

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Densitas pada *Aluminium Foam*

4.1.1 Data Hasil Pengujian Densitas pada *Aluminium Foam*

Nilai *apparent density* diperoleh dengan menggunakan metode piknometri dimana membandingkan berat spesimen di udara dengan di dalam air. Penimbangan berat spesimen di dalam air dilakukan setelah penimbangan berat di udara terlebih dahulu.



Gambar 4.1 Metode piknometri, (a) menimbang berat spesimen di udara, (b) menimbang spesimen di dalam air

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk memperoleh *apparent density* dengan metode piknometri :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (4-1)$$

Keterangan :

- ρ_s = *Apparent density* (gr/cm³)
- ρ_w = Densitas air (gr/cm³)
- W_s = Berat sampel di udara (gr).
- W_b = Berat keranjang di dalam air (gr).
- W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr).

Tabel 4.1 Data Hasil Perhitungan *Apparent Density*

Variasi <i>Casting Temperature</i>	Pengulangan	W_s (gr)	W_b (gr)	W_{sb} (gr)	ρ_s (gr/cm ³)	ρ_s rata-rata (gr/cm ³)
750 °C	1	17,36	44,44	41,47	0,85	0,81
	2	12,43	44,44	41,05	0,79	
	3	10,48	44,44	41,83	0,80	
800 °C	1	11,53	44,44	40,39	0,74	0,79
	2	12,65	44,44	41,42	0,81	
	3	11,82	44,44	42,20	0,84	
850 °C	1	13,86	44,44	40,70	0,79	0,67
	2	6,63	44,44	39,98	0,60	
	3	8,01	44,44	39,59	0,62	

Contoh perhitungan *apparent density* untuk variasi 750 °C pengulangan ke-1 :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

$$\rho_s = 1x \frac{17,36}{17,36 - (41,47 - 44,44)}$$

$$\rho_s = 0,85 \text{ gr/cm}_3$$

Tabel 4.2 Data perhitungan statistik hasil pengujian *apparent density aluminium foam*

Variasi <i>Casting Temperature</i>	ρ_s	$\bar{\rho}_s$	$\rho_s - \bar{\rho}_s$	Standar Deviasi (δ)
Variasi I (750 °C)	0,85	0,81	-0,040	0,03
	0,79		0,020	
	0,80		0,010	
Variasi II (800 °C)	0,74	0,79	0,050	0,05
	0,81		-0,020	
	0,84		-0,050	
Variasi III (850 °C)	0,79	0,67	-0,12	0,10
	0,60		0,07	
	0,62		0,05	

Contoh perhitungan statistik hasil pengujian *apparent density* untuk variasi 750°C :

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum(P - \bar{P})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,0021}{2}} = 0,03$$

Sedangkan untuk nilai *true density* (ρ_{th}) atau densitas teoritis spesimen *aluminium foam* adalah kepadatan dari *aluminium foam* tanpa adanya porositas yang terdapat di dalamnya, sebelumnya harus diketahui prosentase berat unsur-unsur yang terdapat pada spesimen

aluminium foam. Untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada spesimen *aluminium foam* pengujian yang dilakukan dengan menggunakan EDAX. Hasil pengujian EDAX dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.3 Data Hasil Komposisi *Aluminium Foam* temperatur peleburan 750°C

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Density (gr/cm ³)
Aluminium (Al)	41,829	0,569	28,578	2,7
Magnesium (Mg)	2,81	0,111	2,162	1,74
Silicon (Si)	0,7	0,081	0,459	2,33
Calcium (Ca)	1,241	0,089	0,571	1,55
Iron (Fe)	1,903	0,193	0,628	7,86
Oxygen (O)	29,804	0,573	34,34	1,14
Carbon (C)	21,672	0,878	33,262	2,26
True Density		1,845		

