)$$

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - \left[\frac{(b/h)(h-2r_c)^2 + (h/b)(b-2r_c)^2}{3Ag}\right] \rho_g}{1 - \rho_g} \quad (8)$$

### METODE

#### Tempat penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian metode eksperimen dengan membuat benda uji berupa kolom pendek berpenampang persegi dan benda uji mutu beton silinder. Pembuatan benda uji mulai dari persiapan bekisting, memasang tulangan transversal, pengecoran benda uji, dan perawatan benda uji dilakukan di *concrete batching plant* PT. Varia Usaha Beton yang berlokasi di Karang Pilang-Surabaya, pemasangan CFRP dan pengujian terhadap kuat tekan kolom pendek dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Negeri Surabaya.

#### Parameter penelitian

Parameter penelitian berisi rincian *mix design* beton, rincian benda uji silinder beton, rincian benda uji, perhitungan syarat tulangan transversal, gambar detail benda uji, dan gambar detail penulangan.

Tabel 1. *Mix design*

Material	Volume 0,0323 m <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Semen	9,85
Air	5,49
Pasir	25,52
Agregat (5-10 mm)	10,37
Agregat (10-20 mm)	26,65
Retarder	0,03
Superplasticizer	0,04

(sumber: *mix design* PT. Varia Usaha)

Tabel 2 Rincian benda uji silinder beton

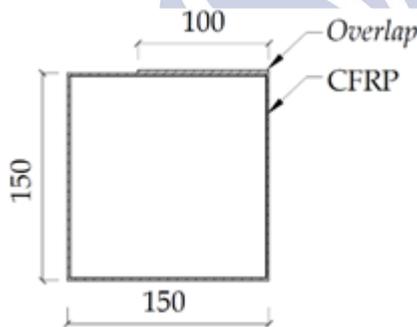
Benda Uji	Dimensi		f <sub>c</sub> target (MPa)
	φ (mm)	H (mm)	
KM <sub>1</sub>	150	300	22,5
KM <sub>2</sub>	150	300	22,5
KM <sub>3</sub>	150	300	22,5

(Sumber: hasil perhitungan)

Tabel 3 Rincian benda uji

Benda Uji	b=h (mm)	t (mm)	Jumlah (buah)	CFRP	Luasan CFRP (mm <sup>2</sup> )
KK	150	300	2	-	0
KS4	150	300	2	Jarak 60 mm	72000
KS5	150	300	2	Jarak 37,5 mm	90000
KCF	150	300	2	Jarak 0 mm	180000

(Sumber: hasil perhitungan)



Gambar 3 Detail pemasangan CFRP

- Melakukan perawatan benda uji kolom pendek penampang persegi dengan cara merendam benda uji selama 28 hari.
- Setelah 28 hari, benda uji diangkat dan dibiarkan sampai mencapai kering udara.
- Menempelkan CFRP Sika Wrap pada benda uji setelah satu hari pengangkatan benda uji dari perawatan.
- Melakukan uji kuat tekan benda uji silinder beton hanya sampai P<sub>maks</sub> memakai *universal testing machine (UTM)* kapasitas 1000 kN yang digabung dengan alat *universal recorder (UR)*.
- Melakukan uji kuat tekan benda uji kolom pendek penampang persegi sampai mencapai runtuh memakai *universal testing machine (UTM)* kapasitas 1000 kN yang digabung dengan alat *universal recorder (UR)*.

#### Teknik analisis data

Analisis data dilakukan dengan cara sebagai berikut:

#### Pengujian

Pengujian kuat tekan pada kolom pendek pada penelitian ini akan dilakukan dengan beban konsentris dan bersifat pembebanan statis. Langkah-langkah pengujian benda uji di laboratorium sebagai berikut:

- Melakukan penelitian tentang bahan terutama agregat halus dan kasar untuk beton mutu normal sesuai syarat ACI dan ASTM.
- Membuat rencana *mix design* beton mutu normal.
- Membuat benda uji silinder beton φ 150 mm × 300 mm.
- Membuat benda uji kolom pendek penampang persegi ukuran 150 mm × 150 mm × 300 mm dengan tiga variasi jarak tulangan transversal.
- Melakukan pembongkaran bekisting kolom pendek penampang persegi setelah proses pengecoran yang telah berumur 24 jam.

- Melakukan uji kuat tekan benda uji silinder beton untuk mendapatkan nilai f<sub>c</sub>.
- Melakukan uji kuat tekan benda uji kolom pendek penampang persegi dengan memberikan beban konsentris dan bersifat *static monotonic* sampai mencapai runtuh.
- Melakukan pengamatan besarnya nilai P<sub>0</sub> dari pengujian tes kuat tekan benda uji kolom pendek penampang persegi.

- Membandingkan besar nilai  $P_0$  pada benda uji kolom pendek penampang persegi dengan tiga variasi jarak CFRP.
- Melakukan pembahasan mengenai pengaruh penggunaan CFRP pada kolom pendek tanpa tulangan penampang persegi terhadap kuat tekan aksial.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji tekan benda uji

Hasil pengujian benda uji terdiri dari hasil uji tes mutu ( $f'_c$ ) dan hasil uji tes kuat tekan. Hasil uji tes mutu ditunjukkan pada Tabel 5. Dan hasil uji tes kuat tekan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil tes tekan silinder beton

No	Kode	Kuat Tekan (MPa)
1	KM <sub>1</sub>	21.74
2	KM <sub>2</sub>	21.45
3	KM <sub>3</sub>	22.67
	Rerata	21.95

(sumber: hasil uji)

Berdasarkan hasil tes tekan silinder beton di laboratorium, benda uji silinder beton dengan umur 28 hari memperoleh rerata nilai kuat tekan sebesar 25,01 MPa. Hasil kuat tekan tersebut nilainya di atas dari nilai kuat tekan target rencana sebesar 22,5 MPa. Namun hal tersebut tidak melampaui dari batas perbedaan sebesar  $\pm 3,5$  MPa sebagaimana dijelaskan pada SNI 2847-2013.

