

PENGARUH *Cu* PADA PADUAN *Al-Si-Cu* TERHADAP PEMBENTUKAN STRUKTUR KOLUMNAR PADA PEMBEKUAN SEARAH

Agus Dwi Iskandar^{*1}, Suyitno¹, Muhamad²

¹Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Bandung, Jawa Barat 40012

*Email : Agus.dwi.i@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tentang pengaruh Cu pada paduan Al-Si-Cu terhadap pembentukan struktur kolumnar pada pembekuan searah secara vertikal. Sampel paduan Al-Si-Cu dengan konsentrasi Cu 1-2,7wt% dilebur dalam tungku listrik. Sampel pada kondisi cair didinginkan dalam tungku listrik yang dilengkapi sistem pembekuan searah secara vertikal dengan kecepatan pembekuan konstan (3,49-9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$) dan tebal pendingin logam 1mm dan 10mm. Termokopel tipe K dipasang pada tiga jarak yang berbeda dari permukaan antara cetakan dan pendingin logam untuk mengukur temperatur selama pembekuan searah. Setelah proses pembekuan searah selesai, cetakan dikeluarkan dari tungku dan dibuka untuk mengambil sampel uji. Parameter pembekuan searah (konsentrasi Cu) telah diamati sebagai fungsi dari pembentukan struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan struktur dendrit kolumnar dengan jarak lengan dendrit primer yang halus dan seragam terdapat pada paduan dengan konsentrasi 2,76%Cu. Pada konsentrasi Cu yang lebih tinggi pertumbuhan dendrit primer meningkat dan pertumbuhan dendrit sekunder berkurang. Pada konsentrasi Cu yang rendah dendrit kolumnar tumbuh dengan jarak lengan dendrit primer lebih kasar, pertumbuhan lengan dendrit sekunder meningkat dan pertumbuhan dendrit primer menurun.

Kata Kunci : *dendrit, kolumnar, paduan Al-Si-Cu, pembekuan searah, struktur mikro*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri yang berbasis logam sudah semakin pesat, hal ini juga disertai dengan kemajuan teknologi dibidang perbaikan sifat mekanis logam. Kebutuhan akan produk dengan spesifikasi dan tujuan tertentu mengharuskan manusia untuk menemukan metode perbaikan sifat logam yang lebih baik. Suatu contoh industri transportasi yang tidak hanya membutuhkan material logam yang kuat, tapi juga harus ringan, tahan korosi, dan mampu menahan terhadap beban yang besar.

Perbaikan sifat mekanis suatu bahan dapat dilakukan melalui beberapa cara baik melalui perlakuan panas, pengerasan endapan maupun pembekuan searah (Amstead, 1989). Perlakuan panas adalah perpaduan antara proses pemanasan, penahanan temperatur, dan pendinginan. Pengerasan endapan adalah pengerasan yang disebabkan oleh pengendapan suatu konstituen (*constituent*) dari larutan padat lewat jenuh. Pembekuan searah adalah fase tranformasi dari cair ke padat untuk meningkatkan terbentuknya dendrit. Proses pembekuan searah dibandingkan dengan perbaikan sifat mekanis yang lainnya memiliki keunggulan yaitu menghasilkan struktur kolumnar yang mampu meningkatkan nilai kekerasan, mampu *creep* yang baik serta tahan terhadap beban aksial pada temperatur tinggi.

Rekayasa dengan metode pembekuan searah adalah proses untuk meningkatkan terbentuknya *dendrit arm spacing* dan menurunkan kekasaran butir terutama pada daerah *hypoeutectic* (Oakwood dkk, 2002). Metode pembekuan searah dapat meningkatkan sifat mekanis material dalam hal ketangguhan, kekuatan tarik dan kekuatan mulur (Axmann, 1983). Proses pembekuan searah ini sendiri belum banyak digunakan dalam proses rekayasa struktur pada beberapa material teknik. Banyaknya faktor-faktor yang menjadi acuan pada proses pembekuan searah inilah yang masih menjadi hambatan banyaknya peneliti belum banyak menggunakan proses pembekuan searah. Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya struktur kolumnar pada proses pembekuan searah adalah komposisi paduan, kecepatan pembekuan, gradien temperatur, material cetakan dan kondisi pendinginan.

