

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Laju Pendinginan

Pengujian laju pendinginan dilakukan untuk mengetahui berapa penurunan temperatur tiap detiknya dari tiap variasi media pendingin, dimana nilai laju pendinginan dimulai saat temperatur penuangan logam cair ke dalam cetakan hingga temperatur pembekuan logam berakhir. Pengujian ini dilakukan dengan bantuan termokopel tipe K yang ditempatkan di bagian alas dalam cetakan permanen selama proses pengecoran dan disambungkan dengan *data logger* yang hasilnya akan diamati dan diolah melalui laptop dengan bantuan *software*.

Dalam penelitian ini proses untuk mendapatkan nilai laju pendinginan diawali dengan tahap penempatan termokopel di bagian alas cetakan dengan diikat menggunakan kawat. Kemudian ujung termokopel lainnya disambungkan dengan *data logger* dan disambungkan lagi dengan laptop yang sudah dilengkapi *software* untuk mengamati dan mengolah hasil dari *data logger*. Berikutnya dilakukan *preheating* cetakan pada temperatur 250°C, kemudian logam cair dituang ke dalam cetakan. Selama pengecoran berlangsung dari proses penuangan hingga produk coran seutuhnya berubah fase menjadi padat, *data logger* akan terus bekerja dan hasil berupa penurunan suhu tiap detiknya akan terbaca dalam bentuk data yang akan diolah dengan microsoft excel. Nilai laju pendinginan dihitung menggunakan rumus persamaan 2-2. Nilai temperatur pembekuan akhir diindikasikan dengan adanya temperatur yang sama dalam beberapa sekon secara berulang. Tabel 4.1 menunjukkan hasil dari pengujian laju pendinginan.

Tabel 4.1
Data Hasil Laju Pendinginan

Media Pendingin	Laju Pendinginan (°C/s)
Pasir	0,67
Baja	0,96
Tembaga	1,17

4.1.2 Data Hasil Pengujian Piknometri

Proses pengujian piknometri dilakukan dengan membandingkan berat spesimen di udara dan berat spesimen di dalam air. Dengan pengujian ini akan dihasilkan nilai *apparent*

density. *Apparent density* adalah massa jenis material dengan memperhitungkan porositas di dalam material. Massa jenis ini dihitung menggunakan rumus standar ASTM B311-93 pada persamaan (2-4). Tabel 4.2 merupakan hasil dari pengujian piknometri yang dilakukan dengan coran *pulley* sebanyak 9 spesimen, dengan masing-masing 3 spesimen untuk setiap variasi laju pendinginan cetakan dengan material pendingin, dan di ambil nilai rata-ratanya.

Tabel 4.2
Data Hasil Pengujian Piknometri (*Apparent Density*)

Laju Pendinginan (°C/s)	Ws (g)	Wb (g)	Wsb (g)	(Wsb-Wb) (g)	Ws-(Wsb-Wb) (g)	ρs (g/cm³)	ρs rata-rata (g/cm³)
0,67 (pasir)	318,47	12,5	219,21	206,71	111,76	2,85	2,85
	257,86	12,5	179,32	166,82	91,04	2,83	
	211,19	12,5	150,41	137,91	73,28	2,88	
0,96 (baja)	301,55	12,5	207,13	194,63	106,92	2,82	2,86
	302,53	12,5	210,68	198,18	104,35	2,90	
	302,86	12,5	209,55	197,05	105,81	2,86	
1,17 (tembaga)	295,44	12,5	206,61	194,11	101,33	2,92	2,90
	298,28	12,5	208,38	195,88	102,40	2,91	
	308,56	12,5	213,81	201,31	107,25	2,88	

Contoh perhitungan *apparent density*:

