

PENGARUH STEEL FIBER PADA KEKUATAN TEKAN PIPA BETON

Yulius Nico Sasmita¹, Susanto Hutomo², Gogot Setyobudi³, Hurijanto Koentjoro⁴

ABSTRAK : Banyak penelitian telah dilakukan dengan tujuan meningkatkan kekuatan beton seperti penambahan *fiber* ke dalam campuran beton. Terdapat beberapa tipe *fiber* dan salah satunya adalah *steel fiber*. Kelebihan dari *steel fiber* adalah variasi bentuk dan ukuran yang beragam. Banyak penelitian telah dipublikasikan mengenai efek penambahan *steel fiber* pada silinder beton pejal, tetapi belum banyak penelitian mengenai penambahan *steel fiber* pada pipa beton yang dipadatkan dengan metode *spinning*. Penelitian ini menganalisa pengaruh penambahan *steel fiber* terhadap kekuatan tekan pipa beton dan regangannya saat pembebanan. Diameter luar dan panjang dari pipa beton adalah masing-masing 15 cm dan 30 cm sedangkan diameter lubang di tengah pipa yang terbentuk dari proses *spinning* sekitar 5 cm, rencana mutu beton $f_c' = 24$ MPa, *steel fiber* yang digunakan tipe *hooked end* dengan panjang 3.5 cm, kadar *steel fiber* dalam penelitian ini bervariasi dari 0% hingga 0.30% dari volume beton.

Hasil penelitian menunjukkan, penambahan *steel fiber* dapat meningkatkan kuat tekan pipa beton. Semakin tinggi kadar *steel fiber* semakin besar kuat tekan pipa beton tersebut. Penambahan *steel fiber* sebanyak 0.3% meningkatkan kuat tekan pipa beton hingga 27%.

KATA KUNCI : *steel fiber*, kekuatan tekan.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Banyak upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dari beton contohnya seperti penambahan *fiber* pada campuran beton. Ada beberapa jenis *fiber* yang tersedia di pasaran dan salah satunya yaitu *steel fiber*. Keunggulan yang dimiliki oleh *steel fiber* yaitu pada variasi dan ukuran yang beragam, serta kekakuan yang dimiliki *steel fiber* juga merupakan nilai positif dari *fiber* tipe ini. *Steel fiber* memiliki beberapa bentuk dan ukuran seperti bulat, pipih, kerutan (*crimped deformed*) atau kerutan pada ujung (*hook end*). *Steel fiber* dengan bentuk *hook end* lebih sering digunakan karena proses aplikasi yang mudah dan cepat. Penggunaan *steel fiber* untuk meningkatkan kekuatan pada beton pejal (tidak berlubang) telah banyak diteliti, dan hasilnya dapat meningkatkan kekuatan beton (Ou et al, 2012; Adiprakoso et al, 2013; Damgir dan Ghugal, 2011). Namun belum banyak dijumpai penelitian tentang pengaruh penggunaan *steel fiber* terhadap kekuatan pipa beton yang dipadatkan menggunakan metode *spinning* seperti *spun pile* dan tiang listrik.

Seperti diketahui bahwa pipa beton yang dipadatkan menggunakan metode *spinning* memiliki kelebihan yaitu memiliki kekuatan yang relatif lebih tinggi namun memiliki volume yang lebih kecil dibandingkan dengan produk beton pejal biasa. Hal ini dikarenakan berkurangnya *water-cement ratio* pada saat proses *spinning* dilakukan (Ghambir, 2009). Proses pembuatan pipa beton menggunakan metode *spinning* dimana campuran beton diputar pada sebuah cetakan silinder dengan kecepatan tertentu sehingga menyisakan lubang di tengahnya.

Pada penelitian ini akan dilakukan penambahan *steel fiber* pada pipa beton untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekuatan tekan benda uji beserta regangannya. *Steel fiber* yang digunakan adalah tipe *hook end* yang diproduksi dengan metode *cold drawn* dengan tekukan di ujung. Sifat *steel fiber*

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra , psw.nico@gmail.com

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra , susantohutomo1995@gmail.com

³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra , gogot@peter.petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra , hurijanto@peter.petra.ac.id

yang kaku diharapkan memberikan penyebaran dengan merata, berbeda dengan jenis *fiber* dengan sifat tidak kaku yang dapat menggumpal saat proses *mixing* atau *spinning*.

