

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Umum**

Penelitian ini merupakan studi eksperimen penelitian *papercrete* yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Universitas Islam Indonesia Yogyakarta dan di Laboratorium Penelitian Antar Universitas (PAU) bagian Perpindahan Panas dan Massa, Universitas Gajah Mada. Untuk memperjelas penyajian hasil penelitian, berikut ini akan diuraikan ringkasan hasil data mulai dari pengujian bahan hingga pengujian sampel. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh bahan pengganti sebagian semen dengan menggunakan *fly ash* yang berasal dari PLTU Paiton terhadap kuat desak, besarnya konduktivitas termal, serta uji dinding tahan terhadap api. Adapun hasil dari pengujian yang telah dilakukan kemudian dibandingkan dengan penelitian milik Fadiel Imam Nugroho yang dalam penelitian ini dianggap sebagai *papercrete* normal tanpa penambahan *fly ash*. Berikutnya hasil penelitian ini kami lampirkan dalam bentuk tabel dan grafik pada sub-sub bab berikut ini.

#### **5.2 Uji Material Bahan Campuran *Papercrete***

Uji material dimaksudkan untuk mengetahui data-data bahan yang mengindikasikan kelayakan bahan sebagai bahan campuran. Data bahan tersebut meliputi modulus halus butir, berat jenis, kandungan lumpur, dan berat isi agregat. Data-data yang didapat nantinya akan dipergunakan sebagai acuan perhitungan campuran beton.

##### **5.2.1 Pemeriksaan Modulus Halus Butir**

Hasil pemeriksaan Modulus halus butir/analisa saringan agregat halus berdasarkan metode pengujian SNI 03-1968-1990 ditunjukkan pada Tabel 5.1 sebagai berikut:

Tabel 5.1 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus

No saringan	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
3/8	10	0	0	0	100
4	4,8	28	1,12	1,12	98,88
8	2,4	250	10	11,12	88,88
16	1,2	366	14,64	25,76	74,24
30	0,6	675	27	52,76	47,24
50	0,3	631	25,24	78	22
100	0,15	397	15,88	93,88	6,12
sisa		153	6,12	100	0
jumlah		2500	100	-	-

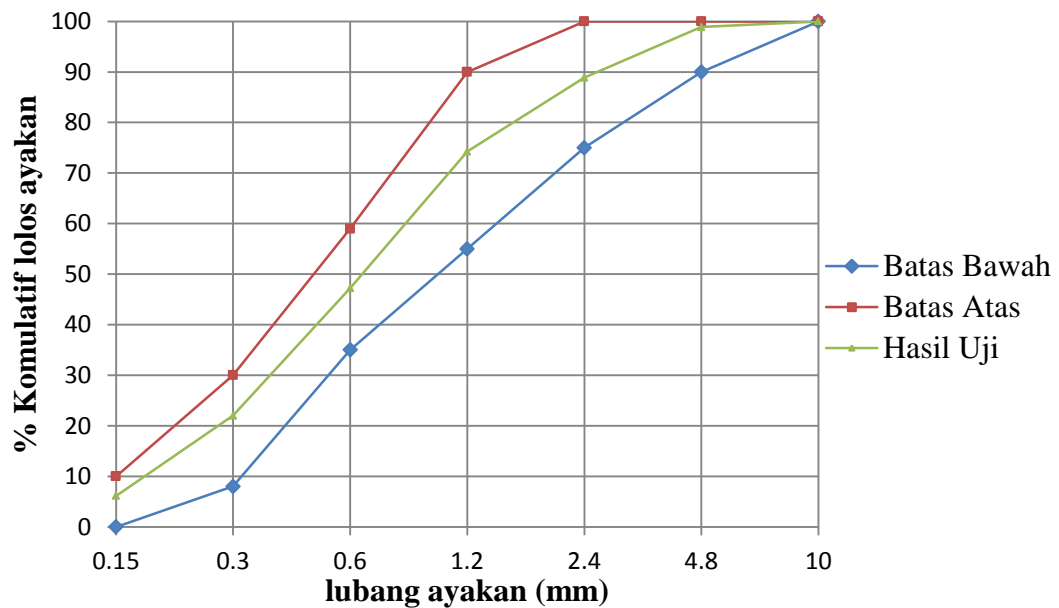
$$MHB = \frac{\Sigma \text{berat tertinggal komulatif}}{100} = \frac{262,64}{100} = 2,63$$

Tabel 5.2 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 03-1968-1990

Grafik kurva gradasi pasir alami sungai Boyong dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik Batas Gradasi Agregat Halus pada Zona 2

Pada Gambar 5.1 terlihat bahwa gradasi pasir masuk dalam golongan zona 2 yang merupakan daerah pasir agak kasar, hal tersebut menandakan bahwa pasir dari sungai Boyong ini masuk dalam kriteria perencanaan. Pasir ini memiliki modulus halus butir sebesar 2,63 yang pada umumnya MHB pasir berkisar 1,5 - 3,8. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa pasir yang digunakan sudah memenuhi standar dan dapat digunakan dalam campuran *papercrete*.

### 5.2.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Hasil uji berat jenis dan penyerapan agregat halus dengan metode pengujian SNI 03-1970-1990 ditunjukkan pada Tabel 5.3 sebagai berikut:

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Jumlah	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	474	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	<b>500</b>	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1016	gram
Berat piknometer berisi air (B)	709	gram

Lanjutan Tabel 5.3

Berat jenis curah $Bk/(B+500-Bt)$ ..... (1)	2,46	-
Berat Jenis Jenuh Kering Muka $500/(B+500-Bt)$ ..... (2)	2,59	-
Berat jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$ ..... (3)	2,84	-
Penyerapan air $(500-Bk)/ Bk \times 100\%$ .....(4)	5,48	%

Dari hasil pengujian diatas, didapatkan bahwa berat jenis kering muka (SSD) agregat halus dari sungai Boyong, Yogyakarta sebesar 2,59. Hasil ini nantinya digunakan sebagai acuan dalam perhitungan campuran *papercrete*.

### 5.2.3 Pemeriksaan Berat Isi Padat dan Gembur Agregat Halus

Berat isi padat dan gembur agregat halus berdasarkan hasil metode pengujian SNI 03-4804-1998 ditunjukkan pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 sebagai berikut:

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Jumlah	Satuan
Berat silinder (W1)	11000	gram
Berat silinder + agregat (W2)	19800	gram
Berat agregat (W3) = ( W2 – W1 )	8750	gram
Volume tabung (V) t = 30,6 cm d = 14,99 cm	5400,26	cm <sup>3</sup>
Berat volume padat =(W3/V)	1,62	gram/cm <sup>3</sup>

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Jumlah	Satuan
Berat tabung (W1)	11000	gram
Berat tabung + agregat (W2)	18700	gram
Berat agregat (W3) = ( W2 – W1 )	7680	gram
Volume tabung (V) t = 30,7 cm d = 14,98 cm	5407,94	cm <sup>3</sup>
Berat volume gembur =(W3/V)	1,42	gram/cm <sup>3</sup>

Dari hasil table pengujian diatas diperoleh berat isi padat pasir sungai Boyong sebesar  $1,62 \text{ gram/cm}^3$  sedangkan berat isi gemburnya sebesar  $1,42 \text{ gram/cm}^3$ . Selisih dari keduanya adalah  $0,2 \text{ gram/cm}^3$  yang menandakan bahwa pasir mampu mengisi rongga dengan baik meskipun tidak dipadatkan.

#### 5.2.4 Pemeriksaan Lolos Saringan Ayakan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur)

Berdasarkan metode pengujian SNI 03-4142-1996 maka uji kandungan lumpur pada pasir dapat dijabarkan dalam Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 berikut ini:

Tabel 5.6 Ketentuan Berat Minimum Benda Uji Berdasarkan Ukuran Maksimum Agregat.

Ukuran Maksimum Agregat		Berat Kering Benda Uji
Ukuran Saringan	MM	Gram
No.8	2,36	100
No.4	4,75	200
3/g	9,50	1000
3/4	19,00	2500
$\geq 1 \frac{1}{2}$	$\geq 38,10$	5000

Sumber : SNI 03-4142-1996

Tabel 5.7 Hasil Pemeriksaan Lolos Saringan Ayakan No. 200

Uraian	Jumlah	Satuan
Berat agregat kering (W1)	500	gram
Berat agregat kering setelah dicuci (W2)	497,5	gram
Berat yang lolos ayakan no.200 (W1-W2)/W1 x 100%	0,5	%

Berdasarkan hasil pemeriksaan di atas, dapat diketahui bahwa material yang lolos saringan no. 200 adalah sebesar 0,5 %. Maka pasir yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan PUBI-1982 dengan syarat yang ditentukan yaitu maksimum 5 %.

#### 5.2.5 Pemeriksaan Berat Jenis *Fly ash*

Hasil uji berat jenis *fly ash* dengan metode pengujian SNI 03-1970-1990 ditunjukkan pada Tabel 5.8 sebagai berikut:

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis *Fly ash*

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	497	496	496,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi <i>fly ash</i> dan air (Bt), gram	1001	998	999,5
Berat piknometer berisi air (B), gram	691	691	691
Berat jenis curah $Bk/(B+500-Bt)$ ..... (1)	2,616	2,57	2,593
Berat Jenis Jenuh Kering Muka $500/(B+500-Bt)$ ..... (2)	2,632	2,59	2,611
Berat jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$ ..... (3)	2,658	2,624	2,641
Penyerapan air $(500-Bk)/ Bk \times 100\%$ .....(4)	0.603%	0.81%	0.705%

Dari hasil pengujian diatas, didapatkan bahwa berat berat jenis jenuh kering muka *fly ash* rata-rata dari kedua sampel adalah adalah sebesar 2,611. Hasil berat jenis ini kemudian digunakan sebagai acuan perhitungan campuran adukan *papercrete*.