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

$$\rho_s = 1 \left(\frac{318,47}{318,47 - (219,21 - 12,5)} \right)$$

$$\rho_s = 2,85 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Keterangan :

$$\rho_s = \text{Apparent Density (g/cm}^3\text{)}$$

$$\rho_w = \text{Densitas Air (g/cm}^3\text{)}$$

$$W_s = \text{Berat sampel di udara (dry weight) (g)}$$

$$W_{sb} = \text{Berat apung sampel dan keranjang di dalam air (g)}$$

$$W_b = \text{Berat apung keranjang di dalam air (g)}$$

4.1.3 Data Hasil Pegujian Komposisi

Proses pengujian komposisi dilakukan untuk mendapatkan nilai *theoretical density* dimana nilainya bergantung pada persentase dan massa jenis unsur-unsur kimia penyusun yang terdapat didalam spesimen. *Theoretical density* adalah massa jenis suatu material tanpa

mempertimbangkan porositas didalamnya. Massa jenis ini dihitung menggunakan rumus standar ASTM E252-84 pada persamaan (2-3). Tabel 4.3 merupakan hasil dari pengujian komposisi yang dilakukan dengan spesimen berbentuk ingot.

Tabel 4.3
Data Hasil Pengujian Komposisi (*Theoretical Density*)

Unsur	ρ Unsur (g/cm ³)	Persentase Berat Unsur (%)	Persentase / ρ Unsur
<i>Silicon</i> (Si)	2,33	6,71	2,880
<i>Iron</i> (Fe)	7,87	0,674	0,086
<i>Copper</i> (Cu)	8,94	1,01	0,113
<i>Manganese</i> (Mn)	7,44	0,101	0,014
<i>Magnesium</i> (Mg)	1,74	0,742	0,426
<i>Chromium</i> (Cr)	7,19	0,0362	0,005
<i>Zinc</i> (Zn)	7,13	13,32	1,868
<i>Titanium</i> (Ti)	4,51	0,032	0,007
<i>Sodium</i> (Na)	0,971	0,00018	0,000
<i>Calcium</i> (Ca)	1,54	0,00025	0,000
<i>Nickel</i> (Ni)	8,9	0,479	0,054
<i>Lead</i> (Pb)	11,35	0,012	0,001
<i>Phosphorus</i> (P)	1,82	0,0005	0,000
<i>Tin</i> (Sn)	7,27	0,0121	0,002
<i>Antimony</i> (Sb)	6,69	0,0061	0,001
<i>Strontium</i> (Sr)	2,63	0,0001	0,000
<i>Beryllium</i> (Be)	1,85	0,00006	0,000
<i>Zirconium</i> (Zr)	6,51	0,0028	0,000
<i>Bismuth</i> (Bi)	9,8	0,0003	0,000
<i>Cadmium</i> (Cd)	8,65	0,0026	0,000
<i>Aluminum</i> (Al)	2,7	76,9	28,481
Σ		100,04119	33,939
ρ_{th}			2,95

Contoh perhitungan *theoretical density*:

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

$$\rho_{th} = \frac{100}{33,939}$$

$$\rho_{th} = 2,95 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Keterangan:

ρ_{th} = *Theoretical Density* (g/cm³)

$\rho_{Al}, \rho_{Zn}, \rho_{Si}, etc$ = Densitas Unsur (g/cm³)

$\%Al, \%Zn, \%Si, etc$ = Persentase Berat Unsur (%)

4.1.4 Data Hasil Perhitungan Porositas

Untuk mengetahui nilai produk coran dilakukan perhitungan dengan membandingkan nilai *apparent density* dengan *theoretical density* sesuai dengan persamaan (2-6). Tabel 4.4 merupakan data hasil perhitungan porositas pada spesimen produk coran *pulley*.

