

## PENGARUH PERKUATAN MENGGUNAKAN *CLAMP* PADA KEKUATAN SILINDER BETON BERONGGA

Kintarman<sup>1</sup>, Sophian Sutedja<sup>2</sup>, Gogot Setyo Budi<sup>3</sup>, Hurijanto Koentjoro<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Dalam pembuatan tiang pondasi, beton yang diterapkan dalam pondasi dapat berbentuk kotak atau tiang *spun pile*. Produksi tiang *spun pile* menggunakan metode *spinning* sehingga kekuatan tekan beton kemungkinan tidak merata antara dinding di bagian dalam dan bagian luar. Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan, perkuatan eksternal (*external confinement*) pada beton solid bisa meningkatkan performa beton terkompresi yang mengalami gaya lentur siklik atau gaya dinamis akibat kejadian seismik, serta menaikkan regangan pada beton. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan serta regangan terhadap silinder beton berongga dengan mutu beton  $f_c' = 50$  MPa dan 33 MPa dengan perkuatan eksternal menggunakan *clamp* baja. Panjang dan diameter silinder beton masing-masing adalah 30cm dan 15cm, dan diameter rongga yang terbentuk akibat proses *spinning* adalah 5cm. *Clamp* dengan tebal 1.7mm dan lebar 27mm, dipasang pada benda uji dengan jarak tertentu sebesar 3, 4, dan 5 buah *clamp* baja. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perkuatan silinder beton berongga dengan menggunakan *clamp* mampu menaikkan tegangan hancur beton serta meningkatnya regangan. Selain itu, penambahan *clamp* pada silinder beton berongga berpengaruh pada pola keruntuhan, dimana pola keruntuhan silinder beton berongga dengan *clamp* secara umum terjadi di antara *clamp* baja. Pemberian *clamp* baja pada silinder beton berongga yang diisi dengan beton mutu  $f_c' = 19$  MPa memiliki kekuatan yang hampir sama dengan silinder beton berongga tanpa isi.

**KATA KUNCI :** beton, silinder, perkuatan eksternal, kuat tekan, regangan, kuat, tegangan hancur, *clamp* baja, berongga.

### 1. PENDAHULUAN

Beton adalah material struktur bangunan yang paling sering digunakan di dalam konstruksi modern, seperti pada balok, pelat, kolom dan pondasi. Pada umumnya, dalam pembuatan tiang pondasi, beton yang diterapkan dalam pondasi dapat berbentuk kotak atau silinder.

Produksi tiang silinder beton berongga menggunakan metode *spinning* untuk proses pemadatan. Pada elemen beton solid yang menerima gaya aksial, kekuatan elemen tersebut sangat dipengaruhi oleh adanya kekangan (*confinement*) pada dindingnya. Beberapa macam *confinement* yang pernah diteliti adalah antara lain, untuk beton berongga seperti *Concrete-filled Double-Skin Tubular* (CFDST), untuk beton solid berupa FRP (*Fiber Reinforced Polymer*), *confinement* dengan menggunakan *external steel ring*, *confinement* dengan menggunakan *external steel collar*, *confinement* dengan menggunakan *aramid fiber spiral*. Perkuatan beton dengan pemberian *confinement* eksternal pernah diteliti sebelumnya. Sistem perkuatan, seperti jaket kurungan (*confinement jacketing*), bisa meningkatkan performa kolom terkompresi yang mengalami gaya lentur siklik atau gaya dinamis akibat kejadian seismik (Lignola, Prota, Manfredi & Cosenza, 2008).

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, kintarmanaking94@gmail.com.

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, sophiansutedja@yahoo.com.

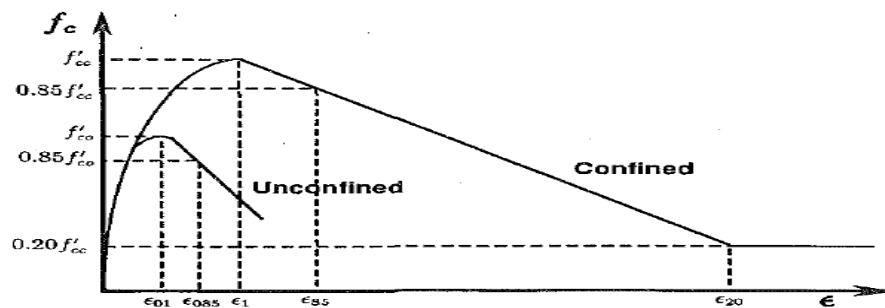
<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, gogot@petra.ac.id.

