

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan penghitungan cacat permukaan hasil coran Aluminium paduan Al-Si-Mg didapatkan data penghitungan cacat rongga udara (*blowholes*) dan cacat lubang jarum (*pinholes*) yang akan dijadikan bahan analisis, dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2

Tabel 4.1 Data Jumlah Cacat Rongga Udara (*Blowholes*)

Pengulangan	Temperatur Cetakan (°C)					
	50	100	200	300	400	
1	54	30	16	5	1	
2	64	36	17	7	2	
3	55	29	21	8	2	
Jumlah	173	95	54	20	5	347
Rata-rata	57.67	31.67	18.00	6.67	1.67	23.13

Tabel 4.2 Data Jumlah Cacat Lubang Jarum (*Pinholes*)

Pengulangan	Temperatur Cetakan (°C)					
	50	100	200	300	400	
1	60	36	16	7	3	
2	57	29	19	9	3	
3	51	33	15	10	2	
Jumlah	168	98	50	26	8	350
Rata-rata	56.00	32.67	16.67	8.67	2.67	23.33

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Analisis Statistik

Cacat Rongga Udara (*Blowholes*)

Analisis statistik cacat *blowholes* diambil salah satu contoh pada temperatur pemanasan awal cetakan 50°C.

- Data rata-rata

$$x = \frac{\sum x}{n}$$

$$= \frac{173}{3}$$



$$= 57,666$$

- Standar Deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{60,665}{3-1}} = 5,507$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{5,507}{\sqrt{3}}$$

$$= 3,179$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$db = n-1$$

$$= 3-1 = 2$$

Dari dengan mengambil $\alpha = 5\%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4,303$$

maka

$$57,666 - [(4,303)(3,179)] < \mu < 57,666 + [(4,303)(3,179)]$$

$$57,666 - 13,679 < \mu < 57,666 + 13,679$$

$$43,987 < \mu < 71,345$$

Jadi interval penduga cacat rongga udara (*blowholes*) dengan temperatur pemanasan awal cetakan 50°C didapatkan antara 43,987 sampai 71,345 dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga cacat rongga udara (*blowholes*) dari beberapa temperatur cetakan yang berbeda kemudian disusun pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Interval Penduga Cacat *Blowholes*

Temperatur Cetakan (°C)	Cacat <i>Blowholes</i> Rata-Rata	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-Rata	Interval Penduga Cacat <i>Blowholes</i>
50	57,666	5,507	3,179	$43,987 < t < 71,345$
100	31,666	3,785	2,185	$22,286 < t < 41,046$
200	18	2,645	1,527	$11,430 < t < 24,570$
300	6,666	1,527	0,881	$2,876 < t < 10,456$
400	1,666	0,577	0,333	$0,234 < t < 3,098$

Cacat Lubang Jarum (*Pinholes*)

Analisis statistik cacat lubang jarum (*pinholes*) diambil salah satu contoh pada temperatur pemanasan awal cetakan 50°C.

- Data rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ &= \frac{168}{3} \\ &= 56 \end{aligned}$$

- Standar Deviasi

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{42}{3 - 1}} = 4,582 \end{aligned}$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\begin{aligned} \bar{\delta} &= \frac{\delta}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{4,582}{\sqrt{3}} \\ &= 2,645 \end{aligned}$$

