

## **PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG *HIGH VOLUME FLY ASH* (HVFA) DENGAN VARIASI UKURAN BUTIR MAKSIMUM AGREGAT**

**Angelina Eva Lianasari dan Richardo Putra Siahaan**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jln. Babarsari 44 Yogyakarta

e-mail: eva.lianasari@.uajy.ac.id dan rsiahaan334@gmail.com

**Abstract:** Global warming is a serious environmental issue. Production process of Portland Cement (SP) contribute 5% of all carbon dioxide emissions, the main cause of global warming and making cement means making pollution. High Volume Fly ash (HVFA) concrete technology is one solution that can be offered to overcome this problem. HVFA concrete is a type of concrete made using high enough fly ash, which is more or equal to 50% by weight of cement. In this study, the use of fly ash (FA) as a cement replacement material is about 50%. One disadvantage of HVFA concrete is the low early strength or slower, so in this study HVFA concrete was made with coarse aggregate size to smaller. This study compared HVFA concrete beams with size of aggregates are 20 mm and 4.75 mm, the planed compressive strength ( $f'c$ ) is 25 MPa. Fly ash will substituted by 50% of the weight of the cement and the addition of superplasticizer about 0.4% by weight of cement. The size of specimens for flexural capacity of reinforced concrete beams about 140 x 240 mm with a span of 2000 mm. The flexural strength test arrangement with two-point loading. And the results of the study showed an increase in flexural capacity of 13.38%.

**Keywords:** aggregate, HVFA concrete, *fly ash*, cement, flexural

**Abstrak:** Pemanasan global (*Global warming*) adalah permasalahan pokok yang merupakan dampak negatif dari perkembangan ilmu dan teknologi. Salah satu aspek yang menjadi kontributor utamanya dalam bidang konstruksi, adalah proses produksi Semen Portland (SP) yang menyumbang emisi has karbondioksida sebesar 5%. Pembangunan *High Rise Building* memerlukan material yang berkualitas tinggi. Jika mateial yang digunakan adalah beton, maka diperlukan beton yang memiliki kinerja tinggi dan secara tidak langsung akan memerlukan jumlah semen yang banyak. Teknologi beton *High Volume Fly ash* (HVFA) merupakan salah satu solusi yang dapat ditawarkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Beton HVFA merupakan jenis beton yang dibuat dengan menggunakan *fly ash* yang cukup tinggi yaitu lebih atau sama dengan 50% berat semen. Penggunaan *fly ash* dalam penelitian ini dimaksudkan sebagai bahan pengganti semen. Kecenderungan beton HVFA menurun sifat mekaniknya telah ditemukan solusinya dengan mengganti ukuran butir maksium agregat menjadi lebih kecil. Perencanaan penelitian dengan membandingkan balok beton HVFA dengan agregat berukuran butir maksimum 20 mm dan 4,75 mm, kuat tekan rencana ( $f'c$ ) sebesar 25 MPa. *Fly ash* disubtitusikan sebesar 50% terhadap berat semen dan penambahan superplasticizer sebesar 0,4% dari berat semen. Ukuran benda uji pengujian kapasitas lentur balok beton bertulang dengan dimensi penampang berukuran 140 x 240 mm dengan bentang 2000 mm. Tipe pembebanan two point loading. Hasil penelitian terlihat peningkatan kapasitas lentur 13,38%.

**Kata kunci:** : agregat, beton HVFA, *fly ash*, semen, lentur

### **PENDAHULUAN**

Akibat negatif dari perkembangan ilmu dan teknologi adalah terjadinya *global warming*. Salah satu aspek yang menjadi kontributor utama diantaranya dalam bidang konstruksi, khususnya yaitu dalam proses produksi Semen Portland. Hal ini berhubungan erat dengan proses produksi beton. Produksi semen tumbuh

sebanyak 2,5% pertahun dan meningkat cepat dari 2,55 miliar ton di tahun 2006 menjadi 3,7 – 4,4 miliar ton di tahun 2050.