### 5.2.6 Pemeriksaan Berat Volume Kertas

Berat volume bubuk kertas berdasarkan metode pengujian yang membandingkan antara berat bubuk kertas dengan volume bubuk kertas. Tabel 5.9 sebagai berikut:

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Volume Bubur Kertas

Uraian	Jumlah	Satuan
Berat Gelas Ukur	180	gram
Berat Gelas Ukur berisi Bubur Kertas	399	gram
Berat Bubur Kertas (w)	219	gram
Volume Bubur Kertas (v)	200	ml

$$\text{Berat Volume } (\gamma) = \frac{w}{v} = \frac{219}{200} = 1,095 \text{ gr/cm}^3$$

Dari hasil pengujian diatas, didapatkan bahwa berat volume bubuk kertas adalah sebesar  $1,095 \text{ gr/cm}^3$ .

### 5.3 Desain Campuran Beton Kertas (*MIX DESIGN*)

Perhitungan desain campuran adukan beton kertas ini menggunakan metode coba-coba (*trial*) dengan memperhitungkan perbandingan berat volume pada setiap bahan campuran. Faktor air semen yang digunakan adalah 0,6 dan semen disubstitusi oleh *fly ash* sebesar 25% dari berat semen. Pada mix design tersebut, diasumsikan kertas memiliki faktor kembang sehingga pada perhitungannya dilakukan pengurangan sebesar 10% pada masing-masing kebutuhan bahan.

#### 5.3.1 Mix Design Silinder *Papercrete*

Perhitungan kebutuhan untuk benda uji adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semen} &= 3,1 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Berat Jenis Pasir} &= 2,59 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Berat Volume Bubur Kertas } (\gamma) &= 1.095 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Volume silinder} &= \frac{\pi}{4} \times \text{diameter} \times \text{tinggi} \\ &= \frac{\pi}{4} \times 15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \\ &= 5301,438 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Varian pertama yaitu dengan perbandingan 1 semen : 2 pasir : 2 kertas. Kebutuhan masing-masing bahan dapat dilihat sebagai berikut:

a. Kebutuhan semen untuk 1 silinder *papercrete* :

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{(1+2+2)} \times \text{volume silinder} \times B_j \text{ semen} \\ &= \frac{1}{5} \times 5301,438 \text{ cm}^3 \times \frac{3,1}{1000} \text{ kg/cm}^3 \\ &= 3,287 \text{ kg} \end{aligned}$$

Semen disubstitusi dengan *fly ash* sebanyak 25%, kebutuhan semen untuk 1 silinder *papercrete* menjadi :

$$\begin{aligned} &= (100\% - 25\%) \times 3,287 \text{ kg} \\ &= 2,465 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Kebutuhan *fly ash* untuk 1 silinder *papercrete* :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{25}{100} \times \text{Berat semen normal} \\
 &= \frac{25}{100} \times 3,287 \text{ kg} \\
 &= 0,822 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kebutuhan pasir untuk 1 silinder *papercrete* :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{5} \times \text{volume} \times B_j \text{ pasir} \\
 &= \frac{2}{5} \times 5301,438 \text{ cm}^3 \times \frac{2,59}{1000} \text{ kg/cm}^3 \\
 &= 5,492 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

d. Kebutuhan bubur kertas untuk 1 silinder *papercrete* :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{5} \times \text{volume} \times \gamma \text{ bubur kertas} \\
 &= \frac{2}{5} \times 5301,438 \text{ cm}^3 \times \frac{1,095}{1000} \text{ kg/cm}^3 \\
 &= 2,322 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan bahan campuran *papercrete* akibat factor pengembangan kertas adalah sebagai berikut :

$$\text{Semen} = (100\% - 10\%) \times 2,465 \text{ kg} = 2,219 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = (100\% - 10\%) \times 5,492 \text{ kg} = 4,943 \text{ kg}$$

$$\text{Bubur kertas} = (100\% - 10\%) \times 2,322 \text{ kg} = 2,090 \text{ kg}$$

$$\text{fly ash} = (100\% - 10\%) \times 0,822 \text{ kg} = 0,740 \text{ kg}$$

Kebutuhan air untuk 1 silinder *papercrete* :

$$= f_{as} \times \text{kebutuhan semen untuk 1 papercrete}$$

$$= 0,6 \times 2,219$$

$$= 1,331 \text{ liter}$$

Hasil perhitungan diatas kemudian dirangkum dalam Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Komposisi untuk *Papercrete* Silinder

No	Varian	Semen (kg)	Pasir (kg)	Bubur kertas (kg)	Fly ash (kg)	Air (liter)	Jumlah Benda Uji
1	1 : 2 : 2	2.219	4.943	2.090	0.740	1.331	5
2	1 : 2 : 3	1.849	4.119	2.612	0.616	1.109	5
3	1 : 2 : 4	1.585	3.531	2.985	0.528	0.951	5
<b>Total Benda Uji</b>							<b>15</b>



### 5.3.2 Mix Design Batako *Papercrete*

Sampel batako berikut ini digunakan untuk uji konduktivitas *papercrete* dan uji dinding tahan terhadap api. Perhitungan kebutuhan untuk benda uji adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semen} &= 3,1 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Berat Jenis Pasir} &= 2,59 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Berat Volume Bubur Kertas } (\gamma) &= 1.095 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Volume batako} &= \text{Panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \\ &= 40 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \\ &= 8000 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Varian pertama yaitu dengan perbandingan 1 semen : 2 pasir : 2 kertas. Kebutuhan masing-masing bahan dapat dilihat sebagai berikut:

a. Kebutuhan semen untuk 1 batako *papercrete* :

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{(1+2+2)} \times \text{volume silinder} \times B_j \text{ semen} \\ &= \frac{1}{5} \times 8000 \text{ cm}^3 \times \frac{3,1}{1000} \text{ kg/cm}^3 \\ &= 4,960 \text{ kg} \end{aligned}$$

Semen disubstitusi dengan *fly ash* sebanyak 25%, kebutuhan semen untuk 1 silinder *papercrete* menjadi :

$$\begin{aligned} &= (100\% - 25\%) \times 4,960 \text{ kg} \\ &= 3,720 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Kebutuhan *fly ash* untuk 1 batako *papercrete* :

$$\begin{aligned} &= \frac{25}{100} \times \text{Berat semen normal} \\ &= \frac{25}{100} \times 4,960 \text{ kg} \\ &= 1,240 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Kebutuhan pasir untuk 1 batako *papercrete* :

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{5} \times \text{volume} \times B_j \text{ pasir} \\ &= \frac{2}{5} \times 8000 \text{ cm}^3 \times \frac{2,59}{1000} \text{ kg/cm}^3 \\ &= 8,288 \text{ kg} \end{aligned}$$

d. Kebutuhan bubur kertas untuk 1 batako *papercrete* :

$$= \frac{2}{5} \times \text{volume} \times \gamma \text{ bubur kertas}$$

$$= \frac{2}{5} \times 8000 \text{ cm}^3 \times \frac{1,095}{1000} \text{ kg/cm}^3$$

$$= 3,504 \text{ kg}$$

Kebutuhan bahan campuran *papercrete* akibat factor pengembangan kertas adalah sebagai berikut :

$$\text{Semen} = (100\% - 10\%) \times 2,465 \text{ kg} = 3,348 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = (100\% - 10\%) \times 5,492 \text{ kg} = 7,459 \text{ kg}$$

$$\text{Bubur kertas} = (100\% - 10\%) \times 2,322 \text{ kg} = 3,154 \text{ kg}$$

$$\text{fly ash} = (100\% - 10\%) \times 0,822 \text{ kg} = 1,116 \text{ kg}$$

Kebutuhan air untuk 1 batako *papercrete* :

$$= f_{as} \times \text{kebutuhan semen untuk 1 papercrete}$$

$$= 0,6 \times 3,348$$

$$= 2,009 \text{ liter}$$

Hasil perhitungan diatas kemudian dirangkum dalam Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Komposisi untuk Batako *Papercrete Fly ash*

No	Varian	Semen (kg)	Pasir (kg)	Bubur kertas (kg)	Fly ash (kg)	Air (liter)	Jumlah Benda Uji
1	1 : 2 : 2	3.348	7.459	3.154	1.116	2.009	9
2	1 : 2 : 3	2.790	6.216	3.942	0.930	1.674	9
3	1 : 2 : 4	2.391	5.328	4.505	0.797	1.435	9
<b>Total Benda Uji</b>							<b>27</b>

Dari 9 benda uji batako, 5 diantaranya digunakan untuk uji konduktivitas terlebih dahulu. Karena uji konduktivitas tidak merusak dan merubah karakteristik benda uji, maka 5 benda uji pada uji konduktivitas digunakan kembali untuk uji dinding tahan terhadap api.

