

PERBANDINGAN NILAI KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN MODULUS ELASTISITAS PADA BETON NORMAL DAN HIGH VOLUME FLY ASH SELF COMPACTING CONCRETE (HVFA-SCC) DENGAN KADAR FLY ASH 50%, 60%, DAN 70%

Agus Setiya Budi¹⁾, Bambang Santosa²⁾, Diah Menik Larasati³⁾

^{1) 2)} Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

³⁾ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524.

Email: diahmenik09@student.uns.ac.id

Abstract

The use of normal concrete requires a lot of time and effort because it needs compaction and a lot of labor during the process. Therefore, Self-Compacting Concrete (SCC) was created as an alternative to normal concrete, but the use of SCC increases cement consumption which will release CO₂ into the air, so additional compounds are needed to reduce cement content. Based on this condition, fly ash is used as an additive. Fly Ash has a very small size so it can reduce the space between aggregates and increase the compressive strength value. High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) has more than 50% fly ash content. This study will analyze compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity due to the addition of fly ash content of 50%, 60%, and 70% in SCC toward the normal concrete. The test results of the compressive strength of normal concrete and fly ash content of 50%, 60%, and 70% are 30,09 MPa, 29,80 MPa, 26,97 MPa, and 21,69 MPa respectively. The elastic modulus values of normal concrete and HVFA-SCC 50%, 60%, and 70% are 25100,38 MPa, 25023,94 MPa, 24139,28 MPa, and 22354,94 MPa, and the split tensile strength values are 3,04 MPa, 2,24 MPa, 1,79 MPa, and 1,38 MPa respectively.

Keywords: Compressive Strength, Fly Ash, HVFA-SCC, Modulus of Elasticity, Split Tensile Strength

Abstrak

Penggunaan beton normal memerlukan banyak waktu dan tenaga karena dibutuhkan pemadatan dan tenaga kerja yang banyak selama proses pengerjaannya. Maka dari itu dibuat alternatif pengganti beton normal yaitu beton *Self Compacting Concrete* (SCC), namun penggunaan beton SCC meningkatkan penggunaan semen yang akan melepaskan CO₂ ke udara sehingga dibutuhkan senyawa tambahan untuk mengurangi kadar semen. Berdasarkan hal tersebut digunakanlah *fly ash* sebagai bahan tambah. Ukuran *fly ash* sangat kecil sehingga mampu mengurangi ruang antar agregat dan mampu meningkatkan nilai kuat tekan. Beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) memiliki kadar *fly ash* lebih dari 50%. Penelitian ini akan menganalisis nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas akibat penambahan kadar *fly ash* sebesar 50%, 60%, dan 70% pada beton SCC terhadap beton normal. Hasil pengujian yang didapatkan, yaitu nilai kuat tekan beton normal dan beton dengan kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% adalah 30,09 MPa, 29,80 MPa, 26,97 MPa, dan 21,69 MPa. Nilai modulus elastisitas yang didapatkan adalah 25100,38 MPa, 25023,94 MPa, 24139,28 MPa, dan 22354,94 MPa, dan Nilai kuat tarik belah yang didapatkan adalah 3,04 MPa, 2,24 MPa, 1,79 MPa, dan 1,38 MPa.

Kata Kunci : *Fly Ash*, HVFA-SCC, Kuat Tarik Belah, Kuat Tekan, Modulus Elastisitas

PENDAHULUAN

Perkembangan zaman dan teknologi dalam industri konstruksi mendorong inovasi material beton yang lebih baik seperti mudah dikerjakan dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi tersebut adalah beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*). SCC dinilai lebih unggul baik dari segi mutu, waktu, maupun biaya dalam pelaksanaan konstruksi dibandingkan beton normal. SCC memerlukan semen dengan jumlah yang lebih banyak agar memiliki *workability* yang baik. Perlu diketahui selama pembuatan semen dilakukan proses pembakaran yang akan melepaskan CO₂ ke udara sehingga dibutuhkan bahan tambah sebagai pengganti sebagian semen agar dapat mengurangi CO₂ yang akan dilepaskan ke udara akibat proses pembuatan semen sehingga mampu mengurangi polusi udara.

