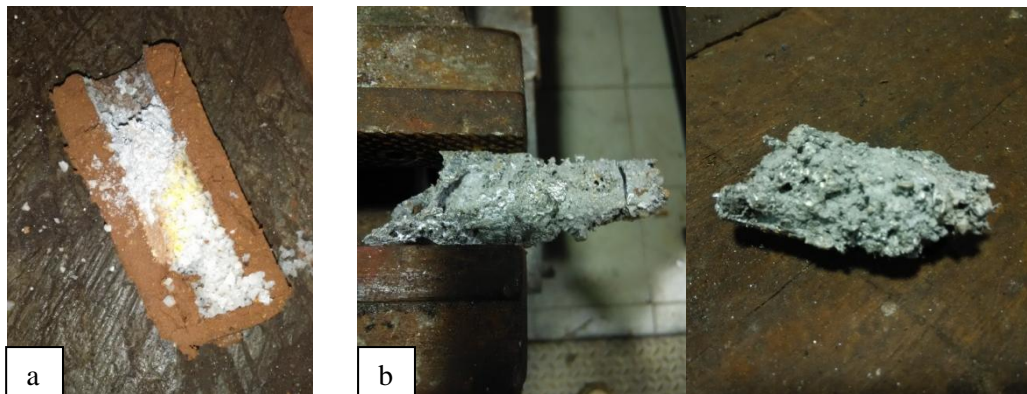


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Proses *Melting Route Aluminum foam*

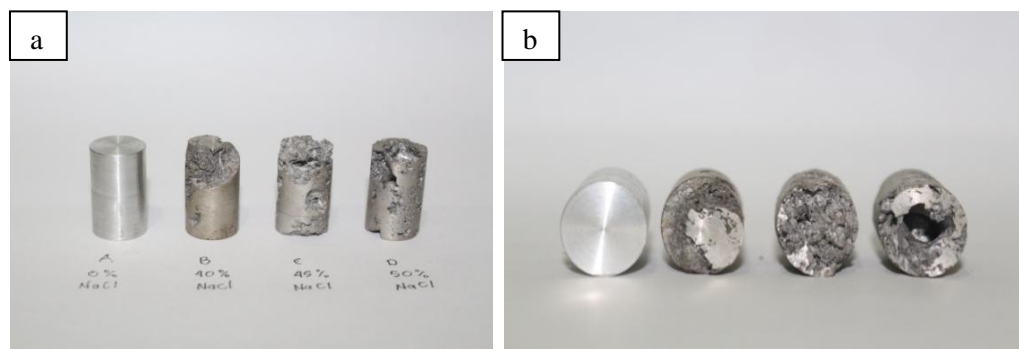
Jika semua tahapan proses pembuatan *aluminum foam* dengan metode *melt route* dilakukan, maka dihasilkan produk *aluminum foam* utuh (*bulk material*) sebelum dilakukan proses *machining* seperti Gambar 4.1. Hasil dari proses pengecoran menunjukkan bentuk dari *aluminum foam* masih belum rata dan memiliki ukuran yang tidak sama.



Gambar 4.1. *Bulk material aluminum foam*

a) Saat dikeluarkan dari cetakan; b) Setelah dibersihkan dan dicek porositasnya

Kemudian *aluminum foam* yang masih berbentuk *bulk material*, dilakukan proses pemesinan menggunakan mesin bubut. Pada tahap *machining* bertujuan untuk melihat pori-pori pada *aluminum foam* serta membentuk spesimen untuk diuji tekan. Spesimen memiliki ukuran diameter 15 mm dan tinggi 25 mm. Hasil dari proses pemesinan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Spesimen *aluminum foam* setelah proses pemesian
a) Bagian depan; b) Bagian atas

4.2. Hasil Pengujian Porositas *Aluminum foam*

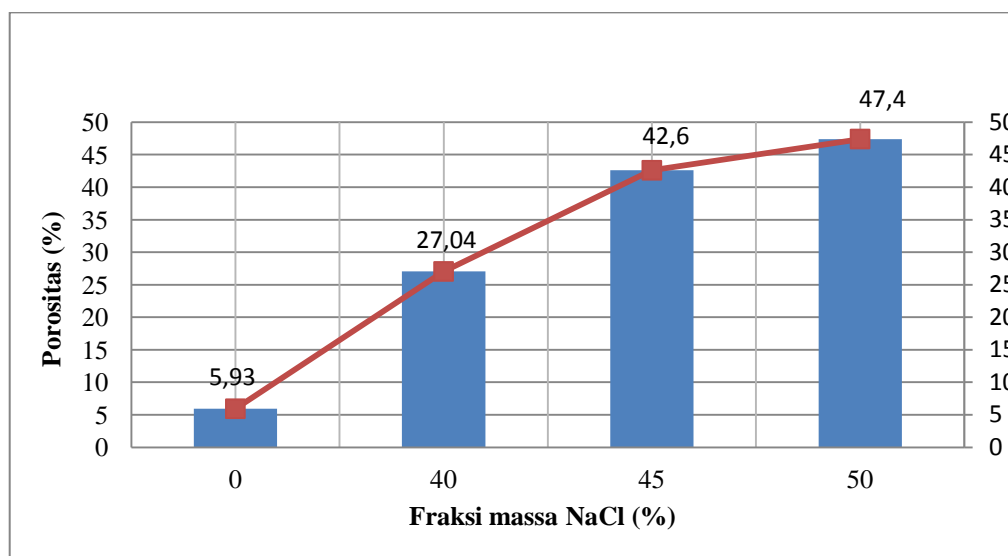
Spesimen yang sudah dilakukan proses pemesian, selanjutnya diuji untuk mengetahui persentase porositas yang terdapat pada spesimen *aluminum foam* tersebut. Untuk mengetahui nilai porositas *aluminum foam*, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.2. Sebelum menghitung persentase porositas, terlebih dahulu dihitung nilai densitas dengan menggunakan rumus persamaan 3.1. Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pengujian porositas

