

PEMODELAN SILINDER BETON DENGAN KEKANGAN CFRP (CARBON FIBER REINFORCED POLYMER)

Bagas Dwi Cahyo¹ dan Nursiah Chairunnisa¹

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
Jalan Jenderal A. Yani Km.36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia

ABSTRACT

Confinement plays an important role in preventing cracking and premature shear failure, increasing the compressive strength and increasing the ductility of the element. One of the most efficient retrofitting methods is the reinforcement method with external restraints using high quality materials. Based on previous research, the use of external restraints using high quality materials can be in the form of steel wire mesh and wire rope restraints, and high-quality fiber such as CFRP (carbon fiber reinforced polymer). In this research, a study will be conducted to determine the effect of CFRP confinement reinforcement on a concrete cylinder that will be modeled with finite element software. The dimensions of the concrete cylinder used have a height of 300 mm and a diameter of 150 mm. The concrete cylinder is reinforced with CFRP with a thickness variation of 0.5 mm; 0.7 mm; and 1 mm respectively, namely SC.1.05-F, SC.1.07-F, SC.1.10-F. Then the samples with variations in the number of layers of 1 layer, 2 layers, and 3 layers respectively are SC.1.10-F, SC.2.10-F, SC.3.10-F. The last is the sample with a variety of full wrap installation configurations, CFRP with a width of 30 mm with a spacing of 50 mm, and CFRP with a width of 50 mm with a spacing of 50 mm, respectively, namely SC.1.10-F, SC.1.10-T3, and SC.1.10-T5. From the results of the analysis, it can be concluded that CFRP is able to increase the compressive strength of the sample with each increase in the compressive strength capacity of the test object compared to the Control Cylinder (SK). Based on the results of the analysis for all samples SC.1.10-T3, SC.1.10-T5, SC.1.05-F, SC.1.07-F, SC.1.10-F, SC.2.10-F and SC.3.10-F respectively of 10.79%; 25.24%; 33.66%; 39.50%; 49.85%; 78.21%, and 94.5%.

Keywords: Concrete Cylinder, External Confinement, CFRP

ABSTRAK

Kekangan memainkan peran yang penting dalam mencegah retak dan kegagalan geser dini, meningkatkan kuat tekan serta meningkatkan daktilitas elemen. Salah satu metode perkuatan yang paling efisien yaitu metode perkuatan dengan kekangan eksternal menggunakan material mutu tinggi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan kekangan eksternal menggunakan material mutu tinggi dapat berupa kekangan baja *wire mesh* dan *wire rope*, dan *fiber* mutu tinggi seperti CFRP (*carbon fiber reinforced polymer*). Dalam penelitian ini akan dilakukan kajian untuk mengetahui pengaruh perkuatan kekangan CFRP terhadap silinder beton yang akan dimodelkan dengan perangkat lunak elemen hingga. Dimensi silinder beton yang digunakan memiliki tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Silinder beton diberikan perkuatan CFRP dengan variasi ketebalan 0,5 mm; 0,7 mm; dan 1 mm secara berurutan yaitu SC.1.05-F, SC.1.07-F, SC.1.10-F. Kemudian sampel dengan variasi jumlah lapisan 1 lapis, 2 lapis, dan 3 lapis secara berurutan yaitu SC.1.10-F, SC.2.10-F, SC.3.10-F. Terakhir adalah sampel dengan variasi konfigurasi pemasangan *full wrap*, CFRP selebar 30 mm dengan spasi 50 mm, dan CFRP selebar 50 mm dengan spasi 50 mm secara berurutan yaitu SC.1.10-F, SC.1.10-T3, dan SC.1.10-T5. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa CFRP mampu memberi penambahan kuat tekan pada sampel dengan masing masing peningkatan kapasitas kuat tekan untuk benda uji dibandingkan dengan Silinder Kontrol (SK). Berdasarkan hasil analisis untuk semua sampel SC.1.10-T3, SC.1.10-T5, SC.1.05-F, SC.1.07-F, SC.1.10-F, SC.2.10-F dan SC.3.10-F secara berurutan sebesar 10,79%; 25,24%; 33,66%; 39,50%; 49,85%; 78,21%, dan 94,5%.