Pelepasan karbon dioksida, CO<sub>2</sub>, merupakan kontributor emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dalam proses produksi Semen Portland. Untuk mengatasi kondisi permasalahan tersebut maka diperlukan solusi

yang tepat agar perkembangan konstruksi tetap berjalan dan produksi CO<sub>2</sub> sebagai dampak negatifnya dapat diminimalisir.

Salah satu alternatif pengurangan penggunaan semen adalah dengan teknologi beton high volume fly ash (HVFA). Teknologi ini memanfaatkan fly ash (bahan pozzolan) yang merupakan limbah industri batu bara sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan persentase yang cukup besar (lebih dari 50%).

Kendala utama produksi beton *high volume fly ash* (HVFA) adalah sifat mudah dikerjakan berkurang serta lambatnya kecepatan hidrasi semen akibat panas hidrasi yang rendah. Hal ini menyebabkan kekuatan awal (usia dini) yang rendah dan pencapaian kekuatan akhir membutuhkan waktu lebih dari 28 hari. Lianasari dan Tansia, 2017, melakukan penelitian perbaikan kinerja beton HVFA dengan mengganti ukuran butir agregat menjadi lebih kecil (di bawah 5 mm). Kenaikan kuat tekan dapat mencapai 46,7% lebih tinggi dibandingkan beton HVFA tanpa perubahan ukuran butir maksimum agregat.

*Fly ash* memiliki banyak keunggulan jika diterapkan sebagai material penyusun beton antara lain durabilitas, workability, serta kuat tekan pada umur akhir yang lebih baik dari beton normal (tanpa *fly ash*). Dari sudut pandang ekonomi, beton dengan kandungan *fly ash* menurunkan biaya produksi beton tersebut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pemanfaatan *fly ash* sebagai pengganti semen sampai dengan 50% dan penggunaan ukuran butir agregat yang kecil perlu dikaji pengaruhnya terhadap kemampuan lentur balok.

## TINJAUAN PUSTAKA

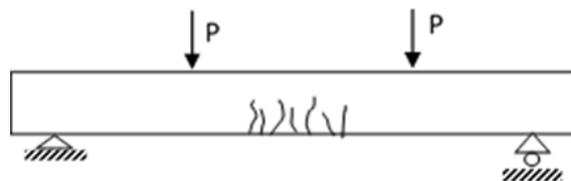
Lianasari dan Tansia, 2017, melakukan penelitian beton HVFA dengan substitusi *fly ash* sebesar 50% pada semen dan penggantian ukuran agregat kasar menjadi di bawah 5mm diperoleh hasil yang meningkat. Target  $f'c$  50 MPa, menjadi 68.9096 MPa (umur 28 hari) dan 72.8104 MPa (umur 56 hari), terdapat peningkatan yang cukup signifikan, mengingat beton HVFA cenderung menunjukkan hasil kurang menggembirakan. Perbaikan kinerja beton HVFA dengan penggantian ukuran butir

maksimum agregat juga ditunjukkan dalam pengujian modulus elastisitas, dan penyerapan air yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan tambahan *superplastizicer* 0,4% dari berat semen (Sika Viscocrete-1003).

## Kapasitas Lentur

Pembebanan pada struktur (beban gravitasi, beban gempa, beban angin, beban akibat susut) akan menyebabkan timbulnya lentur dan deformasi pada struktur tersebut. Pengujian kapasitas lentur pada balok dapat diteliti dengan cara membebani balok dengan dua titik beban (Gambar 1). Beban ditingkatkan sampai balok mengalami keadaan keruntuhan lentur, yaitu retak utama terjadi di sekitar tengah bentang.

Balok beton bertulang yang mengalami kegagalan lentur akan terdapat beberapa retak halus dengan vertikal terjadi di daerah tengah bentang sekitar 50% (Nawy, 1990). Retakan ini terjadi karena beban bertambah besar sehingga tegangan tarik beton melampaui kekuatan tarik beton dan timbul retakan-retakan dibagian yang tertarik (Vis dan Gideon, 1993). Pola retak akibat kegagalan lentur dan geser seperti pada Gambar 1.