Spesimen	Fraksi Massa NaCl (%wt)	Massa (gram)	Volume (Cm ³)	Massa Jenis (g/cm ³)	Massa Jenis Al (g/cm ³)	Porositas (%)
A	0	11,25	4,42	2,54	2,7	5,93
B	40	8,8	4,45	1,97	2,7	27,04
C	45	6,93	4,47	1,55	2,7	42,6
D	50	6,4	4,52	1,42	2,7	47,4

Dari hasil yang ditunjukkan Tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan fraksi massa NaCl pada *aluminum foam*, maka persentase porositas *aluminum foam* akan meningkat. Porositas terendah adalah 5,93% pada penambahan 0% fraksi massa NaCl dan porositas tertinggi sebesar 47,4% pada penambahan 50% fraksi massa NaCl. Sedangkan nilai densitas terendah sebesar 1,42 g/cm³ pada penambahan 50% fraksi massa NaCl dan densitas tertinggi

sebesar $2,54 \text{ g/cm}^3$ pada penambahan 0% fraksi massa NaCl. Untuk melihat perubahan nilai densitas dan porositas, maka data di atas dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut.

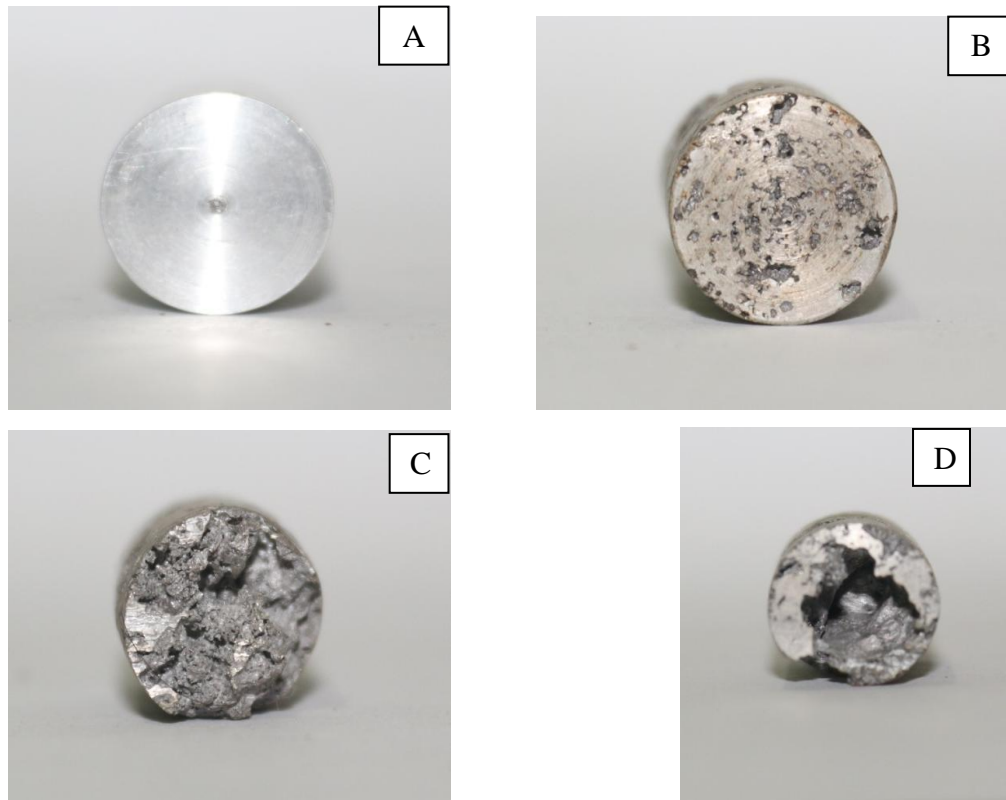


Gambar 4.3. Grafik hubungan antara fraksi massa NaCl terhadap porositas

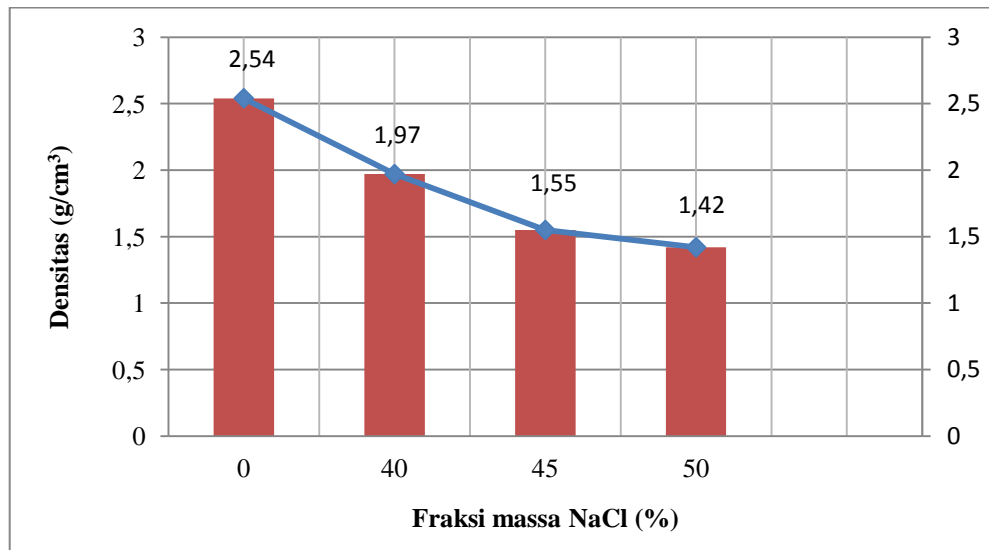
Jika dilihat dari grafik di atas terlihat terjadi peningkatan persentase porositas pada *aluminum foam*. Semakin besar fraksi massa NaCl sebagai *foaming agent* akan meningkatkan porositas *aluminum foam*. Sama halnya seperti penelitian Firmansyah (2015) bahwa semakin tinggi fraksi massa NaCl terhadap massa aluminium, maka nilai porositas meningkat. Hal ini terjadi karena semakin besar persentase fraksi massa NaCl yang dicampurkan, maka semakin banyak gelembung gas yang terbentuk. Dengan adanya proses pengadukan pada saat pencampuran, membuat gelembung gas terdistribusi dengan merata. Pada saat terjadi proses *foaming*, gelembung gas akan berusaha naik ke atas dan keluar, akan tetapi tertahan di dalam karena penurunan temperatur yang cepat pada saat terjadi proses pemadatan aluminium. Sehingga terbentuk pori-pori pada *aluminum foam*.