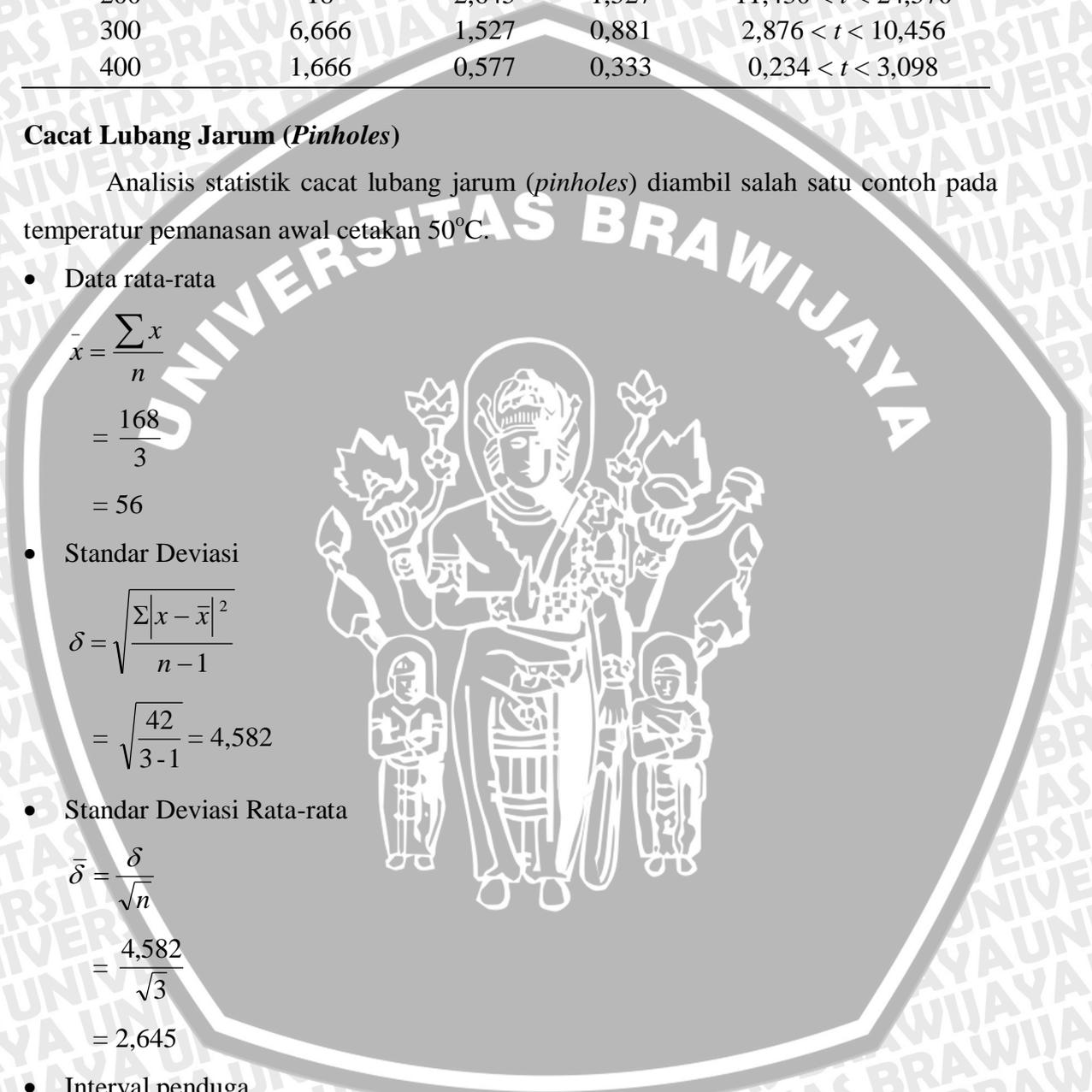
- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t \left(\frac{\alpha}{2}, db \right) \cdot \bar{\delta} \right]$$

$$db = n - 1 = 3 - 1 = 2$$

Dari dengan mengambil $\alpha = 5 \%$ dapat diketahui

$$t(\alpha/2 ; db) = t(0,025 ; 2) = 4,303$$



maka

$$56 - [(4,303)(2,645)] < \mu < 56 + [(4,303)(2,645)]$$

$$56 - 11,383 < \mu < 56 + 11,383$$

$$44,617 < \mu < 67,383$$

Jadi interval penduga cacat lubang jarum (*pinholes*) dengan temperatur pemanasan awal cetakan 50°C didapatkan antara 44,617 sampai 67,383 dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga cacat lubang jarum (*pinholes*) dari beberapa temperatur cetakan yang berbeda kemudian disusun pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Interval Penduga Cacat *Pinholes*

Temperatur Cetakan (°C)	Cacat <i>Pinholes</i> Rata-Rata	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-Rata	Interval Penduga Cacat <i>Pinholes</i>
50	56	4,582	2,645	$44,617 < t < 67,383$
100	32,666	3,511	2,027	$17,614 < t < 47,730$
200	16,666	2,081	1,201	$11,511 < t < 21,833$
300	8,666	1,527	0,881	$4,873 < t < 12,459$
400	2,666	0,576	0,332	$1,235 < t < 4,097$

4.2.2 Analisis Varian Satu Arah

Dari data hasil perhitungan di atas, dilakukan analisis statistik menggunakan analisis varian satu arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh temperatur pemanasan awal cetakan terhadap cacat permukaan Aluminium paduan Al-Si-Mg hasil pengecoran sentrifugal. Hipotesis yang digunakan pada analisis ini, yaitu :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

(Tidak ada pengaruh nyata besar temperatur pemanasan awal cetakan terhadap cacat permukaan Aluminium paduan Al-Si-Mg pada proses pengecoran sentrifugal)

H_1 : sekurang-kurangnya dua nilai rata-rata tidak sama.

