

## KARAKTERISASI FLUIDITAS, DENSITAS DAN SIFAT MEKANIS Cu(20-25)wt.%Sn PADA PENGECORAN METODE SAND CASTING DAN INVESTMENT CASTING

Sugeng Slamet<sup>1\*</sup>, Qomaruddin<sup>1</sup>, B H Priyambodo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus,  
Gondangmanis, PO Box 53, Bae, Kudus, Jawa Tengah 59352

<sup>2</sup> Program studi Teknik Mesin, Akademi Teknik Warga, Sukoharjo  
Jalan Raya Solo - Baki No.81C, Kwarasan, Grogol, Sukoharjo, Jawa Tengah 57552

\*Email: sugeng.slamet@umk.ac.id

### Abstrak

Salah satu parameter penting dalam teknik pengecoran logam adalah kemampuan logam cair mengalir dan mengisi cetakan. Sifat tersebut sangat ditentukan oleh besarnya komposisi paduan dan media cetakan yang digunakan dalam teknik pengecoran. Paduan tin bronze Cu(20-25)wt.%Sn merupakan paduan timah tinggi yang digunakan untuk memproduksi alat musik gamelan, lonceng dan berbagai alat musik lainnya. Paduan ini mempunyai ketahanan korosi yang tinggi, mudah dituang dan dibentuk serta memiliki sifat akustik yang baik. Peningkatan komposisi serta media cetakan akan mempengaruhi kemampuan paduan saat dilakukan proses pengecoran.

Material penelitian menggunakan high tin bronze Cu(20—25)wt.%Sn. Pengujian fluiditas menggunakan cetakan dengan pola berbentuk batang. Dimensi cetakan mempunyai panjang 400 mm, lebar 10 mm dengan variasi ketebalan 1.5, 2, 3, 4 dan 5 mm. Cetakan divariasikan dengan cetakan pasir/sand casting dan cetakan dengan pola lilin/investment casting. Pengukuran fluiditas dengan cara mengukur panjang cor tiap-tiap batang. Pengukuran densitas dengan mempertimbangkan selisih berat antara benda di udara dan di air serta investigasi terhadap sifat mekanis meliputi kekerasan dan kekuatan tarik.

Peningkatan komposisi 20wt.%Sn sampai 25wt.%Sn menurunkan panjang fluiditas pada kedua metode pengecoran. Panjang fluiditas meningkat dengan peningkatan temperatur tuang. Peningkatan temperatur tuang cenderung menurunkan densitas terutama pada metode sand casting. Sifat mekanis kekerasan menurun dengan penambahan komposisi wt.%Sn sedangkan kekuatan tariknya meningkat. Perubahan tersebut menyebabkan terbentuknya sifat mekanis yang keras namun ulet.

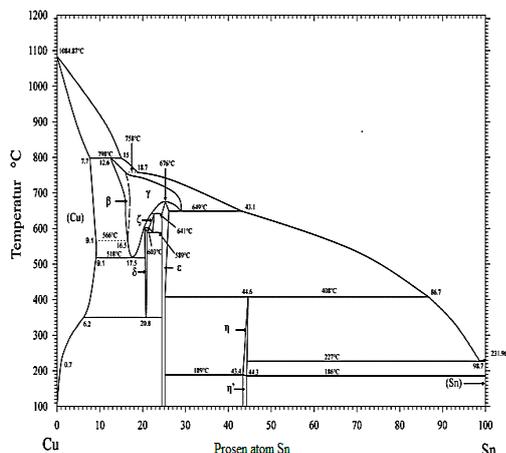
**Kata kunci:** fluiditas, investment casting, perunggu-timah, sand casting, , sifat mekanis

### 1. PENDAHULUAN

Perunggu merupakan paduan antara logam tembaga (Cu) dan timah (Sn) sebagai perunggu timah. Paduan ini memegang peranan penting dalam industri logam paduan, khususnya sebagai bahan untuk membuat alat - alat keperluan rumah tangga dan beragam alat musik. Bahan perunggu digunakan sejak abad ke-11 untuk bahan lonceng gereja (Audy dan Audy, 2008), abad 12 sampai abad 14 untuk keperluan perabot rumah tangga dan upacara. Perunggu Cu-20wt.%Sn mampu dituang dan ditempa untuk selanjutnya dilakukan pendinginan cepat (Sik dkk, 2009). Paduan perunggu Cu-20wt.%Sn digunakan untuk membuat komponen mesin seperti bantalan, impeler pompa, ring piston, komponen katup, industri persenjataan dan produk mekanik lainnya. Perunggu timah digunakan untuk membuat alat musik terompet pada abad 17 di London Inggris, alat musik perkusi yang berinding tipis (Fletcher, 2012), serta bahan alat musik gamelan (Sumarsam, 2002).