Pada Gambar 4.3 terlihat porositas terendah sebesar 5,93% pada penambahan 0% fraksi massa NaCl (100% aluminium tanpa penambahan *foaming agent*) dan porositas tertinggi sebesar 47,4% pada penambahan 50% fraksi

massa NaCl. Secara visual perbedaan porositas pada spesimen dapat langsung dilihat. Pada Gambar 4.4 dapat dilihat perbedaan porositas setiap spesimen *aluminum foam*. Berikut adalah foto spesimen A,B, C, dan D dengan porositas yang berbeda.

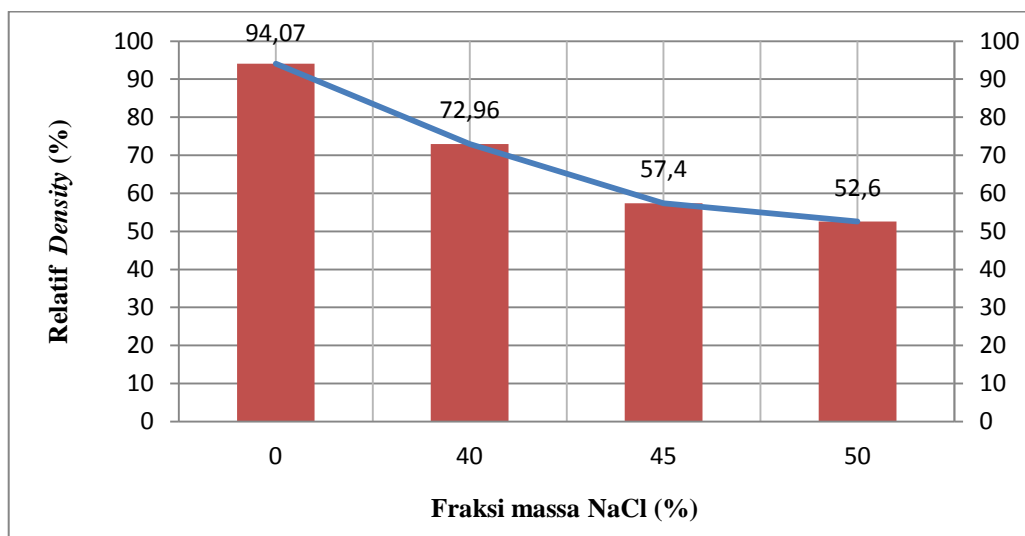


Gambar 4.4. Spesimen *aluminum foam* dengan porositas yang berbeda
a) 0% NaCl; b) 40% NaCl; c) 45% NaCl; dan d) 50% NaCl



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara fraksi massa NaCl terhadap densitas

Dari Gambar 4.5 terlihat densitas mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya persentase fraksi massa NaCl. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan fraksi massa NaCl akan menurunkan densitas *aluminum foam*. Hal ini terjadi karena semakin banyak NaCl yang ditambahkan akan semakin banyak gelembung gas yang dihasilkan dan terperangkap di dalam saat penurunan temperatur aluminium secara cepat, sehingga terbentuk pori-pori. Jika semakin banyak pori-pori yang terbentuk, maka kepadatan dari *aluminum foam* akan berkurang. Pada grafik diatas terlihat densitas tertinggi sebesar 2,54 g/cm³ pada penambahan 0% fraksi massa NaCl atau 100% aluminium tanpa penambahan *foaming agent* NaCl. Sedangkan densitas terendah terdapat pada penambahan 50% NaCl sebesar 1,42 g/cm³.