<sup>4</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, hurianto@petra.ac.id.

Perkuatan beton dengan menggunakan *external steel ring* ternyata mampu meningkatkan kekuatan beton (Safitri, Imran, & Nuroji, 2017). Penelitian sebelumnya secara umum lebih banyak dilakukan pada beton solid. Sedangkan pengaruh perkuatan pada elemen beton yang berlubang (silinder beton berongga) yang dipadatkan dengan metode *spinning* belum banyak diteliti. Dalam penelitian ini akan dipelajari tentang pengaruh pemakaian *clamp* baja eksternal pada kekuatan pipa beton berongga yang dipadatkan dengan metode *spinning*.

## 2. STUDI LITERATUR

Beton yang digunakan sebagai struktur dalam konstruksi teknik sipil, dapat dimanfaatkan untuk banyak hal. Dalam teknik sipil, struktur beton digunakan untuk bangunan pondasi, kolom, balok atau pelat. Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Untuk kekuatannya beton juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kualitas semen, perbandingan antara semen dan air (*Water Content*), kekuatan dan kebersihan agregat, penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton, perawatan beton, dan kandungan klorida tidak melebihi 0,15% dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Mulyono, 2005). Silinder beton berongga adalah elemen yang berbentuk bulat dengan mutu beton yang relatif tinggi, dan pematatannya dibuat di pabrik karena memerlukan proses *spinning* dari mesin yang menghasilkan gaya *centrifugal* (Suseno, 2016). Kecepatan putar yang terlalu rendah mengakibatkan *sliding*, sehingga terbentuk permukaan akhir yang kurang baik (Tjitro 2014). Sedangkan kecepatan putar yang terlalu tinggi menimbulkan getaran, dan dapat menghasilkan segregasi melingkar (Wijaya, 2013). Dalam penelitian ini, perkuatan eksternal akan memakai *Heavy Duty Clamp SACHIO*, dimana *clamp* banyak diaplikasikan dalam bidang industri, perkapalan dan kendaraan. Hasil hubungan tegangan dan regangan diusulkan pada **Gambar 1** dalam grafik tegangan regangan perbandingan anantara *confined concrete* dan *unconfined concrete* yang diadaptasi dari Saatcioglu dan Razvi (1992)

