

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BAJA TERHADAP PENINGKATAN KUAT KOKOH TEKAN, KUAT TARIK BELAH DAN KUAT LENTUR MURNI PADA BEBERAPA MUTU *STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE*

Eka Kristian Wibisono¹, Chikita Manuelle Evangelica², Handoko Sugiharto³, Gunawan Budi Wijaya⁴

ABSTRAK: Beton merupakan salah satu material konstruksi bangunan yang sudah sangat umum digunakan di Indonesia. Selain memiliki kuat tekan tinggi, beton juga merupakan material yang mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Namun beton bersifat getas dan memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Hal ini menyebabkan beton mudah mengalami retak. *Steel Fiber Reinforced Concrete* (SFRC) yang merupakan campuran beton dengan penambahan serat baja menjadi salah satu inovasi perkembangan teknologi untuk mengatasi kelemahan beton tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh penambahan serat baja terhadap kuat kokoh tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur murni pada beberapa mutu SFRC. Kadar serat baja yang dipakai adalah 1% dan 1.5% menggunakan serat baja tipe 5D Dramix dengan aspek rasio 65, sedangkan mutu SFRC rencana adalah 23 MPa dan 27 MPa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa SFRC dengan kadar serat baja 1% mempunyai peningkatan kuat tekan tertinggi yaitu mencapai 20,33%, sedangkan peningkatan kuat tarik belah dan kuat lentur murni didapat dari SFRC dengan kadar serat baja 1,5% yaitu sebesar 161,45% dan 47,49%.

KATA KUNCI: *steel fiber reinforced concrete*, serat baja dramix 5D, kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur murni

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang bersifat getas dan memiliki kelemahan terhadap gaya tarik. Hal ini menyebabkan beton sangat mudah mengalami retak. Berbagai inovasi telah dilakukan untuk mengatasi kelemahan beton. Mulai dari beton bertulang (*reinforced concrete*), beton pratekan (*prestressed concrete*) sampai beton serat (*fiber reinforced concrete*).

Salah satu jenis beton serat adalah *Steel Fiber Reinforced Concrete* (SFRC). SFRC sudah banyak dan semakin banyak digunakan sebagai material dari elemen struktural. Serat baja dapat membantu beton secara aktif untuk menahan *microcracking* agar tidak menyebar ketika terjadi retak.

Dalam penelitian ini digunakan dua mutu beton dengan kadar serat baja yang berbeda-beda juga. Diharapkan dengan variasi tersebut dapat diketahui seberapa besar pengaruh penambahan serat baja terhadap peningkatan kuat kokoh tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beberapa mutu SFRC

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, ekadexo1994@gmail.com

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, evangelicachika@yahoo.co.id

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

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

2. STUDI LITERATUR

2.1. *Steel Fiber Reinforced Concrete*

Menurut Singh (2017), bentuk serat baja di dalam beton seperti saling berhubungan di antara celah agregat dimana serat baja bekerja seolah-olah seperti rangka batang di dalam beton. Mortar dari semen sendiri, menahan tekanan dan berfungsi sebagai tempat mengait serat baja. Daerah dimana diisi dengan hubungan antara serat baja di dalam celah agregat disebut *Interfacial Transition Zone (ITZ)*. Beton dapat menyebarkan gaya dalam yang terjadi melalui ITZ. Serat baja aktif menahan penyebaran retak yang terjadi di dalam beton. Dengan adanya serat baja, dapat meningkatkan sifat daktail dan kemampuan regangan beton

2.2. Keleccakan SFRC

Balaguru dan Ramakrishnan (1988) menyelidiki perilaku *slump* dan kandungan udara pada beton dengan campuran serat baja yang memiliki panjang 50 mm dengan ujung-ujungnya yang ditekuk seperti kait dengan dua campuran semen yang berbeda. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa penambahan serat dapat mengurangi nilai *slump* dan kandungan udara. Kecepatan runtuhnya *slump* lebih lambat dan hilangnya kandungan udara lebih cepat untuk beton serat. Dalam *ACI Committee 544 (1993)* dilaporkan bahwa untuk beton serat mutu tinggi, kisaran nilai *slump* sudah ditentukan yaitu antara 25 mm sampai 100 mm.

