

PENGARUH ASPEK-RASIO DARI SERAT KAWAT BENDRAT TERHADAP SIFAT REOLOGI DAN SIFAT MEKANIS BETON MEMADAT SENDIRI

(The influence of Aspect ratio of Rebar-wire Fiber on Rheological and Mechanical Properties of Self Consolidating Concrete)

INyoman Merdana¹, Fathmah Mahmud¹, Pathurrahman¹, Suparjo¹

¹Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram

E-mail: nmerdana@unram.ac.id

Diterima 22 Juni 2023, Disetujui 9 Oktober 2023

ABSTRAK

Seringkali ditemukan bahwa alat pemadatan tidak dapat digunakan secara optimal ketika dihadapkan pada kondisi pengecoran beton yang sulit, dan Beton memadat sendiri adalah salah satu solusinya. Produksi Beton memadat sendiri dilakukan dengan optimalisasi ukuran dan proporsi agregat serta jumlah tertentu dari Superplasticizer. Untuk meningkatkan kekuatan tarik beton, serat berupa kawat tulangan, yang dikenal luas di Indonesia sebagai Bendrat, dapat ditambahkan ke dalam campuran beton segar, namun workability beton self-compacting akan berkurang dengan meningkatnya Aspek rasio dari serat bendrat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Aspek rasio dari kawat bendrat terhadap sifat-sifat mekanik beton memadat sendiri. Benda uji yang digunakan dalam studi ini adalah silinder beton memadat sendiri ukuran 150x300mm dan balok ukuran 150x150x600mm yang dibuat sesuai rekomendasi EFNARC. Diameter kawat bendrat ditetapkan konstan yaitu 0,7mm sedangkan aspek rasio bervariasi antara 60-100. Kekuatan tekan, Kekuatan tarik belah dan Kekuatan lentur dari Beton memadat sendiri diperoleh dengan pengujian sampel beton masing-masing sesuai dengan SNI 1974:2011, SNI 2491:2014 dan SNI 4431:2011. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat Rheology dari beton segar dan sifat-sifat mekanis dari Beton memadat sendiri sangat dipengaruhi oleh aspek rasio dari kawat bendrat. Karakteristik Rheologi, seperti Flowability, Passing ability dan Segregation resistance menurun dengan semakin meningkatnya aspek rasio. Lebih lanjut diungkap juga bahwa penambahan serat bendrat tidak signifikan meningkatkan Kuat tekan SCC. Kuat tekan beton SCC optimum diperoleh dari SCC dengan serat bendrat dengan nilai Aspek rasio 70. Kekuatan Tarik beton SCC sangat signifikan dipengaruhi oleh serat bendrat. Kuat Tarik beton SCC optimum dihasilkan dari beton SCC dengan nilai aspek rasio sekitar 70-80.

Kata Kunci: Beton Memadat Sendiri, Rheology, Aspek-rasio, Serat kawat bendrat, Sifat mekanis

ABSTRACT

It is often observed that compacting device is not applied optimally when faced with difficult placement situations and self-compacting concrete is as one of solution. The production of the concrete is carried out by optimizing aggregate size and proportion as well as certain amount of superplasticizer. In order to improve tensile strength of concrete, then local rebar wire fiber, widely known in Indonesia as Bendrat, can be involved to the fresh concrete, however workability of Self-compacting concrete will be reduced as the aspect ratio of rebar wire fiber increases. This research is intended to discover the effect of aspect ratio of local rebar wire fiber on the mechanical properties of Normal Strength Self compacting concrete. Concrete samples used in this study are 150x300mm concrete cylinder and 150x150x600mm concrete beam made according to EFNARC recommendation. The diameter of rebar-wire fiber is kept constant namely 0.7mm whereas the aspect ratio varies between 60-100. Compressive strength, Splitting tensile strength and Flexural strength of Self-compacting concrete is obtained by testing of concrete samples according to SNI 1974:2011, SNI 2491:2014 and SNI 4431:2011 respectively. The results showed that Rheological properties of fresh concrete and mechanical properties of self-compacting concrete are highly influenced by aspect ratio of rebar wire fiber. Rheological properties, such as Flowability, Passing ability and Segregation resistance decreases as the aspect ratio increases. Moreover, the research result indicate that Compressive strength of self-compacting concrete is insignificantly improved as the Aspect ratio increase. Optimum compressive strength is obtained from concrete specimens with aspect ratio of 70. On the other hand, the addition of rebar wire fiber on the fresh concrete significantly govern the properties of Tensile strength of self-compacting concrete with the optimum aspect ratio ranging from 70-80.

