

## PEMANFAATAN ABU TERBANG (*FLY ASH*) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA BETON MUTU NORMAL

**Ilham Jaya Kusuma**

Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru  
28293, email: [ilham.dastos06@yahoo.com](mailto:ilham.dastos06@yahoo.com)

**Alex Kurniawandy**

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293,  
email: [alexkurniawandy@gmail.com](mailto:alexkurniawandy@gmail.com)

**Zulfikar Djauhari**

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru 28293,  
email: [zulfikar@unri.ac.id](mailto:zulfikar@unri.ac.id)

### ABSTRACT

This study aims to determine the optimum levels of fly ash to cement that can be used in normal quality concrete ( $f'c$  10,  $f'c$  17.5,  $f'c$  25) and study the effect of fly ash on compressive strength test, absorption, porosity, and shrinkage of concrete. Percentage of fly ash used each with a variation of 0%, 10%, 20%, and 30% by weight of cement. The results showed that the use of fly ash on compressive strength testing of concrete quality on all three types of plans tend to decrease the compressive strength of concrete. Decrease in compressive strength increases with the addition of fly ash in the concrete mix. Based on test results obtained composition compressive strength concrete mix with the optimum use of fly ash is 30% on each of the quality of concrete plans. The use of fly ash in concrete mixtures tend to increase absorption, porosity, and shrinkage of concrete.

Keywords: concrete, *fly ash*, compressive strength, absorption, porosity, shrinkage.

### 1. PENDAHULUAN

Abu terbang (*Fly ash*) merupakan material yang di hasilkan dari proses pembakaran batubara pada alat pembangkit listrik, sehingga semua sifat-sifatnya juga ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral-mineral pengotor dalam batubara serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran batubara ini titik leleh abu batu bara lebih tinggi dari temperatur pembakarannya. Dan kondisi ini menghasilkan abu yang memiliki tekstur butiran yang sangat halus. Abu terbang batubara terdiri dari butiran halus yang umumnya berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batubara bituminous lebih kecil dari 0,075mm. Ukuran butiran abu terbang sangat halus, berkisar sampai 88% (Sri Prabandiyani, 2008).

*Fly Ash* atau abu terbang yang merupakan sisa-sisa pembakaran batu bara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap. Mengingat limbah tersebut meningkat setiap tahunnya, maka perlu penanggulangannya. Limbah abu terbang dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang cukup membahayakan terutama polusi udara terhadap kehidupannya sekitarnya. Penambahan abu terbang (*fly ash*) pada campuran beton bersifat *pozzolan*, sehingga bisa menjadi *additive* mineral yang baik untuk beton. *Pozzolan* adalah bahan yang mengandung silika dan alumunium yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada temperatur biasa membentuk senyawa bersifat *cementitious* (bersifat mengikat). Oleh sebab itu, diupayakan agar abu terbang (*fly ash*) dapat menjadi bahan yang berguna, antara lain pemanfaatan abu terbang (*fly ash*) salah satunya sebagai bahan substitusi semen terhadap campuran beton. Kualitas beton

tergantung pada bahan-bahan penyusunnya dan kualitas campurannya. Peningkatan mutu beton dapat dilakukan dengan memberikan bahan ganti atau bahan tambah .

Tujuan penelitian ini memanfaatkan limbah abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari Dumai sebagai bahan substitusi dari semen pada pembuatan beton bermutu normal. Usaha penelitian ini untuk mendapatkan hasil dari penggunaan abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari Dumai sebagai bahan substitusi semen pada beton mutu normal.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Pemeriksaan Karakteristik Material

Agregat terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar berasal dari Tanjung Balai Karimun. Agregat halus berasal dari Danau Binkuang Kabupaten Kampar, abu terbang (*fly ash*) berasal dari Dumai. Pengujian material dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Pengujian material

Pengujian Agregat	Standar
Analisa saringan	SNI 03-1968
Berat jenis	SNI 03-1969 dan SNI 03-1970
Kadar air	SNI 03-1971
Berat volume	SNI 03-4804
Keausan agregat	SNI 03-2417
Kadar lumpur	ASTM C-142
Kandungan organik	ASTM C-40

Pengujian komposisi kimia abu terbang yang berasal dari Dumai yang dilakukan di laboratorium PT. Sucifindo Cibitung dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Komposisi kimia