1.2. Rumusan Masalah

Seberapa besarkah pengaruh penambahan *steel fiber* terhadap kuat tekan dan regangan pipa beton yang dipadatkan menggunakan metode *spinning*?

1.3. Tujuan Penelitian

Menganalisa pengaruh penambahan *steel fiber* pada kekuatan tekan dan regangan pipa beton yang dipadatkan menggunakan metode *spinning*.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Memberikan tambahan informasi mengenai pengaruh penggunaan *steel fiber* terhadap kekuatan tekan pipa beton yang dipadatkan menggunakan metode *spinning*.
2. Menjadi bahan referensi penelitian selanjutnya mengenai penambahan *steel fiber* pada pipa beton yang dipadatkan menggunakan metode *spinning*.

1.5. Ruang Lingkup

1. Pembuatan benda uji dilakukan di pabrik PT. Beton Prima Indonesia
2. *Steel fiber* diperoleh dari PT. Findotek dengan spesifikasi:
 - Panjang : 35 mm
 - Diameter : 0.55 mm
 - *Aspect ratio* : 65
3. Pengujian kuat tekan dilakukan di laboratorium Beton dan Konstruksi Universitas Kristen Petra
4. Mutu beton yang direncanakan $f_c' = 24$ MPa
5. Dimensi pipa beton :
 - Diameter luar : 15 cm
 - Diameter lubang : 5 cm
 - Tinggi : 30 cm
6. Kadar *steel fiber*: 0%, 0.18%, 0.24%, 0.3% dari volume beton atau 0 kg/m³ beton, 15 kg/m³ beton, 20 kg/m³ beton dan 25 kg/m³ beton.
7. Proses pemadatan : Metode *spinning*
8. Standar pengujian: 28 hari
9. Metode *curing* : Direndam dalam air

2. STUDI LITERATUR

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada penelitian sebelumnya mengenai penambahan *steel fiber* pada silinder beton pejal, dimensi silinder yang digunakan yaitu 150 x 300 mm. Pada percobaan tersebut digunakan *superplasticizer admixture* dan *steel fiber* yang berbentuk *hook end* dengan panjang 35 mm, diameter 0.5 mm dan *aspect ratio* 70. Kadar penambahan *steel fiber* yang digunakan sebesar 0.57%, 1.14%, 1.43%, 1.71%, 1.86%, 2.14% dan 2.43% dari volume beton. Umur beton pada saat dilakukan pengujian yaitu 28 hari. Setelah dilakukan pengujian, terlihat bahwa penambahan kadar *steel fiber* sebesar 2.43% memiliki kekuatan yang maksimum dibandingkan dengan kadar *steel fiber* yang lainnya (Ou et al, 2012).

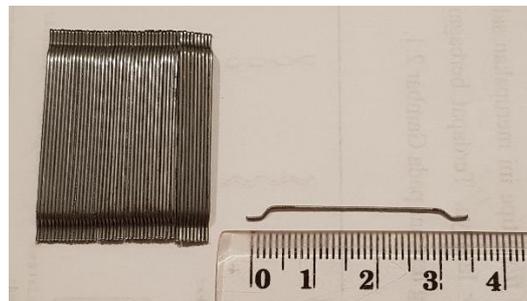
Pada penelitian yang lain digunakan empat pengelompokan benda uji yaitu beton tanpa *steel fiber*, SF1, SF2 dan SF3. Benda uji berbentuk kubus dengan dimensi 150 x 150 x 150 mm dan silinder beton pejal dengan dimensi 100 x 200 mm. *Steel fiber* yang digunakan ada dua tipe yaitu *hook end* pada SF1 dan SF2 yang memiliki *aspect ratio* masing-masing 50 dan 53.85. Sedangkan *steel fiber* tipe *crimped round-copper coated* digunakan pada SF3 yang memiliki *aspect ratio* 62.50. Dalam penelitian tersebut tidak digunakan tambahan *admixture* pada benda uji dan pemadatan yang dilakukan menggunakan *table vibrator*. Hasil yang di dapat memperlihatkan bahwa pada benda uji SF3 (*aspect ratio* 62.50) dengan kadar *steel fiber* 0.5% dari volume beton mengalami peningkatan yang maksimum bila dibandingkan dengan kadar *steel fiber* yang lainnya (Vairagade et al, 2012).