Keywords: Self compacting concrete, Rheology, Aspect-ratio, Rebar wire fiber, Mechanical properties

PENDAHULUAN

Beton digunakan secara luas karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi, mudah untuk dicetak mengikuti kebutuhan arsitektural, mudah diproduksi secara lokal dan massal serta biaya produksi yang relatif murah serta mempunyai durabilitas yang tinggi. Secara umum semua pekerjaan konstruksi sipil selalu melibatkan material beton yang mana hal ini tentunya menunjukkan betapa pentingnya peran beton pada dunia konstruksi. Selama ini dalam pembuatan beton senantiasa dibutuhkan kegiatan pemadatan baik secara internal maupun secara eksternal yang mana ditujukan untuk memperoleh beton yang padat. Pada saat proses pemadatan beton segar seringkali alat pemadat justru kesulitan atau bahkan tidak dapat samasekali menjangkau atau bagian-bagian yang sempit. Untuk mengatasi kondisi pengecoran yang sulit tersebut dapat menggunakan Beton memadat sendiri (BMS) atau *Self Compacting Concrete (SCC)*.

Self-compacting concrete (SCC) adalah suatu beton yang mampu mengalir diantara celah cetakan beton, bahkan diantara jarak tulangan yang sempit, dan memadat sendiri dengan beratnya sendiri tanpa kehilangan sifat homogen. (EFNARC, 2002). Beton disamping memiliki keunggulan yang kuat terhadap tegangan tekan dan durabilitas yang tinggi maka kelemahan beton yaitu kemampuannya yang rendah terhadap tegangan tarik. Kekuatan Tarik beton yang lemah tadi umumnya diupayakan diatasi dengan penambahan serat baja pada beton segar yang dimaksudkan sebagai tulangan mikro. Beberapa penelitian terkait dengan penambahan serat terhadap kekuatan beton adalah diantaranya Buana dan Cui dkk (2023), Buana (2016), Malino dkk (2019), Hamdi dkk (2019), Ramkumar dkk. (2023). Semua riset tersebut menyimpulkan keterkaitan yang erat antara jumlah serat, Aspek rasio dan sifat mekanis beton namun sangat terbatas membahas sifat Rheology dari SCC.

Penggunaan fiber pada campuran segar beton, khususnya di Indonesia sampai saat ini belum populer dilakukan. Kondisi ini dikarenakan kendala dalam pengadaan fiber yang biasanya adalah produk import. Penggunaan serat dari produk import untuk kebutuhan SCC ini tentu menimbulkan dampak negatif yaitu menimbulkan biaya tambahan terhadap produksi beton dan juga mengakibatkan ketergantungan terhadap produk import. Untuk tujuan menekan biaya produksi beton SCC dengan serat maka dapat dilakukan dengan memanfaatkan potensi lokal yaitu menggunakan kawat ikat tulangan beton yang biasanya disebut kawat Bendrat (Local rebar wire). Sama halnya dengan beton konvensional, pada dasarnya SCC adalah beton yang bersifat getas. Melihat beberapa kondisi-kondisi tadi diatas maka studi ini ditujukan untuk mempelajari pengaruh penambahan serat kawat bendrat (*Local rebar wire fiber*) terhadap sifat-sifat mekanis SCC. Konsep dasarnya adalah memberikan tulangan mikro pada beton dengan fiber yang disebar secara merata ke dalam adukan beton dengan orientasi random,

sehingga dapat mencegah terjadinya retakan retakan beton yang terlalu dini akibat panas hidrasi maupun pembebanan.

Self-compacting concrete mensyaratkan kemampuan mengalir yang cukup baik, sehingga viskositas beton juga harus diperhatikan untuk mencegah terjadi segregasi (Okamura dan Ozawa, 1994). Secara umum terdapat tiga syarat beton segar yang harus dipenuhi untuk dapat dikategorikan sebagai SCC yaitu *Filling ability*, *Passing ability* dan *Segregation resistance*. Beton SCC juga dapat diberikan tambahan serat, yang disarankan berupa serat baja atau juga serat Polymer untuk meningkatkan kekuatan tariknya (EFNARC, 2002).

Efek lain dari penambahan fiber kedalam adukan beton adalah terjadinya perubahan sifat Rheology dari SCC. Kemudahan pengerjaan (*Workability*) cenderung menurun seiring dengan besarnya volume fiber kawat bendrat yang digunakan serta nilai Aspek rasio dari serat bendrat yang digunakan. Aspek rasio adalah perbandingan panjang kawat bendrat terhadap diameter dari kawat yang digunakan sebagai serat. Dengan beberapa pertimbangan tadi diatas maka dalam studi ini dikaji tentang sifat mekanis beton SCC dengan Aspek rasio yang bervariasi dari 60-100. Adapun sifat beton SCC yang diuji dalam riset ini mencakup sifat Reologi beton segar dan sifat Mekanis SCC. Sifat Rheology tersebut yaitu *Filling ability*, *Passing ability* dan *Segregation resistance*, sedangkan sifat mekanis SCC meliputi Kuat tekan, Kuat Tarik belah dan Modulus runtuh SCC yang masing masing sesuai dengan SNI 1974:2011, SNI 2491:2014 dan SNI 4431:2011. Selanjutnya benda uji yang digunakan dalam studi ini adalah silinder beton 150mmx300mm yang digunakan untuk uji tekan dan uji Tarik belah SCC dan juga balok 150mmx150mmx600mm untuk uji Modulus runtuh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Aspek rasio dari kawat bendrat terhadap sifat-sifat mekanik beton memadat sendiri.

