

KAJIAN KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN MODULUS ELASTISITAS HIGH VOLUME FLY ASH (HVFA) DENGAN KADAR FLY ASH 50%, 60%, DAN 70% TERHADAP BETON NORMAL

Agus Setiya Budi¹⁾, Bambang Santosa²⁾, Mochamad Ari Widodo³⁾

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

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

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126. Telp: 0271-634524. Email : arwddo@gmail.com

Abstract

In this era, concrete is often used in the field of building construction. With so many developments having an impact on the environment due to CO₂ air emissions from the cement industry. An alternative in overcoming this problem is by utilizing fly ash material combined with cement. Fly ash which is high or more than 50% in the concrete mixture is known as High Volume Fly Ash (HVFA). The purpose of this study was to analyze the effect of fly ash content of 50%, 60%, and 70% on the value of compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity compared to normal concrete. The test object used in this study is a cylinder with a size of 15 x 30 cm. Tests on concrete were carried out using a Compression Testing Machine (CTM) at the age of 28 days of concrete. Based on the results of the study, HVFA concrete with levels of 50%, 60%, and 70% had compressive strength values of 30,37 MPa, 28,11 MPa, and 19,81 MPa. The split tensile strength values each have a value of 3,72 MPa, 2,70 MPa, and 2,33 MPa. The value of the modulus of elasticity using the standard ASTM C-469 calculation as a calculation, each has a value of 28683,00 MPa, 14081,67 MPa, and 21848,67 MPa.

Keywords: Compressive strength, high volume fly ash, split tensile strength

Abstrak

Dalam era ini, beton sering digunakan pada bidang konstruksi bangunan. Dengan banyaknya pembangunan memberikan dampak pada lingkungan karena emisi udara CO₂ dari industri semen. Alternatif dalam mengatasi masalah ini dengan memanfaatkan material fly ash yang dikombinasikan dengan semen. Fly ash yang tinggi atau lebih dari 50 % pada campuran beton dikenal dengan sebutan High Volume Fly Ash (HVFA). Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh dari kadar fly ash 50%, 60%, dan 70% terhadap nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dibandingkan dengan beton normal. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk silinder dengan ukuran 15 x 30 cm. Pengujian pada beton dilakukan dengan menggunakan alat Compression Testing Machine (CTM) pada umur beton 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian untuk beton HVFA dengan kadar 50%, 60%, dan 70% memiliki nilai kuat tekan sebesar 30,37 MPa, 28,11 MPa, dan 19,81 MPa. Nilai kuat tarik belah masing-masing memiliki nilai sebesar 3,72 MPa, 2,70 MPa, dan 2,33 MPa. Nilai modulus elastisitas menggunakan standar perhitungan ASTM C-469 sebagai perhitungan, masing-masing memiliki nilai sebesar 28683,00 MPa, 14081,67 MPa, dan 21848,67 MPa.

Kata Kunci : High volume fly ash, kuat tarik belah, kuat tekan

PENDAHULUAN

Beton adalah campuran semen, air, agregat kasar, dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan lain membentuk padatan yang memiliki massa (SNI 03-2847-2000). Pembangunan yang semakin marak membuat produksi beton semakin meningkat. Pembangunan tersebut memberikan dampak pada lingkungan karena emisi udara terutama CO₂ dari industri semen yang berpengaruh pada perubahan iklim (Guereca et al. 2012; Stafford 2015). Industri semen diperkirakan mengeluarkan 5-7% emisi gas CO₂ di dunia. Besarnya emisi CO₂ disebabkan oleh meningkatnya produksi dan permintaan dari semen di seluruh dunia (Hasanbeigi et al., 2012). Oleh karena itu, inovasi dibutuhkan guna mengurangi emisi dari industri semen.

Salah satu alternatif dalam masalah mengurangi emisi dari industri semen adalah dengan memanfaatkan limbah dari abu terbang atau fly ash. Karena kandungan pozzolan berupa SiO₂ dan Al₂O₃ pada fly ash dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Inovasi beton dengan mengkombinasikan semen dengan kadar fly ash yang tinggi atau lebih dari 50% pada campuran beton atau lebih dikenal sebagai High Volume Fly Ash (HVFA).

Penelitian ini mengkaji bagaimana karakteristik kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dari beton HVFA dengan kadar fly ash 50%, 60%, dan 70% untuk dibandingkan dengan beton normal. Sehingga penelitian ini diharapkan bisa menjadi acuan atau referensi dan dapat diaplikasikan dalam dunia konstruksi.

