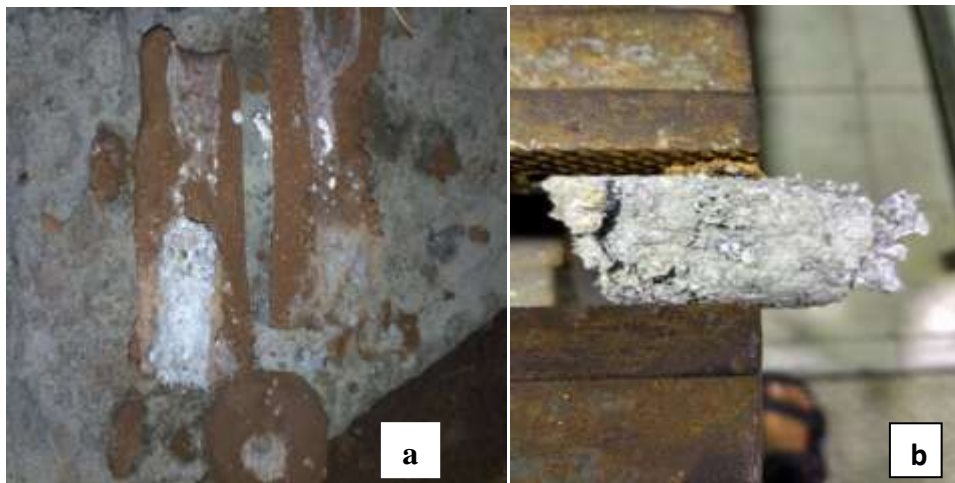


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Produk *Aluminum Foam*

Setelah proses pembuatan *Aluminum foam* dengan metode *melt route process* telah dilakukan maka didapat produk alumunium berupa *bulk material* seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. a).*Bulk Material* setelah Dicetak, b). *Bulk Material* Utuh

Aluminum foam yang masih berbentuk *bulk material* tersebut masuk ke tahap selanjutnya yaitu tahap *machining* menggunakan mesin bubut untuk melihat pori-pori yang terbentuk untuk membuat sampel uji tekan. Sampel uji tekan dibuat dengan diameter 15 mm dan tinggi 25 mm. Hasil dari proses *machining* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



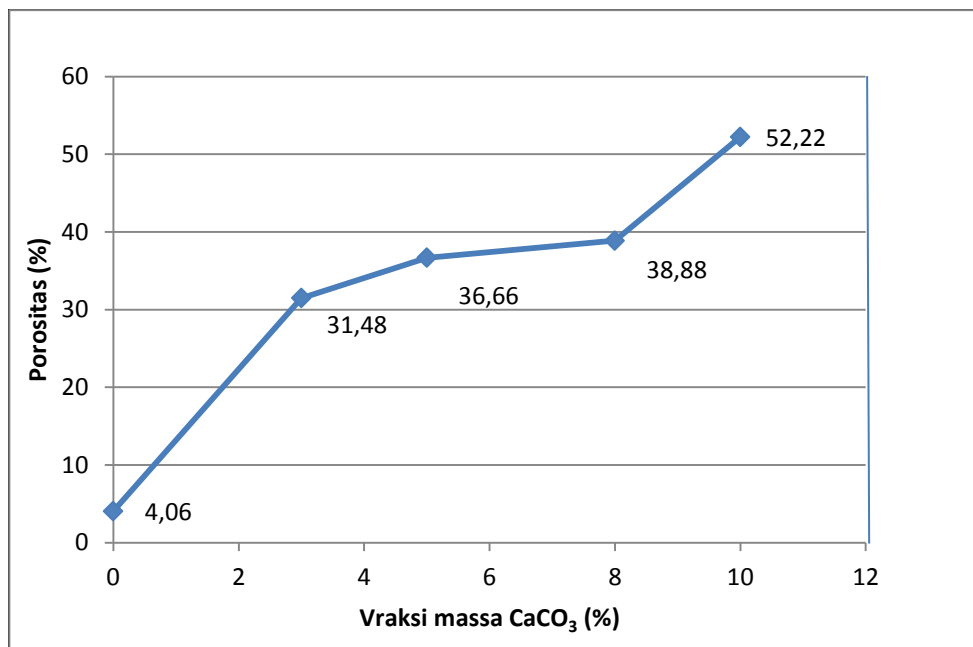
Gambar 4.2. Hasil Sampel *Aluminum Foam* dengan Variasi Fraksi Massa CaCO_3

4.2. Hasil Pengujian Densitas dan Porositas

Sampel *aluminum foam* yang telah melalui tahap *machining* kemudian diuji untuk mengetahui persentase porositas yang terdapat pada sampel *aluminum foam* tersebut. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1. berikut:

