

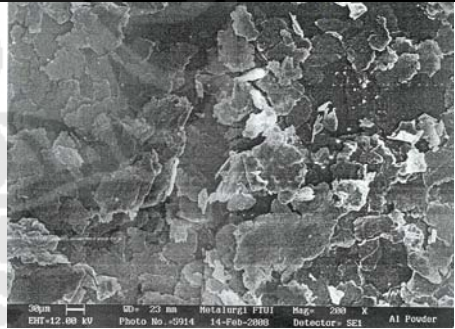
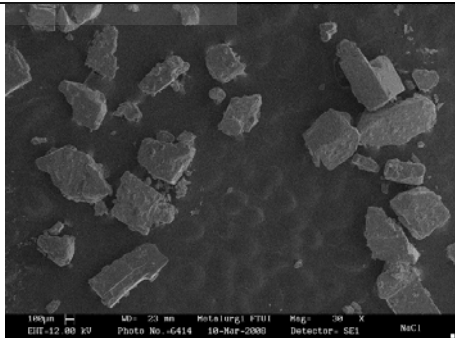
## BAB IV

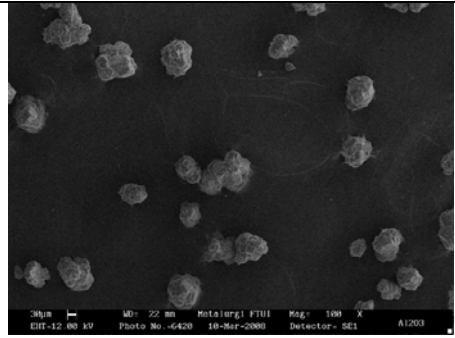
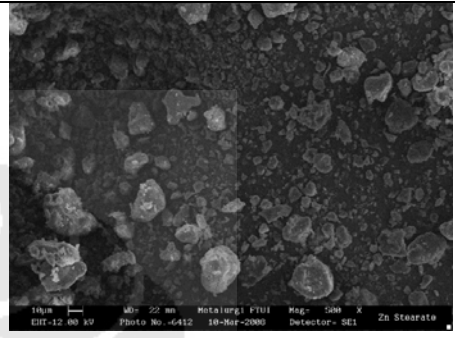
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 KARAKTERISASI SERBUK

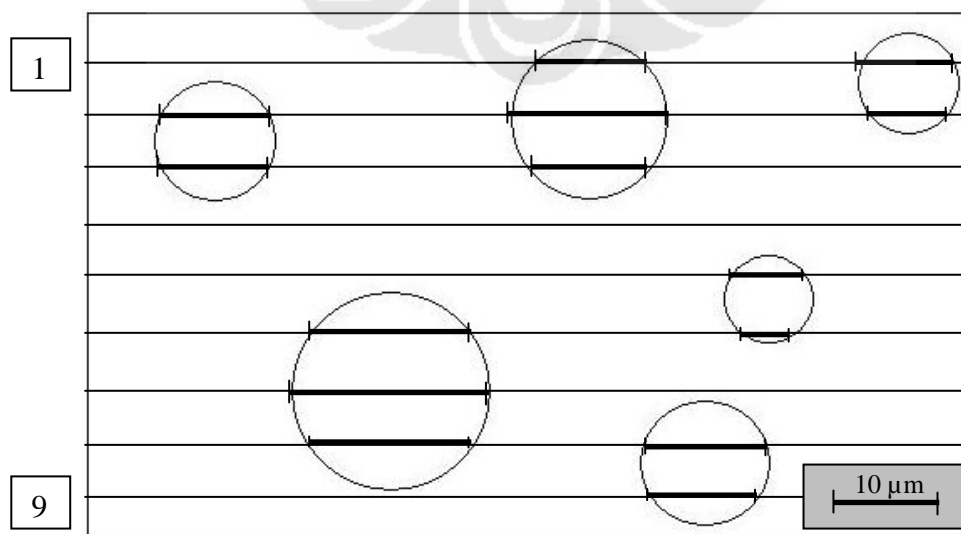
Proses awal untuk membuat logam busa adalah mengkarakterisasi serbuk-serbuk yang digunakan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan ukuran dan bentuk dari serbuk sehingga kita dapat mengontrol perbesaran porositas dan densitas suatu bakalan. Untuk mendeteksi ukuran dan bentuk serbuk, digunakan alat optik berupa SEM dengan detektor SE (*Secondary Electron*). Berikut ini hasil dari karakterisasi serbuk untuk setiap bahan yaitu:

**Tabel 4.1.** Hasil karakterisasi serbuk

No.	Material Serbuk	Bentuk Partikel	Ukuran Partikel ( $\mu\text{m}$ )	Foto Mikro
1.	Aluminium	Irregular pipih ( <i>flakes</i> )	65,86	
2.	Garam (NaCl)	<i>cubic</i>	376,47	

3.	Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	agglomerate	92,5	
4.	Zinc Stearate	polygonal	20,67	

Dalam mengukur besar partikel serbuk dapat digunakan beberapa teknik. Salah satu teknik yang digunakan yaitu dengan “parameter geometric”<sup>[8]</sup>. Metode ini mengasumsikan bahwa serbuk yang diukur berbentuk bulat sehingga besaran yang didapat hanya nilai tunggal. Jika dibandingkan dengan partikel yang *irregular* besaran yang didapat dihitung minimal dua nilai untuk mendapatkan data yang representatif. Tahapan perhitungan metode diatas dapat diilustrasikan pada contoh gambar berikut.



Gambar 4.1. Metode pengukuran persebaran butir

Langkah pertama yang dilakukan adalah penarikan setiap garis secara horizontal dengan skala yang sama. Setiap garis yang memotong butir diukur panjangnya. Setelah itu dikonversikan dengan skala yang diinginkan (skala  $\mu\text{m}$ ). Lalu data tersebut dirata-ratakan sehingga didapat ukuran serbuk yang representatif.

Pada pengukuran serbuk aluminium rentang ukuran partikel yang didapat yaitu (21,43-162,86)  $\mu\text{m}$  dengan jumlah rata-rata 65,86  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada pengukuran serbuk garam rentang ukuran partikel yang didapat sebesar (66,7–666,67)  $\mu\text{m}$  dan jumlah rata-rata partikel 376,47  $\mu\text{m}$ . Hal ini dapat dilihat partikel aluminium lebih kecil dibandingkan dengan NaCl. Ukuran partikel aluminium yang kecil akan ber-infiltrasi kedalam serbuk NaCl yang nantinya akan mempersulit pelarutan garam akibat ukuran garam yang lebih besar.

#### **IV.2 PERSIAPAN DAN PENCAMPURAN SERBUK**

Pada tahap persiapan serbuk dilakukan penimbangan masing-masing serbuk aluminium, garam, alumina, dan zinc stearat. Fraksi volum aluminium dan garam adalah 0%, 30%, 50%, 70%, dan 90% dengan jumlah total dikurangi dengan 1% alumina dan 2% zinc stearat.