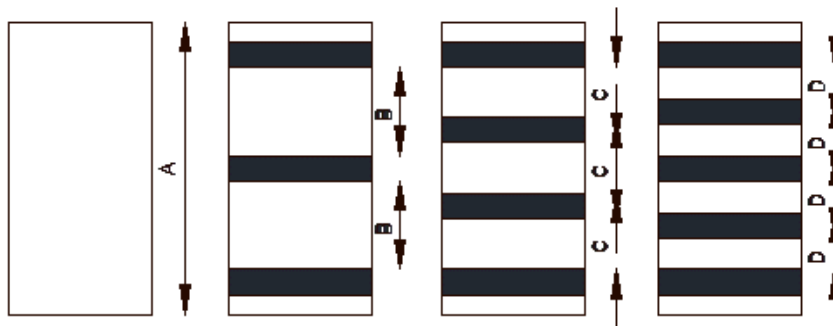


**Gambar 1 : Grafik Hubungan Stress-Strain Diusulkan oleh Saatcioglu & Razvi (1992)**

Menurut Pamuda et.al (2016) pemberian perkuatan eksternal menggunakan *steel collar* pada kolom beton berbentuk persegi meningkatkan tegangan serta regangan benda uji. Jumlah pemberian *steel collar* berdampak pada meningkatnya tegangan serta regangan benda uji. Berdasarkan hasil yang didapatkan oleh Hadi dan Li (2003) semakin rapat jarak pemberian *stell straps*, semakin besar pula kapasitas kuat tekan beton silinder yang dihasilkan. Namun, peningkatan yang dihasilkan dari dua percobaan dengan jarak pemberian *steel straps* yang berbeda, yaitu masing-masing 10mm dan 20mm tidak terlalu signifikan. Semakin besar ukuran rongga pada beton maka semakin kecil efek *confinement* yang dihasilkan (Lignola, Prota, Manfredi, & Cosenza, 2008). Pada penelitian oleh Sudarsana (2011), peneliti membandingkan grafik hubungan tegangan-regangan antara beton berongga dan beton masif (pejal) yang dikekang dengan pemberian tulangan spiral. Hasil yang didapatkan oleh peneliti adalah perbedaan bentuk kurva, dimana kurva beton solid, lebih tegak dibandingkan dengan kurva beton berongga.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan benda uji silinder beton berongga dilakukan di pabrik PT Beton Prima Indonesia, Mojokerto. Sampel-sampel bendauji yang dibuat berupa Silinder beton berongga  $f_c' = 49.8$  Mpa sebesar 12 sampel, silinder beton berongga  $f_c' = 49.8$  Mpa dengan pengisi beton  $f_c' = 19.1$  Mpa sebesar 12 sampel, silinder beton berongga  $f_c' = 33.2$  Mpa sebesar 12 sampel, dan silinder beton berongga  $f_c' = 33.2$  Mpa dengan pengisi beton  $f_c' = 19.1$  Mpa sebesar 12 sampel. Pengisian beton dilakukan saat benda uji silinder beton berongga berumur 14 hari, dan dibuat benda uji berbentuk kubus untuk pengetesan saat umur sampel beton pengisi berumur 14 dan 28 hari, masing-masing 3 buah. Seluruh sampel benda uji silinder beton berongga diuji kuat tekan serta defleksi. Untuk benda-benda uji pada *batch* yang sama (1 *batch* menghasilkan 4 benda uji), diberikan *clamp* masing-masing sebesar 0 (0CL), 3 (3CL), 4 (4CL), dan 5 (5CL) buah, pengetesan dilakukan saat benda-benda uji silinder mencapai umur 28 hari di Laboratorium Beton dan Kongsruksi Universitas Kristen Petra. Dari data yang didapatkan, dibuat grafik hubungan tegangan dan regangan, serta mencari modulus elastisitas benda uji. Hasil rangkuman jumlah pemasangan clamp dapat dilihat pada **Gambar 2**. dan rangkuman penamaan benda uji pada **Tabel 1**.



**Gambar 2. Rangkuman Jumlah Pemasangan Clamp Eksternal**

Keterangan jarak :

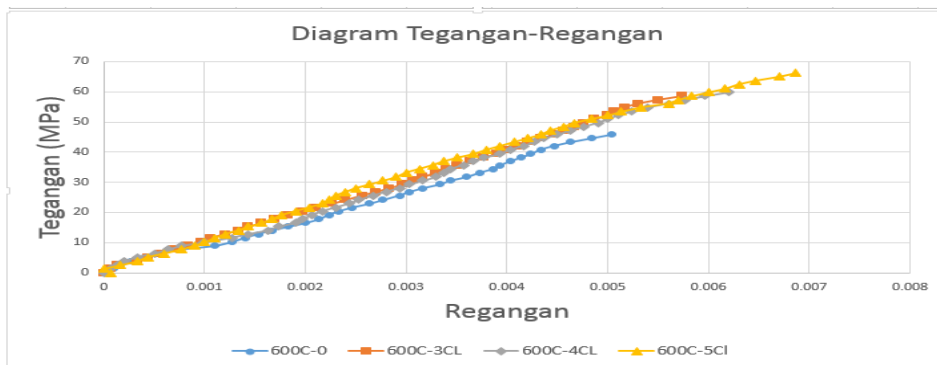
1. A = 30 cm (Volumetric ratio = 0 % )
2. B = 9.1 cm (Volumetric ratio = 4.8 %)
3. C = 5.2 cm (Volumetric ratio = 7.5 %)
4. D = 3.25cm (Volumetric ratio = 11.2%)