Pada referensi penelitian yang lain digunakan cetakan silinder dengan dimensi 150 x 300 mm. *Steel fiber* yang digunakan bertipe *hook end* dan kadar yang digunakan yaitu 1%, 1.5%, 2%, dan 2.5% dari volume beton. Panjang *steel fiber* yang digunakan yaitu 60 mm dan diameter 0.75 mm dengan *aspect ratio* 80. Digunakan juga *superplasticizer* dalam penelitian tersebut. Kuat tekan yang direncanakan yaitu sebesar 25 MPa dan umur benda uji saat dilakukan pengujian yaitu 7, 14 dan 28 hari. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan maksimum benda uji yang dicampurkan dengan kadar *steel fiber* 2.5% meningkat sebesar 14% (Adiprakoso et al, 2013).

Penelitian mengenai penambahan *steel fiber* pada benda uji kubus 150 x 150 x 150 mm telah dilakukan sebelumnya. Dimana dalam penelitian tersebut ditambahkan kadar *silica fume* sebanyak 5% dan kadar *steel fiber* 0.5% - 5%. Hasilnya menunjukkan bahwa pada kadar *steel fiber* 2% terlihat peningkatan kuat tekan yang maksimum dibandingkan dengan kadar *steel fiber* yang lainnya (Damgir dan Ghugal, 2011). Ghambir (2009) menyatakan bahwa *water-cement ratio* awal untuk pemadatan menggunakan metode *spinning* bernilai antara 0.35 sampai dengan 0.4. Sedangkan *water-cement ratio* setelah dilakukan proses *spinning* berkurang menjadi sekitar 0.30.

2.2. Steel Fiber

Steel fiber sudah banyak digunakan sebagai salah satu campuran pada beton. Kekakuan yang dimiliki oleh *fiber* tipe ini merupakan salah satu kelebihan yang tidak dimiliki oleh tipe *fiber* lainnya seperti serat *polypropylene*. *Steel fiber* memiliki beberapa bentuk dan ukuran seperti bulat, pipih, kerutan (*crimped deformed*) atau kerutan pada ujung (*hook end*). Pada penelitian ini *steel fiber* yang digunakan berbentuk *hook end* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. *Steel fiber* tersebut diproduksi oleh Bekaert yang memiliki spesifikasi seperti pada **Tabel 1**.



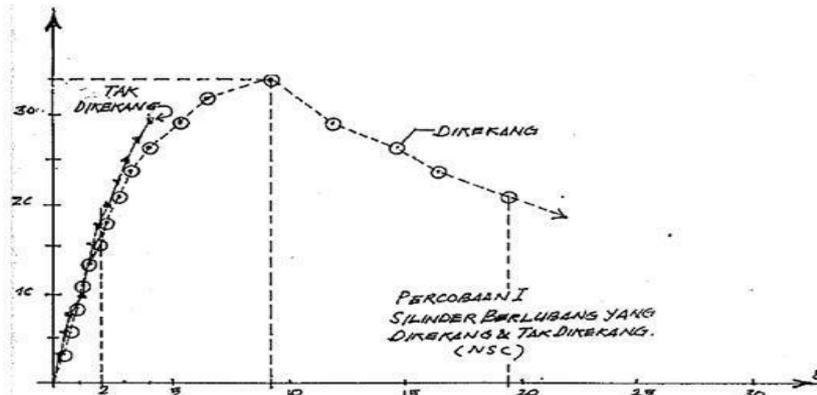
Gambar 1. Hook End Steel Fiber

Tabel 1. Spesifikasi Steel Fiber

Jenis	Panjang (l)	Diameter (d)	Aspect ratio (l/d)	Tensile strength (N/mm ²)	Jumlah fiber per kilogram
3D-6535-BG	35 mm	0.55mm	65	1345	14531