Kata Kunci : Silinder Beton, Kekangan Eksternal, CFRP

Correspondence: Bagas Dwi Cahyo

Email: bagasdwitjahjo97@gmail.com

1 PENDAHULUAN

Untuk menjaga ataupun meningkatkan kekuatan fungsi struktur beton, maka diperlukan perkuatan terhadap struktur tersebut dengan cara memperbesar dimensi struktur, menambah jumlah tulangan struktur, memberi kekangan baja pada struktur (*steel jacketing*), memberi kekangan beton baru dengan tulangan kepada struktur (*concrete jacketing*), dan atau dengan memberi kekangan eksternal CFRP (*carbon fiber reinforced polymer*). CFRP memiliki kuat tarik yang besar, dan mudah untuk diaplikasikan sehingga meminimalisir jumlah pekerja yang diperlukan, dan akan berdampak pada penghematan yang signifikan pada biaya keseluruhan suatu proyek pembangunan. Metode analisis yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan elemen struktur pada umumnya adalah metode pengujian eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Namun dengan kemajuan teknologi saat ini, pengujian eksperimental tersebut dapat dilakukan dengan metode alternatif, yaitu menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* komputer.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Kadir dkk., (2016) melakukan studi untuk mengetahui pengaruh kombinasi dari kekangan

eksternal *wire rope* dan *wire mesh* terhadap kuat tekan silinder beton. Hasil dari pengujian tekan spesimen tersebut menunjukkan bahwa tegangan puncak meningkat seiring dengan semakin rapatnya spasi kekangan *wire rope*.

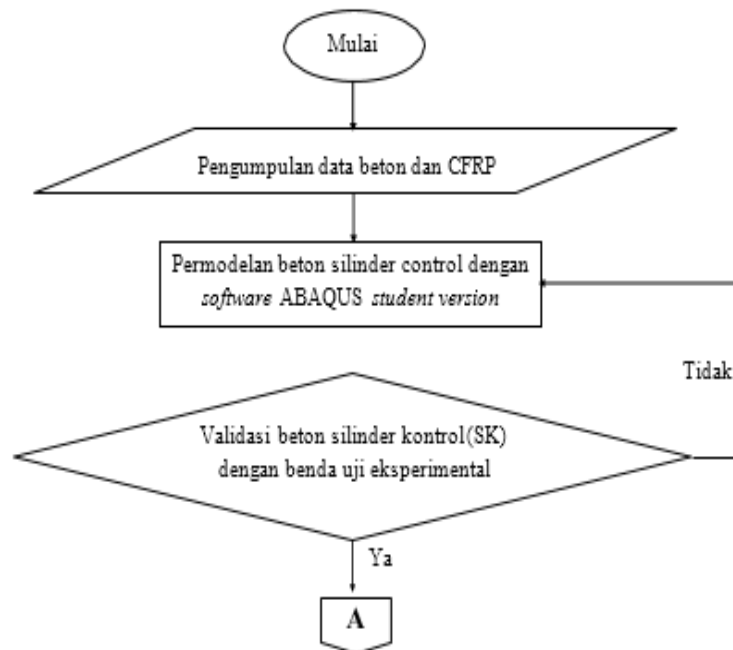
Dalam penelitian Sathwik dkk., (2019) penggunaan perkuatan CFRP *wrap* pada beton silinder dengan ketebalan 0,5 m sebanyak 1 lapis mampu menghasilkan peningkatan kekuatan beton sebesar 54,7% dari beton polos tanpa perkuatan CFRP.

Achmad dkk., (2016) berdasarkan penelitiannya perkuatan CFRP dengan variasi konfigurasi pemasangan CFRP, selebar 20 mm (T2), 30 mm (T3), 50 mm (T5), dan pemasangan CFRP secara penuh (TF) mampu menghasilkan peningkatan kekuatan beton sebesar 2,12%; 8,64%; 17,33%; dan 32,54%, dari beton polos tanpa perkuatan CFRP

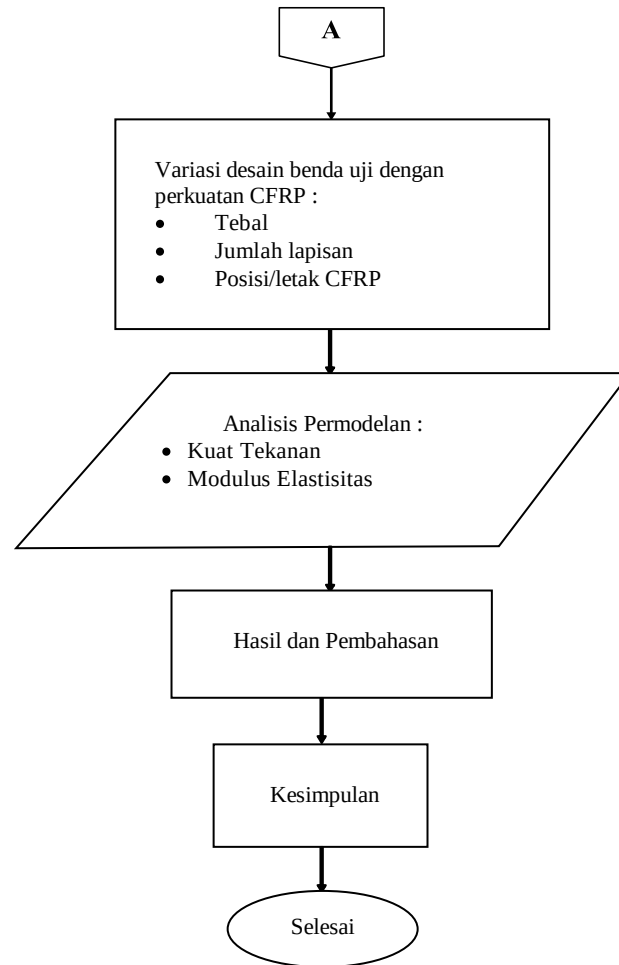
Benzaid dkk., (2010) berdasarkan penelitiannya perkuatan CFRP dengan variasi lapisan CFRP 1 lapis, dan 3 lapis yang dipasang penuh menyelimuti seluruh selimut beton mampu menghasilkan peningkatan kuat tekan berturut-turut sebesar 52,84% dan 155,07%.