2.3. Respon SFRC terhadap Gaya Tekan

Efek dari serat baja menjadi signifikan dan terlihat apabila beton menerima 70% dari tegangan *ultimate* beton. Pada tahapan ini gaya tarik pada fiber (*pull-out, anchor*) mencegah pembesaran dan pelebaran dari retak rambut. Kejadian ini membuat beton meningkat saat pasca puncak (Singh, 2017). Jaishankar dan Unnikrishnan (2017) berpendapat bahwa semakin banyak serat baja di dalam beton, tegangan pada saat leleh ke tegangan kegagalan *ultimate* juga bertambah. Kehadiran serat baja mengubah kegagalan spesimen dari getas menjadi daktail. Namun, efek penambahan serat baja pada beton tidak terlalu signifikan pada kasus kuat kokoh tekan dan modulus elastisitas.

2.4. Respon SFRC terhadap Gaya Tarik

Beton biasa tidak di desain untuk menahan gaya tarik. Menurut Singh (2017), regangan tarik dari beton adalah 0.0001 sampai 0.0002. Nilai dari kekuatan retak untuk SFRC bisa dihitung mendekati dengan $0.7\sqrt{f_{ck}}$ dalam MPa karena serat baja pada SFRC hanya aktif setelah terjadi retakan pada beton. Berbeda dari beton polos, SFRC secara berangsur-angsur memperlihatkan kemampuan tarik residual yang signifikan akibat dari kontribusi serat baja yang tertanam di dalam beton. Meski begitu, kemampuan menahan *first crack* hampir sama dengan beton biasa. Tetapi perkembangan respon yang diperlihatkan SFRC sangat dipengaruhi oleh jumlah serat baja yang melewati retakan, sifat *pull-out* steel fiber, dan mutu beton.

2.5. Respon SFRC terhadap Gaya Lentur

Serat baja juga berpengaruh terhadap *cracking control*. Cara bekerja SFRC terhadap retak berbeda terhadap beton biasa. SFRC akan bekerja lebih optimal pada retakan. Serat baja bekerja setelah terjadi retakan pertama, dimana setelah terjadi retakan serat baja akan cenderung mencegah retak-retak kecil menjadi retakan yang lebih besar. Menurut Cuenca (2015), serat baja mengembangkan kemampuan *crack control* dan memungkinkan beton dengan bantuan tulangan baja ulir/polos mendapatkan kekuatan tarik tambahan setelah mencapai tegangan leleh nya (*yield stress*) dan juga menjaga agar retak tidak menyebar.

Perilaku terhadap lentur bisa dikategorikan menjadi 4 fase yaitu : *Un-cracked phase*, *Linear-elastic phase*, *Non-linear cracked phase*, dan fiber *pullout/fracturing phase*. Pada fase pertama, regangan tarik yang disebabkan masih kurang dari regangan tarik maksimum pada beton. Seiring dengan peningkatan beban, retak fleksural melebar dan berangsur-angsur menyebar ke arah garis netral balok. Sebelum retakan melebar, gaya tarik yang ditahan oleh beton disalurkan menuju serat baja yang kemudian disalurkan menuju tulangan baja polos/ulir melalui mekanisme ikatan (*bond mechanisms*). Pada fase ketiga terjadi pelebaran pada daerah retakan dan hal ini terjadi sangat cepat. Mulai terlihat retakan halus dimana *fiber* pada SFRC akan mulai bekerja pada celah terbuka sebesar 0.1 mm. Serat baja dengan bagian yang hanya sedikit tertanam pada beton mulai tercabut keluar dari beton. Serat baja menahan pelebaran retak yang terjadi dengan baik melalui kemampuan *pull-outnya*.

