

Efek Dendrite Arm Spacing terhadap Sifat Mekanis Paduan Perunggu Cu-20%Sn

I Ketut Gede Sugita, R. Soekrisno, I Made Miasa, Suyitno

Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Jl. Grafika no 2, 5528
Yogyakarta, Indonesia.
email: sgita_03@yahoo.com

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh dendrite arm spacing terhadap sifat mekanis perunggu Cu-20% Sn. Tembaga murni (pure commercial) dan timah murni ditebur dalam dapur pemanas (crucible furnace) hingga mencapai temperatur 1000°C. Logam yang telah mencair dituang pada cetakan logam yang dipanasi lebih awal pada temperatur 35°C, 200°C, 400°C. History temperatur pendinginan pengecoran direcord menggunakan data acquisition Lab view 8.2.

Investigasi struktur mikro dan sifat mekanis telah dilakukan. Hasil riset menunjukkan bahwa penurunan temperatur cetakan yang digunakan berpengaruh pada peningkatan laju pembekuan yang berdampak pada pengurangan waktu pembekuan. Disamping itu pula perbedaan laju pembekuan berpengaruh pada bentuk struktur mikro yang terjadi. Dendrite arm spacing (DAS) menurun sebagai akibat dari laju solidifikasi meningkat. DAS berpengaruh pada sifat mekanis seperti kekuatan tarik dan kekerasan hasil coran. Sifat mekanis meningkat sejalan dengan penurunan DAS

Keyword : Tin bronze, dendrite, dendrite arm spacing (DAS), mikrostruktur.

Abstract

The purpose of this work is to investigate the effect of dendrite arm spacing on mechanical properties bronze 20%Sn alloys. The commercial pure copper and tin were melted in crucible furnace at temperature 1000°C. The molten metal was casted in permanent moulds which have variation temperature, i.e. 35°C, 200°C, 400°C. The history of cooling temperature on castings was recorded using a computer aided data acquisition Lab view 8.2 system.

The microstructure and mechanical properties of this alloy have been investigated. The results of this research indicate that decreasing the mould temperature affected on increasing solidification rate that caused to reduce the solidification time. On the other hand, the difference of solidification rate have effected on microstructure forms. The dendrite arm spacing (DAS) decreases with increasing solidification rate. DAS affected on mechanical properties i.e. ultimate tensile strength and hardness as cast. The mechanical properties increase with decreasing DAS.

Keywords : Tin bronze, dendrite, dendrite arm spacing (DAS), and microstructure

1. LATAR BELAKANG

Perunggu sering disebut *tin-bronze* karena paduan utama dari paduan ini adalah tembaga (Cu) dan timah putih (Sn). Paduan ini banyak digunakan pada bantalan mesin, sudu pompa, ring piston, lonceng, roda gigi dan beberapa elemen mesin. Perunggu memiliki sifat mudah dicor, mudah dibentuk (*formability*), tahan aus, tahan korosi dan kekuatan yang baik [1]. Kemampuan pembentukan perunggu karena perunggu memiliki struktur kristal *hexagonal closed packed* (HCP), yang cukup mudah dibentuk dalam kondisi panas [2]. Perunggu memiliki kekuatan dan ketangguhan yang baik, tahan terhadap korosi, bebas dari kemungkinan terjadinya *season cracking*, tahan terhadap aus dan dalam keadaan cair paduan ini memiliki daya alir yang tinggi sehingga mudah dicor [3].