**Tabel 1. Rangkuman Penamaan Benda Uji  $f_c' = 50$  MPa dan 33 MPa.**

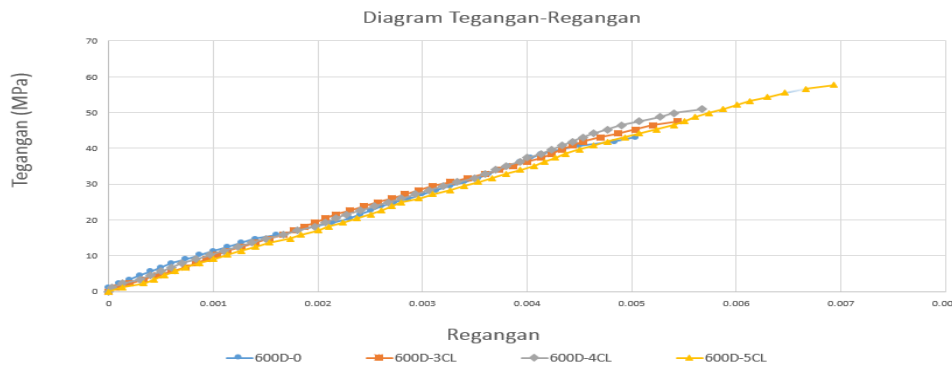
Batch	Set	Nama Benda Uji				Keterangan
1	50A	A-0CL	A-3CL	A-4CL	A-5CL	Tanpa pengisi
2	50B	B-0CL	B-3CL	B-4CL	B-5CL	Tanpa pengisi
3	50C	C-0CL	C-3CL	C-4CL	C-5CL	Tanpa pengisi
4	50D	D-0CL	D-3CL	D-4CL	D-5CL	Dengan pengisi
5	50E	E-0CL	E-3CL	E-4CL	E-5CL	Dengan pengisi
6	50F	F-0CL	F-3CL	F-4CL	F-5CL	Dengan Pengisi
7	33A	A-0CL	A-3CL	A-4CL	A-5CL	Tanpa Pengisi
8	33B	B-0CL	B-3CL	B-4CL	B-5 CL	Tanpa Pengisi
9	33C	C-0CL	C-3CL	C-4CL	C-5CL	Tanpa Pengisi
10	33D	D-0CL	D-3CL	D-4CL	D-5CL	Dengan Pengisi
11	33E	E-0CL	E-3CL	E-4CL	E-5CL	Dengan Pengisi
12	33F	F-0CL	F-3CL	F-4CL	F-5CL	Dengan Pengisi

#### 4. HASIL DAN ANALISA

Pada **Gambar 3** dipresentasikan grafik hubungan tegangan dan regangan benda uji mutu 49.8 MPa pada Set-50C (tanpa pengisi). Pada **Gambar 4** dipresentasikan grafik hubungan tegangan dan regangan benda uji mutu 50 MPa pada Set-50D (dengan pengisi). Pada Tabel 2 diperlihatkan hasil dan perbandingan Modulus Elastisitas Set-50A-F menggunakan dua perumusan yaitu menggunakan ASTM C-469 dan ACI 318M-08. Pada **Gambar 5** dipresentasikan grafik hubungan tegangan dan regangan benda uji mutu 33 MPa pada Set-33C (tanpa pengisi). Pada **Gambar 6** dipresentasikan grafik hubungan tegangan dan regangan benda uji mutu 33 MPa pada Set-33F (dengan pengisi). Pada Tabel 3 diperlihatkan hasil dan perbandingan Modulus Elastisitas Set-33A-F menggunakan dua perumusan yaitu menggunakan ASTM C-469 dan ACI 318M-08.



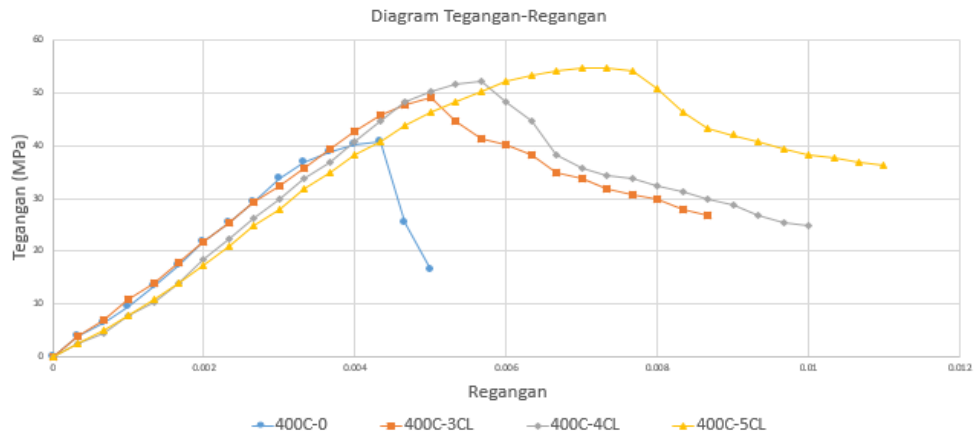
**Gambar 3. Diagram Tegangan-Regangan Set-50C (Tanpa Pengisi)**