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara fraksi massa NaCl terhadap nilai relatif *density*

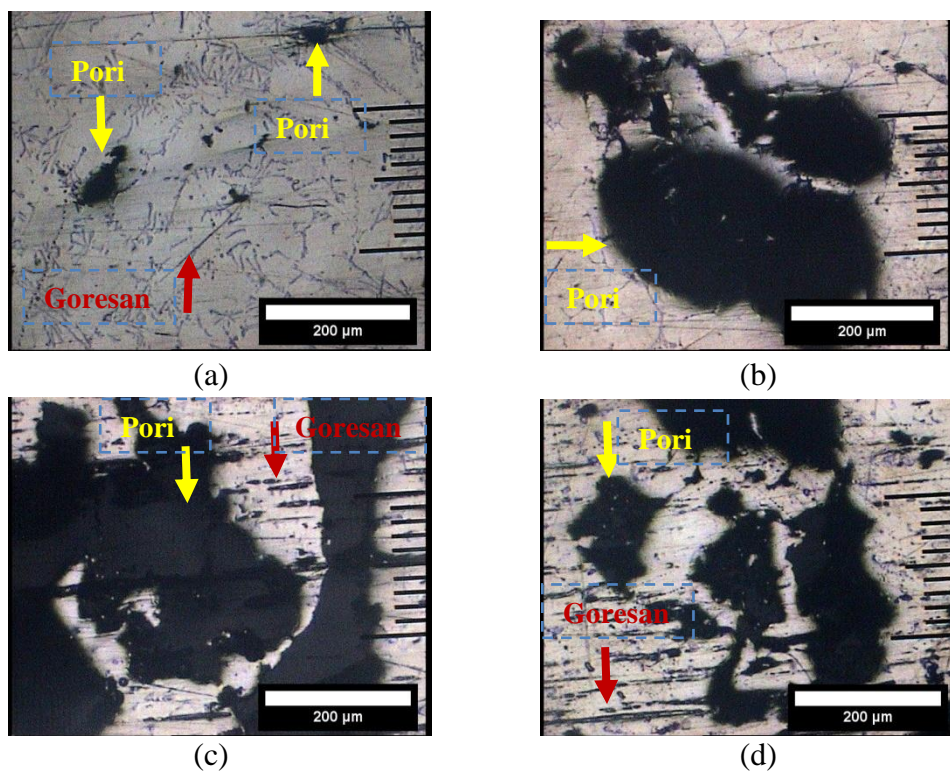
Gambar 4.6 menunjukkan nilai relatif *density* pada semua spesimen. Relatif *density* merupakan nilai densitas persatuan volume. Dari gambar di atas menunjukkan nilai relatif *density* mengalami penurunan. Pada fraksi massa NaCl 0% nilai relatif *density* sebesar 94,07% dan pada fraksi 50% NaCl sebesar 52,6%.

4.3. Hasil Pengamatan Struktur Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan pada spesimen 0%, 40%, 45%, dan 50%. Foto makro diambil dengan pembesaran 50x sehingga terlihat bentuk dari pori-pori. Hasil foto makro dari setiap spesimen A, B, C, dan D terlihat pada Gambar 4.7. Gambar 4.7a merupakan spesimen A dengan 0% NaCl (*raw material*), terlihat dari foto makro tersebut, terdapat ada beberapa pori dan goresan dari hasil pengamplasan. Pori-pori yang terlihat masih sedikit dengan ukuran sebesar 98,10 μm . Pori-pori tersebut terbentuk karena adanya udara yang terperangkap pada saat proses penuangan aluminium cair ke dalam cetakan. Penurunan temperatur yang cepat pada saat pemadatan aluminium, membuat udara yang terdapat pada cetakan naik dan terperangkap di dalam aluminium.

Pada Gambar 4.7b merupakan foto struktur makro spesimen B dengan 40% NaCl. Terlihat terdapat beberapa pori-pori dengan berbagai macam ukuran dan

bentuk. Bentuk dari pori-pori tersebut adalah ireguler. Serta, jarak dari setiap pori-pori masih berdekatan, hal ini menunjukkan penyebaran pori-pori masih belum merata dan seragam. Beberapa pori pada spesimen B memiliki ukuran sebesar 123,33 μm dan 409,01 μm . Dapat disimpulkan, bahwa bentuk dari pori-pori ireguler dan seragam, serta memiliki ukuran pori yang besar. Seperti yang disampaikan oleh Pamungkas (2015), pori yang besar disebabkan karena pada proses pengadukan NaCl tidak terdistribusi secara merata dan menumpuk pada bagian tertentu.

