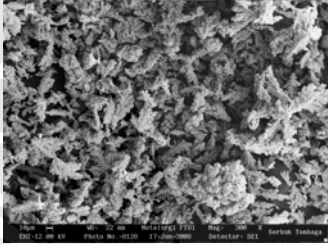
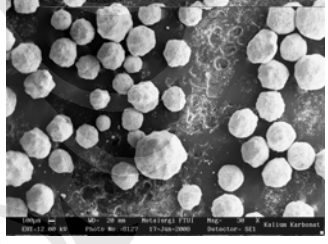
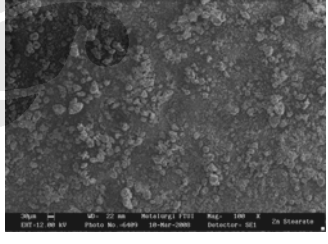


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 KARAKTERISTIK BAHAN

Tabel 4.1 Perbandingan karakteristik bahan.

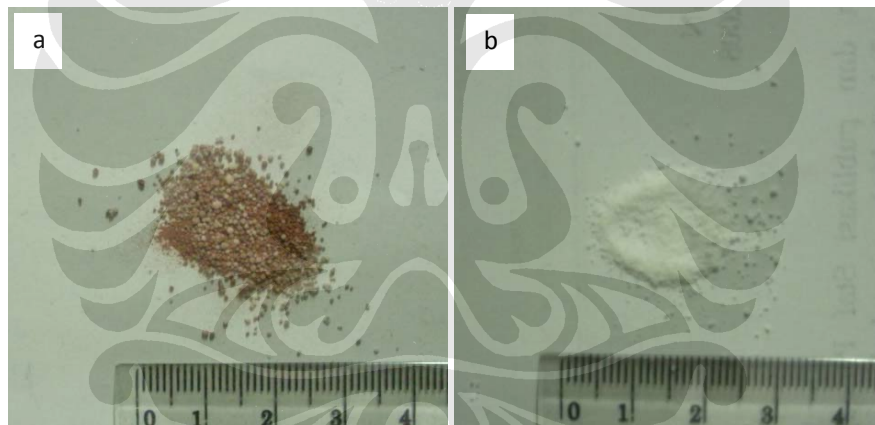
BAHAN	FASA	BENTUK PARTIKEL	UKURAN	GAMBAR SEM
Tembaga	padat	<i>dendritic</i>	<63 $\mu\text{m}$	
Kalium Karbonat	padat	<i>globular</i>	233-916 $\mu\text{m}$	
Zinc Stearate	padat	<i>poligonal</i>	20-76 $\mu\text{m}$	
Etanol	cair	-	-	-

Luas area besar permukaan serbuk akan menyebabkan gesekan antarpartikel yang tinggi sehingga aliran material menjadi kurang efisien, hal ini akan menyebabkan densitas yang rendah pada bakalan<sup>[3]</sup>. Tembaga memiliki ukuran serbuk yang kecil atau memiliki luas area yang besar sehingga akan menyebabkan densitas bakalan yang rendah dan secara tidak langsung akan

menyebabkan kekuatan dari tembaga busa menjadi rendah. Pembahasan mengenai densitas dan kekuatan tekan dapat dilihat pada sub-bab 4.6 dan 4.7.

Kalium karbonat yang berbentuk bulat akan mempengaruhi hasil akhir dari pori-pori yang terbentuk pada tembaga busa. Serbuk tembaga yang digunakan mempunyai ukuran lebih kecil ( $<63 \mu\text{m}$ ) dibandingkan serbuk kalium karbonat ( $233\text{-}916 \mu\text{m}$ ) sehingga serbuk tembaga akan mengisi ruang kosong antara serbuk kalium karbonat pada saat proses kompaksi. Hal ini dapat dilihat dari gambar struktur makro dimana pori-pori bulat yang merupakan hasil dari proses pelarutan kalium karbonat terletak diantara matrik tembaga dan ada jarak antarpori pada permukaan dalam tembaga busa yang dapat dilihat pada gambar 4.10.

#### 4.2 SERBUK HASIL PENCAMPURAN

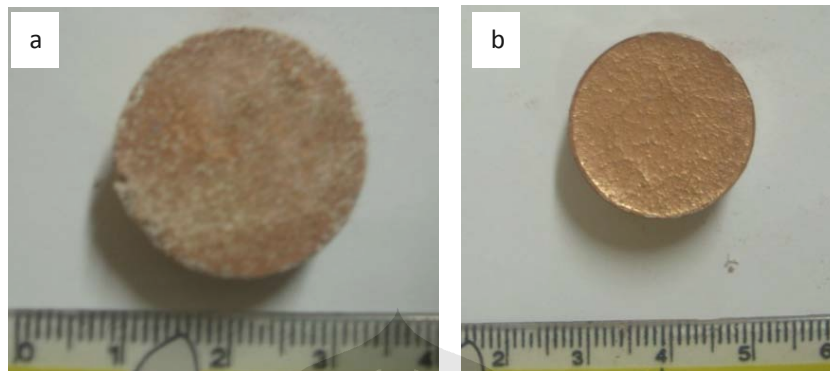


**Gambar 4.1.** Serbuk hasil pencampuran (a) dan kalium karbonat (b).

Pada gambar 4.1 terlihat hasil dari proses pencampuran didapatkan partikel serbuk kalium karbonat yang tertutup serbuk tembaga karena ukuran partikel dari serbuk kalium karbonat lebih besar dibandingkan serbuk tembaga. Perbedaan berat jenis yang sangat besar (berat jenis tembaga 3 kali lebih berat daripada berat jenis kalium karbonat) menyulitkan untuk mendapatkan hasil campuran serbuk yang seragam. Etanol merupakan zat organik yang digunakan untuk menjadi pengikat (*binder*) dalam proses sinter dan pelarutan karbonat. Selain berfungsi menjadi pengikat, etanol juga berfungsi untuk menghasilkan