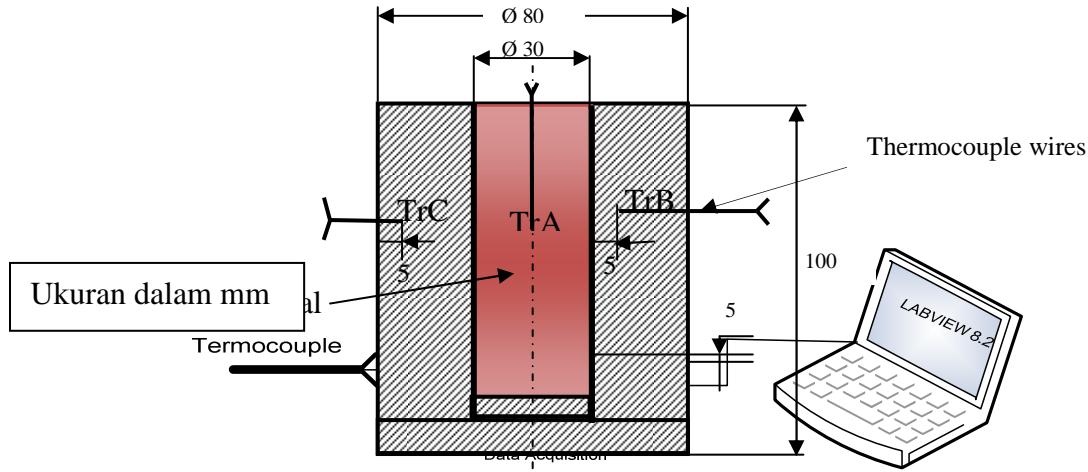
Pengecoran merupakan proses pembuatan benda kerja dengan cara menuang logam cair ke dalam rongga cetakan, dengan bentuk yang diinginkan. Proses ini memiliki beberapa keuntungan yaitu: dapat dihasilkan benda dengan bentuk kompleks, dapat dihasilkan produk dengan ukuran yang besar maupun kecil dan dapat dihasilkan benda yang identik (*net shape*) dalam jumlah massal dengan biaya murah. Dengan keunggulan tersebut, sebagian besar proses produksi dilakukan dengan proses pengecoran [4].

Pembentukan struktur logam selama pembekuan melalui dua mekanisme yaitu pengintian dan pertumbuhan inti. Bentuk struktur yang dihasilkan tergantung pada ratio gradien temperatur cairan (G) dengan temperatur solid-liquid pada interface (R) yaitu sering ditulis G/R. Bentuk struktur mikro yang dihasilkan oleh variasi proses

pembekuan (*solidification*) berpengaruh pada sifat mekanis dan fisis hasil coran. [5-6].

Proses solidifikasi merupakan suatu proses perubahan fase cair ke fase padat. Ketika cairan logam tersebut dituang, temperatur cairan akan turun drastis akibat panas diserap oleh cetakan dan lingkungan sekeliling. Laju transfer panas

tergantung pada sifat konduktivitas cetakan, proses pengecoran dan ukuran coran. Proses tersebut akan berpengaruh pada laju pembekuan (*solidification rate*). Laju pembekuan yang tinggi membutuhkan waktu pembekuan yang pendek. Laju pendinginan dan transfer panas yang terjadi berpengaruh pada morfologi struktur mikro yang terbentuk.



Gambar 1. Set – up pengukuran temperatur solidifikasi.

Walaupun ukuran butir struktur (*grain size*) merupakan parameter yang berpengaruh terhadap sifat mekanis, *dendrite and secondary arm spacing* (SDAS) merupakan faktor metallurgy yang sangat penting terhadap sifat mekanis [6]⁷. Penelitian tentang pengaruh struktur mikro, khususnya pengaruh *dendrite arm spacing* (DAS) terhadap kekuatan tarik (UTS) telah banyak dilakukan. Penelitian pengaruh laju pendinginan terhadap *dendrite arm spacing* (DAS) telah dilakukan oleh Seah, K.H, dkk., 1998, pada besi cor, Hemanth Joel, 2000, pada besi *ductile*, Shen Jun dkk., (2006) pada material timah solder, Zhang, L.Y (2007) pada aluminium A356. Talamantes Silvia, dkk. (2008) pada material aluminium tembaga. Secara umum hasil penelitian menunjukkan laju solidifikasi berpengaruh pada DAS.