Pada proses pencampuran serbuk, ukuran partikel aluminium lebih kecil dibandingkan dengan garamnya. Hal ini akan memudahkan terjadinya segregasi antar partikel. Partikel dengan densitas yang besar akan berada dibagian luar sisi bakalan sedangkan partikel dengan densitas kecil berada dibagian dalam atau pusat bakalan. Akibat lain dari perbedaan ukuran partikel adalah kontak antar partikel aluminium dan garam menjadi tidak sempurna sehingga aliran material tidak berjalan baik. Dalam proses selanjutnya terutama proses pelarutan akan terhambat akibat segregasi partikel garam. Untuk mengatasi hal ini dilakukan penambahan zat pengikat agar pada saat proses disolusi atau proses pelepasan garam lebih mudah. Selain itu ditambahkan juga zat pelumas (zinc stearat) sebesar 2% agar aliran material meningkat dan partikel dapat dengan mudah masuk kedalam rongga-rongga kosong sehingga didapatkan bakalan dengan densitas yang lebih tinggi. Penambahan zat pengikat (alumina) dan zat pelumas (zinc stearat) dalam kadar yang sedikit tidak akan mempengaruhi proses pembuatan

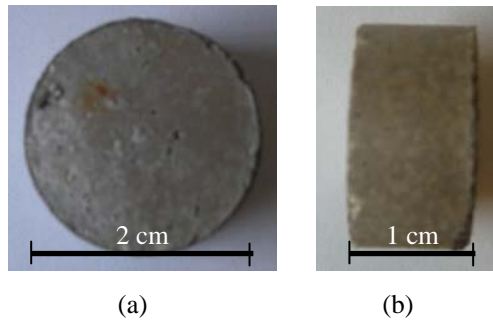
logam busa. Pada saat sinter zinc stearat akan menguap dahulu akibat temperatur lebarnya lebih rendah dibandingkan temperatur logam busa. Sedangkan produk alumina meningkat jumlahnya pada saat temperatur sinter melebihi 500°C<sup>[14]</sup>.

### IV.3 HASIL KOMPAKSI ALUMINIUM BUSA

Pada tahapan kompaksi, tekanan (*pressure*) merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan hasil bakalan (*green compact*). Semakin besar tekanan yang diberikan maka densitas bakalan akan semakin meningkat<sup>[4]</sup> dan persentase porositas semakin menurun. Hasil dari tekanan kompaksi yaitu terjadi peristiwa saling mengunci (*mechanical interlocking*) antar butir sehingga pergeseran antara serbuk sangat sulit dan hasil bakalan menjadi lebih kuat<sup>[10]</sup>. Peristiwa ini terjadi pada temperatur kamar dimana butir-butir tersebut saling berikatan. Tekanan kompaksi diberikan secara bertahap hingga mencapai tekanan yang diinginkan. Proses ini akan memberikan kesempatan kepada partikel-partikel untuk mengisi rongga kosong atau pori yang masih tersisa sehingga dihasilkan bakalan yang memiliki komposisi yang padat dan homogen<sup>[4]</sup>.

Tekanan kompaksi yang diberikan pada bakalan aluminium dengan garamnya sebesar 250 bar atau sekitar 25 MPa. Sedangkan penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa tekanan kompaksi yang diberikan sebesar 2500 bar atau sekitar 250 MPa<sup>[14]</sup>. Tekanan yang diberikan pada penelitian ini sangat jauh perbedaannya yaitu lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Tekanan yang rendah ini akan mempengaruhi densitas bakalan (*green compact*) sehingga akan didapatkan densitas yang lebih rendah. Selain itu tekanan yang rendah ini akan mempengaruhi proses deformasi. Deformasi plastis tidak akan tercapai dengan tekanan yang rendah.

Hasil dari proses kompaksi untuk semua variabel memiliki dimensi tinggi 1 cm dan diameter 2 cm. Khusus variabel 0% garam dimensi tingginya berbeda yaitu 0,5 cm dan diameter yang sama. Hal ini disebabkan perbedaan densitas untuk tiap variabel berbeda-beda sehingga jumlah total pemasukan serbuk kedalam *dies* akan berbeda. Bentuk dan dimensi bakalan hasil kompaksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.2.** Dimensi bakalan kompaksi; (a) tampak atas; (b) tampak samping

#### IV.4 HASIL PROSES SINTER ALUMINIUM BUSA

Mekanisme dari proses sinter adalah terjadi ikatan antarpartikel pada kondisi temperatur dibawah temperatur titik lebur. Pada peristiwa tersebut terjadi difusi antar permukaan atom sehingga atom-atom yang berikatan mengalami *necking* dan pada akhirnya batas dinding antar partikel akan hilang dan terjadi homogenisasi antar partikel.

Logam aluminium merupakan salah satu logam yang paling reaktif terhadap lingkungan. Hasil yang didapat dari proses sinter terlihat adanya lapisan oksida dipermukaan bakalan. hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan tempat sinter masih belum inert. Gas nitrogen yang diberikan pada lingkungan tersebut ternyata tidak mempengaruhi hasil oksidasi. Hal ini disebabkan tekanan gas nitrogen yang diberikan tidak sampai pada posisi sampel berada. Agar sampel yang dilindungi tetap terkontrol dan tidak teroksidasi maka tekanan gas yang diberikan harus lebih besar dari sebelumnya. Lalu dilakukan pengecekan terhadap komposisi udara yang berada disekelilingnya.

Pada saat aluminium bereaksi dengan udara, partikel aluminium tersebut menyerap air dari udara secara perlahan dan bereaksi secara fisik maupun kimia menjadi senyawa baru yaitu alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )<sup>[13,15]</sup>. Produk ini berada di permukaan bakalan yang memiliki kekerasan dan temperatur lebur yang tinggi sehingga tidak menguap pada saat sinter<sup>[6,7]</sup>. Adanya senyawa alumina akan terlihat melalui analisa EDAX yang akan dibahas lebih lanjut. Ketebalan lapisan oksida ditentukan secara fisik pada kemampuan untuk menyerap air secara berkelanjutan hingga temperatur furnace mencapai temperatur kamar<sup>[16]</sup>. Berdasarkan literatur yang ada, bahwa terbentuknya alumina berasal dari alumina trihidrat ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) yang terurai menjadi alumina monohidrat ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

pada temperatur 150-310°C. Akhirnya alumina monohidrat ini akan terurai lagi menjadi alumina anhidrat jika temperatur meningkat hingga 500°C dan semua air yang diserap mungkin akan menguap<sup>[17]</sup>. Lapisan oksida sangat dihindari dalam proses pengujian, oleh karena itu lapisan tersebut dapat dihilangkan dengan cara diampelas.

Dalam penelitian yang dilakukan, temperatur sinter yang dipakai adalah 670°C selama 2 jam. Jika dibandingkan dengan literatur yang ada bahwa untuk temperatur sinter aluminium busa sebesar 650-680°C selama 2 jam<sup>[5,14]</sup>. Sedangkan temperatur lebur aluminium adalah 660°C. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur yang dipakai dalam penelitian berada pada “*liquid state sintering*” dan temperatur tersebut masih berada dalam batasan yang aman.

Hasil yang didapat dari tiap variabel berbeda-beda. Pada 0% NaCl terdapat bagian yang berlubang pada bagian potongan melintang (*cross section*) bakalan. Hal ini dapat dilihat pada foto mikro SEM. Fenomena ini disebut dengan *swelling*. Peristiwa ini terjadi transfer difusi fasa cair ke dalam fasa padat<sup>[8]</sup>. *Swelling* umumnya terjadi pada logam paduan yang fasa cairnya memiliki kelarutan yang tinggi di dalam fasa padat dan juga temperatur waktu tahan sinter yang tinggi. Akibat dari *swelling* ini akan membentuk pori dibagian dalam bakalan sehingga densitas menurun. Cara untuk mencegah terjadinya *swelling* adalah dengan menggunakan ukuran serbuk yang homogen dan temperatur sinter lebih rendah yaitu pada *solid state sintering*.

Pada sampel yang memiliki fraksi garam(30-90% NaCl), ketika proses sinter berakhir terdapat leburan logam yang warnanya sama dengan warna logam dasar dibagian permukaannya. Fenomena ini disebut *droplet*.



