

## PEMANFAATAN *FLY ASH* SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PORTLAND UNTUK MENGURANGI EMISI KARBON

Ketut Agus Karmadi<sup>1\*)</sup>, Ni Luh Widyasari<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar

<sup>2)</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar

\*Email: [agus.karmadi@unmas.ac.id](mailto:agus.karmadi@unmas.ac.id)

### ABSTRACT

*Understanding concrete is the most building material in construction industry. Advantages concrete of compared to other materials are that it requires little maintenance fire and water resistant. This study aims to 1) Determine the utilization fly ash from Asphalt Mixing Plan (AMP) in PT. Harapan Jaya Beton for concrete mix; 2) Determine the efficiency percentage of optimal fly ash use in concrete mix. The composition of fly ash used is Portland cement 5%; 10%; 15%; 20%; 30% made from mixture fly ash and Portland I type cement. The results of reaserch showed that burning of AMP as cement component instead of concrete mix. The workability of fly ash at 28 days is 15% with compressive strength of 28.7 MPa and 15% with modulus of elasticity of 14790 MPa. At 56 days the best use is 15% of tensile strength with value of 30.1 MPa and 15% elastic modulus with value of 15325.9 MPa, and at 90 days the best use is 10% compression strength with value of 31.9 MPa and 15% modulus of elasticity with value of 18213.5 MPa. From the above results, it shows that Portland cement can be used by using to reduce carbon emission by 20-30%.*

**Keywords:** *Compressive strength, Concrete age, Elastic Modulus, Fly ash.*

### 1. PENDAHULUAN

Beton menjadi bahan bangunan paling banyak digunakan dibidang konstruksi. Keunggulan beton dibanding bahan lain, karena membutuhkan sedikit perawatan serta tahan terhadap api dan air (Subakti, 1994). Manfaat beton banyak digunakan dalam bentuk beton normal yang mempunyai kepadatan 2200 hingga 2500 kg/m<sup>3</sup> dimana komposisi bahan agregat alami mudah dipecah atau dengan tanpa dipecah (Fausett, 1994). Kualitas terbaik dari penggunaan material beton yaitu mampu menahan kuat tekan sehingga mempengaruhi bahan pembentuk, mudah dalam hal faktor air semen (f.a.s), bahan pelengkap (*admixture*), dan pekerjaan (*workability*) jika akan digunakan (Intara dkk., 2013). Perkembangan pembangunan di Indonesia khususnya, pembangunan

industri serta produksi pembuatan semen menjadi salah satu material pembentuk beton akan terus mengalami peningkatan. Apabila diamati dari segi sudut pandang industri, proses produksi semen telah menghasilkan gas karbondioksida cukup besar yang akan merugikan manusia beserta lingkungan (Supartono, 2005). Dari sisi negatif yang diakibatkan, dapat dilakukan upaya dalam menemukan solusi bagaimana cara mengurangi limbah dari proses produksi semen Portland. Salah satu upaya dapat dilakukan melalui pemanfaatan *fly ash* pengganti semen Portland dalam produksi beton (Purnawirati dkk., 2016). Terbentuknya *fly ash* bersumber dari sisa pembakaran batu bara yang mengandung silika, alumina dan zat pozzolan lainnya dimana dapat mengurangi emisi karbon jika digunakan dalam campuran beton (Chatham, 2018).

*Fly ash* dalam bentuk residu seperti butiran halus berasal dari proses pembakaran batu bara yang sebagian besar mengandung silikon oksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Oksida silika dan alumina yang terdapat pada *fly ash* yang ditambahkan ke dalam campuran bahan beton dimana bereaksi terhadap  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  diperoleh hasil dari hidrasi  $\text{C}_3\text{S}$  maupun  $\text{C}_2\text{S}$  sehingga membentuk gel CSH dan CAH dalam bentuk senyawa baru (Lastini, 2004). Terbentuknya CSH dan CAH sebagai senyawa baru pada beton dianalisis mampu meningkatkan daya kuat tekan bahan beton. Berkaitan dengan itu, dilakukan suatu penelitian guna menentukan kekuatan/potensi *fly ash* dari proses pembakaran *Asphalt Mixing Plant* (AMP) pengganti semen Portland. *Fly ash* yang terbentuk dari sisa pembakaran batu bara dengan tungku akan memanaskan material aspal campuran panas di PT. Harapan Jaya beralamat di Jalan By Pass Ida Bagus Mantra. Setiap minggu dapat dihasilkan volume *fly ash* sebesar  $30 \text{ m}^3$ , dengan rata-rata  $4 \text{ m}^3$  per hari. Oleh karena itu, *fly ash* hasil pembakaran AMP telah dimanfaatkan sebagai pupuk kompos atau tanah urug dengan harga jual sebesar Rp 50.000 per satu muatan truk. Permasalahan yang dapat dirumuskan dari latar belakang penelitian adalah 1) Bagaimana potensi pemanfaatan *fly ash* dari pembakaran AMP dapat menggantikan semen pada campuran beton sehingga daya tekan dan modulus elastisitas beton meningkat; 2) Berapakah efektivitas persentase penggunaan optimal *fly ash* dalam peningkatan nilai daya kuat tekan dan modulus elastisitas beton.

