

# Analisis Kuat Tekan Beton HVFA (*High Volume Fly ash*) dengan Variasi Campuran Limbah Abu Batu *Stone Crusher*

*Analysis of Compressive Strength HVFA (High Volume Fly ash) Concrete with Variation in Substitution Stone Dust by Stone Crusher*

**Amalia Wildayati, As'at Pujianto, Fanny Monika**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Permintaan dan produksi semen dunia semakin meningkat, sedangkan industri semen dapat menghasilkan gas emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>. Dari total keseluruhan produksi batu bara, hanya sekitar 20-30% yang dimanfaatkan dan sisanya menjadi limbah yang beresiko menghasilkan pencemaran udara serta air. Industri pemecah batu (*stone crusher*) menghasilkan produk sampingan berupa limbah abu batu yang perlu diupayakan penanganannya. Beton HVFA (*High Volume Fly ash*) merupakan inovasi memaksimalkan penggunaan limbah fly ash untuk menyubstitusi semen dalam pembuatan beton. Tujuan penelitian ini yaitu kuat tekan dan variasi limbah abu batu *stone crusher* paling tepat untuk menghasilkan kuat tekan optimum dalam pembuatan beton HVFA dengan variasi campuran 0%, 10%, 15% dan 20% pada umur beton 14, 28 dan 56 hari, serta untuk mendapatkan pengaruh umur beton terhadap kuat tekan beton HVFA. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan tertinggi dihasilkan beton LAB 0% (beton normal) pada umur 56 hari yaitu 30,93 MPa. Sedangkan kuat tekan beton HVFA tertinggi dihasilkan LAB 10% sebesar 30,39 MPa pada umur 56 hari. Komposisi campuran paling optimum pada umur beton 28 dan 56 hari yaitu penggunaan substitusi limbah abu batu terhadap agregat halus sebesar 10%. Peningkatan kuat tekan beton tertinggi pada umur 56 hari dihasilkan oleh LAB 20% yaitu 33,32% atau sebesar 7,04 MPa.

Kata-kata kunci: beton HVFA, *fly ash*, limbah abu batu, kuat tekan, umur beton

**Abstract.** World cement demand and production is increasing every year, whereas the cement industry produces CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> gases which can cause greenhouse effects and acid rain. From all total coal production only 20-30% utilized and the residual becomes waste and piled up, its surface has potential to contaminate air and water. The stone crusher industry produces many untapped side products which called stone dust. Therefore, stone dust needs to be handled better. HVFA concrete (*High Volume Fly ash*) is an innovation to maximize fly ash to substitute cement of concrete. This research aimed to study the best mixture to create HVFA concrete and the effect of fine aggregate substitution 0%, 10%, 15% and 20% with stone dust on 14, 28 and 56 days compressive strength, as well as to obtain the effect of aged concrete on compressive strength. The result shows the highest compressive strength is produced by LAB 0% (as a normal concrete) at the age of 56 days is 30,93 MPa and the highest compressive strength of HVFA concrete produced by LAB 10% at the age of 56 days is 30,39 MPa. The most optimum mix concrete composition at 28 and 56 days is concrete with 10% stone dust substitution by weight of fine aggregate.

Keywords: HVFA concrete, fly ash, stone dust, compressive strength, aged concrete

## 1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara berkembang yang sedang giat membangun infrastruktur menggunakan material utama beton. Jumlah pembangunan berbanding lurus dengan meningkatnya permintaan terhadap beton.

Permintaan dan produksi semen dunia semakin meningkat dengan estimasi total pengeluaran semen di dunia lebih dari 3

milyar ton pada tahun 2009 dan angka tersebut semakin meningkat selama 2010 dan 2011 (Feiz dkk., 2015). Padahal industri semen dapat menghasilkan gas emisi CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> yang dapat menyebabkan efek rumah kaca serta hujan asam.

