

# PENGARUH VARIASI JARAK TULANGAN TRANSVERSAL PADA KOLOM PENDEK PENAMPANG BULAT YANG DIPERKUAT CFRP (CARBON FIBER REINFORCED POLYMER) TERHADAP KEMAMPUAN MENERIMA KUAT TEKAN AKSIAL

Febry Ramadhan

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[ramadhanfebry69@gmail.com](mailto:ramadhanfebry69@gmail.com)

## Abstrak

Tulangan transversal dapat memperbaiki karakteristik tegangan dan regangan pada beton. Tulangan transversal dapat berbentuk spiral dan persegi sesuai dengan bentuk kolom yang digunakan. Tulangan transversal spiral lebih efektif daripada tulangan transversal persegi karena dapat memberikan pengekangan terus-menerus di seluruh area lingkaran. Penggunaan tulangan transversal akan memperkuat inti beton sehingga dapat meningkatkan kuat tekan aksial. Semakin rapat jarak tulangan transversal, akan meningkatkan kuat tekan aksial pada benda uji.

Selimit beton yang tidak terkekang seharusnya diperkuat agar beton tidak mudah mengalami keretakan apabila kolom menerima beban aksial yang lebih besar. Perkuatan yang dapat dilakukan yaitu dengan penambahan CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*). Perkuatan CFRP pada kolom berpenampang bulat dilakukan untuk bertujuan memberikan kekuatan lebih di area selimit beton yang tidak terkekang oleh tulangan transversal, agar kolom dapat menerima beban aksial yang lebih besar daripada kolom berpenampang bulat pada umumnya.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa benda uji dengan tulangan transversal berjarak 52 mm meningkat sebesar 17,38 %, benda uji dengan tulangan transversal berjarak 36 mm meningkat sebesar 19,26 %, dan benda uji dengan tulangan transversal berjarak 27 mm meningkat sebesar 51,49 %.

**Kata Kunci:** CFRP, Jarak Tulangan Transversal, Kuat Tekan.

## Abstract

*Transverse reinforcement can improve its stress and strain characteristics in concrete. Transverse reinforcement can be in the form of spiral and square according to the column itself. The spiral transverse reinforcement much more effectively than rectangular because effectively than rectangular because it provides a continuous confining pressure around the circumference. The use of transverse reinforcement will strengthen the concrete core, so that it can increase axial compressive strength.*

*Unconfined concrete cover should be strengthened, so that it is not easily broken when the column carrying a greater axial loads. Strengthening that can be used is by using CFRP (Carbon Fiber Reinforcement Polymer). Applying the CFRP on circular section columns aims to provides more strength in the concrete cover area which is not confined by transversal reinforcement, so that the column can carrying a greater axial loads than most of circular section columns.*

*The results of this study showed that specimens of 52 mm transverse reinforcements increased by 17.38%, specimens of 36 mm transverse reinforcements increased by 19.26%, and specimens of 27 mm transversal reinforcements increased by 51.49%.*

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

## PENDAHULUAN

Saat ini struktur yang mengalami kerusakan, akibat perubahan fungsi struktur bangunan, membutuhkan kapasitas menahan beban yang lebih tinggi, dan kesalahan dalam pelaksanaan maupun perencanaan awal, dapat diperbaiki dengan berbagai cara, diantaranya mengelupas selimit betonnya kemudian dilakukan pengecoran kembali, perkuatan struktur bangunan seperti penambahan tulangan dengan *jacketing*, melapisi bagian luar struktur dengan pelat baja, penambahan rangka batang, dengan memberi CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*) maupun bahan komposit lain pada struktur kolom.

Kolom merupakan salah satu bagian penting pada struktur bangunan, yang akan menerima gaya tekan aksial dan momen. Tekuk kolom merupakan masalah kestabilan yang sering ditemukan pada kolom. Para peneliti telah

membuktikan bahwa menggunakan tulangan baja pada kolom berfungsi sebagai penahan gaya tersebut. Tulangan baja pada kolom dibagi menjadi dua jenis yaitu tulangan longitudinal yang berfungsi untuk penahan tekan, dan tulangan transversal atau sengkang yang berfungsi untuk penahan tegangan lateral pada inti kolom, agar kolom tetap menyatu dan tidak pecah atau terjadi tekuk saat menerima gaya aksial.