Tabel 4.4 Data Hasil Komposisi *Aluminium Foam* temperatur peleburan 800°C

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Density (gr/cm ³)
Aluminium (Al)	68,76	0,82	54,434	2,7
Magnesium (Mg)	1,821	0,084	1,6	1,74
Silicon (Si)	0,693	0,088	0,527	2,33
Calcium (Ca)	1,367	0,088	0,728	1,55
Iron (Fe)	0,726	0,158	0,278	7,86
Oxygen (O)	11,127	0,408	14,856	1,14
Carbon (C)	15,507	0,917	27,577	2,26
True Density		2,251		

Tabel 4.5 Data Hasil Komposisi *Aluminium Foam* temperatur peleburan 850°C

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Density (gr/cm ³)
Aluminium (Al)	55,51	1,683	42,622	2,7
Magnesium (Mg)	3,75	0,296	3,196	1,74
Silicon (Si)	1,11	0,256	0,819	2,33
Calcium (Ca)	2,519	0,278	1,302	1,55
Iron (Fe)	2,108	0,558	0,782	7,86
Oxygen (O)	21,155	1,28	27,394	1,14
Carbon (C)	13,848	2,153	23,886	2,26
True Density		2,009		

Selanjutnya untuk menghitung densitas teoritis atau *true density* pada tiap variasi temperatur peleburan *Aluminium Foam* menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + etc. \right\}} \quad (4-3)$$

dengan:

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm³).

$\%Al, \%Cu, etc$ = Prosentase berat unsur (%).

Adapun hasil dari perhitungan *true density* pada spesimen *aluminium foam* dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Hasil *True Density* pada Spesimen *Aluminium Foam*

Temperatur Peleburan (°C)	750	800	850
<i>True Density</i> (gr/cm ³)	1,845	2,251	2,009

Contoh perhitungan *true density* untuk variasi temperatur peleburan 750°C:

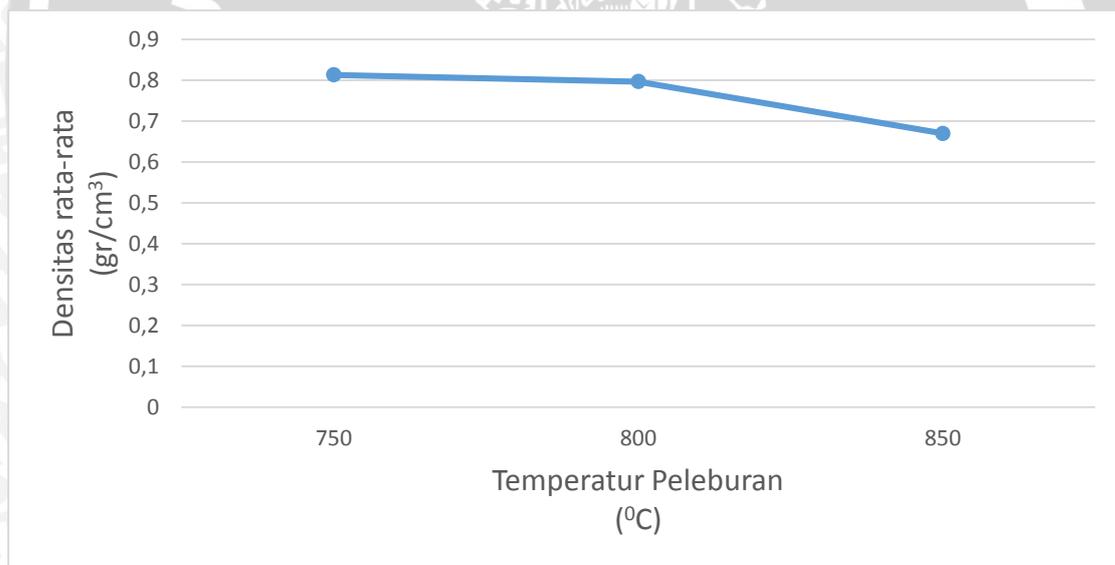
$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left(\frac{\%Mg}{\rho_{Mg}} \right) + \left(\frac{\%Si}{\rho_{Si}} \right) + etc. \right\}}$$