Ahmaruzzaman (2010) melaporkan produksi tahunan abu batu bara di seluruh dunia diperkirakan mencapai sekitar 600 juta

ton dengan *fly ash* merupakan sekitar 500 juta ton pada 75-80% dari total produksi abu. Hanya sebagian kecil dari abu batu bara yang digunakan (20-30%), sisanya adalah tanah yang ditimbun dan permukaannya memiliki potensi resiko polusi udara serta pencemaran air (Fermández-Jiménez dan Palomo, 2005).

Abu batu merupakan produk atau hasil sampingan dari industri pemecah batu split (*stone crusher*) yang jumlahnya tidak sedikit, sehingga limbah abu batu *stone crusher* menjadi salah satu limbah yang perlu diupayakan penanganannya.

“Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat (BSN, 2002).” Sedangkan beton HVFA (*High Volume Fly ash*) merupakan inovasi untuk memaksimalkan penggunaan limbah *fly ash* untuk menyubstitusi semen dalam pembuatan beton. Menurut Sivasundaram dkk. (1990) mengganti rasio semen di atas 30% dengan *fly ash* sudah mendefinisikan beton HVFA, namun 40% menjadi batas maksimum substitusi *fly ash* terhadap semen. Disimpulkan beton HVFA tidak mengikuti rekomendasi ACI dalam penggunaan *fly ash* antara 15-35% dari berat semen.

Penelitian ini menitikberatkan pada kuat tekan beton HVFA dengan menggunakan variasi limbah abu batu *stone crusher* sebagai substitusi agregat halus (pasir alam) dengan kadar substitusi sebesar 0%, 10%, 15% dan 20%. Selain itu penelitian beton HVFA ini juga menggunakan bahan tambah *superplastisizer* sebesar 0,5% dari berat semen dan *silica fume* dengan kadar 15% dari berat semen. Kemudian dilakukan uji tekan untuk mengetahui nilai kuat tekan pada umur 14, 28 dan 56 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan setiap variasi untuk mengetahui pengaruh limbah abu batu *stone crusher* terhadap kuat tekan beton HVFA, kemudian dibandingkan dengan kuat tekan beton normal yang diuji pada umur yang sama.

Huang dkk. (2013) meneliti proporsi campuran dan sifat mekanik beton mengandung *fly ash* kelas F sangat tinggi menggunakan substitusi *fly ash* terhadap semen sebesar 0, 20, 40, 60 dan 80%. Hasil

penelitian menyebutkan kuat tekan beton sebesar 37,4 MPa pada umur beton 56 hari dengan kandungan *fly ash* sebanyak 60% dan kuat tekan beton terus meningkat seiring dengan umur dari beton tersebut.

Lohani dkk. (2012) meneliti optimalisasi pemanfaatan debu tambang (*quarry dust*) sebagai pengganti sebagian pasir di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan paling optimum dicapai oleh substitusi debu tambang sebesar 30% pada umur beton 14 hari yaitu sebesar 26 MPa dan pada umur beton 90 hari yaitu sebesar 39 MPa. Namun pada umur beton 28 hari, substitusi debu tambang sebesar 20% merupakan yang paling optimum yaitu sebesar hampir 35 MPa.

Shukla dkk. (2017) meneliti sifat beton normal menggunakan limbah abu batu dan *fly ash*. Penelitian ini bertujuan menganalisis kuat tekan beton berbentuk kubus sampai umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan tertinggi campuran *fly ash* dan abu batu dihasilkan benda uji dengan persentase substitusi limbah abu batu terhadap agregat halus sebesar 45% dan persentase substitusi *fly ash* terhadap semen sebesar 15%, dengan hasil kuat tekan 25,32 MPa.

