

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

Akhmad Ghazy Reyhan

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

akhmadghazyreyhan@gmail.com

Abstrak

Beton yang tidak terkekang akan berbeda karakteristiknya dengan beton yang terkekang dalam menerima kuat tekan aksial. Selimut beton akan mulai retak apabila kekuatan beton yang tidak terkekang telah mencapai beban maksimal. Pada beton penampang persegi terdapat area yang tidak efektif pengekangannya, area yang tidak efektif tersebut dapat diperkuat dengan CFRP. Jarak antar tulangan transversal juga berpengaruh pada kolom saat menerima beban aksial. Jarak antar tulangan transversal yang renggang akan menyebabkan lemahnya antara inti beton dan selimut beton, sebaliknya jika jarak antar tulangan transversal rapat akan memperkuat inti beton dan selimut beton. Pada penelitian ini akan diaplikasikan CFRP secara penuh pada semua benda uji dengan tiga variasi jarak tulangan transversal tanpa mengamati pengaruh pemakaian tulangan longitudinal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan pada benda uji dalam menerima kuat tekan aksial. Benda uji dengan jarak tulangan transversal 52 mm mengalami peningkatan sebesar 1,05%, benda uji dengan jarak tulangan transversal 36 mm mengalami peningkatan sebesar 18,30%, sedangkan benda uji dengan jarak tulangan transversal 27 mm mengalami peningkatan sebesar 26,05%.

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

Abstract

Unconfined concrete has different characteristics compare to confined concrete for carrying axial compressive strength. Concrete cover cracks when it reaches maximum loads. There are areas that are ineffectively confined on rectangular section concrete, these ineffectively areas can be strengthened by CFRP. The spacing of transverse reinforcement also affects the columns when it is given the axial loads. Bigger spacing causes weakness between the concrete core and concrete cover. Otherwise, smaller spacing strengthens the concrete core and concrete cover. In this study, CFRP will be fully applied to all specimens with three variations of transverse reinforcement spacing without factoring the effect of the longitudinal reinforcement. The study shows an increase on the specimens to carrying the axial compressive strength as the transverse reinforcement spacing gets smaller. The specimens of 52 mm transverse reinforcement spacing increased strength by 1,05%, the specimens of 36 mm transverse reinforcement spacing increased strength by 18,30%, while the specimens of 27 mm transverse reinforcement spacing increased strength by 26,05%.

Keywords: CFRP, Compressive Strength, Transverse Reinforcement Spacing.

PENDAHULUAN

Kolom merupakan bagian penting pada struktur bangunan yang akan merima gaya-gaya yang bekerja dari balok dan akan diteruskan ke pondasi. Bahan penyusun kolom terdiri dari campuran beton dan tulangan baja. Kolom beton bertulang dapat menerima beban lebih besar jika dibandingkan dengan kolom beton tanpa tulangan. Tulangan baja pada kolom terdiri dari dua jenis yaitu tulangan longitudinal yang berfungsi untuk penahan tekan dan tulangan transversal yang berfungsi untuk penahan tegangan lateral pada inti kolom.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa tulangan transversal dapat memperbaiki karakteristik tegangan dan regangan pada beton. Tulangan transversal dapat berbentuk spiral dan persegi sesuai dengan bentuk atau penampang kolom tersebut. Kolom berpenampang bulat menggunakan tulangan transversal spiral dan kolom berpenampang persegi menggunakan

tulangan transversal persegi. Kedua tulangan transversal ini memiliki karakteristik yang berbeda dimana tulangan transversal spiral telah terbukti lebih baik daripada tulangan transversal persegi. Tulangan transversal spiral dapat menyebarkan tekanan aksial yang diterima pada kolom ke semua lingkaran tulangan transversal sama rata sehingga semua inti beton menyatu dan terkekang, sedangkan tulangan transversal persegi hanya dapat mengkekang inti beton dan keempat siku tulangan transversal sehingga keempat sisi bagian tengah beton tidak terkekang dan tidak akan menyatu apabila menerima tekanan aksial yang akan menyebabkan keretakan pada beton.