2.3. Regangan Pipa Beton

Menurut hasil percobaan Sudarsana (2011), perbandingan dari 4 tipe benda uji yaitu silinder pejal, silinder pejal dengan keang, silinder berongga dan silinder berongga dengan keang. Percobaan dilakukan dengan 2 mutu beton yaitu beton mutu normal dan beton mutu tinggi. Proses pemadatan benda uji dilakukan menggunakan meja getar. Hasil percobaan menunjukkan, pada silinder berongga dengan keang nilai tegangan puncak sebesar 340 kg/cm² dengan regangan $9,25 \times 10^{-3}$ dan pada silinder berongga hasil tegangan puncak sebesar 512 kg/cm² dengan regangan 0,00432. Regangan dari percobaan tersebut dipresentasikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik Tegangan Regangan Pipa Beton

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan *steel fiber* pada kuat tekan dan regangan pipa beton yang dipadatkan dengan metode *spinning*. Semua benda uji berbentuk pipa beton dengan ukuran diameter luar 15 cm, diameter lubang 5 cm, dan tinggi 30 cm. Pada penelitian ini percobaan dilakukan dengan 12 benda uji dan dilakukan penamaan pada benda uji seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Penamaan Benda Uji

Mutu beton rencana (MPa)	Kode	Kadar <i>steel fiber</i> (% volume)	Jumlah benda uji (buah)
24	PB-0	0	3
	PB-18	0.18	3
	PB-24	0.24	3
	PB-30	0.30	3
Jumlah keseluruhan benda uji			12

Dalam penelitian ini jumlah keseluruhan benda uji yang dibuat sebanyak 12 buah, dimana terdapat 3 kali pencampuran dan masing-masing dari pencampuran tersebut dibuat 4 buah benda uji dengan kadar *steel fiber* 0%, 0.18%, 0.24% dan 0.30% dari volume beton.

Material yang telah disiapkan sesuai dengan *mix design* untuk mutu beton $f_c' = 24$ MPa adalah pasir dari Lumajang dengan Gs 2.67, semen yang digunakan adalah semen Gresik, batu pecah yang digunakan berasal dari Pasuruan, air yang digunakan adalah air tanah. Tahapan pembuatan yang pertama dilakukan yaitu dengan mencampurkan semen dan pasir ke dalam molen serta dilakukan penambahan air secukupnya. Setelah tercampur dengan rata berikutnya kerikil dicampurkan ke dalam molen dan ditambahkan *water reducing and retarding admixture* untuk memperlambat waktu *setting* beton dikarenakan keterbatasan mesin *spinning*. Setelah itu *steel fiber* lalu dicampurkan secara bertahap ke dalam molen dan dilakukan *slump test*. Setelah memenuhi standar, campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder khusus lalu dilakukan proses pemadatan dengan menggunakan mesin *spinning*. Cetakan dibiarkan selama sehari, lalu keesokan harinya cetakan dilepas dan benda uji yang telah jadi di *curing* selama 28 hari di kolam *curing*.

3.2. Proses *Spinning* Benda Uji

Cetakan silinder dilapisi minyak cetakan terlebih dahulu agar tidak ada sisa dari beton segar yang menempel pada cetakan silinder sehingga ketika di lakukan *demolding* tidak terjadi kerusakan pada benda uji. Beton segar lalu dituangkan ke dalam cetakan silinder lalu dirojok dengan menggunakan batangan besi hingga penuh. Setelah itu cetakan silinder yang berisi beton segar ditutup dan dikencangkan dengan baut. Setelah itu cetakan silinder diangkat menuju *roll* penggerak dan *roll*

penahan. Pada saat proses *spinning* dilakukan motor penggerak akan bekerja dan menggerakkan *roll* penggerak seperti yang terlihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Mesin *Spinning*