METODE

Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton dan Mix Design

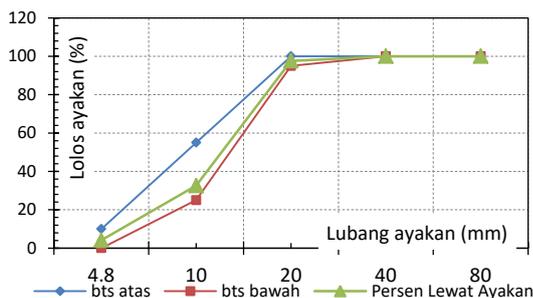
Secara umum riset ini dilaksanakan dalam tiga tahap yaitu tahap pertama persiapan bahan dan pengujian pendahuluan, tahap kedua berupa pembuatan benda uji dan perawatan dan tahap terakhir yaitu tahap pengujian sampel beton dan Analisa data. Untuk tahap awal dilakukan pengujian bahan penyusun beton. Adapun pengujian bahan yang telah dilakukan untuk studi ini meliputi pengujian terhadap pasir dan kerikil yang mana ringkasan hasil pengujian bahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. Pada penelitian ini agregat halus dan kasar dengan diameter maksimum 20mm yang digunakan berasal dari desa Pringgabaya Kabupaten Lombok Timur NTB.

Dalam studi ini material pasir dan kerikil dilakukan pengujian pendahuluan berupa Berat jenis SSD, Berat satuan serta analisa saringan. Untuk pengujian material pasir berupa Berat jenis dan penyerapan, Berat satuan dan Analisa saringan masing masing berpedoman pada ASTM C128-07a, ASTM C 29/C29M-91a dan ASTM C136-84. Sedangkan untuk kerikil pengujian dilakukan masing masing sesuai dengan ASTM C 127-88 dan ASTM C131-89 untuk pengujian berat jenis dan penyerapan Ketahanan Aus agregat kasar dengan mesin Los Angelos. Dari hasil pemeriksaan bahan-bahan tersebut diperoleh hasil sebagaimana dijelaskan pada Tabel 1, dan gambar grafik gradasi agregat halus dan gradasi kerikil masing masing dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Secara umum pasir dan kerikil yang digunakan untuk membuat sampel SCC telah memenuhi syarat sebagai bahan penyusun beton.

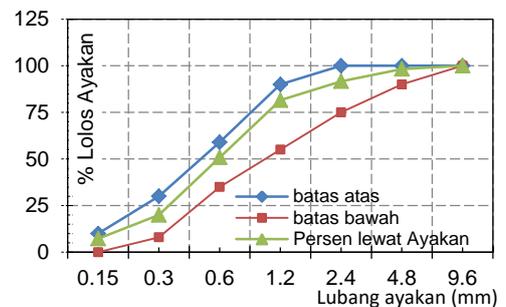
Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Material	BJ (SSD)	Penyerapan (%)	Berat isi lepas (kg/m ³)	Modulus Halus Butir
Pasir	2,534	4,02	1.331	2,80
Kerikil	2,679	1,50	1.435	6,70

Dari ringkasan hasil pengujian bahan pada Tabel 1 nampak bahwa pasir dan kerikil yang digunakan ini termasuk dalam jenis agregat berat normal yang memiliki berat satuan antara 1200–1600 kg/m³. Sedangkan dari hasil uji kadar lumpur diperoleh bahwa pasir mempunyai kadar lumpur 1,40% yang mana memenuhi untuk syarat sebagai bahan penyusun beton sehingga tidak diperlukan tindakan lebih lanjut. Pada penelitian ini bahan pasir yang digunakan termasuk pada zone II yaitu pasir agak kasar. Hal ini menunjukkan pasir telah memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran berkisar 1,5–3,8.



Gambar 1. Gradasi Agregat Halus



Gambar 2. Gradasi Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam kajian ini juga telah diuji sesuai ASTM C 127-88 dan ASTM C131-89. Dari hasil pemeriksaan kerikil menunjukkan modulus kehalusan butiran sebesar 6,70 memenuhi persyaratan modulus kehalusan butiran antara 6-7,1.

