

## **BAB 5**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Porous Body Properties**

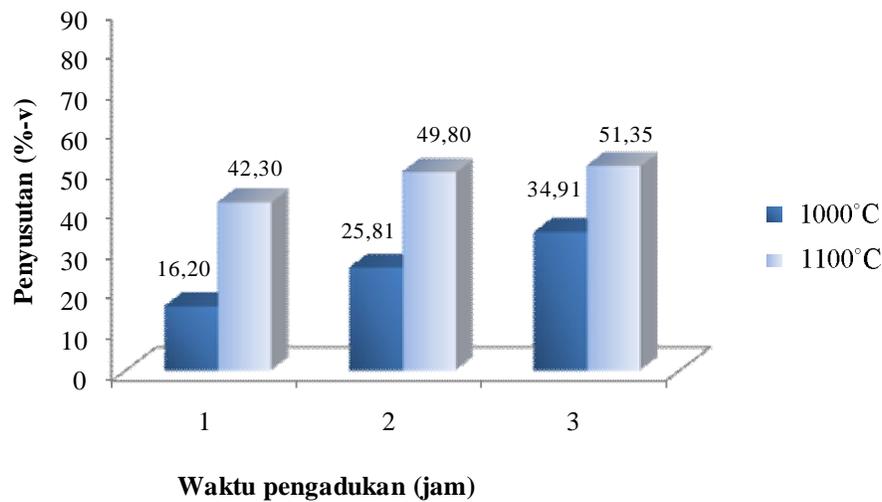
Porositas merupakan bagian penting dalam pembuatan keramik. Pada metode *starch consolidation*, *wheat particles* digunakan sebagai agen pembentuk pori. Partikel *wheat* akan terdispersi dalam air dan membentuk gel karena adanya pemanasan. Tiga puluh lima gr *wheat particles* akan menyerap 100 ml air pada 100°C (Prabhakaran dkk, 2007). Pengadukan dilakukan selama 1, 2 dan 3 jam. Selama pengadukan berlangsung, viskositas *slurry* akan bertambah sehingga terbentuk pasta. Pasta tersebut selanjutnya dikeringkan di dalam oven sehingga dihasilkan *green bodies*. Selama proses pengeringan, terjadi penyusutan volum. Semakin lama waktu pengadukan maka persentase penyusutan tersebut akan semakin kecil.

Penyusutan volum untuk *slurry* yang diaduk selama 1, 2 dan 3 jam adalah 55,87; 54,83 dan 53,22%. Penurunan ini disebabkan terbentuknya ikatan antara air dengan partikel TCP. Waktu pengadukan yang semakin lama akan meningkatkan jumlah ikatan tersebut sehingga sulit untuk dilepas ketika pengeringan di dalam oven. Hal ini mengakibatkan penyusutan terkecil terjadi pada waktu pengadukan 3 jam dimana jumlah ikatan antara air dengan partikel TCP paling tinggi.

#### **5.2 Pengaruh Temperatur Sintering dan Waktu Pengadukan**

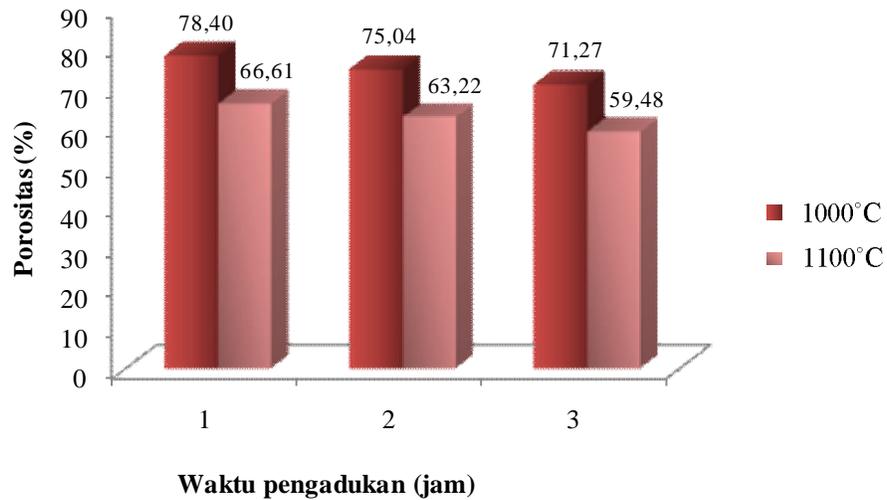
*Sintering* dilakukan pada temperatur 1000°C dan 1100°C. Tidak terjadi deformasi atau kerusakan pada badan sampel selama proses *sintering*.