Tulangan transversal dapat memperbaiki karakteristik tegangan dan regangan pada beton. Tulangan transversal dapat berbentuk spiral dan persegi sesuai dengan bentuk kolom yang digunakan. Tulangan transversal spiral dapat mengekang dan menyebarkan tekanan aksial yang diterima kolom ke semua penampang sama rata sehingga inti beton dapat terkekang.

Perbandingan jarak antar tulangan transversal terhadap dimensi penampang inti beton merupakan

variabel yang berpengaruh terhadap tingkat kekuatan kolom, karena semakin rapat jarak tulangan transversal akan lebih efektif pengekangannya. Beton terkekang oleh lengkungan antara beton dan tulangan transversal dan apabila jarak tulangan transversal renggang, ini jelas bahwa terdapat banyak volume beton yang tidak terkekang dan mengakibatkan keruntuhan. (Park dan Paulay, 1975)

Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa kolom berpenampang bulat sudah terbukti lebih kuat dibandingkan kolom berpenampang persegi, karena keseluruhan inti beton kolom berpenampang bulat telah terkekang oleh tulangan transversal. Tulangan transversal spiral hanya mengekang pada bagian inti beton kolom, namun pada selimut beton kolom tidak terkekang oleh tulangan transversal. Selimut beton yang tidak terkekang seperti pada inti beton kolom seharusnya diperkuat agar beton tidak mudah mengalami keretakan apabila kolom menerima beban aksial yang lebih besar. Perkuatan CFRP pada kolom berpenampang bulat dilakukan untuk bertujuan memberikan kekuatan lebih di area selimut beton yang tidak terkekang oleh tulangan transversal, agar kolom dapat menerima beban aksial yang lebih besar daripada kolom berpenampang bulat pada umumnya. CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*) yang akan digunakan adalah jenis anyaman serat (*wrap*), yang ditempel menyeluruh pada bagian selimut beton kolom. Tujuan dari menempelkan CFRP pada keseluruhan permukaan selimut beton yaitu untuk memperkuat bagian selimut beton dari kolom pendek karena seluruh bagian inti beton telah terkekang oleh tulangan transversal.

Kolom pendek berpenampang bulat yang akan diperkuat CFRP tetapi masih menimbulkan pertanyaan, yaitu berapakah jarak tulangan transversal yang efektif digunakan pada kolom berpenampang bulat. Kombinasi antara jarak tulangan transversal yang efektif dengan perkuatan dengan menggunakan CFRP pada keseluruhan bagian selimut beton kolom pendek, akan menambah perkuatan inti beton dan selimut beton yang awalnya tidak terkekang.

## 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.

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

kolom diklasifikasikan sebagai kolom pendek,

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

kolom diklasifikasikan sebagai kolom langsing.

### Penelitian Terkait Yang Pernah Dilakukan

Penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini yaitu dari Jimmy Carter Tarigan dan Sanci Barus meneliti tentang pengekangan CFRP dan Arry Kurniansyah, Elvira, dan M. Yusuf meneliti tentang variasi jarak tulangan transversal.

#### 1. Penelitian Jimmy Carter Tarigan, Sanci Barus.

Menurut penelitian Jimmy Carter Tarigan, Sanci Barus perbandingan dari hasil analisis diperoleh bahwa peningkatan kuat tekan setelah dilapisi dengan CFRP pada kolom bulat adalah sebesar 46,05% sementara pada kolom persegi meningkat sebesar 31,4%. Dan pada pembebanan sentris pada kolom hasil eksperimen diperoleh peningkatan kapasitas aksial sebesar 73,26% pada kolom bulat, dan peningkatan kapasitas aksial sebesar 67,42% pada kolom persegi. Dalam penelitian ini, Jimmy Carter Tarigan, Sanci Barus menyarankan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kekangan menggunakan sengkang spiral terhadap peningkatan kuat tekan beton.