**Gambar 4.3.** Fenomena *droplet*

Fenomena ini terjadi akibat temperatur sinter yang terlalu tinggi sehingga kemampuan logam untuk menjadi fasa cair lebih mudah<sup>[18]</sup>. Temperatur dibagian

dalam bakalan lebih tinggi dibandingkan dengan di luar bakalan. Hal ini ditunjukkan bahwa energi thermal yang diserap dibagian dalam lebih besar dibandingkan di permukaan sehingga terjadi pelelehan logam yang berada didalam bakalan dan keluar melalui pori yang ada dan membeku seiring penurunan temperatur. Akibat dari pengeluaran *droplet* menyebabkan dimensi bakalan menjadi tidak beraturan dan terjadinya keretakan di permukaan tempat *droplet* tersebut muncul.

#### **IV.5 PENGARUH PELARUTAN GARAM TERHADAP POROSITAS**

Hasil yang didapat dari proses pelarutan garam bahwa setiap variabel garam memiliki pori-pori yang berbentuk irregular. Morfologi ini menunjukkan bentuk dan ukuran pori sangat ditentukan oleh jenis garam yang digunakan.

Media pelarut yang digunakan untuk melarutkan adalah air hangat<sup>[14]</sup> yang mengalir dengan intensitas kelarutan NaCl dalam air sebesar 35,9 g/100 mL pada temperatur 25°C. Kemampuan air hangat untuk melarutkan garam lebih cepat dibandingkan dengan air biasa. Hal ini terlihat dari energi panas yang diberikan oleh air akan mempermudah pelepasan garam dari ikatan aluminium. Selain itu yang menentukan garam dapat larut sempurna adalah kontak air terhadap garam tersebut. Untuk mendapatkan kontak yang merata antara air dengan garam maka dibuat mekanisme pengadukan dengan *magnetic stirrer* sehingga garam yang berada didalam bakalan dapat ikut larut dalam air. Proses pelarutan pada penelitian ini berlangsung selama dua jam atau lebih hingga didapatkan pori-pori bakalan yang cukup.

Hasil dari bakalan untuk tiap variabel garam berbeda-beda tergantung dari jumlah garam yang larut. Semakin besar kelarutan garam maka pori-pori yang dihasilkan semakin banyak. Secara teoritis NaCl tidak bereaksi secara kimia dengan lingkungan pada temperatur tinggi kecuali menyerap kelembaban atau air pada temperatur rendah dan dengan perlahan melepaskan air yang diserap pada waktu dipanaskan<sup>[14]</sup>.

Tingkat porositas yang mendekati sempurna terjadi pada bakalan dengan volume fraksi 90% NaCl. Walaupun garam yang ada didalamnya tidak larut

sempurna tetapi persentase porositas yang diinginkan sudah tercapai yaitu 91,70%.



**Gambar 4.4.** Hasil disolusi bakalan volume fraksi 90% NaCl

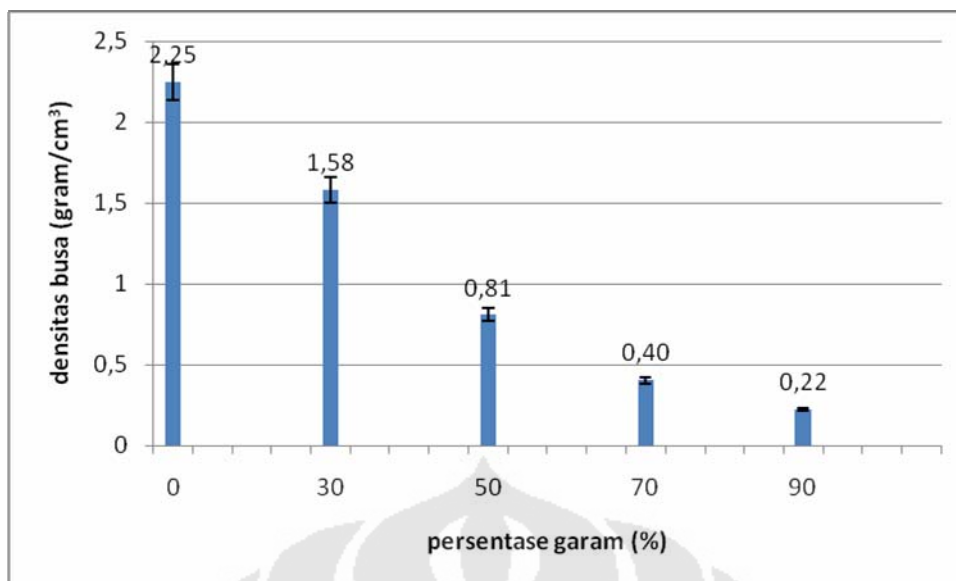
Dilihat dari sisi morfologi pada bakalan diatas terlihat banyak terbentuknya pori dibagian permukaan. Selain itu dimensi yang tidak beraturan terjadi akibat jumlah garam yang terlarut cukup banyak. Jika bakalan ini dipotong melintang akan didapat pori-pori yang merata tetapi kekuatannya sangat mudah rapuh. Secara umum hasil disolusi bakalan yang didapat, memiliki jumlah porositas yang sesuai dengan jumlah fraksi garamnya. Dengan kenaikan jumlah fraksi garam akan meningkatkan persentase porositas. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada pengujian poristas dan densitas.

#### **IV.6 PENGARUH DENSITAS DAN POROSITAS TERHADAP BAKALAN**

Pengujian densitas dan porositas dilakukan secara bersamaan yang memanfaatkan hukum *Archimedes*. Dalam menghitung nilai densitas dan porositas sampel, data yang didapat berupa berat kering sampel, berat sampel dalam air, dan volume sampel.

Hasil pengujian densitas dan porositas dari tiap variabel dapat dilihat pada gambar 4.5. dan 4.6 yang menyatakan hubungan fraksi berat garam terhadap nilai densitas dan porositas bakalan.