campuran yang seragam dan mencegah segregasi dalam hasil pencampuran<sup>[10]</sup>. Proses pengikatan terjadi pada saat terjadi proses aglomerisasi atau penggumpalan sehingga terjadi pengikatan antara partikel kalium karbonat dengan tembaga. Pada hasil pencampuran juga terlihat segregasi dimana hasil segregasi ini dikarenakan oleh kemampuan serbuk tembaga untuk menepel dipermukaan serbuk kalium karbonat sehingga serbuk tembaga yang tidak menepel pada permukaan serbuk kalium karbonat akan memisahkan diri dari serbuk hasil pencampuran kalium karbonat dengan tembaga atau terjadi segregasi. Hasil pengikatan partikel serbuk tembaga dan kalium karbonat dapat dilihat dari hasil pencampuran yang berwarna putih kecoklat-coklatan yang merupakan hasil pelekatan serbuk kalium karbonat dengan tembaga. Pelekatan ini dapat dikarenakan oleh kekasaran serbuk tembaga dan penggunaan etanol sebagai pengikat. Etanol tidak bereaksi dengan kalium karbonat sehingga tidak mengganggu proses secara keseluruhan. Pada hasil pencampuran juga terlihat adanya penggumpalan akibat efek dari penyerapan serbuk tembaga terhadap kelembapan. Penggunaan etanol akan menyebabkan terjadi oksidasi di permukaan tembaga dan hal ini akan menyebabkan peningkatan aliran material yang memiliki bentuk dan ukuran berbeda<sup>[3]</sup>. Adanya peningkatan aliran material akan menyebabkan peningkatan densitas pada bakalan tembaga busa. Dalam penelitian ini etanol ditambahkan sekitar 1% dari berat keseluruhan dalam proses pencampuran. Jumlah penambahan etanol sesuai dengan jurnal dan beberapa referensi dimana kuantitas penambahan etanol berkisar antara 0.25 -2.5 % dari keseluruhan campuran<sup>[10]</sup>. Namun pada hasil pencampuran masih terjadi segregasi sehingga dapat diambil kesimpulan penggunaan 1 % etanol pada campuran tembaga dengan kalium karbonat kurang baik untuk menghasilkan campuran yang seragam. Adanya

### 4.3 BAKALAN HASIL KOMPAKSI



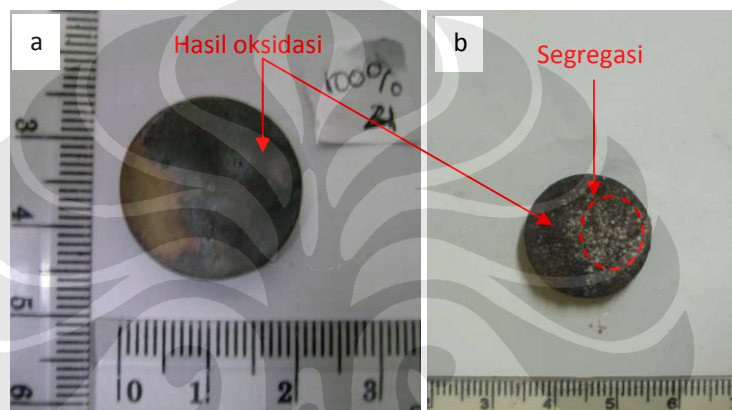
Gambar 4.2. Bakalan hasil kompaksi (a) bagian atas dan (b) bagian bawah.

Tekanan kompaksi sangat mempengaruhi densitas yang didapatkan pada bakalan tembaga busa dimana semakin besar tekanan kompaksi akan meningkatkan densitas bakalan<sup>[11]</sup>. Tekanan kompaksi harus melampaui tegangan luluh dari logam (tegangan luluh tembaga = 69 MPa) sehingga terjadi proses deformasi plastis yang dapat menurunkan persentase porositas namun penggunaan tekanan kompaksi dibawah tegangan luluh juga dapat dipakai dalam proses sinter dan pelarutan karbonat<sup>[10]</sup>. Tekanan kompaksi yang dipakai untuk mendapatkan bakalan (*green compact*) pada penelitian ini sebesar 200 bar atau 20MPa menghasilkan densitas bakalan sebesar 5.71 gr/cm<sup>3</sup> sedangkan pada penelitian Medhat Awad El-Hadek dan Saleh Kaytbay<sup>[18]</sup> yang berjudul “*Mechanical and physical characterization of copper foam*” mendapatkan densitas 8.31 gr/cm<sup>3</sup> yang dihasilkan dari tekanan kompaksi sebesar 210 MPa atau 2100 bar. Hal ini berarti tekanan kompaksi yang dipakai dalam penelitian ini kurang tinggi namun penggunaan tekanan kompaksi 200 bar tidak bisa disalahkan karena mesin kompaksi krisbow yang ada di Departemen Metalurgi dan Material FTUI tidak mampu mencapai tekanan kompaksi yang tinggi. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan tekanan kompaksi 200 bar kurang baik untuk menghasilkan densitas yang tinggi.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat hasil kompaksi yang didapatkan dalam penelitian ini berupa tidak meratanya kalium karbonat dalam matrik tembaga atau terjadi segregasi dalam hasil kompaksi. Pada gambar tersebut terlihat jumlah kalium karbonat lebih banyak pada bagian yang terkena penekan (*punch*) daripada

bagian bawah bakalan yang tidak terkena penekan pada saat proses kompaksi. Segregasi ini disebabkan oleh perbedaan berat jenis serbuk yang besar antara tembaga dengan kalium karbonat sehingga dalam proses penuangan serbuk kedalam *dies* tidak terjadi pengaturannya yang merata karena berat jenis yang lebih berat (tembaga) akan lebih dahulu sampai ke dasar *dies* dibandingkan serbuk yang berat jenisnya rendah (kalium karbonat).

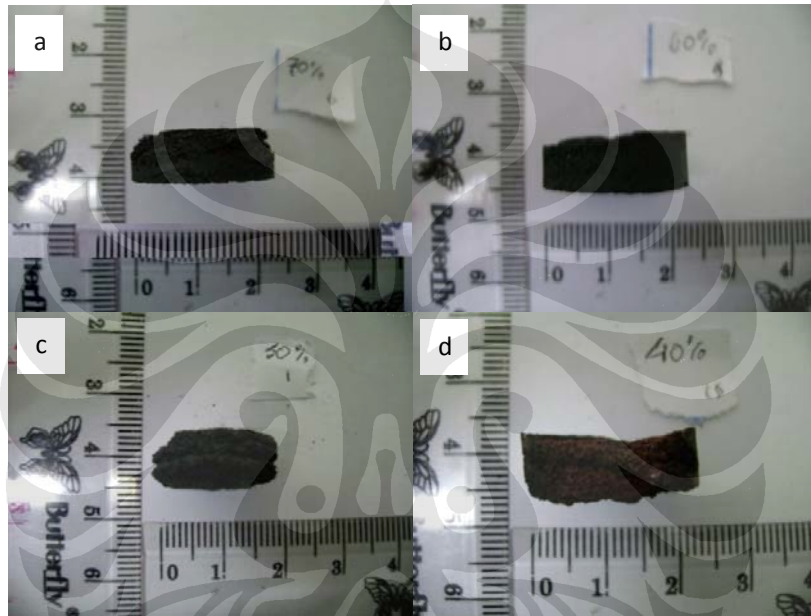
#### 4.4 BAKALAN HASIL SINTER



Gambar 4.3. Sampel hasil sinter pada variabel persentase berat (a) 0% dan (b) 30% kalium karbonat.

