

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

Dalam penelitian ini semua data hasil penelitian yang telah dilakukan disajikan dalam bentuk tabel-tabel hasil penelitian porositas dan permeabilitas keramik.

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas dan Permeabilitas

##### 4.1.1.1 Data Hasil Pengujian Porositas

Porositas sendiri diakibatkan karena adanya gelembung-gelembung gas yang terjebak diantara butiran bahan keramik hasil cetakan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji piknometri. Data porositas dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2 berikut ini:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Porositas Kaolin Putih

Hasil Porositas	Fraksi massa kaolin Putih + <i>feldspar</i> (%)					
	45 + 25	40 + 30	35 + 35	30 + 40	25 + 45	20 + 50
$W_s$ / Berat sampel di luar air (gr)	63,80	57,51	65,23	63,8	64,42	63,25
$W_{sb}$ / Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)	55,19	56,15	55,66	56,64	52,91	52,41
$W_b$ / Berat keranjang di dalam air (gr)	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Porositas Kaolin Coklat

Hasil Porositas	Fraksi massa kaolin Coklat + <i>feldspar</i> (%)					
	45 + 25	40 + 30	35 + 35	30 + 40	25 + 45	20 + 50
$W_s$ / Berat sampel di luar air (gr)	62,33	56,37	58,85	50,48	62,45	66,90
$W_{sb}$ / Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)	55,52	52,27	53,32	48,27	54,94	57,47
$W_b$ / Berat keranjang di dalam air (gr)	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32	20,32



#### 4.1.1.2 Data Hasil Pengujian Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan material untuk dapat dialiri fluida tiap satuan luas dalam waktu tertentu. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji permeabilitas, data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3 dan table 4.4 berikut ini :

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Permeabilitas Kaolin Putih

Fraksi Massa Kaolin Putih + <i>feldspar</i>	Volume air (ml) dalam waktu			
	0,5 jam	1 jam	1,5 jam	2 jam
45 + 25	3,60	6,30	7,20	7,20
40 + 30	2,70	5,40	6,30	6,30
35 + 35	3,60	7,20	9,00	9,00
30 + 40	6,30	9,90	11,70	12,60
25 + 45	4,50	8,10	9,90	9,90
20 + 50	5,40	9,00	9,90	10,80

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Permeabilitas Kaolin Coklat

Fraksi Massa Kaolin Coklat + <i>feldspar</i>	Volume air (ml) dalam waktu			
	0,5 jam	1 jam	1,5 jam	2 jam
45 + 25	2,70	5,40	7,20	8,10
40 + 30	2,70	3,60	5,40	6,30
35 + 35	3,60	9,00	10,80	12,60
30 + 40	9,00	14,40	17,10	18,90
25 + 45	5,40	10,80	12,60	13,50
20 + 50	3,60	9,90	12,60	14,40

#### 4.1.2 Contoh Perhitungan Porositas dan Permeabilitas

##### 4.1.2.1 Contoh Perhitungan Porositas

Dari data tabel hasil pengujian porositas pada tabel 4.1 dan 4.2 didapatkan perhitungan porositas sebagai berikut:

Perhitungan Porositas Kaolin

##### a. Fraksi massa Kaolin Putih + *Feldspar* (30 + 40) %

➤ *Apparent Density*

$$\rho_s = \rho_w \frac{w_s}{w_s - (w_{ab} - w)}$$

$$\rho_s = 1 \frac{63,80}{63,80 - (55,66 - 20,32)}$$

$$\rho_s = 2,242 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

➤ True Density

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\% \text{ feldspar}}{\rho_{feldspar}} \right) + \left( \frac{\% \text{ kaolin}}{\rho_{kaolin}} \right) + \left( \frac{\% \text{ ballay}}{\rho_{ballay}} \right) + \left( \frac{\% \text{ kuarsa}}{\rho_{kuarsa}} \right) \right\}}$$