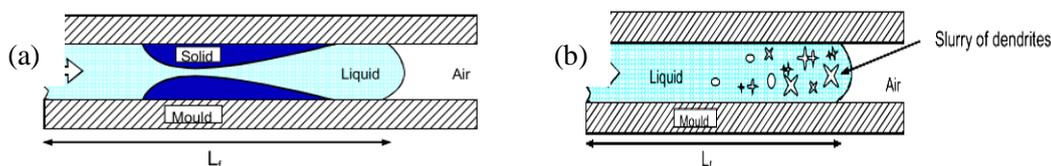
Komposisi perunggu timah untuk membuat alat musik lonceng adalah perunggu timah antara 20-25%Sn (Debut dkk, 2016). Komposisi tersebut mampu menghasilkan frekuensi optimal dibanding paduan perunggu dengan kadar Sn kurang kurang dari 15wt.%. Paduan dengan komposisi 10-22wt.%Sn adalah komposisi terbaik dengan sifat mekanis berupa kekuatan tinggi tanpa penggetasan (Sik dkk, 2009). Komposisi 20-22wt.% sering dinamakan “bell metal” karena dikhususkan untuk bahan baku alat musik. Penambahan timah pada tembaga akan meningkatkan sifat mampu cor, menurunkan titik lebur, meningkatkan ketahanan korosi dan memberikan penampilan dekoratif yang lebih baik. Penambahan sampai 23wt.%Sn mampu meningkatkan kekerasan dan kualitas sound akustik, sedangkan lebih dari 23wt.%Sn dapat meningkatkan sifat rapuhnya (*brittleness*). Perunggu timah mempunyai kekuatan dan konduktivitas thermal yang tinggi, mampu mesin, tahan korosi, tahan terhadap keausan dan mudah dituang dan ditempa (Li dkk, 2013).

Paduan dengan komposisi timah lebih dari 17%Sn dinamakan paduan *high tin bronze* (Zeynep dkk, 2012). Paduan *high tin bronze* ini mempunyai titik lebur dimulai pada temperatur 950°C pada kondisi setimbang. Adanya unsur penambah dalam paduan seperti Ni, Pb, Si, Zn dalam jumlah relatif kurang dari 1,5%, maka titik lebur paduan ini dilakukan pada temperatur *superheat* 1000-1200°C. Nilai *modulus Young* dan elemen lainnya untuk perunggu timah menurut beberapa sumber sangat bervariasi antara 0.96 – 1.2E+5 MPa dan densitas 7400 – 8900 kg/m<sup>3</sup>. Densitas perunggu timah ini sangat dipengaruhi oleh besar porositasnya (Bartocha dan Baron, 2016). Penambahan timah terhadap tembaga sangat berpengaruh terhadap titik leburnya. Diagram fase *binary* Cu-Sn merupakan reaksi kompleks yang dapat menerangkan reaksi dari fase peritectic ke fase *eutectoid*. Gambar 1. menunjukkan diagram fase *binary* Cu-Sn.



Gambar 1. Diagram fase Cu-Sn (Furtauer dkk, 2013)

Salah satu parameter yang perlu diperhatikan untuk keberhasilan teknik pengecoran logam adalah mekanisme fluiditas. Fluiditas adalah kemampuan logam cair mengalir dan mengisi setiap bagian dari cetakan (Campbell dan Harding, 1994). Pengukuran fluiditas secara tidak langsung juga mengukur viskositas, sifat dari komposisi paduan dan mengukur panjang fluiditas (Raza, 2015). Panjang fluiditas diukur dari titik tuang sampai dengan berhentinya titik pembekuan dan merupakan jarak maksimum logam cair mengalir di dalam cetakan (Siavashi, 2011). Fluiditas yang jelek akan menyulitkan pengisian cetakan dan meningkatnya cacat cor (Caliari dkk, 2015). Gambar 2. menunjukkan proses pembekuan terhadap fluiditas logam cair.