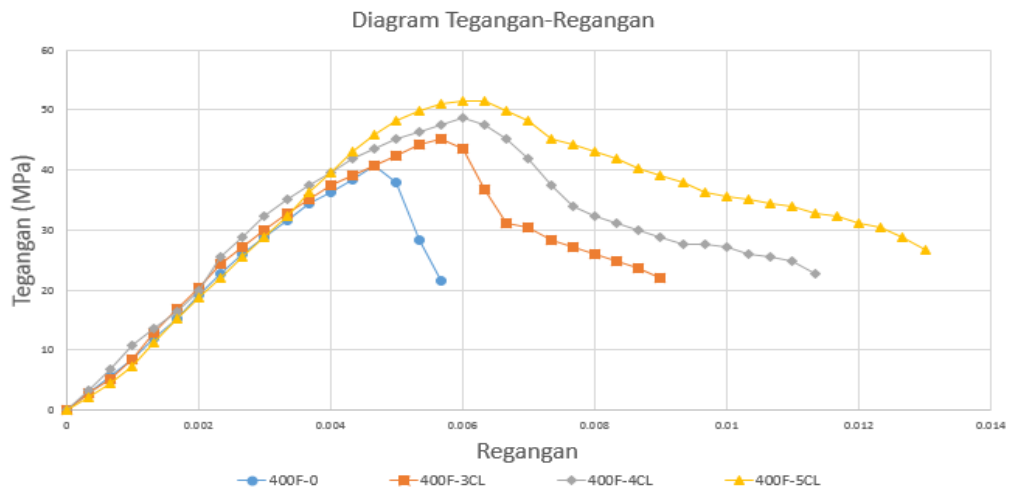
**Gambar 4. Perbandingan Tegangan Set-50D (Dengan Pengisi)**

**Tabel 2. Hasil Modulus Elastisitas Set-50A-F**

Benda Uji	Modulus Elastisitas (E)		Benda Uji	Modulus Elastisitas (E)	
	ASTM C469	ACI 318		ASTMC-469	ACI 318
50A-0CL	9296.4	32266	50A-4CL	11517.5	34378
50B-0CL	11617.4	31385	50B-4CL	11291.6	34378
50C-0CL	7548.2	32701	50C-4CL	9335.2	36367
50A-3CL	9858.3	33967	50A-5CL	8566.1	35190
50B-3CL	10529.7	34064	50B-5CL	10563.4	34786
50C-3CL	9905.1	35979	50C-4CL	10660.9	38252
50D-0CL	8666.5	30831	50D-4CL	8991.1	33552
50E-0CL	8222.6	32413	50E-4CL	9335.5	34287
50F-0CL	9765.7	32413	50F-4CL	10604	34650
50D-3CL	9565.3	32413	50D-5CL	8663.81	35717
50E-3CL	8940.9	33735	50E-5CL	7504.36	35008
50F-3CL	10780	34471	50F-5CL	9373.71	35366



Gambar 5. Diagram Tegangan-Regangan Set-33C (Dengan Pengisi)



Gambar 6. Diagram Tegangan-Regangan Set-33F (Tanpa Pengisi)