Perbandingan jarak antar tulangan transversal terhadap dimensi penampang inti beton merupakan variabel yang berpengaruh terhadap 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).

Keretakan atau keruntuhan pada kolom pendek diakibatkan oleh gagalannya material beton itu sendiri maupun tulangnya. Pada kolom pendek dengan tulangan transversal persegi terdapat bagian inti beton kolom yang tidak terkekang sehingga dapat mengakibatkan terjadinya keruntuhan. Inti beton yang tidak terkekang tersebut seharusnya dapat dilakukan perkuatan agar kolom pendek berpenampang persegi tidak mengalami keruntuhan dengan cepat. Apabila inti beton kolom pendek ber penampang persegi telah terkekang oleh tulangan transversal dan mendapatkan perkuatan pada area inti beton yang tidak terkekang, diharapkan kuat tekan pada kolom pendek semakin meningkat.

Keruntuhan pada beton dapat dicegah dengan cara perbaikan atau perkuatan struktur. Perkuatan yang akan dilakukan ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan beton pada struktur yang menurun kekuatannya, sehingga kekuatan beton dapat kembali sesuai dengan kekuatan rencana. Perkuatan struktur yang dapat dilakukan antara lain yaitu perpendekan bentang, pembesaran dimensi, *external prestress*, penambahan pelat baja, dan penambahan *fiber reinforcement polymer*.

Dengan banyaknya beberapa metode perbaikan struktur tersebut, metode penambahan *fiber reinforcement polymer* dengan jenis *carbon* merupakan alternatif metode yang dapat dilakukan karena material ini memiliki mutu yang besar, material yang sangat tipis dan ringan sehingga tidak menambah beban struktur, proses instalasi yang cepat dan mudah, material tidak mudah korosi sehingga lebih tahan lama. Perkuatan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) pada kolom pendek dilakukan untuk memperkuat kolom pendek dalam menerima beban aksial. Kolom pendek tersebut dapat menerima beban aksial lebih besar karena inti beton kolom pendek telah dikekang oleh tulangan transversal dan telah diperkuat lagi oleh CFRP pada bagian inti beton kolom pendek yang tidak terkekang oleh tulangan transversal.

Perkuatan CFRP yang dilakukan pada kolom pendek ini masih menimbulkan pertanyaan berapakah jarak tulangan transversal yang efektif pada kolom pendek berpenampang persegi. Penelitian ini akan meneliti jarak tulangan transversal yang efektif pada kolom pendek berpenampang persegi yang diperkuat CFRP terhadap kemampuan menerima beban aksial, sehingga dapat menambah kekuatan pada inti beton kolom pendek yang sebelumnya hanya diperkuat oleh kekangan tulangan transversal pada inti beton. Kekangan tulangan transversal dan CFRP ini digunakan pada penelitian ini untuk melihat kontribusi murni atau peran dari kekangan beton. Untuk memperjelas arah penelitian terkait kekangan kolom

pendek oleh tulangan transversal dan ditambah perkuatan CFRP, maka penelitian ini mengambil judul “Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Transversal pada Kolom Pendek Penampang Persegi yang Diperkuat CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) terhadap Kemampuan Menerima Kuat Tekan Aksial”.

KAJIAN PUSTAKA

Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi (Edward G. Nawy, 1990).

Berdasarkan ukuran panjang dan pendeknya, kolom dibedakan atas dua macam yaitu kolom panjang, dan kolom pendek. Beban yang bekerja pada kolom panjang, dapat menyebabkan terjadi kegagalan atau keruntuhan kolom akibat kehilangan stabilitas lateral karena bahaya tekuk. Tetapi pada kolom pendek, kehilangan stabilitas lateral karena tekuk ini tidak pernah dijumpai. Jadi kegagalan atau keruntuhan pada kolom pendek sering disebabkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dan atau hancurnya beton) (Asroni, 2010).