Dari perumusan masalah, adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai yaitu, 1) Mengetahui pemanfaatan *fly ash* dari proses pembakaran AMP pada campuran beton sehingga dapat meningkatkan daya tekan & nilai modulus elastisitas beton; 2) Mengetahui persentase penggunaan *fly ash* optimal pencampuran beton. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu 1) Memperoleh informasi potensi timbulan *fly ash* sisa pembakaran AMP PT. Harapan Jaya dalam menggantikan semen Portland pada campuran beton; 2) Dapat diaplikasikan sebagai sarana pengembangan dan penerapan ilmu pengetahuan serta teknologi

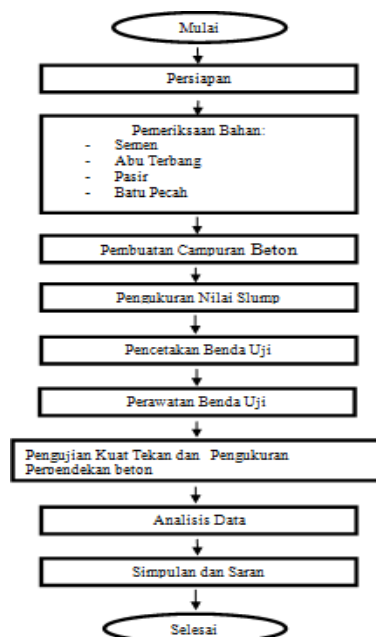
dalam produksi bahan beton; 3) Menjadi solusi dalam mengurangi tingkat pencemaran lingkungan akibat limbah AMP. Limbah berupa *fly ash* yang diproduksi PT. Harapan Jaya Beton tergolong limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Batasan masalah terdiri atas 1) *fly ash* hasil pembakaran AMP telah lolos saringan No. 200; 2) Uji pencampuran beton yang terdiri atas agregat halus, agregat kasar, lem perekat; 3) Bahan perekat terbuat dari campuran antara semen Portland dan *fly ash*; 4) Uji daya tekan dan proses pemotongan beton dilakukan ketika beton mencapai umur 28, 56, dan 90 hari. Keunggulan dari penelitian ini yaitu menggunakan material *fly ash* batubara hasil pembakaran AMP bertempat di Provinsi Bali, sedangkan penelitian lainnya memanfaatkan material batubara hasil sisa pembakaran dari sistem pembangkit listrik yang berasal dari luar Provinsi Bali.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Metode Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di Laboratorium Bahan dan Beton Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Adapun bahan yang digunakan :

1. Agregat halus berupa (pasir Karangasem) & agregat kasar (batu pecah Karangasem)
2. Semen tipe I ex. Gresik : *Ordinary Portland Cement* (OPC)
3. *Fly ash* dari PT. Harapan Jaya Beton
4. Air PDAM dari Laboratorium Bahan dan Beton, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana



**Gambar 1.** Alur Penelitian

## 2.2 Metode Pengambilan Sampel dan Pengumpulan Data

Sampel dikumpulkan dari beberapa subjek digunakan menguji nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Setiap variasi proporsi *fly ash* menghasilkan 6 subjek uji. Proses pengujian dilakukan ketika beton berumur 28, 56, dan 90 hari (Tabel 1).