Sejauh ini, penelitian tentang laju solidifikasi, hubungan DAS dan sifat mekanis pada paduan perunggu belum dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah menentukan pengaruh *secondary dendrite arm spacing* (SDAS) terhadap sifat mekanis pada paduan perunggu 80%Cu-20%Sn.

2. METODOLOGI

Tabel 1 Komposisi kimia hasil coran

Paduan perunggu	Kandungan elemen wt%							
	Cu	Sn	Si	Pb	Zn	Mn	S	As
Cu-20%Sn	79.18	19.1	-	1.18	0.505	0.0008	0.014	0.055

Tembaga murni (*pure commercial*) dan timah putih murni dicairkan dalam dapur peleburan (*crucible furnace*) pada temperatur 1000°C. Logam cair dituang pada cetakan logam berbentuk silindris dengan ukuran diameter dalam 30 mm, diameter luar 80mm dan tinggi 85 mm (Gambar 1). Sebelum logam cair dituang, cetakan dipanaskan lebih awal (*preheat*) dengan variasi temperatur 35°C, 200°C, 400°C. Termokopel tipe K, diameter 1 mm digunakan untuk mengukur temperatur selama proses pengecoran. Termokopel A (Tr A) digunakan untuk mengukur history pembekuan coran, termokopel B (Tr B) dan C (Tr C), keduanya digunakan untuk mengukur history temperatur yang terjadi pada cetakan. Set-up pengukuran temperatur selama proses pembekuan ditunjukkan pada Gambar 1

Bilet hasil coran dipotong untuk specimen uji tarik, kekerasan dan struktur mikro. Specimen uji tarik mengikuti standar uji JIS Z2201. No.7, diuji pada mesin uji tarik (Universal testing Machine). Pengujian kekerasan menggunakan uji Vickers. Struktur mikro yang terbentuk diamati dengan menggunakan mikroskop optic. Komposisi kimia hasil coran ditunjukkan pada tabel 1.