Aluminium murni memiliki kekuatan dan sifat mekanis yang rendah, oleh karena itu untuk memperbaiki sifat-sifat mekanisnya harus dipadu dengan unsur lainnya. Penambahan paduan silikon dan tembaga akan memperbaiki kekuatan baik pada proses pengecoran maupun pelakuan panas. Unsur yang biasa ditambahkan pada aluminium adalah Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat – sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Penambahan silikon pada aluminium akan meningkatkan karakterisasi pengecoran seperti mampu alir (*fluidity*), ketahanan terhadap retak panas (*hot tearing*), dan *feeding characteristic*. Penambahan tembaga akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada aluminium (Amstead, 1997).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Perencanaan Komposisi

Peleburan dan pengecoran paduan ingot material ingot aluminium murni, ADC12, dan Al 2024 sebagai penambahnya untuk memperoleh komposisi target yang di inginkan yaitu paduan A dengan 1,17% Cu, paduan B 1,65%Cu, Paduan C 2,14%Cu, dan Paduan D 2,76 %Cu. Rumus untuk menentukan komposisi berat dalam material base, ADC12 dan Al 2024 sebagai berikut :

$$\text{Target Al \%} = \left(\frac{\text{Berat Total Al (kg)}}{\text{Berat total Material Al Murni (kg)} + \text{ADC12(kg)} + \text{Al2024(kg)}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Target Si \%} = \left(\frac{\text{Berat Total Si (kg)}}{\text{Berat total Material Al Murni (kg)} + \text{ADC12(kg)} + \text{Al2024(kg)}} \right) \times 100\%$$

$$\text{Target Cu \%} = \left(\frac{\text{Berat Total Cu (kg)}}{\text{Berat total Material Al Murni (kg)} + \text{ADC12(kg)} + \text{Al2024(kg)}} \right) \times 100\%$$

Bahan paduan Al-Si-Cu dilebur pada dapur listrik dengan jumlah secukupnya sesuai dengan perhitungan untuk mendapatkan komposisi paduan Al-Si-Cu, sehingga diperoleh kosentrasi Cu 1,17, 1,65, 2,14, dan 2,76 %Cu.

Temperatur diatas garis liquidus pada diagram fasa ternary Al-Si-Cu (680-720⁰C). Dalam kondisi cair, sampel dituang dalam cetakan, kemudian sampel dimasukkan ke dalam cetakan dari pipa baja tahan karat tipis ukuran diameter dalam 11/32", diamter luar 3/8" dan panjang 65 mm. Percobaan ini dilakukan sebanyak jumlah jenis konsentrasi paduan Al-Si-Cu yang direncanakan yaitu paduan jenis A, B, C, dan D. Sampel yang telah dimasukkan dalam cetakan pipa baja selanjutnya ditempatkan pada dudukan cetakan (diatas pendingin).

2.2. Prosedur Penelitian

Bahan paduan Al-Si-Cu dilebur pada dapur listrik dengan jumlah secukupnya sesuai dengan perhitungan untuk mendapatkan komposisi paduan Al-Si-Cu, sehingga diperoleh kosentrasi Cu 1,17, 1,65, 2,14 dan 2,76 %Cu.

Temperatur diatas garis liquidus pada diagram fasa ternary Al-Si-Cu (680-720⁰C). Dalam kondisi cair, sampel dituang dalam cetakan, kemudian sampel dimasukkan ke dalam cetakan dari pipa baja tahan karat tipis ukuran diameter dalam 11/32", diamter luar 3/8" dan panjang 65 mm. Percobaan ini dilakukan sebanyak jumlah jenis konsentrasi paduan Al-Si-Cu yang direncanakan yaitu paduan jenis A, B, C, dan D. Sampel yang telah dimasukkan dalam cetakan pipa baja selanjutnya ditempatkan pada dudukan cetakan (diatas pendingin).

Metode penelitian ini secara ringkas adalah sebagai berikut :

1. Jenis paduan A, B, C, dan D masing-masing dilakukan proses peleburan dan pembekuan searah dengan parameter, kecepatan pemebukan konstan (3,49-9,22 $\mu\text{m/detik}$), ketebalan pendingin 1mm dan 10mm, temperatur lebur, dan debit air pendingin yang sama. Selanjutnya masing – masing sampel dilakukan uji struktur mikro.
2. Dari jenis paduan yang diperoleh pada proses no.1, yang paling banyak menunjukkan pembentukan struktur kolumnar, kemudian paduan tersebut dilakukan proses peleburan dan pembekuan searah dengan parameter ketebalan pendingin, temperatur lebur dan debit air pendingin yang sama, sedangkan kecepatan pendingin berbeda dengan percobaan (1). Selanjutnya sampel dilakukan uji struktur mikro.