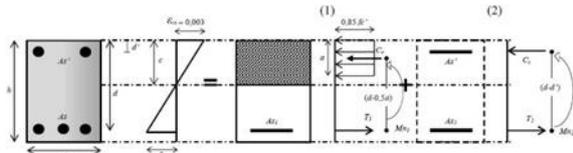


Gambar 1. Pola retak kegagalan lentur

## Beton Bertulang

Kinerja utama dari beton adalah kekuatan tekannya. Nilai kekuatan tekan beton diketahui dengan cara pengujian tekan dengan alat *compression testing machine* dan benda uji berbentuk silinder.

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan asumsi kedua bahan bekerja sama dalam memikul gaya. Pada beton bertulang dengan tulangan rangkap akan terjadi kesetimbangan gaya seperti Gambar 2 berikut ini.

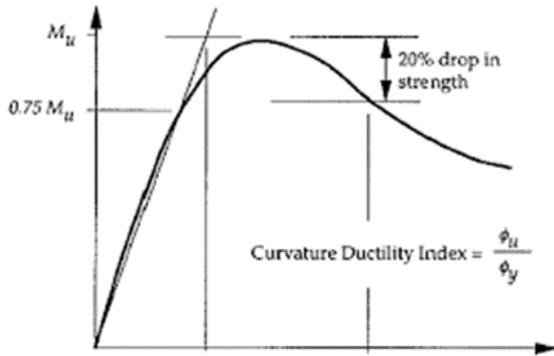


**Gambar 2.** Kesetimbangan gaya balok beton bertulang rangkap

**Daktilitas**

Daktilitas struktur menyatakan sebagai kemampuan struktur untuk berdeferformasi secara signifikan tanpa mengalami penurunan kekuatan yang berarti.

Penentuan daktilitas perpindahan dapat diilustrasikan berdasarkan idealisasi kurva hubungan beban-lendutan dengan penyesuaian Gambar 3 (El Tawil dan Deierlein, 1999).



**Gambar 3.** Hubungan Beban dan Lendutan

Dalam penelitian ini, cara menentukan daktilitas balok eksperimen dinyatakan dengan perbandingan antara defleksi ultimit balok dengan defleksi saat leleh pertama. Besarnya nilai daktilitas ( $\mu$ ) dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \tag{1}$$

dengan:

- $\mu$  = displacement ductility factor
- $\delta_u$  = lendutan ultimit (mm)
- $\delta_y$  = lendutan saat leleh (mm)

**Kekakuan (Stiffness)**

Kekakuan (*stiffness*) merupakan kemampuan suatu elemen material untuk bersifat kaku. Pembatasan kekakuan berguna untuk menjaga

konstruksi agar tidak mengalami lendutan lebih dari yang disyaratkan.

Kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement*. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan lendutan. Semakin kaku suatu struktur makin besar nilai kekakuannya.

$$K = \frac{P}{\delta} \tag{2}$$

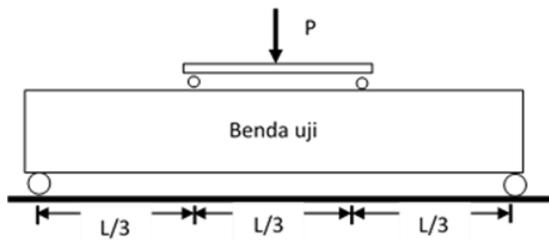
dengan:

- P = beban (kN)
- K = kekakuan/*stiffness* (kN/mm)
- $\delta$  = lendutan (mm)

**METODOLOGI PENELITIAN**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental, yakni dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ukuran butir maksimum agregat terhadap kapasitas lentur balok beton *High Volume Fly ash* (HVFA) 50% *fly ash* dengan menggunakan superplasticizer Viscocrete 1003 sebesar 0,4%. Variasi ukuran butir maksimum 25 mm dan 4,75 mm. Pengujian yang dilakukan adalah pada saat umur beton 28 hari. Pembuatan benda uji dimulai dengan membuat *mix design* beton HVFA dengan prosedur rencana sesuai SNI 03-2834-2000 untuk beton normal dengan  $f_c$  sebesar 25 MPa.