Dinakar (2013) meneliti perilaku beton memadat sendiri menggunakan semen *portland* dan kadar *fly ash* yang berbeda menggunakan empat jenis benda uji dengan variasi substitusi *fly ash* terhadap semen sebesar 10, 30, 50 dan 70%. Hasil penelitian menunjukkan beton dengan kadar *fly ash* 30% dari berat semen menghasilkan kuat tekan paling optimal 88 MPa pada umur 28 hari dan 100 MPa pada umur 56 hari. Namun semakin banyak penggunaan *fly ash* pada beton akan semakin menurunkan kuat tekan beton.

Wongkeo dkk. (2014) meneliti mengenai kuat tekan dan ketahanan dari klorida beton memadat sendiri yang mengandung *fly ash* dengan volume tinggi dan *silica fume*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi *fly ash* terhadap semen umumnya mengurangi kuat tekan SCC (*self compacting concrete*) pada semua usia uji (3, 7, 28 dan 90 hari).

Umboh dkk. (2014) meneliti pengaruh pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) sebagai

substitusi semen terhadap kuat tekan beton. Hasil pengujian menyatakan variasi substitusi paling optimum yang menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu beton dengan substitusi abu terbang terhadap semen sebesar 30% yang mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 24,18 MPa pada umur beton 28 hari.

Menurut Patel dkk. (2013) meneliti mengenai substitusi semen menggunakan limbah abu batu yang efektif untuk mendapatkan *green concrete* dengan proporsi substitusi limbah abu batu terhadap semen sebanyak 0, 10, 20, 30, 40 dan 50%. Hasil kuat tekan paling optimum penggunaan abu limbah batu sebanyak 20% (B2) pada umur beton 7 dan 14 hari.

Amran (2014) dalam penelitian mengenai pengaruh *silica fume* dan sikament-NN pada campuran beton mutu tinggi mengacu ACI (*American Concrete Institute*) menggunakan variasi penambahan *silica fume* sebesar 0, 5, 10, 15 dan 20%. Variasi penambahan *silica fume* paling optimum yang menghasilkan kuat tekan tertinggi pada umur beton 28 hari yaitu variasi penambahan *silica fume* sebesar 15%, dengan hasil kuat tekan sebesar 458,60 kg/cm<sup>2</sup>.

Siddique (2004) dalam penelitian mengenai karakteristik kinerja *fly ash* kelas F volume tinggi dalam beton, memanfaatkan *fly ash* sebagai substitusi semen sebanyak 40, 45 dan 50%. Penelitian ini menguji kuat tekan, belah tarik, lentur dan ketahanan abrasi yang masing-masing diuji pada umur 7, 28, 91 dan 365 hari. Penelitian ini juga menyimpulkan bahwa *fly ash* kelas F dapat digunakan untuk mengganti sebagian semen sampai 50%.

Siddique dkk. (2012) dalam penelitian mengenai pengaruh serat *polyester* pada kuat tekan dan ketahanan abrasi beton HVFA menyatakan bahwa beton dengan kandungan *fly ash* sebanyak 50% menghasilkan kuat tekan sebesar 33,8 MPa pada umur 56 hari. Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak substitusi *fly ash* terhadap semen, kuat tekan akan semakin turun meskipun perkembangan beton semakin naik seiring dengan umur beton yang semakin lama.

Tujuan penelitian ini yaitu variasi limbah abu batu *stone crusher* yang paling tepat untuk menghasilkan kuat tekan optimum

dalam pembuatan beton HVFA, kuat tekan beton HVFA akibat substitusi agregat halus (pasir) terhadap limbah abu batu *stone crusher* dalam pembuatan beton HVFA dengan variasi campuran 0%, 10%, 15% dan 20% pada umur beton 14, 28 dan 56 hari, serta mendapatkan pengaruh umur beton terhadap kuat tekan beton HVFA.