METODE

Penelitian ini menggunakan 3 macam pengujian yang pertama, untuk beban persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bisa diberi gaya tekan yang dihasilkan oleh mesin tekan disebut juga kuat tekan beton (SNI 03-1974-1990). Kedua, pengujian kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik yang tidak langsung yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji yang diletakkan dengan cara direbahkan atau posisi horizontal (SNI 03-2491-2002). Hasil tarik belah beton relatif lebih rendah antara 10%-15% dari kuat tekan. Dengan memanfaatkan sisa dari hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) disebut juga abu terbang atau *fly ash*. *Fly ash* digunakan untuk menggantikan semen, karena memiliki sifat *pozzolanic* berupa silika dan alumina yang cukup tinggi (Ridlo, 2020). Hal ini memungkinkan terjadinya peningkatan kekuatan dan durabilitas dari beton (Mira, 2018). *High Volume Fly Ash* (HVFA) adalah inovasi terhadap perkembangan beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly ash* baik berupa kelas F *fly ash* maupun kelas C *fly ash* (Mathinus, 2015). Ketiga, pengujian modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Hasil perhitungan modulus elastisitas beton HVFA-SCC lebih tinggi dari beton normal (Luthfiana, 2019).

Pengujian beton segar menggunakan metode pengujian slump untuk mengetahui tingkat kelecakan dari adukan beton segar. Nilai slump berpengaruh terhadap proses pengerjaan pada beton (*workability*). Maka dari itu semakin kecil nilai slump akan semakin kental dan sulit dalam pengerjaan. Sebaliknya, jika nilai slump besar maka akan encer dan mudah dikerjakan.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian berupa beton silinder dengan ukuran 15 x 30 cm. Untuk masing-masing pengujian memiliki 3 buah benda uji yaitu 3 benda uji kuat tekan dan 3 benda uji kuat tarik belah. Benda uji disimpan selama 24 jam dan terlindungi dari matahari. Kemudian melepas bekisting setelah 24 jam. Selanjutnya benda uji memasuki proses *curing* dengan membasahi karung goni agar benda uji tetap dalam keadaan lembab. Proses *curing* dilakukan selama 28 hari sebelum dilakukan proses pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah. Berikut jumlah detail benda uji kuat tekan dan kuat tarik belah yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah benda uji

No.	Kadar Fly Ash (%)	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Benda Uji
1	50	HVFA-50%	28	6
2	60	HVFA-60%	28	6
3	70	HVFA-70%	28	6
4	Normal	Beton Normal	28	6
Jumlah				24

Mix Design

Dengan proses memilih bahan yang tepat dan mempertimbangkan syarat mutu beton, kekuatan, ketahanan, dan mudah dalam pengerjaan serta dari nilai ekonomis juga dalam penentuan jumlah dan kualitas bahan bertujuan agar proporsi campuran material beton dapat memenuhi persyaratan umum, sehingga beton yang dihasilkan sesuai rencana. Berikut langkah-langkah metode *mix design* yang digunakan dalam penelitian ini menurut SNI 7656 2012:

1. menentukan nilai margin,
2. menentukan mutu beton,
3. menentukan nilai slump,
4. menentukan kebutuhan air,
5. menentukan Faktor Air Semen (FAS),
6. menentukan semen, kerikil, pasir tiap 1 m³, dan
7. menentukan kebutuhan *fly ash* tiap 1 m³,

Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui ketahanan beton ketika menerima gaya luar atau gaya tekan. Alat *Compression Testing Machine* (CTM) digunakan dalam proses pengujian kuat tekan beton pada umur beton 28 hari dengan posisi benda uji vertikal. Nilai kuat tekan pada benda uji didapatkan dengan menggunakan rumus pada persamaan 1 sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Dengan:

- f_c = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban yang diberikan (N)
- A = luas permukaan benda uji (mm^2)

Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) sebagai alat pengujian dengan posisi benda uji yang direbahkan. Dengan pembebanan yang dinaikkan secara terus menerus hingga tercapai nilai maksimum dan benda uji terpecah menjadi dua bagian oleh gaya tarik horizontal. Nilai kuat tarik belah didapatkan dengan menggunakan rumus pada persamaan 2 sebagai berikut:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot L_s \cdot D} \dots\dots\dots [2]$$

Dengan:

- f_{ct} = kuat tarik belah beton (MPa)
- P = beban yang diberikan (N)
- L_s = tinggi silinder (mm)
- D = diameter silinder (mm)

Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) sebagai alat pengujian yang dilakukan secara bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton. Alat *extensometer* dengan dial yang dipasang di benda uji sebagai tanda perubahan panjang (ΔL) dan hasil pengamatan dial dicatat setiap kenaikan tekanan sebesar 20 kN. Lalu data hasil pengamatan dial disajikan dalam bentuk grafik tegangan-regangan yang kemudian digunakan dalam perhitungan modulus elastisitas. Untuk perhitungan modulus elastisitas menggunakan persamaan standar ASTM C-469, standar ACI-Committee 363-10, dan standar SNI 2847-2013.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar *High Volume Fly Ash* (HVFA) menggunakan metode *slump test*. Hasil pengujian disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian *slump test*

Benda Uji	H (cm)	Syarat (cm)	Keterangan
Beton Normal - KT	8	7,5 – 15	Memenuhi
HVFA 50% - KT	10	7,5 – 15	Memenuhi
HVFA 60% - KT	9	7,5 – 15	Memenuhi
HVFA 70% - KT	10	7,5 – 15	Memenuhi
Beton Normal - KTB	9	7,5 – 15	Memenuhi
HVFA 50% - KTB	8	7,5 – 15	Memenuhi
HVFA 60% - KTB	8,5	7,5 – 15	Memenuhi
HVFA 70% - KTB	10	7,5 – 15	Memenuhi

Keterangan: KT = Kuat Tekan
 KTB = Kuat Tarik Belah

Mix Design

Hasil dari perhitungan *mix design* beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) dan beton normal untuk 1 m^3 disajikan dalam bentuk Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *mix design*

Benda Uji	Fly Ash (kg/m^3)	Semen (kg/m^3)	Agregat Kasar (kg/m^3)	Agregat Halus (kg/m^3)	Air (lt/m^3)
Beton Normal	-	284,72	924	847,20	205
HVFA 50%	227,78	227,78	1008	630,95	205
HVFA 60%	273,33	182,22	1008	630,95	205
HVFA 70%	318,89	136,67	1008	630,95	205

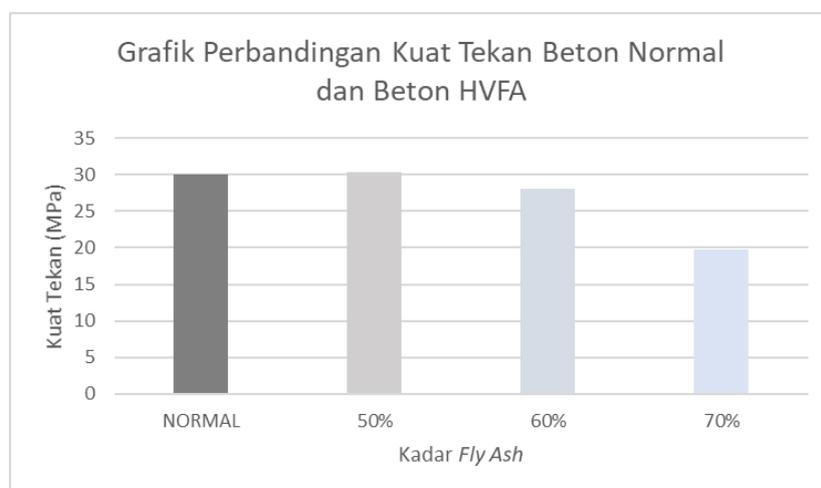
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan di Gedung V Fakultas Teknik, Laboratorium Bahan, Universitas Sebelas Maret, yang menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) sebagai alat pengujian. Pengujian dilakukan pada beton silinder ukuran 15x30 cm yang berumur 28 hari. Data dari beban tersebut kemudian diolah menggunakan persamaan 1 lalu hasil perhitungan disajikan dalam bentuk Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan beton

No.	Benda Uji	Luas (mm ³)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-Rata (MPa)	COV	Persentase Kenaikan / Penurunan (%)
1	Beton Normal 1	17671,46	485000	27,45			
2	Beton Normal 2	17671,46	540000	30,56	30,09	0,08	-
3	Beton Normal 3	17671,46	570000	32,26			
4	HVFA 50% 1	17671,46	540000	30,56			
5	HVFA 50% 2	17671,46	460000	26,03	30,37	0,14	0,94
6	HVFA 50% 3	17671,46	610000	34,52			
7	HVFA 60% 1	17671,46	535000	30,27			
8	HVFA 60% 2	17671,46	455000	25,75	28,11	0,08	6,58
9	HVFA 60% 3	17671,46	500000	28,29			
10	HVFA 70% 1	17671,46	355000	20,09			
11	HVFA 70% 2	17671,46	375000	21,22	19,81	0,08	34,17
12	HVFA 70% 3	17671,46	320000	18,11			