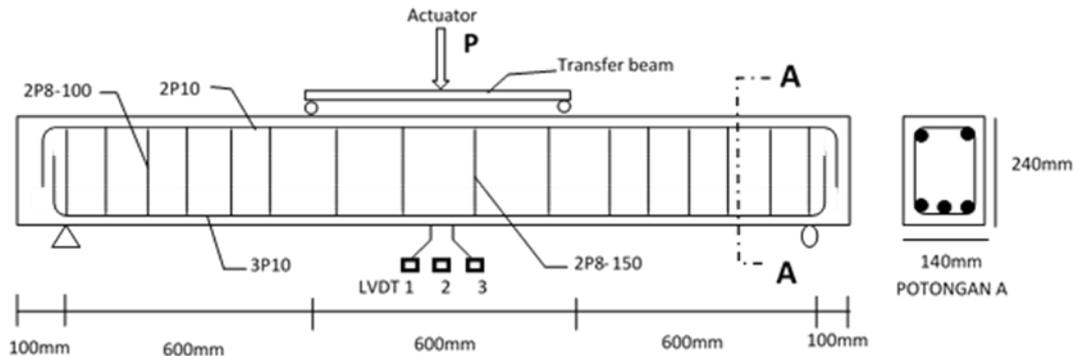
Pengujian awal yang dilakukan adalah uji kuat tekan dan modulus elastisitas dengan ukuran benda uji silinder diameter 150 mm, tinggi 300mm, pengujian *modulus of rupture* dengan ukuran balok beton polos tanpa tulangan penampang 100 x 100 mm dan bentang 500 mm. Pengujian utama adalah uji lentur dengan balok beton bertulang berdimensi penampang 140x240mm dan bentang 2000 mm (detail pengujian Gambar 4 dengan beban *two point loading*). Tulangan utama 2P10 (atas) dan 3P10 (bawah), sedangkan tulangan geser 2P8-100 (tumpuan) dan 2P8-150 (lapangan). Seluruh pengujian dilakukan saat beton berumur 28 hari.



Gambar 4. Pengujian modulus of rupture

### Bahan susun beton

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Gresik tipe PPC, agregat halus pasir Progo, kerikil dari Clereng, *fly ash* dari Paiton Jawa Timur, *superplastizicer* dari PT Sika tipe Viscocrete 1003, baja tulangan polos diameter 10 mm dan 8 mm.



Gambar 5. Pengujian kapasitas lentur beton bertulang

## HASIL PENGUJIAN

### Pemeriksaan Bahan Susun Beton Bertulang

Hasil pemeriksaan *fly ash* bahan susun beton memiliki kadar  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 78,7% dan CaO sebesar 13,4%, sehingga masuk kedalam persyaratan pozzolan tipe C. Persyaratan tersebut adalah jumlah  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$  dan CaO antara 8%-20% berdasarkan ASTM C618-92a. *Fly ash* tipe C merupakan jenis pozzolan yang memiliki sifat cementitious seperti semen selain sifatnya yang juga pozzolan. *Fly ash* ini disebut juga high calcium *fly ash*. Sifat cementitious menyebabkan *fly ash* tipe C ini reaktif terhadap air sehingga akan mengalami proses hidrasi dan mengeras. Namun reaksi sekunder yang terjadi setelah proses hidrasi semen berlangsung tetap berjalan karena *fly ash* tipe C juga memiliki sifat pozzolan. Proses reaksi sekunder yang terjadi membentuk beton semakin padat dan rapat sehingga kekuatannya tinggi.

Hasil pengujian kuat tulangan baja ukuran 10mm  $f_y = 313,56$  MPa,  $f_u = 472,83$  MPa, ukuran 8mm  $f_y = 293,16$  MPa,  $f_u = 435,30$  MPa. Sehingga klasifikasi kelas baja tulangan, dapat

disimpulkan bahwa baja tulangan P10 termasuk dalam kelas baja tulangan BjTP 30 No. 2 dan untuk baja tulangan P8 termasuk dalam kelas baja tulangan BjTP 24 No. 2 karena kuat tarik maksimum hasil pengujian melebihi kuat tarik minimum yang disyaratkan.