## 2. Metode Penelitian

### Bahan

#### Agregat kasar

Menurut Tjokrodinuljo (1996) ukuran agregat kasar yaitu agregat yang butirannya lebih besar dari 4,80 mm. Secara umum agregat kasar biasa disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah atau batu split. Agregat kasar yang digunakan yaitu kerikil yang lolos saringan No. 3/4 atau ukuran 19 mm dan berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Sifat mekanik kerikil yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Sifat mekanik agregat kasar (kerikil)

No	Pengujian	Satuan	Nilai
1	Berat jenis	-	2,82
2	Penyerapan air	%	2,82
3	Berat satuan	gr/cm <sup>3</sup>	1,53
4	Kadar lumpur	%	4,91
5	Keausan agregat	%	32,87
6	Kadar air	%	3,71

#### Agregat halus (pasir)

Menurut Tjokrodinuljo (1996) agregat halus yaitu agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,80 mm. Pasir penelitian ini berasal dari Sungai Progo, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Yogyakarta dan lolos saringan No. 4 atau ukuran 4,75 mm. Sifat mekanik pasir yang digunakan disajikan pada tabel 2.

Tabel 2 Sifat mekanik agregat halus (pasir)

No	Pengujian	Satuan	Nilai
1	Gradasi	-	Memenuhi standar ASTM
2	Kadar air	%	1,97
3	Berat jenis	-	2,81
4	Penyerapan air	%	2,81
5	Berat satuan	gr/cm <sup>3</sup>	1,72
6	Kadar lumpur	%	4,00

#### Semen

“Semen *portland* yaitu semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat



Tabel 3 Proporsi campuran beton persilinder

Kode beton	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (liter)	<i>Fly ash</i> (kg)	Abu batu (kg)	0,5% SP (kg)	15% SF (kg)
LAB 0%	2,174	3,938	4,614	550	-	-	-	-
LAB 10%	0,979	3,544	4,614	350	0,869	0,394	0,0108	0,326
LAB 15%	0,979	3,347	4,614	450	0,869	0,591	0,0108	0,326
LAB 20%	0,979	3,150	4,614	550	0,869	0,788	0,0108	0,326

Tabel 4 Proporsi campuran beton permeter<sup>3</sup>

Kode beton	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (liter)	<i>Fly ash</i> (kg)	Abu batu (kg)	0,5% SP (kg)	15% SF (kg)
LAB 0%	410	742,45	870	103703,71	-	-	-	-
LAB 10%	184,5	668,2	870	61279,47	164	74,25	2,05	61,5
LAB 15%	184,5	631,08	870	84848,49	164	111,37	2,05	61,5
LAB 20%	184,5	593,96	870	98989,9	164	148,49	2,05	61,5

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Uji slump

Hasil uji *slump* dilakukan pada setiap variasi dan adukan beton. Setiap variasi beton dilakukan 2 kali pengadukan dan setiap adukan dihasilkan 3 benda uji. Perbedaan hasil uji *slump* dapat terjadi karena perbedaan kondisi kadar air agregat dan pengaruh iklim maupun cuaca ketika pengadukan dan pengujian yang berdampak pada kecepatan waktu set beton. Hasil uji *slump* dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5 Hasil uji *slump*

Kode beton	Adukan 1 (cm)	Adukan 2 (cm)	Rata-rata (cm)
LAB 0%	9,5	8	8,75
LAB 10%	6,5	6	6,25
LAB 15%	6,5	6,5	6,5
LAB 20%	6	4,5	5,25

#### Uji kuat tekan

Uji kuat tekan dilakukan pada umur beton 14, 28 dan 56 hari dengan masing-masing 2 benda uji pada setiap variasi beton. Total 24 benda uji berbentuk silinder ukuran 15 × 30 cm. Hasil uji kuat tekan beton LAB 0, 10, 15 dan 20% disajikan berturut-turut pada Tabel 6, 7, 8 dan 9.