Proses pemadatan *spinning* dilakukan dalam 3 tahap. Setiap tahapan mempunyai frekuensi putar dan lama durasi *spinning* yang berbeda. Pada tahap pertama, proses *spinning* dilakukan selama 3 menit dengan frekuensi putar 20 Hz. Pada tahap kedua, lama durasi *spinning* yaitu 4 menit dengan frekuensi putar 30 Hz. Pada tahap ketiga, lama durasi *spinning* yaitu 8 menit dengan frekuensi putar 45 Hz. Setelah proses *spinning* selesai akan terbentuk rongga ditengah beton dengan diameter sekitar 5 cm. Proses pemadatan *spinning* mengikuti prosedur pembuatan dari pabrik PT. Beton Prima Indonesia. Dimana seperti yang diketahui PT. Beton Prima Indonesia merupakan perusahaan yang memproduksi *spun pile*.

3.3. *Capping* Benda Uji

Capping yang digunakan dalam penelitian ini berbahan belerang. *Capping* pada benda uji akan membuat gaya tekan menyebar di seluruh permukaan silinder beton dan data yang dihasilkan akan lebih akurat. Pembuatan *capping* dilakukan dengan cara memanaskan batangan belerang hingga mencair, dan setelah itu dituang ke alat cetakan *capping*. Selanjutnya ujung permukaan silinder beton ditaruh ke alat cetak *capping* tersebut sampai belerang menutup ujung permukaan beton dan mengeras. Pada penelitian ini digunakan *capping* setebal ± 5 mm dan *capping* dilakukan pada permukaan atas dan bawah benda uji.

3.4. Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan di laboratorium beton dan konstruksi Universitas Kristen Petra. Kuat tekan beban beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Metode pengujian di laboratorium mengikuti standar **SNI-03-1974-1990**.

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari. Alat uji tekan yang digunakan diatur dengan kecepatan penekanan 0.017 mm/detik. Pada saat uji kuat tekan dilakukan, digunakan *dial gauge* dengan ketelitian 0.01 mm/div untuk mendapatkan data defleksi dan dilakukan pembacaan tiap 5 detik.

4. HASIL DAN ANALISA

4.1. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Terlihat pada **Tabel 3** bahwa tegangan yang terjadi pada beton tanpa *steel fiber* bervariasi di antara 35.7 MPa dan 40.1 MPa. Perbedaan tegangan hancur antar benda uji tidak terlalu signifikan sehingga bisa dikatakan campuran beton konsisten pada semua benda uji. Penambahan *steel fiber* pada beton meningkatkan kekuatan beton, semakin banyak *steel fiber* yang dicampurkan menghasilkan tegangan hancur yang semakin tinggi dan tegangan hancur yang terjadi relatif sama yaitu sekitar 48 MPa.

Rata-rata peningkatan tegangan hancur benda uji meningkat 14% pada benda uji dengan menggunakan *steel fiber* sebanyak 0.18%, 23% pada benda uji dengan menggunakan *steel fiber* sebanyak 0.24% dan 27% pada benda uji dengan menggunakan *steel fiber* sebanyak 0.30%. Pada **Tabel 3** terlihat bahwa selisih penambahan tegangan hancur pada benda uji dengan kadar *steel fiber* 0.18% ke 0.24% yaitu sebesar 9% sedangkan pada benda uji dengan kadar *steel fiber* 0.24% ke 0.30% yaitu sebesar 4%.

Melihat kecenderungan yang terlihat pada selisih peningkatan tersebut, penambahan *steel fiber* diatas 0.30% mungkin akan kurang efektif. Peningkatan rata-rata tegangan hancur dipresentasikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rata-Rata Peningkatan Tegangan Hancur

Kode	fc' (MPa)	fc' rata-rata (MPa)	Peningkatan (%)
PB-0	35.67	38	0
	38.22		
	40.13		
PB-18	42.68	43.52	14.5
	43.95		
	43.95		
PB-24	46.5	46.71	22.9
	47.13		
	46.5		
PB-30	47.77	48.3	27.1
	48.73		
	48.41		