3. RANCANGAN PENELITIAN

Rancangan penelitian ini diawali dengan mempersiapkan bahan dan material yang akan digunakan seperti semen, pasir, kerikil, air, superplasticizer, cetakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, cetakan balok ukuran 15 x 15 x 60 cm, timbangan elektrik, alat penggetar, alat *slump test*, *compression test*, *split test*, *flexural test* dan peralatan tambahan seperti ember, kapi, cetok dan gelas ukur.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *mix design*. Beton direncanakan dengan 2 mutu, yaitu f_c' 23 MPa untuk merepresentasikan mutu beton pada umumnya dan 27 MPa untuk beton dengan mutu yang lebih tinggi. *Water/cement ratio* yang direncanakan masing-masing 0,59 dan 0,53, serta digunakan juga *superplasticizer* sebanyak 0,4% dari berat semen. *Steel fiber* yang digunakan sebanyak 1% dan 1,5% dari total *volume* beton.

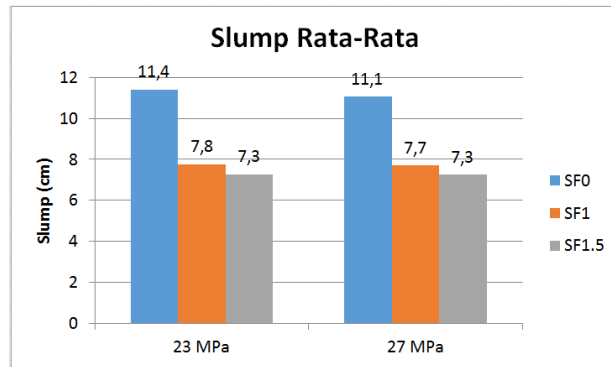
4. HASIL DAN ANALISA DATA

4.1. Pengujian *Slump*

Dalam tabel dan grafik hasil pengujian, akan digunakan kode nama untuk mempermudah pembacaan. Kode Nama SF0 untuk beton normal yang tidak menggunakan serat baja, kode nama SF1 untuk SFRC dengan kadar serat baja 1% dari total volume beton dan kode nama SF1.5 untuk SFRC dengan kadar serat baja 1.5% dari total volume beton.

SFRC memiliki nilai *slump* yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beton normal. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan serat baja dapat mengurangi *workability* pada beton segar. Keberadaan serat baja membuat campuran beton segar menjadi lebih kaku sehingga memiliki nilai *slump* yang rendah.

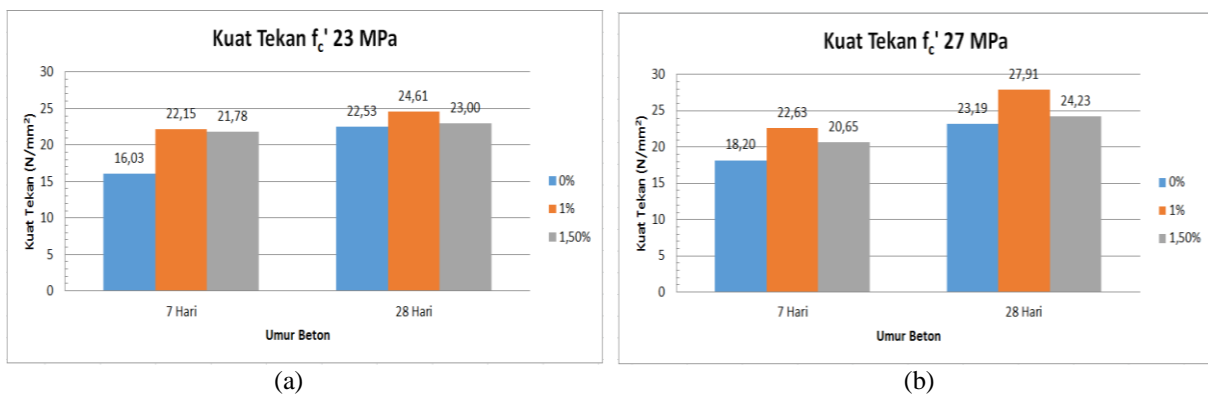
Pada penelitian ini, didapatkan juga bahwa semakin banyak serat baja yang ditambahkan pada campuran beton, semakin rendah pula nilai *slump* yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Namun selisih nilai *slump* untuk SFRC dengan kadar serat baja 1% dan 1.5% menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan.