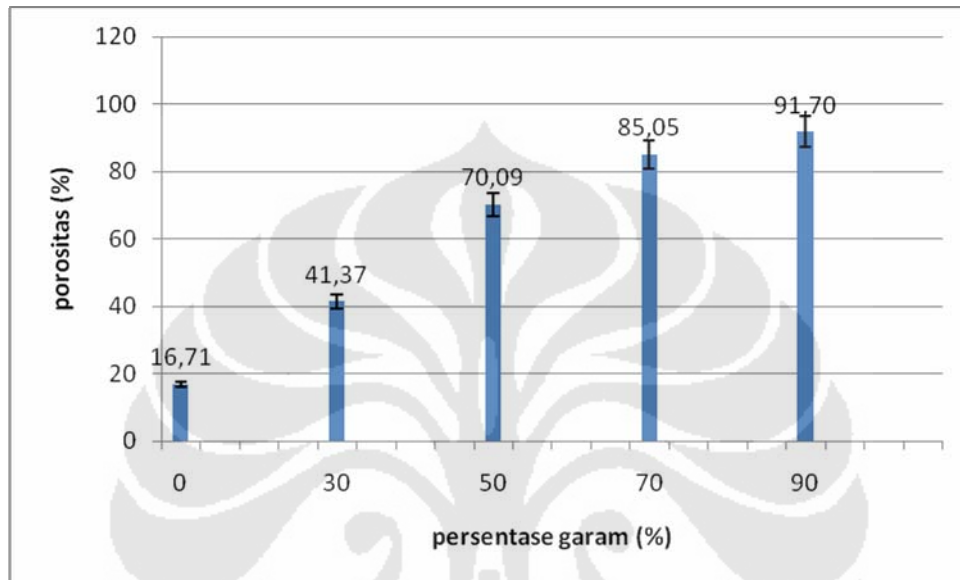




**Gambar 4.5.** Grafik hubungan fraksi berat garam terhadap densitas busa

Pada Gambar 4.5 memperlihatkan hubungan antara persentase garam dengan densitas busa yang dihasilkan. Pada grafik itu menunjukkan pertambahan persentase garam yang terlarut dalam aluminium busa akan menurunkan densitasnya. Nilai densitas tertinggi sebesar 2,25 gram/cm<sup>3</sup> yang diperoleh dari persentase garam sebesar 0%, sedangkan nilai densitas terendah sebesar 0,22 gram/cm<sup>3</sup> yang diperoleh dari persentase garam sebesar 90%. Nilai densitas didapatkan dari jumlah pori yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah pori yang ada, maka volume logam busa semakin kecil. Hal ini akan menurunkan nilai densitas suatu bakalan. Jumlah pori-pori yang terbentuk ditentukan oleh proses disolusi garam. Semakin banyak garam NaCl yang larut, maka pori yang terbentuk lebih banyak. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan telah sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa kenaikan volume fraksi garam yang dilarutkan akan menurunkan densitas bakalan<sup>[18]</sup>. Jika dilihat dari penurunan densitas, terjadi perbedaan untuk setiap kenaikan fraksi garam tidak berbeda jauh. Perbedaan yang terlihat masih dalam jangkauan sekitar 0,2-0,7 untuk setiap densitas. Selain itu terjadinya segregasi partikel NaCl juga menjadi salah satu penyebabnya karena ukuran yang lebih besar lebih sulit untuk dilarutkan. Jadi hanya bagian terluar atau permukaan saja yang dapat larut dengan air.

Jika hasil densitas dibandingkan dengan literatur **Alulight® International GmbH**<sup>[19]</sup> yang produknya telah dikomersialkan bahwa densitas Alulight sebesar 0,5 gram/cm<sup>3</sup> untuk produk metalurgi serbuk Al-7Si. Hal ini sesuai dengan densitas bakalan antara 70% dan 50% garam yaitu 0,81-0,40 gram/cm<sup>3</sup>. Densitas hasil penelitian menunjukkan hasil optimal berada pada range 50%-70% garam.



**Gambar 4.6.** Grafik hubungan fraksi berat garam terhadap porositas

Fenomena porositas merupakan suatu hal yang diharapkan dalam penelitian ini. Jumlah porositas yang diinginkan sama dengan jumlah fraksi garam yang hilang atau dilarutkan. Dalam hal ini hingga 90% porositas pada 90 fraksi garam.

Pada grafik 4.6. yang menunjukkan hubungan persentase garam dengan tingkat porositas yang dihasilkan. Dari penelitian diharapkan kehadiran porositas untuk mengetahui sifat-sifat dari logam busa tersebut. Dari grafik terlihat bahwa porositas tertinggi yaitu 91,70% berada pada fraksi 90% garam dan porositas terendah yaitu 16,71% berada pada fraksi 0% garam. Pada grafik itu menunjukkan semakin tinggi persentase garam maka jumlah porositas yang dihasilkan akan semakin tinggi. Tetapi jumlah porositas yang dihasilkan sangat ditentukan oleh proses disolusi. Apabila jumlah garam yang dilarutkan tidak sempurna, maka porositas yang dihasilkan sedikit. Pada fraksi 90% garam terlihat tingkat porositas yang dihasilkan lebih dari 90% yaitu 91,70%. Hal ini menunjukkan adanya kelarutan garam yang sempurna. Pada fraksi garam 30%, 50%, dan 70%,

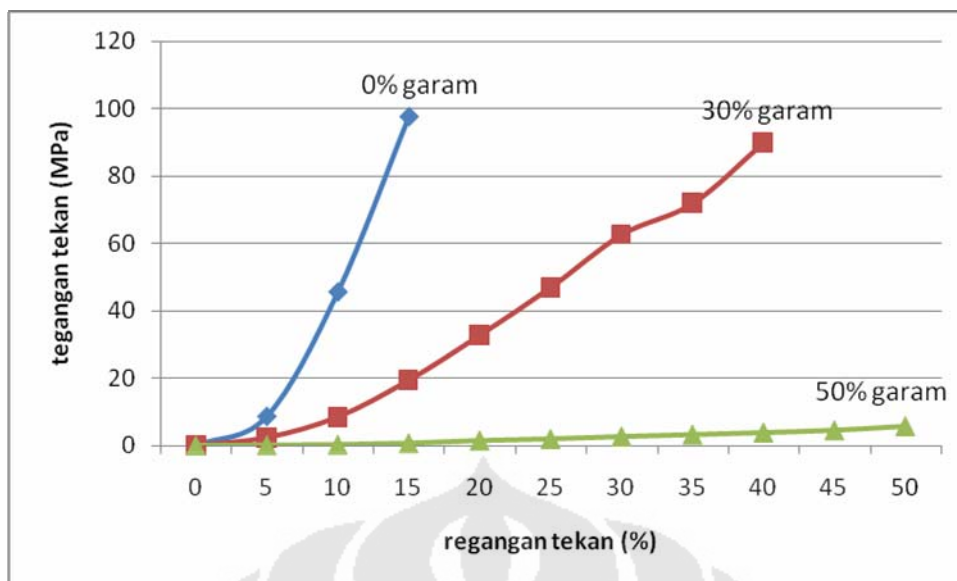
persentase porositas melebihi dari jumlah garam yang ada. Hal ini disebabkan oleh adanya pelepasan material lain pada saat proses disolusi. Pada fraksi 0% garam terjadi porositas sebesar 16,71%. Pada kasus ini porositas yang terjadi bukan karena pelarutan garam, tetapi akibat proses kompaksi dan sinter yang kurang baik. Pada saat proses kompaksi aliran material yang kurang baik dan tekanan kompaksi yang rendah akan menyebabkan porositas. Sedangkan pada saat sinter, temperatur yang kurang tinggi akan menyebabkan porositas sebab proses pemadatan sebetulnya kurang sempurna.

Secara keseluruhan hasil yang didapat pada proses densitas dan porositas telah sesuai dengan literatur yang ada bahwa kenaikan kelarutan garam pada saat proses disolusi akan menurunkan densitas dan meningkatkan porositas aluminium busa. Jika dihubungkan antara densitas dengan persentase porositas bahwa terjadi hubungan berbanding terbalik dimana parameter kedua-duanya sangat menentukan sifat mekanik aluminium busa.

#### **IV.7 HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN TERHADAP POROSITAS**

Pengujian kuat tekan dilakukan pada sampel dengan fraksi garam 0%, 30%, dan 50%. Pengujian tekan ini dilakukan dengan beban yang berbeda-beda. Pada fraksi 0% dan 30% garam menggunakan beban 2,5 kN/cm. Sedangkan pada fraksi 50% garam menggunakan beban 0,25 kN/cm. Hal ini dikarenakan kecenderungan untuk menerima beban yang besar peluangnya sangat kecil akibat dari jumlah pori yang ada. Untuk sampel 70% dan 90% fraksi garam tidak dilakukan pengujian dikarenakan beban minimum yang akan diberikan sangat besar pengaruhnya terhadap deformasi bakalan sehingga secara langsung akan *collapse* atau hancur. Selain itu bentuk sampel yang *irregular* juga membuat sampel tidak bisa uji tekan karena dimensi awal tidak bisa ditentukan. Oleh karena itu sampel yang dilakukan uji tekan adalah sampel yang masih berada dalam keadaan utuh.

Hasil dari pengujian kuat tekan untuk tiap variabel fraksi berat garam dapat dilihat pada grafik dibawah ini yang menyatakan hubungan persentase regangan (*strain*) dengan beban yang diterima (*stress*).



**Gambar 4.7.** Grafik hubungan % regangan dengan kuat tekan pada tiap variabel

Pada grafik menunjukkan bahwa kurva akan semakin landai seiring dengan pertambahan fraksi berat garam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi porositas hasil disolusi maka kekuatan tekan semakin rendah.