3 METODOLOGI

3.1 Alur penelitian



Gambar 3.1. Alur Penelitian



Gambar 3.2. Alur Penelitian (lanjutan)

3.2 Metode Pengolahan Data Eksperimental

Untuk mendefinisikan perilaku beton pada perangkat lunak, maka data eksperimental hasil pengujian sifat mekanis spesimen beton seperti modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik, dan regangan beton harus dimasukkan ke dalam perangkat lunak. Pada penelitian ini menggunakan data eksperimental dari pengujian tegangan tekan (σ_c) dan regangan (ϵ_c). Dari data tersebut kemudian dapat diketahui parameter regangan tekan inelastis $\epsilon_c^{in,h}$ dan indeks kerusakan tekan (d_c) dari spesimen beton tersebut menggunakan Persamaan 3.1-3.2.

$$\epsilon_c^{in,h} = \epsilon_c - \epsilon_{oc}^{el} \quad (3.1)$$

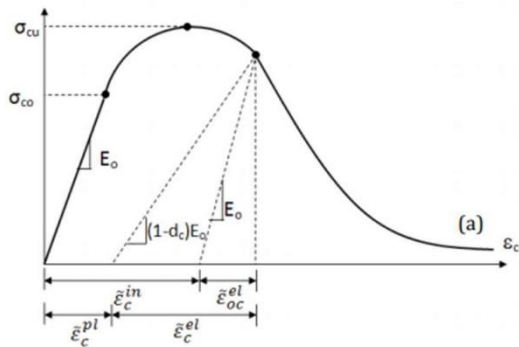
$$\epsilon_{oc}^{el} = \frac{C5_c}{E_o} \quad (3.2)$$

Dimana ϵ_{oc}^{el} merupakan regangan elastis yang bersesuaian dengan nilai tegangan total (ϵ_c) (Schaper, 2011). Indeks kerusakan tekan (d_c) akan semakin meningkat seiring dengan membesarnya nilai regangan inelastis beton ($\epsilon_c^{in,h}$). Indeks kerusakan tekan memiliki nilai rentang dari 0 (tidak ada kerusakan) sampai dengan 1 (hancur) (Alfarah dkk., 2017). Nilai tersebut didapat berdasarkan selisih rentang kerusakan maksimum dengan rasio antara tegangan tekan (σ_c) dan tegangan ultimit beton (σ_{cu}) (Hafezolghorani dkk., 2017).

Properti kerusakan beton dihitung menggunakan Persamaan 3.3.

$$d_c = 1 - \frac{C5_c}{C5_{cu}} \quad (3.3)$$

Hubungan antara tegangan dan regangan beton dengan properti kerusakan tekan ditunjukkan pada Gambar 3.2-3.3.



Gambar 3.2. Ketentuan hubungan tegangan dan regangan tekan (Schaper, 2011)

Untuk mengetahui apakah permodelan

spesimen beton silinder yang dibuat benar, maka pada penelitian ini data sifat mekanis yang di-input ke dalam permodelan adalah data pengujian eksperimental sifat mekanis dari penelitian terdahulu oleh Chairunnisa, (2009), seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data tegangan-regangan eksperimental (Chairunnisa, 2009)

No.	σ (MPa)	ε (mm/mm)	No.	σ (MPa)	ε (mm/mm)
1	0.97	0.00002	10	23.95	0.00131
2	4.34	0.00016	11	25.11	0.00144
3	7.47	0.00029	12	26.43	0.00164
4	8.95	0.00036	13	27.51	0.00200
5	11.75	0.00049	14	27.45	0.00217
6	14.92	0.00066	15	26.29	0.00250
7	17.02	0.00078	16	23.60	0.00284
8	19.09	0.00091	17	21.74	0.00301
9	21.78	0.00111	18	19.53	0.00318

a) Menghitung modulus elastisitas (E_o)

Dengan interpolasi data maka parameter S_1 (tegangan saat regangan 0,00005) dan ε_2

f'_{cu} (tegangan tekan maksimum) = 27,51 MPa
 S_2 (tegangan tekan 40% tegangan maksimum) = 40% f'_{cu} = 11,00 MPa
 S_1 (besar tegangan saat regangan 0,00005) = 1,67 MPa
 ε_2 (regangan saat 40% tegangan maksimum) = 0,00045

Dari parameter-parameter tersebut maka modulus elastisitas spesimen eksperimental dapat ditentukan.

$$E_o = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005}$$

(regangan tekan saat 40% dari tegangan maksimum) dapat diketahui sehingga dan modulus elastisitas dapat dihitung.

$$= \frac{11 - 1,67}{0,00045 - 0,00005} = 23127.65 \text{ MP}$$

b) Menghitung parameter perilaku kerusakan tekan beton.