Gambar 1. Grafik Slump Benda Uji Kuat Kokoh Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Murni

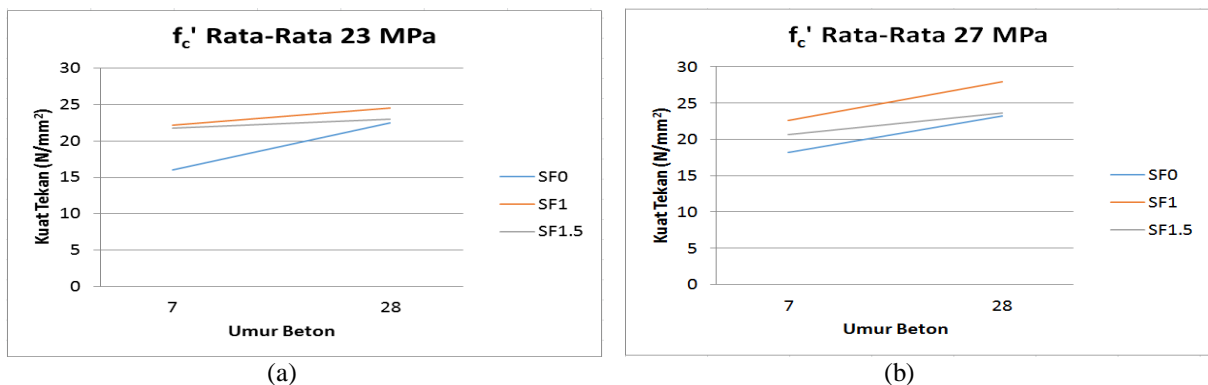
4.2. Pengujian Kuat Kokoh Tekan

Penambahan serat baja dapat meningkatkan kuat kokoh tekan pada beton. Namun penambahan serat baja tersebut tidak terlalu signifikan, karena peningkatan kekuatan yang terjadi hanya sekitar 2-20% dari kekuatan beton normal. Didapati juga bahwa kadar serat baja yang paling optimal untuk meningkatkan kuat tekan beton adalah 1%, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan SFRC f_c' 23 MPa (a) dan f_c' 27 MPa (b)

Dapat dilihat juga pada **Gambar 3** bahwa SFRC dengan mutu rencana yang lebih rendah dapat mencapai kekuatan awal yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan SFRC yang memiliki mutu rencana lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa serat baja bekerja lebih optimal untuk mencapai kekuatan awal yang tinggi bila digunakan mutu rencana yang lebih rendah.