Hasil perhitungan dapat dibuat grafik perbandingan kuat tekan beton dengan beton HVFA kadar *fly ash* 50%, 60%, dan 70% terhadap beton normal. Grafik disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik perbandingan kuat tekan beton normal dan beton HVFA

Perhitungan dan grafik di atas menunjukkan bahwa beton HVFA dengan kadar *fly ash* 50% memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 30,37 MPa dengan persentase kenaikan 0,94% terhadap beton normal. Beton HVFA dengan kadar *fly ash* 60%, 70% masing-masing memiliki nilai kuat tekan sebesar 28,11 MPa, 19,81 MPa, dan mengalami persentase penurunan nilai kuat tekan sebesar 6,58%, 34,17% terhadap beton normal. Nilai kuat tekan dari beton HVFA cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena kadar *fly ash* yang semakin tinggi akan mengakibatkan fungsi semen sebagai bahan pengikat akan berkurang.

Menurut Alfian, 2014. Penelitian yang telah dilakukan menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen didapatkan hasil bahwa beton yang menggunakan kadar *fly ash* tinggi akan memiliki nilai kuat tekan yang semakin rendah. Hal ini dibuktikan dengan penelitian *fly ash* sebagai pengganti semen dengan kadar 50%, 60%, dan 70% memiliki nilai kuat tekan yang semakin rendah.

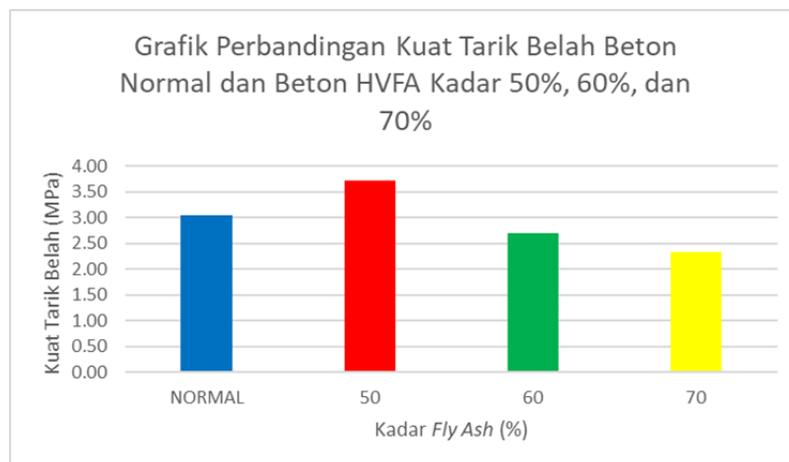
Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) sebagai alat pengujian pada benda uji umur 28 hari dengan posisi benda uji yang direbahkan. Dari pembebanan yang diberikan, kemudian nilai kuat tarik belah dihitung menggunakan persamaan 2 lalu hasil perhitungan akan disajikan dalam bentuk Tabel 5 sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil perhitungan kuat tarik belah

No.	Benda Uji	Luas (mm ²)	P Maks (N)	2.P Maks (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Rata-Rata (MPa)	COV	Persentase Kenaikan / Penurunan (%)
1	Beton Normal 1	140429,19	210000	420000	2,99			
2	Beton Normal 2	139961,09	225000	450000	3,22	3,04	0,05	-
3	Beton Normal 3	141371,67	205000	410000	2,90			
4	HVFA 50% 1	141371,67	250000	500000	3,54			
5	HVFA 50% 2	140900,43	290000	580000	4,12	3,72	0,09	22,62
6	HVFA 50% 3	136659,28	240000	480000	3,51			
7	HVFA 60% 1	141371,67	205000	410000	2,90			
8	HVFA 60% 2	139486,71	160000	320000	2,29	2,70	0,13	10,90
9	HVFA 60% 3	140429,19	205000	410000	2,92			
10	HVFA 70% 1	139957,95	200000	400000	2,86			
11	HVFA 70% 2	136659,28	130000	260000	1,90	2,33	0,21	23,40
12	HVFA 70% 3	139957,95	155000	310000	2,21			