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{40}{2,47} \right) + \left( \frac{30}{2,4} \right) + \left( \frac{15}{2,15} \right) + \left( \frac{15}{2} \right) \right\}}$$

$$\rho_{th} = 2,316 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

➤ Porositas

$$\% P = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\%$$

$$\% P = \left( 1 - \frac{2,242}{2,316} \right) \times 100\%$$

$$\% P = 3,222\%$$

Dari perhitungan yang sama seperti diatas, maka didapatkan hasil porositas dari variasi fraksi massa kaolin putih dan *feldspar*, yang lainnya seperti tabel 4.5 dibawah ini :

Tabel 4.5 Hasil Porositas

No	Fraksi Massa	$W_s$	$W_b$	$W_{sb}$	$\rho_s$	$\rho_{th}$	%P
	Kaolin + <i>Feldspar</i>						
1	45 + 25	63,95	20,32	56,51	2,304	2,307	0,140
2	40 + 30	57,71	20,32	52,92	2,298	2,310	0,509
3	35 + 35	64,90	20,32	56,64	2,271	2,313	1,832
4	30 + 40	63,80	20,32	55,66	2,242	2,316	3,222
5	25 + 45	64,52	20,32	56,13	2,247	2,320	3,114
6	20 + 50	62,80	20,32	55,19	2,248	2,323	3,196

**b. Fraksi massa Kaolin Coklat + Feldspar (30 + 40) %**

➤ *Apparent Density*

$$\rho_s = \rho_w \frac{w_s}{w_s - (w_{ab} - w)}$$

$$\rho_s = 1 \frac{50,48}{50,48 - (48,27 - 20,32)}$$

$$\rho_s = 2,241 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

➤ *True Density*

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\% \text{ feldspar}}{\rho_{\text{feldspar}}} \right) + \left( \frac{\% \text{ kaolin}}{\rho_{\text{kaolin}}} \right) + \left( \frac{\% \text{ ballay}}{\rho_{\text{ballay}}} \right) + \left( \frac{\% \text{ kuarsa}}{\rho_{\text{kuarsa}}} \right) \right\}}$$

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{40}{2,47} \right) + \left( \frac{30}{2,4} \right) + \left( \frac{15}{2,15} \right) + \left( \frac{15}{2} \right) \right\}}$$

$$\rho_{th} = 2,316 \text{ gr} / \text{cm}^3$$

➤ *Porositas*

$$\% P = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\%$$

$$\% P = \left( 1 - \frac{2,241}{2,316} \right) \times 100\%$$

$$\% P = 3,272\%$$

Dari perhitungan yang sama seperti diatas, maka didapatkan hasil porositas dari variasi fraksi massa kaolin coklat dan *feldspar*, yang lainnya seperti tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6 Hasil Porositas

No	Fraksi Massa	$W_s$	$W_b$	$W_{sb}$	$\rho_s$	$\rho_{th}$	%P
	Kaolin + <i>Feldspar</i>						
1	45 + 25	62,23	20,32	55,52	2,302	2,307	0,201
2	40 + 30	56,67	20,32	52,27	2,292	2,310	0,761
3	35 + 35	58,85	20,32	53,32	2,277	2,313	1,582
4	30 + 40	50,48	20,32	48,27	2,241	2,316	3,272
5	25 + 45	62,45	20,32	54,94	2,244	2,320	3,257
6	20 + 50	66,90	20,32	57,47	2,249	2,323	3,185

#### 4.1.2.2 Contoh Perhitungan Permeabilitas

##### a. Fraksi massa Kaolin Putih + *Feldspar* (30 + 40 )%

$$P = \frac{V.H}{P.A.T}$$

$$P = \frac{9,90 \times 2}{1033,227 \times 0,2 \times 3,14 \times 4,6 \times 2}$$

$$P = 0,0034 \text{ ml} / \text{cm}^2 \text{ jam}$$

Dari perhitungan yang sama seperti diatas, maka didapatkan hasil permeabilitas dari variasi fraksi massa kaolin putih dan *feldspar*, yang lainnya seperti tabel 4.7 dibawah ini :