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Densitas dan Porositas

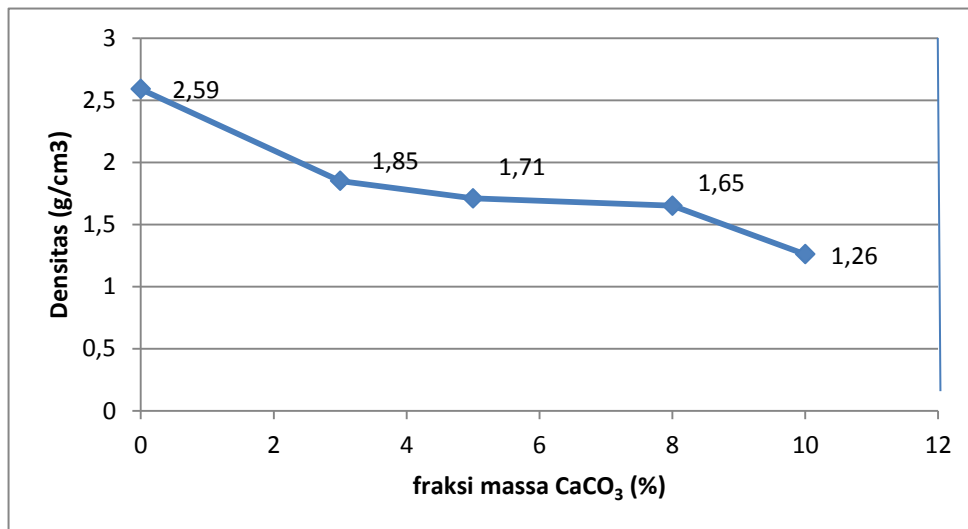
Sampel	Fraksi Massa CaCO_3 (%)	Diameter d (cm)	Tinggi h (cm)	Densitas Sampel P_E (g/cm^3)	Porositas P (%)
A	0	1,5	2,5	2,59	4,07
B	3	1,5	2,5	1,85	31,48
C	5	1,5	2,5	1,71	36,66
D	8	1,5	2,5	1,65	38,88
E	10	1,5	2,5	1,26	52,22



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Fraksi Massa CaCO_3 terhadap Porositas

Dilihat dari grafik hubungan fraksi massa CaCO_3 terhadap porositas (Gambar 4.1) dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan fraksi massa CaCO_3 akan meningkatkan porositas. Hal ini terjadi karena semakin besar persentase CaCO_3 , maka CaCO_3 yang tercampur kedalam cairan aluminum akan terdistribusi pada saat proses *stirring*. Oleh karena itu, semakin banyak pula gas yang akan keluar yang akhirnya akan menghasilkan *foam* atau pori-pori pada aluminum. Dari grafik porositas tersebut secara keseluruhan menunjukkan semakin banyaknya jumlah massa CaCO_3 sebagai *foaming agent* akan mempengaruhi nilai porositas pada *aluminum foam* yang dihasilkan.

Nilai porositas tertinggi adalah spesimen E(10% CaCO_3) dengan persentase sebesar 52,22%. Porositas terendah adalah spesimen A(0% CaCO_3) sebesar 4,06%. Pada spesimen A(0% CaCO_3) masih terdapat porositas hal ini disebabkan karena masih tersisnya CaCO_3 yang masih menempel pada dinding kowi, walaupun sudah dibersihkan akan tetapi ketika sudah mengeras susah untuk dihilangkan, hal ini yang dapat menyebabkan timbulnya pori kecil yang terdapat pada *Aluminum foam*.



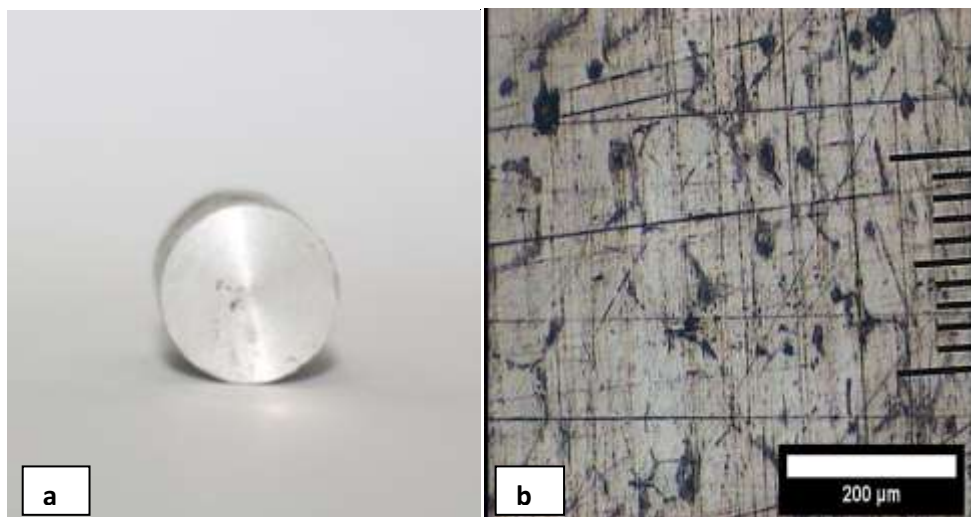
Gambar 4.4. Grafik Hubungan antara Fraksi Massa CaCO_3 terhadap Densitas

Pada Gambar 4.4. terlihat densitas semakin menurun seiring bertambahnya persentase CaCO_3 . Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan CaCO_3 sebagai foaming agent akan menurunkan densitas aluminum. Hal ini terjadi karena semakin banyak penambahan CaCO_3 maka semakin banyak pula pori yang dihasilkan, dikarenakan CaCO_3 mengeluarkan partikel gas dan gas itu pula yang menghasilkan pori pada aluminum. Dengan banyaknya gelembung gas maka pori yang dihasilkan akan semakin banyak pula.

Nilai densitas tertinggi adalah pada spesimen A (0%) fraksi massa atau 100% aluminum tanpa campuran sebesar $2,59 \text{ g/cm}^3$. Densitas terbesar kedua yaitu pada spesimen B (3%) sebesar $1,85 \text{ g/cm}^3$ dan densitas terendah adalah 1,26 yaitu pada spesimen E dengan massa CaCO_3 sebesar (10%).