Gambar 2. (a) Fluiditas pada pembekuan cepat (b) Fluiditas pada pembekuan lambat (Campbell dan Harding, 1994)

Fluiditas logam sangat dipengaruhi oleh temperatur tuang dan temperatur cetakan. Peningkatan temperatur tuang dan rongga cetakan mampu meningkatkan panjang fluiditas hasil pengecoran aluminium daur ulang minuman kaleng (Andri dan D. Masnur, 2015) dan paduan Cu(20-25)wt.%Sn dengan metode investment casting (S.Slamet dan Suyitno, 2017). Temperatur tuang yang tinggi akan meningkatkan panjang fluiditas pada pengecoran besi tuang kelabu dengan pola *lost foam* (Suyitno dan Sutiyoko, 2012). Temperatur tertinggi yang dilakukan pada proses pengecoran dinamakan temperatur *superheat*. Temperatur *superheat* akan membuat waktu pembekuan dari fase cair ke fase padat meningkat. Peningkatan temperatur tuang akan meningkatkan panjang fluiditas

secara signifikan pada semua jenis cetakan (Rzychon dkk, 2010). Tujuan dari penelitian ini adalah menginvestigasi pengaruh komposisi dan temperatur tuang terhadap panjang fluiditas dan sifat mekanis perunggu timah melalui metode *sand casting* dan *investment casting*.

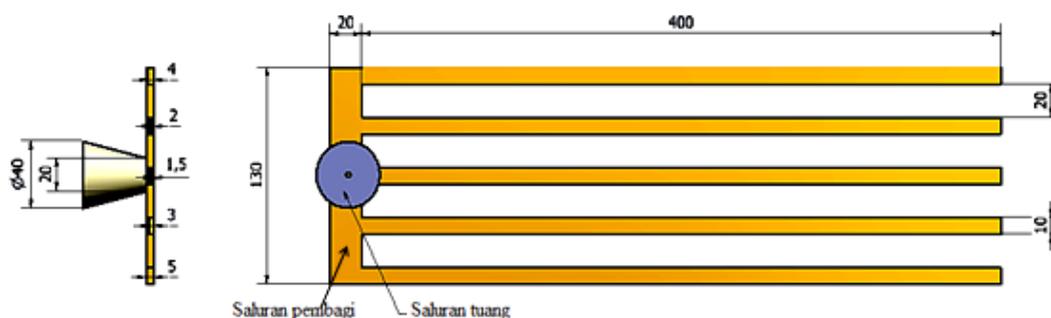
## 2. METODOLOGI

Material yang digunakan paduan perunggu timah Cu(20-25)wt.%Sn, diperoleh dengan cara melebur tembaga murni 99,9% dan timah murni 99,9% dalam dapur *crucible* Komposisi perunggu timah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Temperatur peleburan divariasikan pada temperatur *superheat* 1(TS<sub>1</sub>) =1000°C dan temperatur *superheat* 2( TS<sub>2</sub>) =1100°C. Teknik pengecoran menggunakan metode *sand casting* /SC dan *investment casting*/IC dengan jarak penuangan 10 mm diatas saluran tuang. Partikel pasir untuk cetakan lolos mesh 150 dan 100. Pelapisan pola lilin menggunakan tanah liat/SiO<sub>2</sub> lolos mesh 150 dengan campuran menggunakan binder air.