Dengan demikian ada suatu transisi dari kolom pendek ke kolom panjang 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. (Edward G Nawy, 1990).

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

kolom diklasifikasikan sebagai kolom pendek,

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

kolom diklasifikasikan sebagai kolom langsing.

Tulangan transversal

Menurut SNI 2847-2013, tulangan transversal atau sengkang adalah tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam komponen struktur, umumnya berbentuk batang, kawat, atau tulangan kawat las baik kaki tunggal atau dibengkok menjadi L, U, atau bentuk persegi dan ditempatkan tegak lurus terhadap atau bersudut terhadap tulangan longitudinal. Luas penampang total tulangan sengkang persegi, A_{sh} , menurut SNI 2847-2013 Pasal 21.6.4.4, tidak boleh kurang dari yang disyaratkan sebagai berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{sb_c f'_c}{f_{yt}} \quad (4)$$

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):

1. Perbandingan antara volume tulangan sengkang terhadap volume penampang inti kolom beton
2. Kuat leleh tulangan Sengkang, karena variabel ini menentukan batas atas dari tekanan pengkang.
3. Perbandingan antara diameter sengkang terhadap panjang sengkang, karena diameter yang lebih besar menghasilkan pengekanan yang lebih efektif
4. Perbandingan jarak antar tulangan sengkang terhadap dimensi penampang inti, karena semakin rapat sengkang akan menambah keefektifan pengekanan
5. Jumlah dan ukuran tulangan longitudinal, karena tulangan ini juga mengekang betonnya
6. 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):

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

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

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.

Menurut Maiman (2013) dalam Petrico (2014), 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.

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 ringan 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. Pengujian tes tarik tulangan transversal dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Brawijaya. 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. Parameter

penelitian ini akan disajikan pada Tabel 1 hingga Tabel 4 dan Gambar 1 hingga Gambar 2 di bawah ini.

Tabel 1. *Mix design*

Material	Volume 0,0752 m ³ (kg/m ³)
Semen	12,11
Air	22,94
Pasir	88,59
Agregat (5-10 mm)	18,65
Agregat (10-20 mm)	39,78
<i>Retarder</i>	0,08
<i>Superplasticizer</i>	0,14

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

Tabel 2. Rincian benda uji

Benda Uji	Dimensi		f_c target (MPa)
	ϕ (mm)	H (mm)	
KM _a	150	300	22,5
KM _b	150	300	22,5
KM _c	150	300	22,5
KM _d	150	300	22,5

(sumber: hasil perhitungan)

Tabel 3. Rincian benda uji

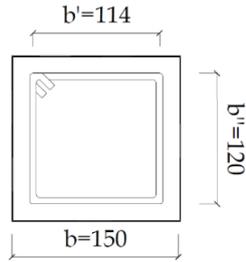
Benda Uji	b=h (mm)	t (mm)	Senggang Persegi		CFRP
			ϕ (mm)	S _h (mm)	
KK _a	150	300	-	-	4 sisi
KK _b	150	300	-	-	4 sisi
KC5 _a	150	300	6	52	4 sisi
KC5 _b	150	300	6	52	4 sisi
KC7 _a	150	300	6	36	4 sisi
KC7 _b	150	300	6	36	4 sisi
KC9 _a	150	300	6	27	4 sisi
KC9 _b	150	300	6	27	4 sisi

(sumber: hasil perhitungan)

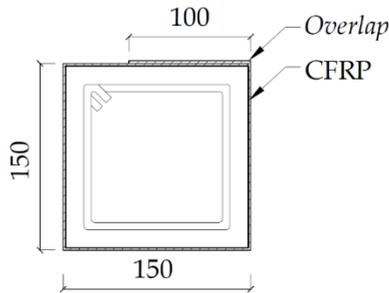
Tabel 4. Perhitungan syarat tulangan transversal