Secara umum beton memiliki regangan pada saat tegangan hancur yang rendah berkisar pada 0.002. Namun pada percobaan ini terjadi peningkatan regangan pada pipa beton dengan penambahan *steel fiber* maupun tanpa penambahan *steel fiber* seperti yang dipresentasikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rata-Rata Peningkatan Regangan

Kode	Regangan pada tegangan hancur (rata-rata)	Peningkatan (%)
PB-0	0.0044	0
PB-18	0.0050	12
PB-24	0.0049	11
PB-30	0.0053	21

Pada penelitian ini regangan yang terjadi bervariasi antara 0.004 sampai dengan 0.005. Nilai dari regangan pipa beton ini sesuai dengan apa yang telah dilakukan oleh Sudarsana (2011) dimana nilai regangan pada saat tegangan maksimumnya mencapai 0.00432 pada pipa beton tanpa kekang. Hal ini menunjukkan karakter pipa beton yang lebih lentur dibandingkan dengan beton pejal biasa. Pada pipa beton dengan kadar *steel fiber* 0.18% regangan rata-rata yang terjadi pada tegangan maksimumnya meningkat sebesar 12%, pada kadar 0.24% regangan rata-rata yang meningkat sebesar 11% dan pada kadar 30% meningkat sebesar 21%.

4.2. Modulus Elastisitas

Berdasarkan data tegangan regangan dari percobaan dan perumusan dari **ASTM 469-02** didapatkan nilai modulus elastisitas. Seperti yang diketahui nilai modulus elastisitas berbanding terbalik dengan nilai regangan, semakin besar nilai regangan maka semakin kecil nilai modulus elastisitas yang dihasilkan. Pada percobaan ini didapatkan nilai modulus elastisitas benda uji yang relatif lebih kecil dari nilai modulus elastisitas material beton. Hal ini sesuai dengan percobaan Sudarsana (2011) bahwa regangan pipa beton memiliki nilai yang tidak sama dengan regangan material beton. Hasil perhitungan modulus elastisitas dipresentasikan dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Rata-Rata Nilai Modulus Elastisitas

Kode	PB-0	PB-18	PB-24	PB-30
E (MPa)	8924	8449	9803	9060

4.3. Perbandingan Dengan Penelitian-Penelitian Sebelumnya

Hasil-hasil penelitian sebelumnya mengenai penambahan *steel fiber* pada campuran beton disajikan dalam **Tabel 6**.

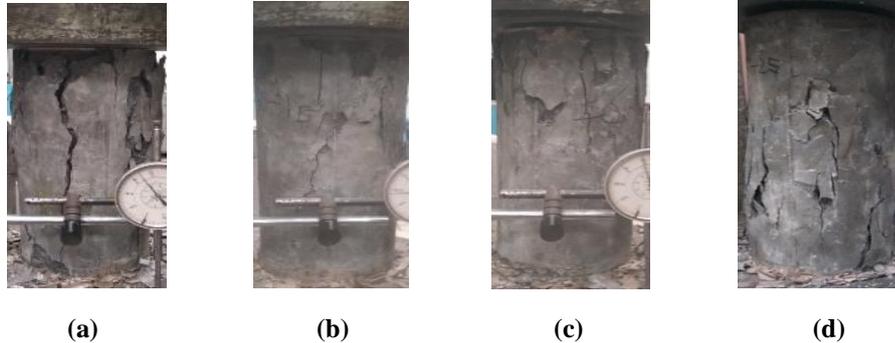
Tabel 6. Perbandingan Hasil Kuat Tekan Dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian	Adiprakoso S.F (2013)	Vairagade V.S (2012)	Damgir R.M. (2011)	Ou, Yu-Chen (2012)	Penelitian ini
Benda uji	Silinder 150 x 300 mm	Silinder 100 x 200 mm	Kubus 150 x 150 mm	Silinder 150 x 300 mm	Silinder berlubang 150x300 mm
Metode pemadatan	<i>Conventional</i>	<i>Table Vibrator</i>	<i>Conventional</i>	<i>Conventional</i>	<i>Spinning</i>
Kadar steel fiber	1%, 1.5%, 2%, 2.5%	0.5%	0.5%-5%	0.57%, 1.14%, 1.43%, 1.71%, 1.86%, 2.14%, 2.43%	0.18%, 0.24%, 0.30%
Panjang dan diameter fiber	60 dan 0.75 (mm)	50 dan 0.8 (mm)	-	35 dan 0.5 (mm)	35 dan 0.55 (mm)
Aspect ratio	80	62.5	60	70	65
Jenis steel fiber	<i>Hook End</i>	<i>Crimped Round Copper Coated</i>	-	<i>Hook End</i>	<i>Hook End</i>
Kadar optimum steel fiber	2.5%	0.5%	2%	2.43%	0.30%
Peningkatan kuat tekan	14%	18%	22%	24%	27%