Pengujian agregat halus (Pasir Progo) adalah pemeriksaan kadar lumpur pasir, didapat kadar lumpur sebesar 1,8% (kurang dari 5%) sehingga pasir Progo dapat digunakan dan layak digunakan sebagai agregat halus. Banyaknya kandungan lumpur yang ada dalam pasir akan membuat menghambat proses pengikatan antara material campuran yaitu semen, pasir, kerikil, karena banyaknya jumlah lumpur di permukaan agregat yang pada akhirnya akan menambah pemakaian jumlah semen untuk mengikat komponen penyusun. Kehalusan ukuran butir (lumpur) maka akan mengakibatkan penyerapan air yang banyak, sehingga akan berpengaruh terhadap sifat adukan beton. Pemeriksaan bj agregat halus diperoleh sebesar  $2,6309 \text{ g/cm}^3$ .

Hasil pengujian agregat kasar antara lain uji berat jenis diperoleh sebesar  $2,4247 \text{ g/cm}^3$  dan hasil uji keausan sebesar 35,06%. Keausan yang disyaratkan dalam SNI 2417:2008 untuk

beton mutu diatas 20 MPa nilai kehancuran agregat kasar sebesar  $\leq 40\%$  sehingga hasil uji keausan agregat kasar tersebut dapat digunakan sebagai bahan campuran beton. Hasil pengujian keausan agregat kasar erat hubungan dengan kuat tekan beon, beton yang akan dihasilkan. Jika kehancuran agregat akibat uji keausan makin kecil berarti agregat makin keras dan menyebabkan kuat tekan beton tinggi.

### Pengujian sifat Mekanik Beton

Pengujian sifat mekanik beton yang dilakukan adalah uji kuat tekan, modulus elastisitas, dan modulus of rupture. Diperoleh hasil sebagai berikut (Tabel 1) dan berat jenis beton diperoleh  $2453 \text{ kg/m}^3$ .

**Tabel 1.** Pengujian Sifat Mekanik Beton

Ukuran agregat	Kuat Tekan (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus of rupture (MPa)
20 mm	28,57	25077,84	3,31
4,75 mm	31,47	28031,22	4,656

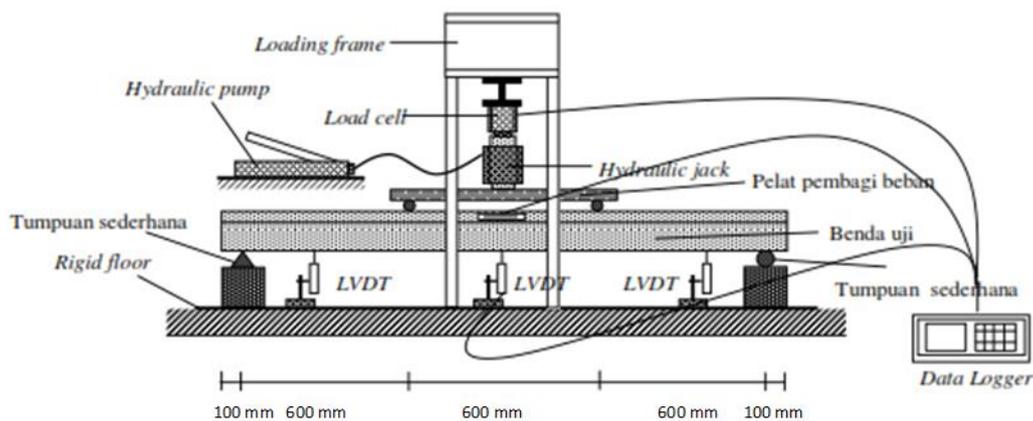
Tampak pada tabel 1 dengan berubahnya ukuran butir maksimum kerikil dalam adukan beton, kemampuan mekanik beton meningkat dan sifat kaku dari material beton bertambah. Hal ini terjadi karena dengan semakin kecilnya ukuran butir maksimum kerikil maka beton yang dihasilkan akan semakin padat dikarenakan berkurangnya pori terbuka dalam beton, dan semakin kecil ukuran butir agregat maka luas permukaan agregat makin luas dan makin mudah terikat dengan pasta semen.