Tabel 4.4
Data Hasil Perhitungan Porositas

Laju Pendinginan (°C/s)	ρ_s rata-rata (g/cm ³)	ρ_{th} (g/cm ³)	Porositas (%)
0,67 (pasir)	2,85		3,23
0,96 (baja)	2,86	2,95	3,03
1,17 (tembaga)	2,90		1,63

Contoh perhitungan porositas:

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\%$$

$$\%P = \left(1 - \frac{2,85}{2,95}\right) \times 100\%$$

$$\%P = 3,23 \%$$

Keterangan:

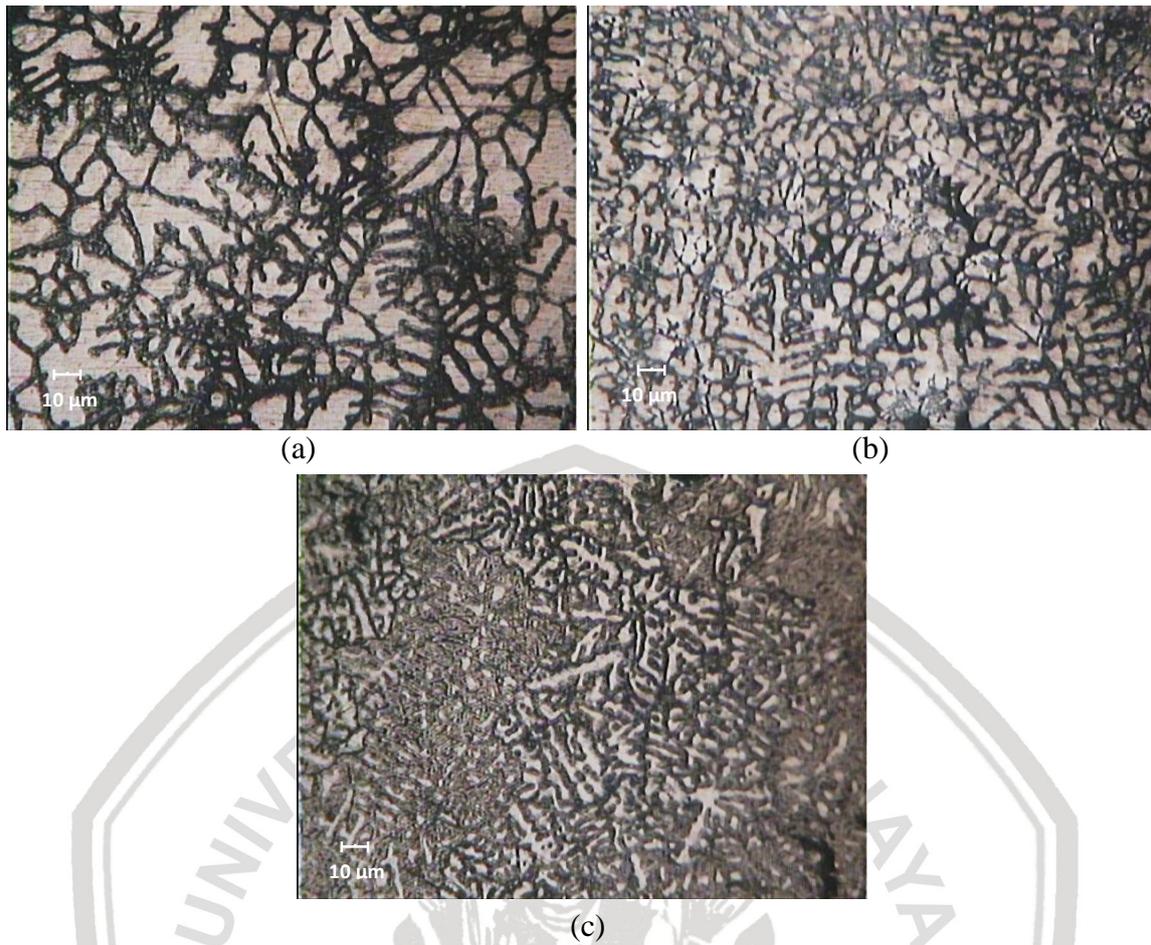
$\%P$ = Persentase Porositas (%)

ρ_s = *Apparent Density* (gr/cm³)

ρ_{th} = *Theoretical Density* (gr/cm³)