Pada bakalan 0% fraksi garam deformasi yang terjadi adalah 12,79%. Deformasi ini menunjukkan energi yang diserap sangat kecil karena porositas yang ada sedikit. Hal ini berbeda dengan bakalan 30% dan 50%. Deformasi pada 30% garam meningkat yaitu 25,88%. Ini menunjukkan penyerapan energi yang lebih besar. Pada dasarnya beban yang diberikan akan dirubah menjadi energi tekan yang akan diserap oleh bakalan tersebut. Tingkat porositas yang ada menentukan jumlah energi yang diserap. Semakin banyak pori, maka energi yang diserap akan didistribusikan ke tiap-tiap pori sehingga penyerapan energi semakin besar. Dalam penelitian yang dilakukan Y.Y Zhao<sup>[20]</sup> dan Medhat Awad El-Hadek<sup>[21]</sup> didapatkan hasil yang serupa bahwa persentase porositas yang tinggi akan menyerap energi yang lebih tinggi dibandingkan persentase porositasnya rendah.

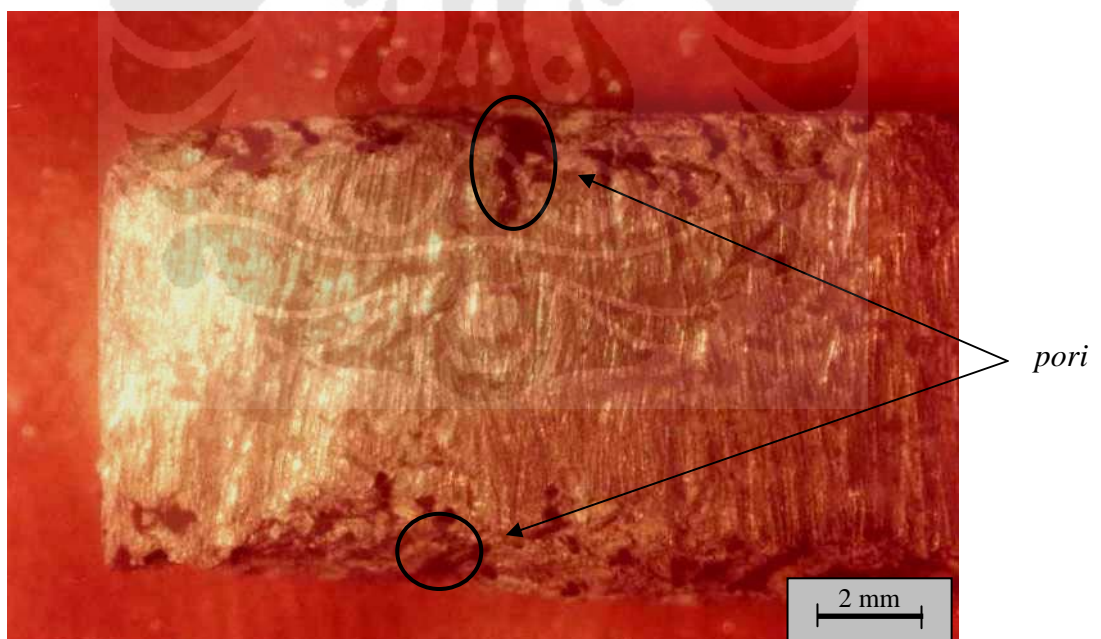
Sedangkan pada bakalan 50% deformasi yang terjadi hingga hancur. Jadi tidak ada dimensi akhir yang didapat. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kenaikan jumlah porositas yang dihasilkan mengakibatkan perubahan deformasi semakin cepat sehingga kekuatannya menjadi lebih rendah. Dari penelitian sebelumnya disebutkan bahwa untuk meningkatkan kekuatan tekan dari produk

logam busa dapat dilakukan dengan melakukan tekanan kompaksi yang tinggi dan menaikkan temperatur sinter sehingga sifat mekanis meningkat<sup>[8]</sup>.

Hasil analisa keseluruhan dari grafik adalah kurva curam dan landai yang didapat menandakan beban atau energi yang diterima. Semakin banyak tingkat porositas maka kurva yang didapat akan lebih landai (50% fraksi garam) dan sebaliknya semakin sedikit porositasnya maka kurva yang didapat lebih curam (0% fraksi garam).

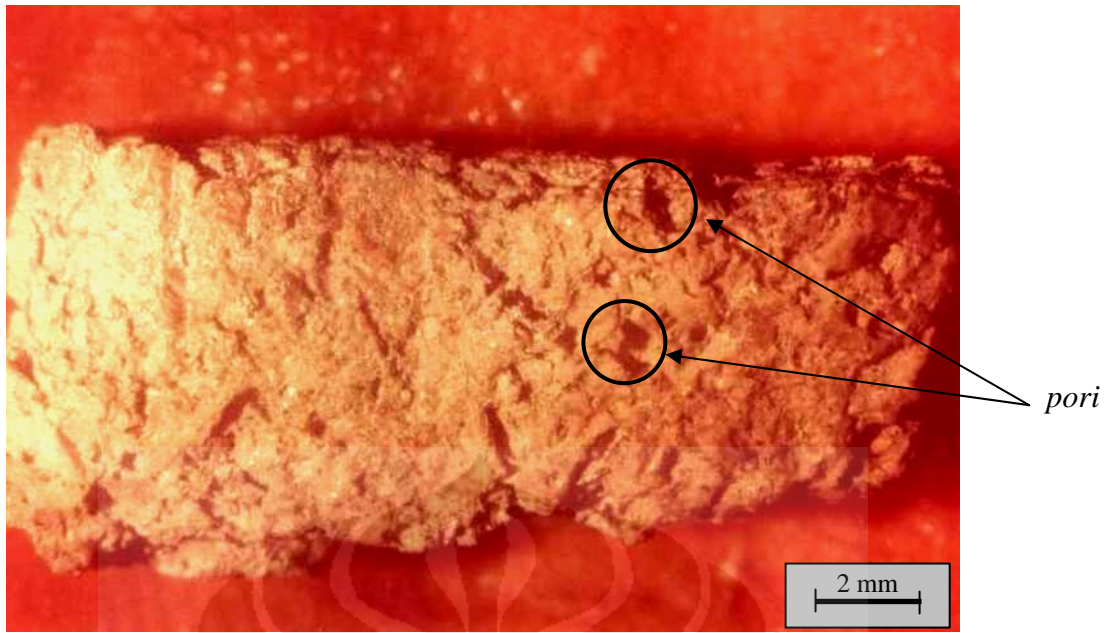
#### IV.8 HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MAKRO

Pengamatan struktur makro dilakukan pada sampel dengan variabel 0%, 30%, 50%, 70%, dan 90% garam. Foto dengan variabel 0% garam tidak dicantumkan karena tidak terdapat adanya pori. Foto ini diambil pada bagian melintang (*cross section*) dengan perbesaran 7X sehingga terlihat jelas bagian dalam yang berpori. Hasil dari foto makro tiap variabel dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