Perencanaan Adukan Beton dan benda uji

Mix design SCC untuk riset ini telah dibuat sesuai dengan pedoman EFNARC (2002), dan EFNARC (2005). Melalui prosedur trial mix serta penyesuaian di laboratorium terhadap tiga alternatif mix design yang telah disiapkan maka digunakan rancangan campuran sebagaimana tercantum pada Tabel 3 dengan kekuatan tekan rencana $f'c=30\text{MPa}$. Adapun kebutuhan benda uji dan dapat dilihat pada Tabel 2 yang mana semua sampel beton di uji setelah berumur 28 hari.

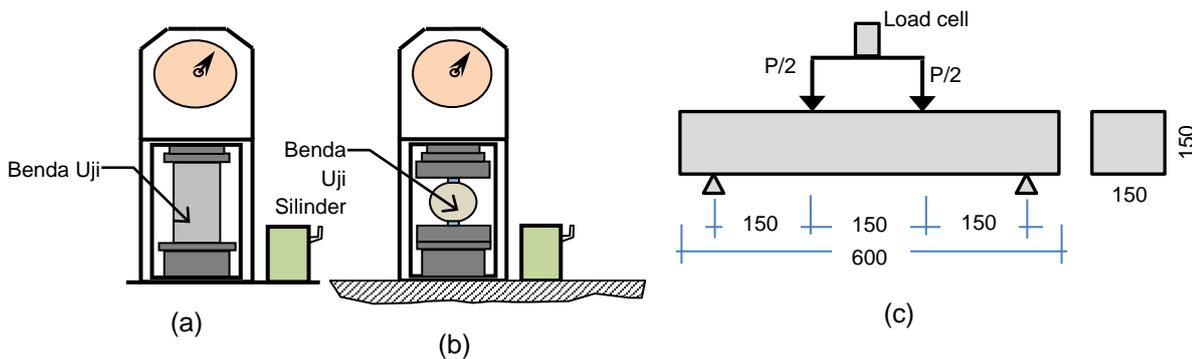
Tabel 2. Rancangan benda uji beton SCC

Sampel beton SCC	Aspek rasio Kawat bendrat	Rancangan kebutuhan benda uji (buah)		
		Kuat tekan	Kuat Tarik	Mod. runtuh belah
SCC-0	-	3	3	2
SCC-6	60	3	3	2
SCC-7	70	3	3	2
SCC-8	80	3	3	2
SCC-9	90	3	3	2
SCC10	100	3	3	2
Jumlah	---	18	18	12

Untuk mendapatkan sifat mengalir dari SCC maka superplasticizer yang digunakan yaitu Sika Viscocrete® 3115N dengan bahan dasar *Modified polycarboxylate copolymers* dengan porsi 1,8% dari berat semen. Sedangkan kawat bendrat dengan geometri lurus yang memiliki nilai Aspek-rasio bervariasi 60-100 dengan diameter rata-rata 0,70mm dengan berat satuan volume rata-rata 6860kg/m³. Adapun kuat Tarik dari serat kawat bendrat tidak dilakukan pengujian Tarik mengingat adanya keterbatasan alat yang mana tidak dapat menguji logam berdiameter kecil. Serat bendrat yang digunakan pada beton segar disebar secara acak pada saat pencampuran SCC. Lebih detail tentang Kebutuhan bahan penyusun SCC ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan bahan per-m³ Beton SCC

Beton	Aspek Rasio	Pjg kawat bendrat (mm)	Semen PCC (kg)	Air (kg)	Aggregat halus (kg)	Aggregat Kasar (kg)	Visco crete (kg)	Kawat Bendrat (kg)	Umur Beton saat uji (hari)
SCC	0	---	450	198	900	450	8,10	-	28
	60	42	450	198	900	450	8,10	59,80	28
SCC	70	49	450	198	900	450	8,10	59,80	28
+Kawat Bendrat	80	56	450	198	900	450	8,10	59,80	28
	90	63	450	198	900	450	8,10	59,80	28
	100	70	450	198	900	450	8,10	59,80	28



Gambar 3. Setting up Pengujian Sampel Beton SCC
 (a) Pengujian Kuat Tekan f'_c ; (b) Pengujian Kuat Tarik Belah f_t ;
 (c) Pengujian Modulus Runtuh M_r

Pengujian dan Analisa data

Untuk menentukan Kekuatan tekan f'_c , Kekuatan tarik belah f_t , dan Kekuatan lentur M_r dari Beton SCC, baik tanpa kawat bendrat maupun dengan serat kawat bendrat diperoleh dengan pengujian sampel beton masing-masing sesuai dengan SNI 1974:2011, SNI 2491:2014 dan SNI 4431:2011. Untuk kekuatan tekan, Kekuatan Tarik belah f_t dan Modulus runtuh M_r masing masing dihitung dengan Persamaan (1), (2) dan (3). Adapun sketsa pengujian Kuat tekan, Kuat Tarik belah dan Modulus runtuh dapat dilihat pada Gambar 3.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$$f_t = \frac{2P}{\pi LD} \quad (2)$$