**Tabel 1.** Persentase *Fly Ash* terhadap Umur Benda Uji

Persentase <i>Fly Ash</i>	Umur Uji		
	28 hari	56 hari	90 hari
	I	II	III
0%	6 buah	6 buah	6 buah
5%	6 buah	6 buah	6 buah
10%	6 buah	6 buah	6 buah
15%	6 buah	6 buah	6 buah
20%	6 buah	6 buah	6 buah
30%	6 buah	6 buah	6 buah

### 2.2.1 Kuat Tekan Beton

Hal paling dipertimbangkan dalam berbagai kebutuhan konstruksi bangunan adalah kuat tekan beton (McCormac, 2000). Dalam prakteknya, kuat tekan diperoleh dari proses pengukuran kuat benda uji. Sifat beton dari suatu campuran tertentu dapat diamati dari kuat tekan benda uji (Mulyono, 2004; Nugraha dan Antoni, 2007). Dari hasil uji dinyatakan lengkap serta menjadi informasi akurat yang dinyatakan dalam rumus sebagai berikut.

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

Dimana :

P = beban maksimum yang diberikan sampai benda uji menjadi hancur (N)

f'c = kuat tekan beton (MPa)

A = luas penampang beton (mm<sup>2</sup>)

### 2.2.2 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas dinyatakan dalam rasio tegangan terhadap besar perubahan yang terjadi per satuan panjang, sebagai akibat adanya pemberian tegangan (Murdock dan Brook, 1991). Uji modulus elastisitas menjadi tolak ukur seberapa elastis sifat dari suatu bahan/material. Perhitungan nilai modulus elastisitas rata-rata didapa dari rumus berikut.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (2)$$

$$E_{rata-rata} = \frac{\Sigma E}{N} \quad (3)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses uji bahan pembentuk beton bertujuan untuk mendapatkan data yang diperlukan terkait penggunaan material tersebut.

#### 3.1 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

- Penggunaan bahan semen Portland tipe I merk Gresik memiliki berat satuan 1,29 kg/L dan persentase kehalusan 5%.
- Fly ash* yang digunakan hasil produksi dari PT. Harapan Jaya. Uji parameter kimia *fly ash* dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS, Team Affiliasi dan Konsultansi Industri, Kampus ITS Sukolilo – Surabaya. Hasil analisis menyatakan bahwa jumlah  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 78,24\%$  yang artinya *fly ash* termasuk dalam kategori kelas F dikarenakan memiliki persentase  $> 70\%$  (Tabel 2).

**Tabel 2.** Hasil Uji *Fly Ash* berdasarkan Parameter Kimia

Parameter	Hasil Uji	Metode
$\text{SiO}_2$	67,52 %	Gravimetri
CaO	7,23 %	Titrimetri
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,86 %	AAS
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4,86 %	Spektrofotometri

- Gradasi dari agregat halus ukurannya dirancang guna pemenuhan gradasi pada zona 2 berdasarkan SNI 03-2834-2000. Proses rancangan melalui pengayakan guna memisahkan antara butiran agregat halus untuk per fraksi.
- Penggunaan agregat kasar dengan batu pecah berasal dari Karangasem. Gradasi pada batu pecah telah dirancang menyesuaikan kondisi dimana diameter yang ditentukan maksimum 20 mm berdasarkan SNI 03-2834-2000.

#### 3.2 Hasil Pengukuran Nilai *Slump*

Penentuan nilai *slump* bertujuan menganalisis tingkat kekentalan adukan beton sehingga mampu menunjukkan pengerjaan hasil akhir campuran beton. Nilai pengukuran rata-rata nilai *slump* dan kuat beton dengan berbagai persentase dijelaskan pada Tabel 3 dan 4.

Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Portland Untuk Mengurangi Emisi Karbon

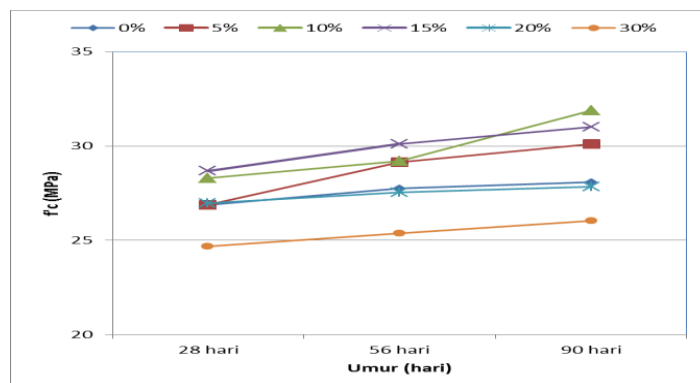
**Tabel 3.** Hasil Rata-Rata Nilai *Slump*