Hasil sinter yang didapatkan dalam penelitian ini berupa sampel yang permukaannya teroksidasi karena penggunaan gas nitrogen belum maksimal untuk mencegah proses oksidasi pada tembaga namun penggunaan gas ini dapat meminimalisir proses oksidasi dalam bakalan tembaga busa. Permukaan sampel yang berwarna hitam menandakan bahwa terjadi proses oksidasi di permukaan sampel. Oksida hitam yang terbentuk berupa cupric oxide ( $\text{CuO}$ ) yang merupakan hasil reaksi dari tembaga dengan oksigen ( $\text{O}_2$ )<sup>[19]</sup>. Terbentuknya oksida menandakan bahwa terjadi kontaminasi gas oksigen yang masuk ke dalam ruang dapur sehingga terjadi proses oksidasi dalam bakalan. Kontaminasi gas oksigen kemungkinan masuk melalui celah di kedua ujung penutup dapur. Untuk melindungi tembaga dari terjadinya proses oksidasi dapat dilakukan dengan penggunaan dapur vakum atau penggunaan gas yang lebih protektif seperti argon<sup>[10]</sup>. Terbentuknya oksida  $\text{CuO}$  juga kemungkinan dikarenakan hasil reaksi antara tembaga dengan karbonat sehingga menghasilkan tembaga karbonat

( $\text{CuCO}_3$ ). Tembaga karbonat memiliki temperatur lebur yang rendah ( $200^\circ\text{C}$ ) dan akan terdekomposisi menjadi  $\text{CuO}$  dan gas  $\text{CO}_2$ <sup>[20]</sup> sehingga menciptakan permukaan yang berwarna hitam pada sampel namun terbentuknya  $\text{CuCO}_3$  tidak bisa teramati karena temperatur leburnya rendah. Pada gambar 4.3 juga terlihat serbuk kalium karbonat yang masih berada di dalam matrik tembaga. Kalium karbonat memiliki temperatur lebur ( $891^\circ\text{C}$ ) sehingga dalam proses ini yang menggunakan temperatur  $850^\circ\text{C}$  sehingga kalium karbonat belum menjadi fasa cair atau masih berupa fasa padat.

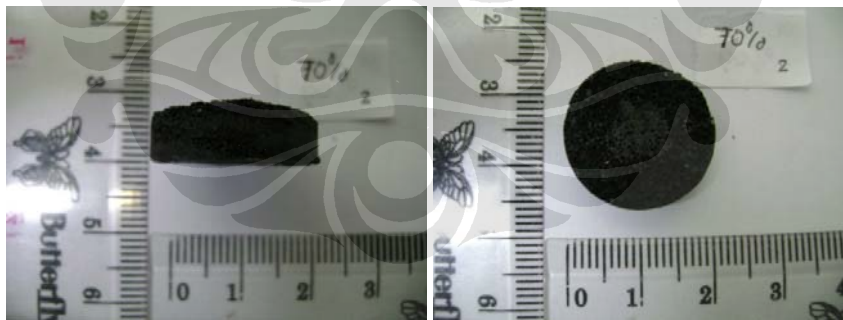


**Gambar 4.4.** Perbedaan kestabilan dimensi pada variabel persentase berat kalium karbonat (a) 30%, (b) 40%, (c) 50%, (d) 60%.

Dalam penelitian ini sampel yang terdapat kandungan kalium karbonat mempunyai bentuk yang tak beraturan terutama pada sampel dengan kandungan kalium karbonat tinggi seperti 50 % dan 60 % kalium karbonat. Dalam penelitian ini, stabilitas dimensi menjadi suatu hal yang permasalahan dalam penelitian ini karena sulit untuk mendapatkan bentuk kondisi sampel yang seperti sebelum proses sinter, hal ini dapat terlihat pada gambar 4.4. Buruknya stabilitas dimensi dalam penelitian ini disebabkan oleh tekanan kompaksi yang kurang tinggi sehingga bakalan hasil kompaksi kurang kuat untuk menahan reaksi karbonat terhadap panas yang menimbulkan gas  $\text{CO}_2$ . Karbonat dalam bakalan hasil kompaksi terletak diantara matrik tembaga sehingga tekanan gas  $\text{CO}_2$  dari dalam bakalan akan menyebabkan terlepasnya beberapa- bagian dari bakalan yang

kekuatan atau ikatan antarpartikelnya lemah. Selain itu, hasil kompaksi yang memiliki tingkat segregasi kalium karbonat yang tinggi akan menyebabkan daerah yang memiliki kalium karbonat yang tinggi (segregasi) akan menyebabkan daerah tersebut terlepas dari bakalan. Semakin tinggi kadar kalium karbonat maka akan semakin tinggi kemungkinan terjadi segregasi pada bakalan. Hal ini ditandai oleh sampel tembaga busa yang memiliki persentase berat kalium karbonat yang rendah (30 % dan 40 % kalium karbonat) memiliki bentuk yang lebih stabil dibandingkan sampel yang memiliki persentase berat kalium karbonat yang tinggi (50 % dan 60 % kalium karbonat). Dalam beberapa jurnal seperti "*lost carbonate sintering process for manufacturing metal foams*" yang ditulis oleh Y.Y Zhao<sup>[9]</sup> yang menggunakan temperatur sinter 850°C selama 4 jam dan menghasilkan tembaga busa yang memiliki sifat fisis yang baik. Hal ini mungkin terjadi karena densitas bakalan kurang kuat karena pada jurnal yang ditulis oleh Y.Y Zhao<sup>[9]</sup> memakai tekanan kompaksi sebesar 200 MPa atau 10 kali lebih besar dari tekanan kompaksi yang dipakai dalam penelitian ini sehingga pada penelitian terjadi ketidakstabilan dimensi.

#### 4.5 BAKALAN HASIL PELARUTAN

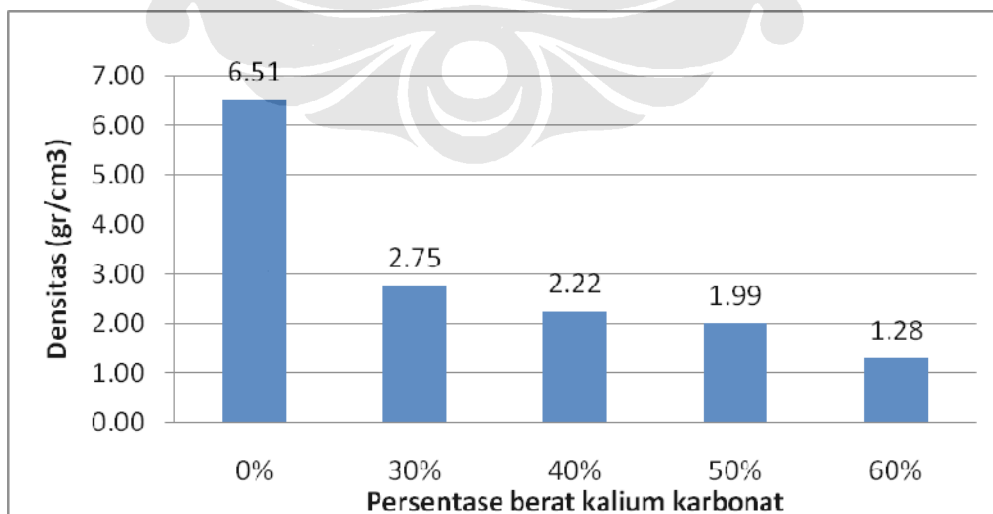


Gambar 4.5. Hasil pelarutan pada variabel 30 % kalium karbonat.