4.1.5 Data Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian terhadap struktur mikro dilakukan dengan metode planimetri menggunakan foto struktur mikro hasil dari pengamatan dibawah mikroskop logam dengan pembesaran 100x setelah sampel di etsa menggunakan 0,5% HF, hal ini dilakukan untuk mengetahui diameter butir rata-rata pada spesimen *pulley* Al-Zn. Sampel yang diambil untuk pengamatan struktur mikro menggunakan bagian permukaan bawah *pulley* (alas) yang mengalami proses solidifikasi cepat karena bersentuhan langsung dengan media pendingin (material penyerap panas). Berikutnya lingkaran dengan luas 5000 mm², diletakkan diatas foto struktur mikro, kemudian hitung jumlah butir dalam lingkaran dan tambah setengah dari jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran. Nilai ukuran butir ASTM dihitung dengan mengalikan jumlah butir dengan pengali *jefferies* (f). Berikutnya nilai ukuran butir ASTM akan dikonversi menjadi nilai diameter butir rata-rata dalam satuan mikron dengan rumus interpolasi. Foto struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Mikrostruktur coran dengan media pendingin (a) pasir, (b) baja, (c) tembaga

4.1.5.1 Perhitungan Ukuran Butir ASTM



Gambar 4.2 Daerah pengujian planimetri dari foto struktur mikro spesimen *pulley*

Contoh perhitungan ukuran butir ASTM:

$$N_A = f \left(N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

$$N_A = 2,0 \left(56 + \frac{17}{2} \right)$$

$$N_A = 129$$

$$G = (3,321928 \log_{10} N_A) - 2,954$$

$$G = (3,321928 \log_{10} 129) - 2,954$$

$$G = 4,06$$

Keterangan:

N_A = Jumlah butiran per satuan luas (mm^{-2})

f = Faktor pengali *Jeffries* ($M^2/5000$) = 2,0

N_{inside} = Jumlah butiran utuh di dalam area (mm^{-2})

$N_{intercepted}$ = Jumlah butiran *intercept* di dalam area (mm^{-2})

M = Perbesaran mikroskop yang digunakan (100X)

G = Ukuran butir ASTM

4.1.5.2 Perhitungan Diameter Butir Rata-Rata

Perhitungan nilai diameter butir rata-rata menggunakan nilai ukuran butir ASTM yang sudah didapat dan nilai pada Tabel 2.4, lalu dihitung dengan rumus interpolasi.