**Tabel 1. Komposisi bahan perunggu timah**

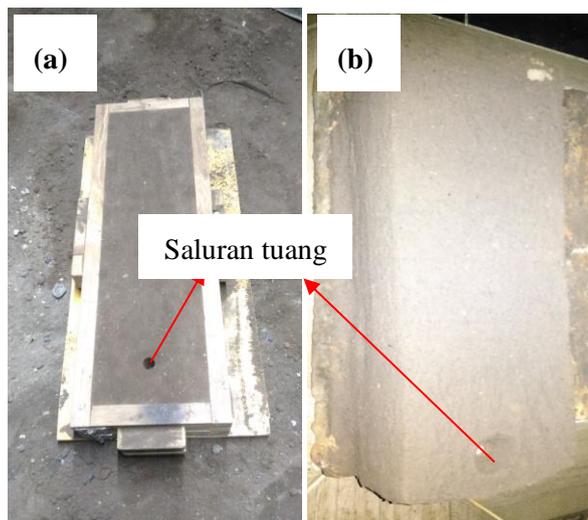
Paduan	Komposisi paduan						
	Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	Ni	Al
Cu-25wt.%Sn	73.71	24.92	<0.05	0.51	0.59	<0.02	0.041
Cu-20wt.%Sn	78.36	20.03	0.172	0.10	0.20	0.08	0.00

Cetakan uji fluiditas berbentuk batang dengan panjang 400 mm, lebar 10 mm dan tebal coran divariasikan 1,5, 2, 3, 4, dan 5 mm. Gambar 3. menunjukkan desain cetakan uji fluiditas.



**Gambar 3. Desain cetakan untuk uji fluiditas**

Cetakan dengan pola lilin setelah dilapisi dengan tanah liat selanjutnya dikeringkan pada terik matahari untuk menurunkan kadar airnya. Selanjutnya dilakukan proses *dewaxing* sampai temperatur 600 °C untuk mengeluarkan material lilin dari dalam cetakan sekaligus menguatkan permukaan cetakan. Bentuk kedua cetakan yaitu *sand casting*/SC dan *investment casting*/IC sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Cetakan yang digunakan (a) sand casting/SC (b) investment casting/IC**

Pengukuran fluiditas dilakukan dengan cara mengukur panjang tiap batang yang mampu dilalui logam cor. Pengukuran densitas dengan menggunakan hukum Archimides sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\rho_b = \frac{W_{udara}}{W_{udara} - W_{air}} \times \rho_{air} \tag{1}$$

Dimana  $\rho_b$  = massa jenis aktual benda ( $gr/cm^3$ );  $w_{udara}$  = berat benda di udara ( $gr$ );  $w_{air}$  = berat benda di dalam air ( $gr$ );  $\rho_{air}$  = massa jenis air murni ( $1gr/cm^3$ );  $\rho_{teori}$  = massa jenis secara teori logam perunggu timah ( $gr/cm^3$ )

Pengujian sifat mekanis meliputi kekerasan bahan menggunakan Vickres Hardness Number/VHN dan kekuatan tarik menggunakan mesin servopulser Shimadzu tipe EHF-EB 20 - 40L.

Persamaan untuk menentukan besarnya nilai VHN sebagaimana ditunjukkan persamaan (2) dan kekuatan tarik pada persamaan (3). Nilai kekerasan Vickers dapat dinyatakan persamaan (ASM Metals Hand Book Vol.8):

$$VHN = 1,854 \cdot \frac{P}{d^2} \tag{2}$$

Dimana VHN = Nilai kekerasan permukaan ( $kg/mm^2$ ); P = Beban indentasi ( $kg$ ); d = diagonal rata-rata bekas injakan penetrator ( $mm$ ). Nilai tegangan tarik dinyatakan pada persamaan (3).