#### 5.4 Berat Volume Beton

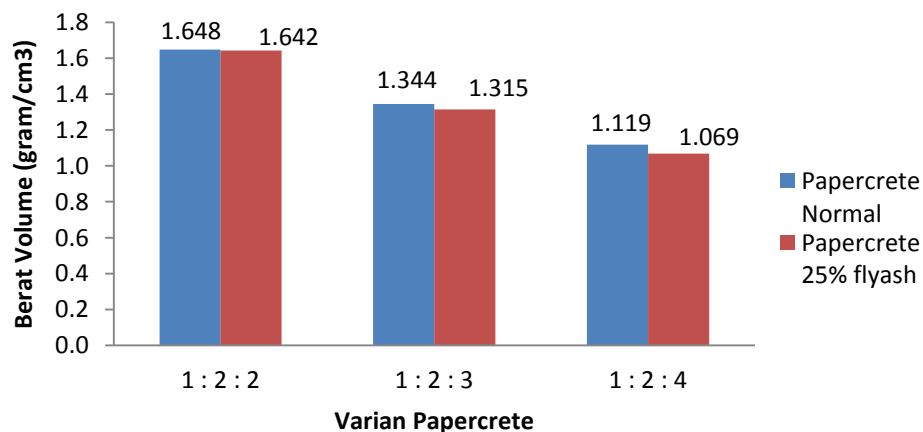
Berat volume beton adalah perbandingan dari berat sampel beton dengan volume sampel beton. Berat volume beton ini tergantung dari komposisi material adukan beton, semakin berat material penyusun yang digunakan maka akan

semakin berat beton tersebut. Hasil perhitungan berat volume *papercrete* rata-rata dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Hasil Perhitungan Berat Volume *Papercrete Fly ash*

Varian	Dimensi		Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (gram)	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )	Berat Volume Rata – Rata (gr/cm <sup>3</sup> )
	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				
1 : 2 : 2	14.92	29.88	5224.060	8900	1.704	1,648
	15.07	30.05	5359.952	8870	1.655	
	15.07	30.09	5367.086	8600	1.602	
	15.12	30.27	5435.079	8920	1.641	
	14.98	30.13	5310.222	8700	1.638	
1 : 2 : 3	15.1	30.31	5427.873	7108	1.310	1,344
	15	30.2	5336.781	7186	1.347	
	14.9	30.15	5257.142	7181	1.366	
	14.84	30.31	5242.563	6939	1.324	
	15.02	30.33	5374.056	7395	1.376	
1 : 2 : 4	14.9	30.03	5236.218	5706	1.090	1,119
	14.84	30.34	5247.751	5973	1.138	
	14.94	30	5259.111	5946	1.131	
	14.97	30.1	5297.854	5869	1.108	
	14.92	29.93	5232.801	5896	1.127	

Tabel diatas kemudian disajikan dalam bentuk grafik diagram batang dan dibandingkan dengan berat volume *papercrete* normal hasil penelitian Fadiel Imam Nugroho (2014). Grafik perbandingan berat volume *papercrete* normal dan *papercrete fly ash* ditunjukkan dalam Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 Perbandingan Berat Volume *Papercrete* Normal dan *Papercrete Fly ash*.

Dari hasil penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 5.12 dapat diketahui bahwa berat volume *papercrete* terbesar terdapat pada varian *papercrete* 1 : 2 : 2 yaitu sebesar 1,642 gr/cm<sup>3</sup>. Berat volume terkecil terdapat pada varian *papercrete* 1 : 2 : 4 yaitu sebesar 1,069 gr/cm<sup>3</sup>. Hasil perbandingan *papercrete* normal dan *papercrete fly ash* pada Gambar 5.2 menunjukkan bahwa *papercrete* normal memiliki nilai berat volume lebih besar daripada *papercrete fly ash*.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa berat volume dipengaruhi oleh material penyusunnya. Bubur kertas merupakan material ringan yang memiliki berat volume 1,095 gr/cm<sup>3</sup>, semakin banyak penggunaan bubur kertas pada campuran *papercrete* mengakibatkan turunnya nilai berat volume *papercrete*. Turunnya nilai berat volume *papercrete* juga dipengaruhi oleh penggunaan *fly ash* pada campuran. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki berat jenis sebesar 2,611 sedangkan semen memiliki berat jenis sebesar 3,1. Apabila 25% berat semen digantikan oleh *fly ash* maka secara logika berat volume *papercrete* akan semakin berkurang, hal tersebut dibuktikan pada Gambar 5.2 Grafik perbandingan berat volume *papercrete* normal dan *papercrete fly ash*.

### 5.5 Pengujian Daya Serap Air *Papercrete*

Pengujian daya serap air dilakukan pada setiap 2 buah sampel pada masing-masing varian *papercrete*. Sebagai contoh diambil perhitungan daya serap air pada sampel 1 *papercrete* varian 1:2:2 sebagai berikut :

Contoh Perhitungan :

$$\text{Berat Basah (wb)} = 14,723 \text{ kg}$$

$$\text{Berat Kering (wk)} = 13,125 \text{ kg}$$

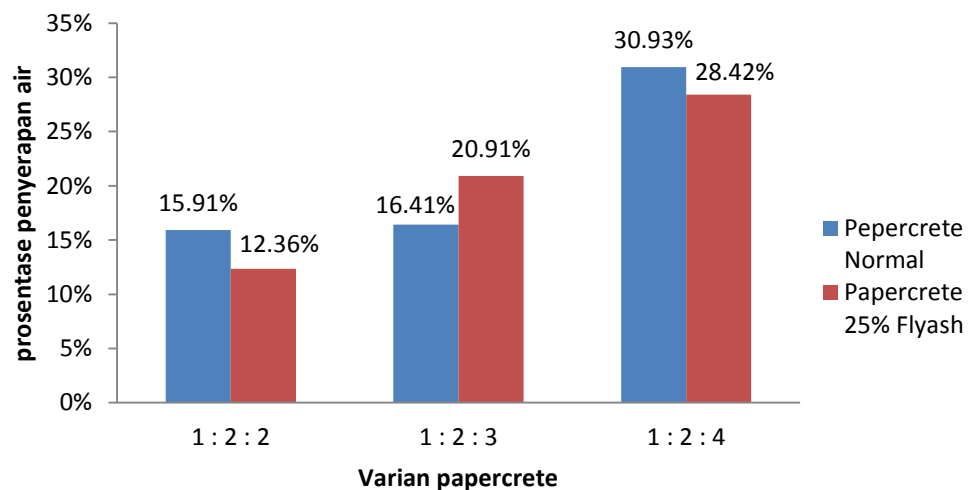
$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air} &= \frac{Wb - Wk}{Wk} \times 100\% \\ &= \frac{14,723 - 13,125}{13,125} \times 100\% \\ &= 12,18 \% \end{aligned}$$

Untuk daya serap air beton masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut:

Tabel 5.13 Hasil Uji Daya Serap Air *Papercrete Fly ash*

Tipe	basah (kg)	kering oven (kg)	Penyerapan air	Rata - rata
<b>Tipe I</b> 1: 2 : 2	14.723	13.125	12.18%	12.36%
	14.195	12.613	12.54%	
<b>Tipe I</b> 1: 2 : 3	13.573	11.166	21.56%	20.91%
	13.9	11.557	20.27%	
<b>Tipe I</b> 1: 2 : 4	12.6	9.74	29.36%	28.42%
	13.032	10.223	27.48%	

Hasil pengujian daya serap air pada Tabel 5.13 diatas kemudian disajikan dalam bentuk grafik diagram batang dan dibandingkan dengan hasil uji daya serap air *papercrete* normal penelitian Fadiel Imam Nugroho (2014). Grafik perbandingan daya serap air *papercrete* normal dan *papercrete fly ash* dijelaskan dalam Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Perbandingan Pengujian Daya Serap Air *Papercrete* Normal dan *Papercrete Fly ash*.

Pada Tabel 5.13 dapat diketahui bahwa nilai daya serap air yang paling tinggi didapatkan pada tipe I 1:2:4 dengan nilai rerata penyerapan air yaitu 28,42 % dan daya serap paling rendah terdapat pada tipe I 1:2:2 yaitu sebesar 12,36%. Hal tersebut diakibatkan karena sifat kertas yang mudah menyerap air, sehingga semakin banyak kandungan bubuk kertas dalam campuran mengakibatkan nilai daya serap air *papercrete* semakin besar.

Gambar 5.3 merupakan hasil perbandingan daya serap air antara *papercrete* normal dengan *papercrete fly ash*. Grafik tersebut menunjukkan

bahwa penambahan *fly ash* mengakibatkan daya serap air *papercrete* menjadi berkurang. Berkurangnya nilai daya serap air ini disebabkan karena ukuran partikel *fly ash* lebih kecil dari material lainnya sehingga *fly ash* menutupi rongga antar partikel atau porositas dari *papercrete*.

## 5.6 PENGUJIAN KUAT TEKAN

Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada sampel silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah 5 buah sampel pada setiap varian *papercrete* dengan menggunakan alat menggunakan alat *Compressing Test Machine*. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur setelah 28 hari tanpa dilakukan *curing*. Sebagai contoh akan dijabarkan perhitungan nilai kuat tekan benda uji silinder *papercrete fly ash* pada varian 1:2:2 yaitu sebagai berikut:

Diketahui :

$$\begin{aligned} P &= 72,1 \text{ kN} \\ &= 72,1 \times 1000 = 72100 \text{ N} \end{aligned}$$

$$D = 14,88 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,92^2 \\ &= 174,835 \text{ cm}^2 = 17483,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

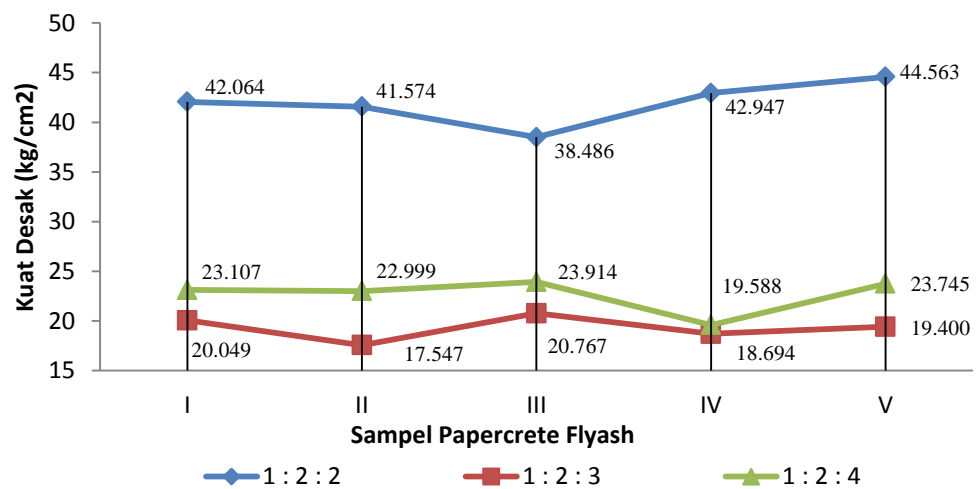
$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{72100}{17483,5} = 4,124 \text{ N/mm}^2 \\ &= 42,064 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan beton selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.14 dibawah ini.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tekan *Papercrete*