Benda Uji	f_c target (MPa)	f_{yh} (MPa)	A _{sh-1} (syarat)	A _{sh-2} (syarat)	A _{sh} terpasang	Z _m
KK _a	22,5	-	-	-	-	-
KK _b	22,5	-	-	-	-	-
KC5 _a	22,5	529,5	44,745	23,864	56,52	29,365
KC5 _b	22,5	529,5	44,745	23,864	56,52	29,365
KC7 _a	22,5	529,5	30,977	16,521	56,52	17,361
KC7 _b	22,5	529,5	30,977	16,521	56,52	17,361
KC9 _a	22,5	529,5	23,233	12,391	56,52	11,401
KC9 _b	22,5	529,5	23,233	12,391	56,52	11,401

(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:

1. Melakukan penelitian tentang bahan terutama agregat halus dan kasar untuk beton mutu normal sesuai syarat ACI dan ASTM.
2. Membuat rencana *mix design* beton mutu normal.
3. Melakukan uji mutu baja yang akan digunakan sebagai tulangan transversal sebagai pengekang kolom pendek penampang persegi dengan menggunakan mesin tarik baja.
4. Membuat benda uji silinder beton ϕ 150 mm \times 300 mm.
5. Membuat benda uji kolom pendek penampang persegi ukuran 150 mm \times 150 mm \times 300 mm dengan tiga variasi jarak tulangan transversal.
6. Melakukan pembongkaran bekisting kolom pendek penampang persegi setelah proses pengecoran yang telah berumur 24 jam.
7. Melakukan perawatan benda uji kolom pendek penampang persegi dengan cara merendam benda uji selama 28 hari.
8. Setelah 28 hari, benda uji diangkat dan dibiarkan sampai mencapai kering udara.
9. Menempelkan CFRP Sika *Wrap* pada benda uji setelah satu hari pengangkatan benda uji dari perawatan.
10. 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)*.

11. 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:

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji tarik tulangan

Pengujian tarik tulangan terdiri dari dua sampel (bagian ujung dan tengah tulangan) berdiameter 6 dengan panjang 20 cm. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Brawijaya dan didapatkan $f_y = 529,5$ MPa.

Uji tekan benda uji

Hasil pengujian benda uji terdiri dari hasil tes tekan silinder beton (f'_c) yang telah berumur 28 hari dan benda uji kolom pendek. Hasil pengujian tes tekan silinder beton (f'_c) disajikan pada Tabel 5 dan hasil pengujian benda uji kolom pendek disajikan pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil tes tekan silinder beton

No	Kode Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Rerata (MPa)
1	KM _a	26,18	25,01
2	KM _b	26,35	
3	KM _c	21,18	
4	KM _d	26,33	

(sumber: hasil tes)

Tabel 6. Hasil tes tekan benda uji

No	Kode Benda Uji	P ₀ (N)	Rerata (N)
1	KK _a	670000	710000
	KK _b	750000	
2	KC5 _a	610000	717500
	KC5 _b	825000	
3	KC7 _a	890000	840000
	KC7 _b	790000	
4	KC9 _a	910000	895000
	KC9 _b	880000	

(sumber: hasil tes)

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.