#### 2. Penelitian Arry Kurniansyah, Elvira, M. Yusuf

Dari penelitian Arry Kurniansyah, Elvira, M. Yusuf yang telah dilakukan pada benda uji kolom dengan variasi jarak sengkang 5 cm, 9 cm, 13 cm, dan benda uji tanpa sengkang dapat diambil kesimpulan. Bahwa semakin dekat jarak sengkang, maka semakin besar kemampuan kolom dalam menerima beban aksial. Dalam penelitian ini, perhitungan  $P_n$  secara teoritis lebih besar dibandingkan dengan hasil pengujian  $P_u$  secara eksperimental. Persentase selisih hasil perhitungan  $P_n$  secara teoritis dengan hasil pengujian  $P_u$  secara eksperimental adalah sebagai berikut:

- Perhitungan Pn secara teoritis benda uji kolom dengan jarak sengkang 5 cm lebih besar 3,84% daripada hasil pengujian secara eksperimental.
- Perhitungan Pn secara teoritis benda uji kolom dengan jarak sengkang 9 cm lebih besar 2,46% daripada hasil pengujian secara eksperimental.
- Pengujian secara eksperimental benda uji kolom dengan jarak sengkang 13 cm lebih besar 3,92% daripada hasil perhitungan Pn secara teoritis.
- Perhitungan Pn secara teoritis benda uji kolom tanpa sengkang lebih besar 5,82% daripada hasil pengujian secara eksperimental.

#### Tulangan transversal

Menurut SNI 2847-2013, Tulangan spiral (*Spiral reinforcement*) adalah tulangan yang digulung menerus dalam bentuk lilitan melingkar. Spasi tulangan transversal menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.3, tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum
- Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil
- $s_o$ , seperti didefinisikan oleh persamaan (3)

$$s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right) \dots\dots\dots(3)$$

nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

Menurut SNI 2847-2013 Pasal 10.9.3 dan Pasal 21.6.4.4, rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat,  $\rho_s$ , tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh (4) dan (5).

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\rho_s = 0,12 \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \dots\dots\dots(5)$$

Kekangan pada beton dapat berupa tulangan transversal persegi atau spiral. Dengan pengekanan tersebut, dapat meningkatkan kuat tekan dan daktilitas beton. Pengekanan 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 pengekanan pada inti beton, tulangan transversal persegi masih dapat memperbaiki kuat tekan dan daktilitas beton secara signifikan. (Sabariman et al., 2018)

#### Kurva tegangan-regangan beton

Variabel yang mempengaruhi kurva tegangan – regangan yaitu (Kent & Park, 1975):

- Perbandingan antara volume tulangan sengkang terhadap volume penampang inti kolom beton
- Kuat leleh tulangan Sengkang, karena variabel ini menentukan batas atas dari tekanan pengkang.
- Perbandingan antara diameter sengkang terhadap panjang sengkang, karena diameter yang lebih besar menghasilkan pengekanan yang lebih efektif
- Perbandingan jarak antar tulangan sengkang terhadap dimensi penampang inti, karena semakin rapat sengkang akan menambah keefektifan pengekanan
- Jumlah dan ukuran tulangan longitudinal, karena tulangan ini juga mengekang betonnya
- Kuat tekan beton (mutu beton), karena beton dengan kuat tekan rendah (*low strength concrete*) sedikit lebih daktil daripada beton mutu tinggi (*high strength concrete*)

Perhitungan nilai kekangan beton pada penelitian ini menggunakan rumus dari penelitian Kent dan Park yang telah dimodifikasi oleh Scott, 1982. Semakin kecil nilai  $Z_m$  maka semakin baik kekangan yang diberikan oleh beton. Nilai  $Z_m$  atau nilai kekangan beton tersebut sebagai berikut (Sabariman, 2018):

$$Z_m = \frac{0,625}{\left[ \frac{3+0,29f'_c}{145f'_c-1000} \right] + \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{b''}{s_h}} - 0,002K} \dots\dots\dots(5)$$

$$K = 1,25 \left[ 1 + \frac{\rho_s \cdot f_{yh}}{f'_c} \right] \dots\dots\dots(6)$$

#### CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)

CFRP (*Carbon Fiber Reinforcement Polymer*) adalah salah satu bahan komposit non-logam dari serat karbon, cukup mudah diaplikasikan pada beton bertulang untuk meningkatkan kekuatan struktur kolom. CFRP memiliki penampang yang kecil, berat yang ringan, dan tidak mengalami korosi. Keunggulan dari CFRP yang tidak dimiliki oleh baja tulangan yaitu mempunyai kuat tarik jauh lebih tinggi dari baja tulangan sebesar 2800 MPa dan memiliki modulus elastisitas sebesar 165000 MPa. Penggunaan CFRP sebagai material perkuatan di Indonesia sudah sejak tahun 1997. Jenis CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) sendiri terdapat tiga jenis yakni anyaman serat (*wrap*), lempengan pelat (*plate*), dan batang silinder (*rod*).