Penggunaan *fly ash* dalam SCC dengan kadar >50% disebut dengan HVFA-SCC. Dibandingkan beton normal, beton HVFA lebih tahan retak dikarenakan penggunaan air dan semen yang lebih sedikit saat proses pencampuran. Kuat tekan beton merupakan parameter yang sangat penting untuk mengetahui mutu beton. Beton yang menerima beban akan menimbulkan tegangan sehingga menyebabkan beton tersebut mengalami regangan sehingga perlu untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan regangan atau modulus elastisitas. Kuat tarik beton merupakan

salah satu sifat beton untuk mengetahui mutu beton dalam menahan retak. Nilai kuat tarik beton sulit untuk didapatkan sehingga dilakukan pengujian yang mampu mencerminkan nilai tersebut yaitu uji kuat tarik belah. Beton merupakan pilihan yang paling digemari sebagai bahan untuk struktur bangunan di seluruh dunia. Beton dimaknai sebagai material bangunan yang sifatnya ditentukan berdasarkan perencanaan bahan campuran yang dilakukan sebelum beton dibuat. Beton dengan mutu yang tinggi biasanya memiliki *workability* yang rendah dikarenakan beton dengan mutu yang tinggi maka akan memiliki FAS yang rendah. Hal ini menyebabkan beton menjadi sulit mengalir. SCC diperkenalkan pertama kali oleh peneliti Jepang dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan kerja beton sehingga mampu meningkatkan kualitas konstruksi (Keskin *et al.*, 2008). Beton SCC memerlukan bahan halus (*finer*) sebagai pelumas untuk meningkatkan *workability* dan *flowability*. Maka dari itu digunakan *fly ash* sebagai *filler*. Beberapa tahun belakangan, SCC telah digunakan secara luas untuk struktur beton bertulang terutama dalam kondisi pengecoran yang sulit dan desain tulangan yang rapat. Beton segar harus memiliki kemampuan mengalir yang tinggi dan tahan terhadap segregasi atau pemisahan butir kerikil dari campuran beton agar dapat mengatasi masalah pengecoran. Ciri utama SCC yaitu resistensi terhadap pemisahan, kemampuan pengisian, dan penyaluran yang mudah. Berdasarkan keunggulan dan *deformability performance* yang luar biasa, penggunaan beton SCC meningkat dalam dua dekade terakhir.

Keberlanjutan dalam industri konstruksi dapat dicapai lewat tiga cara, yaitu konsumsi lebih sedikit beton, semen, dan klinker (Mehta dan Maryam, 2009). Beton SCC mampu mengisi rongga-rongga yang kecil dikarenakan berkurangnya kadar agregat sehingga meningkatkan penggunaan semen. Berdasarkan hal tersebut maka beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) dibuat dengan kandungan semen yang rendah sehingga mampu dijadikan alternatif untuk mencapai keberlanjutan dalam industri konstruksi. Sejumlah penelitian mengenai beton HVFA difokuskan pada pengembangan kekuatan jangka panjang karena reaksi *pozzolan* dari *fly ash* aktif saat beton mencapai usia dewasa. Perkembangan kekuatan terutama kuat tarik pada HVFA sangat penting untuk aplikasi struktural dan temuan terkait kuat tekan sangat penting dalam memprediksi pola perambatan retak.

HVFA-SCC adalah beton memadat mandiri yang menggunakan *fly ash* dalam jumlah yang tinggi. Menurut Habibie, Sebayang, dan Widyawati (2012), penggunaan *fly ash* mampu meningkatkan kuat tekan beton serta bentuk bulat dan kehalusan butirnya mampu menambah kelecakan beton. Meningkatnya kekuatan beton karena penggunaan *fly ash* disebabkan oleh kandungan silika (SiO_2) yang tinggi. Silika (SiO_2) apabila berikatan dengan Ca(OH)_2 akan membentuk *Calcium Silicate Hydrate* (CSH) yang merupakan senyawa yang mampu mempengaruhi kekuatan beton (Solikin *et al.*, 2011). Beton yang memiliki kandungan *fly ash* akan mengalami peningkatan kuat tekan secara signifikan saat berumur 28, 56, dan 90 hari. Saat berumur 90 hari *fly ash* sudah mengisi ruang antar rongga pada beton sehingga beton menjadi padat dan kedap sehingga dihasilkan nilai kuat tekan beton yang optimal. Kuat tekan beton sangat mempengaruhi sifat beton yang lain, apabila kuat tekannya tinggi maka sifat beton yang lain juga akan baik. Perbandingan nilai faktor air semen sangat berpengaruh dalam menentukan nilai kekuatan beton. Menurut Priatama (2012), nilai kuat tekan beton yang sebenarnya dapat diketahui dari uji kuat tarik belah. Pengujian kuat tarik belah penting untuk mencegah terjadinya keretakan pada beton bertulang.