Senyawa kimia	Persentase kadar (%)
<i>SiO<sub>2</sub></i>	53,49
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	18,29
<i>Fe</i>	11,87
<i>CaO</i>	4,08
<i>Mg</i>	1,37

Sumber: Laboratorium PT. Sucifindo Cibitung

Persyaratan fisika abu terbang menurut SK-SNI 03-2460-1991 disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Komposisi fisika

Sifat fisika	Data
Berat jenis	1,99-2,40 gr/cm <sup>3</sup>
Kehalusan butiran	163,25-227,19 m <sup>2</sup> /kg

### 2.2. Perencanaan Campuran Beton

Desain campuran (*mix design*) beton dengan menggunakan metode ACI 211, 1-91 dengan mutu beton rencana  $f'c$  10,  $f'c$  17.5, disajikan pada Tabel 4,5 dan 6 berikut.

Tabel 4. Komposisi campuran beton f'c 10 per m<sup>3</sup>

% Abu terbang	Semen (kg)	Bt. pecah (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Abu terbang(kg)
0	287,52	971,09	785,35	178,55	0
10	257,77	971,09	785,35	178,55	28,75
20	201,26	971,09	785,35	178,55	57,50
30	115,01	971,09	785,35	178,55	86,26

Tabel 5. Komposisi campuran beton f'c 17.5 per m<sup>3</sup>

% Abu terbang	Semen (kg)	Bt. pecah (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Abu terbang(kg)
0	358,25	971,09	728,39	180,10	0
10	322,43	971,09	728,39	180,10	35,83
20	250,78	971,09	728,39	180,10	71,65
30	143,30	971,09	728,39	180,10	107,48

Tabel 6. Komposisi campuran beton f'c 25 per m<sup>3</sup>

% Abu terbang	Semen (kg)	Bt. pecah (kg)	Pasir (kg)	Air (kg)	Abu terbang(kg)
0	442,50	971,09	660,55	181,94	0
10	398,25	971,09	660,55	181,94	44,25
20	309,75	971,09	660,55	181,94	88,50
30	177,00	971,09	660,55	181,94	132,75

### 2.3. Pengujian Sifat Mekanis Beton

Untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik beton, dilakukan pengujian terhadap sampel beton yang telah mengeras tersebut. Pada pengujian, benda uji dikeluarkan minimal 2 jam sebelum diuji. Pengujian ini berupa pengujian slump beton, kuat tekan, porositas, absorpsi, dan susut beton.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan saat benda uji berumur 7 hari, 28 hari, dan 90 hari dengan mutu beton yaitu f'c 10, f'c 17.5, dan f'c 25 dengan menggunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan substitusi pasir dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pada umur beton 7 hari akan dilakukan analisa awal seluruh variasi setelah didapatkan variasi substitusi semen yang optimum maka variasi tersebut yang akan dilanjutkan untuk pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dan 90 hari.

Pengujian absorpsi, porositas, dan susut dilakukan pada benda uji dengan variasi abu terbang (*fly ash*) yang optimum. Pengujian absorpsi dan porositas dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, sedangkan untuk pengujian susut dilakukan pada saat beton berumur 7 hari yang berlangsung hingga 30 hari waktu pengujian.

### 2.4. Benda Uji

Sampel dengan dua bentuk benda uji. Benda uji berbentuk kubus sebanyak 93 sampel yang digunakan untuk pengujian kuat tekan, absorpsi dan porositas. Benda uji berbentuk silinder sebanyak 3 sampel digunakan untuk pengujian susut beton. Variasi campuran sebanyak 4 (empat) variasi sesuai dengan kadar abu terbang yang diberikan, yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%.

Pencetakan beton dilakukan menggunakan cetakan kubus dan silinder setelah diuji *workability*-nya. Cetakan dibuka setelah 24 jam dan dilakukan proses perawatan (*curing*). Perawatan beton dilakukan dengan cara direndam dalam air pada suhu  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  sampai dilakukan pengujian kuat tekan pada umur 7, 28, dan 90 hari. Perawatan ini dilakukan untuk menjaga beton agar terjaga kelembabanya dan agar proses hidrasi pada beton terjaga dengan baik.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang dapat dibahas meliputi hasil pengujian karakteristik material, hasil pengujian slump beton, kuat tekan beton, absorpsi dan porositas beton, dan susut beton..