CFRP dalam bentuk lembaran, pelat, atau batangan dapat dipasang pada permukaan balok atau pelat yang mengalami peregangan sebagai perkuatan lentur. Sebagai perkuatan geser balok, lembaran CFRP dapat direkatkan pada sisi balok. Penggunaan pada kolom, lembaran CFRP atau pelapisan dapat ditempatkan pada bagian luar kolom



untuk meningkatkan daktilitas dan kekuatan. (Maiman, 2013).

Menurut *product data sheet* SikaWrap 231 C dari PT. Sika Indonesia 2017, karakteristik dan keuntungan CFRP SikaWrap yaitu:

1. Diproduksi dengan serat dengan anyaman menyilang yang rapat dan ketat menjadi lembaran yang stabil.
2. Multifungsi untuk beberapa tipe perkuatan.
3. Bentuk permukaan yang fleksibel.
4. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi.
5. Tersedia dalam beberapa ukuran lebar untuk pemanfaatan yang optimal.
6. Berat jenis yang ringat sehingga tidak menjadi beban untuk struktur.
7. Lebih ekonomis dalam benefitnya dibandingkan dengan teknik konvensional.

## 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

Pada saat pengujian beton, selimut beton akan mengalami runtuh jika tegangan yang terjadi pada beton mencapai 0,5 dari tegangan maksimum yang diterima beton (R. Park dan T. Paulay, 1975). Tegangan maksimum yang direncanakan adalah 22,5 MPa. Parameter penelitian berisi rincian *mix design* beton, rincian benda uji silinder beton, rincian benda uji tampak, perhitungan syarat tulangan transversal, gambar detail benda uji, gambar detail penulangan, dan gambar detail pemasangan CFRP.

Tabel 1. *Mix design*

Material	Volume 0,0265 m <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Semen	8,08
Air	4,51
Pasir	20,94
Agregat (5-10 mm)	8,51
Agregat (10-20 mm)	21,86
<i>Retarder</i>	0,02
<i>Superplasticizer</i>	0,03

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

Tabel 2. Rincian benda uji silinder beton

Benda Uji	Dimensi		$f'_c$ target (MPa)
	$\phi$ (mm)	H (mm)	
KM <sub>a</sub>	150	300	22,5
KM <sub>b</sub>	150	300	22,5
KM <sub>c</sub>	150	300	22,5
KM <sub>d</sub>	150	300	22,5

(Sumber: hasil perhitungan)

Tabel 3. Rincian benda uji

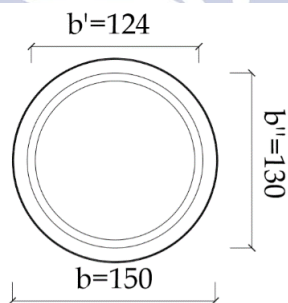
Benda Uji	Diameter (mm)	t (mm)	Sengkang Bulat		CFRP
			$\phi$ (mm)	S <sub>b</sub> (mm)	
KK <sub>a</sub>	150	300	-	-	Penuh
KK <sub>b</sub>	150	300	-	-	Penuh
KK <sub>c</sub>	150	300	-	-	Penuh
KC5 <sub>a</sub>	150	300	6	52	Penuh
KC5 <sub>b</sub>	150	300	6	52	Penuh
KC5 <sub>c</sub>	150	300	6	52	Penuh
KC7 <sub>a</sub>	150	300	6	36	Penuh
KC7 <sub>b</sub>	150	300	6	36	Penuh
KC7 <sub>c</sub>	150	300	6	36	Penuh
KC9 <sub>a</sub>	150	300	6	27	Penuh
KC9 <sub>b</sub>	150	300	6	27	Penuh
KC9 <sub>c</sub>	150	300	6	27	Penuh