### Pengujian Balok Beton

Pengujian balok beton dilakukan dengan pembebanan 2 titik dengan jarak 600 mm antar

titik pembebanan. Balok beton dengan tumpuan sederhana sendi – rol. Setting pengujian terdapat pada Gambar 5. Sebelum melakukan pengujian balok beton, untuk mengetahui pola retak, maka balok beton dibuat grid-grid dengan ukuran 5 x 5 cm. Pembebanan dilakukan dengan bantuan alat hydraulicjack. Pada beton dipasang alat dial gauge untuk membaca lendutan yang terjadi dan dipasang tepat dibawah betang balok beton.

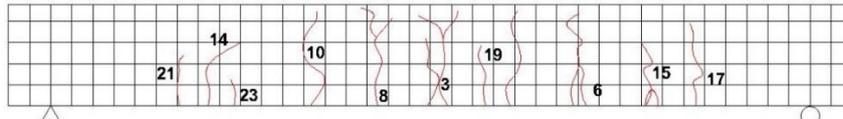
Berdasarkan hasil pengujian terhadap balok beton bertulang, diperoleh hasil pengamatan lendutan dan beban retak pada pengujian lentur seperti tercantum dalam tabel 2 dan gambar 9.



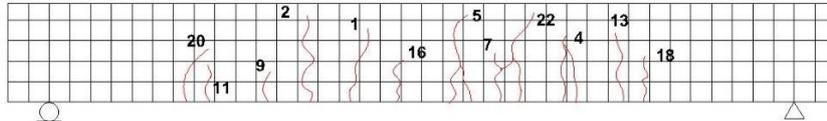
**Gambar 6.** Setting alat Pengujian Balok

**Tabel 2.** Kapasitas Beban

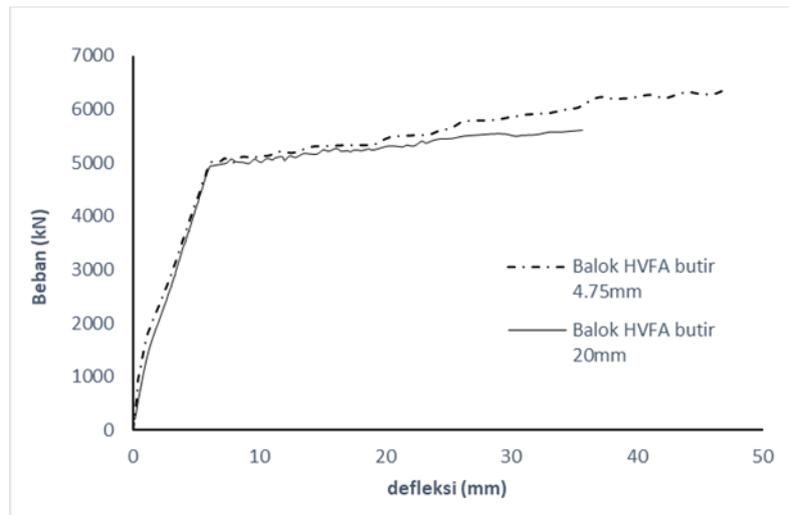
Ukuran butir maksimum kerikil	Beban retak pertama		Beban leleh pertama		Beban ultimit	
	Pcr (kN)	$\delta Pr$ (mm)	Py (kN)	$\delta Py$ (mm)	Pu (kN)	$\delta Pu$ (mm)
20 mm	18,2454	1,78878	48,829	6,1263	56,798	35,6807
4,75 mm	19,5938	1,25995	50,450	7,0165	64,403	47,5242