#### 3.1. Hasil Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material menghasilkan data-data yang digunakan dalam perencanaan campuran (*mix design*) beton. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 7 berikut

Tabel 7. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi Agregat kasar
Berat Jenis ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )		
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,65	2,58-2,84
b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,54	2,58-2,85
c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,58	2,58-2,86
d. <i>Absorption (%)</i>	1,65	2-7
Kadar air (%)	1,86	3 – 5
Modulus kehalusan	6,36	5 – 7,1
Keausan (%)	38,45	< 40
Berat Volume		
a. Kondisi padat	1,57	1,4 – 1,9
b. Kondisi gembur	1,44	1,4 – 1,9

Tabel 8. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi Agregat halus
Kadar Lumpur (%)	3,25	< 5
Berat Jenis ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )		
a. <i>Apparent specific gravity</i>	2,75	2,58-2,84
b. <i>Bulk specific gravity on dry</i>	2,52	2,58-2,85
c. <i>Bulk specific gravity on SSD</i>	2,61	2,58-2,86
d. <i>Absorption (%)</i>	3,22	2 - 7
Kadar air (%)	5,86	3 - 5
Modulus kehalusan	3,15	1,5 – 3,8

Tabel 8 (lanjutan)

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Standar Spesifikasi Agregat halus
Berat Volume		
a. Kondisi padat	1,73	1,4 – 1,9
b. Kondisi gembur	1,51	1,4 – 1,9

Berdasarkan hasil pemeriksaan abu terbang (*fly ash*) yang dilakukan sebanyak dua kali pengujian, maka berat jenis abu terbang yang berasal dari Dumai sebesar 2,19 gr/cm<sup>3</sup>. Menurut penelitian Clarke (Rachmadano, 2004), berat jenis *fly ash* berkisar antara 1,90 gr/cm<sup>3</sup> sampai dengan 2,72 gr/cm<sup>3</sup>

### 3.2. Hasil Pengujian Slump Beton

Hasil pengujian slump untuk masing-masing persentase penggunaan abu terbang untuk mutu beton f'c 10, f;c 17.5 dan f'c 25 disajikan pada Tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Hasil pengujian slump

Mutu Beton	Variasi Abu Terbang (%)	Fas Awal	+ Air (M <sup>3</sup> )	Fas Real	Nilai Slump
F'c 10	0	0,621	0,000	0,621	14
	10	0,621	6,255	0,643	11
	20	0,621	12,346	0,664	9,5
	30	0,621	16,461	0,678	9,5
F'c 17.5	0	0,503	0,000	0,503	12
	10	0,503	8,230	0,526	10,5
	20	0,503	16,461	0,549	10
	30	0,503	16,461	0,549	7,5
F'c 25	0	0,411	0,000	0,411	11,5
	10	0,411	0,000	0,411	9,5
	20	0,411	26,749	0,472	8
	30	0,411	32,922	0,486	8,5

Tabel 9 mengindikasikan bahwa semakin banyak penggunaan abu terbang (*fly ash*) pada campuran beton akan semakin meningkatkan penambahan atau kebutuhan air untuk campuran beton tersebut.