Tabel 6 Hasil uji kuat tekan beton LAB 0%

Kode	Umur (hari)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
LAB 0% A	14	26,13	26,14
LAB 0% B		26,14	
LAB 0% A	28	29,58	28,1
LAB 0% B		26,62	
LAB 0% A	56	30,92	30,93
LAB 0% B		30,93	

Tabel 7 Hasil uji kuat tekan beton LAB 10%

Kode	Umur (hari)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
LAB 10% A	14	18,6	18,64
LAB 10% B		18,67	
LAB 10% A	28	23,75	25,19
LAB 10% B		26,62	
LAB 10% A	56	30,17	30,39
LAB 10% B		30,61	

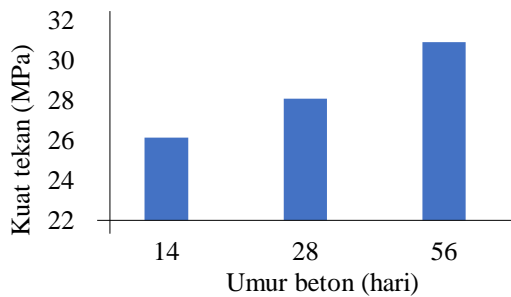
Tabel 8 Hasil uji kuat tekan beton LAB 15%

Kode	Umur (hari)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
LAB 15% A	14	19,4	20,18
LAB 15% B		20,96	
LAB 15% A	28	22,01	22,56
LAB 15% B		23,1	
LAB 15% A	56	30,73	29,08
LAB 15% B		27,42	

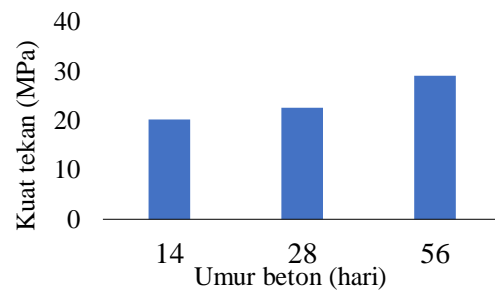
Tabel 9 Hasil uji kuat tekan beton LAB 20%

Kode	Umur (hari)	Kuat tekan (Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
LAB 20% A	14	17,86	18,73
LAB 20% B		19,6	
LAB 20% A	28	21,5	21,13
LAB 20% B		20,75	
LAB 20% A	56	28,07	28,17
LAB 20% B		28,27	

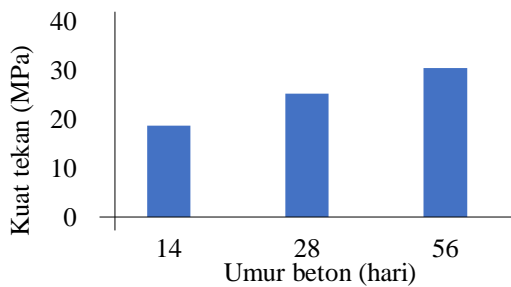
Adapun grafik hasil uji kuat tekan beton LAB 0, 10, 15 dan 20% disajikan berturut-turut pada gambar 1, 2, 3 dan 4. Grafik perbandingan hasil uji kuat tekan beton disajikan pada Gambar 5.



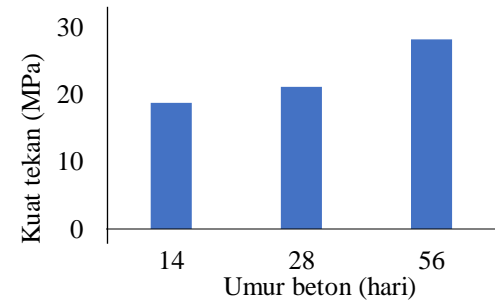
Gambar 1 Grafik hasil uji kuat tekan LAB 0%