$$\frac{4,5 - 4,06}{4,5 - 4,0} = \frac{75,5 - d}{75,5 - 89,8}$$

$$\frac{0,44}{0,5} = \frac{75,5 - d}{-14,3}$$

$$-12,584 = 75,5 - d$$

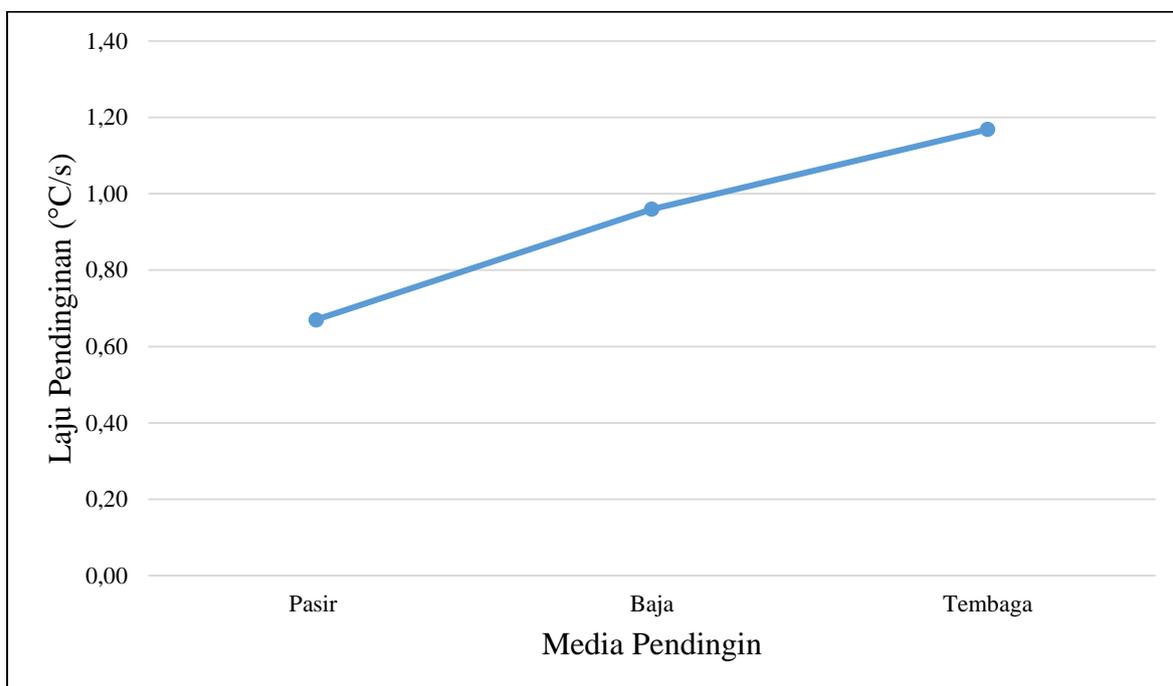
$$d = 88,08 \mu\text{m}$$

Tabel 4.5
Data Hasil Perhitungan Diameter Butir Rata-Rata

Laju Pendinginan (°C/s)	N_{inside}	$N_{intercept}$	N_A	Ukuran Butir ASTM	Diameter Butir Rata-Rata (μm)
0,67 (pasir)	56	17	129	4,06	88,08
0,96 (baja)	57	22	136	4,13	86,08
1,17 (tembaga)	103	26	232	4,90	65,90

4.2 Grafik dan Pembahasan

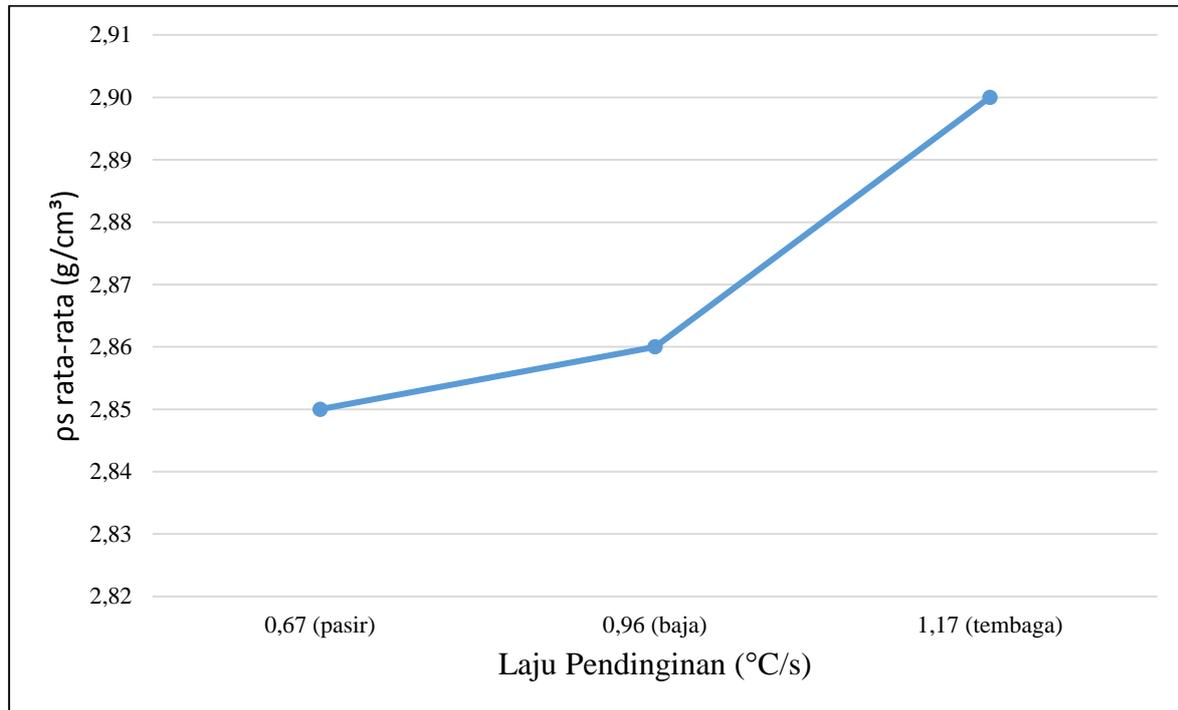
4.2.1 Pengaruh Media Pendinginan Terhadap Laju Pendinginan