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa bakalan hasil pelarutan terdapat perbedaan dengan bakalan hasil sinter dimana terdapat pori-pori yang terbentuk dipermukaannya. Pori-pori tersebut berasal dari kalium karbonat yang larut dalam proses pelarutan. Kalium karbonat dapat larut pada suhu 20 °C dengan kelautan dalam air sebesar 112 g/100 mL<sup>[16]</sup>. Pori-pori yang terbentuk tidak hanya dipermukaan bahkan pori-pori tersebut juga terbentuk didalam bakalan namun hal

ini akan dibahas pada analisa hasil pengamatan SEM. Dalam proses pelarutan menggunakan air hangat dengan air yang mengalir selama 2 jam. Air hangat (40-50°C) digunakan agar proses pelarutan berjalan dengan cepat sedangkan penggunaan air yang mengalir agar air dapat masuk kedalam pori-pori yang sudah larut lebih dahulu dan kemudian melarutkan kalium karbonat yang ada di dalam bakalan hasil sinter sehingga akan menghasilkan pori-pori dibagian dalam tembaga busa. Penggunaan air yang mengalir juga mempertinggi kontak air dengan kalium karbonat sehingga proses pelarutan dapat berjalan dengan sempurna. Waktu pelarutan selama 2 jam bertujuan agar semua kalium karbonat dalam bakalan hasil sinter dapat larut semua. Kalium karbonat yang larut dalam air akan menghasilkan kalium hidroksida (KOH) dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>)<sup>[16]</sup>. Terbentuknya kalium hidroksida yang akan menghasilkan kebasaaan pada media pelarut namun zat basa ini tidak mengganggu bereaksi terhadap tembaga<sup>[9]</sup>. Dalam proses pelarutan menunjukan terjadi proses pelarutan kalium karbonat dimana terbentuk gelembung udara dipermukaan bakalan. Gelembung udara tersebut kemungkinan gas karbondioksida yang merupakan hasil reaksi kalium karbonat dangan air. Pada bakalan hasil proses pelarutan tidak ditemukan perubahan warna sehingga dapat disimpulkan hasil reaksi antara kalium karbonat dengan air hangat tidak mengganggu proses pembuatan tembaga busa.

#### 4.6 DENSITAS LOGAM BUSA



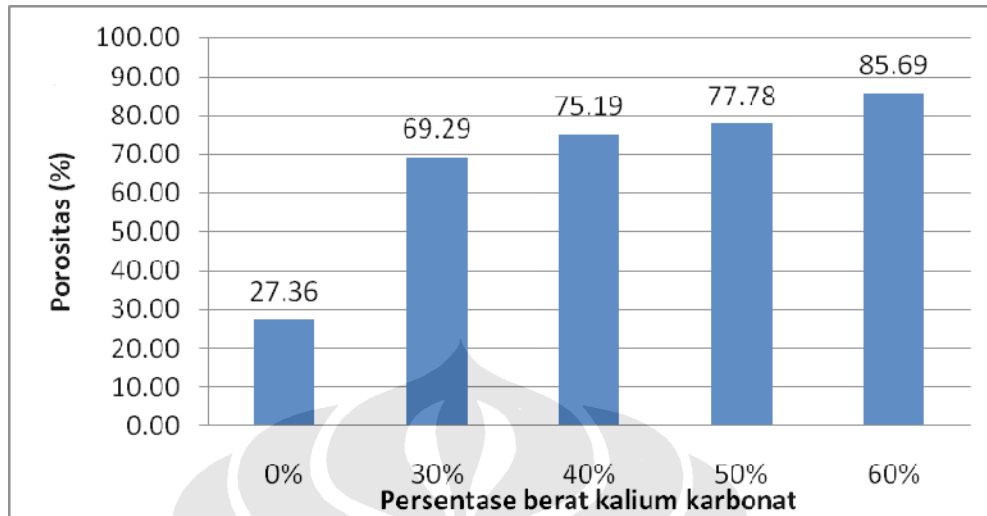
**Gambar 4.6.** Grafik hubungan antara persentase berat dan volum kalium karbonat dengan densitas.



Pada Gambar 4.6 terlihat hubungan antara persentase berat dan volum kalium karbonat dengan densitas dimana semakin tinggi persentase kalium karbonat yang terkandung dalam tembaga busa maka densitasnya akan semakin rendah pula dengan nilai densitas yang tertinggi yaitu  $6.50 \text{ gr/cm}^3$  pada persentase berat 0 % kalium karbonat dan nilai densitas terendah yaitu  $1.28 \text{ gr/cm}^3$  pada persentase berat 60 % tembaga. Pada sampel yang terdapat kandungan karbonat seperti pada variabel 60 %, 50%, 40%, 30%, densitas sampel akan semakin menurun terhadap kenaikan persentase berat kalium karbonat dalam sampel. Hal ini disebabkan oleh kandungan kalium karbonat yang dalam sampel. Kalium karbonat yang larut dalam proses pelarutan akan menghasilkan pori-pori dalam tembaga busa dimana semakin banyak pori-pori dalam tembaga busa akan menghasilkan volum tembaga busa yang lebih kecil. Tembaga busa dengan persentase logam yang besar akan memiliki berat yang lebih besar dan volumenya akan lebih kecil sehingga densitas lebih tinggi dibandingkan tembaga busa dengan persentase logam yang kecil. Selain itu persentase porositas dalam bakalan akan mempengaruhi densitas tembaga busa dimana semakin banyak porositas akan menurunkan densitas tembaga busa.