4.3. Hasil Pengamatan Struktur Makro dengan Pembesaran 25x.

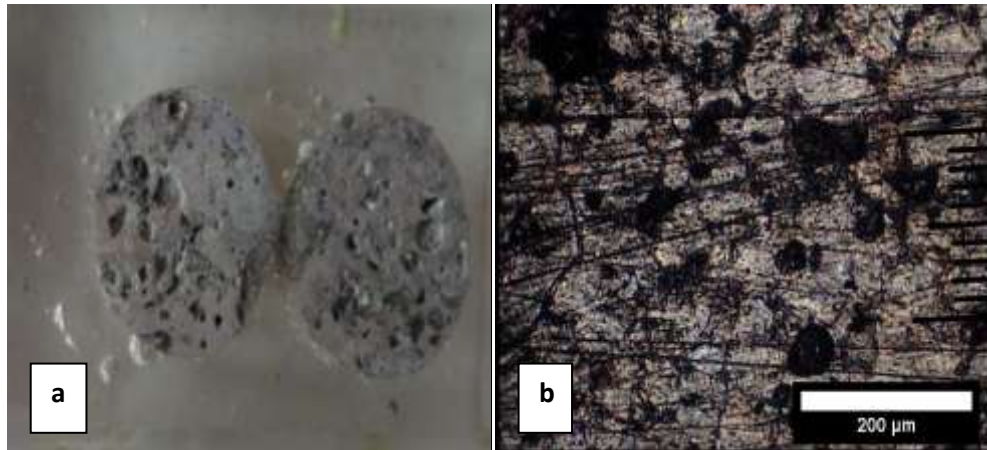
Pengamatan foto makro diambil dengan pembesaran 25x hingga terlihat bagian permukaan yang berpori yaitu pada spesimen A, B, C, D dan E. Hasil foto makro dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 4.5. a). Sampel 0%, b). Foto Makro Sampel 0%

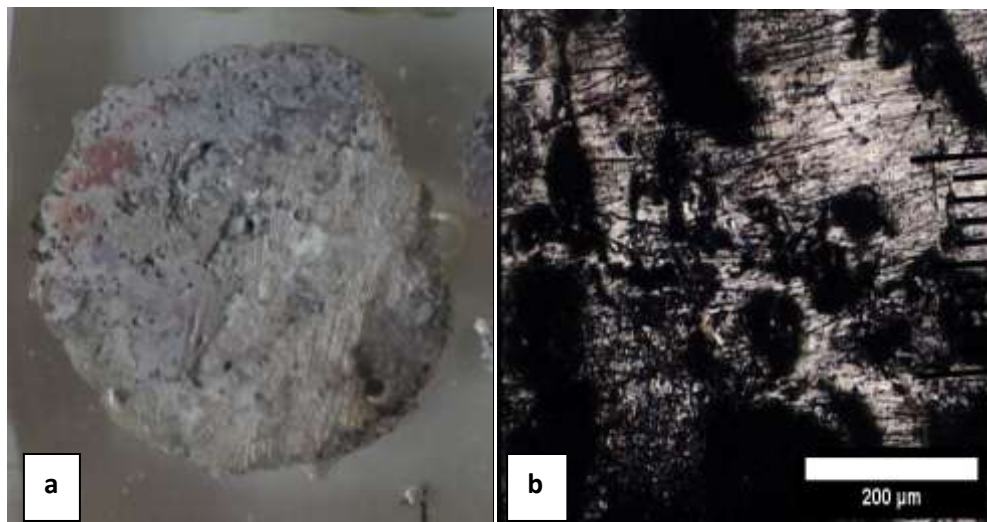
Dilihat pada Gambar 4.5 di atas terlihat hampir sebagian rata, namun ada beberapa bagian yang terlihat adanya pori-pori yang sangat kecil. Hal ini

disebabkan karena adanya material pengotor lain dan juga saat proses penuangan aluminum kedalam cetakan.



Gambar 4.6. a). Sampel 3%, b). Foto Makro Sampel 3%

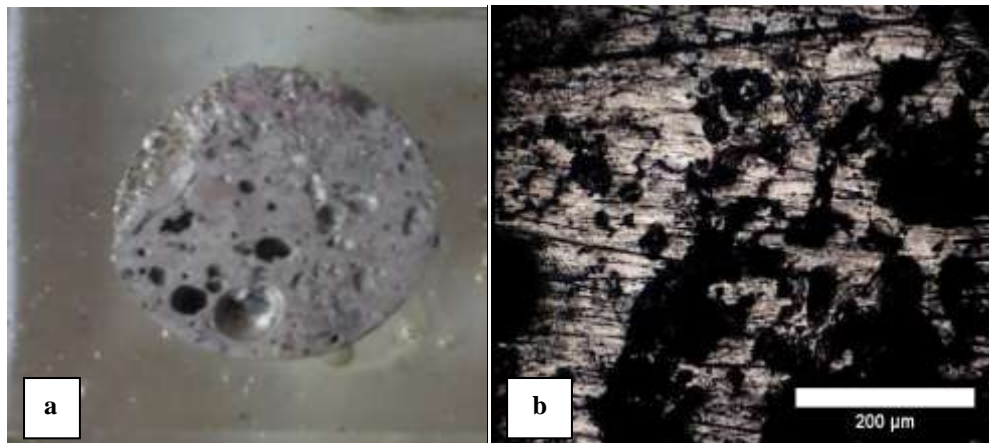
Pada Gambar 4.6 yaitu sampel pengujian foto makro dengan variasi penambahan 3% terlihat pori berbentuk lingkaran dan ada beberapa pori yang berbentuk granular, tetapi pori tidak merata kesemua titik dan ukuran tidak seragam. Hal ini disebabkan karena pada saat pengadukan, yang menyebabkan *foam* tidak merata melainkan menumpuk pada bagian tertentu.