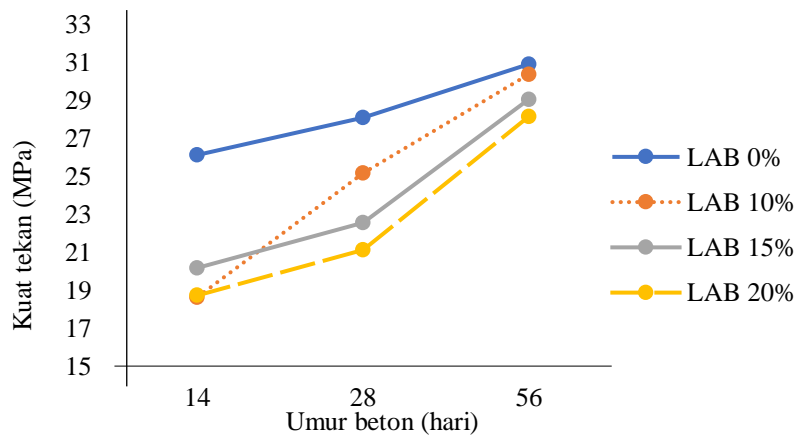
Gambar 3 Grafik hasil uji kuat tekan beton LAB 15%



Gambar 2 Grafik hasil uji kuat tekan beton LAB 10%



Gambar 4 Grafik hasil uji kuat tekan beton LAB 20%



Gambar 5 Grafik perbandingan hasil kuat tekan beton

Hasil pengujian menunjukkan beton HVFA dengan variasi campuran limbah abu batu *stone crusher* memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan beton LAB 0% (beton normal). Namun, perkembangan beton variasi lebih signifikan terutama setelah umur 28 hari atau pada umur tekan 56 hari. Beton LAB 10% juga memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan beton LAB 0% pada umur 56 hari.

Beberapa beton tidak menghasilkan kuat tekan maksimal dan bahkan memiliki perbedaan kuat tekan yang cukup besar, hal tersebut dapat terjadi karena cara memasukkan beton segar secara manual ke dalam cetakan sehingga menyebabkan perbedaan proporsi

komposisi agregat yang ditandai oleh perbedaan berat dari masing-masing beton. Selain itu, proses pemadatan (penusukan/ penumbukan) yang kurang sempurna dan kurang merata dapat menyebabkan segregasi, sehingga penyebaran agregat kurang merata. *Bleeding* juga dapat menjadi sebab dari kuat tekan beton kurang maksimal, namun beton penelitian ini hanya mengeluarkan sangat sedikit air, bahkan tidak sama sekali.

Hasil pengujian menunjukkan beton HVFA dengan variasi campuran limbah abu batu *stone crusher* memiliki kuat tekan lebih rendah dibandingkan beton LAB 0% (beton normal). Namun, perkembangan beton variasi

lebih signifikan terutama setelah umur 28 hari atau pada umur 56 hari. Beton LAB 10% juga memiliki kuat tekan yang hampir sama dengan beton LAB 0% pada umur 56 hari.

Belum ditemukan penelitian beton HVFA (dengan substitusi *fly ash* terhadap semen sebesar 40%) dan menggunakan substitusi limbah abu batu, sehingga digunakan pembandingan penelitian terdahulu mengenai beton dengan campuran limbah abu batu saja. Hasil uji tekan beton yang didapatkan sesuai dengan penelitian Patel dkk. (2013) yaitu kuat tekan beton tertinggi pada umur beton 28 hari dihasilkan oleh proporsi substitusi limbah abu batu terhadap agregat halus sebesar 10%.

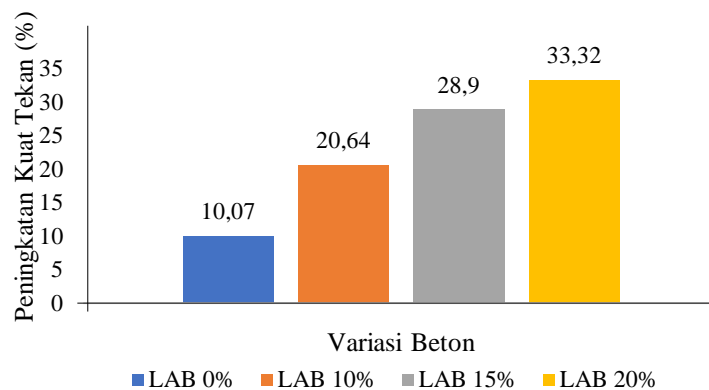
### Peningkatan kuat tekan beton

Persentase peningkatan kuat tekan beton tertinggi pada umur 56 hari dihasilkan oleh LAB 20% yaitu 33,32% atau sebesar 7,04 MPa dan peningkatan kuat tekan beton