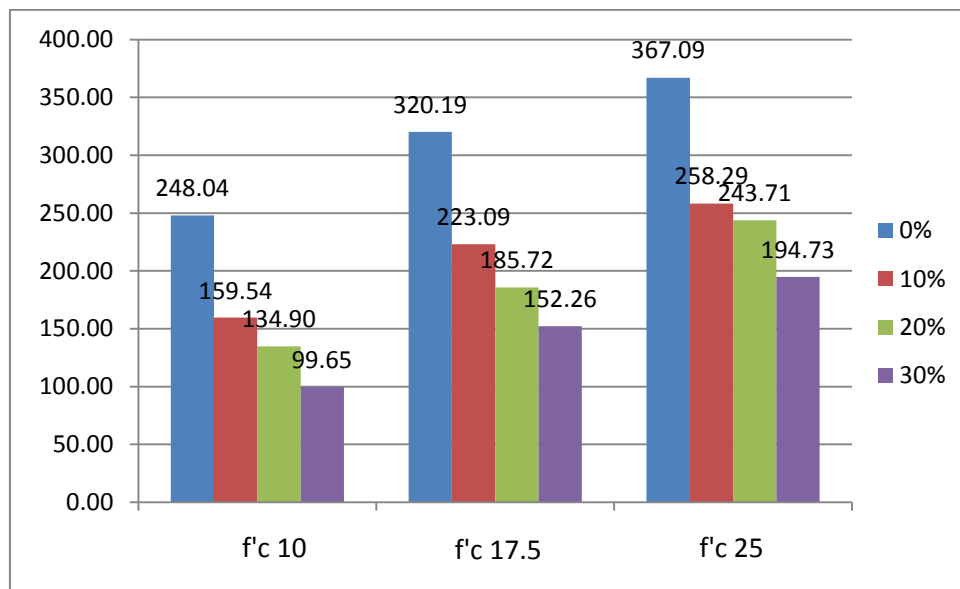
### 3.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada umur beton 7 hari akan dilakukan analisa awal seluruh variasi setelah didapatkan variasi substitusi semen yang optimum maka variasi tersebut yang akan dilanjutkan untuk pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dan 90 hari.

Tabel 10. Kuat tekan beton umur 7 hari

Mutu Beton	Nilai Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )			
	FA 0%	FA 10%	FA 20%	FA 30%
F'c 10	244.73	158.62	135.96	97.44
	251.53	160.89	133.70	101.97
	258.00	166.41	139.96	101.03
	237.90	152.25	129.96	98.15
F'c 17.5	312.71	222.07	194.88	142.76
	328.58	224.34	176.75	163.16
	336.07	219.35	188.03	156.07
	303.42	226.60	183.21	147.07
F'c 25	346.70	301.38	233.40	190.35
	389.76	217.54	253.80	199.41
	383.38	287.61	239.29	200.33
	348.53	226.60	248.36	188.84

Hubungan nilai kuat tekan beton terhadap mutu beton f'c 10, f'c 17.5, dan f'c 25 disajikan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik kuat tekan umur beton 7 hari

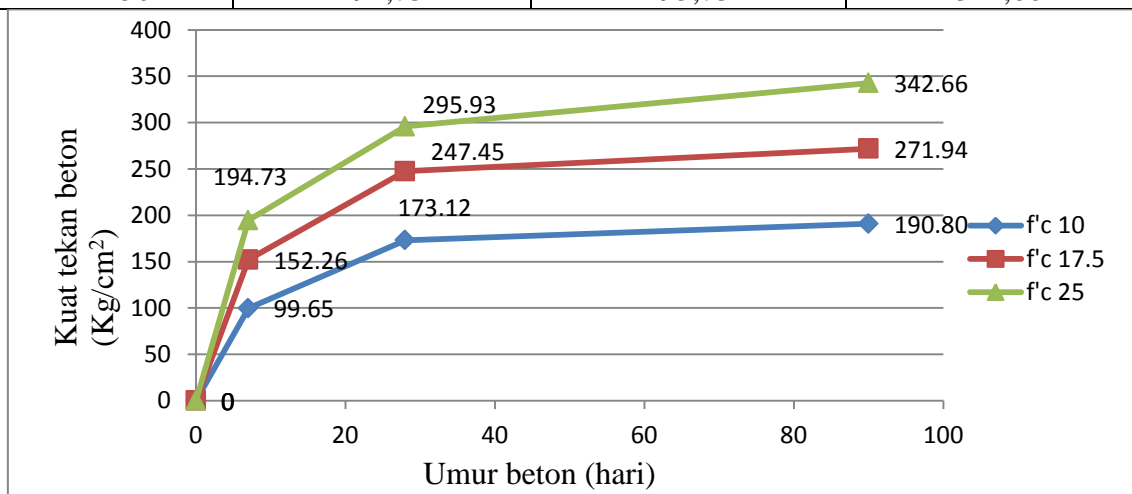
Hasil uji kuat tekan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* yang terlihat pada Gambar 1 menunjukkan bahwa, penambahan abu terbang pada campuran beton cenderung menurunkan nilai kuat tekan beton tersebut. Penurunan nilai kuat tekan beton terjadi pada semua variasi campuran dengan abu terbang dibandingkan dengan