Gambar 4.7. a). Sampel 5%, b). Foto Makro Sampel 5%

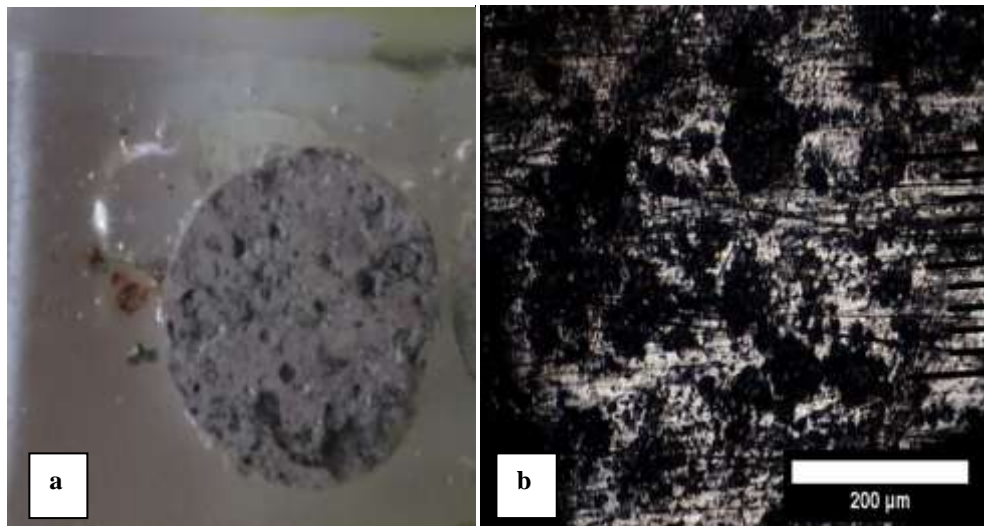
Pada Gambar 4.7 sampel 5% terdapat pori-pori pada sampel. Pori-pori cenderung hampir merata kesemua sisi tetapi diameter pori lebih kecil hanya beberapa yang terlihat pori yang besar. Hal ini disebabkan karena pada saat

proses stirring berlangsung CaCO_3 tidak tercampur dengan merata kesemua sisi dan hanya mengumpul di satu tempat saja. Kemungkinan NaCl masih terdapat di bawah cetakan tidak tercampur karena proses pengadukan dicetakan batang pengaduk tidak menyentuh NaCl yang ada didasar cetakan.



Gambar 4.8. a). Sampel 8 %, b). Foto Makro Sampel 8%

Pada gambar 4.8 yaitu sampel untuk pengujian mikro variasi penambahan 8% fraksi massa CaCO_3 terdapat pori cukup merata pada setiap sisi sampel namun pori-pori yang terbentuk ukurannya tidak seragam.



Gambar 4.9. a). Sampel 10%, b). Foto Makro Sampel 10%

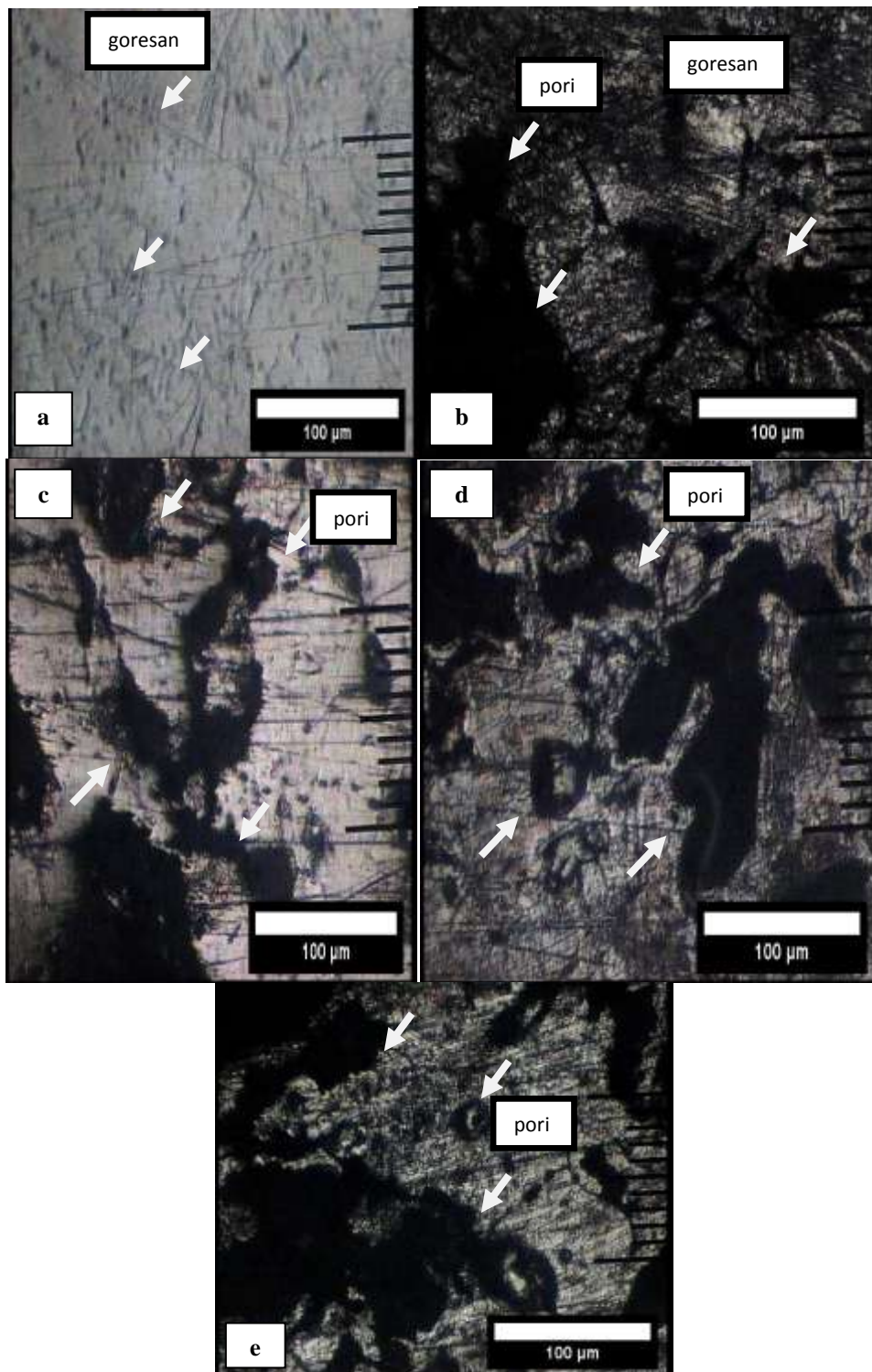
Pada Gambar 4.9 struktur makro spesimen 10% CaCO_3 terlihat pori dengan ukuran berbeda-beda dan merata di setiap sisi sampel. Sebagian besar