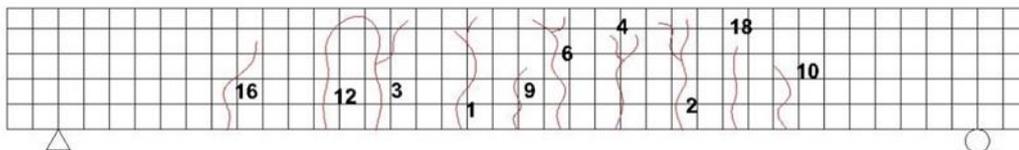
**Gambar 7.** Pola Retak Balok Beton HVFA ukuran butir maksimum 20mm pada sisi depan



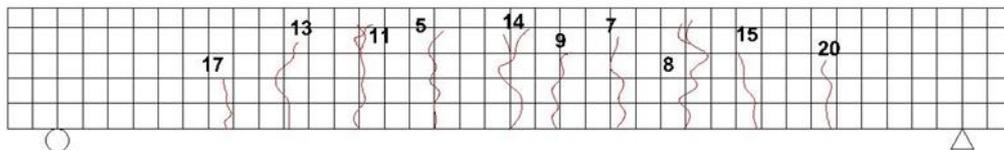
**Gambar 8.** Pola Retak Balok Beton HVFA ukuran butir maksimum 20mm pada sisi belakang



**Gambar 9.** Grafik beban – lendutan hasil pengujian lentur balok HVFA



**Gambar 10.** Pola Retak Balok Beton HVFA ukuran butir maksimum 4,75 mm pada sisi depan



**Gambar 11.** Pola Retak Balok Beton HVFA ukuran butir maksimum 4,75 mm pada sisi belakang

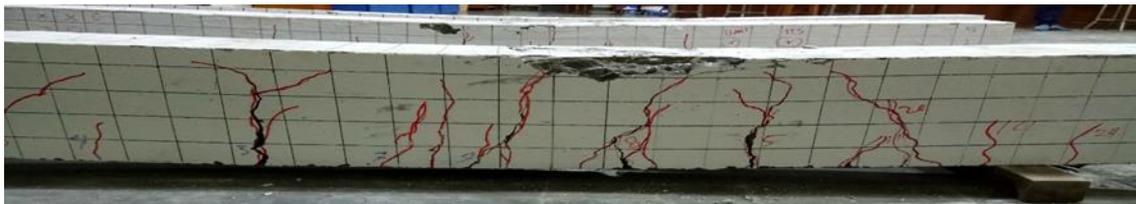
Hasil pengujian menunjukkan bahwa balok beton HVFA dengan ukuran agregat maksimum 4,75 mm mampu menahan beban hingga mencapai retak pertama pada beban 19,5938 kN, lebih besar dibandingkan dengan balok beton HVFA dengan ukuran agregat maksimum 20 mm yang hanya mencapai 18,2454 kN pada beban retak pertamanya.

Hal ini dikarenakan kerapatan yang dimiliki oleh balok beton HVFA 4,75 lebih besar, sehingga mampu menahan beban yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan balok beton HVFA 20. tersebut. Persentase kenaikan beban pada saat retak pertama untuk kedua jenis variasi balok tersebut adalah sebesar 7,39%.

Pembebanan yang dikenakan pada balok beton High Volume *Fly ash* (HVFA) diikuti dengan munculnya retak-retak halus pada sisi balok beton tersebut. Retakan halus menunjukkan

apakah balok beton yang diuji tersebut mengalami kegagalan yang diakibatkan oleh kegagalan lentur. Kegagalan lentur biasanya diawali dengan retakan halus di bagian tengah bentang membentuk garis vertikal dan terjadi secara menerus sampai balok beton tersebut tidak dapat lagi mampu menahan beban yang diberikan.

Bila diamati secara cermat retakan yang terjadi pada setiap variasi balok beton HVFA yang diuji (Gambar 10 dan 11) membentuk pola garis lurus ke atas (vertikal). Keadaan runtuh lentur yang seperti ini menyebabkan beberapa retak halus dengan vertikal terjadi di daerah tengah bentang sekitar 50% dari yang diakibatkan oleh beban runtuh lentur (Nawy, 1990), sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian balok beton HVFA tersebut terjadi kegagalan lentur.