$$\sigma = F/A_o \tag{3}$$

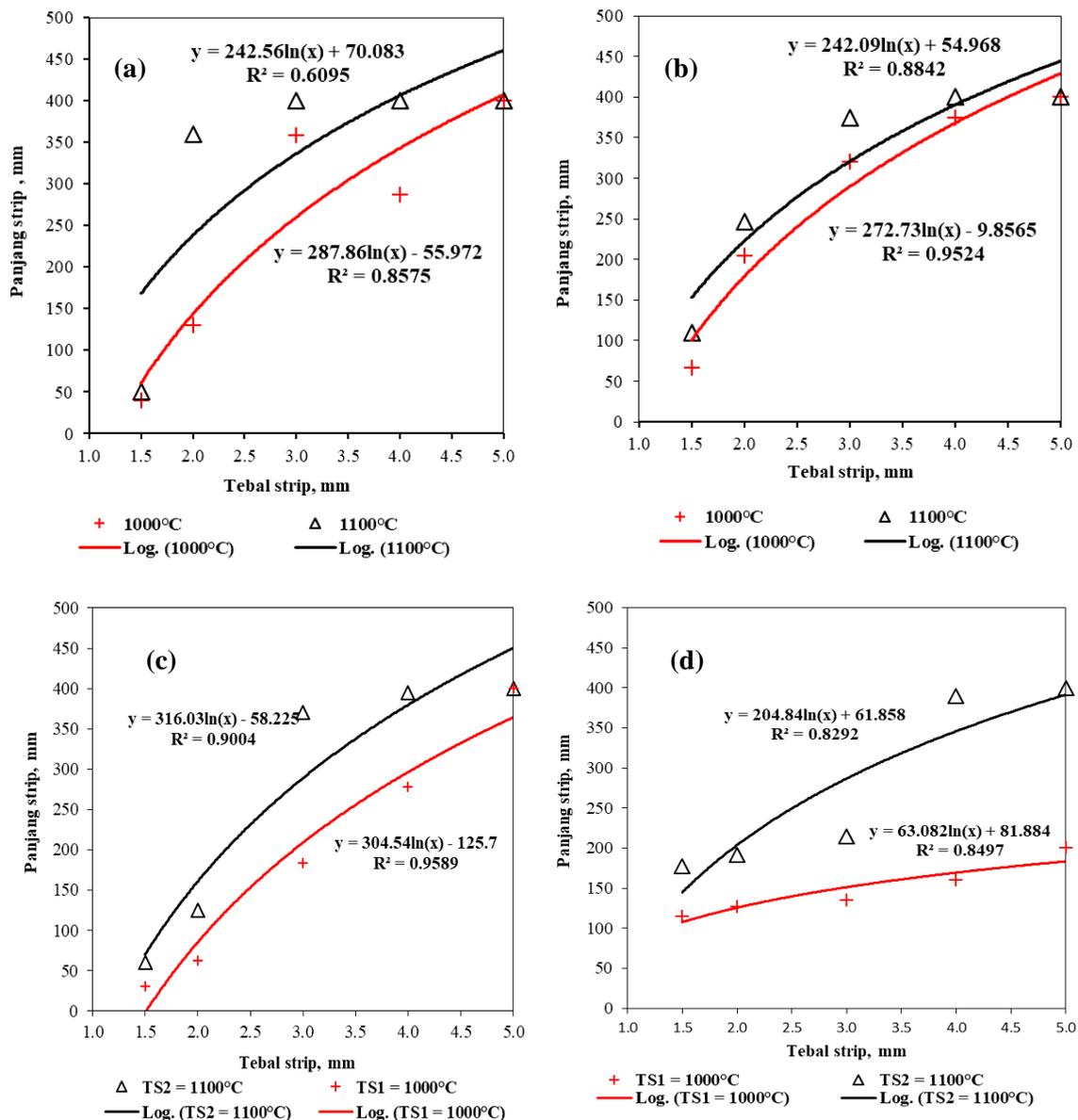
Sedangkan nilai regangan bahan dinyatakan pada persamaan (4).

$$\epsilon = \frac{L - L_o}{L_o} = \frac{\Delta L}{L_o} \tag{4}$$

Dimana  $\sigma$  = tegangan tarik ( $MPa$ );  $\epsilon$  = regangan (%); F = beban ( $N$ ) ;  $A_o$  = luas penampang mula-mula ( $mm^2$ );  $L_o$  = panjang specimen mula-mula ( $mm$ ); L = panjang specimen setelah pengujian ( $mm$ ).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Paduan perunggu timah Cu-20wt.%Sn mempunyai sifat mampu alir dan mampu isi yang baik. Kemampuan mengalir dan mengisi rongga cetakan komposisi tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan Cu-20wt.%Sn pada kedua metode pengecoran. Kemampuan mengalir ini sangat dipengaruhi oleh temperatur tuang, tegangan permukaan antara cetakan dan logam cair, gradien temperatur antara logam cair dan cetakan serta viskositas.