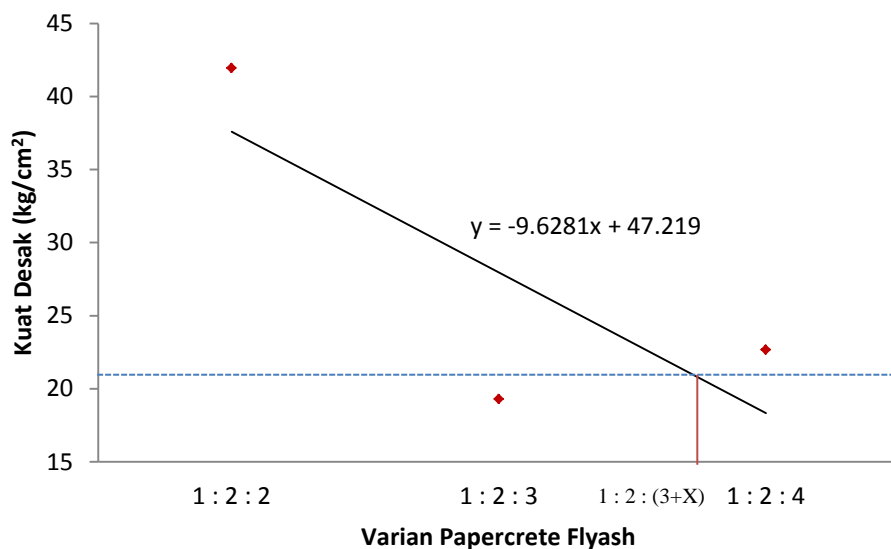
Varian	Sampel	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Beban Maksimum (kN)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Kuat Desak (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Desak rata-rata (kg/cm <sup>2</sup> )
1 : 2 : 2	1	14.92	29.88	72.1	174.835	42.064	41,927
	2	15.07	30.05	72.7	178.368	41.574	
	3	15.07	30.09	67.3	178.368	38.486	
	4	15.12	30.27	75.6	179.553	42.947	
	5	14.98	30.13	77	176.244	44.563	
1 : 2 : 3	1	15.1	30.31	72.1	179.079	20.049	19,291
	2	15	30.2	72.7	176.715	17.547	
	3	14.9	30.15	67.3	174.366	20.767	
	4	14.84	30.31	75.6	172.965	18.694	
	5	15.02	30.33	77	177.186	19.400	
1 : 2 : 4	1	14.9	30.03	72.1	174.366	23.107	22,670
	2	14.84	30.34	72.7	172.965	22.999	
	3	14.94	30	67.3	175.304	23.914	
	4	14.97	30.1	75.6	176.008	19.588	
	5	14.92	29.93	77	174.835	23.745	

Dari hasil kuat desak rata-rata pada masing-masing variasi benda uji didapatkan grafik pada Gambar 5.4 sebagai berikut:

Gambar 5.4 Kuat Tekan *Papercrete Fly ash*

Hasil uji kuat tekan *papercrete* didapat kuat tekan rata-rata pada varian tipe I 1 : 2 : 2 sebesar  $41,927 \text{ kg/cm}^2$  sedangkan untuk tipe I 1 : 2 : 3 menghasilkan  $19,291 \text{ kg/cm}^2$  dan untuk tipe I 1:2:4 sebesar  $22,670 \text{ kg/cm}^2$ . Menurut SNI 03-0349-1989 varian 1 : 2 : 2 tergolong dalam bata beton untuk dinding non structural tak terlindungi boleh terkena hujan dan panas, sedangkan varian 1 : 2 : 4 tergolong bata beton untuk dinding non struktural terlindungi dari cuaca. Tipe I 1: 2 : 3 tidak termasuk dalam standar SNI, karena nilai kuat tekan yang dihasilkan kurang dari  $21 \text{ kg/cm}^2$ .

Agar memperoleh nilai kuat tekan yang sesuai standar SNI, maka grafik kuat desak rerata dibuat dalam kurva pendekatan linier sehingga membentuk garis persamaan  $y = -9.6281x + 47.219$ . Untuk lebih jelas lihat Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Kuat Tekan *Papercrete* dengan Varian Optimum

Pada Gambar 5.5, nilai optimum kuat desak SNI sebesar  $21 \text{ kg/cm}^2$  dihubungkan dengan garis  $y = -9.6281x + 47.219$  sehingga membentuk varian 1 : 2 : (3+X). Nilai X dicari dengan langkah sebagai berikut :

$$y = -9.6281x + 47.219$$

$$21 = -9.6281x + 47.21$$

$$X = \frac{21 - 47,21}{-9,6281}$$

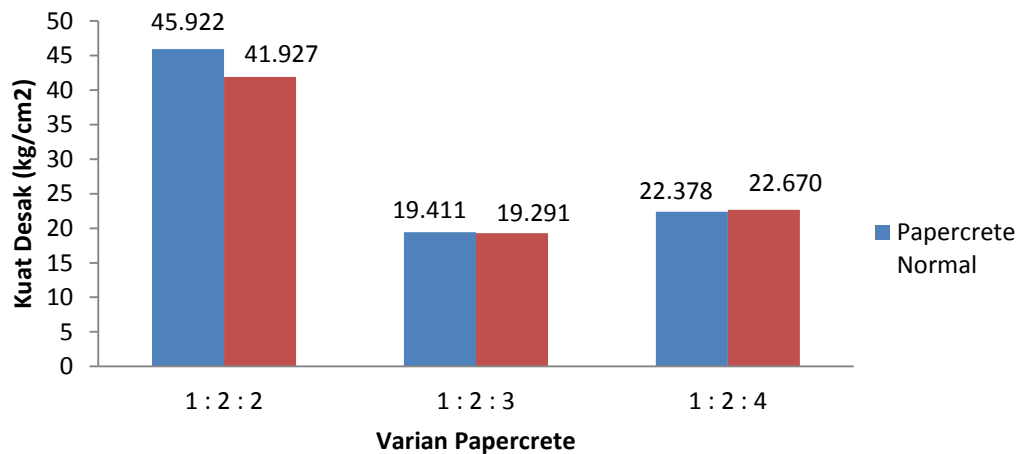
untuk mengetahui nilai optimum  $X = 2.722 - 2$

$$= 0.722 \text{ dibulatkan menjadi } 0.72$$



$$\begin{aligned}
 \text{Varian optimum} &= 1 : 2 : (3 + x) \\
 &= 1 : 2 : (3 + 0.72) \\
 &= 1 : 2 : 3.72
 \end{aligned}$$

Pengaruh penggunaan *fly ash* dalam campuran akan dibandingkan dengan *papercrete* normal milik Fadiel Imam Nugroho (2014) yang dipaparkan pada Gambar 5.6 grafik diagram batang berikut ini.



Gambar 5.6 Perbandingan Kuat Tekan *Papercrete* Normal dan *Papercrete Fly ash*.

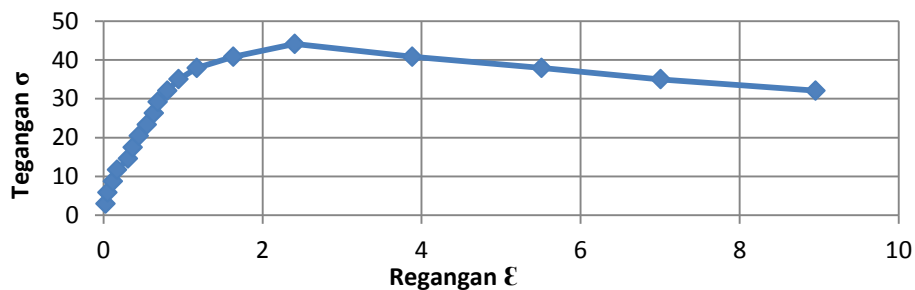
Perbandingan kuat tekan *papercrete* normal dan *papercrete fly ash* yang ditunjukkan pada Gambar 5.6 dapat disimpulkan bahwa penggunaan 25% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen menghasilkan kuat tekan yang hampir sama dengan *papercrete* normal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan 25% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen tidak mempengaruhi nilai kuat tekan *papercrete*.

## 5.7 PENGUJIAN TEGANGAN DAN REGANGAN

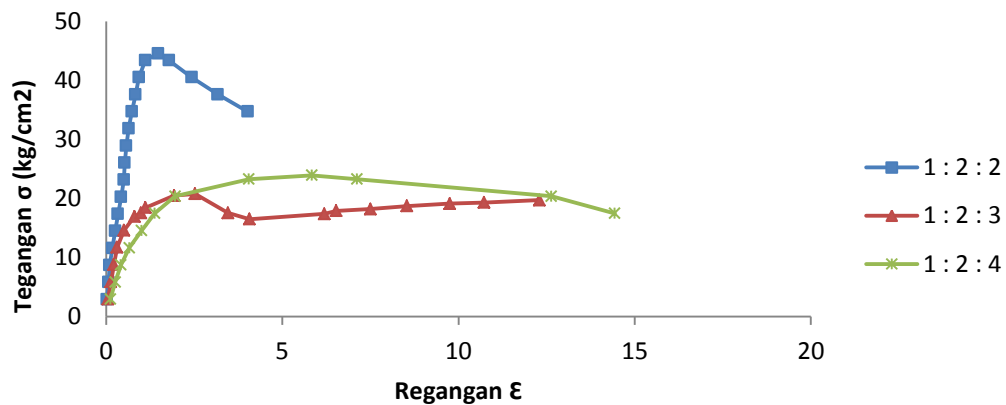
Pengujian tegangan dan regangan dilakukan terhadap 5 buah benda uji pada masing-masing varian dengan pembacaan dial dilakukan pada setiap beban 5 KN. Hasil tegangan regangan kemudian digunakan dalam perhitungan modulus elastisitas. Perhitungan tegangan-regangan pada varian *papercrete* 1 : 2 : 2 yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi ditunjukkan pada Table 5.15 dan Gambar 5.7 berikut ini.

Tabel 5.15 Hasil Uji Tegangan Regangan Varian 1:2:2 Sampel 5.