Dimana:

- f'_c =Kuat tekan beton SCC (MPa),
- f_t =Kuat Tarik belah beton SCC (MPa)
- L=Panjang silinder beton SCC (mm)
- P=beban maksimum (N)
- A=Luas tampang silinder (mm²)
- D=diameter silinder beton SCC (mm)

$$M_r = \frac{PL}{BH^2} \quad (3)$$

Dimana

- M_r =Modulus runtuh (MPa)
- P=beban maksimum (N)
- L=Panjang balok SCC (mm)
- B=Lebar balok uji (mm)
- H=tinggi panampang balok (mm)

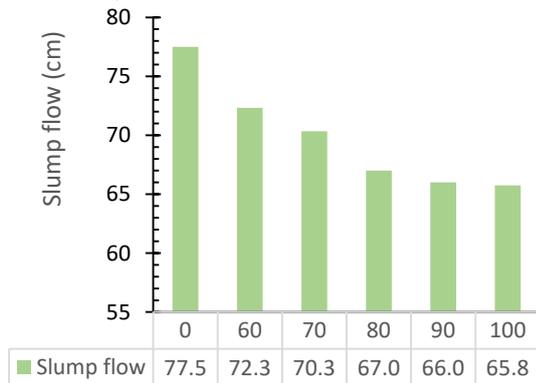
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sifat Rheology Beton SCC

Pengujian beton segar dilakukan untuk mengetahui tingkat *Workability* yang harus dipenuhi dalam memproduksi beton SCC yang meliputi pengujian: *flowability*, *viscosity* dan ketahanan terhadap segregasi (EFNARC, 2005). Untuk mengetahui ketiga karakteristik SCC tersebut digunakan beberapa alat uji yaitu: *slump flow* yang digunakan untuk mengukur *flowability* dan *slump-time* T50 untuk mengukur *viscosity* (kekentalan) dan *Sieve stability* untuk mengukur ketahanan terhadap segregasi SCC. Hasil pengujian slump flow dapat dilihat pada Gambar 4. Dari grafik hubungan Aspek-rasio terhadap Slump flow tersebut dapat diketahui bahwa sifat Filling ability dari SCC menurun secara linier seiring dengan semakin bertambahnya nilai Aspek rasio serat bendrat. Hal ini memberikan indikasi bahwa campuran beton segar SCC menjadi semakin kaku dan semakin sulit untuk mengalir bila digunakan nilai aspek rasio yang besar. Semakin besar nilai Aspek rasio maka kawat bendrat semakin panjang yang mana hal ini akan menghambat pergerakan beton segar SCC.

Secara umum semua beton SCC tersebut, baik SCC tanpa serat kawat bendrat maupun dengan serat kawat bendrat masih dalam rentang persyaratan EFNARC (2002) yaitu antara 650-800mm. Berdasarkan EFNARC (2005) dengan memperhatikan nilai Slump flow pada Gambar 4 maka untuk beton

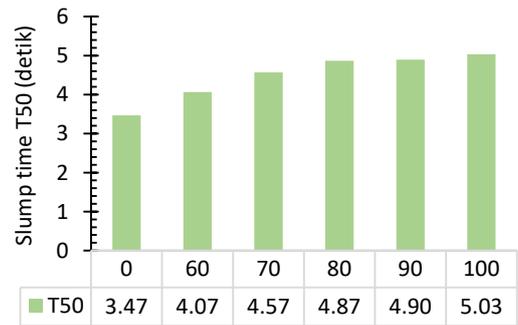
SCC tanpa serat kawat bendrat (Aspek rasio=0), SCC dengan Aspek rasio 60-90 dan SCC dengan Aspek rasio 100 masing masing tergolong sebagai beton SCC kelas SF3, SF2 dan SF1.



Gambar 4. Hubungan Aspek-rasio dan *Flowability* (Slump flow) beton SCC.

Sifat reologi lainnya yang juga penting untuk SCC yaitu Slump time T50. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan waktu yang diperlukan bagi campuran SCC untuk mengalir mencapai diameter 500mm. Nilai *Slump-time* T50 hasil pengujian beton segar SCC dapat dilihat pada pada Gambar 5. Dari gambar 5 tersebut dapat diketahui bahwa nilai *slump-time* T50 meningkat secara linier seiring dengan meningkatnya nilai Aspek-rasio dari serat bendrat. Dengan meningkatnya nilai Slump time T50 tersebut maka artinya campuran beton segar SCC membutuhkan waktu pengaliran yang lebih lama. Waktu pengaliran yang lebih lama tersebut timbul karena dengan semakin besar nilai Aspek rasio maka panjang serat bertambah sehingga menimbulkan aliran SCC menjadi terhambat. Kondisi ini juga menjadi penyebab Sifat *Filling ability* dari SCC (Gambar 4) yang menurun seiring dengan bertambahnya nilai Aspek rasio dari kawat bendrat. Berdasarkan EFNARC (2005) dan memperhatikan nilai Slump time T50 pada Gambar 5 tersebut maka semua jenis SCC tersebut, baik SCC dengan serat kawat bendrat maupun SCC tanpa serat kawat bendrat termasuk sebagai SCC dengan *Viscosity classes* VS1 karena memiliki nilai T50>2s.