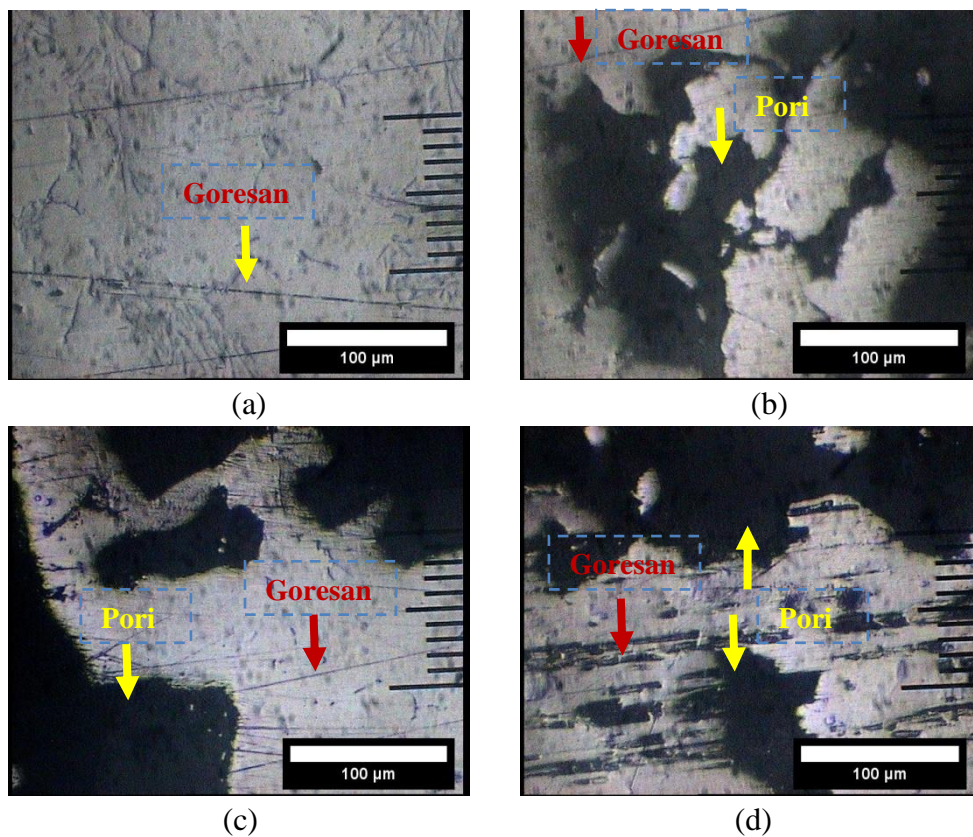


Gambar 4.7. Foto makro *aluminum foam*
a) 0% NaCl; (b) 40% NaCl; (c) C 45% NaCl; dan (d) 50% NaCl.

Sama halnya dengan Gambar 4.7c spesimen C dengan 45% NaCl terlihat pori-pori yang cukup besar dan saling berhubungan, meskipun terdapat dinding-dinding pori yang memisahkan. Hal ini menunjukkan bahwa pori-pori yang terbentuk masih belum seragam, baik ukuran dan jarak dari setiap pori-pori. Bentuk dari pori-pori spesimen ini ireguler. Salah satu pori-pori yang besar memiliki ukuran 346,35 μm . Sedangkan struktur makro spesimen D dengan 50% NaCl ditunjukkan pada Gambar 4.7d, pada gambar tersebut menunjukkan bentuk

pori yang hampir sama dengan pori pada spesimen C. Terdapat pori-pori yang saling berhubungan, walaupun masih terdapat dinding pori yang memisahkan. Serta masih terlihat beberapa goresan hasil dari proses pengamplasan. Salah satu pori-pori yang terdapat pada spesimen D, memiliki ukuran $169,21 \mu\text{m}$ dan ukuran pori yang kecil memiliki ukuran sebesar $28,76 \mu\text{m}$.

4.4. Hasil Pengamatan Struktur Mikro



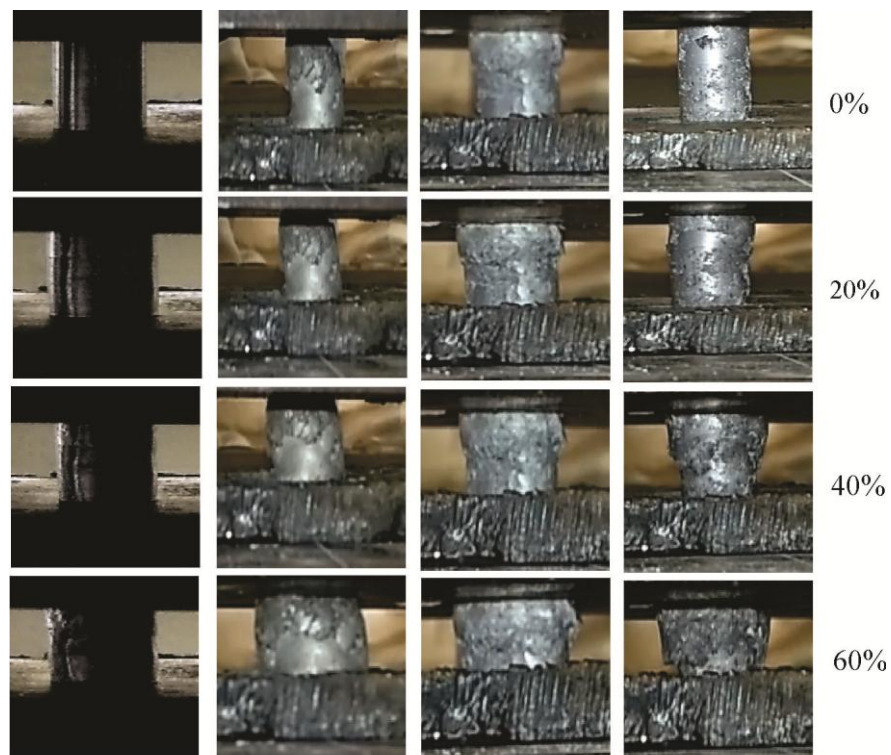
Gambar 4.8. Foto mikro *aluminum foam*
 (a) 0% NaCl; (b) 40% NaCl; (c) 45% NaCl; dan (d) 50% NaCl.
 (b)