Beban (KN)	Beban (kg)	$\Delta L$ (terbaca) $\times 10^{-3}$	$\Delta L$ (sebenarnya) $\times 10^{-3}$	$\sigma$	$\sigma$ Mpa	$\epsilon$
5	509.685	12	6	2.891934	0.284	0.03
10	1019.37	27	13.5	5.783868	0.567	0.0675
15	1529.055	41	20.5	8.675801	0.851	0.1025
20	2038.74	72	36	11.56774	1.135	0.18
25	2548.425	104	52	14.45967	1.418	0.26
30	3058.11	134	67	17.3516	1.702	0.335
35	3567.795	171	85.5	20.24354	1.986	0.4275
40	4077.48	202	101	23.13547	2.270	0.505
45	4587.165	211	105.5	26.0274	2.553	0.5275
50	5096.85	230	115	28.91934	2.837	0.575
55	5606.535	256	128	31.81127	3.121	0.64
60	6116.22	293	146.5	34.70321	3.404	0.7325
65	6625.905	335	167.5	37.59514	3.688	0.8375
70	7135.59	373	186.5	40.48707	3.972	0.9325
75	7645.275	445	222.5	43.37901	4.255	1.1125
77	7849.149	590	295	44.53578	4.369	1.475
75	7645.275	715	357.5	43.37901	4.255	1.7875
70	7135.59	972	486	40.48707	3.972	2.43
65	6625.905	1268	634	37.59514	3.688	3.17
60	6116.22	1608	804	34.70321	3.404	4.02

Gambar 5.7 Grafik Hubungan Tegangan Regangan *Papercrete* Varian 1 : 2 : 2

Grafik tegangan-regangan yang dihasilkan memiliki bentuk yang beragam pada setiap variannya, hal ini bisa disebabkan karena kandungan dungan bubuk kertas dalam setiap varian berbeda. Berikut grafik perbandingan tegangan regangan yang diambil dari sampel yang menghasilkan kuat tekan tertinggi dijabarkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Tegangan Regangan *Papercrete Fly ash*

Pada Gambar 5.8 dapat diketahui bahwa varian *papercrete* yang memiliki daerah elastis tertinggi berada pada varian 1 : 2 : 2 yang berarti varian ini menghasilkan nilai tegangan paling tinggi dan mampu menahan kuat tekan terbesar dibandingkan dengan yang lain. Semakin sedikit kandungan kertas yang terkandung dalam *papercrete* maka nilai tegangannya akan semakin besar. Berikut hasil perhitungan nilai modulus elastisitas *papercrete fly ash* yang ditunjukkan dalam Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas *Papercrete Fly ash*

Tipe	No sampel	Berat Volume, $W_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma$ max (Mpa)	0.4 $\sigma$ max (Mpa)	$\epsilon$ 0.4	Ec (Mpa)	
						Uji (0,4 f'c/	Teoritis ( $W_c^{1.5}$ )*
<i>Tipe I</i> 1: 2 : 2	1	1.704	4.124	1.650	0.321	5140.413	6140.379
	2	1.655	4.076	1.630	0.320	5097.678	5844.153
	3	1.602	3.773	1.509	0.257	5870.707	5357.444
	4	1.641	4.210	1.684	0.373	4516.679	5866.392
	5	1.638	4.369	1.748	0.347	5036.255	5960.284
<i>Tipe I</i> 1: 2 : 3	1	1.310	1.966	0.786	0.246	3190.937	2856.896
	2	1.347	1.720	0.688	0.140	4932.726	2786.640
	3	1.366	2.036	0.814	0.211	3859.610	3097.449
	4	1.324	1.833	0.733	0.246	2981.039	2803.168
	5	1.376	1.902	0.761	0.189	4015.104	3027.071

Lanjutan Tabel 5.16

Tipe	No sampel	Berat Volume, $W_c$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\sigma_{max}$ (Mpa)	0.4 $\sigma_{max}$ (Mpa)	$\epsilon_{0.4}$	Ec (Mpa)	
						Uji (0,4 f'c/)	Teoritis ( $W_c^{1.5}$ )*
<i>Tipe I</i> 1 : 2 : 4	1	1.090	2.265	0.906	0.605	1498.493	2328.128
	2	1.138	2.255	0.902	0.391	2305.516	2479.424
	3	1.131	2.345	0.938	0.466	2012.103	2503.011
	4	1.108	1.920	0.768	0.338	2275.715	2197.133
	5	1.127	2.328	0.931	0.507	1835.315	2481.343

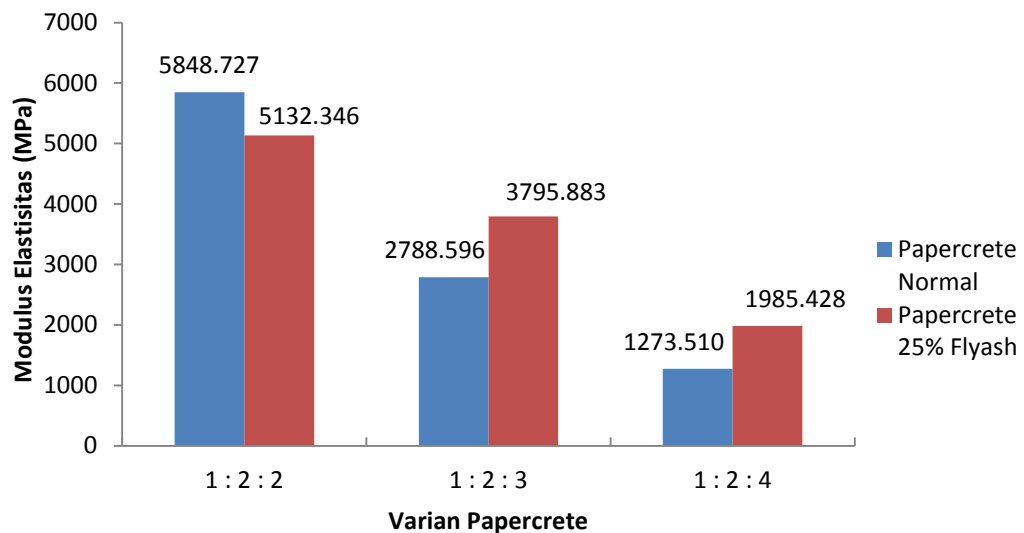
Hasil perhitungan modulus elastisitas diatas kemudian dihitung nilai modulus elastisitas rata-rata yang dipaparkan dalam Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata – rata *Papercrete Fly ash*

Varian	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)	Berat Volume Rata-rata (kg/m <sup>3</sup> )	Modulus Elastisitas uji Rata-rata (Mpa)	Modulus Elastisitas Teoritis Rata-rata (Mpa)
1 : 2 : 2	4,110	1648	5132.346	5833.730
1 : 2 : 3	1,891	1344	3795.883	2914.245
1 : 2 : 4	2,223	1119	1985.428	2397.808

Dari hasil tersebut diperoleh nilai kuat tekan rata-rata *papercrete* tertinggi berada pada varian 1:2:2 yaitu sebesar 4,110 Mpa. Selanjutnya sampel ini menghasilkan nilai modulus elastisitas teoritis rata-rata tertinggi yaitu sebesar 5833,730 Mpa dan modulus elastisitas uji rata-rata sebesar 5132,346 Mpa. Berdasarkan SNI 03-2847-2002 perhitungan modulus elastisitas teoritis yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi untuk berat volume antara 1500 – 2500 kg/m<sup>3</sup>. Karena pada varian 1 : 2 : 3 dan 1 : 2 : 4 menghasilkan berat volume dibawah 1500 kg/m<sup>3</sup>, maka dalam hal ini digunakan hasil modulus elastisitas uji sebagai nilai modulus elastisitas *papercrete*. Pada varian 1 : 2 : 3 dihasilkan modulus elastisitas uji rata-rata sebesar 3795,883 dan varian 1 : 2 : 4 sebesar 1985,428. Melihat hal tersebut disimpulkan bahwa nilai Modulus elastisitas *papercrete* tidak bergantung pada kuat tekan yang dihasilkan, tetapi tergantung

dari agregat penyusun yang terkandung didalamnya. Guna mencari pengaruh *fly ash* terhadap nilai modulus elastisitas, maka selanjutnya penelitian *papercrete fly ash* ini dibandingkan dengan penelitian *papercrete* normal milik Fadiel Imam Nugroho (2014). Grafik perbandingan nilai modulus elastisitas antara *papercrete* normal dan *papercrete fly ash* akan ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5.9 Perbandingan Modulus Elastisitas *Papercrete Normal* dan *Papercrete Fly ash*.

Melihat Gambar 5.9 dapat diketahui bahwa *papercrete fly ash* memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan *papercrete* normal. Peningkatan modulus elastisitas tergantung pada kelangsungan hidrasi semen, yang berhubungan dengan kecilnya angka porositas. *Fly ash* mempunyai butiran agregat yang kecil, sehingga *fly ash* mampu mengisi pori dengan baik. Dengan terisinya pori berarti beton akan menjadi padat dan angka porositasnya menjadi kecil sehingga nilai modulus elastisitasnya meningkat.

## 5.8 Pengujian Konduktivitas Termal

Pengujian konduktivitas termal ini dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai rambatan panas yang dihasilkan pada *papercrete* dengan 25% *fly ash* mengganti sebagian semen, selain itu pengujian ini juga dilakukan pada habel, batako Merapi, dan *papercrete* normal penelitian Fadiel Imam Nugroho yang nantinya masing-masing akan digunakan sebagai pembandingan.