METODE

Seluruh proses pengujian dilakukan dengan metode eksperimental. Silinder dengan diameter 300 mm dan tinggi 150 mm merupakan *sample* yang diujikan. Uji XRF Helium dilakukan untuk mengetahui jenis dan kandungan dari *fly ash*. Alat uji *Compression Testing Machine* (CTM) digunakan untuk pengujian kuat tarik belah dan kuat tekan sedangkan uji modulus elastisitas dibantu oleh *extensometer* untuk mengukur *displacement* yang terjadi pada benda uji. Kadar *fly ash* yang digunakan sebagai bahan tambah pada beton SCC adalah 50%, 60%, dan 70%.

Nilai kuat tarik belah dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 1 :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi DL} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan :

- fct = kuat tarik belah (MPa)
- P = *load* (N)
- L = panjang (mm)
- D = diameter (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mix Design

Mix design untuk beton normal dibuat dengan acuan SNI 7656-2012 sedangkan beton HVFA-SCC dibuat berdasarkan EFNARC 2005. Hasil mix design dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil mix design

Benda Uji	Kadar Fly Ash	Fly Ash (Kg/m ³)	Semen (Kg/m ³)	Kerikil (Kg/m ³)	Pasir (Kg/m ³)	Air (lt/m ³)	Superplasticizer (lt/m ³)
HVFA-SCC.50	50%	240	240	753,40	987,10	134,40	9,60
HVFA-SCC.60	60%	288	192	751,68	984,85	134,40	9,60
HVFA-SCC.70	70%	336	144	749,96	982,59	134,40	9,60
NC	0%	-	284,72	924	847,21	205	-

Pengujian Beton Segar

Berdasarkan hasil pengujian beton segar uji slump flow sudah memenuhi syarat menurut EFNARC 2005, dimana t₅₀ yang disyaratkan yaitu 2 - 5 detik dan D_{rata-rata} sebesar 500 - 850 mm. Hasil pengujian L-box test juga memenuhi syarat yaitu h₂/h₁ berada di antara rentang 0,8 - 1,0. Uji v-funnel juga memenuhi syarat sebagai SCC karena hasilnya berada pada rentang 6 - 12 detik sesuai yang disyaratkan oleh EFNARC 2005. Pengujian slump beton normal juga memenuhi syarat yaitu di antara 7,5 - 15 cm. Hasil pengujian beton segar dijabarkan dalam Tabel 2 - Tabel 5.

Tabel 2. Hasil pengujian Slump Flow

Benda Uji	Uji Slump Flow				Syarat EFNARC		
	Diameter			Waktu	t ₅₀ (s)	D _{rata-rata} (mm)	Hasil
	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D _{rata-rata} (mm)	t ₅₀ (dt)			
HVFA-SCC.50	635	630	632,5	4,7	2 - 5	550 - 850	Memenuhi
HVFA-SCC.60	680	690	685	4,3	2 - 5	550 - 850	Memenuhi
HVFA-SCC.70	670	675	672,5	3,4	2 - 5	550 - 850	Memenuhi

Tabel 3. Hasil pengujian L-Box Test

Benda Uji	Tipe L-Box				Hasil
	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₂ /h ₁	Syarat	
HVFA-SCC.50	94	75	0,8	0,8 - 1,0	Memenuhi
HVFA-SCC.60	90	82	0,91	0,8 - 1,0	Memenuhi
HVFA-SCC.70	80	64	0,8	0,8 - 1,0	Memenuhi

Tabel 4. Hasil pengujian V-funnel

Benda Uji	T (dt)	Syarat (dt)	Hasil
HVFA-SCC.50	6	6-12	Memenuhi
HVFA-SCC.60	7	6-12	Memenuhi
HVFA-SCC.70	10	6-12	Memenuhi

Tabel 5. Hasil pengujian Slump beton normal

Benda Uji	T (dt)	Syarat (dt)	Hasil
NC	9	7,5 - 15	Memenuhi

Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan dengan CTM. Jumlah benda uji tiap jenis beton adalah 3 buah dengan umur 28 hari. Hasil pengujian didapatkan data beban dan perubahan panjang yang diperoleh dari pembacaan dial extensometer yang kemudian akan diolah menjadi nilai kuat tekan. Tabel 6 memperlihatkan hasil pengujian kuat tekan.