Hasil struktur mikro *aluminum foam* di atas diambil dengan pembesaran 100x. Dari semua spesimen masih terlihat bekas goresan dari proses pengamplasan, dan spesimen D dengan 50% NaCl terlihat memiliki goresan yang cukup dalam. Pori-pori yang terbentuk dari semua spesimen memiliki bentuk ireguler. Gambar 4.8b spesimen B (40% NaCl) menunjukkan pori-pori tersebut saling berhubungan satu dengan yang lain, meskipun memiliki dinding antar pori. Beberapa pori memiliki ukuran sebesar $198,89 \mu\text{m}$ dan $94,37 \mu\text{m}$. Pada Gambar

4.8c terlihat terdapat pori-pori besar dan pori-pori kecil, berbeda dengan pori-pori spesimen C, pori-pori pada spesimen D memiliki dinding antar pori yang membuat pori-pori tidak saling berhubungan. Sedangkan Gambar 4.8d memiliki pori-pori yang cukup besar dan saling berhubungan. Pori-pori yang terkecil memiliki ukuran sebesar $46,25 \mu\text{m}$.

4.5. Hasil Pengujian Tekan

4.5.1. Analisa Spesimen *Aluminum foam* Pada Saat Penekanan



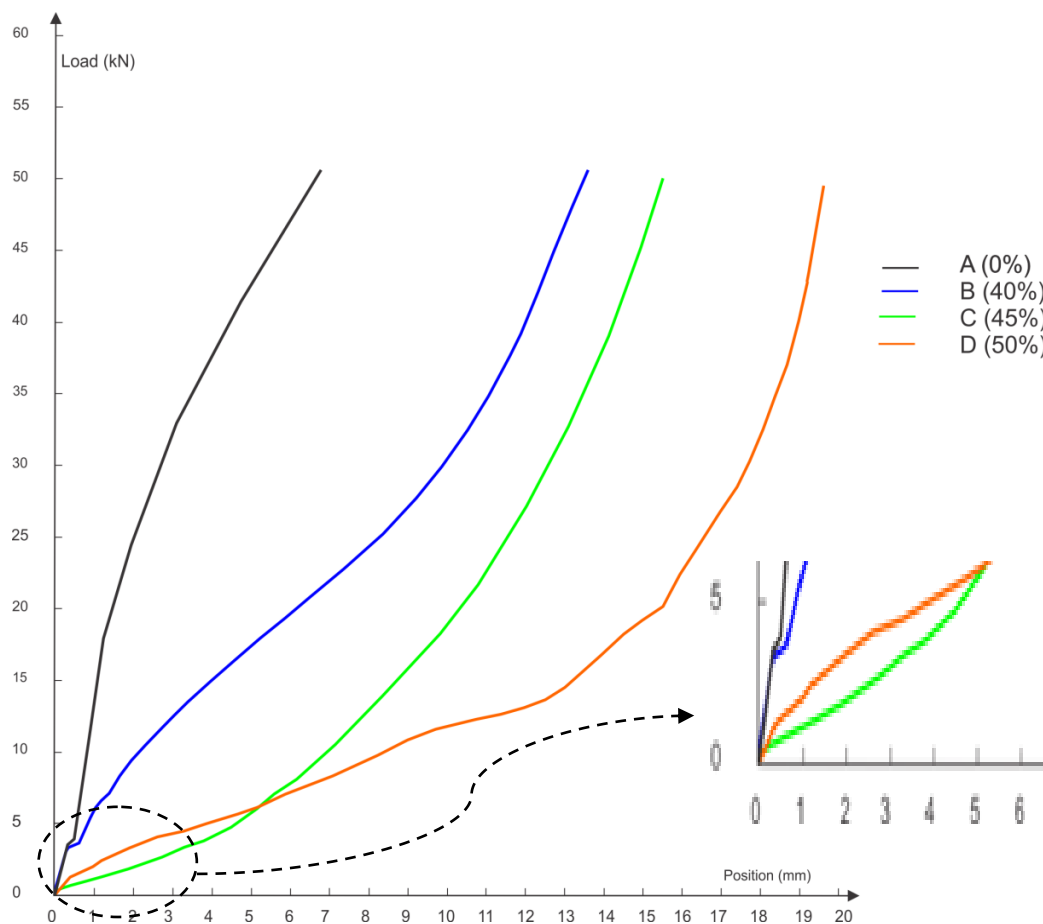
a) A (0% NaCl) b) B (40% NaCl) c) C (45% NaCl) d) D (50% NaCl)