(Ada pengaruh nyata besar temperatur pemanasan awal cetakan terhadap cacat permukaan Aluminium paduan Al-Si-Mg pada proses pengecoran sentrifugal)

Dengan mengacu pada data di atas dapat diketahui nilai :

- n (jumlah pengulangan) = 3 kali
- k (jumlah variasi) = 5 variasi
- N (jumlah seluruh data yang diambil) = 15 data

Analisis varian satu arahnya adalah sebagai berikut :

Cacat Rongga Udara (*Blowholes*)

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij} \\ &= 173 + 95 + 54 + 20 + 5 \\ &= 347 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 \\ &= (173)^2 + (95)^2 + (54)^2 + (20)^2 + (5)^2 \\ &= 14207 \end{aligned}$$

- Faktor Koreksi (*fk*)

$$\begin{aligned} fk &= \frac{T_{..}^2}{nk} \\ &= \frac{(347)^2}{15} \\ &= 8027,27 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Total (*JKT*)

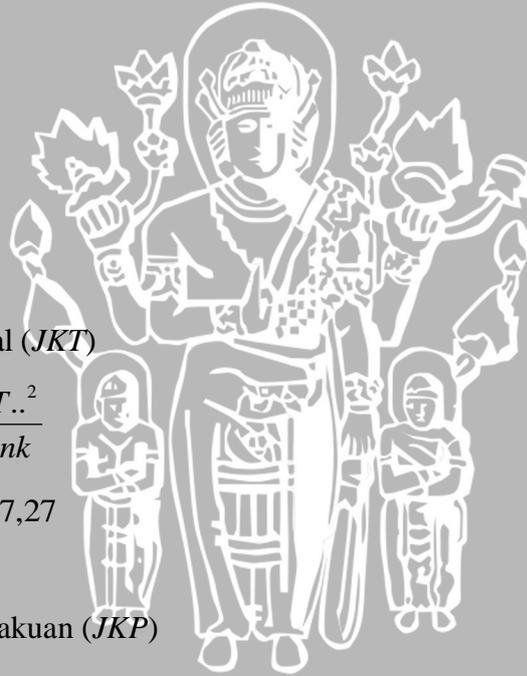
$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{nk} \\ &= 14207 - 8027,27 \\ &= 6179,73 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Perlakuan (*JKP*)

$$\begin{aligned} JKP &= \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T_{..}^2}{nk} \\ &= \frac{(173)^2 + (95)^2 + (54)^2 + (20)^2 + (5)^2}{3} - 8027,27 \\ &= 6071,07 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Galat (*JKG*)

$$\begin{aligned} JKG &= JKT - JKP \\ &= 6179,73 - 6071,07 \\ &= 108,67 \end{aligned}$$



Dengan menentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 5 %, maka untuk

$F_{\text{tabel}}(\alpha; k-1; N-k) = F_{\text{tabel}}(0,05; 4; 10)$ adalah 3,48

Tabel 4.5 Analisis Varian Data Cacat *Blowholes*

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-Rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	6071.07	1517.27		
Galat	10	108.67	10.87	139.99	3.48
Total	14	6179.73			

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara temperatur pemanasan awal cetakan terhadap cacat permukaan *blowholes* dengan risiko kesalahan 5%.

Cacat Lubang Jarum (*Pinholes*)

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij} \\ &= 168 + 98 + 50 + 26 + 8 \\ &= 350 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

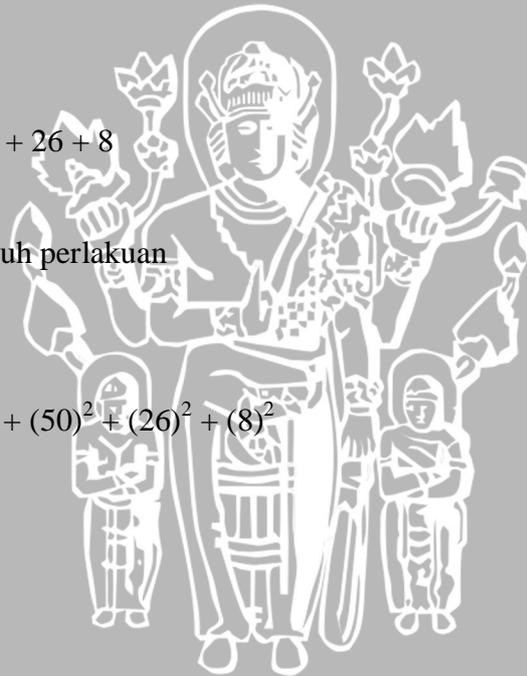
$$\begin{aligned} &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 \\ &= (168)^2 + (98)^2 + (50)^2 + (26)^2 + (8)^2 \\ &= 13770 \end{aligned}$$

- Faktor Koreksi (fk)

$$\begin{aligned} fk &= \frac{T_{..}^2}{nk} \\ &= \frac{(350)^2}{15} \\ &= 8166,67 \end{aligned}$$

- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} JKT &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{nk} \\ &= 13770 - 8166,67 \\ &= 5603,33 \end{aligned}$$