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{41,829}{2,7} \right) + \left(\frac{2,81}{1,74} \right) + \left(\frac{0,7}{2,33} \right) + \left(\frac{1,241}{1,55} \right) + \left(\frac{1,903}{7,86} \right) + \\ \left(\frac{29,804}{1,14} \right) + \left(\frac{21,672}{2,26} \right) \end{array} \right\}}$$

$$\rho_{th} = 1,845 \text{ gr/cm}^3$$

4.1.2 Pembahasan Hasil Pengujian Densitas pada Aluminium Foam

Setiap produk yang dihasilkan dari proses pengecoran akan menghasilkan suatu cacat yang akan mempengaruhi nilai densitasnya. Pengujian densitas yang dilakukan pada spesimen *aluminium foam* selain untuk mengetahui nilai densitas yang terdapat pada spesimen dan juga untuk mengetahui pengaruh temperatur peleburan saat pembuatan produk *aluminium foam*. Dari data pada tabel 4.1 didapatkan suatu grafik pengaruh variasi temperatur peleburan terhadap densitas pada spesimen *aluminium foam*.



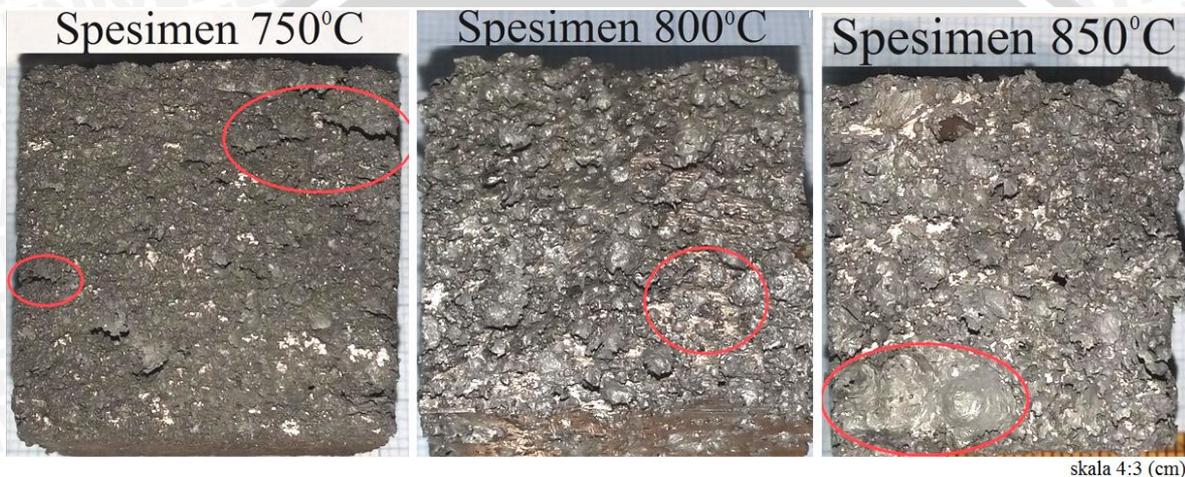
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Peleburan terhadap Densitas rata-rata pada Spesimen *Aluminium Foam*

Pada gambar 4.2 terlihat hubungan antara temperatur peleburan dengan nilai densitas pada *aluminium foam*. Terlihat bahwa densitas pada *aluminium foam* mengalami penurunan dari temperatur peleburan 750°C hingga 850°C.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai densitas tertinggi terdapat pada temperatur peleburan 750°C dengan densitas sebesar 0,81 gr/cm³. Kemudian densitas pada temperatur peleburan 800°C sebesar 0,79 gr/cm³, dan kemudian pada temperatur peleburan 850°C nilai

densitasnya sebesar $0,67 \text{ gr/cm}^3$. Pada spesimen temperatur peleburan 750°C terlihat bahwa pori yang terbentuk berukuran lebih kecil dan lebih merata dibanding kan dengan spesimen temperatur peleburan 800°C dan 850°C .