Persentase <i>Fly Ash</i>	Nilai <i>Slump</i>
0%	12,7 mm
5%	20,6 mm
10%	31,2 mm
15%	48,3 mm
20%	51,2 mm
30%	56,4 mm

**Tabel 4.** Kuat Tekan Beton Untuk Berbagai Persentase *Fly Ash*

Persentase <i>Fly Ash</i> (%)	$f'_c$ (MPa)		
	28 hari	56 hari	90 hari
0	26,9	27,7	28,1
5	26,9	29,2	30,1
10	28,3	29,2	31,9
15	28,7	30,1	31,0
20	26,9	27,6	27,9
30	24,7	25,4	26,0

Data diatas selanjutnya diplot dalam bentuk grafik antara umur beton, kuat tekan, persentase abu terbang (Gambar 2). Dari data Tabel 3, menunjukkan kuat tekan beton meningkat diikuti dengan umur beton yang bertambah. Campuran yang menggunakan *fly ash* 5%, 10% dan 15% menunjukkan perkembangan kuat tekan yang relatif lebih cepat dan lebih baik dibanding dengan campuran lainnya.

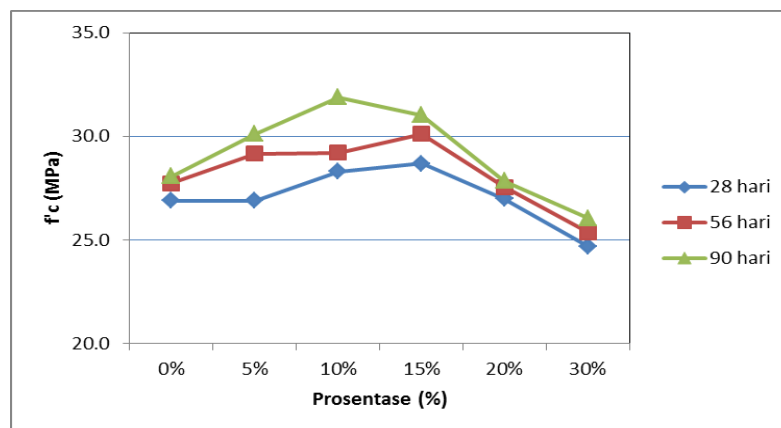


**Gambar 2.** Hubungan antara Kuat Tekan Beton terhadap Umur Beton

Ketika berumur 28 hari, beton pengganti semen dengan *fly ash* untuk konsentrasi 5%, 10%, 15%, 20%, 30% memiliki kuat tekan masing-masing sebesar 26,9 MPa; 28,3 MPa; 28,7 MPa; 26,9 MPa; dan 24,7 MPa. Kuat tekan

beton tanpa menggunakan pengganti semen dengan *fly ash* adalah 26,9 MPa. Selain itu, pada umur 56 hari, beton yang menggunakan semen pengganti *fly ash* adalah 5%, 10%, 15%, 20%, 30% masing-masing mencapai kuat tekan 29,2 MPa; 29,2 MPa; 30,1 MPa; 27,6 MPa dan 25,4 MPa, sedangkan kuat tekan beton tanpa semen pengganti *fly ash* sebesar 27,7 MPa. Sementara itu, apabila beton berumur 90 hari maka beton yang digunakan semen pengganti *fly ash* adalah 5%, 10%, 15%, 20%, dan 30% masing-masing mencapai kuat tekan 30,1 MPa; 31,9 MPa; 31 MPa; 27,9 MPa dan 26 MPa sedangkan kuat tekan beton tanpa semen pengganti *fly ash* adalah 28,1 MPa.

Dari data pada Tabel 3 dan Gambar 5 terlihat pada umur 28 hari, beton dengan semen pengganti *fly ash* memiliki persentase 5%, 10%, 15%, 20%, dan 30% mencapai kuat tekan masing-masing 100%, 105,26%, 106,67%, 100,35% dan 91,79% dari beton tanpa semen pengganti *fly ash*. Terlihat bahwa kuat tekan yang dihasilkan oleh beton menggunakan *fly ash* meningkat, bila *fly ash* yang digunakan bertambah hingga 15% maka kuat tekannya menurun. Namun, penggunaan *fly ash* 20% tetap menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan tidak menggunakan *fly ash*.