- Jumlah Kuadrat Perlakuan (*JKP*)

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^k T_i^2}{n} - \frac{T_{..}^2}{nk}$$

$$= \frac{(168)^2 + (98)^2 + (50)^2 + (26)^2 + (8)^2}{3} - 8166,67$$

$$= 5522,67$$

- Jumlah Kuadrat Galat (*JKG*)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 5603,33 - 5522,67$$

$$= 80,67$$

Dengan menentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 5 %, maka untuk

$F_{\text{tabel}}(\alpha; k-1; N-k) = F_{\text{tabel}}(0,05; 4; 10)$ adalah 3,48

Tabel 4.6 Analisis Varian Data Cacat *Pinholes*

Sumber Keragaman	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Rata-Rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	4	5522.67	1380.67		
Galat	10	80.67	8.07	171.16	3.48
Total	14	5603.33			

Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara temperatur pemanasan awal cetakan terhadap cacat permukaan *pinholes* dengan risiko kesalahan 5%.

Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data ini dimaksudkan untuk menentukan apakah jumlah sampel data yang diperoleh telah mencukupi atau belum untuk dilakukan pengolahan data (Walpoel, 1995).

$$n \geq \frac{Z^2 \alpha / 2 \times p \times q}{(e)^2}$$

Keterangan :

n = Jumlah data pengamatan yang diperoleh

$Z^2 \alpha / 2$ = Nilai tingkat kepercayaan [$t(\alpha/2; db) = t(0,025; 2) = 4,303$]

p = Jumlah data yang dianggap benar

q = Jumlah data yang dianggap salah ($p-1$)

e = Nilai tingkat ketelitian [$F_{\text{tabel}}(0,05; 4; 10)$ adalah 3,48]

Jika $n \geq n^i$ maka data sudah mencukupi untuk dilakukan pengolahan data.

Untuk selanjutnya dilakukan uji kecukupan data :

$$3 \geq \frac{4,303 \times 3 \times 2}{(3,48)^2}$$

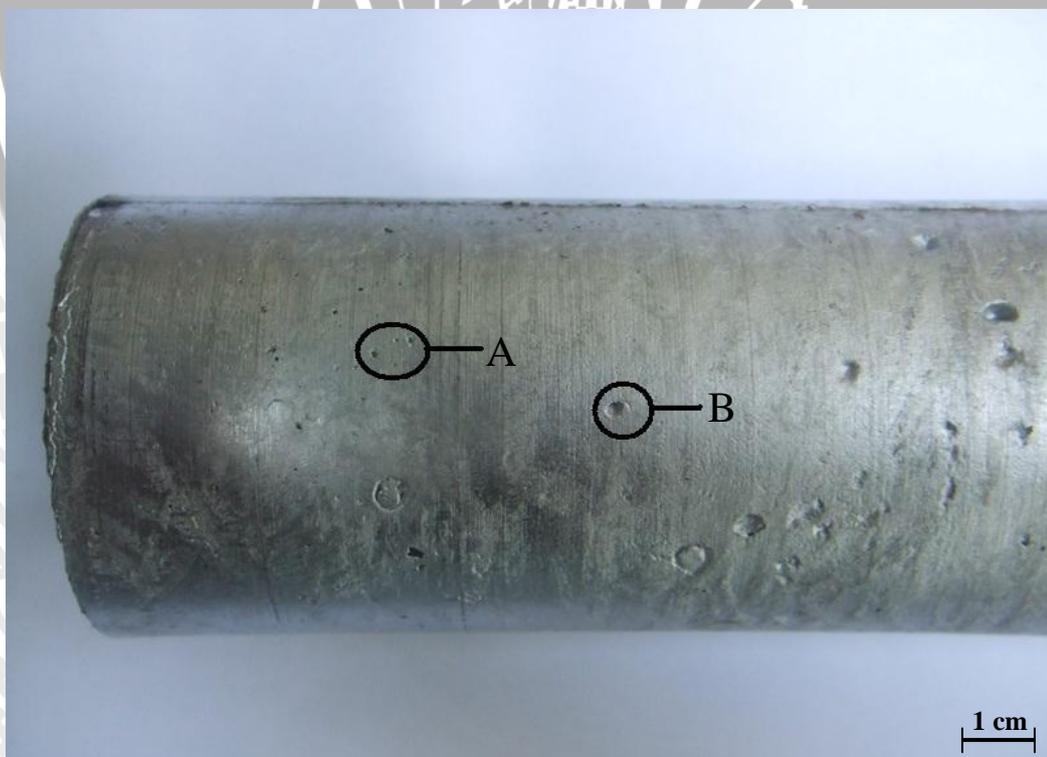
$$3 \geq 2,13$$

Dari hasil perhitungan di atas maka data yang didapat sudah cukup untuk dilakukan pengolahan data.