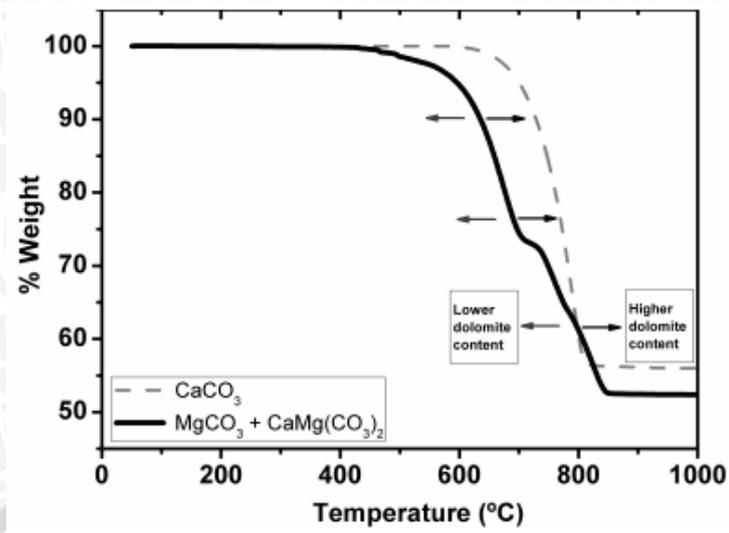
Hal ini sesuai dengan hipotesa dimana semakin tinggi temperatur peleburan maka densitas akan semakin menurun, karena karbon dioksida (CO_2) yang terbentuk dari dekomposisi kalsium karbonat (CaCO_3) semakin banyak seiring dengan temperatur yang meningkat, sehingga pori-pori yang terbentuk juga semakin banyak yang seharusnya densitasnya menurun.



Gambar 4.3 Spesimen *Aluminium foam*

Terlihat pada gambar 4.3 dimana permukaan dari ketiga spesimen tersebut memiliki perbedaan pori-pori. Pada spesimen 750°C terlihat ukuran pori-pori lebih kecil dari pada yang lain dan merata. Pada spesimen 800°C dan 850°C ukuran pori-pori terlihat lebih besar dan dinding antar pori-pori terlihat lebih tebal dan ada daerah yang tidak terbentuk pori-pori.

Perbedaan temperatur peleburan ini juga mempengaruhi viskositas dari aluminium cair dan dekomposisi dari CaCO_3 . Proses dekomposisi serbuk CaCO_3 dimulai pada temperatur 650°C sampai 800°C . Semakin tinggi temperatur maka kalsium karbonat terdekomposisi secara cepat sehingga proses pembentukan gelembung terjadi sangat cepat.



Gambar 4.4 Analisis termal dari kalsium karbonat
Sumber : Lazaro, 2014:276

Semakin tinggi temperatur aluminium cair menyebabkan viskositasnya yang semakin rendah. Pada temperatur peleburan 800°C dan 850°C aluminium cair mengembang dengan cepat dan menyebabkan tegangan permukaan (*surface tension*) untuk mempertahankan bentuk tidak dapat menahan tekanan yang tinggi akibat dekomposisi CaCO₃ yang cepat, proses foaming mencapai tingkat maksimum ditandai dengan mengembangnya logam cair. Sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih besar dan mempengaruhi dari densitas produk yang dihasilkan.