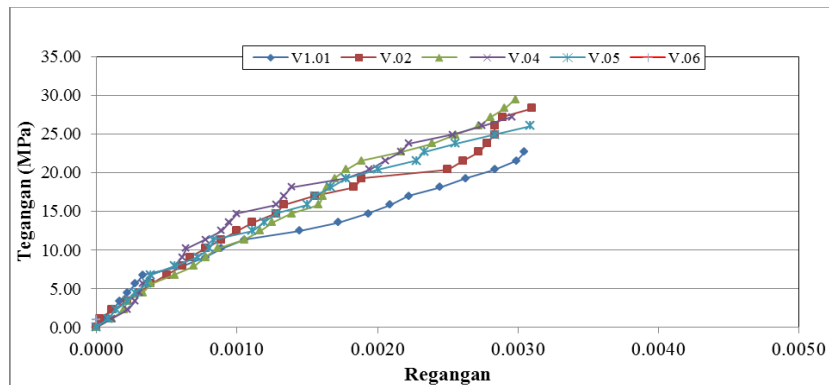
**Gambar 3.** Hubungan antara Kuat Tekan Beton pada Berbagai Persentase *Fly Ash*

Selanjutnya diumur 56 hari, kuat tekan beton dengan perentase campuran *fly ash* bernilai 5%, 10%, 15%, 20%, 30% mencapai kuat tekan masing-masing sebesar 105,10%, 105,31%, 108,57%, 99,32%, dan 91,43% dari beton tanpa semen pengganti *fly ash*. Kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* meningkat bertahap seiring bertambahnya *fly ash* hingga digunakan 15%, kemudian kuat tekannya berangsur-angsur menurun. Sementara pada umur 90 hari, kuat tekan beton dengan campuran *fly ash* 5%, 10%, 15%, 20% dan 30% memiliki kuat tekan berturut-turut sebesar 107,26%, 113,58%, 110,48%, 99,19% dan 92,74% dibandingkan beton tanpa menggunakan *fly ash*. Hal ini membuktikan jika daya tekan dihasilkan oleh beton dengan *fly ash* meningkat seiring bertambahnya penggunaan *fly ash* hingga 10%, setelah itu kuat tekannya jadi menurun

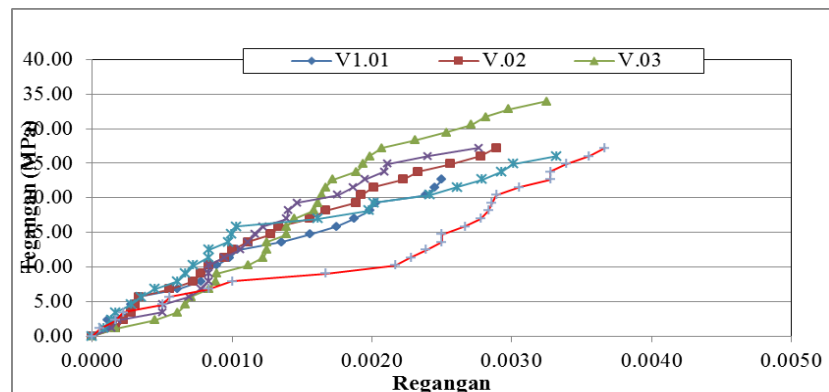
(Mardiono, 2011). Namun, penggunaan *fly ash* 15% tetap menghasilkan daya tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan beton dengan tanpa *fly ash*.

### 3.3 Modulus Elastisitas Beton Untuk Berbagai Persentase *Fly Ash*

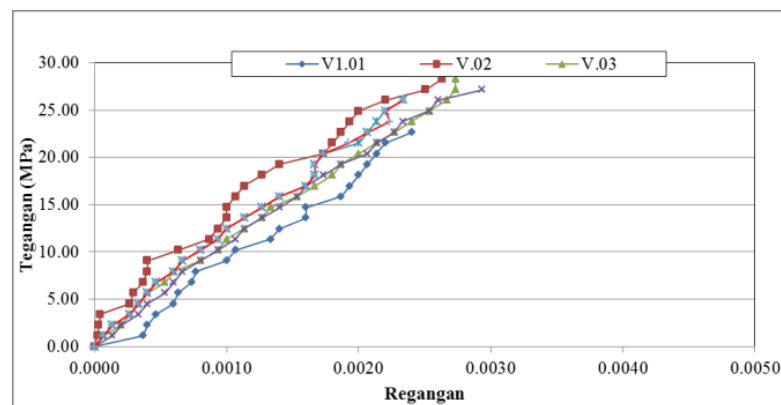
Grafik hubungan antara regangan dan tegangan beton pada umur 28, 56, dan 90 hari pada berbagai persentase *fly ash* terlihat di Gambar 4, 5 dan 6.