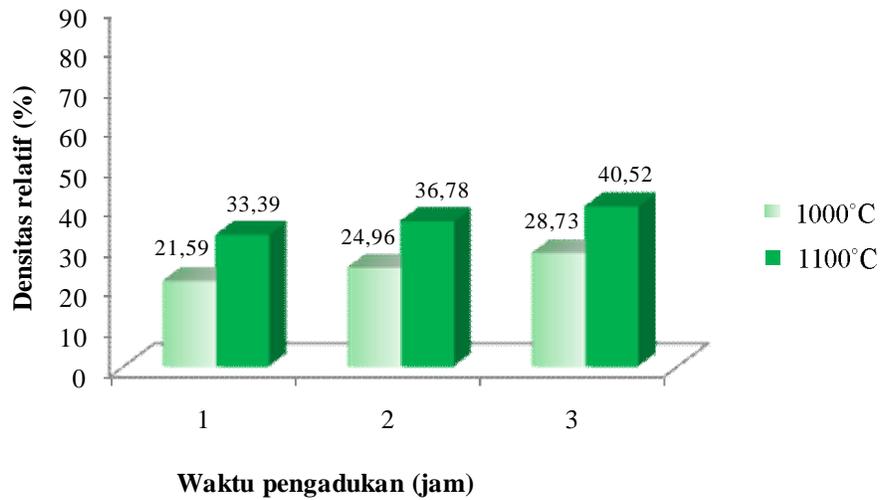
**Gambar 5.1** Penyusutan (%-v) TCP setelah *sintering*

*Physical properties* yang diukur adalah persentase penyusutan setelah *sintering*, porositas dan densitas relatif. Gambar 5.1 menunjukkan sampel mengalami penyusutan pada rentang 16,20-51,35%. Temperatur *sintering* yang semakin tinggi menyebabkan penyusutan yang semakin besar. Kenaikan temperatur akan memperbesar laju densifikasi sampel sehingga partikel-partikel keramik menjadi semakin padat dan bersatu dengan kuat (Kang, 2005). Hal ini mengakibatkan ukuran *body* sampel menjadi semakin kecil. Fabrikasi alumina-hidroksiapatit yang dilakukan Sopyan dkk. (2012) memperoleh hasil yang sesuai, yaitu ketika temperatur *sintering* dinaikkan dari 1350-1550°C, penyusutan *body* sampel berkurang dari 28,6-43,3%. Penyusutan *body* sampel juga dipengaruhi oleh waktu pengadukan *slurry*. Waktu pengadukan yang semakin lama akan meningkatkan jumlah air yang terikat dengan TCP. Air terikat ini akan terlepas dari partikel keramik ketika proses *burning* dan *sintering*. Oleh karena itu, sampel dengan waktu pengadukan paling lama akan mengalami penyusutan paling besar.



**Gambar 5.2** Porositas (%) TCP setelah *sintering*

Gambar 5.2 menunjukkan porositas sampel pada rentang 59,48-78,40%. Waktu pengadukan yang semakin lama mengakibatkan berkurangnya porositas. Porositas yang semakin kecil menyatakan sampel berstruktur lebih padat sehingga memiliki densitas yang lebih besar. Fenomena ini sesuai dengan HA berpori yang mengalami kenaikan porositas dari 42,7 menjadi 49,4% dan penurunan densitas dari 1,81 menjadi 1,60 gr/cm<sup>3</sup> setelah diaduk selama 4 dan 20 jam (Sopyan dan Kaur, 2009). Gambar 5.3 menunjukkan adanya kenaikan densitas ketika temperatur *sintering* semakin besar. Kenaikan ini disebabkan partikel semakin kompak dan memadat (densifikasi) pada temperatur yang lebih tinggi.