terendah dihasilkan oleh LAB 0% (beton normal) yaitu sebesar 10,07% atau 2,83 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak campuran substitusi limbah abu batu pada beton berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan beton. Adapun tabel peningkatan kuat tekan pada umur 56 hari disajikan pada Tabel 10 dan grafik persentase peningkatan kuat tekan beton pada umur 56 hari dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 10 Peningkatan kuat tekan beton pada umur 56 hari

Kode	Peningkatan kuat tekan (MPa)	Peningkatan kuat tekan (%)
LAB 0%	2,83	10,07
LAB 10%	5,2	20,64
LAB 15%	6,52	28,9
LAB 20%	7,04	33,32



Gambar 6 Grafik persentase peningkatan kuat tekan beton pada umur 56 hari

### Kondisi fisik benda uji setelah uji tekan

Beton variasi LAB 10, 15 dan 20% mengalami keretakan lebih ringan daripada LAB 0%. Adapun kondisi fisik benda uji paling parah setelah uji tekan beton LAB 10, 15 dan 20% berturut-turut disajikan pada Gambar 7.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 7. Kondisi fisik benda uji paling parah setelah uji tekan 56 hari: tekan 56 hari: LAB 0% (a) LAB 10% (b) LAB 15% (c) LAB 20% (d)

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan diketahui bahwa beton HVFA dengan variasi campuran limbah abu batu *stone crusher* mempengaruhi kuat tekan beton HVFA. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Semakin banyak limbah abu batu *stone crusher* yang digunakan akan semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan. Komposisi campuran paling optimum untuk menghasilkan kuat tekan paling tinggi pada umur beton 28 dan 56 hari yaitu penggunaan substitusi limbah abu batu *stone crusher* terhadap agregat halus sebesar 10%.
2. Kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh beton LAB 0% (beton normal) pada umur 56 hari yaitu 30,93 MPa. Sedangkan kuat tekan beton HVFA tertinggi dihasilkan oleh variasi campuran LAB 10% yaitu sebesar 30,39 MPa pada umur beton 56 hari.
3. Kuat tekan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya umur beton. Walaupun kuat tekan beton variasi masih di bawah beton normal, namun laju kenaikan kuat tekan beton LAB 10%, 15% dan 20% setelah 28 hari lebih signifikan dibandingkan dengan LAB 0% (beton normal). Peningkatan kuat tekan beton tertinggi pada umur 56 hari dihasilkan oleh LAB 20% yaitu 33,32% atau sebesar 7,04 MPa. Peningkatan kuat tekan beton terendah dihasilkan oleh LAB 0% (beton normal). Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin meningkat umur beton berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan beton.

#### 5. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan penelitian ini, adapun saran apabila akan dilakukan penelitian selanjutnya atau menggunakan penelitian ini sebagai referensi adalah sebagai berikut ini.

1. Digunakan variasi limbah abu batu *stone crusher* dengan volume dibawah 10%, karena semakin banyak volume limbah abu batu yang digunakan berbanding lurus

dengan kebutuhan air pada campuran beton segar.