### 5.8.1 Konduktivitas *Papercrete Fly Ash*

Berikut ini adalah salah satu contoh perhitungan hasil konduktivitas yang terjadi pada *papercrete fly ash* 1 : 2 : 2 yang spesifikasinya adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Daya (Q)} &= 200 \text{ Watt} \\ \text{Panjang} &= 0,4 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 0,2 \text{ m} \\ \text{Tebal (x)} &= 0,1 \text{ m} \\ \text{Luas (A)} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 0,4 \times 0,2 \\ &= 0,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Batako *papercrete fly ash* kemudian beri tanda dan di uji konduktivitas termal. Hasil pembacaan suhunya dipaparkan dalam Tabel 5.18, Suhu T adalah bagian sisi benda uji yang langsung diterpa oleh panas dan Suhu T' adalah sisi lain dari benda uji yang tidak diterpa oleh panas :

Tabel 5.18 Pembacaan Suhu Uji Konduktivitas Termal *Papercrete Fly Ash*

Varian	Sampel	Posisi Titik	Suhu pada Titik					Suhu Rata-rata
			1	2	3	4	5	
1 : 2 : 2	1	T	165,4	165	168	166,2	167,9	166,5
		T'	66	64,8	69,2	68	68,7	67,34
	2	T	168,6	162,1	170,6	162,2	68,3	167,1
		T'	69,2	66,8	67,9	68,3	71,7	68,78
	3	T	164,1	165,7	163,1	167,7	168,8	165,9
		T'	65,3	72,9	62,7	64,5	75,7	68,18
	4	T	161,3	164,2	167,9	165,3	168,9	165,5
		T'	68,1	68,8	66,7	67,2	67,1	97,94
	5	T	169,3	165,2	172,9	167,3	170,9	169,1
		T'	67,1	73	68,2	69,5	75,4	70,64
1 : 2 : 3	1	T	160,7	162,7	163,2	172,8	170,3	165,9
		T'	64,2	62	61	60,3	59,8	61,46
	2	T	161,7	162,2	162,9	164,4	163,1	162,9
		T'	58,8	56,9	54,8	54,6	56	56,2
	3	T	160,3	165,7	169,6	176,4	177,8	169,9
		T'	62,4	60	60,5	58,4	58	59,86
	4	T	165,8	168,2	170,8	167,9	166,3	167,3
		T'	63,6	64,3	61,8	58,9	60,3	61,78
	5	T	161,2	163,7	169,6	164,2	167,4	165,2
		T'	56,3	61,2	62,7	58,8	62,6	60,32

Lanjutan Tabel 5.18

Varian	Sampel	Posisi Titik	Suhu pada Titik					Suhu Rata-rata
			1	2	3	4	5	
1 : 2 : 4	1	T	160,8	170,7	173,7	162,4	169	167,3
		T'	45,5	47,9	46,6	45,7	43	45,74
	2	T	161,6	170,9	162,8	176,2	157,8	165,9
		T'	47	48,7	45	44,8	44,8	46,06
	3	T	150,4	165,6	160,8	172,1	171,3	164,0
		T'	48,5	48,4	45,2	38,7	41,8	44,52
	4	T	164,7	167,7	170,1	158,4	168,2	165,8
		T'	45,2	46	44,3	44,9	45	45,08
	5	T	165,2	169,7	170,1	159,1	164,7	165,8
		T'	46,3	47,2	45,1	45,7	46,8	46,22

Data suhu diatas kemudian dihitung dengan dasar *hukum Fourier* yang dijabarkan sebagai berikut :

$$Q = kA \times \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$k = \frac{Q}{A \times \frac{T - T'}{x}}$$

$$k = \frac{200 \text{ Watt}}{0,08 \text{ m}^2 \times \frac{165,4 \text{ }^\circ\text{C} - 66 \text{ }^\circ\text{C}}{0,1 \text{ m}}}$$

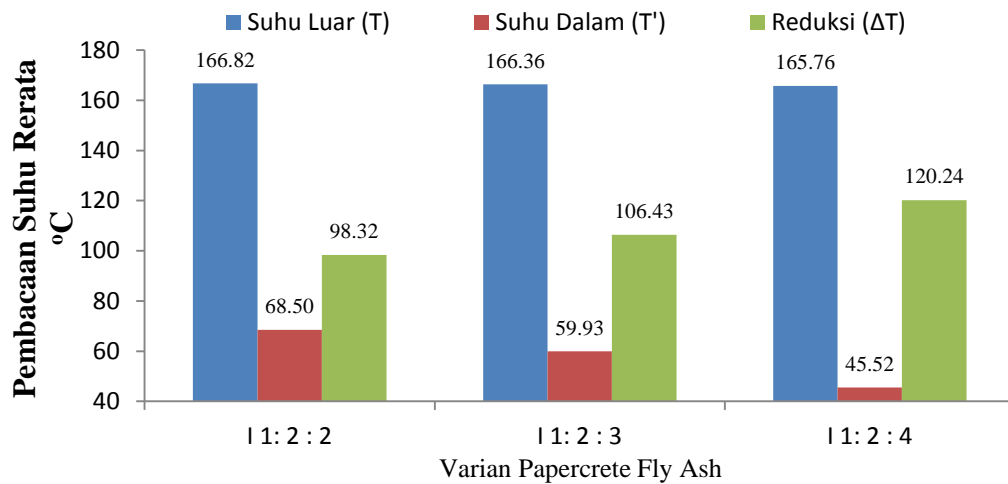
$$k = 2,521 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Untuk hasil uji konduktivitas termal sampel lain dapat dilihat pada Tabel 5.19 sebagai berikut.

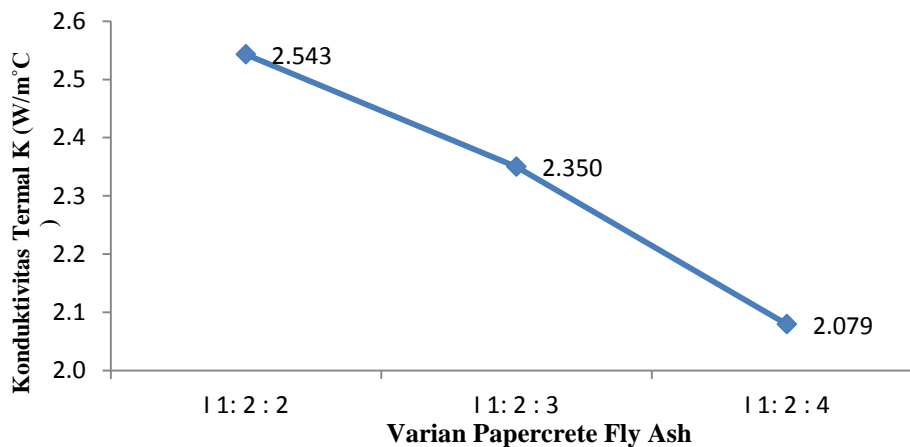
Tabel 5.19 Hasil Uji Konduktivitas Termal *Papercrete Fly Ash*.

Varian		Sampel					Suhu Rerata	Reduksi ( $\Delta T$ )	K ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )
		1	2	3	4	5			
1 : 2 : 2	T	166,5	167,1	165,9	165,5	169,1	166,820	98,316	2,543
	T'	61,46	68,78	68,18	97,94	70,64	68,504		
1 : 2 : 3	T	165,9	162,9	169,9	167,3	165,2	166,356	106,428	2,350
	T'	61,46	56,2	59,86	61,78	60,32	59,928		
1 : 2 : 4	T	167,3	165,9	164,0	165,8	165,8	165,760	120,236	2,079
	T'	45,74	46,06	44,52	45,08	46,22	45,524		

Dari data pada Tabel 5.19 mengenai suhu yang dihasilkan pada setiap sampel di masing-masing varian, kemudian diolah menjadi dalam bentuk diagram batang seperti pada Gambar 5.10 dan nilai konduktivitas termal digambarkan pada Gambar 5.11 dibawah ini



Gambar 5.10 Pembacaan Suhu Uji Konduktivitas *Papercrete Fly Ash*



Gambar 5.11 Grafik Hasil Pengujian Konduktivitas *Papercrete Fly Ash*

Grafik diatas menjelaskan bahwa seiring bertambahnya penggunaan kertas dalam *papercrete* mengakibatkan turunnya nilai konduktivitas, hal tersebut membuktikan bahwa kertas sebagai bahan insulator telah menahan hantaran panas yang terjadi pada saat pengujian. Nilai konduktivitas terbesar terdapat pada *papercrete* tipe I 1:2:2 dengan nilai K rata-rata sebesar 2,543 W/m°C sedangkan nilai K terkecil terdapat pada *papercrete* tipe I 1:2:4 sebesar 2,079. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa *papercrete* tipe I 1:2:4 lebih baik dalam menahan hantaran panas.



### 5.8.2 Konduktivitas Hebel dan Batako Merapi

Berikut ini adalah salah contoh perhitungan hasil konduktivitas yang terjadi pada hebel.

$$\text{Daya (Q)} = 200 \text{ Watt}$$

$$\text{Panjang} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Tebal (x)} = 0,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas (A)} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 0,4 \times 0,2 \\ &= 0,08 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dalam Tabel 5.20 dibawah ini merupakan hasil suhu yang telah dicatat. Suhu T adalah bagian sisi benda uji yang langsung diterpa oleh panas. Suhu T' adalah sisi lain dari benda uji yang tidak diterpa oleh panas.

Tabel 5.20 Pembacaan Suhu Uji Konduktivitas Termal Habel

Sampel	Posisi Titik	Suhu pada Titik					Suhu Rata - rata
		1	2	3	4	5	
1	T	161,4	168,2	170,5	171,9	172	168,8
	T'	53,7	51,2	47,2	45	46,8	48,78
2	T	162,1	168	163,5	177,6	177,6	169,8
	T'	52,4	49,2	45,5	43,6	45,2	47,18
3	T	164,1	178,4	165,8	176,9	177	172,4
	T'	53,1	49,6	47,1	42,9	44,4	47,42
4	T	163,7	173	168,1	168,1	174,2	169,4
	T'	45,8	52,8	46,1	44,5	51,2	48,08
5	T	164,3	165,8	168,3	170,9	169,2	167,7
	T'	43,3	42,6	46,5	50,5	45,9	45,78

Langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut dengan menggunakan formula pada hukum Fourier:

$$Q = kA \times \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$k = \frac{Q}{A \times \frac{T - T'}{x}}$$

$$k = \frac{200 \text{ Watt}}{0,08 \text{ m}^2 \times \frac{168,8 \text{ }^\circ\text{C} - 48,78 \text{ }^\circ\text{C}}{0,1 \text{ m}}}$$

$$k = 2,083 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Berikut ini adalah salah contoh perhitungan hasil konduktivitas yang terjadi pada Batako Merapi.

$$\begin{aligned} \text{Daya (Q)} &= 200 \text{ Watt} \\ \text{Panjang} &= 0,36 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 0,2 \text{ m} \\ \text{Tebal (x)} &= 0,1 \text{ m} \\ \text{Luas (A)} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 0,36 \times 0,2 \\ &= 0,072 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Dalam Tabel 5.21 merupakan tabel hasil suhu yang telah dicatat. Suhu luar adalah bagian sisi benda uji yang langsung diterpa oleh panas. Suhu dalam adalah sisi lain dari benda uji yang tidak diterpa oleh panas.