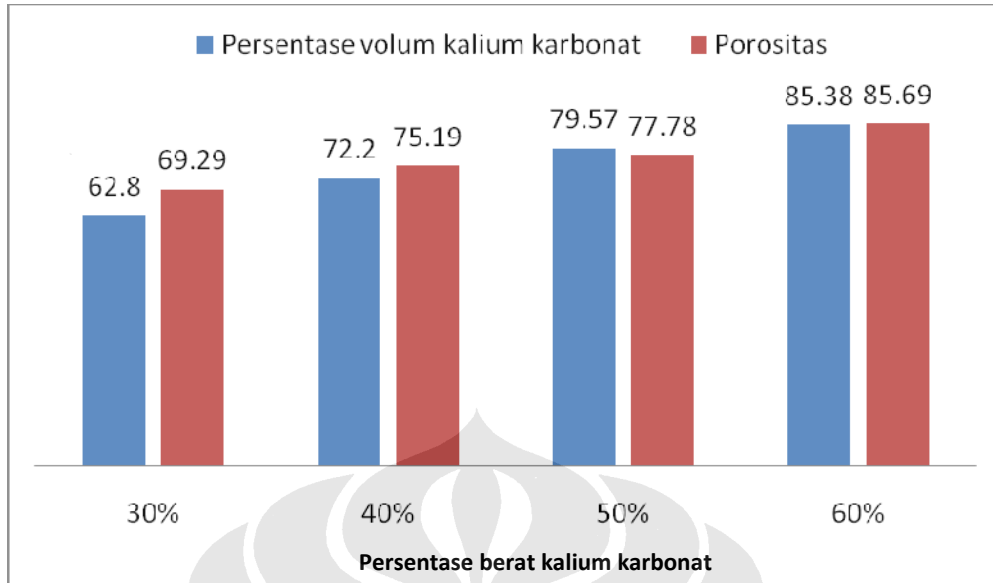
Dalam persentase berat 0 % kalium karbonat mengalami peningkatan densitas dimana dalam nilai densitas yang didapat setelah proses kompaksi yang nilai sebesar  $5.71 \text{ gr/cm}^3$  sedangkan nilai densitas setelah sinter sebesar  $6.50 \text{ gr/cm}^3$ . Hal ini berarti terjadi proses pemadatan dalam serbuk tembaga pada temperatur sinter sebesar  $850^\circ\text{C}$ . Adanya proses pemadatan akan mengurangi volum dan jumlah pori seperti gambar 2.16 sehingga akan meningkatkan densitas tembaga.

#### 4.7 POROSITAS LOGAM BUSA



**Gambar 4.7.** Grafik hubungan antara persentase kalium karbonat dengan porositas.

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio persentase tembaga dan kalium karbonat terhadap porositas yang dihasilkan dalam tembaga busa. Dalam penelitian porositas dalam tembaga merupakan suatu hal yang diinginkan. Pada gambar 4.7 terlihat hubungan antara persentase berat kalium karbonat dengan porositas terlihat bahwa semakin tinggi persentase karbonat yang terkandung dalam tembaga busa maka porositasnya akan semakin tinggi dengan nilai porositas yang tertinggi yaitu 85.69 % pada persentase berat 60 % kalium karbonat dan nilai porositas terendah yaitu 27.35 % pada persentase berat 0 % kalium karbonat. Hal ini disebabkan oleh pori-pori yang ada dalam tembaga busa bukan hanya dihasilkan pada saat proses kompaksi namun pori-pori dalam jumlah yang banyak juga disebabkan oleh proses pelarutan kalium karbonat (*dissolution*). Dalam penelitian Y.Y Zhao<sup>[9]</sup> dan Medhat Awad El-Hadek<sup>[18]</sup> juga menemukan hasil yang sama yaitu semakin besar persentase kalium karbonat yang terkandung dalam bakalan tembaga busa akan semakin banyak pori yang akan timbul dalam tembaga busa. Penggunaan banyaknya kalium karbonat akan mempengaruhi jumlah porositas yang dihasilkan tembaga busa .

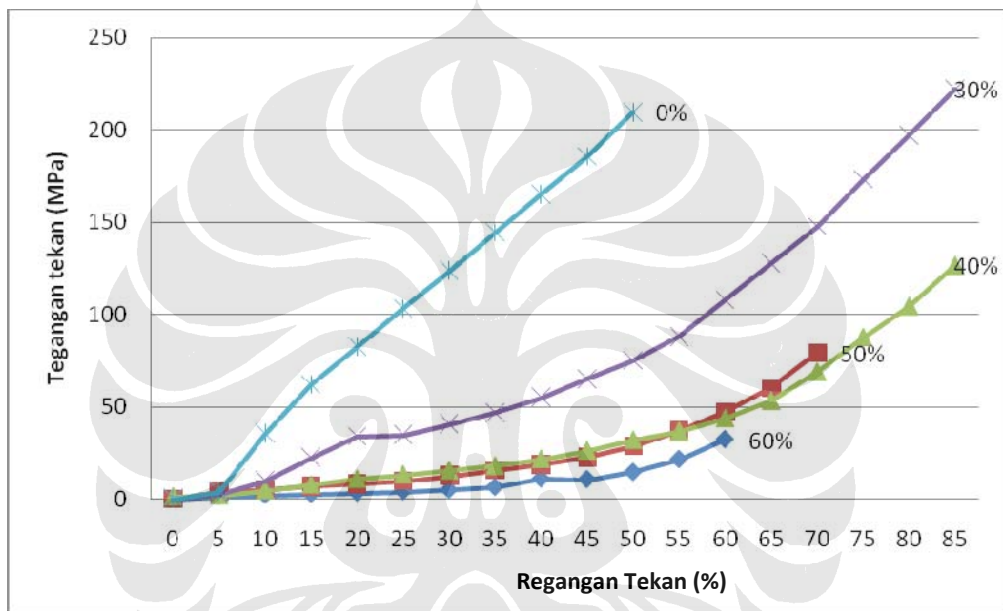


**Gambar 4.8.** grafik hubungan persentase kalium karbonat dengan persentase porositas dan persentase volum kalium karbonat.

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa persentase kalium karbonat yang terkandung dalam bakalan cukup selaras dengan jumlah porositas yang dihasilkan dalam tembaga busa. Hal ini dikarenakan porositas yang dihasilkan dalam tembaga busa berasal dari pelarutan kalium karbonat walaupun porositas yang disebabkan pada tembaga busa tidak hanya berasal dari proses pelarutan namun juga berasal dari proses kompaksi. Pada hasil porositas yang dihasilkan tiap variabel memiliki perbedaan sekitar 0.3-10 % terhadap jumlah volum kalium karbonat yang ada pada bakalan. Adanya perbedaan persentase tersebut dikarenakan adanya ketidakstabilan dimensi dari sampel atau ada sebagian kecil dari bagian tembaga busa terlepas dari sehingga tidak terhitung baik dari segi jumlah dan volumenya. Namun dari perbedaan tersebut tidak terlalu jauh sehingga dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah kalium karbonat sangat mempengaruhi jumlah porositas yang dihasilkan pada tembaga busa.