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara media pendingin terhadap laju pendinginan

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa penyisipan media pendingin dibagian alas cetakan akan mempengaruhi laju pendinginan dari produk coran. Media pendingin pasir memiliki nilai laju pendinginan yang paling rendah yaitu sebesar $0,67\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, diikuti dengan media pendingin baja dengan laju pendinginan sebesar $0,96\text{ }^{\circ}\text{C/s}$, dan media pendingin tembaga dengan laju pendinginan paling tinggi yaitu sebesar $1,17\text{ }^{\circ}\text{C/s}$. Hal ini dapat terjadi karena media pendingin tembaga memiliki kemampuan menghantarkan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja dan pasir, hal ini terlihat dari nilai konduktivitas termalnya. Sehingga selama proses pengecoran dari temperatur penuangan hingga temperatur pembekuan logam berakhir, tembaga lebih mampu menghantarkan panas ke seluruh bagian cetakan yang menyebabkan laju pendinginannya menjadi lebih cepat.

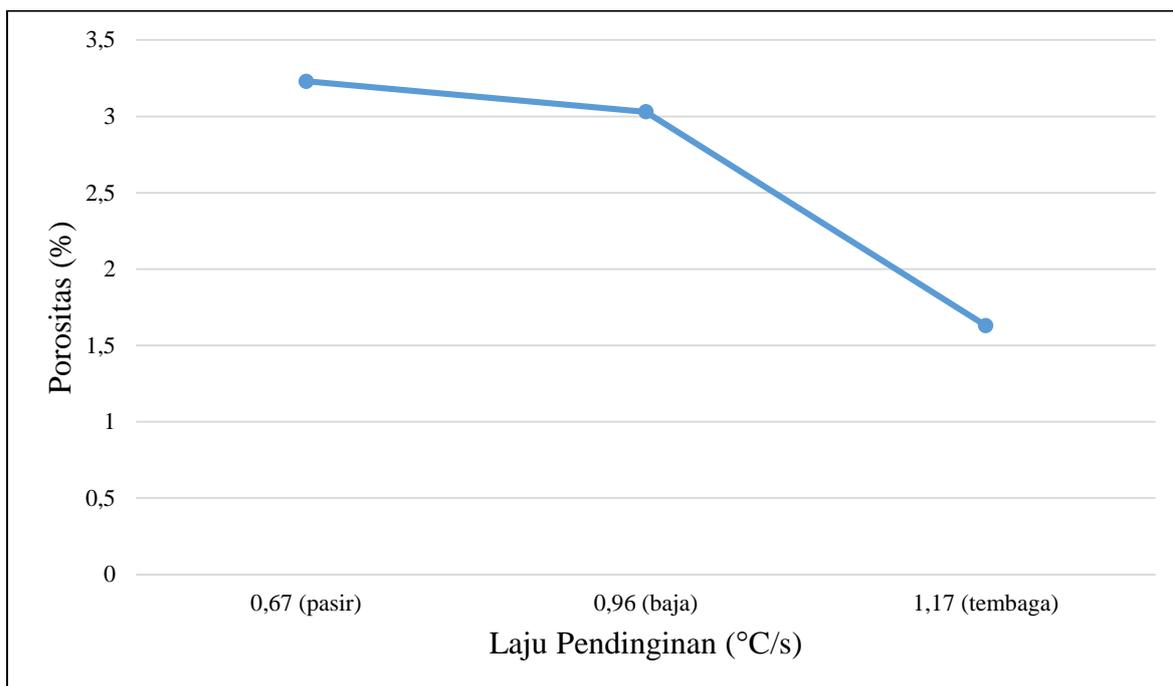
4.2.2 Pengaruh Laju Pendinginan Terhadap Massa Jenis