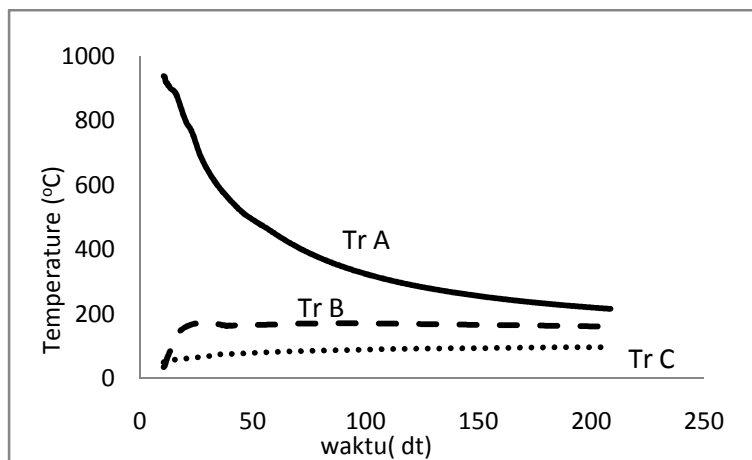
3. HASIL

3.1 Laju Solidifikasi

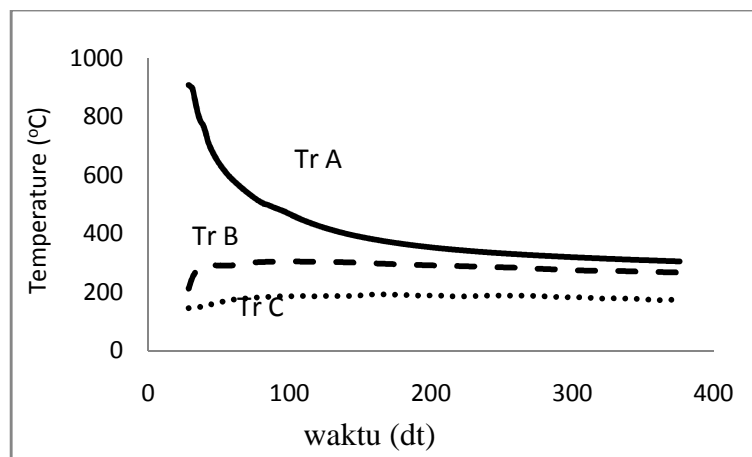
Gambar 2a-c menunjukkan hubungan antara temperatur pembekuan, temperatur pada cetakan terhadap waktu pada masing – masing variasi panas cetakan. Perbedaan temperatur cetakan berpengaruh pada laju pembekuan, yang ditunjukkan oleh perbedaan waktu yang diperlukan selama proses pembekuan. Total waktu solidifikasi didefinisikan sebagai total waktu yang diperlukan untuk mengubah panas specific cairan dan panas laten fusi. Laju solidifikasi paling tinggi dihasilkan pada proses pengecoran pada cetakan dengan pemanasan awal (a) 35°C yaitu 14.35°C/s. diikuti

oleh pengecoran pada temperatur cetakan (b) 200°C dan (c) 400°C yaitu 13.112°C/s dan 7.725°C/s.

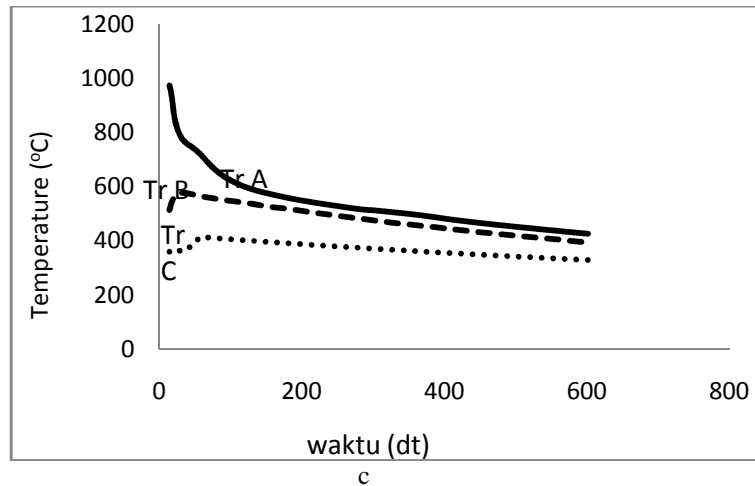
Peningkatan temperatur cetakan berpengaruh pada proses solidifikasi yang menyebabkan waktu solidifikasi meningkat. Gradien temperatur yang tinggi pada daerah pembekuan *liquid* diakibatkan oleh perbedaan temperatur antara temperatur tuang dengan temperatur cetakan. Temperatur cairan akan menurun karena diserap ;langsung oleh cetakan yang memiliki konduktifitas panas yang tinggi.



a.



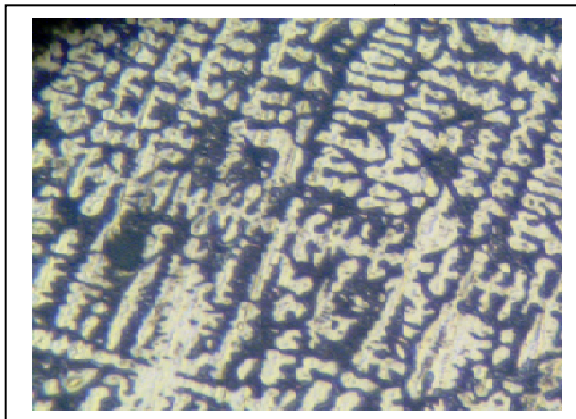
b.