variasi kontrolnya. Setelah dianalisa pada mutu beton rencana  $f'c$  10 persentase penurunan nilai kuat tekan pada umur 7 hari yaitu berturut-turut sebesar 35,68%, 45,61%, dan 59,82%, kemudian pada mutu beton rencana  $f'c$  17.5 penurunan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 30,32%, 32,02%, dan 52,45%, dan pada mutu beton rencana  $f'c$  25 penurunan nilai kuat tekan berturut-turut sebesar 29,64%, 36,07%, dan 46,95%. Penurunan nilai kuat tekan beton terjadi pada semua variasi campuran dengan abu terbang dibandingkan dengan variasi kontrolnya. Campuran dengan variasi abu terbang 30% merupakan campuran dengan penurunan yang paling maksimum dari ketiga jenis mutu beton yaitu berkisar antara 46-60% dari variasi kontrol 0%. Dapat dilihat bahwa penggunaan *fly ash* dengan variasi 30% pada campuran tersebut tidak lagi sebagai *pozzolan* yang dapat membentuk senyawa yang bersifat mengikat akan tetapi fungsinya menjadi agregat halus dalam campuran beton, akibat pemakaian *fly ash* yang berlebihan menyebabkan limbah *fly ash* tidak habis bereaksi dengan air dalam campuran beton. Sisa limbah *fly ash* yang tidak habis ini merupakan bahan kapur tohor (CaO) yang tidak aktif dari limbah *fly ash*. Semakin tinggi kemurnian kapur semakin besar reaksinya terhadap air (Mulyono, 2003). CaO yang tidak aktif menimbulkan rongga udara pada beton yang berasal dari penguapan air. Semakin banyak CaO yang tidak aktif terjebak, semakin besar volume rongga udara yang dihasilkan. Semakin besar volume rongga udara dalam beton menyebabkan kepadatan beton menjadi berkurang dan akibat akhirnya adalah kekuatan beton menurun.. Penggunaan abu terbang dengan variasi 30% tersebut mengakibatkan kelebihan kadar SiO<sub>2</sub> tidak dapat bereaksi lagi dengan kapur sehingga kuat tekan beton menurun karena tidak terbentuknya kapur hidrolis, kandungan zat organik yang tinggi dapat menyebabkan tidak sempurnanya proses hidrasi beton.

Selanjutnya pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari dan 90 hari hanya dilakukan pada variasi 30% yang dapat dilihat pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Kuat tekan beton variasi abu terbang 30%

Mutu beton rencana	Kuat tekan rerata (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Umur 7 hari	Umur 28 hari	Umur 90 hari
K-100	99,65	173,12	190,80
K-175	152,26	247,45	271,94
K-250	194,73	295,73	342,66



Gambar 2 Hubungan nilai kuat tekan terhadap umur beton

Hasil uji setelah umur beton 28 hari maka kuat tekan beton dengan menggunakan abu terbang menunjukkan peningkatan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan beton saat umur 7 hari. Hal ini disebabkan reaksi antara senyawa kalsium hidroksida ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang merupakan proses hidrasi dengan senyawa *silica* yang ada pada abu terbang berlangsung lambat (Ryan, 1992), sehingga terbentuknya *calcium silikat hidrat*, CSH lebih lama (lebih dari 28 hari ). Selanjutnya senyawa CSH inilah yang memberikan kekuatan tambahan pada beton.. Demikian juga pada beton umur 90 hari, kekuatan terus meningkat dan yang tertinggi pada umur beton 90 hari. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses hidrasi pada beton masih berjalan. Kenaikan kekuatan tersebut merupakan akibat dari kombinasi antara proses hidrasi semen dan reaksi *pozzolan* yang terkandung dalam abu terbang.