Sebelum menghitung regangan inelastis, maka dicari terlebih dahulu parameter regangan elastis (ϵ_{oc}^{el}). Sebagai contoh diambil data tegangan-regangan Tabel 3.2 pada nomor (14), dimana $\sigma_c = 27,45$ MPa dan $\epsilon_c = 0,00217$.

$$\epsilon_{oc}^{el} = \frac{C5_c}{E_o} = \frac{27,45}{23127,65}$$

$$\epsilon_c^{in,h} = \epsilon_c - \epsilon_{oc}^{el} = 0,00119$$

Setelah didapat regangan elastis beton, lanjutkan perhitungan regangan inelastis menggunakan Persamaan 3.1.

$$\begin{aligned} \epsilon_c^{in,h} &= \epsilon_c - \epsilon_{oc}^{el} \\ &= 0,00217 - 0,00119 = 0,00098 \end{aligned}$$

Parameter kerusakan beton dihitung berdasarkan Persamaan 3.3, dimana σ_{cu} adalah tegangan maksimum beton.

$$d_c = 1 - \frac{\sigma_c}{\sigma_{cu}} = 1 - \frac{27,45}{27,51} = 0,002$$

Hasil perhitungan masih perlu disesuaikan agar bisa dijalankan dalam program Abaqus. Caranya yaitu dengan menghapus data yang memiliki regangan inelastis bernilai negatif, sisakan data dengan regangan inelastis negatif yang memiliki tegangan terbesar, lalu ubah regangan inelastisnya menjadi 0. Setelah itu nilai nilai parameter kerusakan yang terjadi sebelum f'_c atau σ_{cu} ubah menjadi 0. Data parameter kerusakan beton yang telah dirapikan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.1. Data final parameter kerusakan beton

No.	o (MPa)	ϵ	$\epsilon_c^{in,h}$	d_c	No.	o (MPa)	ϵ	$\epsilon_c^{in,h}$	d_c
5	11,75	0,00051	0	0	12	26,43	0,00114	0,00050	0
6	14,92	0,00065	0,00001	0	13	27,51	0,00119	0,00081	0
7	17,02	0,00074	0,00004	0	14	27,45	0,00119	0,00098	0,002
8	19,09	0,00083	0,00009	0	15	26,29	0,00114	0,00136	0,044
9	21,78	0,00094	0,00017	0	16	23,60	0,00102	0,00182	0,142
10	23,95	0,00104	0,00028	0	17	21,74	0,00094	0,00207	0,210
11	25,11	0,00109	0,00036	0	18	19,53	0,00084	0,00233	0,290

Setelah divalidasi bahwa hasil analisa program menggunakan data eksperimental tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan, maka pemodelan sudah benar dan kemudian data sifat mekanis pemodelan spesimen yang digunakan dilanjutkan dengan menggunakan data dari penelitian Rada, (2018) yang memiliki referensi lebih detail.

3.3 Material property specimen

Parameter-parameter tersebut didapat berdasarkan hasil penelitian eksperimental terdahulu terdahulu oleh Rada, (2018), yang dapat dilihat pada Tabel 3.4-3.11.

Tabel 3.1. Material Properti beton (Rada, 2018)

Berat isi (ton/mm ³)	Modulus elastisitas (MPa)	Rasio poisson
2,4 x 10 ⁻⁹	24870	0,18

Tabel 3.2. Concrete damage plasticity (CDP) (Rada, 2018)

Dilation angle (°)	eccentricity	f_b/f_{c0}	K	Viscosity
30	0.1	1.16	0.67	0.005

Tabel 3.3. Hubungan tegangan tekan-regangan *inelastic* beton (Rada, 2018)

No.	σ_c (MPa)	$\epsilon_c^{in,h}$ (mm/mm)	No.	σ_c (MPa)	$\epsilon_c^{in,h}$ (mm/mm)
1	11,47	0	7	28,23	0,00209
2	17,67	0,00039	8	25,54	0,00259
3	21,01	0,00061	9	14,34	0,00354
4	26,05	0,00109	10	6,05	0,00459
5	28,48	0,00159	11	3,49	0,00559
6	28,69	0,00179	12	0,94	0,00959