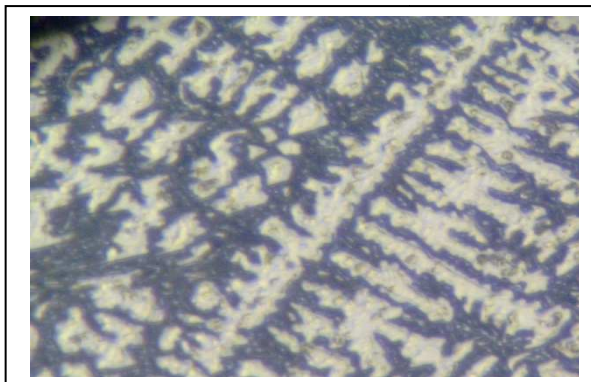
Gambar 2. History temperatur selama pembekuan (a). temperatur cetakan 35°C, (b). temperatur cetakan 200°C, (c). temperatur cetakan 400°C

3.2 Struktur Mikro

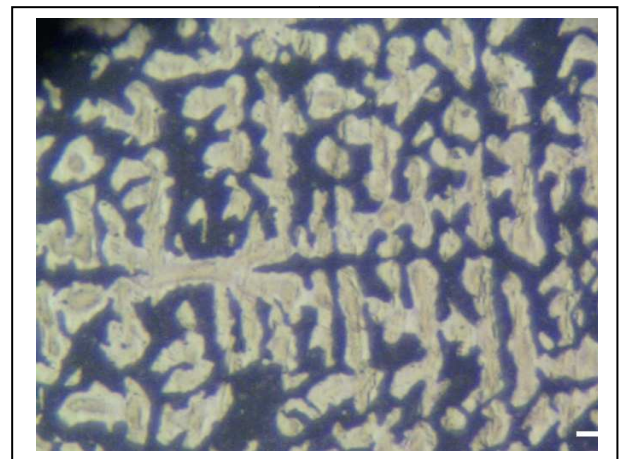
Gambar 3a-c bentuk struktur mikro hasil coran dari masing-masing perlakuan temperatur awal cetakan. Bentuk struktur α dendritic yang dihasilkan pada proses pengecoran pada cetakan dengan preheat 35°C paling halus dibandingkan pada cetakan dengan preheat 200°C and 400°C.



a.



b.



c.

Gambar 3. Struktur mikro hasil coran pada cetakan preheat (a.) 35°C (b) 200°C, (c) 400°C (pembesaran 100x)

3.3 Sifat Mekanis

Pengaruh DAS terhadap sifat mekanis khususnya kekuatan tarik dan kekerasan hasil coran ditunjukkan pada tabel 2. Dari tabel 2 tampak bahwa penggunaan variasi temperatur cetakan yaitu 35°C, 200°C dan 400°C berpengaruh terhadap ukuran DAS, kekuatan tarik (UTS) dan kekerasan hasil coran. Kekuatan tarik menurun dengan meningkatnya ukuran DAS, sebagai akibat dari penggunaan temperatur cetakan yang semakin meningkat. Demikian halnya kekerasan meningkat sebagai akibat dari laju solidifikasi yang tinggi yaitu penggunaan temperatur cetakan yang rendah.

Table 2 DAS dan Sifat Mekanis hasil coran

Sample No	Mould temperatur	DAS μm	Tensile strength (N/mm^2)	Vickers Hardness
1	35°C	15.758	268.025	195.927
2	200°C	17.385	256.846	185.368
3	400°C	20.189	243.743	182.96

4. PEMBAHASAN

Laju solidifikasi dipengaruhi oleh variasi gradien temperatur antara logam cair dengan temperatur cetakan. Semakin besar selisih temperatur antara logam cair dengan temperatur cetakan, maka laju solidifikasi akan meningkat dengan menurunkan waktu solidifikasi. Perbedaan laju solidifikasi berpengaruh pada bentuk struktur mikro yang dihasilkan. Bentuk DAS yang dihasilkan bertambah besar yang diakibatkan oleh laju solidifikasi yang semakin rendah. Selama proses solidifikasi, temperatur cetakan semakin panas, gradien temperatur menurun dan waktu solidifikasi berubah. (Gambar 2a-c), dengan demikian *dendrite* akan tumbuh dan *secondary dendrite arm spacing* (SDAS) meningkat dengan sedikit cabang