3. Dari jenis paduan yang sama (2), kemudian dilakukan proses peleburan dan pembekuan searah dengan parameter yang sama kecuali ketebalan pendingin berbeda. Selanjutnya sampel dilakukan uji struktur mikro, dan pengujian kekerasan.
4. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan memotong spesimen pada penampang longitudinal, kemudian dilakukan pengamatan pada daerah dengan jarak 20 mm, 40 mm, dan 60 mm dari pangkal spesimen.

2.3. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui besar, bentuk, dan orientasi butir pada Al-Si-Cu. Pengamatan sampel uji dilakukan dengan cara dibelah secara vertikal untuk diamati pada bagian tengah sampel. Sampel dipotong dengan panjang 15-20 mm untuk dibuatkan mounting spesimen menggunakan resin. Selanjutnya spesimen dihaluskan pada permukaan yang akan di amati struktur mikronya, menggunakan amplas 200, 400, 600, 600, 1000, 1500, 2000. Sampel di poles menggunakan alumina dan autosol dan di etsa dengan *reagen Kellers*. Selanjutnya diamati dan diambil gambarnya di beberapa titik pada penampang ke arah membujur untuk melihat bagian yang membuat struktur *columnar* menggunakan mikroskop optik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN




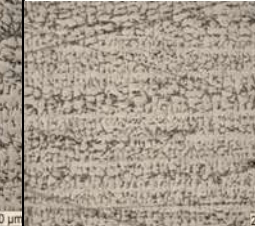
3.1. Hasil Pengujian Komposisi

Tabel 1. Komposisi kimia paduan A, B, C, D (CV.KHS Yohyakarta)

No	Unsur	Paduan (%)			
1	Al	92,72	91,44	90,72	90,04
2	Cu	1,17	1,658	2,141	2,768
3	Si	4,78	5,38	5,38	5,29
4	Mn	0,1284	0,1686	0,2493	0,3278
5	Mg	0,1201	0,1718	0,2428	0,2961
6	Zn	0,4144	0,4769	0,4937	0,496
7	Fe	0,5673	0,5921	0,6573	0,6654
8	Ti	0,0202	0,0202	0,0182	0,0184
9	Cr	0,0169	0,018	0,0215	0,0217
10	Ni	0,0184	0,0206	0,0231	0,0244
11	Sn	0,0102	0,0114	0,0125	0,0126
12	Pb	0,0356	0,0397	0,0449	0,0414



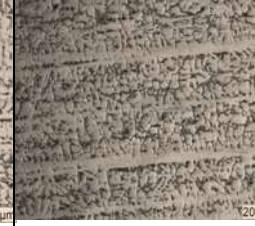
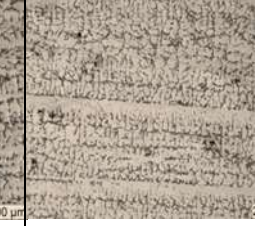
Tabel 1. menunjukkan hasil dari pengujian komposisi kimia paduan Al murni, ADC12, dan Al2024. Hasil komposisi kimia terdiri dari paduan A dengan Al-1,17%Cu, paduan B Al-1,65%Cu, paduan C Al-2,14%Cu, dan paduan D Al-2,76%Cu.

3.2. Pengamatan Struktur Mikro

%Cu	Kecepatan Pembekuan			
	3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$		9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$	
	Tebal pendingin logam			
	1mm	10mm	1mm	10mm
1,17 %Cu				
	(a)	(b)	(c)	(d)




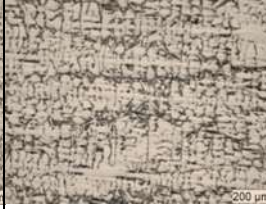
Gambar 1. Struktur Mikro Paduan A dengan Kosentrasi 1,17%Cu

Gambar 1 menunjukkan paduan A dengan kosentrasi 1,17. Gambar 1 (a) menunjukkan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$ konstan, dan tebal pendingin logam 1mm, gambar 1 (b) dengan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10mm, gambar 1 (c) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 1mm, gambar 1 (d) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10 mm.