(Sumber: hasil perhitungan)

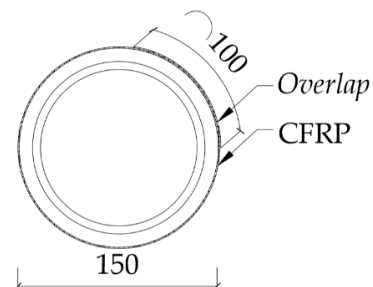
Tabel 4. Perhitungan syarat tulangan transversal

Benda Uji	$f_c$ target (MPa)	$f_{yh}$ (MPa)	$\rho_{s-1}$ (syarat)	$\rho_{s-2}$ (syarat)	$\rho_s$ terpasang	$Z_m$
KK <sub>a</sub>	22,5	-	-	-	-	-
KK <sub>b</sub>	22,5	-	-	-	-	-
KK <sub>c</sub>	22,5	-	-	-	-	-
KC5 <sub>a</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,01672	30,013
KC5 <sub>b</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,01672	30,013
KC5 <sub>c</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,01672	30,013
KC7 <sub>a</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,0242	17,892
KC7 <sub>b</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,0242	17,892
KC7 <sub>c</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,0242	17,892
KC9 <sub>a</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,0322	11,797
KC9 <sub>b</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,0322	11,797
KC9 <sub>c</sub>	22,5	529,5	0,006	0,005	0,0322	11,797

(Sumber: hasil perhitungan)



Gambar 1. Detail penulangan benda uji



Gambar 2. Detail pemasangan CFRP

#### 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.
- Melakukan uji mutu baja yang akan digunakan sebagai tulangan transversal sebagai pengekang kolom pendek penampang bulat dengan menggunakan mesin tarik baja.
- Membuat benda uji silinder beton  $\phi$  150 mm  $\times$  300 mm.
- Membuat benda uji kolom pendek penampang bulat ukuran 150 mm  $\times$  300 mm dengan tiga variasi jarak tulangan transversal.
- Melakukan pembongkaran bekisting kolom pendek penampang bulat setelah proses pengecoran yang telah berumur 24 jam.
- Melakukan perawatan benda uji kolom pendek penampang bulat 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  $P_{maks}$  memakai *universal testing machine (UTM)* kapasitas 1000 kN yang digabung dengan alat *universal recorder (UR)*.
- Melakukan uji kuat tekan benda uji kolom pendek penampang bulat 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:

- Melakukan uji kuat tekan benda uji silinder beton untuk mendapatkan nilai  $f'_c$ .
- Melakukan uji kuat tarik tulangan untuk mendapatkan nilai  $f_y$ .
- Melakukan uji kuat tekan benda uji kolom pendek penampang bulat dengan memberikan beban konsentris dan bersifat *static monotonic* sampai mencapai runtuh.
- Melakukan pengamatan besarnya nilai  $P_0$  dari pengujian tes kuat tekan benda uji kolom pendek penampang bulat.
- Membandingkan besar nilai  $P_0$  pada benda uji kolom pendek penampang bulat dengan tiga variasi jarak tulangan transversal yang diperkuat CFRP.
- Melakukan pembahasan mengenai pengaruh variasi jarak tulangan transversal pada kolom pendek terhadap kuat tekan aksial yang diperkuat CFRP.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji tarik tulangan

Dalam pengujian material dilakukan uji tarik tulangan polos dengan diameter 6 mm, pengujian ini dilakukan di Laboratorium beton, Universitas Brawijaya, Malang. Setiap pengujian tes tarik tulangan diambil beberapa sampel setiap sampel tulang mempunyai panjang 20 cm, dan didapatkan  $f_y$  529,596 MPa.