permukaan sampel didominasi oleh pori dengan ukuran yang besar dan ada di setiap sisi. Hal ini dipengaruhi oleh proses pengadukan dan proses dari homogenitas dari suatu pencampuran.

Kesimpulan dari Gambar 4.9 di atas bahwa setiap spesimen memiliki bentuk morfologi pori yang berbeda dari mulai diameter besar dan kecil serta yang tidak membentuk bulatan. Spesimen A (0%) dan B (3%) cenderung memiliki permukaan yang sedikit pori dengan jarak yang yang tidak terlalu jauh antar pori. Berbeda dengan C (5%), D (8%) dan E (10%) yang cenderung memiliki banyak pori dengan jarak antar pori yang berdekatan dan merata di setiap sisi. Jarak antar pori ini akan mempengaruhi perilaku *aluminum foam* dan pengujian mekanik pada spesimen.

4.4. Hasil Pengamatan Struktur Mikro Pembesaran 100x

Berikut adalah hasil foto mikro sampel menggunakan mikroskop optilab dengan tujuan untuk mengetahui struktur pori yang terbentuk pada sampel dengan penambahan 0%, 3%, 5%, 8% dan 10% fraksi massa CaCO_3 .



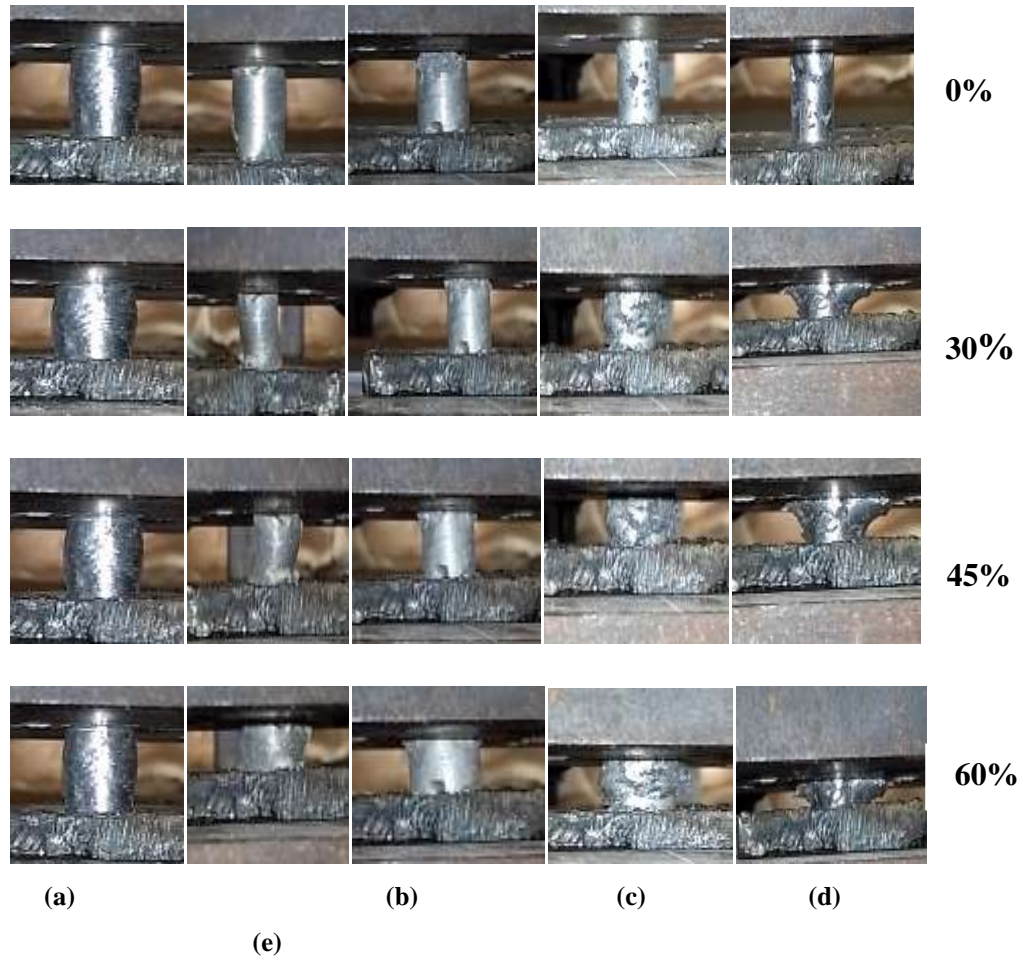
Gambar 4.10. a). Spesimen A(0% CaCO_3), b). Spesimen B(10% CaCO_3), c). Spesimen C (5% CaCO_3), d). Spesimen D(8% CaCO_3), e). Spesimen E(10% CaCO_3) Menggunakan Struktur Mikro *Aluminum Foam*.