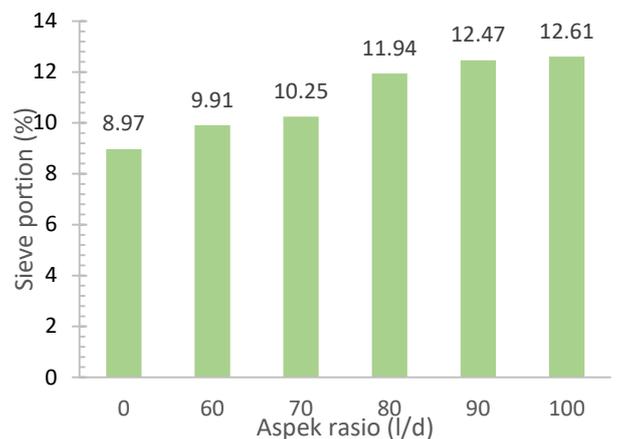
Secara umum semua campuran beton SCC dalam studi ini, baik SCC tanpa serat maupun tanpa serat telah memenuhi rekomendasi EFNARC (2002). Menurut EFNARC (2002, 2005), nilai maksimum *slump-time* T50 dari beton SCC adalah tidak melebihi 5 detik.



Gambar 5. Grafik Hubungan Aspek rasio dan Viskositas (Time T50) Beton SCC

Sifat Reologi lainnya yang juga harus dipenuhi yaitu *Passing ability* dan *Segregation Resistance*. Menurut EFNARC (2005) bahwa batasan tertinggi untuk nilai *Sieve portion* adalah tidak lebih dari 20%. Dari Hasil pengujian *Sieve stability* pada beton segar SCC yang ditunjukkan pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa semua campuran beton segar memenuhi syarat dari rekomendasi EFNARC (2002, 2005) sehingga masih masuk kategori campuran SCC yang stabil. Berdasarkan nilai *Sieve portion* dari Gambar 6 tersebut maka untuk semua SCC kurang dari 15% maka dapat dikalsifikasikan sebagai SCC dengan *Segregation resistance classes* SR2.

Pengujian *Passing ability* telah dilakukan dengan alat J-Ring test yang mana bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran beton segar SCC dalam melewati celah-celah diantara besi tulangan atau bagian celah yang sempit dari cetakan. Semua campuran beton segar SCC telah memenuhi persyaratan.



Gambar 6. Hubungan Aspek rasio dan Ketahanan Segregasi beton SCC

Pengujian Sifat Mekanis Kuat Tekan f'_c Beton SCC

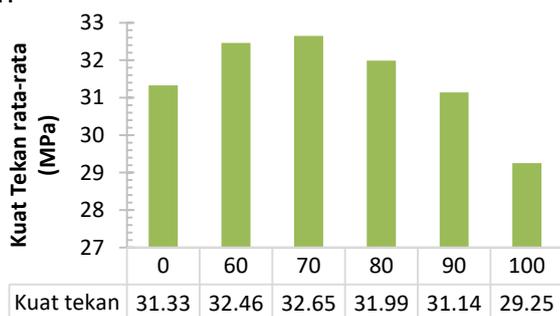
Adapun sifat mekanis yang diuji pada riset ini adalah terbatas pada Kuat tekan, Kuat Tarik belah, dan Modulus runtuh. Hasil pengujian sifat-sifat mekanis tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 11. Pengujian kuat tekan f'_c dengan seting-up pengujian seperti terlihat pada Gambar 3, dilakukan setelah sampel SCC memperoleh perawatan dengan

perendaman dan mencapai umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Grafik hubungan Aspek-rasio kawat bendrat dan Kuat tekan umur beton 28 hari dapat dilihat pada Gambar 7 dan bentuk pola retak dari beton SCC setelah pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.