Tabel 4.7 Hasil Permeabilitas

No	Fraksi Massa Kaolin + <i>Feldspar</i>	Permeabilitas (ml/cm <sup>2</sup> jam) dalam waktu			
		0.5 (jam)	1 (jam)	1.5 (jam)	2 (jam)
1	45 + 25	0,0029	0,0029	0,0023	0,0017
2	40 + 30	0,0039	0,0034	0,0026	0,0019
3	35 + 35	0,0039	0,0039	0,0032	0,0024
4	30 + 40	0,0068	0,0053	0,0042	0,0034
5	25 + 45	0,0058	0,0048	0,0035	0,0029
6	20 + 50	0,0048	0,0043	0,0035	0,0027

**b. Fraksi massa Kaolin Coklat + Feldspar (30 + 40) %**

$$P = \frac{V.H}{P.A.T}$$

$$P = \frac{14,40 \times 2}{1033,227 \times 0,2 \times 3,14 \times 4,6 \times 2}$$

$$P = 0,0051 \text{ ml} / \text{cm}^2 \text{ jam}$$

Dari perhitungan yang sama seperti diatas, maka didapatkan hasil permeabilitas dari variasi fraksi massa kaolin putih dan *feldspar*, yang lainnya seperti tabel 4.8 dibawah ini :

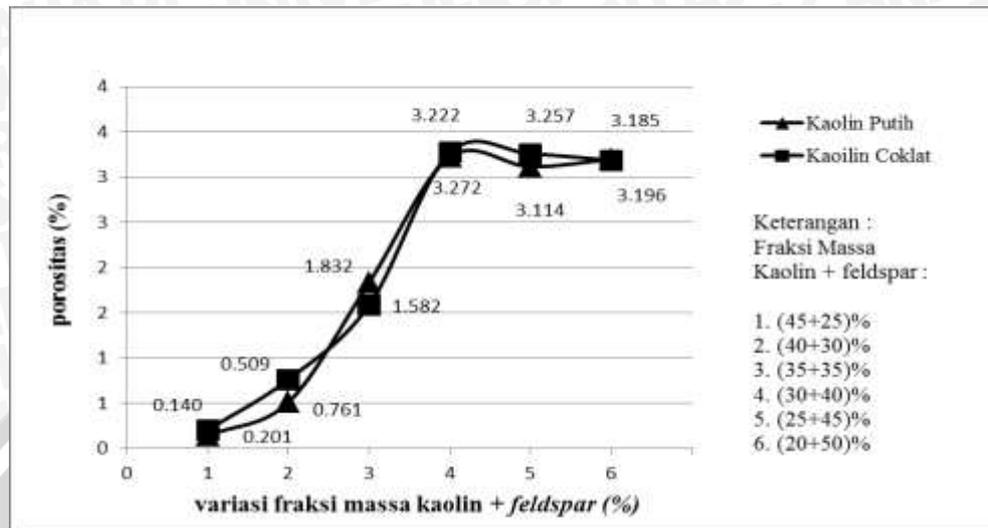
Tabel 4.8 Hasil Permeabilitas

No	Fraksi Massa Kaolin + <i>Feldspar</i>	Permeabilitas (ml/cm <sup>2</sup> jam) dalam waktu			
		0.5 (jam)	1 (jam)	1.5 (jam)	2 (jam)
1	45 + 25	0,0029	0,0019	0,0019	0,0017
2	40 + 30	0,0029	0,0029	0,0026	0,0022
3	35 + 35	0,0039	0,0048	0,0039	0,0034
4	30 + 40	0,0096	0,0077	0,0061	0,0051
5	25 + 45	0,0058	0,0058	0,0045	0,0039
6	20 + 50	0,0039	0,0053	0,0045	0,0036

#### 4.2 Pembahasan

Dalam penelitian ini semua data yang diperoleh dari penelitian dan data yang diperoleh dari perhitungan disampaikan dalam bentuk grafik agar mempermudah dalam melakukan analisa dan pembahasan. Berikut ini grafik-grafik pengaruh penambahan fraksi massa terhadap permeabilitas, laju aliran dan porositas.