Hasil dari perhitungan kuat tarik belah beton normal dengan beton HVFA kadar 50%, 60% dan 70% dapat dibuat grafik perbandingan. Grafik tersebut akan disajikan dalam Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik perbandingan kuat tarik belah beton normal dan beton HVFA kadar 50%, 60%, dan 70%

Perhitungan dan grafik di atas menunjukkan bahwa beton HVFA dengan kadar *fly ash* 50% memiliki nilai kuat tarik belah tertinggi yaitu sebesar 3,72 MPa dengan persentase kenaikan 22,62% terhadap beton normal. Beton HVFA dengan kadar *fly ash* 60%, 70% masing-masing memiliki nilai kuat tarik belah sebesar 2,70 MPa, 2,33 MPa, dan mengalami persentase penurunan nilai kuat tarik belah sebesar 10,90%, 23,40% terhadap beton normal. Nilai kuat tarik belah beton menurun seiring dengan penambahan kadar *fly ash*.

Menurut Marthinus (2015), persentase *fly ash* yang rendah akan menghasilkan nilai kuat tarik belah yang tinggi. Hal ini dibuktikan dengan penelitian *fly ash* sebagai pengganti semen dengan kadar 50%, 60%, dan 70% memiliki nilai kuat tarik belah yang semakin tinggi jika kadar *fly ash* yang digunakan semakin rendah.

Hasil Modulus Elastisitas Beton

Dari hasil pengujian kuat tekan tekan didapat data, berupa data beban dan perubahan panjang yang digunakan sebagai data untuk menghitung tegangan dan regangan. Kemudian data dapat diolah untuk mendapatkan hasil dari nilai modulus elastisitas beton. Perhitungan nilai modulus elastisitas menggunakan persamaan standar ASTM C-

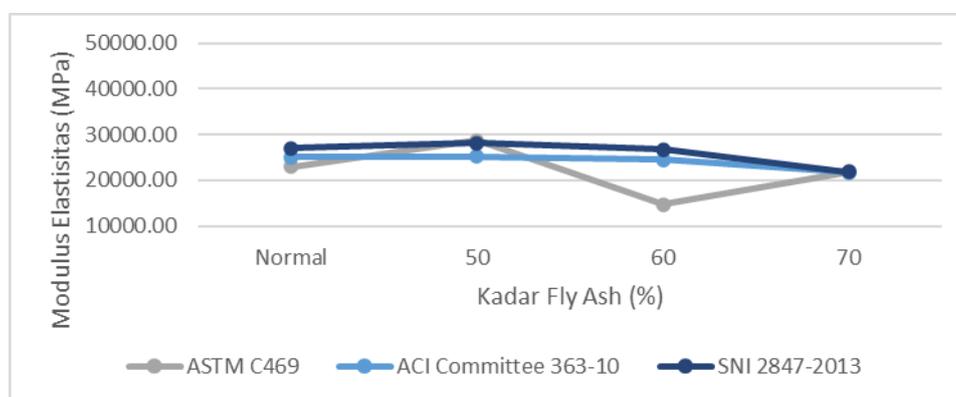
469, standar ACI-Committee 363-10, dan standar SNI 2847-2013. Hasil rekapitulasi nilai modulus elastisitas dari hasil pengujian kuat tekan beton akan disajikan dalam Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas beton

No.	Benda Uji	Standar (Modulus Elastisitas) (MPa)		
		ASTM C-469	ACI Committee 363-10	SNI 2847-2013
1	Beton Normal	23040,33	25100,38	26975,87
2	HVFA 50%	28683,00	25165,77	28192,23
3	HVFA 60%	14801,67	24491,25	26756,65
4	HVFA 70%	21848,67	21667,40	21846,67

Dari hasil rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas beton nilai tertinggi dari standar ASTM C-469 pada beton HVFA 50% sebesar 28683,00 MPa. Untuk beton normal memiliki nilai sebesar 23040,33 MPa. Sedangkan untuk beton HVFA 60% dan HVFA 70% masing-masing memiliki nilai sebesar 14801,67 MPa dan 21848,67 MPa.