Tabel 6. Hasil pengujian kuat tekan

No	Benda uji	Luas (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata Kuat Tekan (MPa)
1	NC.1.KT	17671,46	485000	27,45	30,086
	NC.2.KT	17671,46	540000	30,56	
	NC.3.KT	17671,46	570000	32,26	
2	HVFA-SCC.50.1.KT	17671,46	540000	30,56	29,803
	HVFA-SCC.50.2.KT	17671,46	520000	29,43	
	HVFA-SCC.50.3.KT	17671,46	520000	29,43	
3	HVFA-SCC.60.1.KT	17671,46	450000	25,46	26,974
	HVFA-SCC.60.2.KT	17671,46	485000	27,45	
	HVFA-SCC.60.3.KT	17671,46	495000	28,01	
4	HVFA-SCC.70.1.KT	17671,46	415000	23,48	21,692
	HVFA-SCC.70.2.KT	17671,46	355000	20,09	
	HVFA-SCC.70.3.KT	17671,46	380000	21,50	

Nilai kuat tekan tertinggi dimiliki oleh beton normal yaitu sebesar 30,086 MPa. Nilai kuat tekan HVFA-SCC secara keseluruhan lebih rendah dibandingkan beton normal dan mengalami penurunan seiring pertambahan kadar *fly ash*. Nilai kuat tekan HVFA-SCC 50%, 60%, dan 70% berturut-turut adalah 29,803 MPa, 60% sebesar 26,974 MPa, dan 70% sebesar 21,692 MPa. Hasil penelitian kuat tekan ini sesuai dengan teori yang disampaikan oleh Murti (2018) dan Fatimah (2018) di mana dalam penelitian keduanya diperoleh nilai kuat tekan HVFA-SCC yang akan semakin menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash* hal ini disebabkan karena kurangnya semen sebagai bahan pengikat antar agregat. Tabel 7 menunjukkan persentase penurunan nilai kuat tekan HVFA-SCC terhadap beton normal.

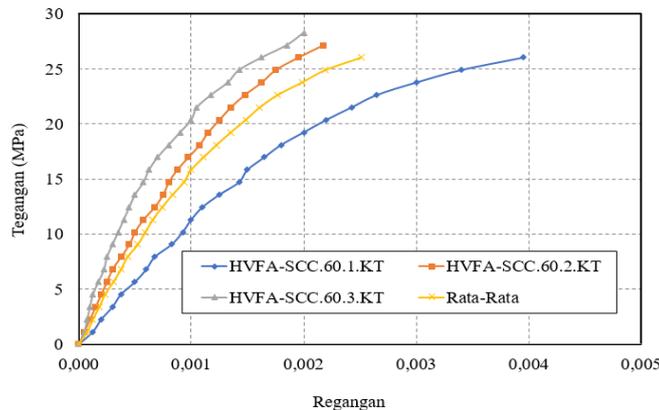
Tabel 7. Persentase nilai kuat tekan HVFA-SCC terhadap beton normal

Benda Uji	f'c Rata-Rata (MPa)	Persentase Perubahan f'c Rata-Rata HVFA-SCC terhadap Beton Normal (%)
NC.KT	30,086	0,00
HVFA-SCC.50.KT	29,803	0,94
HVFA-SCC.60.KT	26,974	10,34
HVFA-SCC.70.KT	21,692	27,90

Persentase penurunan nilai kuat tekan HVFA-SCC 70% terhadap beton normal merupakan yang terbesar yaitu sebesar 27,90% selanjutnya yaitu penurunan kuat tekan HVFA-SCC 60% terhadap beton normal sebesar 20,34% dan terakhir yaitu penurunan kuat tekan HVFA-SCC 70% terhadap beton normal yaitu 0,94%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kadar *fly ash* pada HVFA-SCC maka persentase nilai kuat tekan terhadap beton normal semakin besar di mana nilai kuat tekan yang dihasilkan juga semakin kecil dibandingkan dengan beton normal.