Pori-pori yang dihasilkan pada tembaga busa memiliki permukaan yang warna hitam karena terjadi reaksi oksidasi tembaga pada permukaan bakalan tembaga busa pada saat proses sinter. Oksida tembaga yang berwarna hitam merupakan *cupric oxide* (CuO) yang merupakan reaksi oksidasi tembaga dengan oksigen<sup>[19]</sup>. Dalam proses sinter, gas nitrogen dialirkan ke dalam dapur untuk

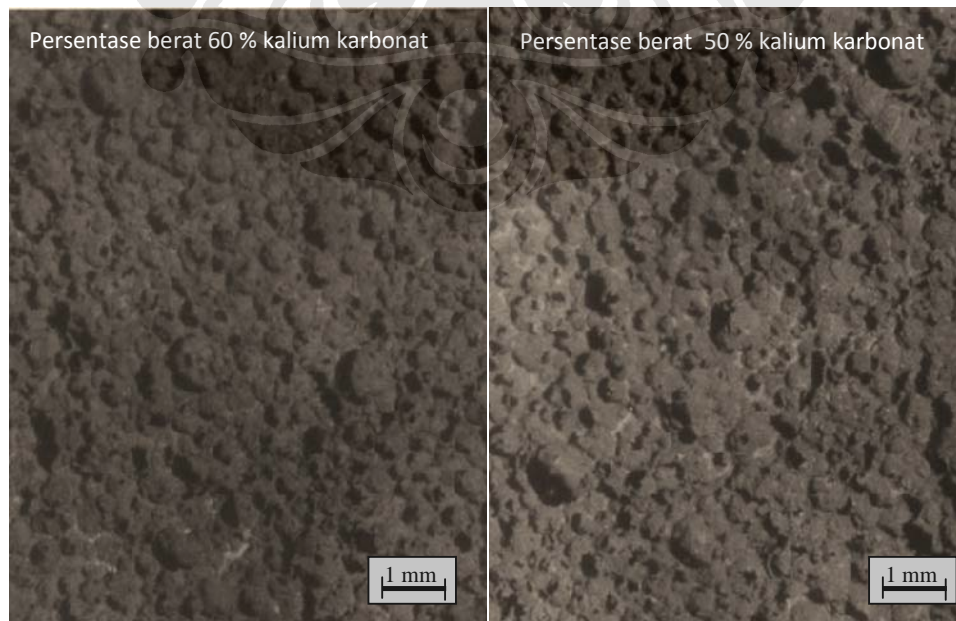
menghasilkan atmosfer yang *inert* sehingga diharapkan tidak terjadi proses oksidasi dalam bakalan tembaga busa. Walaupun sampel teroksidasi namun gas nitrogen dapat meminimalisir reaksi oksidasi tembaga, hal ini terlihat dari hanya permukaan tembaga saja yang teroksidasi atau proses oksidasi tidak sampai keseluruhan bagian dari bakalan. Reaksi oksidasi pada permukaan saja dapat dilihat dengan mengampelas bagian permukaan pori pada tembaga busa dan hasilnya akan terlihat tembaga yang bebas oksida.

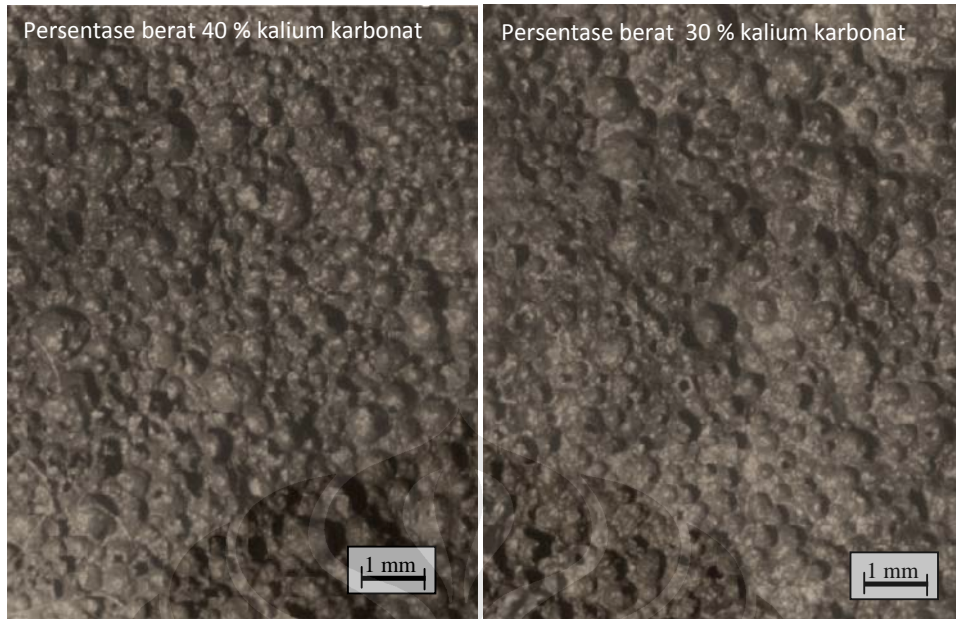


**Gambar 4.9.** Grafik hubungan antara tegangan dan regangan tekan dari pengujian tekan tiap variabel.

Adanya porositas dalam tembaga busa akan mempengaruhi sifat mekanis tembaga busa. Pada grafik 4.9 terlihat bahwa semakin kecil persentase berat kalium karbonat dalam sampel tembaga busa maka energi yang diserap semakin kecil. Porositas dalam material merupakan suatu kerugian jika material tersebut terkena beban. Adanya porositas akan menyebabkan beban yang diterima oleh matrik tembaga akan mengalir ke pori-pori sehingga terjadi pemusatan beban kepada dinding pori-pori sehingga menyebabkan daerah pori-pori tersebut mudah terjadi deformasi atau menjadi daerah awal retak<sup>[3]</sup>. Maka dengan semakin banyaknya pori-pori dalam material maka akan semakin banyak daerah yang terdeformasi sehingga kemampuan menyerap energinya lebih sedikit