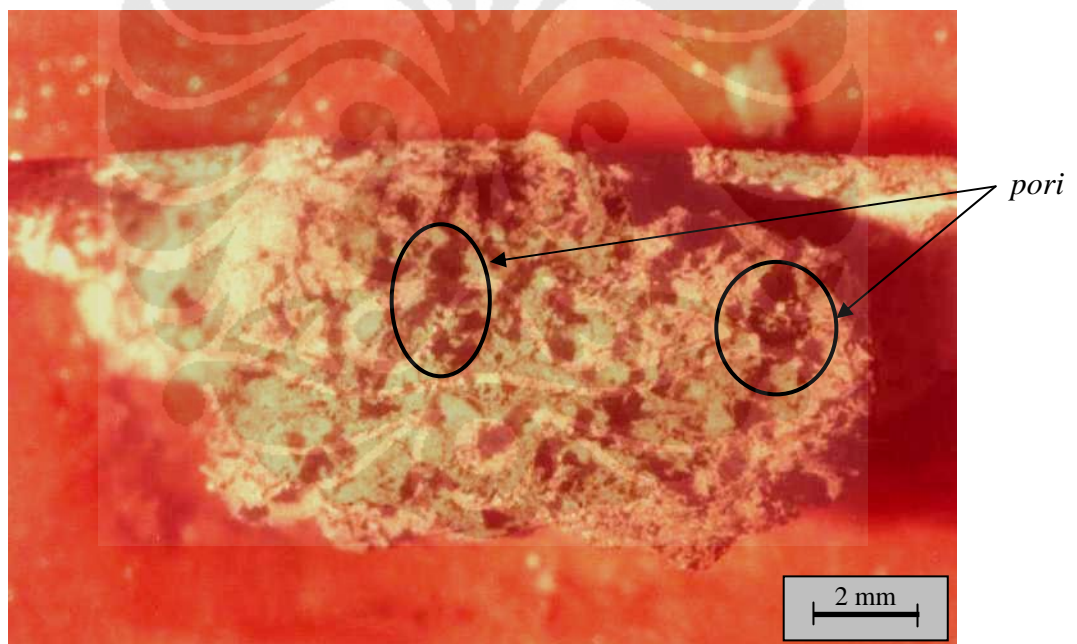


**Gambar 4.8.** Struktur makro sampel 30% NaCl (perbesaran 7X)

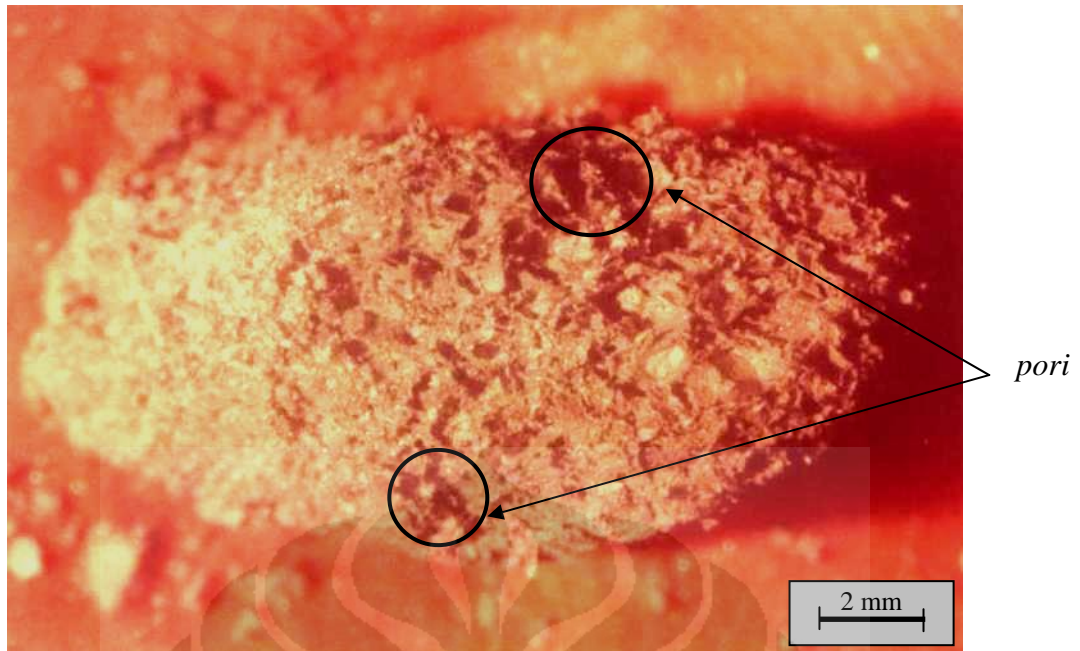




**Gambar 4.9.** Struktur makro sampel 50% NaCl (perbesaran 7X)



**Gambar 4.10.** Struktur makro sampel 70% NaCl (perbesaran 7X)



**Gambar 4.11.** Struktur makro sampel 90% NaCl (perbesaran 7X)

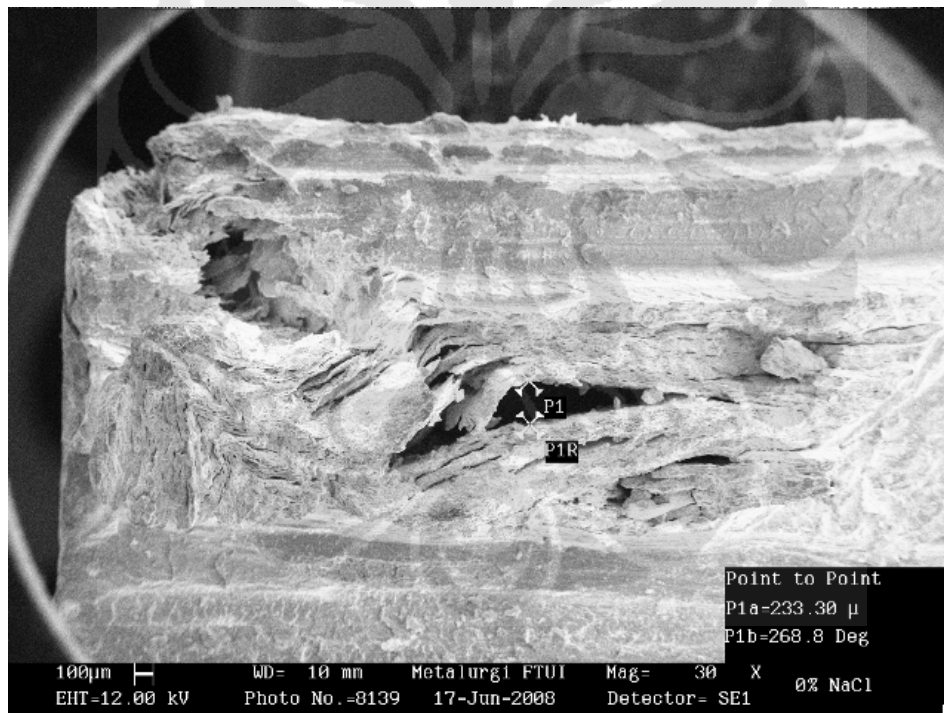
Pada gambar foto makro tersebut terlihat adanya pori-pori pada setiap variabel garam. Pada variabel 30% garam terlihat pori-pori yang sangat besar dengan persebaran yang merata. Pori-pori ini tersebar hanya dibagian pinggir saja karena proses persiapan sampel yang kurang sempurna. Hal ini diakibatkan pemotongan yang tidak diberi pelumasan (air) sehingga gesekan yang terjadi akan menutup pori yang ada. Pori yang ada disampel ini mudah berubah bentuk apabila diberik tekanan yang rendah. Sebenarnya pori yang ada pada variabel ini sudah cukup merata. Hal ini terlihat dari persentase porositas yang cukup yaitu 41,37% dan densitas yang sesuai.

Pada bakalan 50% garam dihasilkan bentuk pori yang tidak seragam tetapi pori-pori tersebut terdistribusi secara merata hingga ke bagian dalam bakalan. Untuk bakalan 70% dan 90% garam terlihat pori-pori yang sangat kecil dan jarak antara pori sangat berdekatan. Pori-pori tersebut ada yang mengalami aglomerasi (penggumpalan) sehingga membentuk pori yang lebih besar. Jarak antara pori sangat mempengaruhi kekuatan tekan suatu material. Semakin dekat jarak antara pori maka konsentrasi tegangan pada setiap pori lebih besar sehingga kekuatan tekan menjadi lebih rendah. Oleh karena itu diharapkan jarak pori yang optimum

sehingga beban (energi) yang diterima dapat didistribusikan secara merata ke setiap pori dan kekuatan tekan bakalan lebih optimal.