%Cu	Kecepatan Pembekuan			
	3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$		9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$	
	Tebal pendingin logam			
	1mm	10mm	1mm	10mm
1,65 %Cu				
	(a)	(b)	(c)	(d)




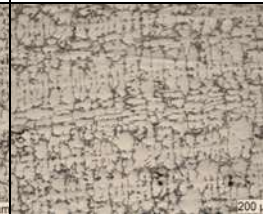
Gambar 2. Struktur Mikro Paduan B dengan Kosentrasi 1,65%Cu

Gambar 2. menunjukkan paduan B dengan kosentrasi 1,65%Cu. gambar 2 (a) dengan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 1 mm, gambar 2 (b) dengan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10 mm, gambar 2 (c) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 1 mm, dan gambar 2 (d) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10 mm.

%Cu	Kecepatan Pembekuan			
	3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$		9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$	
	Tebal pendingin logam			
	1mm	10mm	1mm	10mm
2,14 %Cu				
	(a)	(b)	(c)	(d)

Gambar 3. Struktur Mikro Paduan C dengan Kosentrasi 2,14%Cu

Gambar 3. menunjukkan paduan B dengan kosentrasi 2,14%Cu. gambar 3 (a) dengan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 1 mm, gambar 3 (b) dengan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10 mm, gambar 3 (c) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 1 mm, dan gambar 3 (d) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10 mm.

%Cu	Kecepatan Pembekuan			
	3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$		9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$	
	Tebal pendingin logam			
	1mm	10mm	1mm	10mm
2,76 %Cu				
	(a)	(b)	(c)	(d)

Gambar 4. Struktur Mikro Paduan D dengan Kosentrasi 2,76%Cu

Gambar 4. menunjukkan paduan C dengan kosentrasi 2,76%Cu. gambar 4 (a) dengan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 1 mm, gambar 4 (b) dengan kecepatan pembekuan 3,49 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10 mm, gambar 4 (c) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 1 mm, dan gambar 4 (d) dengan kecepatan pembekuan 9,22 $\mu\text{m}/\text{detik}$, dan tebal pendingin logam 10 mm.

Hasil pengamatan struktur mikro dengan kosentrasi 1,17, 1,65, dan 2,14 %Cu menunjukkan bentuk struktur kolumnar pada jenis paduan dengan kosentrasi Cu yang rendah ini terputus – putus dan belum terlihat formasi dendrit kolumnar searah dengan laju pendinginan. Dendrit kolumnar mempunyai arah yang acak, hanya pada jenis paduan dengan kosentrasi 1,65%Cu sedikit terlihat struktur dendrit kolumnar membentuk formasi memanjang searah dengan laju pendinginan.

Struktur mikro dari paduan dengan kosentrasi 2,76 %Cu menunjukkan struktur dendrit kolumnar yang memanjang searah dengan laju pendinginan. Sampel jenis paduan dengan kosentrasi D pada mikrogafinya menunjukkan perubahan tingkat morfologi dendrit kolumnar.

Sampel jenis paduan dengan konsentrasi 2,76 %Cu struktur kolumnar menunjukkan formasi kolumnar yang rapat dan terarah, memanjang searah dengan laju pendinginan. Semakin tingginya konsentrasi dalam paduan, akan mengakibatkan ukuran sel dendrit menjadi kecil (Samuel dkk, 2004).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh Cu pada paduan Al-Si-Cu terhadap pembentukan struktur kolumnar pada pembekuan searah, maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Cu pada paduan Al-Si-Cu berpengaruh terhadap pembentukan dendrit kolumnar pada pembekuan searah vertikal. Pertumbuhan struktur dendrit kolumnar dengan jarak lengan dendrit primer yang halus dan seragam terdapat pada paduan dengan konsentrasi 2,76%Cu. Pada konsentrasi Cu yang lebih tinggi pertumbuhan dendrit primer meningkat dan pertumbuhan dendrit sekunder berkurang. Pada konsentrasi Cu yang rendah dendrit kolumnar tumbuh dengan jarak lengan dendrit primer lebih kasar, pertumbuhan lengan dendrit sekunder meningkat dan pertumbuhan dendrit primer menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Axmann, W., 1983, "Dynamic Directional Solidification", Workshop RWTH Aachen, pp.71-95.
Amstead, G., dkk, 2002, "Teknologi Mekanik" edisi 7, Erlangga, Jakarta, pp.156-157
Oakwood, T.G., Goodrich, G.M., 2002, "Role of Gravity Forces on the Directional Solidification of Gray Cast Iron", American Foundry Society, USA, pp.1-17.
Samuel, H, F., 2004, "Characteristics of α -dendritic and eutectic structures in Sr-treated Al Si casting alloys", Journal of Materials Science pp. 215– 224