Gambar 4. Hubungan Tegangan terhadap Regangan Pada Umur 28 Hari



Gambar 5. Hubungan antara Regangan dan Tegangan Pada Umur 56 Hari



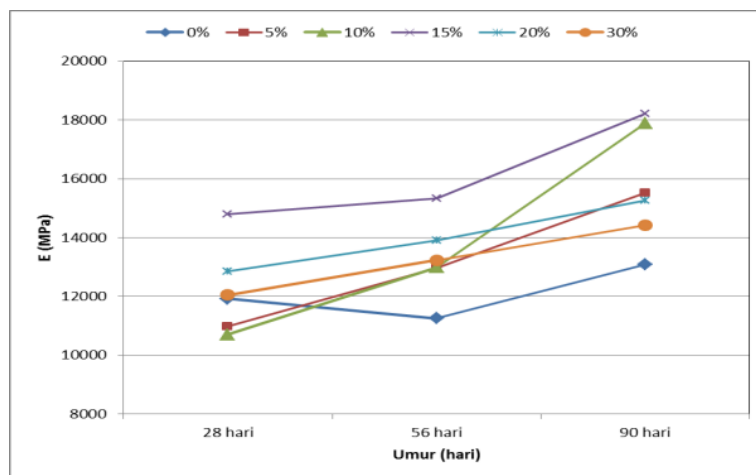
Gambar 6. Hubungan Tegangan terhadap Regangan Pada Umur 90 Hari



Berdasarkan data pada Tabel 5, kemudian diplot menjadi grafik persentase *fly ash*, umur fisik, modulus elastisitas seperti pada Gambar 7. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modulus elastisitas berbanding lurus dengan penambahan umur beton.

**Tabel 5.** Modulus Elastisitas Beton Untuk Berbagai Persentase *Fly Ash*

Persentase <i>Fly Ash</i> (%)	E (MPa)		
	28 hari	56 hari	90 hari
0	11917,5	11247,0	13079,4
5	10605,9	12967,6	15515,1
10	10701,7	12987,6	17876,5
15	14790,0	15325,9	18213,5
20	12846,2	13900,7	15266,1
30	12052,1	13237,0	14426,7



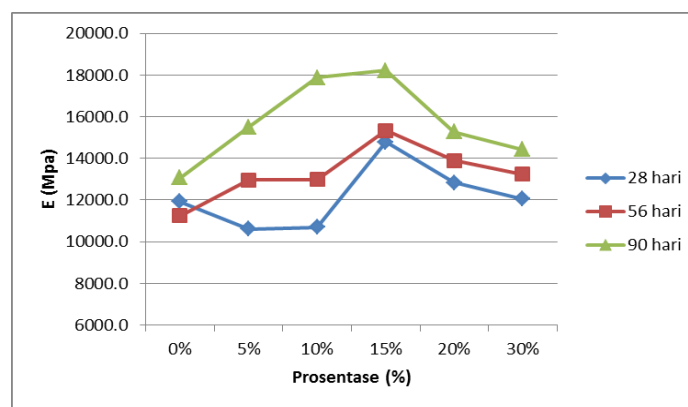
**Gambar 7.** Hubungan antara Umur Beton terhadap Nilai Modulus Elastisitas

Ketika beton berumur 28 hari, beton dengan semen pengganti *fly ash* 5%, 10%, 15%, 20%, 30% mencapai angka modulus elastisitas berturut-turut 10605,9 MPa; 10701,7 MPa; 14790,0 MPa, 12846,2 MPa dan 12052,1 MPa sedangkan modulus elastisitas beton tanpa *fly ash* sebesar 11917,5 MPa. Berikutnya pada umur 56 hari, dinyatakan bahwa modulus elastisitas dimana beton menggunakan *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 30% mencapai angka 12967,6 MPa; 12987,6 MPa; 15325,9 MPa; 13900,7 MPa dan 13237 MPa sedangkan modulus elastisitas beton tanpa menggunakan *fly ash* mencapai 11247,0 MPa. Sementara pada saat umur 90 hari, modulus elastisitas beton dengan *fly ash* 5%, 10%, 15%, 20%, 30% telah mencapai nilai daya tekan sebesar 15515,1 MPa; 17876,5 MPa;

## Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Portland Untuk Mengurangi Emisi Karbon

18213,5 MPa; 15266,1 MPa dan 14426,7 MPa sedangkan modulus elastisitas beton tanpa menggunakan *fly ash* sebesar 13079,4 MPa.