Pada hasil pengambilan foto mikro struktur spesimen didapatkan hasil seperti Gambar 4.10 di atas, pengambilan dilakukan dengan menggunakan pembesaran 100x. Dari hasil pengambilan foto mikro struktur spesimen didapatkan hasil seperti Gambar 4.10. Pada spesimen A permukaan cenderung rata namun ada beberapa bagian yang terdapat pori walaupun ukurannya sangat kecil serta terdapat jalur *machining*. Sedangkan untuk spesimen B terdapat pori yang cenderung berbentuk lingkaran, tetapi lebih banyak yang tidak berbentuk lingkaran. Pada spesimen C terlihat cenderung berpori namun bentuknya tidak beraturan dan didominasi dengan pori yang bergabung menjadi satu. Spesimen D terlihat berpori namun bentuk dan ukurannya tidak merata. Didominasi oleh pori-pori yang bergabung menjadi satu. Pada spesimen E terlihat cenderung berpori dan merata di setiap sisi namun pori-pori yang terbentuk tidak merata dan ukuran pori tidak seragam. Hal ini terjadi karena pada saat proses stirring dilakukan CaCO_3 sebagai penghasil gelembung gas tidak terdistribusi secara merata keseluruh campuran aluminium cair sehingga gelembung gas yang terbentuk hanya terdapat pada beberapa bagian saja.

4.5 Hasil Pengujian Tekan

Ke-lima sampel *Aluminum foam* dilakukan pengujian tekan untuk mengetahui pengaruh penambahan fraksi massa CaCO_3 terhadap kuat tekan *Aluminum foam*. Berikut ini merupakan gambar analisa kelakuan spesimen *Aluminum foam* saat penekatan.

4.5.1. Analisa Kelakuan Spesimen *Aluminum Foam* saat Penekanan



Gambar 4.11. Penekanan Spesimen dengan % Reduksi yang Bertahap (a) 0% CaCO_3 (b) 3% CaCO_3 (c) 5% CaCO_3 (d) 8% CaCO_3 (e) 10% CaCO_3

Proses pengujian tekan menggunakan alat UTM ditunjukkan pada Gambar 4.11. selama sengujian tekan, spesimen dipotret pada tahap reduksi 0%, 30%, 45% dan 60%. Analisa mengenai penekanan ini pada spesimen B, C, D dan E.

Pada tahap 0%-30% terjadi tahap perambatan dan menempatkan pita deformasi, hal tersebut terlihat pada setiap spesimen walau pita deformasi ini sangat kecil. pada bagian ini mengalami perubahan bentuk spesimen karena mengalami penekanan secara kontinyu. Pada spesimen B terlihat pita retakan semakin banyak akibat penekanan. Pada spesimen C mengakami penyusutan

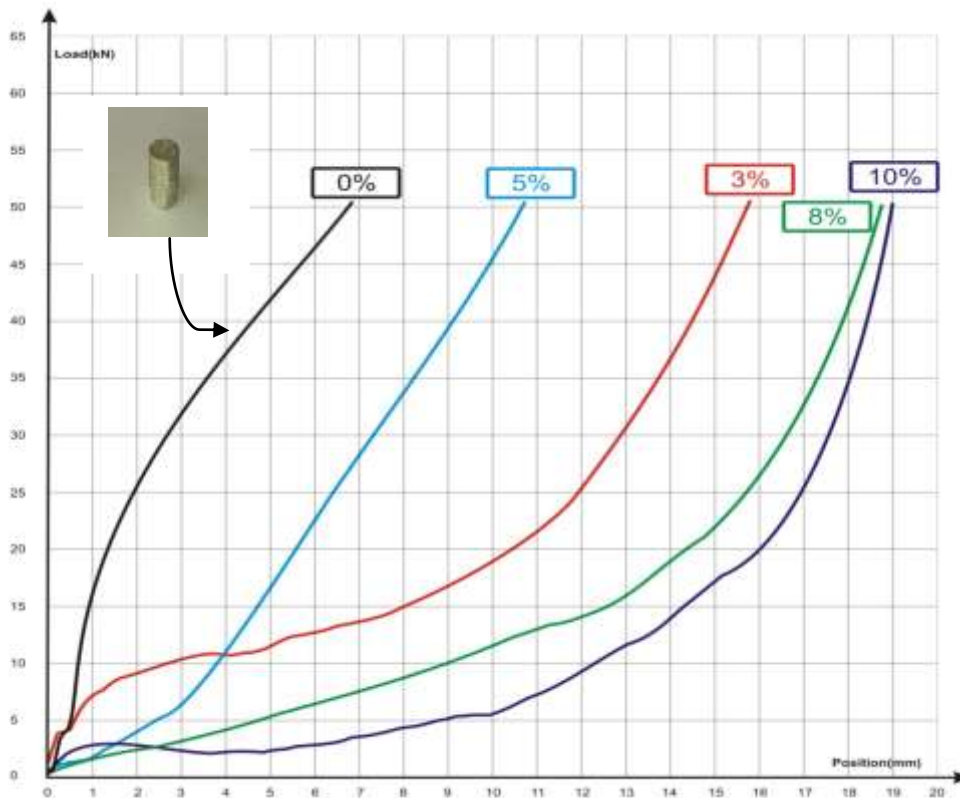
spesimen dikarenakan banyak pori yang terdapat pada permukaan atas spesimen. Pada spesimen D spesimen mengalami penyusutan pada bagian tengah spesimen. Spesimen ini mengalami pelebaran permukaan bagian atas akibat penekanan yang kontinyu. Pada spesimen E mengalami penyusutan dan spesimen bagian permukaan atas yang mengalami penekanan melebar.