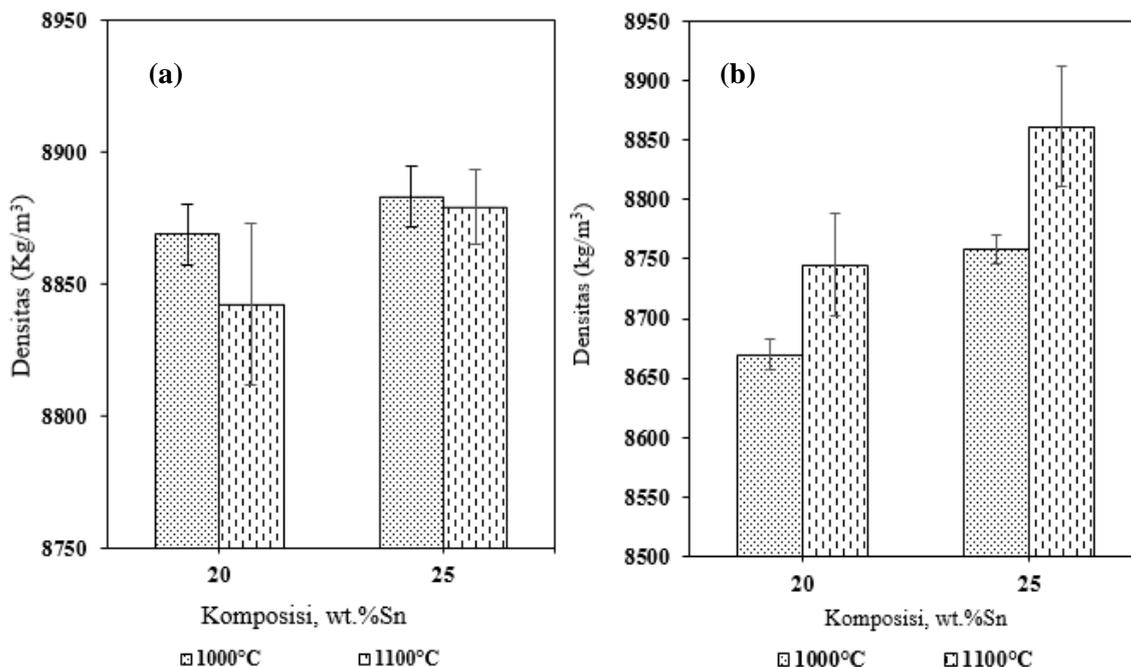


**Gambar 5. Panjang fluiditas (a) 20wt.%Sn/SC; (b) 20wt.%Sn/IC; (c) 25wt.%Sn/SC; (d) 25wt.%Sn/IC**

Viskositas paduan Cu-25wt.%Sn lebih tinggi dikarenakan daerah fase  $\alpha + L$  lebih pendek dibanding dengan Cu-20wt.%Sn. Paduan Cu-25wt.%Sn masuk dengan cepat pada fasa kedua  $\beta + L$  pada temperatur 798 °C. Kecepatan viskositas rata-rata akan meningkat pada komposisi 20-40wt.%Sn, dimana viskositas tertinggi pada Cu-25wt.%Sn (Tan dkk, 2007).

Tegangan permukaan pada investment casting lebih tinggi dibandingkan dengan cetakan pasir. Hal ini disebabkan tingginya kadar air dalam tanah liat yang digunakan untuk melapisi cetakan.

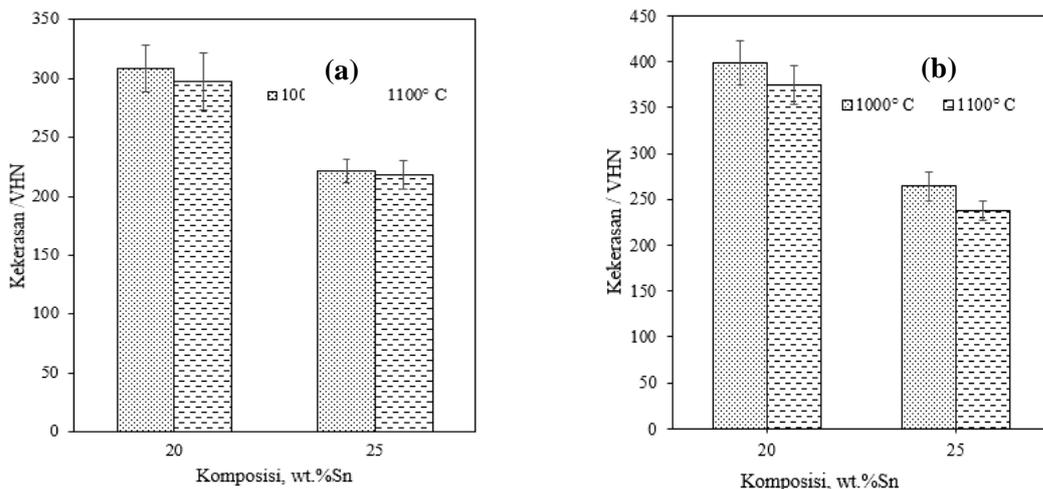
Penglepasan kadar air dari ikatan tanah liat melalui proses *dewaxing* hingga temperatur 600 °C menyebabkan permukaan cetakan makin kasar. Permukaan kasar akan menghambat laju logam cair mengisi rongga cetakan. Panjang fluiditas pada kedua metode pengecoran logam sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