Tabel 3.4. Parameter kerusakan tekan beton (Rada, 2018)

No.	d_c	$\epsilon_c^{in,h}$ (mm/mm)	No.	d_c	$\epsilon_c^{in,h}$ (mm/mm)
1	0	0	7	0,02	0,00209
2	0	0,00039	8	0,11	0,00259
3	0	0,00061	9	0,5	0,00354
4	0	0,00109	10	0,79	0,00459
5	0	0,00159	11	0,88	0,00559
6	0	0,00179	12	0,97	0,00959

Tabel 3.5. Hubungan tegangan-regangan *inelastic* tarik beton (Rada, 2018)

No.	σ_t (MPa)	$\epsilon_t^{in,h}$ (mm/mm)	No.	σ_t (MPa)	$\epsilon_t^{in,h}$ (mm/mm)
1	1.89742	0	6	1.34192	0.00039
2	2.10852	0.00008	7	1.01349	0.00052
3	1.99877	0.00013	8	0.79454	0.00061
4	1.94403	0.00015	9	0	0.00093
5	1.82213	0.0002			

Tabel 3.6. Parameter kerusakan tarik beton (Rada, 2018)

No.	d_t	$\epsilon_t^{in,h}$ (mm/mm)	No.	d_t	$\epsilon_t^{in,h}$ (mm/mm)
1	0	0	6	0.36	0.00039
2	0	0.00008	7	0.52	0.00052
3	0.05	0.00013	8	0.62	0.00061
4	0.08	0.00015	9	0.99	0.00093
5	0.14	0.0002			

Tabel 3.7. Spesifikasi material CFRP He dkk., (2014) & Sathwik dkk., (2020)

Deskripsi	Nilai
Modulus Elastisitas (E)	
E ₁	230000 N/mm ²
E ₂	10000
E ₃	10000
Berat jenis	1,8 x 10 ⁻⁹ ton/mm ³
Modulus Geser (G)	
G ₁₂ = G ₁₃	4500 N/mm ²
G ₂₃	3000 N/mm ²
Rasio Poisson	0,3

Tabel 3.8. Hashin damage CFRP He dkk., (2014) & Sathwik dkk., (2020)

Deskripsi	Nilai	Satuan
Longitudinal tensile strength	4900	MPa
Longitudinal compressive strength	1000	MPa
Transverse tensile strength	84	MPa
Transverse compressive strength	250	MPa
Longitudinal shear strength	60	MPa
Transverse shear strength	60	MPa

3.4 Perancangan Model

Pemodelan spesimen pada penelitian ini adalah berupa beton silinder dengan diameter 150 mm

dan tinggi 300 mm. Pada penelitian ini, variasi spesimen yang dimodelkan dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12 . Spesimen uji dengan variasi ketebalan dan jumlah lapisan CFRP

No	Spesimen	Jumlah lapisan CFRP	Ketebalan tiap lapisan (mm)
1	SK (Kontrol)	-	-
2	SC.1.05-F	1	0,5
3	SC.1.07-F	1	0,7
4	SC.1.10-F	1	1,0
5	SC.2.05-F	2	1,0
6	SC.3.05-F	3	1,0
7	SC.1.05-T3	1	1,0
8	SC.1.05-T5	1	1,0

Keterangan:

SK = Beton silinder polos tanpa kekangan CFRP

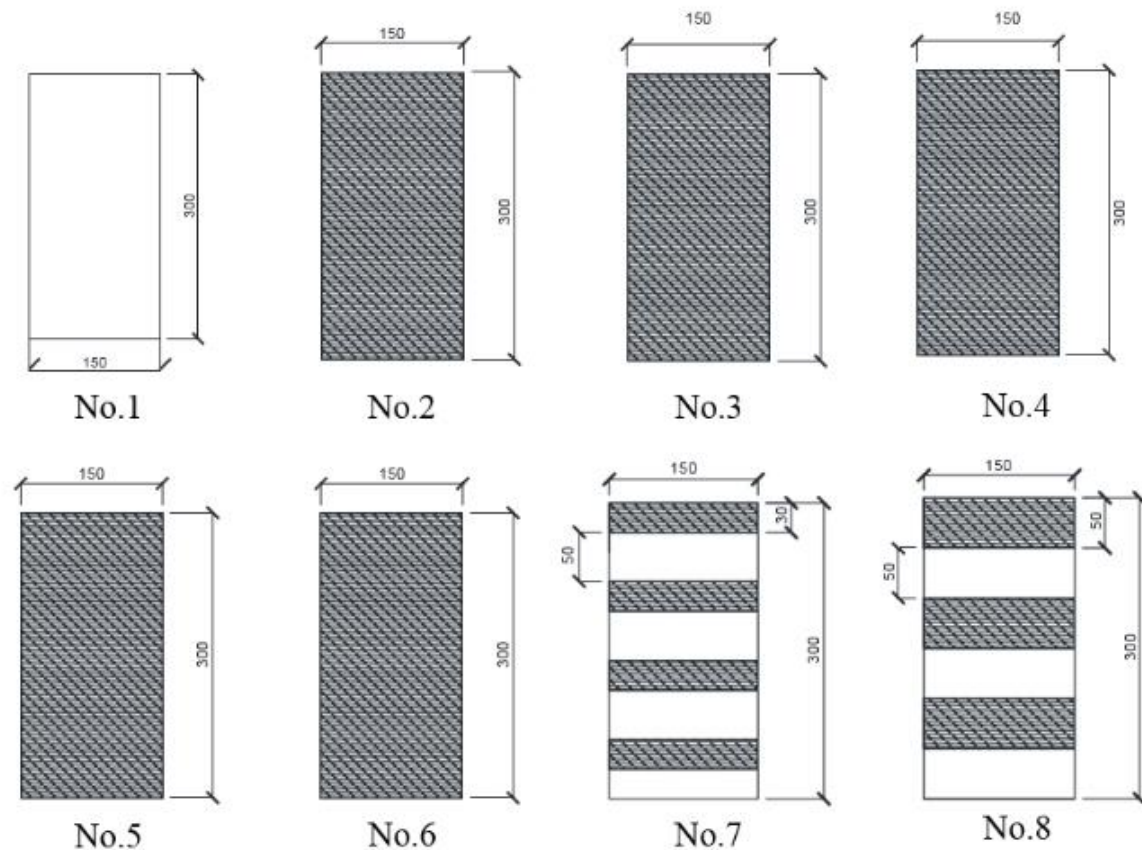
SC.a.b-F/T3/T5

SC = Beton silinder dengan kekangan CFRP a= Jumlah lapisan CFRP

b = Ketebalan CFRP

F = *full wrapped* (menyelubungi seluruh spesimen)

T3 = Menyelubungi selebar 30 mm dengan spasi 50 mm T5= Menyelubungi selebar 50 mm dengan spasi 50 mm



Gambar 3.3. Spesimen Beton Silinder dengan variasi perkuatan CFRP

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kapasitas Beban Maksimum Spesimen

Besaran beban maksimum yang mampu diterima setiap spesimen sampai mengalami

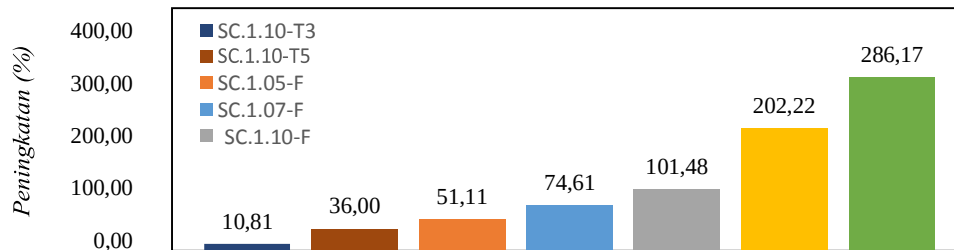
kehancuran maksimum dicapai dengan nilai yang beragam. Besaran beban maksimum dalam bentuk *pressure* dan gaya yang mampu diterima setiap spesimen dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Rekapitulasi beban maksimum specimen

Spesimen	<i>Pressure</i> (MPa)	<i>Load P</i> (kN)
SK	29,78	526
SC.1.05-F	45,00	795
SC.1.07-F	52,00	919
SC.1.10-F	60,00	1.060
SC.2.10-F	90,00	1.590
SC.3.10-F	115,00	2.032
SC.1.10-T3	33,00	583
SC.1.10-T5	40,50	716

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa spesimen yang mengalami peningkatan kapasitas terhadap spesimen kontrol (SK) yang terbesar sampai terkecil adalah spesimen SC.3.10-F, SC.2.10-F, SC.1.10-F, SC.07.10-F, SC.05.10-

F, SC.1.10-T5, dan SC.1.10-T3. Masing-masing persentase peningkatan kapasitas kuat tekan semua spesimen terhadap spesimen kontrol (SK) dapat dilihat pada Gambar 4.1.