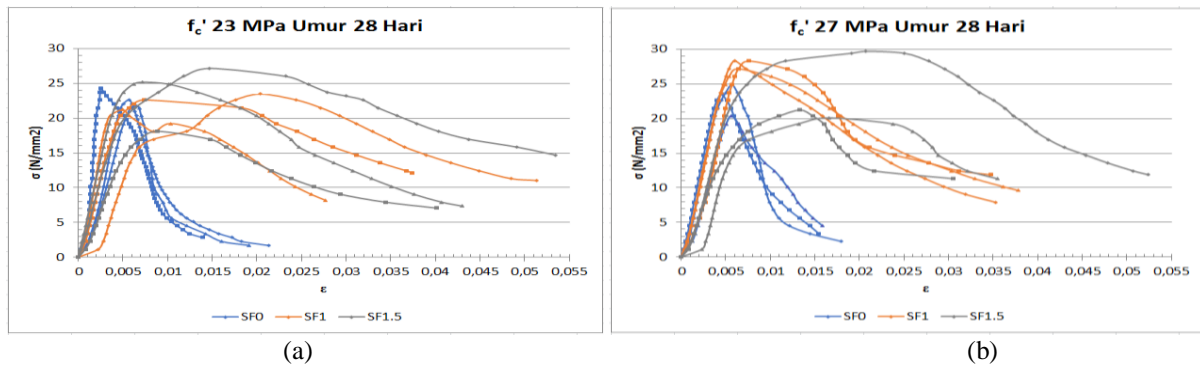
Gambar 3. f_c' Rata-Rata 23 MPa (a) dan 27 MPa (b)

4.2.1. Stress-Strain

Perilaku awal beton normal dan SFRC di dalam menahan tegangan tekan cenderung sama. Namun semakin bertambahnya tegangan, perbedaan perilaku antara beton normal dan SFRC semakin terlihat. Hal ini disebabkan karena serat baja baru bekerja aktif saat terjadi *microcracking*. Perbedaan perilaku yang terjadi adalah kemampuan beton di dalam menerima regangan.

Dapat dilihat pada **Gambar 4**, penambahan serat baja dapat meningkatkan kemampuan regangan pada beton. Beton normal $f_c'23$ MPa memiliki regangan rata-rata sebesar 0.018 dan $f_c'27$ MPa memiliki regangan rata-rata sebesar 0.016, namun penggunaan serat baja dapat membuat beton mencapai regangan hingga 0.035. Perilaku ini menunjukkan bahwa penambahan serat baja dapat meningkatkan performa beton yang awalnya getas menjadi lebih daktail.

Pada **Gambar 4 (a)**, terdapat satu benda uji SFRC yang menunjukkan perilaku berbeda dengan benda uji lainnya. Setelah mencapai tegangan *ultimate*, kapasitas benda uji dalam memikul beban pada umumnya makin lama makin rendah. Namun pada benda uji SFRC dengan kadar 1% ini menunjukkan peningkatan kapasitas memikul beban setelah mencapai tegangan *ultimate* walaupun tidak melebihi tegangan *ultimate* tersebut.

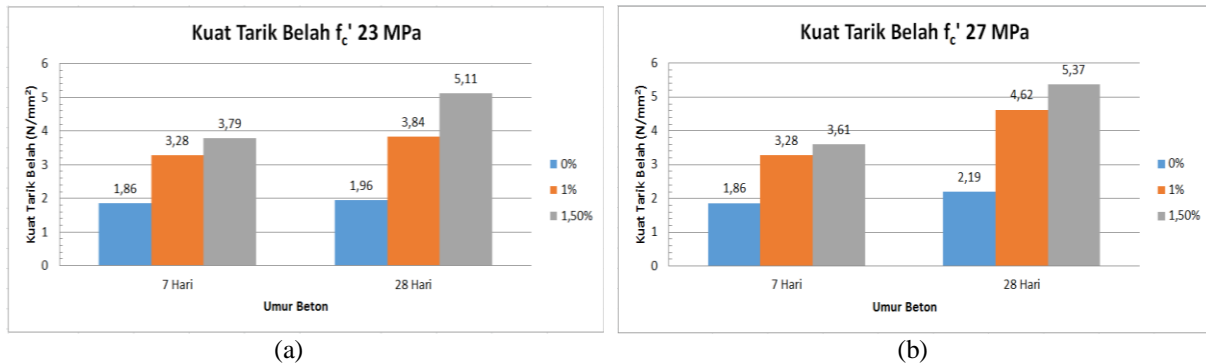


Gambar 4. Stress-Strain $f_c' 23$ MPa Umur 28 Hari (a), $f_c' 27$ MPa Umur 28 Hari (b)