4.3 Pembahasan

Menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang berputar adalah prinsip dari proses pengecoran sentrifugal. Dengan adanya gaya sentrifugal, logam cair terlempar ke luar dan tertekan pada permukaan cetakan sehingga terbentuk rongga silindris. Hal ini menyebabkan logam cair seakan-akan diperlakukan seperti pada proses tempa.

Seringkali terjadi berbagai macam cacat coran pada permukaan maupun di dalam hasil coran pada proses pengecoran sentrifugal. Cacat pada Aluminium paduan pada dasarnya sama dengan cacat pada besi cor, akan tetapi pada Aluminium paduan sering terjadi cacat berupa gas *defects* yaitu cacat yang terjadi akibat dari gas-gas yang terjebak atau terlarut pada logam cair seperti cacat *blowholes* dan *pinholes*. Gambar 4.1 adalah gambar tentang cacat permukaan luar rongga udara dan lubang jarum.



Gambar 4.1 Gambar Cacat Permukaan Luar Hasil Coran, (A) Cacat Lubang Jarum, (B) Cacat Rongga Udara



Gambar 4.2 Perbesaran Gambar Cacat Lubang Jarum



Gambar 4.3 Perbesaran Gambar Cacat Rongga Udara

Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 adalah gambar perbesaran dari cacat Lubang Jarum dan cacat Rongga Udara. Dapat diketahui dengan jelas dari perbedaan kedua cacat tersebut, yaitu pada ukuran cacatnya. Untuk cacat Lubang Jarum ukurannya lebih kecil dari pada cacat Rongga Udara yaitu berkisar antara 1-2 mm dan penetrasi yang cukup dalam seperti tusukan jarum, sedangkan cacat Rongga Udara ukurannya lebih besar dari pada Lubang Jarum.

Pemanasan awal cetakan pada proses pengecoran sentrifugal adalah memberikan panas pada cetakan hingga temperatur tertentu sebelum logam cair dituang ke dalam cetakan yang berputar. Pemanasan awal cetakan bertujuan untuk memperlambat proses pembekuan karena berkurangnya *gradient* temperatur antara temperatur logam cair dan temperatur cetakan. Sehingga menyebabkan butiran Aluminium mempunyai cukup waktu untuk tumbuh dan tersebar secara merata (Bonollo, 2004). Selain itu juga menjaga fluiditas logam cair, sehingga logam cair dapat memenuhi seluruh rongga cetakan sebelum terjadi proses pembekuan terutama pada bagian cetakan yang jauh dari saluran masuk (Yim & You, 2006).

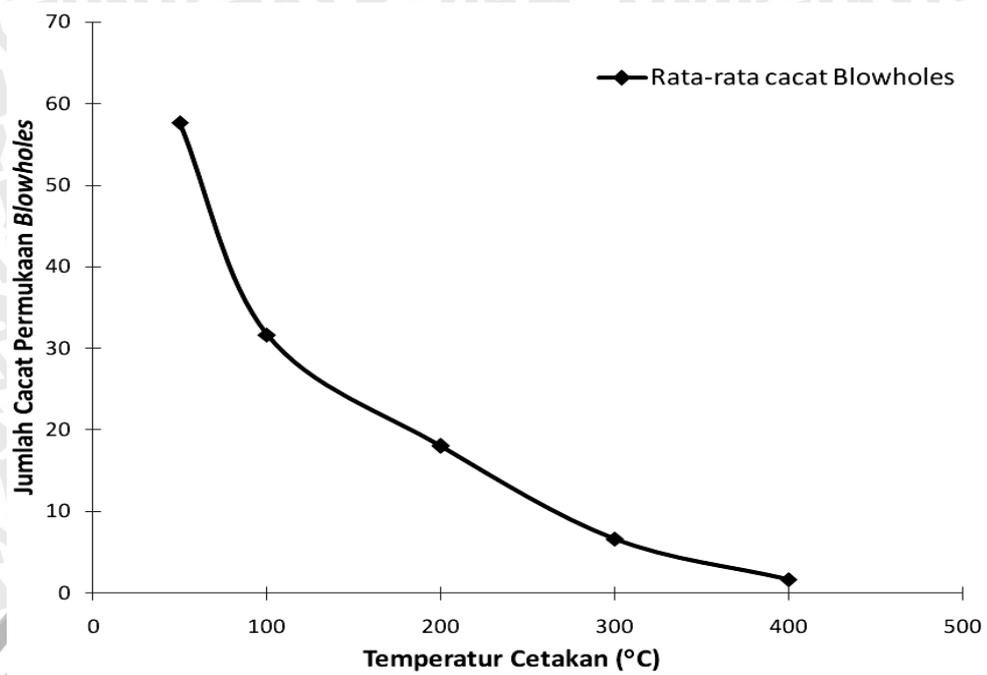
4.3.1 Cacat Rongga Udara (*Blowholes*)

Cacat rongga udara dapat muncul sebagai lubang pada permukaan atau di dalam benda coran, terutama sedikit di bawah permukaan yang merupakan rongga-rongga bulat. Cacat rongga udara terjadi karena terjebaknya udara atau uap air pada dinding-dinding cetakan bagian dalam (Jain, 1979).