Dari Gambar 7 tersebut dapat dipelajari bahwa Kuat tekan SCC optimal diberikan oleh beton SCC dengan nilai Aspek-rasio fiber bendrat 70. Untuk nilai Aspek-rasio lebih dari 70 kekuatan tekan beton SCC menurun secara linier. Untuk SCC dengan nilai Aspek-rasio 80-100 terjadi penurunan nilai kuat tekan yang timbul karena semakin besar nilai Aspek rasio dari kawat bendrat maka beton segar SCC semakin sulit untuk mengalir sehingga pemadatan dengan memanfaatkan berat-nya sendiri menjadi tidak maksimal yang mengakibatkan penurunan kekuatan. Disamping itu, semakin besar nilai aspek-rasio maka cenderung untuk timbul penggumpalan (Balling effect) yang menimbulkan serat bendrat menjadi tidak merata tersebar pada campuran beton segar. Dari Gambar 8 nampak secara visual bahwa beton SCC tanpa serat bendrat berperilaku sangat getas bila dibandingkan dengan SCC dengan tambahan serat kawat bendrat. Beton SCC dengan kawat bendrat mengalami retak-retak namun tidak pecah terbelah sebagaimana SCC tanpa kawat bendrat. Secara umum penambahan kawat bendrat pada SCC tidak signifikan meningkatkan Kuat tekan SCC, yaitu memberikan peningkatan Kuat tekan f'_c maksimal sebesar 4,2% yang diberikan oleh SCC dengan nilai Aspek-rasio 70.

Kuat Tarik Beton SCC

Yang dimaksud dengan Kuat Tarik beton SCC dalam studi ini adalah Kuat Tarik belah f_t dan Kuat Tarik lentur atau Modulus runtuh M_r . Sama halnya dengan pengujian Kuat tekan, pengujian Kuat tarik belah f_t dan Modulus runtuh M_r dilakukan setelah sampel SCC mendapatkan perawatan mencapai umur 28 hari. Adapun seting-up pengujian Modulus runtuh diperlihatkan pada Gambar 3. Dari hasil pengujian, Grafik hubungan Aspek-rasio dan Kuat Tarik SCC, baik Kuat Tarik belah f_t dan Kuat Tarik dari pengujian Lentur M_r dapat dilihat pada Gambar 9. Sedangkan pola retak dari balok beton SCC setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 7. Grafik Hubungan Aspek Rasio dan Kuat tekan beton SCC

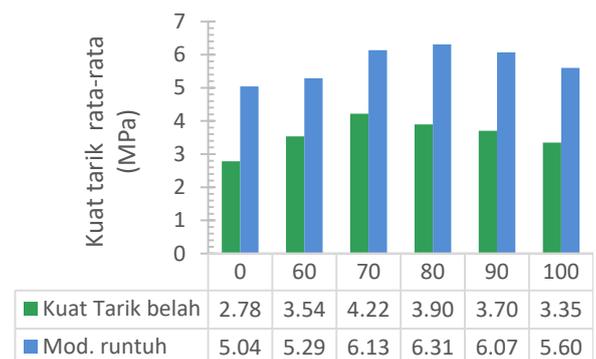


(a) SCC Tanpa Serat



(b) SCC dengan Serat Bendrat

Gambar 8. Tampak Silinder SCC yang telah diuji Tekan



Gambar 9. Hubungan Aspek rasio vs Kuat Tarik SCC (Kuat Tarik Belah f_t dan Modulus runtuh M_r)

Berdasarkan Gambar 9 tersebut dapat diketahui bahwa Kuat tarik belah f_t dan Modulus runtuh M_r meningkat seiring dengan meningkatnya nilai Aspek-rasio. Secara umum Kuat Tarik SCC mencapai optimum pada nilai Aspek rasio sekitar 70-80. Selain itu dari data yang diperoleh bahwa Kuat Tarik SCC dapat diperkirakan sekitar 10-20% dari kuat tekan f'_c .

Kuat Tarik belah dan Kuat Lentur dari SCC mengalami penurunan untuk nilai aspek-rasio 90-100, hal ini disebabkan karena pada kondisi tersebut beton segar SCC sudah mulai mengalami hambatan pergerakan saat pengecoran akibat adanya gejala-gejala penggumpalan (Balling effect) pada kawat bendrat. Bentuk pola retak hasil pengujian Modulus runtuh dan Kuat tarik belah dari beton SCC dengan serat kawat bendrat dan tanpa kawat bendrat dapat dilihat masing masing pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Dari Gambar 10 dan Gambar 11 dapat dilihat bahwa penambahan serat pada beton SCC dapat meningkatkan daktilitas beton, yang mana hal ini terlihat dari retak yang lebih kecil pada SCC dengan

serat kawat bendrat. Dari gambar 10 (bagian kiri) terlihat bahwa balok beton SCC tanpa serat kawat bendrat segera patah setelah mencapai kekuatan Tarik lentur maksimal. Kondisi ini berbeda dengan balok beton SCC dengan serat kawat bendrat (Gambar 10: Kanan) yang mana tidak patah secara getas akibat beban. Hal ini disebabkan karena serat kawat bendrat pada campuran beton SCC berperan sebagai tulangan mikro yang mencegah timbulnya retak lebih lanjut. Untuk SCC dengan nilai Aspek-rasio lebih dari 100 dapat menjadi topik riset lanjutan termasuk didalamnya mengkaji teknik pencampuran serat kedalam campuran untuk menghindari timbulnya Balling effect.