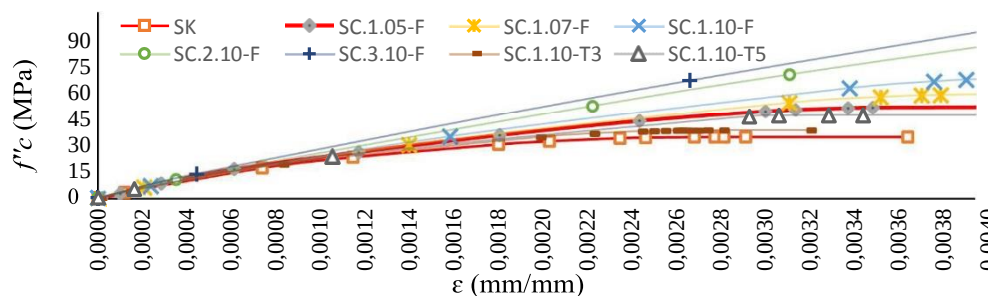


Gambar 4.1. Persentase peningkatan beban maksimum specimen

4.2. Hubungan Tegangan-Regangan Spesimen

Dari hasil reaksi terhadap pembebanan

menghasilkan output tegangan dan regangan spesimen. Output hubungan tegangan dan regangan semua spesimen tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1. Rekapitulasi hubungan tegangan dan regangan specimen

Berdasarkan grafik hubungan tegangan-regangan spesimen pada Gambar 4.2 maka

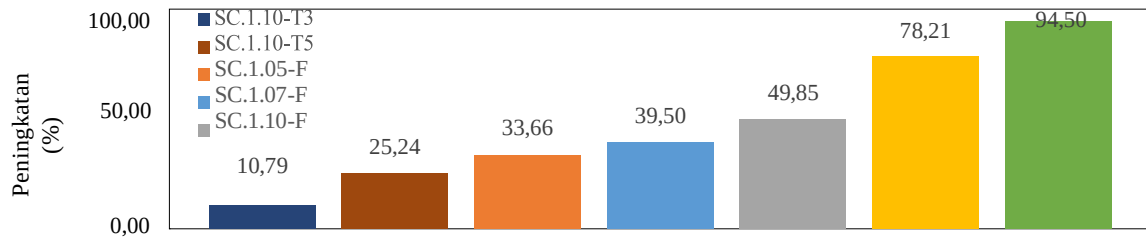
didapat rekapitulasi kuat tekan semua spesimen yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Rekapitulasi kuat tekan specimen

Spesimen	f'_c (MPa)
SK	29,43
SC.1.05-F	39,34
SC.1.07-F	41,06
SC.1.10-F	44,11
SC.2.10-F	52,45
SC.3.10-F	57,25
SC.1.10-T3	32,61
SC.1.10-T5	36,86

Berdasarkan hasil rekapitulasi kuat tekan semua spesimen maka didapat persentase peningkatan

semua spesimen terhadap spesimen kontrol yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Rekapitulasi hubungan tegangan dan regangan specimen

4.3. Pengaruh Kekangan CFRP Terhadap Kuat Tekan

CFRP terhadap peningkatan kuat tekan beton, maka dianalisis spesimen diantaranya ditunjukkan pada Tabel 4.3.

a) Pengaruh ketebalan CFRP terhadap kuat tekan specimen

Untuk mengetahui pengaruh ketebalan

Tabel 4.3. Pengaruh ketebalan CFRP (Abaqus student version)

Spesimen	Tebal CFRP (mm)	Jumlah Layer	Pemasangan	Peningkatan kuat tekan (%)
SC.1.05-F	0,5	1	<i>full-wrapped</i>	33,66
SC.1.07-F	0,7	1		39,50
SC.1.10-F	1	1		49,85

b) Pengaruh jumlah lapisan CFRP terhadap kuat tekan beton

CFRP terhadap peningkatan kuat tekan beton, maka dianalisis spesimen diantaranya ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Untuk mengetahui pengaruh jumlah lapisan

Tabel 4.4. Pengaruh jumlah lapisan CFRP (Abaqus student version)

Spesimen	Tebal CFRP (mm)	Jumlah Layer	Pemasangan	Peningkatan kuat tekan (%)
SC.1.10-F	1	1	<i>full-wrapped</i>	49,85
SC.2.10-F	1	2		78,21
SC.3.10-F	1	3		94,50

Untuk mengetahui pengaruh letak pemasangan CFRP terhadap peningkatan kuat tekan beton serta efisiensi pemakaian CFRP terhadap

pemasangan *fullwrap*, maka dianalisis spesimen dengan variasi posisi CFRP diantaranya ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.2. Pengaruh konfigurasi pemasangan CFRP (Abaqus student version)

Spesimen	Tebal CFRP (mm)	Jumlah Layer	Pemasangan		Peningkatan kuat tekan (%)	Luasan CFRP (mm ²)	Efisiensi CFRP
			Lebar CFRP (mm)	Spasi (mm)			
SC.1.10-F	1	1	<i>full-wrapped</i>		49,85	282,74	-
SC.1.10-T5	1	1	50	50	25,24	141,37	50
SC.1.10-T3	1	1	30	50	10,79	113,10	60

4.4. Rekomendasi Model Perkuatan

Apabila dilihat dari segi efisiensi konfigurasi pemasangan guna menghemat penggunaan bahan CFRP, maka model perkuatan yang disarankan adalah model perkuatan dengan pemasangan CFRP selebar 50 mm dengan spasi selebar 50 mm (SC.1.10-T5), yang mana mampu memberi peningkatan kekuatan sebesar 25,24% dari spesimen kontrol lebih, melebihi dari hasil perkuatan yang dihasilkan oleh spesimen SC.1.10-T3. Selain itu spesimen SC.1.10-T5 juga menghemat pemakaian CFRP sebesar 50% dari pemakaian CFRP secara *fullwrap* yang mana tidak jauh berbeda dengan spesimen SC.1.10-T3.