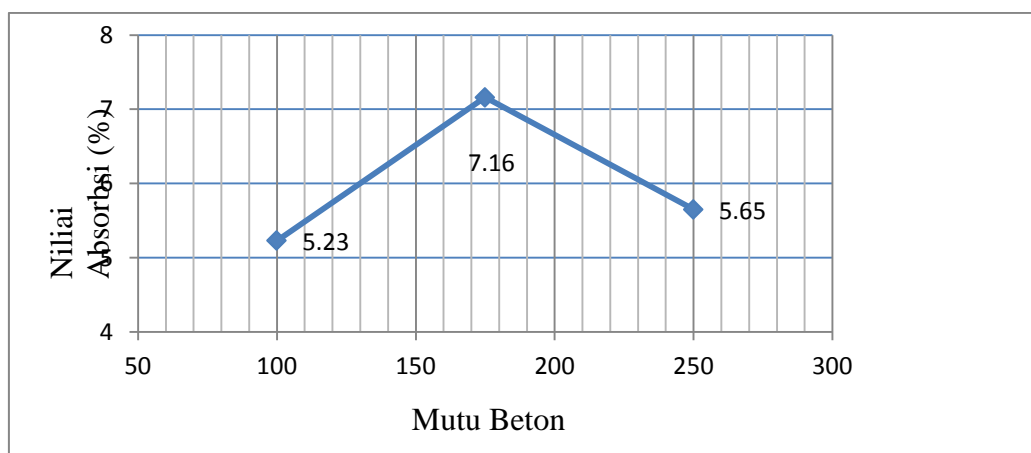
### 3.4. Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi dilakukan pada benda uji dengan campuran abu terbang optimal (30%) saat berumur 28 hari.

Tabel 12. Absorpsi

Mutu beton rencana	Absorpsi rerata (%)
F'c 10	5,23
F'c 17.5	7,16
F'c 25	5,65

Maka didapatkan grafik hubungan mutu beton terhadap nilai absorpsi beton disajikan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Absorpsi

Gambar 3 memperlihatkan bahwa Absorpsi terbesar terjadi pada kuat tekan f'c 17,5 hal ini disebabkan oleh masih adanya rongga udara pada campuran tersebut. Rongga udara terjadi karena tidak tercapainya kepadatan maksimum dan adanya senyawa *pozzolan* dari abu terbang yang tidak bereaksi dengan kapur mati hasil hidrasi semen. Sedangkan pada mutu beton f'c 10 dan f'c 25 terjadi kepadatan dan berkurangnya rongga udara pada beton yang disebabkan oleh sempurnanya reaksi senyawa *pozzolan* pada campuran. Fenomena ini terjadi karena tidak seragamnya



ukuran butiran fly ash sehingga ada sejumlah butiran yang tidak bereaksi pada campuran.

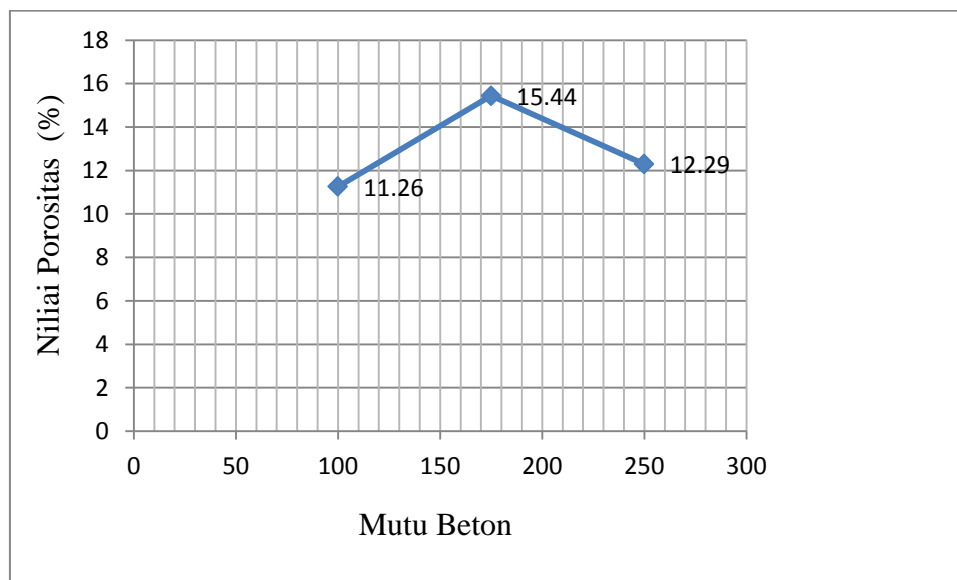
### 3.5. Hasil Pengujian Porositas Beton

Pengujian porositas dilakukan pada benda uji dengan campuran abu terbang optimal (30%) saat berumur 28 hari.