#### 4.2.1 Hubungan Variasi Penambahan Fraksi Massa Kaolin dan *Feldspar* terhadap Porositas Keramik



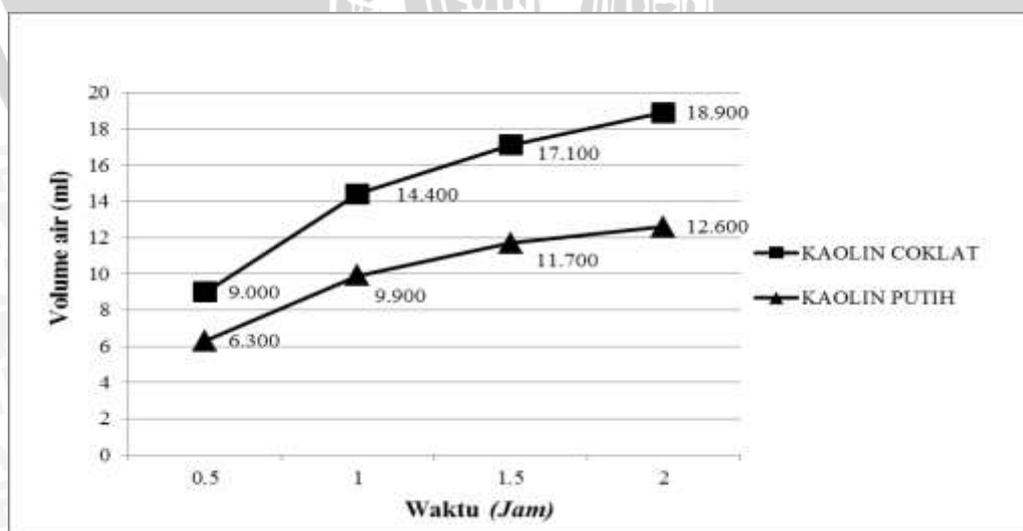
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* terhadap porositas

Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara penambahan fraksi massa kaolin putih/coklat dan *feldspar* terhadap porositas keramik. Pada gambar tersebut menunjukkan seiring penambahan *feldspar* dan pengurangan kaolin putih/coklat dapat menyebabkan porositas dari keramik meningkat sampai prosentase fraksi massa kaolin dan *feldspar* (30+40)%. Namun Setelah melewati titik optimum, setiap penambahan fraksi massa *feldspar* dan pengurangan fraksi massa kaolin, maka terjadi porositas yang semakin menurun. Hal ini terjadi baik pada kaolin putih maupun pada kaolin coklat. Pada penambahan fraksi massa kaolin putih dan *feldspar* didapatkan hasil porositas optimum pada penambahan fraksi massa kaolin putih 30% dan *feldspar* 40% sebesar 3,222% dan hasil porositas terendah didapat pada penambahan fraksi massa kaolin putih 45% dan *feldspar* 25% yaitu sebesar 0,140%. Begitu juga yang terjadi pada penambahan fraksi massa kaolin coklat dan *feldspar*. Dengan penambahan fraksi massa kaolin coklat 30% dan *feldspar* 40% didapatkan hasil porositas optimum sebesar 3,272%. Dan hasil porositas terendah didapat pada penambahan fraksi massa kaolin putih 45% dan *feldspar* 25% sebesar 0,201%. Setelah mencapai titik optimum porositas dari keramik akan menurun. Fenomena ini disebabkan karena pada suhu 500-900 kaolin berubah fase menjadi metakaolin yang merupakan tujuan dari pembakaran keramik, karena adanya metakaolin ini, sifat-sifat keramik yang keras dan padat mulai terbentuk.