Tabel 5.21 Hasil Uji Konduktivitas pada Batako Merapi

Sampel	Posisi Titik	Suhu pada Titik					Suhu Rata-rata
		1	2	3	4	5	
1	T	162,1	169,5	161,4	169	174,9	167,4
	T'	77,1	82,3	76,5	78,4	79,7	78,8
2	T	158,5	173	164,3	173,6	176,9	169,3
	T'	76,2	78,3	71,4	72,2	75,1	74,64
3	T	171,8	168,7	171,4	172,4	173	171,5
	T'	76,7	80,1	78,5	77,6	79,4	78,46
4	T	159,7	169,3	166,4	171,3	167,9	166,9
	T'	76,9	78,8	74,1	80,1	71,7	76,32
5	T	156,4	163,1	167,9	164,3	172,1	164,8
	T'	73,2	77,5	78,6	78,5	70,3	75,62

Langkah selanjutnya adalah mengolah data tersebut dengan menggunakan formula pada hukum Fourier:

$$Q = kA \times \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$k = \frac{Q}{A \times \frac{T1 - T2}{x}}$$

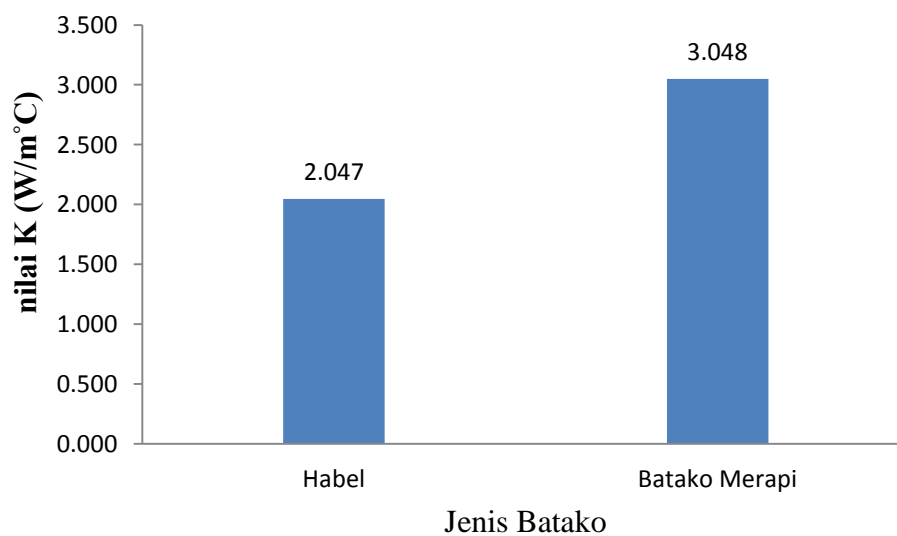
$$k = \frac{200 \text{ Watt}}{0,072 \text{ m}^2 \times \frac{167,38 \text{ }^\circ\text{C} - 78,8 \text{ }^\circ\text{C}}{0,1 \text{ m}}}$$

$$k = 3,136 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Karena sampel uji berjumlah 5 buah setiap varian, maka perhitungan konduktivitas termal diambil berdasarkan suhu rata-rata dari kelima sampel tersebut yang dijelaskan dalam Tabel 5.22 dan Gambar 5.12 sebagai berikut.

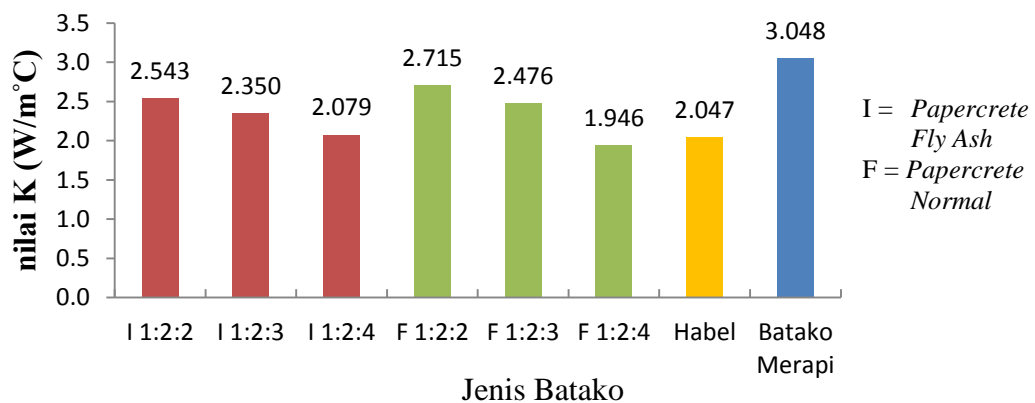
Tabel 5.22 Hasil Uji Konduktivitas Termal Habel dan Batako Merapi.

Varian		Sampel					Suhu Rerata	Reduksi ( $\Delta T$ )	K ( $\text{W/m}^\circ\text{C}$ )
		1	2	3	4	5			
Batako Merapi	T	167.3	169.2	171.4	166.9	164.7	167.956	91.188	3.048
	T'	78.8	74.64	78.46	76.32	75.62	76.768		
Habel	T	168.8	169.7	172.4	169.4	167.7	169.624	122.176	2.047
	T'	48.78	47.18	47.42	48.08	45.78	47.448		



Gambar 5.12 Hasil Konduktivitas Termal Hebel dan Batako Merapi

Gambar diatas menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal antara hebel dengan batako Merapi berbeda jauh. Nilai K pada hebel yaitu sebesar 2,047 W/m°C lebih rendah daripada batako Merapi yang menghasilkan nilai K sebesar 3,048 W/m°C. Dari hasil tersebut penulis mengambil kesimpulan bahwa hebel lebih baik dalam menahan hantaran panas. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai K yang dihasilkan dari *papercrete fly ash* dan *papercrete* normal milik Fadiel Imam Nugroho (2014) yaitu dalam Gambar 5.13 berikut ini :



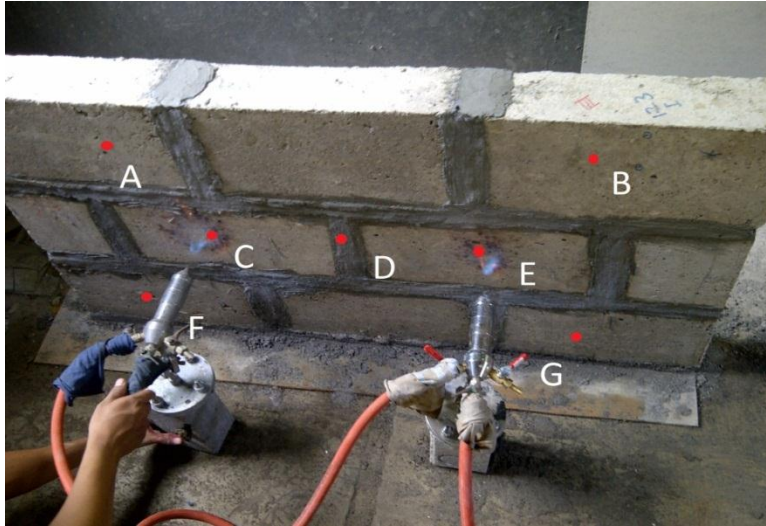
Gambar 5.13 Perbandingan Nilai Konduktivitas Termal *Papercrete*, Hebel dan Batako Merapi.

Setelah dilakukan perbandingan antara ke-8 material, didapatkanlah grafik seperti diatas. Nilai konduktivitas terbesar berada pada batako Merapi yaitu sebesar 3,048 W/m°C dan nilai konduktivitas terkecil berada pada hebel yaitu sebesar 2,047 W/m°C. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa batako terbaik sebagai penahan hantaran panas adalah hebel. Batako lain yang memiliki nilai K hampir sama dengan hebel adalah *papercrete* tipe I 1:2:4 dengan nilai K sebesar 2,079 W/m°C. Perbedaan dari keduanya hanya sebesar 0,033 W/m°C, hal tersebut membuktikan bahwa *papercrete* tipe I 1:2:4 dapat digunakan sebagai material pengganti hebel.