4.3. Pengujian Kuat Tarik Belah

Penambahan serat baja sangat mempengaruhi peningkatan kekuatan tarik belah pada beton, dapat dilihat pada **Gambar 5**. Kekuatan tarik belah SFRC pada umur 28 hari dapat meningkat hingga lebih dari 100% dari kekuatan tarik belah beton normal. Untuk SFRC dengan kadar serat baja 1%, terjadi peningkatan kekuatan sebesar 95.92% dari kekuatan beton normal untuk $f_c' 23$ MPa dan 110.96% dari kekuatan beton normal untuk $f_c' 27$ MPa. Sedangkan untuk SFRC dengan kadar serat baja 1.5%, terjadi peningkatan kekuatan sebesar 94.09% dari kekuatan beton normal untuk $f_c' 23$ MPa dan 136.98% dari kekuatan beton normal untuk $f_c' 27$ MPa.

Dalam penelitian ini, didapati bahwa penambahan serat baja sebanyak 1.5% dari total volume beton merupakan kadar yang optimal untuk meningkatkan kekuatan tarik belah beton bila dibandingkan dengan 1%. Dapat dikatakan juga bahwa semakin tinggi kadar baja yang digunakan, semakin tinggi pula kekuatan tarik belah yang dapat dihasilkan.

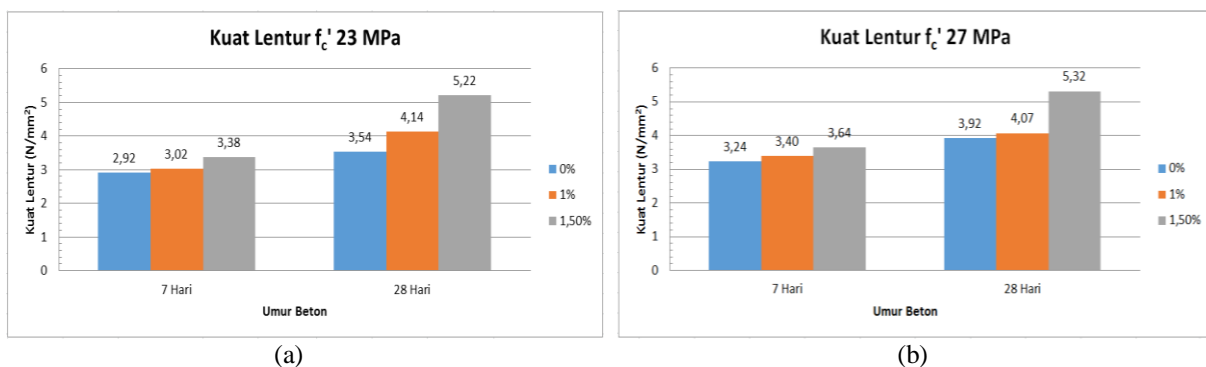


Gambar 5. Grafik Kuat Tarik Belah SFRC f_c' 23 MPa (a) dan f_c' 27 MPa (b)

4.4. Pengujian Kuat Lentur Murni

Penambahan serat baja dapat mempengaruhi peningkatan kekuatan lentur murni pada beton, dapat dilihat pada **Gambar 6**. Untuk SFRC dengan kadar serat baja 1%, terjadi peningkatan kekuatan sebesar 17.09% dari kekuatan beton normal untuk f_c' 23 MPa dan 3.85 % dari kekuatan beton normal untuk f_c' 27 MPa. Peningkatan kekuatan untuk f_c' 27 MPa tergolong rendah. Hal ini dapat terjadi karena jumlah serat baja yang kurang menyebar pada daerah retakan. Untuk SFRC dengan kadar serat baja 1.5%, terjadi peningkatan kekuatan sebesar 47.49% dari kekuatan beton normal untuk f_c' 23 MPa dan 35.60% dari kekuatan beton normal untuk f_c' 27 MPa.