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara laju pendinginan terhadap massa jenis

Gambar 4.4 merupakan grafik hubungan antara laju pendinginan terhadap massa jenis rata-rata, dimana nilai massa jenis ini merupakan nilai *apparent density*. Nilai tersebut merupakan nilai rata-rata 3 spesimen dari setiap variasi laju pendinginan. Berdasarkan grafik dapat disimpulkan bahwa semakin cepat laju pendinginan maka massa jenis rata-rata dari produk coran akan semakin besar, dimana massa jenis rata-rata terkecil didapat dari produk coran dengan laju pendinginan 0,67 °C/s (pasir) yaitu sebesar 2,85 g/cm³, kemudian diikuti dengan produk coran dengan laju pendinginan 0,96 °C/s (baja) sebesar 2,86 g/cm³, dan massa jenis rata-rata terbesar didapat pada produk coran dengan laju pendinginan 1,17 °C/s (tembaga) yaitu sebesar 2,90 g/cm³. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya perbedaan massa jenis logam pada fase cair dan padat, dimana massa jenis logam pada fase cair lebih kecil daripada fase padat. Laju pendinginan yang relatif cepat akan menyebabkan perbedaan massa jenis dari logam cair dan logam padat semakin kecil, dalam prosesnya logam cair tidak memiliki kesempatan untuk membentuk rongga-rongga saat proses solidifikasi berlangsung, karena logam akan cepat berubah fase menjadi padat, sehingga menghasilkan berat jenis yang lebih tinggi dan serempak.

4.2.3 Pengaruh Laju Pendinginan Terhadap Porositas



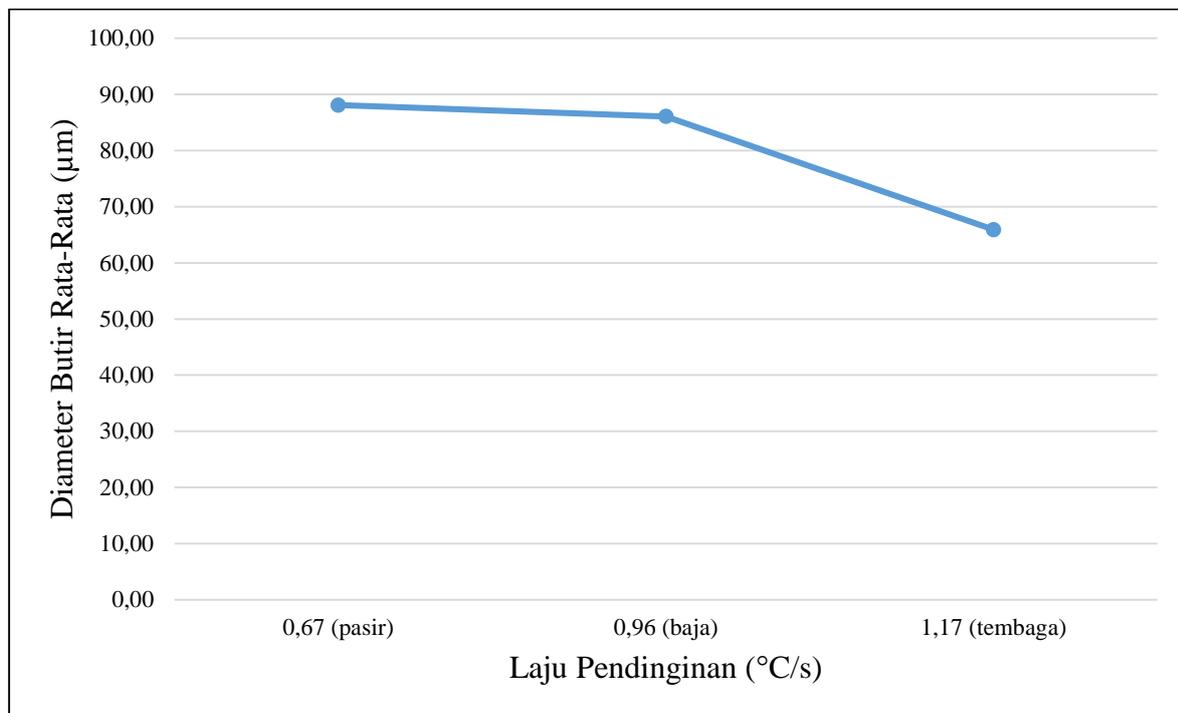
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara laju pendinginan terhadap porositas