Tahap reduksi 30%-45% terlihat semakin banyak retakan yang mengakibatkan deformasi pada hampir semua bagian spesimen. Pada spesimen B mengalami penyusutan dan bagian tengah spesimen melebar ke samping. Pada spesimen C hanya mengalami penyusutan dan tidak melebar kesamping. Pada spesimen D mengalami penyusutan dan spesimen melebar dari mulai permukaan sampel akibat penekanan yang terjadi. Pada spesimen E juga mengalami penyusutan dan melebar pada bagian permukaan atas spesimen.

Tahap reduksi 60% terlihat spesimen B, C, D dan E mengalami densifikasi yaitu ketika semua bagian pori pada spesimen telah rusak dan mengalami pemampatan. Pada spesimen B mengalami perubahan tinggi dan juga diameternya. Pada spesimen C mengalami perubahan tinggi dan bentuk, pelebaran hanya terjadi pada permukaan atas spesimen. Pada spesimen D mengalami perubahan tinggi dan juga bentuk, bentuknya cenderung gepeng hal ini terjadi karena saat penekanan pori-pori merata pada setiap sisi spesimen dan mengalami penekanan pori itu runtuh karena penekanan. Pada spesimen E terjadi perubahan tinggi dan bentuk, hal ini terjadi karena pori-pori pada spesimen runtuh akibat terjadi penekanan. Dari ini dapat disimpulkan bahwa spesimen D dan E sangat rapuh dibandingkan spesimen B dan juga C.

Tabel 4.2. Data Kurva Tegangan Regangan

Sampel	Fraksi Massa CaCO ₃ (%.wt)	Kuat Tekan σ (MPa)	Warna Garis
A	0	285,37	■
B	3	284,41	■
C	5	285,19	■
D	8	283,71	■
E	10	284,89	■



Gambar 4.12. Kurva Tegangan Regangan Pada Berbagai Variasi Massa CaCO₃.

Pada Gambar 4.12 terlihat perbedaan kurva dari tiap sampel uji tekan *aluminum foam*. Grafik menunjukkan bahwa kurva akan semakin landai seiring bertambahnya fraksi massa CaCO₃. Seperti yang terlihat pada grafik 3%, 8% dan 10%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi porositas maka

kekuatan tekan yang terjadi pada sampel kekuatan tekan akan semakin rendah. Sedangkan pada fraksi massa CaCO_3 5% cenderung langsung naik hal ini dikarenakan karena porositas yang terbanyak terdapat pada permukaan spesimen. Hal ini ditandai dengan landainya kurva uji tekan pada saat awal saja, karena saat itu adalah saat pori-pori runtuh akibat penekanan. Pada kurva ditunjukkan penambahan 10% fraksi massa CaCO_3 jauh perbedaannya. Hal ini disebabkan karena porositas pada sampel E (penambahan 10% fraksi massa CaCO_3) tersebut paling besar sehingga kuat tekan yang didapat paling rendah hal ini dikarenakan saat runtuhnya pori-pori saat terkena penekanan yang terjadi pada sampel E ditandai dengan menurunnya kurva uji tekan dibandingkan dengan sampel B (penambahan 3% fraksi massa CaCO_3) dan sampel C (penambahan 5% fraksi massa CaCO_3) hal ini ditandai dengan paling landainya sampel E tersebut. Spesimen hasil pengujian tekan dapat dilihat pada Gambar 4. 13.



b. Spesimen B (3%)



c. Spesimen C (5%)



d. Spesimen D (8%)



e. Spesimen E (10%)

Gambar 4.13. Spesimen setelah dilakukan pengujian tekan

Terlihat pada spesimen mengalami kerusakan yang berbeda tiap spesimennya. Pada spesimen A pada Gambar 4.13.a terlihat hanya terjadi penyusutan pada spesimen dan mengalami pengelembungan di bagian tengah spesimen hal ini dikarenakan saat dilakukannya pengujian tekan bagian atas dan bawah spesimen tidak diberi pelumas, pemberian pelumas pada saat pengujian tekan ini bertujuan agar saat pengujian tekan dilakukan penyusutannya merata. Jika tidak diberi pelumas cenderung akan mengembang di bagian tengah spesimen. Pada spesimen B pada Gambar 4.13.b kerusakan pada spesimen ada di bagian sisi dan juga mengalami penyusutan. Pada Gambar 4.13.c kerusakan spesimen hanya terjadi pada permukaan yang melebar dan juga mengalami penyusutan tinggi. Pada Gambar 4.13.d kerusakan pada spesimen terlihat merata pada bagian tengah spesimen, dikarenakan spesimen dapat tertekan sampai hancur. Pada Gambar 4.13.e kerusakan merata pada setiap sisi, kemungkinan pori-pori yang terdapat pada spesimen ini merata di setiap sisi *aluminum foam*.