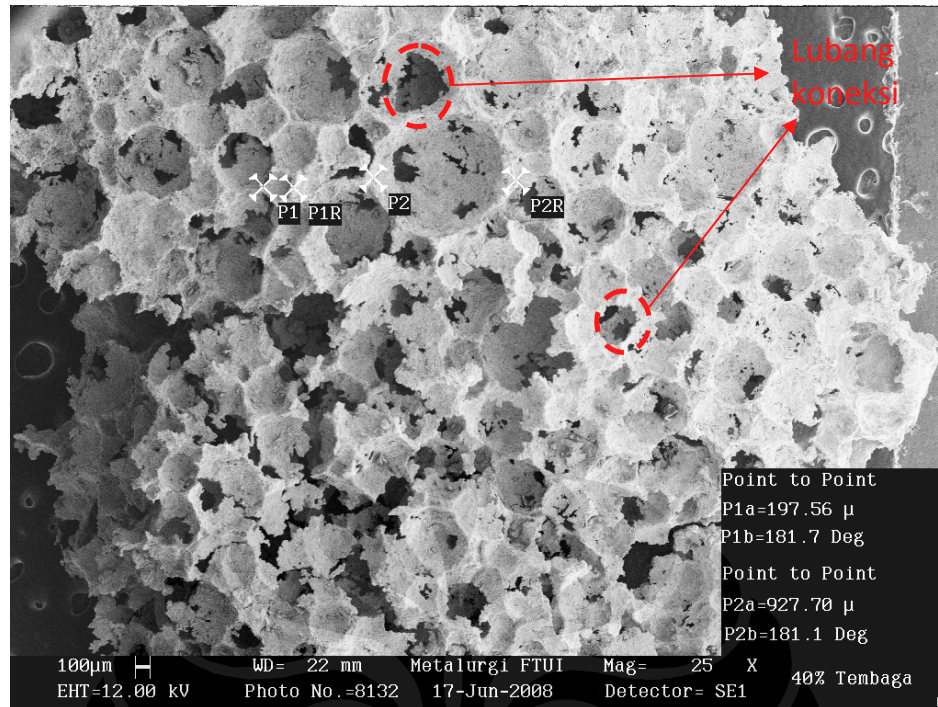
dibandingkan tembaga busa yang mempunyai persentase porositas yang lebih sedikit. Dalam penelitian ini memiliki persentase porositas 27 % (pada 0 % persentase berat kalium karbonat) dan 69-85 % (pada 60-30 % persentase berat kalium karbonat) sehingga pori-pori pada tembaga busa mempunyai peranan penting dalam kemampuan material ini dalam penyerapan energi. Persentase porositas bukan hanya suatu hal yang mempengaruhi kekuatan dari tembaga busa namun ada beberapa sifat pori-pori yang mempunyai pengaruh besar terhadap sifat mekanis dari tembaga busa seperti distribusi pori-pori dan bentuk dari pori-pori namun hal tersebut tidak dibahas dalam penelitian ini. Dalam penelitian Y.Y Zhao<sup>[9]</sup> dan Medhat Awad El-Hadek<sup>[18]</sup> juga mendapatkan hasil yang serupa dengan hasil pengujian tekan pada penelitian ini dimana tembaga busa yang memiliki porositas yang tinggi akan menyerap energi yang lebih rendah dibandingkan tembaga busa yang porositasnya rendah. Pada grafik setiap variabel tembaga busa (60-30%) memiliki perbedaan kemiringan grafik pada setelah dan sebelum 50 % regangan. Pada grafik sebelum 50 % regangan setiap variabel memiliki kemiringan yang lebih landai dimana pada daerah ini merupakan daerah kemampuan pori untuk menyerap energi atau menahan beban sedangkan pada grafik setelah 50 % regangan memiliki kemiringan yang lebih curam dimana pada daerah ini sudah terjadi proses pemadatan (densifikasi) atau pori-pori sudah hancur.





**Gambar 4.10.** Struktur makro dari permukaan dalam tembaga busa dengan menggunakan mikroskop optik.

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa perbedaan struktur makro dari permukaan tembaga busa dengan variabel persentase berat kalium karbonat 60 %, 50%, 40%, dan 30%. Pada gambar tersebut terlihat perbedaan jarak antarpori dimana pada persentase berat 40 % dan 30 % kalium karbonat memiliki jarak antar pori yang lebih besar dibandingkan persentase berat 60 % dan 50 % kalium karbonat. Jarak pori atau dinding pori yang lebih kecil akan mudah hancur dibandingkan jarak pori yang lebih besar ketika suatu material yang terbuat dari metalurgi serbuk terkena beban<sup>[3]</sup>. Jarak antarpori ini akan mempengaruhi perilaku tembaga busa dalam pengujian tekan sehingga menyebabkan energi yang serap pada tembaga busa dengan variabel persentase berat 30% dan 40% lebih besar dibandingkan tembaga busa dengan variabel persentase berat 50% dan 60%. Pada gambar 4.10 juga terlihat bahwa tembaga busa yang dihasilkan oleh penelitian ini memiliki distribusi pori-pori yang seragam sehingga grafik tegangan dan regangan yang dihasilkan memiliki bentuk yang halus (*smooth*)<sup>[9]</sup>. Distribusi pori yang seragam akan menghasilkan deformasi yang seragam pula dalam tembaga busa.



**Gambar 4.11.** Struktur mikro tembaga busa dengan menggunakan SEM pada persentase berat 60 % kalium karbonat.

Pada gambar 4.11 terlihat bentuk pori-pori dari tembaga busa yang dihasilkan dalam penelitian ini. Pori-pori tembaga busa berbentuk agak bulat yang merupakan jejak dari kalium karbonat yang larut dalam proses pelarutan. Bahan serbuk kalium karbonat yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk globular yang bentuknya juga agak bulat sehingga bentuk pori-pori yang dihasilkan dalam tembaga busa memiliki bentuk yang sama. Hal ini sejalan dengan hasil yang didapatkan oleh L.P Zang<sup>[17]</sup> dan Y.Y Zhao<sup>[9]</sup> dimana sel primer yang berbentuk bulat menyerupai bentuk dan ukuran dari kalium karbonat. Partikel serbuk kalium karbonat yang memiliki bentuk yang bulat dimana serbuk tembaga yang memiliki bentuk partikel yang dendritik akan mengisi daerah diantara partikel serbuk kalium karbonat pada saat proses kompaksi karena serbuk tembaga yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran yang lebih kecil ( $< 63 \mu\text{m}$ ) dibandingkan ukuran serbuk kalium karbonat (233-916  $\mu\text{m}$ ) sehingga matrik tembaga dalam terlihat mengelilingi jejak pori-pori yang berbentuk bulat yang ditinggalkan oleh kalium karbonat saat proses pelarutan. Ukuran pori-pori tembaga busa yang dihasilkan dalam penelitian yang memiliki ukuran sekitar 197-

928  $\mu\text{m}$  dimana ukuran pori-pori tersebut hampir menyamai ukuran partikel dari kalium karbonat (233-916  $\mu\text{m}$ ). Dalam jurnal ditulis oleh Y.Y.Zhao<sup>[9]</sup> juga mendapatkan hasil yang sama dimana ukuran kalium karbonat yang dipakai dalam penelitiannya menghasilkan ukuran pori-pori yang hampir sama dengan ukuran serbuk kalium karbonat. Dari bahasan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran dan bentuk pori-pori pada tembaga busa yang dihasilkan melalui proses sinter dan pelarutan karbonat dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk serbuk kalium karbonat atau tidak ada pengaruh dari hal yang lain.