Penambahan serat kawat bendrat pada SCC memiliki dampak kurang baik yang perlu diantisipasi yaitu ada kecenderungan kawat bendrat akan mudah berkarat bila tidak dilindungi dengan baik oleh selimut beton (*Concrete cover*) yang cukup. Pengaruh penambahan serat bendrat terhadap laju korosi pada SCC adalah tidak tercakup dalam studi ini, dapat masalah tersebut dapat menjadi topik riset baru sebagai penelitian lanjutan.



(a) SCC Tanpa Serat Kawat Bendrat



(b) SCC dengan Serat Kawat Bendrat

Gambar 10. Tampak Balok SCC yang telah uji Lentur



(a) SCC Tanpa Serat Kawat Bendrat



(b) SCC dengan Serat Kawat Bendrat

Gambar 11. Tampak Silinder SCC setelah uji Tarik Belah

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian di laboratorium yang telah dilakukan selanjutnya dapat tarik kesimpulan:

1. Sifat Rheology dari SCC sangat dipengaruhi oleh Aspek-rasio dari serat bendrat, baik sifat Filling ability, Slump time T50, maupun Segregation resistance.
2. Kuat tekan beton SCC yang optimal dihasilkan dari campuran beton dengan penambahan serat bendrat dengan nilai aspek-rasio 70. Sedangkan Kuat Tarik SCC optimal diberikan oleh campuran dengan nilai Aspek-rasio sekitar 70-80
3. Penambahan serat bendrat pada campuran beton SCC tidak signifikan meningkatkan Kuat tekan beton dengan peningkatan maksimal sekitar 4,2%. Disamping itu beton SCC meningkat daktilitasnya dengan adanya penambahan serat bendrat
4. Penambahan Serat bendrat sangat signifikan mempengaruhi Kuat Tarik belah ft dan Modulus runtuh beton SCC.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram beserta Staff atas dukungan peralatannya sehingga studi ini dapat berjalan lancar.

REFERENSI

- ASTM C127-07**, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, (Annual Book of ASTM Standard Vol. 04.02)
- ASTM C128-07a**, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate, (Annual Book of ASTM Standard Vol. 04.02)
- ASTM C136/C136M-14**, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, (Annual Book of ASTM Standard Vol. 04.02)
- Buana, F., Gunawan, I.** (2016), Pengaruh Diameter Serat Polymer Etilene Braid Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Pada Beton Mutu Tinggi, Jurnal Fropil Vol 4 Nomor 2 Juli-Des 2016
- Cui, T., Kulasegaram, S., Li, H.** (2023), Prediction of Mechanical Properties of Steel Fibre-Reinforced Self-compacting Concrete by Machine Learning Algorithms. In: Jędrzejewska, A., Kanavaris, F., Azenha, M., Benboudjema, F., Schlicke, D. (eds) International RILEM Conference on Synergising Expertise towards Sustainability and Robustness of Cement-based Materials and Concrete Structures. SynerCrete 2023, RILEM Bookseries, vol 44. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33187-9_65
- EFNARC**, (2002), *Specification & Guidelines for Self-Compacting Concrete, English ed.*, Norfolk UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
- EFNARC**, (2005), *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*, Norfolk UK: European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems
- Hamdi, Dafrimon, Harijadi, S., Revias**, (2019), Pengaruh Penambahan Kawat Bendrat Galvanis Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur beton, Jurnal Deformasi Vol. 4 No. 1 Pp. 31-44
- Malino, L., Wallah, S. E. dan Handono, B.D.**, (2019), Pemeriksaan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Lentur Betonserat Kawat Bendrat Yang Ditekuk Dengan Variasi Sudut Berbeda, Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.6, (711-722)
- Okamura, H. and Ozawa, K.**, (1994), *Self-Compacting High-Performance Concrete in Japan*, ACI SP-159: International Workshop on High Performance Concrete, Michigan
- Ramkumar K.B., Kannan Rajkumar P.R., Gunasekaran K.**, (2023), Performance of hybrid steel fiber-reinforced self-compacting concrete RC beam under flexure, Engineering Science and Technology, an International Journal, Volume 42,2023,<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101432>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215098623001106>)
- SNI 4431:2011**, Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan, ICS 91.100.30, Badan Standarisasi Nasional, BSN 2011
- SNI 2491:2014**, Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder, ICS 91.100.30, Badan Standarisasi Nasional, BSN 2014
- SNI 1974:2011**, Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder, ICS 91.100.30, Badan Standarisasi Nasional, BSN 2011