Persentase porositas produk coran *pulley* didapat dengan membandingkan nilai *apparent density* dengan *theoretical density*. Idealnya kedua nilai massa jenis ini memiliki nilai yang sama, yang berarti tidak terdapat porositas pada produk coran. Namun berdasarkan hasil dari pengujian yang sudah dilakukan, nilai rata-rata *apparent density* memiliki nilai yang lebih kecil daripada *theoretical density*, hal ini menunjukkan bahwa pada produk coran terdapat porositas yang menyebabkan nilai *apparent density* menurun.

Dari gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa semakin cepat laju pendinginan maka porositas yang terdapat pada produk coran akan semakin sedikit, dimana porositas terbesar terdapat pada produk cor dengan laju pendinginan 0,67 °C/s (pasir) yaitu sebesar 3,23%, kemudian diikuti dengan produk coran dengan laju pendinginan 0,96 °C/s (baja) sebesar 3,03%, dan porositas terkecil terdapat pada produk cor dengan laju pendinginan 1,17 °C/s (tembaga) yaitu sebesar 1,63%. Hal ini disebabkan karena pada produk dengan laju pendinginan yang cepat memiliki nilai *apparent density* yang lebih tinggi. Perbedaan nilai *apparent density* dari tiap variasi laju pendinginan disebabkan karena adanya perbedaan massa jenis logam pada fase cair dan padat, dimana massa jenis logam pada fase cair lebih kecil daripada logam pada fase padat. Laju pendinginan yang cepat akan menyebabkan perbedaan massa jenis dari logam cair dan logam padat semakin kecil, dalam hal ini tidak terbentuk rongga-rongga penyusutan didalam produk coran sehingga massa jenis produk

coran akan menjadi semakin besar atau semakin mendekati nilai *theoretical density*nya, Hal ini akan menghasilkan nilai porositas yang lebih kecil karena porositas merupakan perbandingan dari nilai *apparent density* dengan *theoretical density*.

4.2.4 Pengaruh Laju Pendinginan Terhadap Struktur Mikro (Diameter Butir)



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara laju pendinginan terhadap diameter butir rata-rata

Berdasarkan Gambar 4.5 diketahui nilai diameter butir rata-rata terbesar ditemui pada sampel dengan laju pendinginan 0,67 °C/s (pasir) yaitu sebesar 88,08 µm, kemudian diikuti dengan sampel dengan laju pendinginan 0,96 °C/s (baja) sebesar 86,08 µm, dan diameter butir rata-rata terkecil ditemui pada sampel dengan laju pendinginan 1,17 °C/s (tembaga) yaitu sebesar 65,90 µm. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi laju pendinginan maka diameter butir rata-rata yang dihasilkan akan semakin kecil sedangkan laju pendinginan yang rendah akan menghasilkan diameter butir rata-rata yang semakin besar. Hal ini disebabkan pada laju pendinginan yang tinggi, proses solidifikasi akan berlangsung cepat pula sehingga pertumbuhan butir akan terhambat karena butir sudah terlebih dahulu berubah fase menjadi padat, sehingga butir yang dihasilkan akan lebih banyak dan memiliki diameter yang lebih kecil.