Jadi semakin banyak metakaolin yang terjadi maka badan keramik akan semakin padat. Oleh karena itu semakin banyak fraksi massa kaolin maka akan semakin padat atau semakin sedikit porositas. Gambar diatas menunjukkan semakin bertambahnya fraksi massa *feldspar* maka semakin banyaknya padatan amorf yang terjadi. Padatan amorf merupakan padatan yang struktur partikelnya kurang teratur, semakin banyaknya padatan yang kurang teratur maka porositas yang terjadi akan semakin besar, sampai mencapai porositas optimum. Namun setelah melewati porositas optimum, semakin menurunnya fraksi massa kaolin dan bertambahnya *feldspar*, maka jumlah lelehan bertambah sehingga bahan akan terjadi vitrifikasi pada temperatur rendah, volume dari lelehan bertambah dan dapat dicapai sifat tembus cahaya baik.

Jadi semakin bertambahnya fraksi massa kaolin dan berkurangnya fraksi massa *feldspar* maka porositas keramik akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena metakaolin yang terbentuk semakin banyak. Semakin bertambahnya fraksi massa *feldspar* dan berkurangnya fraksi massa kaolin maka porositasnya akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin banyak *feldspar* maka semakin banyak padatan amorf yang terjadi sehingga porositas akan semakin tinggi. Namun setelah melewati porositas optimum semakin bertambahnya *feldspar* maka porositas akan semakin rendah.

#### 4.2.2 Hubungan Waktu dengan Volume Penyerapan pada Variasi Penambahan Fraksi Massa Kaolin 30% dan *Feldspar* 40%

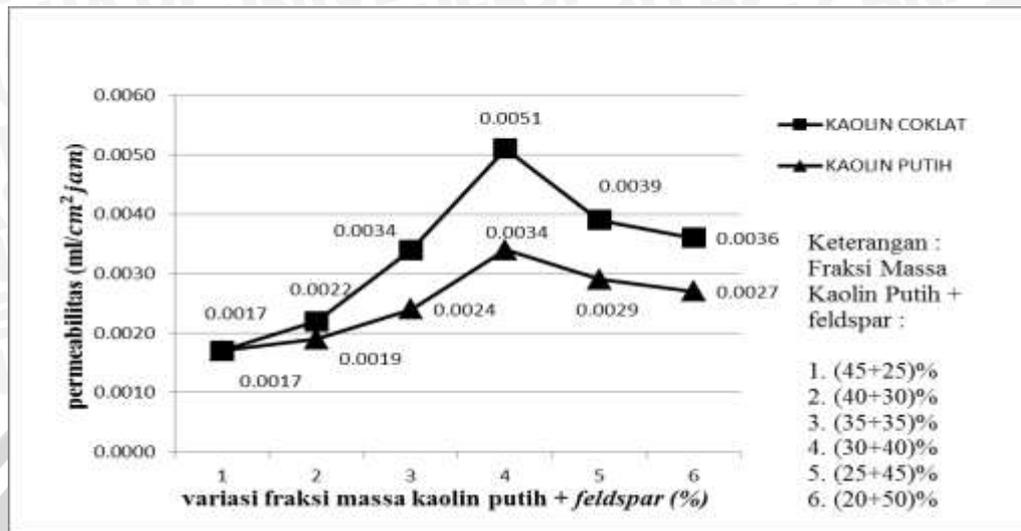


Gambar 4.2 Grafik hubungan waktu dengan volume penyerapan pada fraksi massa kaolin 30% dan *feldspar* 40%.