Berdasarkan data yang didapat dari hasil penelitian dan kemudian diolah dengan menggunakan perhitungan statistik diperoleh interval penduga rata-rata cacat rongga udara (*blowholes*) dari masing-masing temperatur pemanasan awal cetakan pada proses pengecoran sentrifugal adalah sebagai berikut :

- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 50°C, jumlah cacat *blowholes* yang terjadi berkisar antara 44 sampai dengan 71.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 100°C, jumlah cacat *blowholes* yang terjadi berkisar antara 22 sampai dengan 41.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 200°C, jumlah cacat *blowholes* yang terjadi berkisar antara 11 sampai dengan 24.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 300°C, jumlah cacat *blowholes* yang terjadi berkisar antara 3 sampai dengan 11.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 400°C, jumlah cacat *blowholes* yang terjadi berkisar antara 0 sampai dengan 3.

Grafik hubungan antara temperatur pemanasan awal cetakan terhadap cacat rongga udara (*blowholes*) Aluminium paduan Al-Si-Mg pada proses pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Temperatur Pemanasan Awal Cetakan terhadap Jumlah Cacat Permukaan (*Blowholes*)

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya temperatur cetakan maka akan berpengaruh terhadap jumlah cacat rongga udara (*blowholes*). Semakin tinggi temperatur pemanasan awal cetakan yang diberikan maka cacat permukaan rongga udara (*blowholes*) akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan temperatur cetakan menjaga fluiditas logam coran, yang mana fluiditas itu sendiri berpengaruh terhadap proses pembekuan. Proses pembekuan logam cair menjadi lebih lambat sehingga butiran Aluminium akan tersebar secara merata. Cacat yang disebabkan karena gas yang terlarut dan terperangkap dalam cetakan akan terurai dan memiliki cukup waktu untuk keluar.

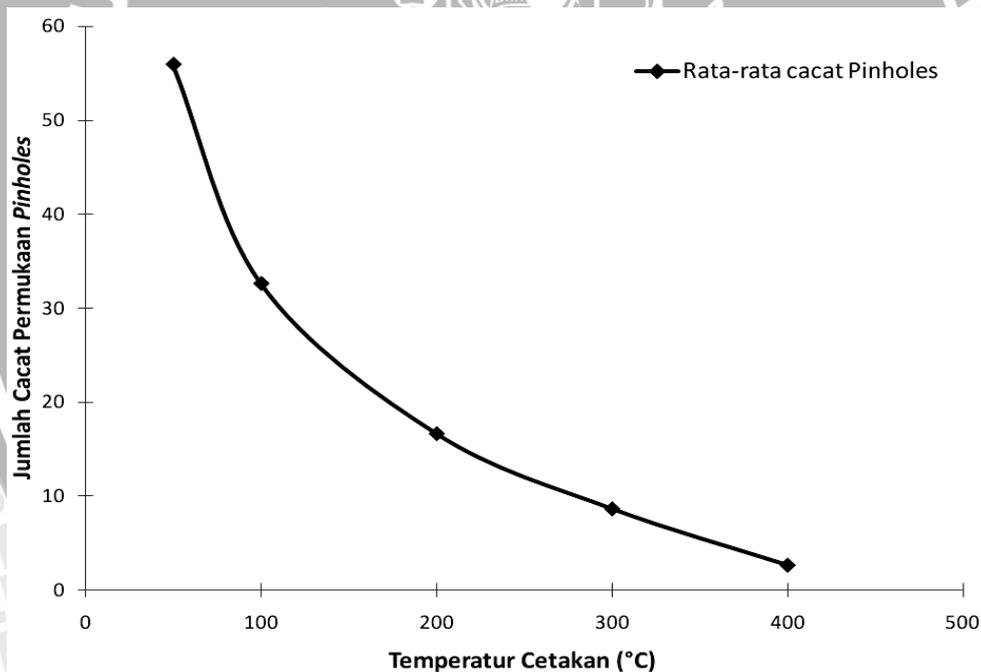
Temperatur pemanasan awal cetakan paling optimum yang menghasilkan cacat rongga udara (*blowholes*) pada Aluminium paduan Al-Si-Mg paling sedikit dari penelitian ini adalah pada temperatur 400°C.