- c) Peningkatan kuat tekan spesimen berbanding lurus dengan total luasan CFRP yang memperkuat specimen. Peningkatan kuat tekan spesimen dengan perkuatan CFRP berdasarkan variasi konfigurasi pemasangan CFRP dengan lebar CFRP 30 mm (SC.1.10-T3), 50 mm (SC.1.10-T5) dan *full wrap* (SC.1.10-F) terhadap spesimen kontrol secara berturut-turut adalah 10,79%; 25,24%; dan 49,85%.
- d) Berdasarkan efisiensi konfigurasi pemasangan CFRP agar menghemat pemakaian CFRP, tipe perkuatan CFRP yang digunakan adalah CFRP selebar 50 mm dengan spasi 50 mm (SC.1.10-T5) karena mampu meningkat kuat tekan specimen sebesar 25,24% sekaligus menghemat pemakaian CFRP sebesar 50% dari pemasangan *fullwrap* (SC.1.10-F).

5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a) Peningkatan kuat tekan spesimen berbanding lurus dengan ketebalan CFRP yang digunakan. Peningkatan kuat tekan spesimen dengan perkuatan CFRP berdasarkan variasi ketebalan 0,5 mm (SC.1.05-F); 0,7 mm (SC.1.07-F); dan 1 mm (SC.1.10-F) terhadap spesimen kontrol secara berturut-turut adalah 33,66%; 39,50%; dan 49,85%.
- b) Peningkatan kuat tekan spesimen berbanding lurus dengan jumlah lapisan CFRP yang digunakan. Peningkatan kuat tekan spesimen dengan perkuatan CFRP berdasarkan variasi jumlah lapisan CFRP 1 lapis (SC.1.10-F), 2 lapis (SC.2.10-F), dan 3 lapis (SC.3.10-F) terhadap spesimen kontrol secara berturut-turut adalah 49,85%; 78,21%; dan 94,5%.

5.2 Saran

- a) Disarankan untuk menyertakan simulasi pengujian tarik dan analisis hubungan tegangan-regangan tarik beserta kerusakan tarik yang terjadi pada spesimen.
- b) Disarankan untuk menggunakan data tegangan-regangan *inelastic* beton yang menggambarkan fase *softening*/penurunan tegangan pada beton.
- c) Disarankan untuk melakukan analisis hubungan tegangan-regangan dan kerusakan tarik yang terjadi pada CFRP.

DAFTAR RUJUKAN

- Achmad, K., Respati, S. W., & Sunarno, S. (2016). Pemanfaatan Material Lokal dengan Perkuatan CFRP untuk

- Penanganan Longsor di Wilayah Balikpapan Kalimantan Timur. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(2), 58.
- Alfarah, B., López-Almansa, F., & Oller, S. (2017). *New Methodology for Calculating Damage Variables Evolution in Plastic Damage Model for RC Structures. Engineering Structures*, 132(October), 70–86.
- Benzaid, R., Mesbah, H., & Nasr Eddine Chikh. (2010). *FRP-Confined Concrete Cylinders: Axial Compression Experiments and Strength Model. Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(16), 2469–2488.
- Hafezolghorani, M., Hejazi, F., Vaghei, R., Jaafar, M. S. Bin, & Karimzade, K. (2017). *Simplified Damage Plasticity Model for Concrete. Structural Engineering International*, 27(1), 68–78.
- He, Y. L., Zhang, G. P., & Xue, J. P. (2014). *Finite Element Analysis on Drilling of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP). Applied Mechanics and Materials*, 455, 228–231.
- Kadir, A., Satyarno, I., Bambang, S., & Triwiyono, A. (2016). *Pengaruh Kekangan Kombinasi Wire Rope dan Wire Mesh Terhadap Kuat Tekan Silinder Beton. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 5, 2012.
- Rada, S. (2018). *Pemodelan Metode Elemen Hingga Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) yang Dikenai Lentur dan Geser. Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Sathwik, M. C., Prashanth, M. H., Naik, S. C., & Satish, A. (2019). *Experimental and Numerical Studies on Compressive Behaviour of CFRP Wrapped Cylindrical Concrete Specimens Subjected to Different Pre-loading Conditions. Materials Today: Proceedings*, 27(xxxx), 327–335.
- Schaper, A. (2011). *A Material Model For Flexural Crack Simulation In Reinforced Concrete Elements Using Abaqus. Archiv Für Mikroskopische Anatomie*.