## 5.9 Pengujian Dinding Tahan Api

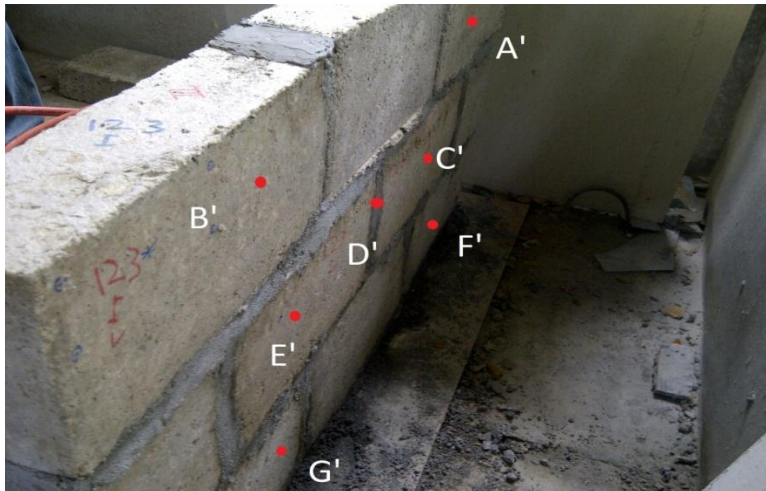
Pengujian dilakukan pada sampel batako *papercrete* yang telah berumur 28 hari yang kemudian disusun menjadi bentuk dinding dengan ketebalan spesi 1 cm. Sampel satu dinding membutuhkan 9 buah batako *papercrete*. Sampel

dinding kemudian diberi 7 titik pemantauan suhu yaitu di sisi yang terkena api dan di sisi yang tidak terkena api. Pembacaan suhu dilakukan setiap 15 menit dalam tempo waktu 2 jam. Proses pembakaran terlihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5.14 Titik Pembacaan Suhu Uji Dinding Tahan Api

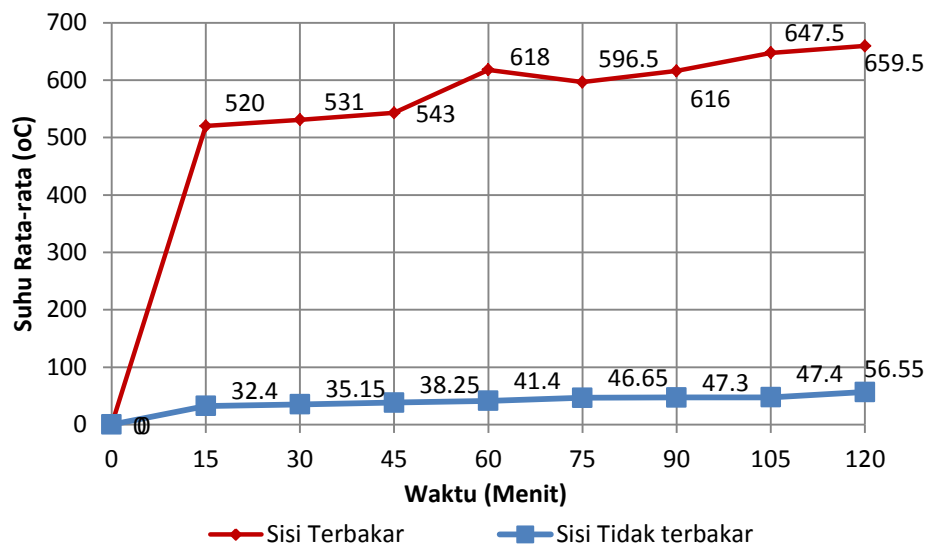
Kondisi dinding yang tidak terkena api dapat dilihat pada Gambar 5.15. Pembacaan suhu pada permukaan yang tidak terkena api juga dilakukan setiap 15 menit dalam kurun waktu 2 jam.



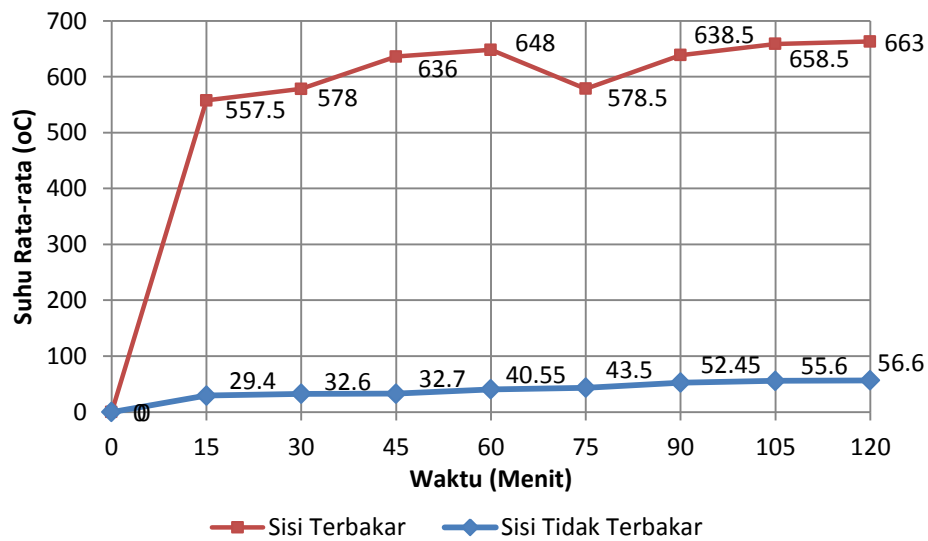
Gambar 5.15 Titik Pembacaan Pada Sisi Sebaliknya Uji Dinding Tahan Api

Selama proses pembakaran berlangsung, sebisa mungkin kondisi api harus stabil agar tidak mempengaruhi pembacaan suhu. Berikut hasil pembacaan suhu

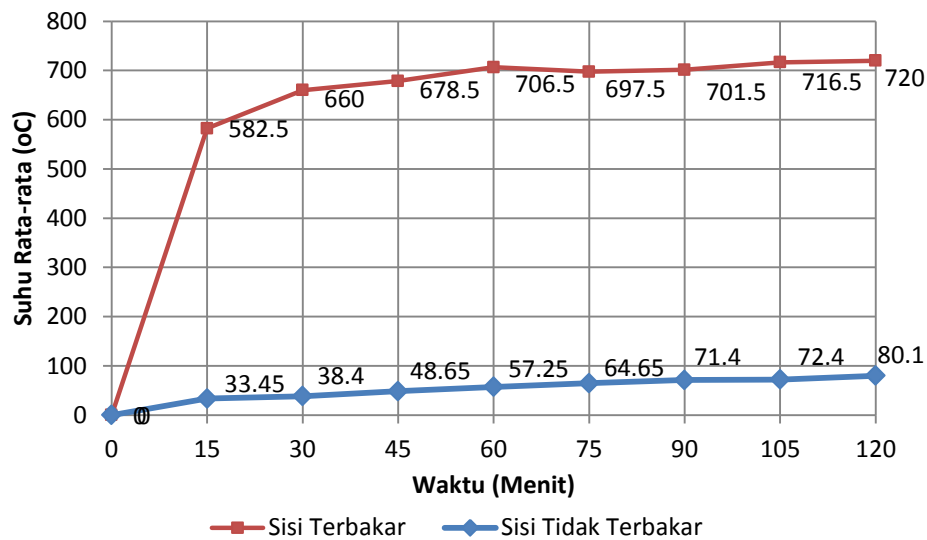
pada setiap varian *papercrete* yang dipaparkan dalam Gambar 5.16, Gambar 5.17 dan Gambar 5.18



Gambar 5.16 Grafik Hubungan Suhu dengan Waktu Varian 1 : 2 : 2

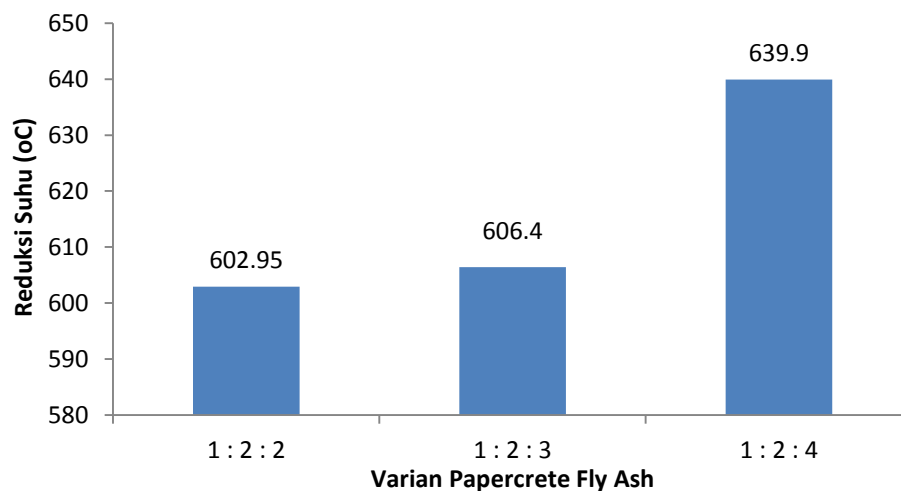


Gambar 5.17 Grafik Hubungan Suhu dengan Waktu Varian 1 : 2 : 3



Gambar 5.18 Grafik Hubungan Suhu dengan Waktu Varian 1 : 2 : 4

Pada grafik diatas terlihat peningkatan suhu yang terjadi setiap menitnya. Suhu tertinggi dihasilkan pada varian *papercrete* 1 : 2 : 4 sebesar 720 °C, varian *papercrete* 1 : 2 : 3 sebesar 663 °C dan suhu terendah dihasilkan varian *papercrete* 1 : 2 : 2 sebesar 659,5 °C. Dari hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan bertambahnya volume kertas dalam campuran *papercrete* mengakibatkan batako menjadi tidak tahan api. Hal tersebut diakibatkan karena kertas memiliki sifat mudah terbakar. Suhu uap panas pada saat proses pembakaran masuk melalui pori-pori dan merusak struktur kertas, sehingga menghasilkan suhu yang tinggi pada sisi yang tidak terkena api. Berikut hasil reduksi suhu panas yang dihasilkan pada setiap varian dipaparkan pada Gambar 5.19 berikut ini.



Gambar 5.19 Reduksi Suhu Panas *Papercrete Fly Ash*

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengujian ini adalah kondisi api yang harus stabil, suhu dan cuaca tempat pengujian, dan proses pembacaan suhu dengan thermometer infrared. Dinding yang telah diuji berubah menjadi getas dan keropos yang terlihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Kondisi Dinding Setelah Dibakar

Dinding tersebut kemudian dibongkar dan dirusak guna mengetahui material struktur didalamnya. Terlihat dalam Gambar 5.21 *papercrete* yang telah dibakar selama 2 jam mengalami kerusakan struktur material. Tetapi kerusakan yang terjadi hanya sepertiga bagian *papercrete* dan tidak hancur secara keseluruhan.



Gambar 5.21 Struktur Material *Papercrete* Pasca Bakar