#### IV.9 HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DENGAN SEM

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan SEM (scanning Electron Microscope) dengan perbesaran yang berbeda-beda untuk tiap variabel. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui bentuk dan ukuran pori yang dihasilkan dari proses disolusi. Selain itu untuk mengetahui komposisi yang terjadi di setiap variabel sehingga dapat dianalisa sifat-sifat yang terjadi. Berikut ini adalah hasil dari foto struktur mikro tiap variabel dengan beberapa analisa yang mendukung.

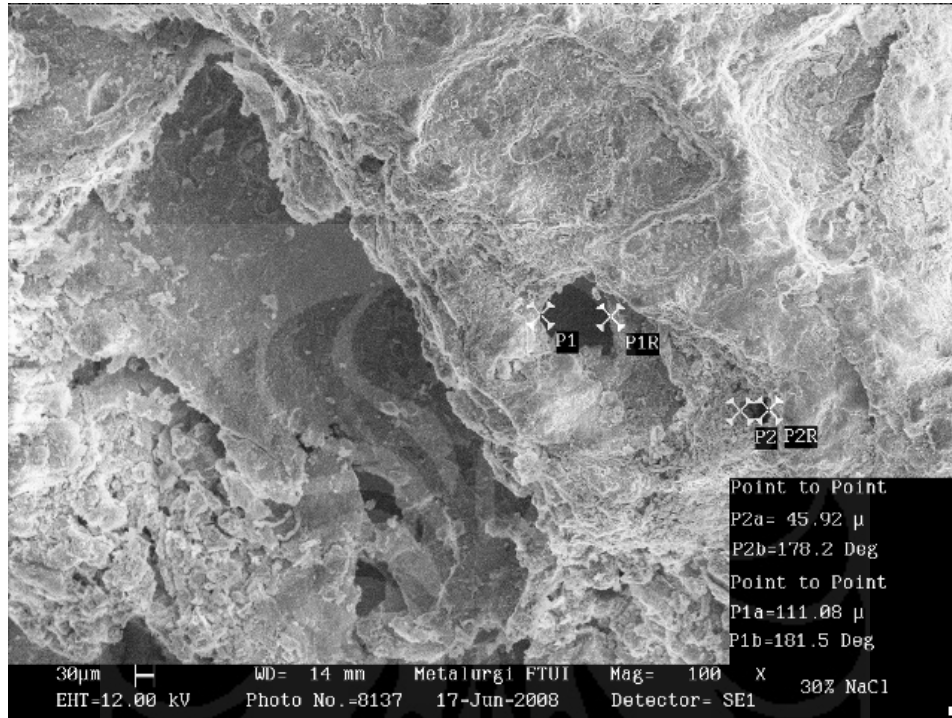


**Gambar 4.12.** Struktur mikro SEM dengan fraksi berat 0% NaCl

Pada gambar diatas memperlihatkan pori-pori yang ssangar besar dibagian tengah bakalan 0% fraksi garam. Setelah diamati morfologi pori yang terbentuk, pori tersebut memanjang secara melintang dengan lebar pori sebesar 233,30 µm. Hal ini dapat diambil kesimpulan bahwa pori tersebut bukan hasil disolusi garam melainkan akibat terjadinya peristiwa *swelling*. Seperti yang telah dijelaskan

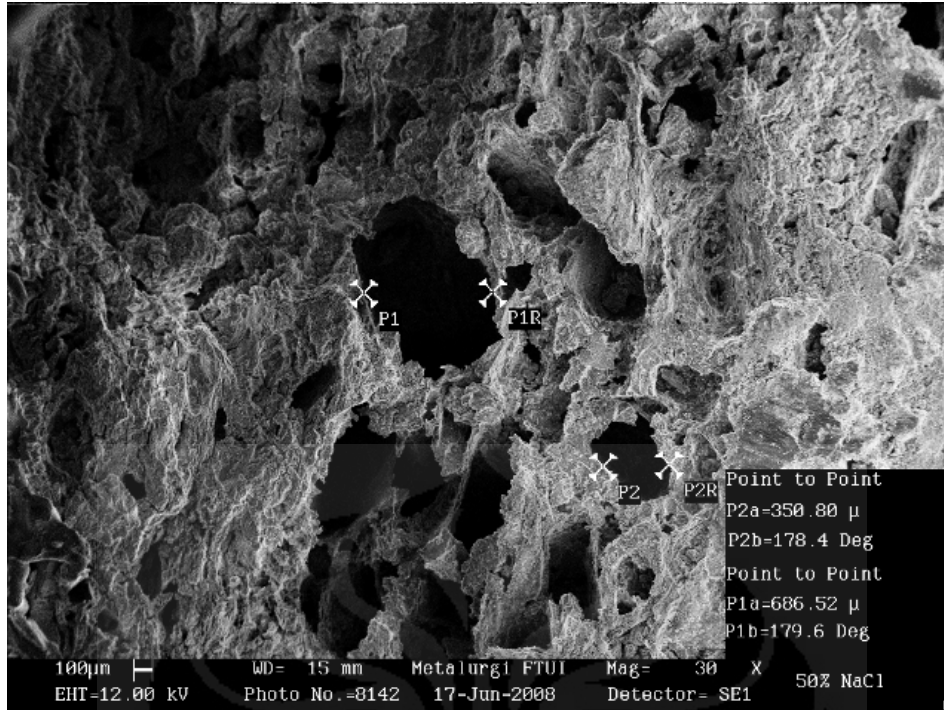


sebelumnya pada proses sinter bahwa *swelling* terjadi akibat difusi fasa cair kedalam fasa padat sehingga bagian tengah menjadi berongga atau kosong. Hal ini diakibatkan oleh temperatur sinter yang terlalu tinggi.



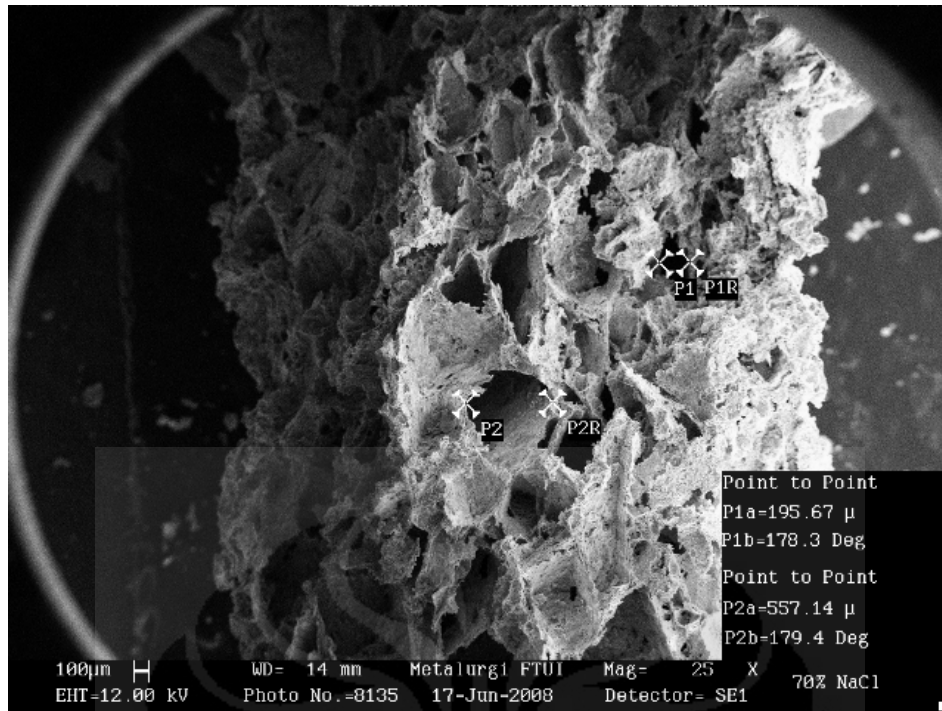
**Gambar 4.13.** Struktur mikro SEM dengan fraksi berat 30% NaCl