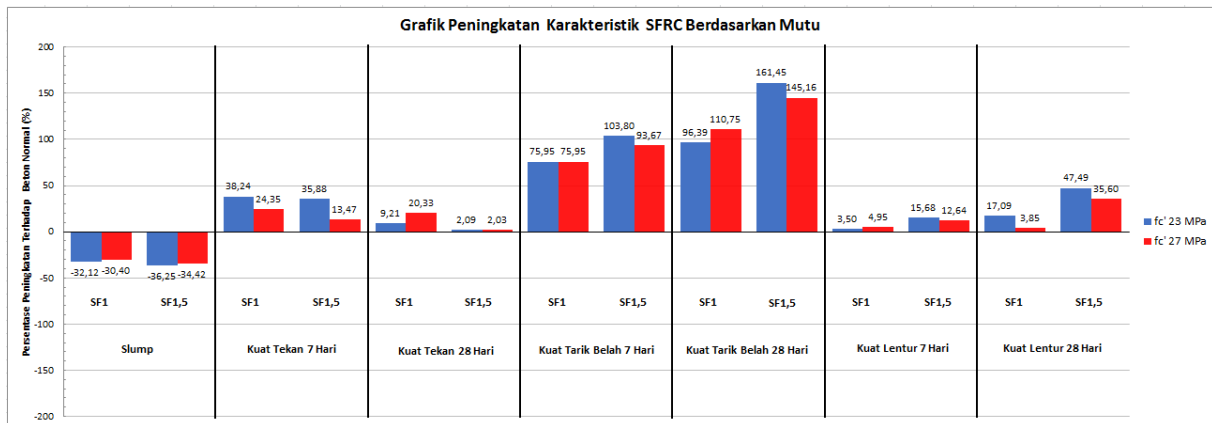
Dalam penelitian ini, didapati bahwa penambahan serat baja sebanyak 1.5% dari total volume beton merupakan kadar yang optimal untuk meningkatkan kekuatan lentur murni beton bila dibandingkan dengan 1%. Dapat dikatakan juga bahwa semakin tinggi kadar baja yang digunakan, semakin tinggi pula kekuatan lentur murni yang dapat dihasilkan.



Gambar 6. Grafik Kuat Lentur Murni SFRC f_c' 23 MPa (a) dan f_c' 27 MPa (b)