Tabel 13. Porositas

Mutu beton rencana	Porositas rerata (%)
F'c 10	11.26
F'c 17.5	15,44
F'c 25	12,29

Maka didapatkan grafik hubungan mutu beton terhadap nilai absorpsi beton disajikan pada Gambar 4 dibawah ini.



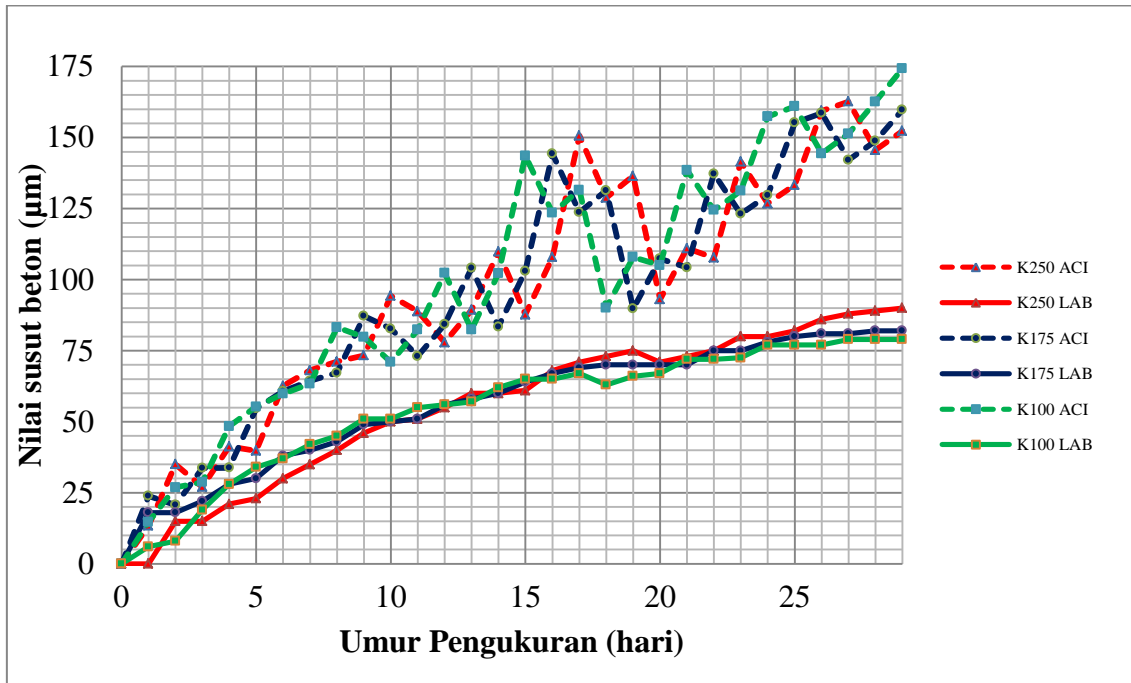
Gambar 4 mengindikasikan bahwa tingkat porositas tertinggi terjadi pada mutu beton f'c 17.5, hal ini sangat berkaitan dengan pengujian absorpsi beton, hal ini disebabkan karena pada mutu beton f'c 17.5 ini reaksi pozzolan semen dan abu terbang kurang dominan, yang menyebabkan kurangnya reaksi pengikat terhadap agregat. Proses pengikatan ini sangat berpengaruh karena semakin kuat proses pengikatan maka semakin kecil pori-pori pada beton

### 3.6. Hasil Pengujian Susut Beton

Perhitungan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yang tercantum dalam ACI 209 yaitu kelembaban relatif lingkungan, nilai slump beton, persentase penggunaan agregat halus, jumlah kandungan semen, dan persen udara terperangkap. Detail perhitungan prediksi susut menurut ACI 209 dapat dilihat pada Lampiran 2-D. Hasil perhitungan menunjukkan total susut tertinggi terjadi pada beton f'c 10 yaitu sebesar 174,31  $\mu\text{m}$  diikuti dengan beton f'c 17.5 sebesar 159,75  $\mu\text{m}$  dan f'c 25 sebesar 152,34  $\mu\text{m}$ .