**Gambar 12.** Retak pada balok beton HVFA dengan ukuran butir maksimum 20 mm

**Daktilitas Struktur**

Nilai daktilitas struktur yang tertera dalam Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan indeks daktilitas naik 14,011% dengan mengecilnya ukuran butir maksimum agregat penyusun balok beton HVFA dan rasio daktilitas balok beton dengan ukuran butir maksimum kerikil 20 mm sebesar 0,859886.

**Tabel 3.** Daktilitas Balok

Ukuran butir maksimum kerikil	Daktilitas	Rasio
20 mm	5,824184	
4,75 mm	6,773206	0,859886

**Kekakuan Struktur**

Hasil pengujian dan perhitungan kekakuan material balok beton HVFA ini tertuang dalam Tabel 4. Dari data yang ada diperoleh

penurunan nilai kekakuan material balok beton HVFA. Kekakuan elemen balok beton

bertulang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain karakteristik bahan, lekatan antar bahan-bahan yang berbeda, dan kondisi pembebanan.

**Tabel 4.** Kekakuan Balok

Ukuran butir maksimum kerikil	Praretak	Maksimum
20 mm	10,19991	1,591840
4,75 mm	15,55125	1,355162

Dari hasil pengujian disimpulkan kondisi balok beton ukuran butir kerikil di bawah 4,75 mm mengalami kenaikan kekakuan sebesar 52,46% dari balok HVFA ukuran butir maksimum 20 mm.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen lentur di atas, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Berat jenis rerata beton HVFA tergolong dalam beton normal ( $2300-2500 \text{ kg/m}^3$ ).
- Kuat tekan beton HVFA dengan ukuran butir agregat yang lebih kecil yaitu 4,75 mm meningkat 10,15% dibandingkan dengan beton HVFA dengan ukuran butir maksimum agregat 25 mm.
- Modulus elastisitas rerata beton HVFA pada umur 28 hari menunjukkan peningkatan sebesar 11,78%. Hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas beton berbanding lurus bila dilihat dari hasil pengujian. Semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan, semakin besar pula modulus elastisitas yang dapat dicapai oleh beton tersebut.
- Hasil pengujian *modulus of rupture* beton HVFA menunjukkan peningkatan sebesar 40,66% dengan semakin kecilnya ukuran butir maksimum agregat.
- Perilaku yang sama juga terjadi dari hasil pengujian lentur balok beton bertulang, dengan semakin kecilnya ukuran butir maksimum agregat diperoleh hasil yang meningkat. Beban retak pertama meningkat 7,39%, beban leleh pertama meningkat 3,32%, kuat lentur balok meningkat 13,39%.

### Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan dan diharapkan dapat bermanfaat berdasarkan hasil penelitian ini, antara lain sebagai berikut.

- Penelitian lanjutan dapat menggunakan persentase *superplastizicer* yang lebih besar sehingga diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan beton dan kapasitas lentur balok.
- Perlu penelitian lanjutan yang memperpanjang umur beton saat pengujian (90 hari), agar dapat terlihat kemampuan dari *fly ash* sebagai material pozolanik yang telah bereaksi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  dari hidrasi semen.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C618-92a (2005). Specification For Coal *Fly ash* And Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use In Concrete, Annual Book of ASTM Standards, USA
- El Tawil, S. dan Deierlein, G. G. (1999). Strength and Ductility of Concrete Encased Composite Columns, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 125. No. 9.
- Lianasari, E dan Tansia (2017). "Peningkatan Kinerja Beton High Volume *Fly ash* Dengan Variasi Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar". *Proceeding Seminar Nasional Teknik Sipil 2*, Universitas Udayana, SM-55
- Nawy, E.G. (1990). Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar, Penerbit Eresco, Bandung.
- SNI 03-2834-2000 (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, Badan Standarisasi Nasional BSN
- Vis, W.C., dan Gideon H.K. (1993). Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.