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 8, dapat dilihat beton berumur 28 hari dengan penggunaan *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, 30% nilai modulus elastisitas yang dicapai yaitu 96,72%, 97,59%, 134,88%, 117,15% dan 109,91% dari beton tanpa menggunakan *fly ash*. Terlihat jika modulus elastisitas beton, akan relatif menurun pada penggunaan 5% dan 10% dan kembali meningkat sampai pada penggunaan 15%. Namun demikian, persentase 30% *fly ash* tetap menghasilkan nilai peningkatan pada modulus elastisitas beton tanpa *fly ash*.



**Gambar 8.** Modulus Elastisitas Beton Untuk Berbagai Persentase *Fly Ash*

Selanjutnya, ketika umur beton 56 hari dengan modulus elastisitas menggunakan *fly ash* 5%, 10%, 15%, 20%, 30% diperoleh hasil berturut-turut yaitu 118,26%, 118,44%, 139,76%, 126,77%, dan 120,71% dari beton tidak menggunakan *fly ash*. Nilai modulus elastisitas dengan penggunaan *fly ash* meningkat sampai persentase 15% dan selanjutnya mengalami penurunan. Namun, penggunaan 30% *fly ash* tetap menunjukkan nilai modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan jenis beton tanpa *fly ash*.

Ketika berada di umur 90 hari, persentase modulus elastisitas beton menggunakan *fly ash* 5%, 10%, 15%, 20%, 30% memiliki nilai kuat tekan 141,49%, 163,02%, 166,10%, 139,22%, dan 131,56%, dari beton tanpa *fly ash*. Terlihat bahwa nilai modulus elastisitas beton dengan *fly ash* mengalami peningkatan dengan bertambahnya *fly ash* dengan persentase 15% sedangkan modulus elastisitas mengalami penurunan. Namun penggunaan 30% *fly ash* masih menunjukkan hasil modulus elastisitas lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*.

### 3.4 Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Hubungan antara kuat tekan terhadap nilai modulus elastisitas ditentukan dengan menggunakan persamaan regresi  $E = a\sqrt{f_c}$ , dengan  $a$  adalah konstanta.

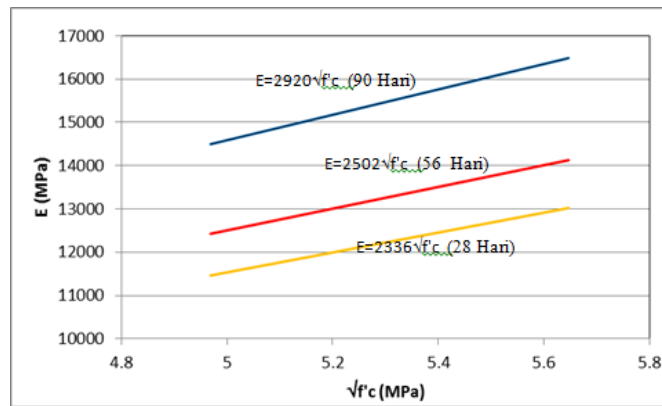
Hasil regresi untuk masing-masing umur uji adalah sebagai berikut :

$$\text{Umur 28 hari : } E = 2336\sqrt{f_c}$$

$$\text{Umur 56 hari : } E = 2502\sqrt{f_c}$$

$$\text{Umur 90 hari : } E = 2920\sqrt{f_c}$$

Perhitungan selengkapnya diberikan pada Gambar 9. Terlihat dari Gambar 9 bahwa konstanta  $a$  pada persamaan hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan terjadi peningkatan sesuai dengan bertambahnya umur. Hal tersebut berhubungan dengan perkembangan reaksi pada bahan perekat.