Gambar 4.9. Penekanan dengan % reduksi bertahap

Proses pengujian tekan (*compress testing*) menggunakan mesin UTM yang ditunjukkan pada Gambar 3.15. Kecepatan penekanan yang digunakan sebesar $0,25 \text{ mm/menit}$. Selama pengujian, spesimen A, B, C, dan D didokumentasikan dan terlihat tahap reduksi yang terjadi. Pada tahap ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap deformasi elastis dan tahap plastis. Pada reduksi 0% - 20% terjadi tahap elastis dengan pembebanan sebesar $50,55 \text{ kN}$. Pada Gambar 4.9 dengan reduksi 20%, terlihat sudah mulai terjadi penekanan yang menyebabkan daerah

bagian tengah mulai mengembang ke samping. Sedangkan reduksi 40% - 60% terjadi tahap plastis, pada tahap ini pori-pori mulai runtuh dan terjadi proses pemampatan sehingga *aluminum foam* mulai padat. Deformasi plastis menyebabkan putusannya ikatan atom dengan atom sebelahnya dan membentuk ikatan baru dengan atom yang lain. Jika beban dilepaskan, *aluminum foam* tidak akan kembali ke bentuk semula seperti pada Gambar 4.9 dengan reduksi 60%.

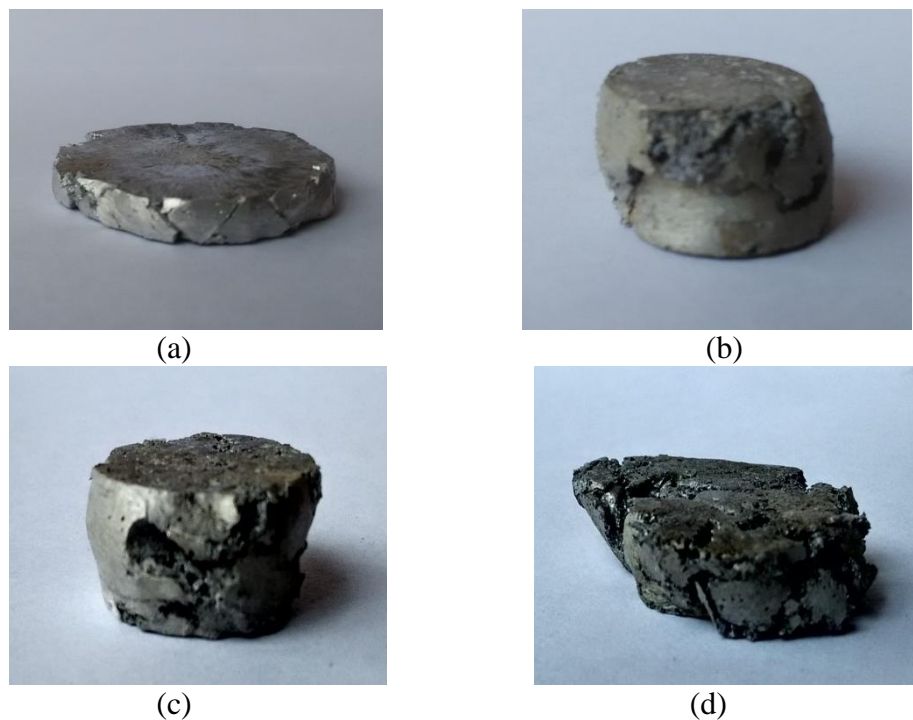
4.5.2. Kurva Pengujian Tekan Semua Spesimen



Gambar 4.10. Kurva beban dan pemampatan *aluminum foam* dengan variasi fraksi massa NaCl yang berbeda, dan (*insert* : pembesaran pada daerah *plateu*)

Gambar 4.10 menunjukkan grafik hubungan beban dan pemampatan pada setiap spesimen. Pada grafik, spesimen B (40% NaCl) terlihat cenderung naik pada beban awal, dikarenakan spesimen B terjadi pengecilan luas penampang

sehingga luasan yang terkena tekanan kecil. Spesimen A memiliki regangan terkecil dibanding dengan spesimen yang lain, yaitu sebesar 6 mm pada pembebanan 50,55 kN. Grafik spesimen C dan D mengalami regangan terlebih dahulu pada saat penekanan sebelum terjadi pemampatan dan grafik mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan runtuhnya pori-pori pada saat penekanan, setelah mulai pemampatan regangan mulai melambat dan tegangan mulai membesar. Regangan pada spesimen D merupakan yang terbesar, yaitu sebesar 18,8 mm, dengan beban maksimum 49,95 kN.



Gambar 4.11. Spesimen setelah ditekan
(a) A (0% NaCl); (b) B (40% NaCl); (c) C (45% NaCl); dan (d) D (50% NaCl)

Gambar 4.11a merupakan spesimen A yang ditekan menggunakan mesin UTM tanpa pengaturan beban maksimum, berbeda dengan spesimen yang lain, sehingga terlihat paling pipih dibanding dengan yang lain. Gambar 4.11b terlihat kerusakan dan pemampatan pada bagian tengah, hal ini menunjukkan pori-pori banyak berada pada bagian tengah. Sama halnya dengan Gambar 4.11c terjadi pemampatan dibagian tengah dan sedikit terjadi pada bagian bawah. Pada gambar

4.11d spesimen D menunjukkan pemampatan yang merata, sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebaran pori-pori yang cenderung merata.