Tabel 13. Total susut beton selama 30 hari pengukuran

Mutu beton rencana	Laboratorium	Teoritik
F'c 10	60	174,31
F'c 17.5	76	159,75
F'c 25	64	152,34



Hasil pengukuran susut laboratorium menunjukkan bahwa total susut tertinggi terjadi pada beton f'c 17.5 yaitu sebesar 76 µm diikuti dengan beton f;c 25 sebesar 64 µm dan f'c 10 sebesar 60 µm. Hubungan antara kenaikan nilai susut beton dan waktu pengukuran dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 4.8. Gambar ini menunjukkan bahwa nilai susut beton terjadi peningkatan sebanding dengan waktu pengukuran.

Berdasarkan Gambar 4.8 juga dapat dilihat bahwa total susut beton cenderung meningkat sebanding dengan meningkatnya nilai mutu beton. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya beton dengan mutu yang lebih tinggi mempunyai kandungan semen yang tinggi pula sehingga pasta semen akan meningkat dan pasta inilah yang merupakan faktor penyebab terjadinya susut beton.

#### 4. DAN SARAN

##### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan terhadap beton dengan penggunaan limbah abu terbang (*Fly Ash*) sebagai substitusi semen, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan abu terbang pada campuran beton cenderung menurunkan nilai kuat tekan beton tersebut.
2. Penurunan nilai kuat tekan pada mutu beton rencana berturut-turut sebesar f'c 10 persentase penurunan nilai kuat tekan sebesar 35,68%, 45,61%, dan 59,82%, kemudian pada mutu beton rencana f'c 17.5 sebesar 30,32%, 32,02%, dan 52,45%, dan pada mutu beton rencana f'c 25 sebesar 29,64%, 36,07%, dan 46,95%.

3. Campuran dengan variasi abu terbang 30% merupakan campuran dengan penurunan yang paling maksimum dari ketiga jenis mutu beton yaitu berkisar antara 46-60% dari variasi kontrol 0%.
4. Nilai absorpsi tertinggi terjadi pada beton f'c 17.5 yaitu sebesar 7,16% diikuti dengan beton f'c 25 sebesar 5,65% dan f'c 10 sebesar 5,23%.
5. Nilai porositas tertinggi terjadi pada beton f'c 17.5 yaitu sebesar 15,44% diikuti dengan beton f'c 25 sebesar 12,29% dan f'c 10 sebesar 11,26%.
6. Kekuatan beton akan berkurang dengan substitusi abu terbang yang berlebihan yang menyebabkan limbah abu terbang tidak bereaksi dengan kapur mati hasil hidrasi semen.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang telah membantu selama penelitian terutama kepada:

- a. Direktorat jendral pendidikan tinggi dan lembaga pendidikan Universitas Riau melalui skema penelitian unggulan perguruan tinggi.
- b. Teman-teman senasib seperjuangan sesama mahasiswa Teknik Sipil Universitas Riau.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.** 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI 1982)*. Bandung: Pusat Penelitian Dan Pengembangan Pemukiman.
- Antono, A.** 1995. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- ASTM.**1983. *Annual Book of ASTM Standars: Part 14, Concrete and Mineral Aggregates*. Philadelphia.
- Mulyono, T.** 2003. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Nugraha, P, dan Antoni.** 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Saputra, AAI.** 2011. *Perilaku fisik dan mekanik Self compacting concrete (scc) dengan Pemanfaatan Abu Vulkanik Sebagai Bahan Tambahan Pengganti Semen*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil. Surabaya: ITS.
- Tjokrodimuljo, K.** 1992. *Teknologi Beton*.Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM.
- SK-SNI-T-15-1990-03.** 1990. *Tata Cara Rencana Pembuatan Campuran Beton Normal*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-0691-1996.** 1996. *Bata Beton (Paving Block)*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1968-1990.** 1990. *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1969-1990.** 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1970-1990.** 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-1971-1990.** 1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4142-1996.** 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 Mm)*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-4804-1998.** 1998. *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. Bandung: Badan Standardisasi Nasional.

- SNI 03-6825-2002.** 2002. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil.* Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2002.** 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.* Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-2049-2004.** 2004. *Semen Portland.* Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 15-7064-2004.** 2004. *Semen Portland Komposit.* Bandung: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1743-2008.** 2008. *Cara Uji Kepadatan Berat untuk Tanah.* Bandung: Badan Standardisasi Nasional.