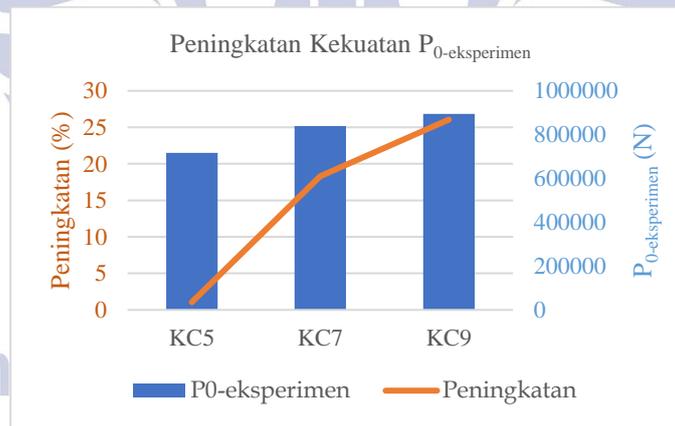
Peningkatan kekuatan P₀

Hasil tes tekan dari benda uji di laboratorium yang menghasilkan nilai P₀ pada penelitian ini akan dibandingkan nilai P₀nya dengan benda uji kontrol, dimana benda uji kontrol tersebut adalah benda uji tanpa tulangan transversal dan memakai CFRP penuh. Ketiga benda uji dengan tiga variasi jarak tulangan akan dihitung besar nilai peningkatan yang terjadi pada saat pengujian tes tekan. Besar peningkatan kekuatan nilai P₀ akibat pengaplikasian CFRP secara penuh dan penggunaan tiga variasi jarak tulangan transversal tersebut akan ditabelkan pada Tabel 7 dan grafik pada Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 7. Peningkatan kekuatan P₀ eksperimen

No.	Benda Uji	CFRP	Tulangan transversal (buah)	Jarak tulangan transversal (mm)	P ₀ -eksperimen (N)	Peningkatan (%)
1	KK	Penuh	-	-	710000	-
2	KC5	Penuh	6	52	717500	1,05
3	KC7	Penuh	8	36	840000	18,30
4	KC9	Penuh	10	27	895000	26,05

(sumber: hasil perhitungan)



Gambar 3. Peningkatan kekuatan P₀ eksperimen

(sumber: hasil perhitungan)

Pengaruh variasi jarak tulangan transversal

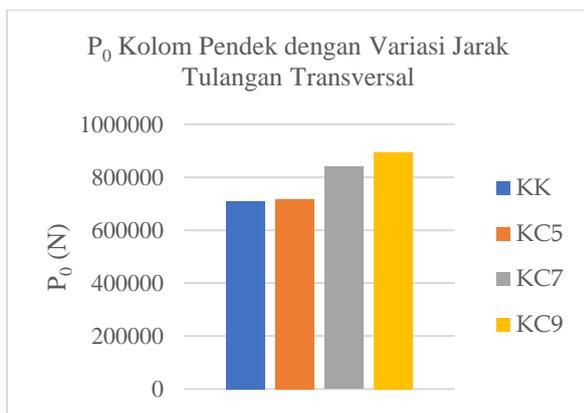
Peningkatan nilai P₀ benda uji pada penelitian ini dengan tiga variasi jarak tulangan transversal pada kolom pendek yang diperkuat CFRP secara penuh dengan dibandingkan benda uji kontrol tanpa tulangan transversal dan diperkuat CFRP secara penuh adalah sebagai berikut:

- Benda uji KK tanpa tulangan transversal mampu menerima P₀ sebesar 710000 N, setelah ditambah tulangan transversal sebanyak 6 buah dengan jarak 52 mm mampu menerima P₀ sebesar 717500 N.
- Benda uji KK tanpa tulangan transversal mampu menerima P₀ sebesar 710000 N, setelah ditambah

tulangan transversal sebanyak 8 buah dengan jarak 36 mm mampu menerima P_0 sebesar 840000 N.

- c. Benda uji KK tanpa tulangan transversal mampu menerima P_0 sebesar 710000 N, setelah ditambah tulangan transversal sebanyak 10 buah dengan jarak 27 mm mampu menerima P_0 sebesar 895000 N.

Berdasarkan hasil peningkatan nilai eksperimen di atas, dapat dilihat bahwa semakin rapat jarak tulangan transversal maka akan semakin meningkatkan kuat tekan pada benda uji. Hasil nilai P_0 -eksperimen tersebut dapat disajikan dalam bentuk diagram batang seperti Gambar 4 di bawah ini.