Pengujian Modulus Elastisitas

Hasil uji kuat tekan yang berupa data beban yang perubahan panjang diubah menjadi nilai tegangan dan regangan sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas benda uji. Kemudian setelah didapatkan nilai modulus elastisitas akan dibuat grafik yang menggambarkan hubungan tegangan dan regangan. Salah satu contoh grafik hubungan tegangan-regangan benda uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan tegangan dan regangan HVFA-SCC 60%

Grafik hubungan tegangan dan regangan di atas dapat dihitung menggunakan rumus ASTM C-469. Selain dengan rumus tersebut, modulus elastisitas juga bisa dilakukan dengan beberapa rumus antara lain SNI 2847-2013 dan ACI-Committee 363-10. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas dari beberapa rumus dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas

No	Benda Uji	Parameter (Modulus Elastisitas) (MPa)		
		ACI Committee	SNI	ASTM
		363-10	2847-2013	C-469
1	NC.KT	25100,378	26975,872	23040,333
2	HVFA-SCC.50.KT	25023,936	27648,135	23240,333
3	HVFA-SCC.60.KT	24139,285	26080,440	19642
4	HVFA-SCC.70.KT	22354,943	23183,956	22340,333

Perbandingan nilai modulus elastisitas berdasarkan ACI Committee 363-10 adalah modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh beton normal yaitu sebesar 25100,38 MPa. Nilai modulus elastisitas beton normal, HVFA-SCC 50%, 60%, dan 70% secara berurutan adalah 25023,94 MPa, 24139,28 MPa dan 22354,94 MPa. Menurut Mulatno (2016), modulus elastisitas beton sebanding dengan kuat tekan di mana semakin besar kuat tekannya maka akan semakin besar modulus elastisitas. Modulus elastisitas beton HVFA-SCC semakin menurun seiring dengan pertambahan kadar *fly ash* sehingga nilainya sebanding dengan kuat tekannya berdasarkan hasil penelitian ini.

Pengujian Kuat Tarik Belah

Posisi benda uji saat pengujian kuat tarik belah adalah horizontal pada alat CTM. Beban kemudian akan diterima sepanjang sisi silinder. Hasil pengujian ini berupa beban maksimum yang kemudian akan diolah untuk mengetahui besarnya kuat tarik belah yang dihasilkan oleh benda uji. Data hasil pengujian kuat tarik belah dicantumkan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Uji Kuat Tarik Belah

No	Kode Benda Uji	Ls (mm)	D (mm)	Beban (N)	fct (MPa)	fct Rata-Rata (MPa)
1	NC.1.KTB	300	149	210000	2,991	3,04
	NC.2.KTB	299	149	225000	3,215	
	NC.3.KTB	300	150	205000	2,900	
2	HVFA-SCC.50.1.KTB	299	150	160000	2,270	2,24
	HVFA-SCC.50.2.KTB	299	150	155000	2,200	
	HVFA-SCC.50.3.KTB	300	150	220000	3,112	
3	HVFA-SCC.60.1.KTB	300	150	145000	2,051	1,79
	HVFA-SCC.60.2.KTB	290	151	105000	1,526	
	HVFA-SCC.60.3.KTB	299	150	255000	3,620	
4	HVFA-SCC.70.1.KTB	300	150	100000	1,415	1,38
	HVFA-SCC.70.2.KTB	300	150	95000	1,344	
	HVFA-SCC.70.3.KTB	300	150	160000	2,264	

Keterangan :

■ = Data tidak dimasukkan dalam perhitungan fct rata-rata karena data tersebut terlampaui jauh dengan data yang lain.

Nilai kuat tarik belah yang didapatkan sebanding dengan nilai kuat tekan. Di mana nilai kuat tarik belah tertinggi dimiliki oleh beton normal yaitu sebesar 3,04 MPa. Nilai kuat tarik belah beton HVFA-SCC 50%, 60%, dan 70% secara urut yaitu 2,24 MPa, 1,79 MPa, dan 1,38 MPa. Tabel 10 berisi persentase berkurangnya nilai kuat tarik belah beton HVFA-SCC terhadap beton normal.

Tabel 10. Persentase nilai kuat tarik belah HVFA-SCC terhadap beton normal

Benda Uji	fct Rata-Rata (MPa)	Persentase Perubahan fct Rata-Rata terhadap Beton Normal (%)
NC.KTB	3,04	0,00
HVFA-SCC.50.KTB	2,24	26,35
HVFA-SCC.60.KTB	1,79	41,07
HVFA-SCC.70.KTB	1,38	54,56

Persentase penurunan nilai kuat tarik belah HVFA-SCC 70% terhadap beton normal merupakan yang terbesar yaitu sebesar 54,56% selanjutnya yaitu penurunan kuat tarik belah HVFA-SCC 60% terhadap beton normal sebesar 41,07% dan terakhir yaitu penurunan kuat tarik belah HVFA-SCC 70% terhadap beton normal yaitu 26,35%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kadar *fly-ash* pada HVFA-SCC maka persentase nilai kuat tarik belah terhadap beton normal semakin besar di mana nilai kuat tarik belah yang dihasilkan juga semakin kecil dibandingkan dengan beton normal.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dijabarkan di atas, dapat disimpulkan:

1. Nilai kuat tekan beton normal lebih besar daripada HVFA-SCC. Nilai kuat tekan beton normal yaitu sebesar 30,086 MPa. Nilai kuat tekan HVFA-SCC semakin menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash* yaitu 29,803 MPa untuk HVFA-SCC 50% dengan persentase penurunan nilai kuat tekan terhadap beton normal yaitu 0,94%, 26,974 MPa untuk HVFA-SCC 70% dengan persentase penurunan nilai kuat tekan terhadap beton normal sebesar 10,34%, dan 21,692 MPa untuk HVFA-SCC 70% dengan persentase penurunan nilai kuat tekan terhadap beton normal sebesar 27,90%. Hal ini dikarenakan semakin besarnya kadar *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen maka semakin berkurang kadar semen pada beton sebagai bahan pengikat.
2. Nilai modulus elastisitas HVFA-SCC menurut ACI-Committee terhadap beton normal semakin menurun seiring dengan bertambahnya *fly ash*. Modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh beton normal yaitu sebesar 25100,38 MPa, kemudian dilanjutkan dengan modulus elastisitas HVFA-SCC 50%, 60%, dan 70% yaitu sebesar 25023,94 MPa, 24139,28 MPa, dan 22354,94 MPa. Menurunnya nilai modulus elastisitas ini sebanding dengan kuat tekannya.
3. Nilai kuat tarik belah beton yang dihasilkan sebanding dengan nilai kuat tekannya. HVFA-SCC kuat tarik belahnya lebih rendah dibandingkan beton normal dan semakin menurun seiring dengan pertambahan *fly ash*. Nilai kuat tarik belah untuk beton normal adalah sebesar 3,04 MPa dilanjutkan dengan nilai kuat tarik belah untuk HVFA-SCC 50% 2,24 MPa dengan persentase penurunan kuat tarik belah terhadap beton normal yaitu 26,35%. Nilai kuat tarik belah HVFA-SCC 60% sebesar 1,79 MPa dengan persentase penurunan kuat tarik belah terhadap beton normal sebesar 41,07% lalu nilai kuat tarik belah terkecil dimiliki oleh HVFA-SCC 70% dengan nilai kuat tarik belah sebesar 1,38 MPa dan persentase penurunan kuat tarik belah terhadap beton normal sebesar 54,56%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T dan bapak Ir. Bambang Santosa, M.T sebagai dosen pembimbing. Penulis juga berterima kasih kepada kedua orang tua serta tim kelompok penelitian yang membantu serta memberikan dukungan hingga penelitian ini dapat selesai.

REFERENSI

- Fatimah, I.N., 2018, “Pengaruh Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan pada High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) Benda Uji D 15 cm x 30 cm Usia 28 Hari”, *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Vol. 6 No. 3 Sep.
- Habibie, M., Sebayang, S., dan Widyawati, R., 2012, “Pengaruh Abu Terbang terhadap Sifat-Sifat Mekanik Beton Alir Ringan Alwa”, *Jurnal Teknik Sipil UBL*. Vol. 3 No. 1 Apr.
- Keskin, *et al.*, 2008, Self-Healing of Mechanically-Loaded Self Consolidating Concretes with High Volume Fly Ash”, *journal of building engineering 2020*. Vol. 30 No. 10 Nov.
- Mehta, P. K. dan Meryman H., 2009, “Tools of Reducing Carbon Emission Due to Cement Consumption Structure”, National Council of Engineers Associations (NCSEA). Wisconsin.
- Mulatno, U. J., 2016, “Pengaruh Penambahan Serat Bendirat dan Abu Sekam Padi terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas pada Beton Mutu Tinggi”, *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Vol. 4 No. 3 Sep.
- Murti, H. P., 2018, “Pengaruh Kadar *Fly Ash* terhadap Kuat Tekan pada *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) Usia 90 Hari”, *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*. Vol. 6 No. 3 Sep.
- Priatama, A., 2012, “Pengaruh Kadar Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tarik Belah dan Modulus of Rupture pada High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete”, *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Solikin, M., Setunge, S., & Patnaikuni, I., 2011, “The Influence Of Lime Water As Mixing Water On The Compressive Strength Development Of High Volume Ultra Fine Fly Ash Mortar”. *Modern Methods and Advances in Structural Engineering and Construction*, Zurich.