Tabel 3. Hasil Modulus Elastisitas Set-33A-F

Benda Uji	Modulus Elastisitas		Benda Uji	Modulus Elastisitas	
	ASTM C-469	ACI 318M-08		ASTM C-469	ACI 318M-08
33 A-0CL	7095.7	30474	33 A-4CL	8364.4	33967
33 B-0CL	6632.9	30931	33 B-4CL	7482.7	33758
33 C-0CL	10031.2	30006	33 C-4CL	9495.1	33967
33 A-3CL	7077.3	33127	33 A-5CL	7463.7	35187
33 B-3CL	7191.6	33340	33 B-5CL	8328.1	33758
33 C-3CL	10759.6	32913	33 C-4CL	9122.3	34786
33 D-0CL	8767.5	29588	33 D-4CL	7972.6	32987
33 E-0CL	7898.7	30216	33 E-4CL	8404.4	32603
33 F-0CL	9074.9	30006	33 F-4CL	9726.5	32796
33 D-3CL	8064.8	32026	33 D-5CL	7804.57	33363
33 E-3CL	10449.9	32218	33 E-5CL	9804.4	33735
33 F-3CL	10110.2	31630	33 F-5CL	9427.4	33735

Terlihat pada **Gambar 3**, **Gambar 4**, **Gambar 5**, dan **Gambar 6** bahwa semakin banyak penggunaan *clamp* baja, semakin tinggi tegangan dan regangan, serta daktilitas yang didapatkan. Tegangan hancur benda uji mutu 50 MPa pada Set-50C (tanpa pengisi) meningkat paling besar sebesar 36.84% dan regangan sebesar 27.1% dengan pemakaian 5 *clamp* (*vol. ratio* : 11.2%). Sedangkan tegangan hancur benda uji mutu 50 MPa pada Set-50D (dengan pengisi) meningkat paling besar sebesar 34.21% dan regangan sebesar 37.7%. Tegangan hancur benda uji mutu 50 MPa pada Set-33C (tanpa pengisi) meningkat paling besar sebesar 34.38% dan regangan sebesar 62.7%. Sedangkan tegangan hancur benda uji muu 50 MPa pada Set-33F (dengan pengisi) meningkat paling besar sebesar 26.39% dan regangan sebesar 34%.Dapat disimpulkan bahwa penambahan *clamp* pada silinder beton tanpa isi dan dengan pengisi tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Selain itu, pada **Gambar 3**, **Gambar 4**, **Gambar 5**, dan **Gambar 6** terlihat jika kurva yang dihasilkan oleh benda uji silinder beton berongga landai untuk mencapai tegangan hancur (maksimal). Hal ini sesuai dengan pernyataan Sudarsana (2011), yaitu kurva silinder beton berongga lebih landai dibanding dengan kurva silinder beton solid. Penambahan *clamp* pada silinder beton tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas dengan perumusan ASTM C-469, dimana Modulus Elastisitas secara umum tidak meningkat meski diberikan *clamp* eksternal, terlihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**. Jika dibandingkan dengan rumusan dari ACI 318M-08, modulus elastisitas yang dihasilkan oleh rumusan ASTM C-469 jauh lebih kecil. Hal ini disebabkan akibat perumusan elastisitas ACI adalah menggunakan benda uji ukuran standar, yaitu diameter 15cm dan tinggi 30cm, sedangkan pada penelitian ini menggunakan silinder beton berongga yang dipadatkan dengan proses *spinning*, sehingga modulus elastisitas yang didapatkan adalah modulus elastisitas struktur beton berongga, bukan elastisitas material beton. Selain pengaruh peningkatan pada tegangan serta regangan, pemberian *clamp* pada benda uji silinder beton berongga juga memberikan dampak pada pola keruntuhan silinder benda uji.. Adanya pemberian *clamp* memberikan kekangan pada benda uji, sehingga daerah di antara *clamp* mengalami keretakan, namun daerah yang diberikan tambahan *clamp* mengalami kerusakan yang sangat minor. Pola keruntuhan benda uji tanpa *clamp* dan dengan *clamp* dipresentasikan pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.**Pola Keruntuhan (a) tanpa *Clamp* (b) dengan 3*Clamp* (c) dengan 4 *Clamp* (d) dengan 5 *Clamp*