2. Pengurangan proporsi campuran air agar dapat menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kadar *fly ash* paling optimum pada beton HVFA dengan substitusi limbah abu batu *stone crusher*.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk kuat tekan hingga umur beton lebih dari 56 hari.
5. Diperlukan penelitian mengenai beton HVFA mutu tinggi dengan substitusi campuran limbah abu *stone crusher*.
6. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan kadar *fly ash* paling optimum pada beton HVFA dengan substitusi limbah abu batu *stone crusher*.
7. Perlu diperhatikan suhu, iklim dan cuaca pada saat proses pengadukan beton untuk meminimalisasi pengurangan kadar air yang signifikan.
8. Apabila ingin melakukan penelitian serupa, perlu dibuat lebih dari 2 sampel benda uji agar data hasil pengujian lebih valid.

#### 6. Daftar Pustaka

- ACI, 2000, ACI (American Concrete Institute) 116R-00. Cement and Concrete Terminology.
- ACI, 2002, ACI (American Concrete Institute) 211.1-91. Standard Practice for selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- Ahmaruzzaman, M. (2010). A review of the Utilization of *Fly ash*. *Progress in Energy and Combustion*, 36, 327-363.
- Ahmaruzzaman, M. 2010. A review of the Utilization of Fly ash. *Progress in Energy and Combustion*, 36, 327-363.
- Amran, Y. (2014). Pengaruh Penggunaan *Silica fume* dan Sikament-NN pada Campuran Beton Mutu Tinggi Mengacu pada Metode American Concrete Institute (ACI). TAPAK, 3.
- BSN, 2002, SNI 03-2847. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.



- BSN, 2004, SNI 15-204-2004. *Semen Portland*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- CIRCA, 2002. *The Benefits of Using Fly ash in Concrete*. Association of Canadian Industries Recycling Coal Ash, Canada.
- Dinakar, P., Reddy, K. M., & Sharma, M. (2013). Behaviour of Self Compacting Concrete Using Portland Pozzolana Cement With Different Levels of *Fly ash*. *Materials and Design*, 46, 609-616.
- Feiz, R., Ammenberg, J., Baas, L., Eklund, M., Helgstrand, A., & Marshall, R. (2015). Improving The CO2 Performance of Cement, Part 1: Utilizing Life-Cycle Assessment and Key Performance Indicators to Assess Development Within The Cement Industry. *Jornal of Cleaner Production*, 98, 272-281.
- Fermández-Jiménez, A., & Palomo, A. (2005). Microstructure Development of Alkali-Activated *Fly ash* Cement: A Descriptive Model. *Cement and Concrete Research* 35, 6, 1204-1209.
- Huang, C.-H., Lin, S.-K., Chang, C.-S., & Chen, H.-j. (2013). Mix prportion and mechanical properties of concrete containing very high-volume of Class F *fly ash*. *Construction and Building Materials*, 43.
- Lohani, T. K., Padhi, M., Dash, K. P., & Jena, S. (2012). Optimum Utilization of Quarry Dust as Partial Replacement of Sand in Concrete. *International Journal of Applied Science and Engineering Research*, 1. doi: 10.6088/ijaser.0020101040
- Patel, A. N., & Pitroda, J. (2013). Stone Waste: Effective Replacement Of Cement for Establishing Green Concrete. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 2(5), 24-27.
- Shukla, V. K., Sharma, B., & Gupta, A. (2017). Properties of Ordinary Concrete by Use of Stone Dust and Fly-ash. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 7(5), 12370-12373.
- Siddique, R. (2004). Performance characteristics of high-volume Class F *fly ash* concrete. *Cement and Concrete Reaserch*, 34, 487-493.
- Siddique, R., Kapoor, K., Bennacer, R., & Kadri, E.-H. (2012). Effect of Polyester Fibers on the Compressive Strength and Abrasion Resistance of HVFA Concrete. *Construction and Building Materials*, 29, 270-278.
- Tjokrodumuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Nafiri.
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Ngamjarrojana, A., & Chaipanich, A. (2014). Compressive Strength and Chloride Resistance of Self-Compacting Concrete Containing High Level *Fly ash* and Silica fume. *Materials and Design*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.042>.