**Gambar 9.** Hubungan antara Modulus Elastisitas dan Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil uji *slump* secara umum terlihat jelas pada Tabel 4 dimana semakin tinggi persentase *fly ash* sebagai pengganti semen Portland akan semakin tinggi pula perolehan nilai *slump*. Artinya semakin tinggi persentase *fly ash* pengganti semen maka semakin tinggi pula kerja campurannya (Salain dkk., 2011). Faktanya, butiran *fly ash* berbentuk bulat dan memiliki permukaan yang halus.

Persentase *fly ash* dengan kuat tekan beton paling besar adalah 15% ketika beton berumur 28 hari bernilai 29 MPa, di umur 56 hari mencapai 30 MPa, sedangkan persentase 10% terjadi pada umur 90 hari sebanyak 32 MPa. Penggunaan selanjutnya dimana nilai modulus elastisitas terbesar dimiliki persentase *fly ash* 15% ketika umur beton 28 hari yaitu 14790 MPa, umur 56 hari dengan nilai 15326 MPa dan umur 90 hari 18214 MPa.

#### 4. PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian adalah :

1. Beton dengan komposisi *fly ash* hasil pembakaran *Asphalt Mixing Plan* (AMP) dapat menurunkan emisi karbon sebesar 20-30%
2. Penggunaan optimum *fly ash* pada campuran beton umur 28 hari mampu menurunkan emisi karbon sebesar 15%. Untuk umur 56 hari mampu menurunkan emisi karbon sebesar 5% dan umur 90 hari mampu menurunkan

Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Portland Untuk Mengurangi Emisi Karbon

emisi karbon sebesar 15-30 %.

Berdasarkan kesimpulan akhir dari penelitian, maka perlu adanya penelitian lanjutan yaitu:

1. Perlu pengerjaan proses uji beton dengan komposisi pemakaian abu terbang dengan komposisi yang lebih besar.
2. Perlu penambahan waktu waktu uji untuk melihat nilai penurunan emisi karbon pada beton selain perbedaan umur dalam jangka waktu panjang.
3. Proses pencampuran bahan perlu dilakukan secara menyeluruh dan sistematis.

### DAFTAR PUSTAKA

- Chatham, House. 2018. *Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete*. Cambridge: Latimer Trend.
- Fausett, L. 1994. *Fundamentals of Neural Networks: Achitectures, Algorithms, and Applications*. New Jersey: Prentice Hall.
- Intara, I. W., Salain, I.M.A.K., dan Wiryasa, N.M.A. 2013. Penggunaan Serbuk Batu Tabas Sebagai Pengganti Sebagian Semen Dalam Pembuatan Beton. *Jurnal Spektran*, 1(1).
- Lastini, N. L. G. 2004. Pengaruh Penggunaan Kombinasi Bahan Tambah Abu Terbang (*Fly Ash*) dan *Plasticizer* Terhadap Kuat Tekan serta Kuat Tarik Beton. *Skripsi*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana. Denpasar
- Mardiono. 2011. Pengaruh Pemanfaatan Abu Terbang (*Fly Ash*) Dalam Beton Mutu Tinggi. *Skripsi*. Universitas Guna Dharma. Jakarta.
- McCormac, J. C. 2000. *Desain Beton Bertulang, Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Murdock, L. J., Brooks, K. M. 1991. *Bahan Dan Praktek Beton, Edisi Keempat (Terjemahan Stepanus Hindarto)*. Jakarta: Erlangga.
- Nugraha, P., Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Purnawirati, I.G.A.N., Salain I. M. A. K., dan Putra. 2016. Properti Mekanik Beton Ringan Dengan Menggunakan Agregat Batu Apung Serta Abu Terbang Sebagai Pengganti Sebagian Semen Portland Dan Superplasticizer. *Jurnal Spektran*, 4(2): 27 - 35.
- Salain, I.M.A.K., Giri, I.B.D., dan Saraswati, M.A.A. 2011. Pemanfaatan Abu Terbang Dalam Jumlah Besar Pada Pembuatan Beton. *Prosiding Seminar Nasional AvoER ke 3*. Palembang 26-27 Oktober.
- Subakti, A. 1994. *Teknologi Beton dalam Praktek*. Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. ITS Surabaya.

Ketut Agus Karmadi dan Ni Luh Widyasari

Supartono, F.X. 2005. Blended Cement for High Performance Concrete. *Seminar Nasional Rekayasa Material dan Konstruksi Beton*. Jakarta.