4.2 Pengujian Kekuatan Tekan pada *Aluminium Foam*

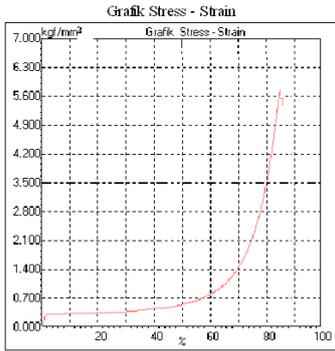
4.2.1 Data Hasil Pengujian Tekan pada *Aluminium Foam*

Data hasil pengujian tekan didapatkan dari pengujian dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine*. Pengujian dilakukan pada spesimen *aluminium foam* dengan variasi temperatur peleburan 750°C, 800°C, dan 850°C. Pengujian kekuatan tekan dilakukan dengan test speed 10mm/min dan beban maksimum 8500kg, spesimen di tekan sampai mengalami deformasi sampai tebal akhir spesimen 5mm dan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan tiap variasinya. Data yang didapatkan dari pengujian tersebut yaitu grafik tegangan-regangan dibawah berikut ini.

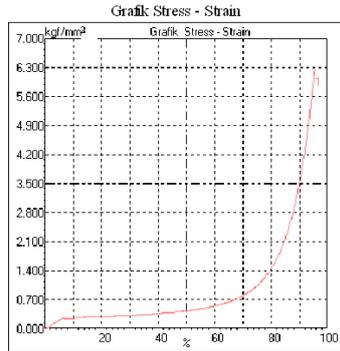
Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	5202.438	20710	10.000

Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	5633.684	22.993	10.000

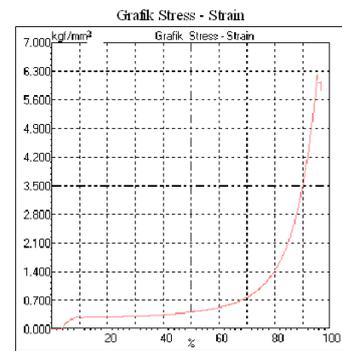
Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	5602.469	22.629	10.000



(1)



(2)



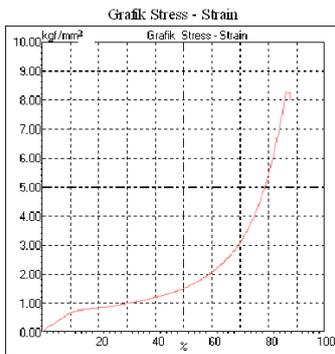
(3)

Gambar 4.5 Grafik tegangan-regangan dengan temperatur peleburan 750^oC

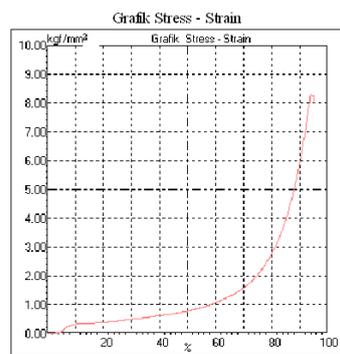
Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	7500.335	15.915	10.000

Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	7491.148	22.842	10.000

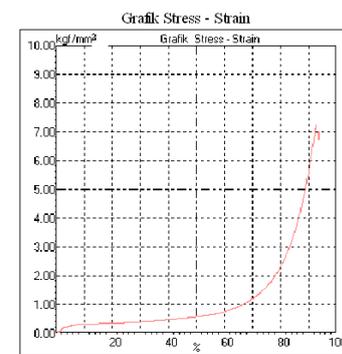
Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	6516.936	23.688	10.000



(1)



(2)



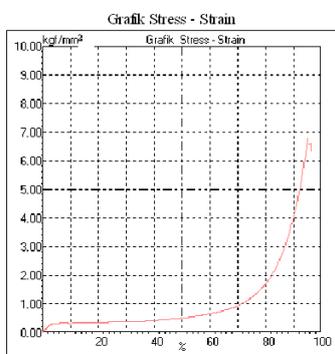
(3)

Gambar 4.6 Grafik tegangan-regangan dengan temperatur peleburan 800^oC

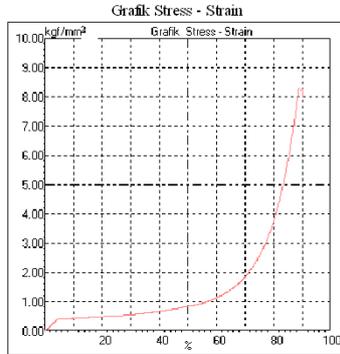
Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	6121.365	23.214	10.000

Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	7498.942	25.387	10.000

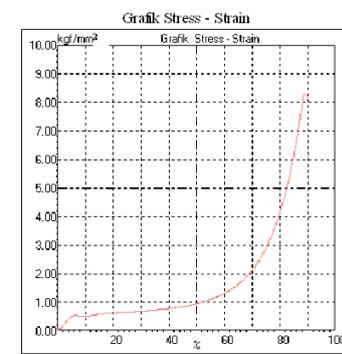
Area mm ²	Peak Load kgf	Elastic modulus kgf/mm ²	Test speed mm/min
900.0	7499.866	22.627	10.000



(1)



(2)



(3)

Gambar 4.7 Grafik tegangan-regangan dengan temperatur peleburan 850^oC



Nilai kekuatan tekan dari spesimen *aluminium foam* tersebut didapatkan dari hasil bagi antara beban maksimum dengan luas penampang awal spesimen, sesuai dengan rumus (4-5) berikut ini:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (4-4)$$

dengan:

σ_c = Tegangan tekan (N/mm² atau MPa).

P = Beban tekan (N).

A = Luas penampang (mm²).

Setelah melakukan pengolahan data maka didapatkan hasil nilai kekuatan tekan pada *aluminium foam* yang dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 4.7 Data Nilai Kekuatan Tekan pada Spesimen *Aluminium Foam*

Temperatur Peleburan	Spesimen	Beban Maksimum (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kekuatan Tekan (MPa)	Kekuatan Tekan Rata-Rata (MPa)
750 ⁰ C	1	51018,498	900	56,687	59,706
	2	55247,567	900	61,386	
	3	54941,453	900	61,046	
800 ⁰ C	1	73553,160	900	81,726	78,121
	2	73463,067	900	81,626	
	3	63909,310	900	71,010	
850 ⁰ C	1	60030,084	900	66,700	76,710
	2	73539,500	900	81,711	
	3	73548,561	900	81,721	

Contoh perhitungan kekuatan tekan pada spesimen temperatur peleburan 750⁰C:

$$\sigma_c = \frac{51018,498}{900}$$

$$\sigma_c = 56,687 \text{ N/mm}^2 \text{ atau MPa}$$

Tabel 4.8 Data Perhitungan statistik kekuatan tekan *Aluminium foam*

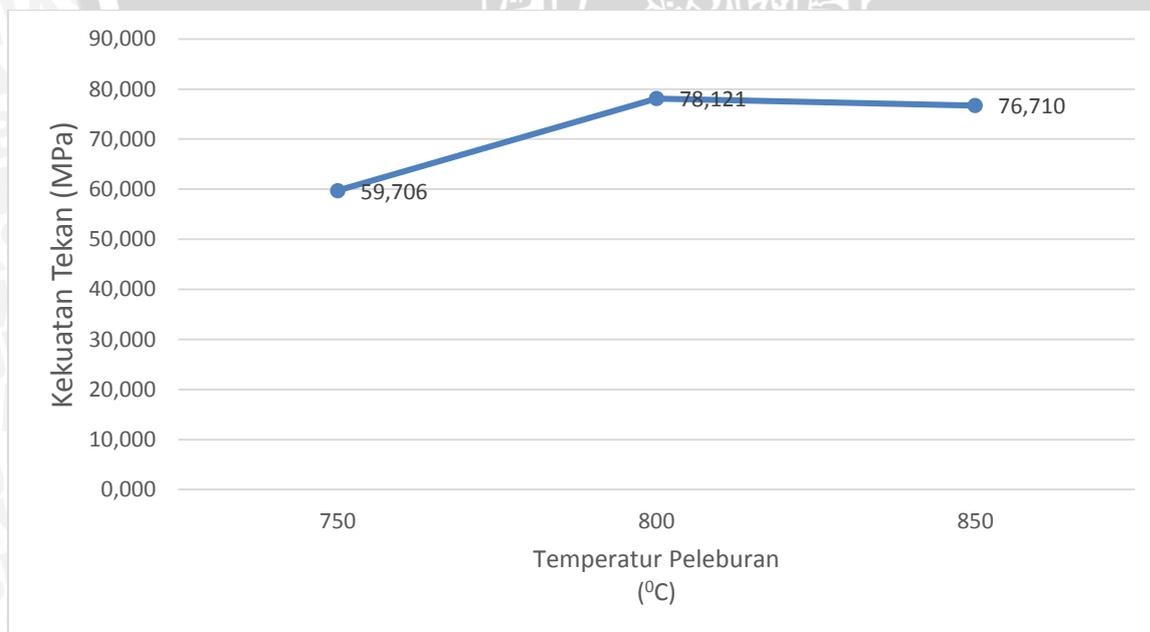
Temperatur Peleburan	σ_C	$\sigma_C - \sigma_{C \text{ rata-rata}}$	$(\sigma_C - \sigma_{C \text{ rata-rata}})^2$	Standar deviasi
750	56,687	3,019	9,114	2,620
	61,386	-1,68	2,822	
	61,046	-1,34	1,795	
	Σ		13,732	
800	81,726	-3,605	12,996	6,158
	81,626	-3,505	12,285	
	71,01	7,111	50,566	
	Σ		75,847	
850	66,7	10,01	100,200	8,669
	81,711	-5,001	25,010	
	81,721	-5,011	25,110	
	Σ		150,320	

Contoh perhitungan standar deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{13,732}{2}} = 2,620$$

4.2.2 Pembahasan Hasil Pengujian Kekuatan Tekan pada *Aluminium Foam*

Dari data yang ditunjukkan pada tabel 4.8 didapatkan grafik pengaruh variasi temperatur peleburan terhadap kekuatan tekan rata-rata pada *aluminium foam*.



Gambar 4.8 Grafik Pengaruh Variasi Temperatur Peleburan terhadap Nilai Kekuatan Tekan pada Spesimen *Aluminium Foam*

Pada gambar 4.8 dapat dilihat bahwa terdapat adanya pengaruh variasi temperatur peleburan terhadap kekuatan tekan pada *aluminium foam*. Pada grafik didapatkan nilai kekuatan tekan terendah terjadi pada temperatur peleburan 750⁰C dengan kekuatan tekan 59,706 MPa, selanjutnya pada temperatur peleburan 800⁰C yang merupakan kekuatan tekan tertinggi dengan nilai 78,121 MPa, dan pada temperatur peleburan 850⁰C dengan kekuatan tekan 76,710 MPa.

Kekuatan tekan dapat dipengaruhi oleh kadar Al yang terdapat pada spesimen. Dilihat pada tabel hasil uji EDAX bahwa kadar Al pada spesimen 750⁰C 800⁰C dan 850⁰C dan berpengaruh terhadap hasil uji tekan. Selain itu persebaran pori-pori juga mempengaruhi kekuatan tekan. Pada spesimen 750⁰C pori-pori yang terbentuk semakin banyak dan persebarannya merata pada seluruh bagian permukaan, sehingga mengakibatkan semakin banyak dan semakin cepat daerah pori-pori yang terdeformasi maka kekuatan tekannya pun lebih kecil. Namun hal ini berbeda jika dibandingkan dengan spesimen *aluminium foam* dengan temperatur peleburan 800⁰C dan 850⁰C dapat dilihat bahwa pori-pori yang terbentuk memiliki ukuran yang sedikit lebih besar namun dinding antar pori berukuran lebih besar atau bisa dikatakan pori-pori yang terbentuk lebih sedikit, sehingga ketika salah satu dinding pori mulai terdeformasi karena pemusatan beban dan mulai merambat pada daerah yang masih berupa padatan deformasi akan semakin sulit sehingga kekuatan tekannya pun meningkat.