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan antara waktu dengan volume penyerapan oleh keramik pada fraksi massa kaolin 30% dan *feldspar* 40%. Pada gambar diatas menunjukkan volume penyerapan bertambah seiring bertambahnya waktu. Hal ini terjadi pada kaolin coklat dan kaolin putih, pada waktu 2 jam kaolin coklat mempunyai volume penyerapan sebesar 18,90 ml sedangkan pada kaolin putih sebesar 12,60 ml. Karena dalam waktu 1,5 jam sampai 2 jam terjadi penyerapan secara konstan, dengan ditandai penyerapan yang tidak begitu jauh perbedaannya, sehingga dipilih waktu 2 jam untuk menghitung dan menganalisa permeabilitas yang terjadi. Gambar diatas juga menunjukkan bahwa spesimen kaolin coklat mengalami volume penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan volume penyerapan pada spesimen kaolin putih. Hal ini terjadi karena permeabilitas yang ada pada kaolin coklat lebih besar daripada permeabilitas pada kaolin putih. Kaolin coklat merupakan kaolin yang masih tercampur dengan bahan-bahan organik yang menyebabkan kaolin berwarna coklat dan mempunyai permeabilitas yang tinggi. Sedangkan pada kaolin putih tidak terdapat bahan-bahan organik. Bahan-bahan organik itu sendiri merupakan kumpulan dari sisa-sisa makhluk hidup, seperti akar tanaman, daun-daun dan jasad renik. Bahan-bahan organik tersebut apabila terkena proses pembakaran maka akan menjadi gas-gas yang akan menguap/ keluar pada spesimen keramik saat terjadi pembakaran. Hal inilah yang menyebabkan pori-pori pada kaolin coklat lebih banyak daripada kaolin putih.

Jadi volume penyerapan kaolin coklat lebih tinggi dibandingkan dengan volume penyerapan kaolin putih, dikarenakan pada unsur penyusunnya terdapat bahan organik yang tercampur yang menyebabkan pori-pori pada kaolin coklat lebih banyak.

### 4.2.3 Hubungan Variasi Penambahan Fraksi Massa Kaolin dan *Feldspar* terhadap Permeabilitas Keramik



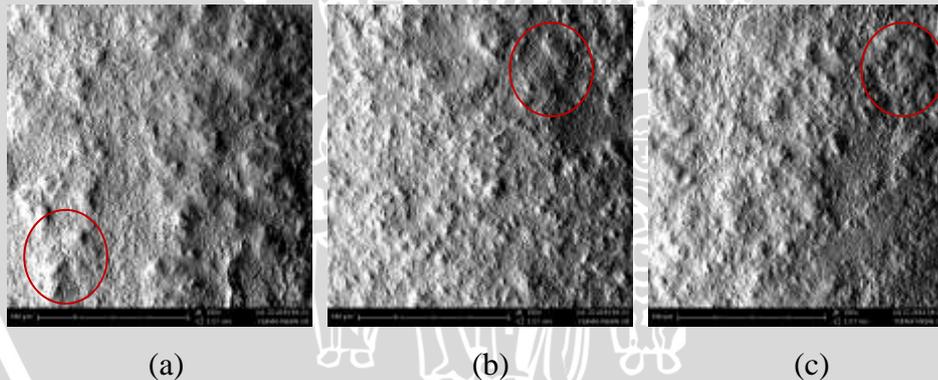
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* terhadap permeabilitas

Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara penambahan fraksi massa kaolin putih/coklat dan *feldspar* terhadap permeabilitas keramik. Pada gambar tersebut menunjukkan seiring penambahan *feldspar* dan pengurangan kaolin putih/coklat dapat menyebabkan permeabilitas dari keramik meningkat. Dari gambar diatas terlihat seiring kenaikan fraksi massa *feldspar* dan pengurangan fraksi massa kaolin, maka porositas yang terjadi juga semakin meningkat. Hal ini terjadi baik pada kaolin putih maupun pada kaolin coklat. Pada penambahan fraksi massa kaolin putih dan *feldspar* didapatkan hasil permeabilitas optimum pada penambahan fraksi massa kaolin putih 30% dan *feldspar* 40% sebesar 0.0034 ml/cm<sup>2</sup> jam dan hasil permeabilitas terendah didapat pada penambahan fraksi massa kaolin putih 45% dan *feldspar* 25% yaitu sebesar 0,0017 ml/cm<sup>2</sup> jam. Begitu juga yang terjadi pada penambahan fraksi massa kaolin coklat dan *feldspar*. Dengan penambahan fraksi massa kaolin coklat 30% dan *feldspar* 40% didapatkan hasil permeabilitas optimum sebesar 0,0051 ml/cm<sup>2</sup> jam Dan hasil permeabilitas terendah didapat pada penambahan fraksi massa kaolin putih 45% dan *feldspar* 25% sebesar 0,0017 ml/cm<sup>2</sup> jam. Hal ini disebabkan karena kaolin merupakan tanah liat yang bersifat sebagai pengikat saat terjadi proses pembakaran pada bahan keramik. Sifat pada kaolin ini yang membuat permeabilitas pada keramik kecil. Maka semakin banyak fraksi massa kaolin yang digunakan maka semakin rendah

permeabilitas yang terjadi. Gambar diatas menunjukkan permeabilitas keramik menurun setelah melewati permeabilitas optimum. Semakin bertambahnya fraksi massa *feldspar* maka permeabilitas yang terjadi akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena bahan-bahan felspatik berfungsi sebagai fluks, yaitu bahan yang dapat menurunkan temperatur bakar dari bahan lain. Akibatnya bahan-bahan silika mencair dan mulai memasuki pori-pori yang kosong, maka semakin sedikit pori-pori pada keramik.

Jadi semakin bertambahnya fraksi massa kaolin dan berkurangnya fraksi massa *feldspar* maka permeabilitas keramik akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena kaolin sebagai pengikat lebih banyak dibandingkan *feldspar* sebagai pelebur. Semakin bertambahnya fraksi massa *feldspar* dan berkurangnya fraksi massa kaolin maka permeabilitasnya akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena semakin banyak *feldspar* maka semakin banyak bahan yang dilebur oleh *feldspar*.

Dari gambar 4.1 dan gambar 4.3 menunjukkan bahwa adanya korelasi antara porositas *clay ceramic* dan permeabilitas *clay ceramic*. Untuk mengetahui porositas *clay ceramic* secara visual dilakukan uji SEM seperti yang terlihat pada gambar 4.4 dibawah ini:



Gambar 4.4 (a). Foto SEM spesimen dengan variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* (45+25)%, (b). Foto SEM spesimen dengan variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* (30+40)%, (c). Foto SEM spesimen dengan variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* (20+50)% dengan perbesaran 250x.

Pada gambar 4.4 (a) variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* (45+25)% terlihat butiran yang saling menyatu dan membuat gumpalan-gumpalan (yang ditunjukkan oleh lingkaran merah) yang menyebabkan pori-pori pada spesimen tidak ada karena adanya kaolin sebagai pengikat. Sedangkan pada gambar 4.4 (b) diatas terlihat bahwa butiran

pada variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* (30+40)% terlihat masih banyak butiran yang belum saling menyatu sehingga menyebabkan pori-pori pada spesimen masih banyak. Dan pada gambar 4.4 (c) variasi fraksi massa kaolin dan *feldspar* (20+50)% terlihat bahwa terdapat gumpalan-gumpalan yang merupakan gabungan/ikatan antar butiran penyusun *clay ceramic* yang saling menyatu akibat lelehan *feldspar*. Daerah yang dilingkari warna merah dimungkinkan sebuah metakaolin atau *feldspar*. Namun untuk memastikannya perlu dikaji lebih lanjut pada penelitian selanjutnya.