Hasil rekapitulasi dari Tabel 6 dapat dijadikan grafik yang akan disajikan pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas beton

Dari Gambar 3, hasil rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas menunjukkan hasil yang hampir sama. Tetapi, untuk perhitungan standar ASTM C-469 memiliki hasil nilai yang paling berbeda dari modulus elastisitas beton yang didapatkan berdasar kemiringan grafik tegangan regangan pada saat 0,4 f_c . Grafik diatas dapat dilihat pada beton HVFA 60% mengalami penurunan yang drastis dikarenakan pada *fly ash* 60% kemungkinan terdapat kesalahan dalam pembuatan benda uji.

SIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai hasil kuat tekan beton dari penelitian ini, bahwa beton HVFA dengan kadar *fly ash* 50% memiliki nilai rata-rata tertinggi yaitu sebesar 30,37 MPa dengan persentase kenaikan 0,94% terhadap beton normal. Sedangkan untuk beton HVFA dengan kadar *fly ash* 60% dan 70% masing-masing memiliki nilai rata-rata sebesar 28,11 MPa dan 19,81 MPa, serta mengalami persentase penurunan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 6,58% dan 34,17% terhadap beton normal.
2. Nilai hasil kuat tarik belah beton dari penelitian ini adalah untuk beton HVFA dengan kadar *fly ash* 50% memiliki nilai rata-rata tertinggi yaitu sebesar 3,72 MPa dengan persentase kenaikan 22,62% terhadap beton normal. Sedangkan untuk beton HVFA dengan kadar *fly ash* 60% dan 70% masing-masing memiliki nilai rata-rata sebesar 2,70 MPa dan 2,33 MPa, serta mengalami persentase penurunan nilai rata-rata sebesar 10,90% dan 23,40% terhadap beton normal.
3. Nilai modulus elastisitas yang didapatkan berdasarkan standar ASTM C-469 pada beton HVFA 50% = 28683,00 MPa; HVFA 60% = 14801,67 MPa; dan HVFA 70% = 21848,67 MPa. Berdasarkan standar ACI Committee 363-10, untuk beton HVFA 50% = 25165,77 MPa, HVFA 60% = 24491,25 MPa, dan HVFA 70% = 21667,40 MPa. Berdasarkan standar SNI 2847-2013, untuk beton HVFA 50% = 28192,23 MPa, HVFA 60% = 26756,67 MPa, dan HVFA 70% = 21846,67 MPa.

REKOMENDASI

Rekomendasi yang dapat diperhatikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. menggunakan alat uji kuat tekan berbasis komputer dan dapat melakukan pembacaan data *displacement control*,
2. penelitian dapat dikembangkan lagi untuk kadar *fly ash* yang lebih bervariasi,
3. berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat juga dikembangkan lagi penelitian pada umur beton yang lebih bervariasi untuk mengetahui keberlangsungan sifat dari *fly ash* sebagai bahan pengganti semen.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya ucapkan rasa terimakasih yang sangat besar kepada Bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Bambang Santosa, M.T. selaku pembimbing yang selalu memberi arahan yang baik untuk menyelesaikan penelitian ini. Dan juga tak lupa saya ucapkan terimakasih kepada tim skripsi dalam penelitian ini yang telah membantu dari awal hingga akhir penelitian.

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional, 1990, "Metode Pengujian Kuat Tekan Beton (SNI 03-1974-1990)", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, "Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton (SNI 03-2491-2002)", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, "Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (Beta Version) (SNI 03-2847-2002)", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, "Persyaratan Beton Struktural Untuk Bahan Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Dwi, Ridlo., 2020, "Kajian Kuat Tekan Uniaksial Beton Memadat Sendiri dengan Kadar Fly Ash 50%", Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Guereca L.P., N. Torres, C.R.J. Lopez., 2015, "The CoProcessing of Municipal Waste in a Cement Kiln in Mexico, A Life-cycle Assesment Approach", *Journal of Cleaner Production* Vol. 107, pp. 1-8.
- Hasanbeigi A., H. Lu, C. Williams, L. Price, 2012, "International Best Practice for Pre-Processing and Orlando Co-Processing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in Cement Industry", Ernest Lawrence Berkeley National Laboratory, California.
- Luthfiana, M., 2019, "Perbandingan Tegangan-Regangan Beton HVFA-SCC Kadar Fly Ash 50% dan Beton Normal pada Pembebanan Uniaksial Tekan dengan Kekangan Topi Baja", Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Marthinus, A. P., 2015, "Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Terhadap Kuat Tarik Belah Beton", *Jurnal Sipil Statik* Vol. 3, No. 11.
- Setiawati, Mira., 2018, "Fly Ash sebagai Pengganti Semen pada Beton", Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah, Palembang.