**Gambar 5.3** Densitas relatif (%) TCP setelah *sintering*

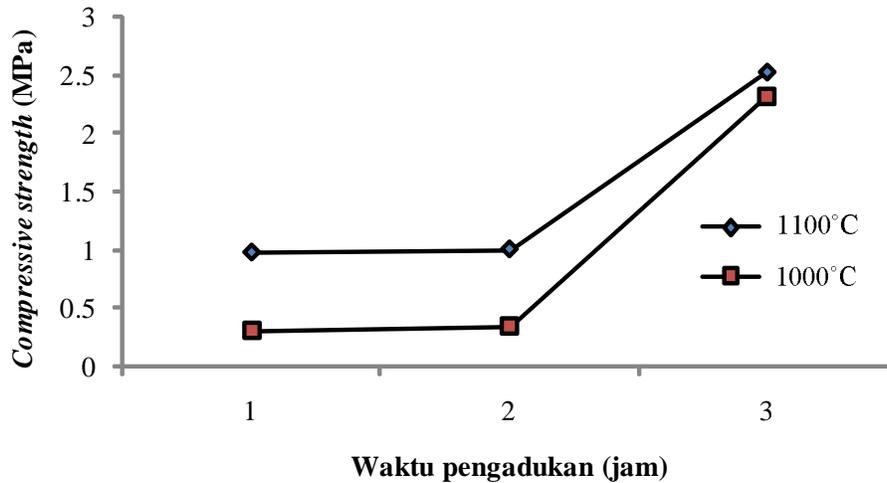
Densitas yang lebih besar akan mereduksi pori dan menghasilkan porositas yang lebih kecil. Hal ini telah dibuktikan oleh Ploeg dkk, (2010) dalam fabrikasi TCP pada temperatur *sintering* 950, 1050 dan 1150°C yang menghasilkan densitas 2,27; 2,84 dan 3,22 gr/cm<sup>3</sup> dengan porositas 24, 6 dan 0%. Hal serupa juga terjadi pada fabrikasi TCP pada temperatur *sintering* 1450 dan 1550°C, TCP yang diperoleh memiliki porositas 95 dan 90% (Udoh dkk, 2010).

### 5.3 Mechanical Properties

Gibson & Asby (1988) melaporkan bahwa kuat tekan (*compressive strength*) keramik berpori akan meningkat seiring dengan berkurangnya porositas. Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa ketika waktu pengadukan dan temperatur *sintering* semakin besar (mikrostruktur semakin padat) maka kuat tekan TCP semakin tinggi. Pada 1000°C, sampel dengan porositas 78,40; 75,04 dan 71,27% memiliki kuat tekan 0,30; 0,35 dan 2,32 MPa sedangkan sampel dengan porositas 66,61; 63,22 dan 59,48% pada 1100°C mempunyai kuat tekan 0,98-2,53 MPa.



Secara umum, terdapat beberapa sampel yang termasuk pada rentang kuat tekan *cancellous bone*, yaitu berkisar 1-100 MPa (Lanza dkk, 2000).



**Gambar 5.4** Kuat tekan TCP berpori pada temperatur *sintering* yang berbeda

#### 5.4 Makro dan Mikrostruktur

*Sintering green bodies* pada 1000°C dan 1100°C menghasilkan TCP berpori dengan morfologi. Adanya penggabungan pori membentuk kesatuan pori yang memiliki kedalaman lebih tinggi. Pada waktu pengadukan 1 jam, terlihat 2 pori yang berdekatan satu sama lain. Waktu pengadukan yang lebih lama (2 jam) menyebabkan kedua pori tersebut menempel dan membentuk kesatuan setelah diaduk selama 3 jam. Fenomena ini dikarenakan waktu pengadukan yang lama menghasilkan frekuensi tumbukan yang semakin besar sehingga konsolidasi antar partikel *porogen* semakin mungkin terjadi. Makropori yang dihasilkan pada temperatur *sintering* 1100°C adalah 300-310  $\mu\text{m}$ . Hulbert dkk, (1987) menyatakan bahwa ukuran pori optimum untuk *osteoconduction* adalah 150  $\mu\text{m}$ , sedangkan menurut Emadi dkk,



(2010) untuk pertumbuhan tulang dibutuhkan pori berukuran 100-1000  $\mu\text{m}$  sebagai saluran distribusi aliran darah.

Temperatur *sintering* yang semakin tinggi mengakibatkan mikrostruktur sampel berubah. Kenaikan temperatur *sintering* menghasilkan ukuran pori yang lebih kecil dan menyebabkan *grain* berikatan satu sama lain akibat fusi partikel. Waktu pengadukan yang semakin lama dapat menghasilkan distribusi partikel yang lebih homogen. Hal ini sesuai dengan Ramay & Zhang (2003) dan Sopyan dkk. (2012) yang melaporkan bahwa waktu pengadukan yang lama akan mengurangi aglomerasi dan porositas sehingga meningkatkan *compressive strength* dan densitas. Jarak antar partikel yang mulanya sangat rapat (aglomerasi) menunjukkan kerenggangannya ketika waktu pengadukan semakin lama. Ukuran pori yang lebih besar dan mengindikasikan bahwa TCP tersebut memiliki pori terbuka dengan interkonektivitas antar pori yang baik. Pori terbuka dengan interkonektivitas yang baik merupakan karakteristik implan untuk penetrasi tulang dan *osteointegration* (Ravaglioli & Krajewski, 1997).