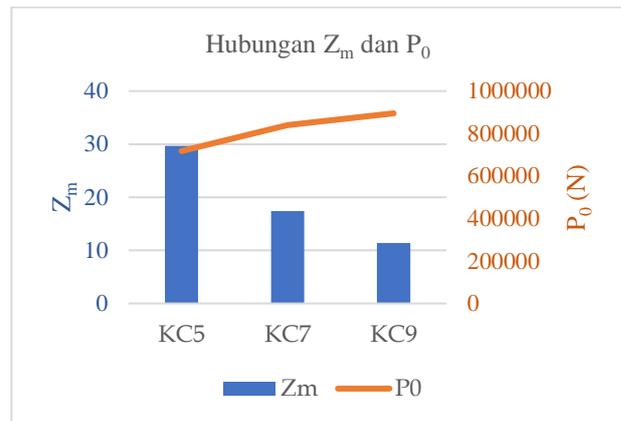
Gambar 4. P_0 dengan variasi jarak tulangan transversal (sumber: hasil tes)

Pengaruh nilai kekangan beton

Penggunaan variasi jarak tulangan transversal sebagai kekangan internal dan pemasangan CFRP sebagai kekangan eksternal dapat meningkatkan kemampuan P_0 . Hal ini dapat terlihat dari perhitungan nilai kekangan beton atau Z_m . Perhitungan Z_m pada penelitian ini memakai teori dari Kent dan Park *Modified* (Scott, 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 dan mampu menerima P_0 sebesar 717500 N..
- Benda uji KC7 memakai 8 buah tulangan dengan jarak 36 mm dan memakai CFRP penuh menghasilkan nilai kekangan beton Z_m yaitu 17,434 dan mampu menerima P_0 sebesar 840000 N.
- Benda uji KC9 memakai 10 buah tulangan dengan jarak 27 mm dan memakai CFRP penuh menghasilkan nilai kekangan beton Z_m yaitu 11,422 dan mampu menerima P_0 sebesar 895000 N.

Dari data di atas, dapat dijadikan diagram hubungan antara nilai Z_m dengan P_0 yang tampak pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hubungan Z_m dengan P_0 (sumber: hasil perhitungan)

Berdasarkan data di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar jarak tulangan transversal atau S_h , akan menghasilkan nilai kekangan beton atau Z_m yang besar pula namun P_0 yang dapat diterima semakin kecil. Sebaliknya, semakin kecil jarak tulangan transversal atau S_h , akan menghasilkan nilai kekangan beton atau Z_m yang kecil pula namun P_0 yang dapat diterima semakin besar. Hal tersebut di atas sesuai dengan penelitian Kent dan Park (1975), dimana dalam penelitiannya menunjukkan bahwa nilai Z_m yang kecil akan meningkatnya kemampuan beton. Peningkatan kemampuan beton yang dimaksud dalam penelitian ini khususnya untuk menerima kuat tekan aksial.

SIMPULAN

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

- Akibat pengaplikasian CFRP secara penuh dan penggunaan tiga variasi jarak tulangan transversal, mengakibatkan benda uji mengalami peningkatan kekuatan masing-masing sebesar 1,05%, 18,30%, dan 26,05%.
- Semakin rapat jarak tulangan transversal yang digunakan pada benda uji, akan semakin meningkatkan kuat tekan aksial pada benda uji. Benda uji KC5 dengan jarak tulangan transversal 52 mm menerima P_0 sebesar 717500 N, benda uji KC7 dengan jarak tulangan transversal 36 mm menerima P_0 sebesar 840000 N, dan benda uji KC9 dengan jarak tulangan transversal 27 mm menerima P_0 sebesar 895000 N.
- Semakin rendah nilai kekangan beton atau Z_m , semakin meningkatkan kuat tekan aksial pada benda uji. Benda uji KC5 dengan nilai kekangan beton 29,643 menerima menerima P_0 sebesar 717500 N, benda uji KC7 dengan nilai kekangan beton 17,434 menerima P_0 sebesar 840000 N, dan benda uji KC9 menerima P_0 sebesar 895000 N.

dengan nilai kekangan beton 11,422 menerima P_0 sebesar 895000 N.

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