Penggunaan tiga variasi jarak tulangan transversal dapat meningkatkan kekuatan beton sehingga beton mampu menerima beban aksial  $P_0$  yang meningkat. Pada peningkatan kekuatan  $P_0$  ini didapatkan dari nilai  $P_0$  eksperimen di laboratorium dengan membandingkan

Uji tekan benda uji

Hasil dari pengujian kuat tekan beton, sehingga memperoleh mutu beton dan beban maksimal disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil tes tekan silinder beton

No.	Kode	Kuat Tekan ( MPa )	Rata rata ( MPa )
1	KME-1	190800	20,21
2	KME-2	20,6122	
3	KME-3	20,9306	

(sumber: hasil tes)

Tabel 6. Hasil tes tekan benda uji

No.	Kode	$P_0$ ( N )	Rata rata ( N )
1	KK-1	521563	620417
2	KK-2	715313	
3	KK-3	624375	
4	KC5 <sub>A</sub>	790000	728333
5	KC5 <sub>B</sub>	745000	
6	KC5 <sub>C</sub>	650000	
7	KC7 <sub>A</sub>	745000	740000
8	KC7 <sub>B</sub>	765000	
9	KC7 <sub>C</sub>	710000	
10	KC9 <sub>A</sub>	950000	940000
11	KC9 <sub>B</sub>	925000	
12	KC9 <sub>C</sub>	945000	

(sumber: hasil tes)

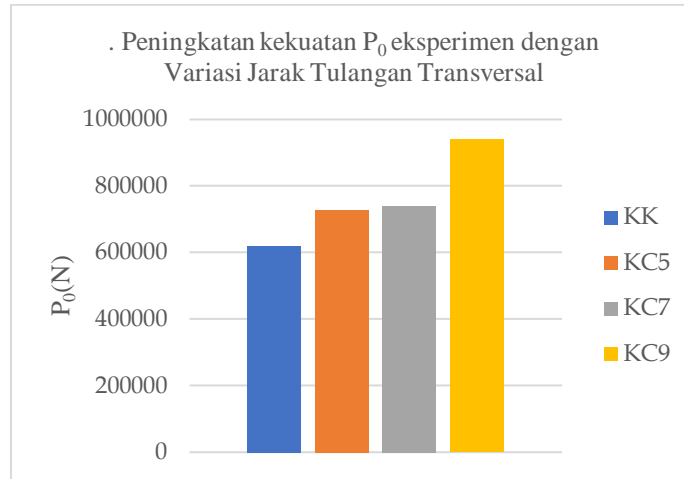
Peningkatan kekuatan  $P_0$

hasil nilai  $P_0$  benda uji kontrol. Ketiga benda uji dengan tiga variasi jarak tulangan transversal akan dicari nilai peningkatan  $P_0$ . Hasil peningkatan benda uji tersebut akan ditabelkan pada Tabel 7 dan grafik pada Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 7. Peningkatan kekuatan  $P_0$  eksperimen

No.	Benda Uji	$P_0$ - kontrol ( N )	$P_0$ -eksperimen ( N )	Peningkatan ( % )
1	KC5	620417	728333	17,38
2	KC7		740000	19,26
3	KC9		940000	51,49

(sumber: hasil perhitungan)



Gambar 3. Peningkatan kekuatan  $P_0$  eksperimen (sumber: hasil perhitungan)

#### Pengaruh variasi jarak tulangan transversal

Peningkatan nilai  $P_0$  benda uji pada penelitian ini dengan tiga variasi jarak tulangan transversal pada kolom pendek yang diperkuat CFRP secara penuh dengan dibandingkan benda uji kontrol tanpa tulangan transversal dan diperkuat CFRP secara penuh adalah sebagai berikut:

- Benda uji KK tanpa tulangan transversal mampu menerima  $P_0$  sebesar 620417 N, setelah ditambahkan 6 buah tulangan transversal dengan jarak 52 mm didapat nilai  $P_0$  sebesar 728333 N.
- Benda uji KK tanpa tulangan transversal mampu menerima  $P_0$  sebesar 620417 N, setelah ditambahkan 8 buah tulangan transversal dengan jarak 36 mm didapat nilai  $P_0$  sebesar 740000 N.
- Benda uji KK tanpa tulangan transversal mampu menerima  $P_0$  sebesar 620417 N, setelah ditambahkan 10 buah tulangan transversal dengan jarak 27 mm didapat nilai  $P_0$  sebesar 940000 N.