Dari **Gambar 7**. Dapat disimpulkan bahwa pola keruntuhan benda uji tanpa *clamp* adalah retakan arah vertikal. Sedangkan pola keruntuhan benda uji yang menggunakan *clamp* terjadi diantara *clamp*. . Terlihat bahwa silinder tanpa *clamp* berupa keruntuhan *general*(menyeluruh), sedangkan benda uji dengan penambahan *clamp* memiliki pola keruntuhan berupa keruntuhan *local* (daerah tertentu) atau pecah hanya pada daerah yang tidak diberikan *clamp*. Pada bagian yang diberikan *clamp* tidak mengalami kerusakan yang parah, dibandingkan dengan daerah yang tidak diberikan *clamp*. Terlihat pada **Gambar 7** silinder dengan pemberian *clamp* dimulai dengan mengalami pecah pada dinding (*spalling*) pada daerah di antara *clamp*. Hal ini menunjukkan pengaruh penambahan *clamp* yang cukup signifikan, dimana pemberian *clamp* berpengaruh hingga pada pola keruntuhan benda uji.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian awal yang sudah dilakukan, beberapa hal dapat disimpulkan, antara lain: Pemberian *clamp* dapat meningkatkan tegangan hancur, regangan (pada tegangan hancur), pada benda uji  $fc' = 50$  MPa, dan benda uji  $fc' = 33$  MPa. Kenaikan tegangan hancur paling besar pada pemberian 5 buah *clamp* (volumetric ratio:11.2%) pada benda uji  $fc' = 50$  MPa dan 33MPa. Pemberian *clamp* tidak berpengaruh terhadap Modulus Elastisitas (E) benda uji (metode ASTM). Pola keruntuhan benda uji dengan *clamp*, secara umum, terjadi pada area diantara *clamp*, sedangkan pada benda uji tanpa *clamp* menerus vertikal. Besarnya peningkatan tegangan hancur pada benda uji tanpa dan dengan pengisi untuk  $fc' = 50$  MPa masing-masing bervariasi antara 19-37% dan 17-34%. Besarnya peningkatan tegangan hancur pada benda uji tanpa dan dengan pengisi untuk  $fc' = 33$  MPa masing-masing bervariasi antara 19-35% dan 24-28%. Secara umum, kemampuan benda uji dengan pengisi terhadap gaya tekan lebih besar dibandingkan dengan benda uji tanpa pengisi, sehingga efek pemberian *clamp* eksternal lebih efektif pada benda uji dengan pengisi.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- ACI. (2008). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318M-08) and Commentary*. American Concrete Institute (Vol. 2007). [https://doi.org/10.1016/0262-5075\(85\)90032-6](https://doi.org/10.1016/0262-5075(85)90032-6).
- American Society for Testing and Materials, (2002). ASTM C469-02: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. *ASTM Standard Book*, 4, 1–5.
- Lignola, G. P., Prota, A., Manfredi, G., & Cosenza, E. (2008). Unified Theory for Confinement of RC Solid and Hollow Circular Columns. *Composites Part B: Engineering*, 39(7–8), 1151–1160.
- Hadi, J. Li (2003) External Reinforcement of High Strength Concrete Columns. *Journal of Composite Structures*.
- Mulyono, Tri. (2005). *Teknologi Beton*. C.V Andi Offset. Yogyakarta.
- Pudjistryadi, Pamuda; T. Tavio; Suprobo, Priyo (2016) Axial Compressive Behavior of Square Concrete Columns Externally Collared by Light Structural Steel Angle Sections *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 7 (2016) pp 4655-4666.
- Saatcioglu, M.; and Razvi, S. R. (1992) , “Strength and Ductility of Confined Concrete,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 118, No. 6, June 1992, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, pp. 1590-1607.
- Safitri, E., Imran, I., & Nuroji. (2017). Concrete Strength Enhancement Due to External Steel Ring Confinement. *Procedia Engineering*, 171, 934–939.
- Sudarsana, W. (2011). Perilaku Silinder Beton Berongga yang Dikekang dengan Tulangan Spiral. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol. 15, No. 2, 2011.
- Suseno, P. K., Winata, S. K., Setyobudi, G., & Koentjoro, H. (2016). Penyebaran Kuat Tekan Beton pada Penampang *Spun-Pile*, 1–8. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra* Vol 5, No.2 , 2016 .
- Tjitro, S., Sugiharto, (2014). Pengaruh Kecepatan Putar pada Proses Pengecoran Aluminium Centrifugal. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra*, 1,1-7.
- Wijaya, S.B., (2013). Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan terhadap Porositas dan Fatigue pada Produk Silinder Pejal Berbahan Al-Mg-Si Hasil Pengecoran Setrifugal, *Konsentrasi Teknik Produksi*.