Laju solidifikasi meningkat akan menurunkan DAS disebabkan karena sedikit waktu yang tersedia untuk difusi partikel inti [5, 8,11]. Selama proses pembekuan temperatur cetakan akan meningkat akibat transfer panas dari logam cair ke cetakan. Cetakan akan menyerap panas yang dilepas oleh logam cair kemudian melepaskan ke sekeliling. Peningkatan panas pada cetakan akan menurunkan gradien temperatur logam cair dengan interface sehingga laju pembekuan terhambat, waktu yang tersedia untuk pembekuan secara komplit semakin lama.

Kekuatan tarik (UTS) semakin meningkat seiring dengan laju solidifikasi meningkat, namun memiliki hubungan terbalik dengan SDAS [8,9]. Struktur yang halus menghasilkan batas butir yang semakin banyak. Semakin banyak batas butir yang terbentuk, maka semakin efektif untuk menahan kekuatan atau semakin kuat untuk menahan gerakan dislokasi, sehingga dapat meningkatkan kekuatan material tersebut [5]. Demikian halnya, kekerasan menurun sebagai akibat meningkatnya DAS [11].

5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa laju solidifikasi dipengaruhi oleh gradien temperatur logam cair dengan temperatur *solid-liquid* pada *interface*. Semakin meningkat laju solidifikasi semakin halus bentuk struktur mikro yang dihasilkan. Ukuran DAS yang terbentuk berdampak langsung pada kekuatan tarik (UTS) dan kekerasan hasil coran. Kekuatan tarik dan kekerasan meningkat sebagai akibat DAS menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Schmidt R.F., Schmidt D.G., 1993, **Selection and Application of Copper Alloy Castings**, ASM Handbook, Metals Handbook, vol. 2, p. 346.
- Callister W., 2001, **Fundamental of Materials Science and Engineering**, John Wiley and Son Inc. p. 179,
- Hosford F. William, 2005, **Mechanical Behaviour of Materials**, Cambridge University Press,
- Stefanescu Doru M., 2002, **Science and Engineering of Casting Solidification**, vol. Kluwer Academic/Plenum Publisher.
- Askeland, D. R., 1984, **The Science and Engineering of Materials**, University of Missouri-Rolla, California, USA.
- Cambell J., 2003, **The New Metallurgy of Cast Metals**, Second Edition, Butterworth Heinemann
- Shen Jun, Liu Yong Chang, and Gao Houxiu, 2006, **Rapid Directional Solidification in Sn-Cu Lead-Free solder** Journal of University of Science and Technology Beijing Volume Z3
- Seah,K.H, Hemanth,J, Sharma, S.C, 1998, **Effect of the cooling rate on the dendrite arm spacing and the ultimate tensile strength of cast iron**, Journal of Material science 33, pp 23 – 28
- Hemanth Joel, 2000, **Effect of Cooling rate on dendrite arm spacing (DAS),eutectic cell count (ECC) and ultimate tensile strength (UTS) of austempered chilled ductile iron**, Materials and Design 21 pp 1-8
- Talamantes Silvia M.A.,Gues Rodri, A. Talamantes Silvia, J, Valterra,S, Colas.R 2008, **Effect of Solidification Rate and Heat Treating on the Microstructure and Tensile Behavior of an aluminum-Copper Alloy**, Metallurgical and Material Transaction B.vol 39 B pp 911-919.
- Halvae A., Talebi, A., 2001, **Effect of Process Variables on Microstructure and Segregation in Centrifugal Casting of C92200 Alloy**, Journal of Materials Processing Technology 118,pp 123–127
- Zhang,L,Y, Jiang, Y,H, Ma, Z, Shan, S,F, Jia,Y,Z, Fan, C.Z, Wang, W.K, 2008, **Effect of cooling rate on solidified microstructure and mechanical properties of aluminium-A356 alloy** journal of materials processing technology 207 pp 107–111