Terlihat bahwa pada penelitian yang menggunakan metode pemadatan *conventional* (Ou et al, 2012; Adiprakoso et al, 2013; Damgir dan Ghugal, 2011) dibutuhkan kadar *steel fiber* 2% - 2.5% untuk mencapai peningkatan kuat tekan maksimum yang berkisar antara 14% - 24%. Sedangkan pada penelitian yang menggunakan *table vibrator* (Vairagade et al., 2012) terlihat dengan kadar *steel fiber* 0.5% dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 18%. Sedangkan pada penelitian dengan menggunakan metode *spinning* terlihat dengan penambahan *steel fiber* sebesar 0.3% mampu meningkatkan kuat tekan beton sebesar 27%. Penambahan *steel fiber* dengan metode pemadatan *spinning* maupun *table vibrator* memiliki pengaruh kuat tekan yang relatif lebih besar dibanding pemadatan *conventional*.

4.4. Pola Keruntuhan Benda Uji

Benda uji tanpa kadar *steel fiber* memiliki pola keruntuhan dengan retak vertikal menerus seperti dipresentasikan pada **Gambar 4 (a)**. Sedangkan benda uji dengan kadar *steel fiber* 0.18%, 0.24%, 0.30% menunjukkan pola keruntuhan yang berbeda dibandingkan dengan pola keruntuhan benda uji *tanpa steel fiber* dimana tidak terlihat retak yang menerus pada benda uji tetapi terlihat retak yang lebih acak seperti yang terlihat pada **Gambar 4 (b)**, **Gambar 4 (c)**, dan **Gambar 4 (d)**



Gambar 4. Pola Keruntuhan Benda Uji (a) 0%, (b) 0.18%, (c) 0.24% dan (d) 0.30%

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *steel fiber* dapat meningkatkan kekuatan tekan pada benda uji pipa beton. Semakin tinggi kadar penambahan *steel fiber* pada benda uji pipa beton (sampai 0.3% dari volume) yang dipadatkan menggunakan metode *spinning* maka semakin tinggi kuat tekan yang dihasilkan yaitu meningkat sampai dengan 27%.
2. *Steel fiber* cenderung meningkatkan regangan pipa beton yang terjadi pada saat tegangan maksimum.

6. DAFTAR REFRENSI

- Adiprakoso S.F, Elly Tjahjono, dan Essy Arijoeni., 2013, “*Studi Perilaku Kuat Tekan pada Beton Berserat Baja*”, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- 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.
- Damgir, R.M. and Ghugal, Y.M. (2011). Compressive Strength for FRC Member using Silica Fume. *Science and Technology*, 3(1), 354–357.
- Ghambir, M. L. (2009). *Concrete Technology 4E*, Tata McGraw Hill Education Private Limited, 7 West Patel Nagar, New Delhi.
- Ou, Y.-C., Tsai, M.-S., Liu, K.-Y., & Chang, K.-C. (2012). Compressive Behavior of Steel-Fiber-Reinforced Concrete with a High Reinforcing Index. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(2), 207–215.
- SNI 03-1974-1990, “*Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*”
- Sudarsana, W. (2011). "Perilaku Silinder Beton Berongga yang Dikekang dengan Tulangan Spiral". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol.15, No.2.
- Vairagade, V. S., Kene, K. S., & Deshpande, N. V. (2012). Investigation of Steel Fiber Reinforced Concrete on Compressive and Tensile Strength. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 1(3), 1–7.