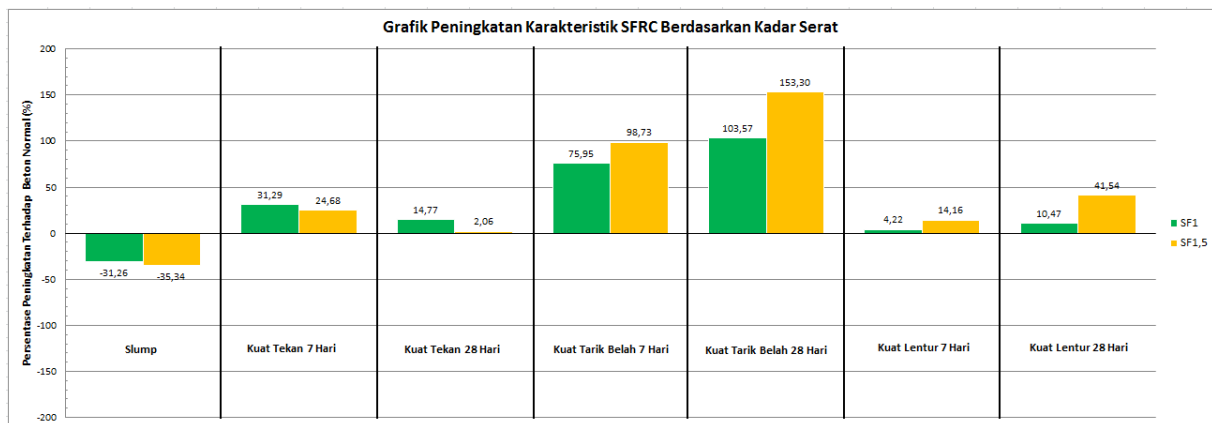
4.5 Peningkatan Karakteristik SFRC

Gambar 7 menunjukkan peningkatan karakteristik SFRC bila dibandingkan dengan beton normal berdasarkan mutu rencananya. Garis nol merepresentasikan beton normal, sedangkan nilai pada grafik merepresentasikan peningkatan maupun penurunan yang terjadi. **Gambar 7** menunjukkan bahwa peningkatan karakteristik SFRC yang optimal terjadi pada mutu rencana yang lebih rendah yaitu 23 MPa.



Gambar 7. Peningkatan Karakteristik SFRC Berdasarkan Mutu

Gambar 8 menunjukkan peningkatan karakteristik SFRC bila dibandingkan dengan beton normal berdasarkan kadar serat baja yang digunakan. Garis nol merepresentasikan beton normal, sedangkan nilai pada grafik merepresentasikan peningkatan maupun penurunan yang terjadi. Gambar 8 menunjukkan bahwa peningkatan karakteristik SFRC yang optimal terjadi dengan kadar serat baja yang lebih tinggi yaitu 1.5%. Dapat disimpulkan bahwa campuran yang optimal untuk meningkatkan karakteristik SFRC dalam penelitian ini adalah beton dengan mutu 23 MPa dan kadar serat baja sebesar 1.5% dari total volume beton.



Gambar 8. Peningkatan Karakteristik SFRC Berdasarkan Kadar Serat

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian diatas, dapat disimpulkan bahwa:

- Penambahan serat baja dapat meningkatkan kuat kokoh tekan pada beton, namun peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan.
- Kadar serat baja yang paling optimal untuk meningkatkan kekuatan kokoh tekan beton adalah 1% dari total volume beton.
- Penambahan serat baja sangat mempengaruhi peningkatan kekuatan tarik belah pada beton.
- Penambahan serat baja sebanyak 1.5% dari total volume beton merupakan kadar yang optimal untuk meningkatkan kekuatan tarik belah beton. Semakin tinggi kadar baja yang digunakan, semakin tinggi pula kekuatan tarik belah yang dapat dihasilkan.
- Penambahan serat baja mempengaruhi peningkatan kekuatan lentur murni pada beton.

- Penambahan serat baja sebanyak 1.5% dari total volume beton merupakan kadar yang optimal untuk meningkatkan kekuatan lentur murni beton. Semakin tinggi kadar serat baja yang digunakan, semakin tinggi pula kekuatan lentur murni yang dapat dihasilkan.
- Campuran yang optimal untuk meningkatkan karakteristik SFRC dalam penelitian ini adalah beton dengan mutu 23 MPa dan kadar serat baja sebesar 1.5% dari total volume beton.

6. DAFTAR REFERENSI

- ACI 544.3R-93 (1993). *Guide for Specifying , Proportioning, Mixing, Placing, and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete*. American Concrete Institute, Detroit, United States of America.
- 1993, P. and Ramakrishnan, V. (1988). "Properties of Fiber Reinforced Concrete : Workability, Behavior under Long-term Loading, and Air-Void Characteristics". *ACI Materials Journal*. Vol. 85, No. 3. 189-196.
- Cuenca, E. (2015). *On Shear Behaviour of Structural Elements Made of Steel Fiber Reinforced Concrete*. Springer, Singapore.
- Jaiskarun, K. and Unnikhrisnan. S. (2017). "Experimental and Analytical Investigation on Steel Fiber Reinforced Concrete." *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. Vol. 10, No. 1, 17-24.
- Singh, H. (2017). *Steel Fiber Reinforced Concrete : Behavior, Modelling and Design*. Springer, Singapore.