Pada gambar 4.11 juga terlihat lubang yang terbentuk pada dinding pori-pori. Lubang – lubang tersebut hampir ada pada setiap sel yang terdapat dalam tembaga busa. Lubang yang terdapat pada pori-pori tersebut merupakan bentuk dari koneksi antar pori-pori (*interconnecting cells channels*)<sup>[17]</sup>. Lubang tersebut merupakan daerah yang terbentuk oleh daerah pertemuan antarpartikel kalium karbonat pada saat proses kompaksi. Adanya koneksi antar pori akan menghasilkan tembaga busa yang bebas akan residu dari proses pelarutan.

**Tabel 4.2. Hasil pengujian EDAX pada seluruh permukaan tembaga busa**

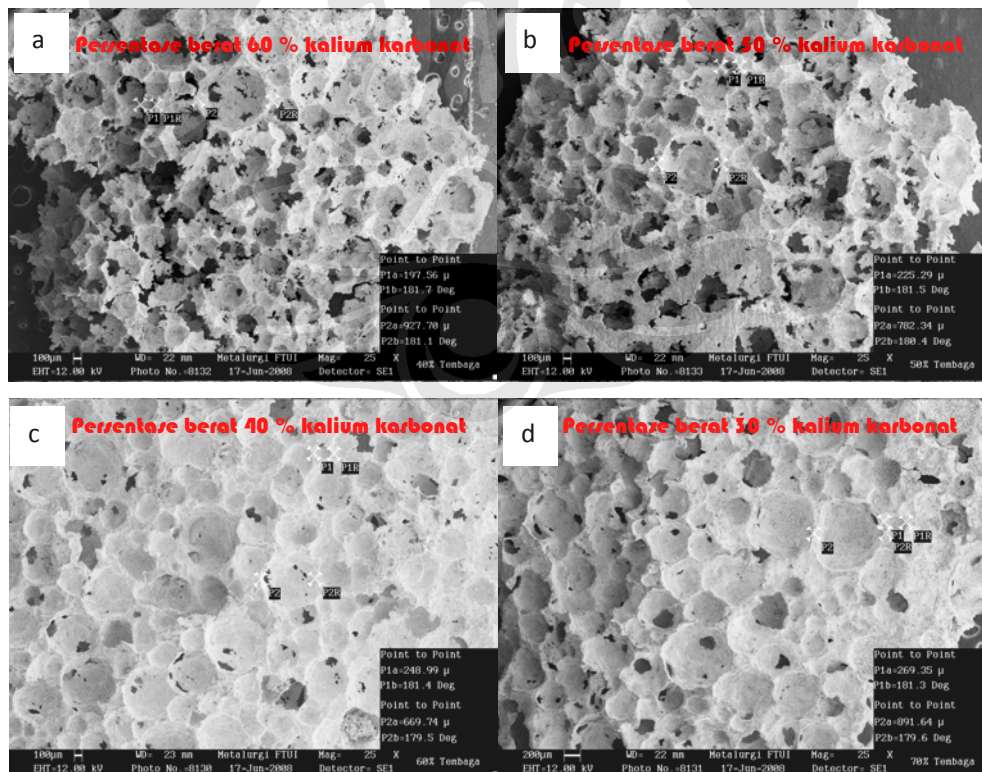
Persentase berat kalium karbonat	Persentase elemen setiap unsur (%)					
	Cu	K	C	Al	Si	O
50 %	87.07	-	7.69	0.4	0.35	4.20
70 %	90.84	0.48	3.76	-	-	4.92

Pada hasil EDAX pada sampel persentase berat 50% kalium karbonat terlihat bahwa terdapat unsur Cu (tembaga), C (karbon), O (oksigen), Al (aluminium), dan Si (silikon). Adanya unsur Al dan Si merupakan suatu pengotor yang berasal dari luar proses misalnya adanya serbuk Al yang menempel pada sampel dan tisu yang masih menempel pada pori-pori dari tembaga busa. Adanya unsur O kemungkinan berasal dari hasil reaksi oksidasi Cu yang menghasilkan CuO sehingga menghasilkan permukaan sampel yang berwarna hitam. CuO memiliki warna yang berwarna hitam dan tidak bisa larut dalam air<sup>[19]</sup>. Adanya unsur C pada hasil EDAX menandakan adanya karbonat yang masih terkandung dalam sampel namun karbonat ini tidak dalam bentuk kalium karbonat karena



unsur K tidak muncul pada hasil EDAX untuk sampel 50 % kalium karbonat. Karbonat yang mungkin terbentuk adalah tembaga karbonat ( $\text{CuCO}_3$ ) namun terbentuk tembaga karbonat yang berwarna hijau tidak teramati pada sampel sehingga kemungkinan tertutup oleh tembaga oksida.

Pada hasil EDAX pada sampel persentase berat 30% kalium karbonat terlihat bahwa terdapat unsur Cu, C, O, dan K (kalium). Hasil ini hampir sama dengan hasil yang ditemukan pada hasil EDAX sampel persentase berat 50 % kalium karbonat namun pada sampel persentase berat 30 % kalium karbonat tidak ditemukan pengotor. Namun muncul unsur K pada hasil EDAX dalam sampel persentase berat 30 % kalium karbonat menandakan masih adanya kalium karbonat dalam jumlah kecil yang belum larut dalam sampel. Adanya kalium karbonat ini tidak menandakan proses pelarutan tidak berjalan secara sempurna karena jumlah kaliumnya hanya 0,48 %. Adanya kalium karbonat yang tidak larut yang kemungkinan karena jumlah tembaga pada persentase berat 30 % kalium karbonat yang lebih banyak dibandingkan sampel persentase berat 50 % kalium karbonat sehingga kontak kalium karbonat dengan air lebih kecil.



**Gambar 4.12.** struktur mikro bagian dalam tembaga busa dengan variabel persentase berat kalium karbonat (a) 60%, (b) 50 %, (c) 40%, dan (d)30%.

Pada gambar 4.11 terlihat pada perbandingan gambar SEM untuk setiap variabel persentase tembaga. Dalam hasil perbandingan gambar tersebut dapat terlihat perbedaan jumlah lubang *interconnection* dalam tembaga busa yang dihasilkan dalam penelitian ini. Variable tembaga busa yang memiliki jumlah persentase berat kalium karbonat yang tinggi (60 % dan 50 %) mempunyai jumlah lubang *interconnection* yang banyak dibandingkan jumlah persentase berat kalium karbonat yang sedang (40 % dan 30 %). Hal ini dikarenakan semakin banyak kalium karbonat yang terkandung dalam bakalan tembaga busa sehingga akan semakin banyak daerah pertemuan antarpartikel kalium karbonat. Semakin banyak kalium karbonat maka akan semakin banyak daerah pertemuan antarpartikel kalium karbonat sehingga lubang koneksi antarpori semakin banyak.