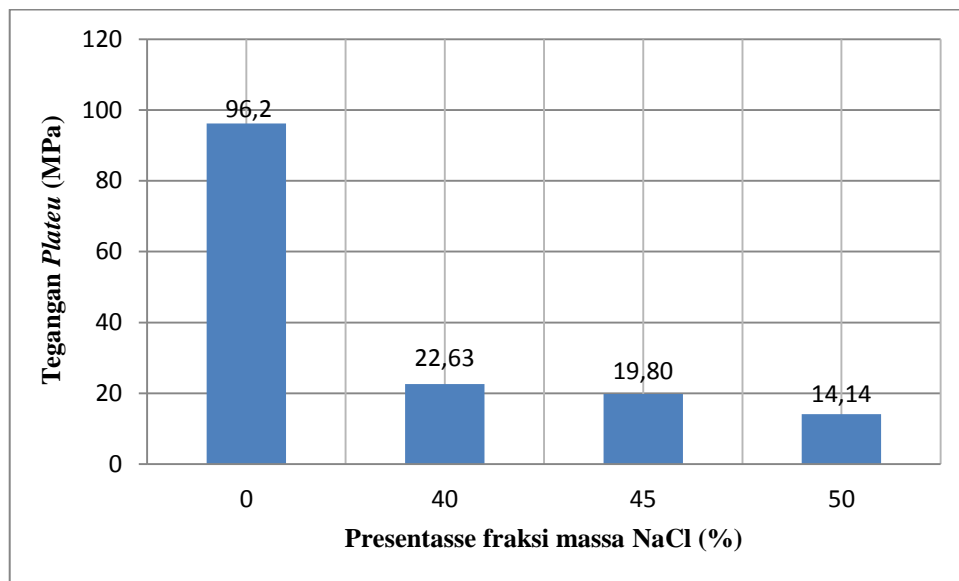
4.5.3. Perhitungan Tegangan *Plateu*

Sebelum menghitung nilai tegangan *plateu*, terlebih dahulu mengetahui nilai beban pada *plateu load* dari masing-masing spesimen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10.

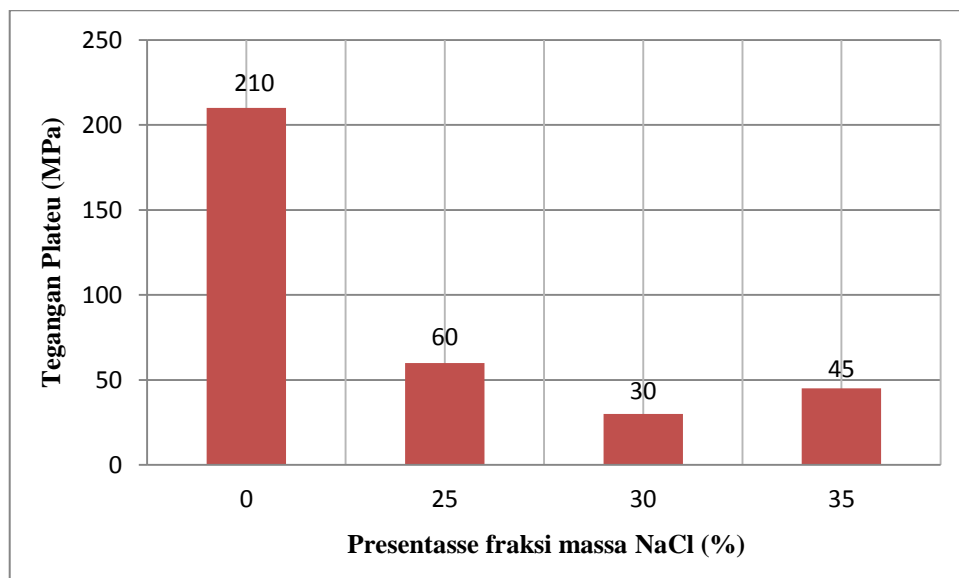
Tabel 4.2 Nilai tegangan *plateu* dan porositas masing-masing spesimen

Fraksi massa NaCl (%)	Porositas (%)	Beban pada <i>plateu load</i> (F) (kN)	Luas Penampang (A_0) (mm ²)	Tegangan <i>Plateu</i> (σ) (Mpa)
0	5,93	17	176,71	96,20
40	27,04	4	176,71	22,63
45	42,6	3,5	176,71	19,80
50	47,4	2,5	176,71	14,14

Pada Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan nilai *tegangan plateu* pada masing-masing spesimen. Nilai *tegangan plateu* cenderung turun seiring bertambahnya persentase porositas spesimen. Pada penelitian terdahulu, seperti Pamungkas (2015) menyimpulkan bahwa semakin tinggi persentase fraksi massa, maka kuat tekan *aluminum foam* semakin rendah. Nilai tegangan tertinggi sebesar 96,20 MPa dan nilai *tegangan plateu* terkecil sebesar 14,14 MPa pada spesimen D. Jika data di atas dibandingkan dengan penelitian milik Pamungkas (2015), hasilnya akan seperti pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4.12. Grafik hubungan nilai *tegangan plateau* dengan persentase fraksi massa NaCl.



Gambar 4.13. Hubungan antara tegangan terhadap fraksi massa NaCl (Pamungkas, 2015).