Tabel 6. Hasil tes tekan benda uji

No	Kode	Pmax (N)	Rerata (N)
1	KK <sub>1</sub>	411250	407812
2	KK <sub>2</sub>	404375	
3	KS4 <sub>1</sub>	479688	516094
4	KS4 <sub>2</sub>	552500	
5	KS5 <sub>1</sub>	550000	549532
6	KS5 <sub>2</sub>	549063	
7	KCF <sub>1</sub>	669688	668438
8	KCF <sub>2</sub>	667188	

(sumber: hasil tes)

Perhitungan prediksi  $P_0$

Perhitungan prediksi  $P_0$  dilakukan dengan 2 perhitungan yaitu perhitungan berdasarkan ACI 440.2R-17 dan perbandingan luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji.

Tabel 7 Rasio Luasan CFRP

No	Kode	Luasan CFRP (mm)	Rasio Luasan CFRP (mm)
1	KS4	72000	0,4
2	KS5	90000	0,5
3	KCF	180000	1

Tabel 8 Hasil Perhitungan  $P_0$  teori

No	Benda Uji	$P_0$ teori (N)
1	KK	333924
2	KS4	356669
3	KS5	361866
4	KCF	373288

(sumber: hasil perhitungan)

Peningkatan  $P_0$

Hasil peningkatan nilai  $P_0$  benda uji pada penelitian ini dengan perbedaan luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji akan dibandingkan dengan hasil nilai  $P_0$  benda uji kontrol yang tidak diaplikasikan CFRP adalah sebagai berikut.

- Benda uji KK tanpa CFRP didapat nilai  $P_0$  sebesar 407812 N. Setelah ditambahkan 4 strip CFRP, nilai  $P_0$  yang diterima oleh benda uji KS4 meningkat menjadi 516094 N.
- Benda uji KK tanpa CFRP didapat nilai  $P_0$  sebesar 407812 N. Setelah ditambahkan 5 strip CFRP, nilai  $P_0$  yang diterima oleh benda uji KS5 meningkat menjadi 549532 N.
- Benda uji KK tanpa CFRP didapat nilai  $P_0$  sebesar 407812 N. Setelah ditambahkan CFRP penuh, nilai  $P_0$  yang diterima oleh benda uji KCF meningkat menjadi 668438 N.

Tabel 9 Peningkatan  $P_0$  eksperimen

No	Benda Uji	$P_0$ -eksp (N)	Peningkatan (%)
1	KK	407812	-
2	KS4	516094	26,55
3	KS5	549532	34,75
4	KCF	668438	63,91

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Hubungan luasan dan  $P_0$  eksperimen

Hubungan antara luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji dengan  $P_0$  yang didapat akan ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Grafik Hubungan Luasan dan  $P_0$

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan yaitu semakin meningkatnya luasan CFRP yang diaplikasikan pada benda uji, maka semakin meningkatkan kekuatan aksial pada benda uji. Dengan peningkatan yang terjadi sebesar 26,55% pada benda uji dengan CFRP 4 strip, 34,75% pada benda uji dengan CFRP 5 strip, dan 63,91% pada benda uji dengan CFRP penuh.

### DAFTAR PUSTAKA

ACI Comitee 440, *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structure*. Detroit: American Concrete Institute, 2017.

Asroni, Ali. 2010. *Kolom Pondasi Balok T Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.

Challal, O.; and Sahawy, M. 2000. *Performance of Fiber-Reinforced Polymer-Wrapped Reinforced Concrete Coloumn under Combined Axial-Flexural Loading*. *ACI Structural Journal*, vol 97, no. 4, hal. 659-668.

Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. Refika Aditama.

Noorhidana, Vera Agustriana; Purwanto, Eddy. 2012. *Daktilitas Kolom yang Diperkuat dengan*

*CFRP*. *Jurnal Teknik Sipil UBL*, Volume 3 Nomor 2.

Saadatmanesh, H.; Ehsani, M. R.; Li, M. W. 1994. *Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps*. *ACI Structural Journal*, Title no. 91-S43.

Sabariman, Bambang. 2018. *Kuat Tekan Aksial Kolom Pendek Terkekang Penampang Persegi Diperkuat Serat Baja*. *INERSIA*, Vol. XIV, No. 1.

Sabariman, Bambang; Soehardjono, Agoes; Wisnumurti; Wibowo, Ari; Tavio. 2018. *Stress-Strain Behavior of Steel Fiber-Reinforced Concrete Cylinders Spirally Confined with Steel Bars*. *Hindawi, Advances in Civil Engineering*, Volume 2018, Article ID 6940532.

Sudarmoko. 1996. *Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang*. Biro Penerbit, Yogyakarta.

Sulitiawan, Agus; Soehardjono, Agoes; Tavio. 2012. *Retrofit Kolom Pendek Beton Bertulang Persegi dengan Perkuatan Eksternal Carbon-Reinforced Polymer di Bawah Pengaruh Pembebanan Siklik*. *Teknologi dan Kejuruan*, Vol. 35, no. 2.

Petrico G, Ireneus. 2014. *Perbandingan Kekuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CFRP dan GFRP*. *Jurnal Teknik Sipil, Universtias Brawijaya*, Malang.

Winter, G. dan A. H. Nilson. 1993. *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Terjemahan M. Sahari Besari dkk. Jakarta: Pradnya Paramita.