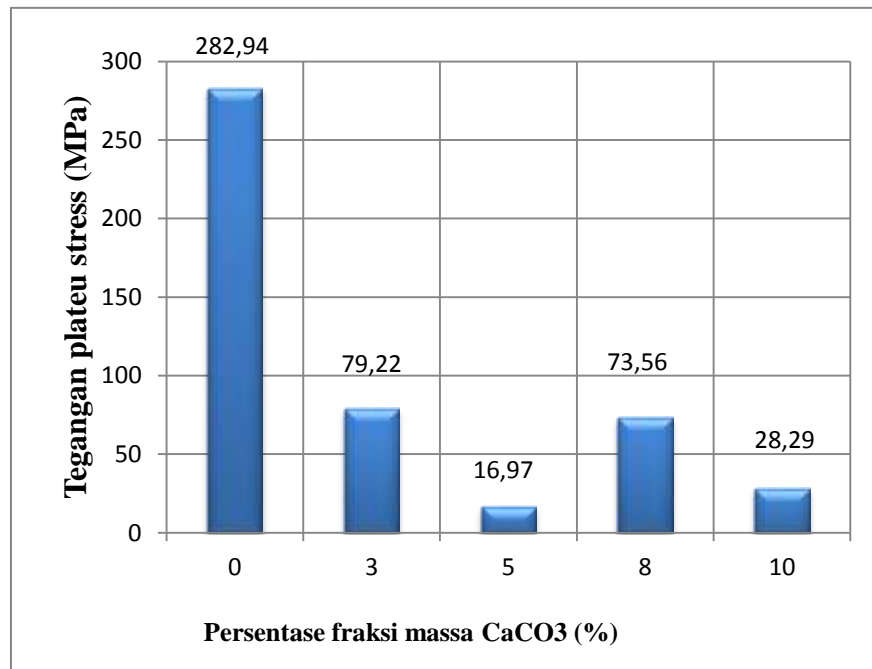
4.5.2. Perhitungan Tegangan Luluh

Tabel 4.4. Nilai Tegangan Luluh dan Porositas Masing-Masing Spesimen

Fraksi massa CaCO ₃ (%)	Porositas (%)	Beban pada <i>plateu stress</i> (F) (kN)	Luas penampang (A ₀)(mm ²)	Tegangan luluh (σ) (Mpa)
0	4,07	50	176,71	282,94
3	31,48	14	176,71	79,22
5	36,66	3	176,71	16,97
8	38,88	13	176,71	73,56
10	52,22	5	176,71	28,29

Pada Tabel 4.4 menunjukkan nilai tegangan luluh pada masing-masing spesimen. Nilai tegangan luluh cenderung menurun, penurunan terendah yaitu pada spesimen 5% penambahan CaCO₃, hal ini terjadi karena pori-pori pada spesimen ini hanya muncul pada permukaan atas spesimen. Setelah melalui penekanan dan pori-pori yang terdapat pada permukaan spesimen runtuh tertekan pada pembebanan 3 kN, kemungkinan setelah penekanan tersebut masih terdapat

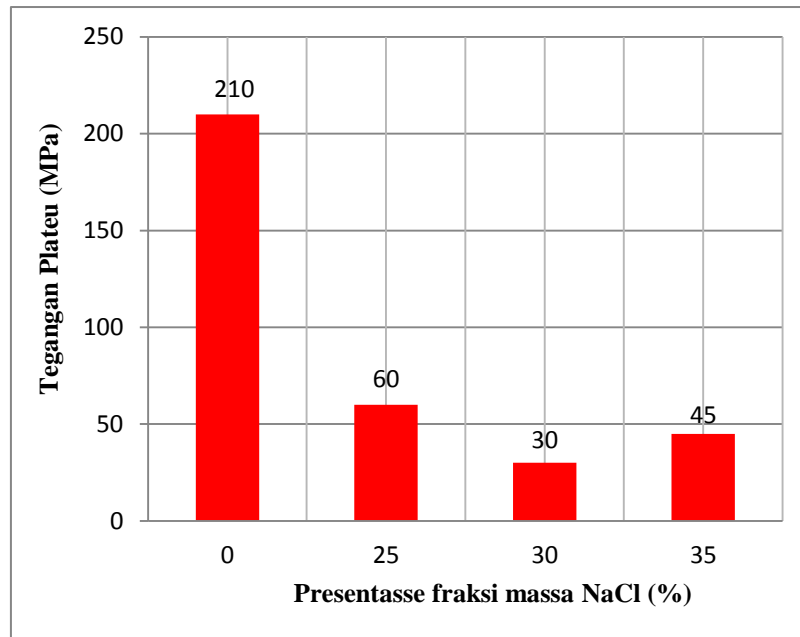
pori nmun tidak merta di setiap sisi spesimen. Nilai tegangan luluh yang ditampilkan pada Grafik 4.14.



Gambar 4.14. Grafik Hubungan Nilai Tegangan Luluh dengan Fraksi Massa CaCO₃.

Dalam grafik ini dapat dilihat penurunannya, dan penurunan derastis terjadi pada spesimen dengan persentase fraksi massa penambahan CaCO₃ sebanyak 5% dan juga 10% penambahn.dalam hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi nilai porositas yang dimiliki spesemen *aluminum foam* maka akan menurunkan nilai kekuatan tekannya. Hal ini dikarenakan semakin tinggi porositas yang dimiliki oleh spesimen *aluminum foam* maka pori yang yang terbentuk juga akan semaki banyak pula (Akhyari, 2013).

Pada Gambar 4.15 apabila dibandingkan dengan penelitian (Pamungkas, 2015), yang meneliti pengaruh penambahan fraksi massa NaCl sebagai blowing agent terhadap kekuatan tekan.



Gambar 4.15. Hubungan antara Tegangan Luluh Terhadap Fraksi Massa (Pamungkas, 2015).

Pengujian yang dilakukan (Pamungkas, 2015) dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan fraksi massa pada *aluminum foam* akan menurunkan kekuatan tekan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak persentase fraksi massa akan meningkatkan porositas pada *aluminum foam*. Hal inilah yang menyebabkan menurunnya kekuatan tekan pada suatu material *aluminum foam*. Ketika material menerima pembebanan maka beban tersebut akan disalurkan pada semua pori, sehingga beban akan terpusat pada dinding pori. Oleh sebab itu, pori akan lebih mudah mengalami deformasi.