4.3.2 Cacat Lubang Jarum (*Pinholes*)

Cacat lubang jarum (*pinholes*) merupakan cacat yang permukaannya halus dan berbentuk bola. Ukuran cacat lubang jarum 1-2 mm dan penetrasi yang cukup dalam seperti tusukan jarum. Cacat lubang jarum pada prinsipnya sama penyebabnya dengan cacat rongga udara.

Didapatkan interval penduga rata-rata cacat lubang jarum (*pinholes*) setelah dilakukan penghitungan data statistik yang diperoleh dari data hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

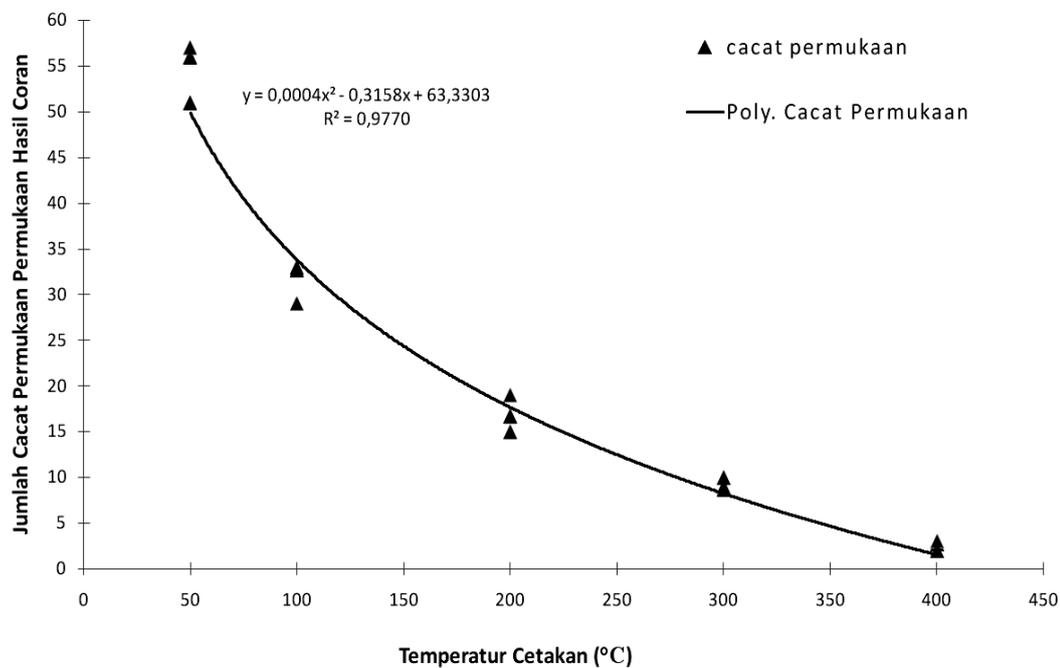
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 50°C, jumlah cacat *pinholes* yang terjadi berkisar antara 45 sampai dengan 67.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 100°C, jumlah cacat *pinholes* yang terjadi berkisar antara 18 sampai dengan 48.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 200°C, jumlah cacat *pinholes* yang terjadi berkisar antara 12 sampai dengan 22.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 300°C, jumlah cacat *pinholes* yang terjadi berkisar antara 5 sampai dengan 13.
- Pemanasan awal cetakan pada temperatur 400°C, jumlah cacat *pinholes* yang terjadi berkisar antara 1 sampai dengan 4.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Temperatur Pemanasan Awal Cetakan terhadap Jumlah Cacat Permukaan (*Pinholes*)

Dari hasil penelitian ini didapatkan temperatur pemanasan awal cetakan yang menghasilkan cacat lubang jarum (*pinholes*) yang paling minimum pada Aluminium paduan Al-Si-Mg adalah pada temperatur 400°C. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur cetakan yang digunakan maka fluiditas dari logam cair akan terjaga serta mengurangi *gradient* temperatur antara temperatur logam cair dengan temperatur

cetakan, sehingga memperlambat proses pembekuan yang menyebabkan butiran Aluminium mempunyai cukup waktu untuk tumbuh dan tersebar secara merata sehingga gas-gas penyebab cacat permukaan hasil coran akan memiliki waktu untuk keluar.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Temperatur Pemanasan Awal Cetakan terhadap Jumlah Cacat Permukaan Hasil Coran

Dari hasil perhitungan statistik didapatkan grafik hubungan temperatur pemanasan awal cetakan terhadap jumlah cacat permukaan hasil coran. Dapat disimpulkan dengan jelas bahwa penggunaan temperatur pemanasan awal cetakan pada proses pengeoran sentrifugal akan mengurangi jumlah cacat permukaan luar hasil coran *blowholes* maupun *pinholes*.