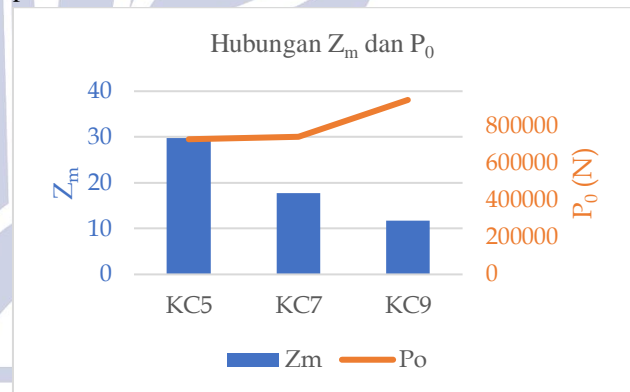
Berdasarkan hasil peningkatan nilai eksperimen di atas, dapat dilihat bahwa semakin rapat jarak tulangan maka akan semakin meningkatkan kuat tekan pada benda uji.

#### Pengaruh nilai kekangan beton

Hubungan antara nilai kekangan beton  $Z_m$  dengan nilai  $P_0$  yang didapatkan dari uji tes tekan di laboratorium. Hal tersebut dapat dibuktikan dari perhitungan  $Z_m$  pada penelitian Kent dan Park *modified* (Scout, 1982) dan hasilnya sebagai berikut:

- Benda uji KC5 memakai 6 buah tulangan dengan jarak 52 mm dan memakai CFRP penuh menghasilkan nilai kekangan beton  $Z_m$  yaitu 29,643.
- Benda uji KC7 memakai 8 buah tulangan dengan jarak 36 mm dan memakai CFRP penuh menghasilkan nilai kekangan beton  $Z_m$  yaitu 17,434.

- Benda uji KC9 memakai 10 buah tulangan dengan jarak 27 mm dan memakai CFRP penuh menghasilkan nilai kekangan beton  $Z_m$  yaitu 11,422. Hubungan antara nilai  $Z_m$  dengan  $P_0$  yang didapatkan pada saat pengujian tes tekan di laboratorium akan disajikan pada Gambar 4. di bawah ini.



Gambar 4. Hubungan  $Z_m$  dengan  $P_0$  (sumber: hasil perhitungan)

Dari Gambar 4 di atas, dapat dilihat bahwa semakin rendah nilai kekangan beton atau  $Z_m$  akan meningkatkan kuat tekan atau  $P_0$ , dengan kata lain semakin tinggi nilai kekangan beton atau  $Z_m$ , maka kuat tekan yang diterima oleh beton akan menurun. Hal tersebut di atas sesuai dengan penelitian Kent dan Park (1975).

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

- Semakin rapat jarak tulangan transversal yang digunakan maka semakin besar kemampuan kolom dalam menerima beban aksial.



2. Semakin rendah nilai hasil kekangan beton atau  $Z_m$ , maka semakin meningkat pula kemampuan kolom dalam menerima beban aksial
3. Peningkatan  $P_{0-sengkan}$  dipengaruhi oleh variasi jarak tulangan transversal. Sedangkan, CFRP diaplikasikan secara penuh disemua benda uji dan menghasilkan nilai  $P_{0-CFRP}$  yang konstan.

Tarigan, Jimmy Carter dan Barus, Sanci. *Analisis Perbandingan Kolom Beton Bertulang Berbentuk Bulat dan Persegi Menggunakan Carbon Fiber Wrap terhadap Variasi Pembebanan Aksial (Eksperimen)*.

### Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat diberikan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan memberikan tulangan longitudinal pada kolom pendek untuk menambahkan peningkatan kuat tekan aksial pada benda uji.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan lebih dari satu lapis CFRP yang diaplikasikan pada benda uji untuk meningkatkan hasil kuat tekan aksial pada benda uji.

### DAFTAR PUSTAKA

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*.

Maiman, A. 2013. *Carbon fiber reinforced polymer*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-fiber-reinforced\\_polymer](http://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-fiber-reinforced_polymer). (diakses 15 Oktober 2013).

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

Park, R. dan Paulay, T. 1975. *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley and Sons.

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

Sabariman, Bambang; Soehardjo, Agoes; Wisnumurti; Wibowo, Ari; Taviu. 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.