Pada bakalan 30% NaCl pori yang dihasilkan sangat sedikit. Hal ini terlihat dari gambar SEM diatas. Jumlah pori yang sedikit ini diakibatkan oleh jumlah fraksi garam yang diberikan sangat kecil dan juga terjadi kemungkinan terjadinya segregasi pada partikel garam tersebut. Pori yang berhasil didapat memiliki ukuran 45,92-111,08  $\mu\text{m}$ . Jika dibandingkan dengan ukuran partikel NaCl sebesar 66,67-666,67  $\mu\text{m}$  bahwa pori tersebut bisa dikatakan hasil dari disolusi garam atau pelepasan material akibat proses disolusi atau sinter.

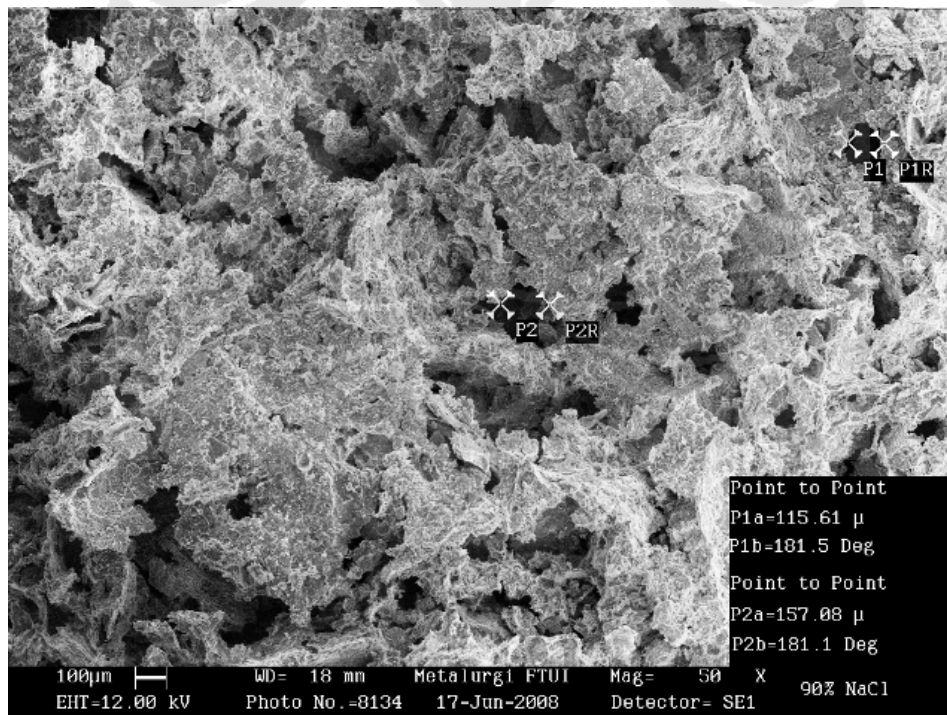


**Gambar 4.14.** Struktur mikro SEM dengan fraksi berat 50% NaCl

Pada gambar diatas terlihat pori yang terbentuk hampir terdistribusi merata tetapi terdapat pemusatan pori dengan ukuran yang lebih besar. Bentuk yang dihasilkan *irregular* dan ukuran pori yang didapat sebesar 350,80-686,52  $\mu\text{m}$ . Jika dibandingkan dengan ukuran garam secara keseluruhan sebesar 66,67-666,67  $\mu\text{m}$  maka pori tersebut masih tergolong kedalam ukuran garam walaupun rata-rata pori yang dihasilkan lebih besar. Adanya ukuran garam yang terlalu besar dikarenakan beberapa partikel garam saling berhimpitan satu sama lain atau disebut dengan *interconnecting cells channels* sehingga pada saat disolusi didapat pori yang besar.



Gambar 4.15. Struktur mikro SEM dengan fraksi berat 70% NaCl



Gambar 4.16. Struktur mikro SEM dengan fraksi berat 90% NaCl

Pada gambar 4.15 dan gambar 4.16 terlihat pori yang terdistribusi secara merata. Pada bakalan fraksi berat 70% NaCl pori yang didapat sebesar 195,67-

557,14  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada fraksi berat 90% NaCl porinya sebesar 115,61-157,08  $\mu\text{m}$ . Pencarian lokasi ukuran pori ditentukan secara acak yang memiliki cukup banyak pori. Jadi kedua ukuran bakalan pori ini dapat mewakili perbandingan ukuran dengan garam yaitu 66,67-666,67  $\mu\text{m}$ . Bentuk pori pada kedua bakalan ini hampir sama yaitu *irregular*. Perbedaannya hanya terletak pada ukuran porinya saja. Dengan semakin banyak jumlah garam yang diberikan maka garam akan terdistribusi lebih merata dan ukuran pori menjadi lebih besar akibat dari mekanisme *interconnecting cells*.

#### IV.10 HASIL ANALISA KOMPOSISI DENGAN EDAX

Tujuan dari pengamatan EDAX (*Energy Dispersive X-Ray Analysis*) adalah untuk mengetahui unsur-unsur dan menganalisa komposisi bakalan tersebut. Hasil dari pengamatan EDAX dapat dilihat pada gambar dan data dibawah ini.

Tabel 4.2. Hasil komposisi EDAX untuk 0% garam

Komposisi (% unsur)	Nomor 1	Nomor 2
Al	41,84	97,51
C	0,43	0,29
O	57,73	2,20

Hasil dari pengamatan dengan EDAX bahwa pada bakalan 0% garam terdapat unsur Al, O, dan C. Unsur tersebut tidak tersebar merata seperti terlihat pada gambar diatas. Pada titik nomor 1 terlihat adanya kandungan unsur oksigen yang besar yakni 57,73%. Sedangkan pada titik nomor 2 terlihat kadungan oksigen yang sangat kecil yaitu 2,20%. Hal ini menandakan pada bagian tersebut terjadi oksidasi yang tidak merata. Terjadinya oksidasi ini disebabkan oleh proses sinter yang kurang sempurna sehingga aluminium mudah bereaksi dengan udara. Selain itu kehadiran unsur C yang sangat kecil (0,65-0,69%) tidak berpengaruh terhadap sifat bakalan.

Pada pengamatan sampel 30% garam dilakukan hanya pada satu titik yang dianggap memiliki nilai representatif untuk mewakili semua sisi. Unsur-unsur yang terdeteksi adalah Al, Na, Cl, C, dan O. Adanya unsur Na sebesar 24,63% menunjukkan adanya garam yang belum terlarut secara sempurna.

Pada pengamatan sampel 70% garam didapat bahwa unsur-unsur yang terdeteksi adalah Al, O, dan C. Adanya unsur oksigen (56,88%) menunjukkan proses oksidasi masih terjadi, tetapi tidak adanya unsur Na dititik tersebut memperlihatkan bahwa garamnya sudah terlarut dengan sempurna.

Secara keseluruhan bahwa adanya unsur oksigen di setiap variabel menunjukkan proses oksidasi sulit dihindari walaupun ketika proses sinter penggunaan gas nitrogen agar atmosfer *inert* sudah digunakan.