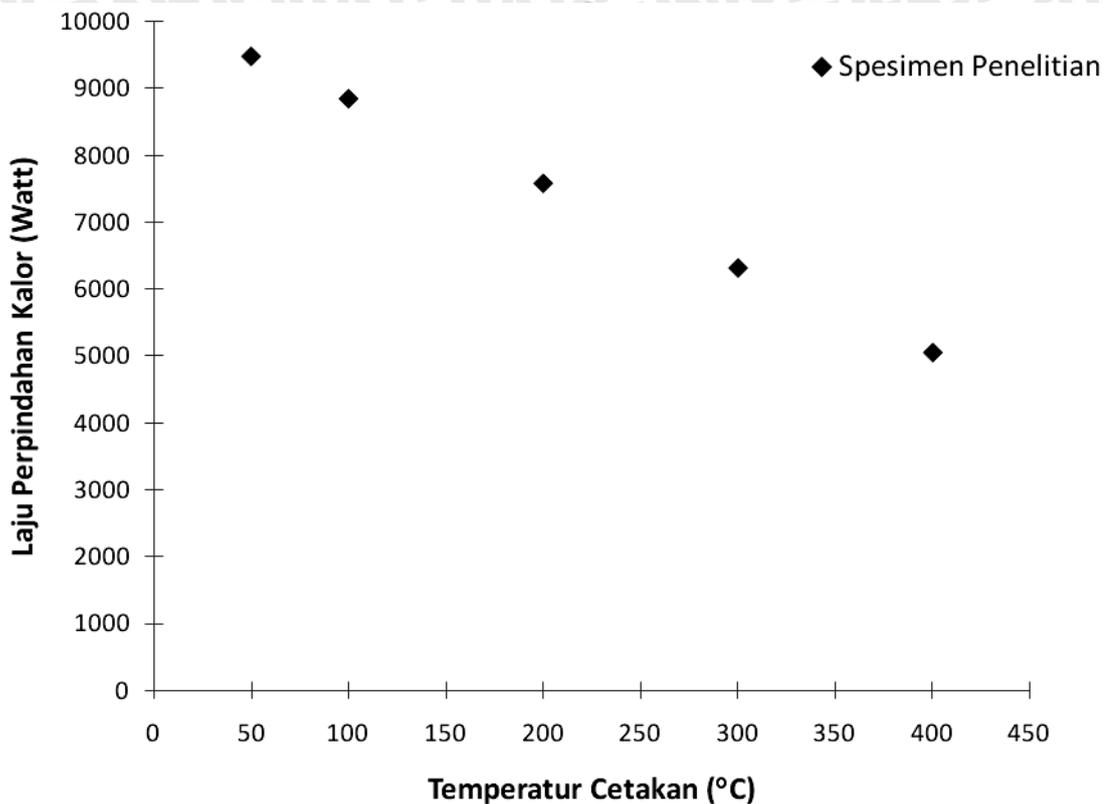
Pengaruh Perpindahan Panas Pada Proses Pembekuan Logam

Proses perpindahan panas yang terjadi dalam penelitian ini sangatlah kompleks. Daerah disekitar instalasi akan menjadi lebih panas dikarenakan laju aliran panas dari logam cair yang dituang ke dalam cetakan. Pertama-tama panas dari logam cair yang membeku (secara konveksi) lalu mengalir ke dalam cetakan logam (secara konduksi) kemudian ke luar cetakan (secara konveksi).

Berikut ini hasil perhitungan laju perpindahan panas dari berbagai variasi temperatur pemanasan awal cetakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Temperatur cetakan 50°C adalah 9615,38 Watt

- Temperatur cetakan 100°C adalah 8974,35 Watt
- Temperatur cetakan 200°C adalah 7692,30 Watt
- Temperatur cetakan 300°C adalah 6410,25 Watt
- Temperatur cetakan 400°C adalah 5128,20 Watt



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Temperatur Pemanasan Awal Cetakan Terhadap Laju Perpindahan Kalor

Dari gambar grafik di atas dapat diketahui bahwa penggunaan pemanasan awal cetakan mempengaruhi laju perpindahan panas. Semakin rendah temperatur pemanasan awal cetakan maka laju perpindahan panas akan semakin besar, hal ini dikarenakan perbedaan temperatur antara cetakan dengan logam cair yang terlalu besar sehingga panas dari logam cair secara cepat berpindah ke dalam cetakan yang menyebabkan menurunnya fluiditas logam cair dan mempercepat proses pembekuan yang mengakibatkan timbulnya cacat permukaan rongga udara dan lubang jarum. Sebaliknya, semakin tinggi temperatur pemanasan awal cetakan yang digunakan maka cacat permukaan rongga udara dan lubang jarum yang timbul akan semakin menurun.