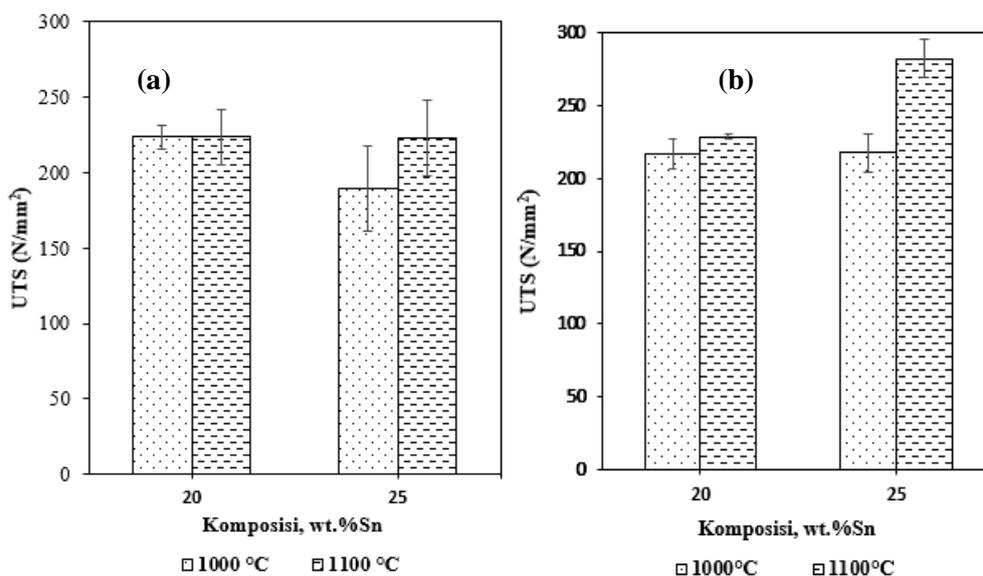
**Gambar 6. Densitas paduan perunggu timah (a) Sand casting/SC (b) Investment casting/IC**

Pengukuran densitas menunjukkan peningkatan temperatur tuang menurunkan densitas paduan perunggu timah pada *sand casting*. Hal ini disebabkan oleh pelepasan senyawa air berupa gas oksigen membentuk gelembung pada logam cair. Gelembung udara yang terjebak dalam padatan berpotensi membentuk rongga-rongga dalam padatan cor. Pada cetakan *investment casting* peningkatan temperatur tidak menurunkan densitasnya. Hal ini disebabkan pada cetakan investment casting kadar airnya sudah hilang setelah dilakukan proses *dewaxing*. Penurunan densitas dapat disebabkan meningkatnya porositas. Pengecoran logam dengan metode sand casting cenderung menimbulkan porositas sebagai akibat penggunaan binder air (Sulaiman dan Hamouda, 2001). Densitas paduan perunggu timah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

Pengujian sifat mekanis terhadap paduan perunggu timah menunjukkan nilai kekerasan menurun dengan meningkatnya temperatur tuang. Peningkatan temperatur tuang menurunkan kekerasan paduan Al34,96%-Si38,8%-Cu15,9% hasil daur ulang melalui pengecoran *High Pressure Die Casting* (S Slamet dan F. Musyaddad, 2018). Peningkatan komposisi wt.%Sn juga menurunkan nilai kekerasannya, dimana matrik Cu mempunyai sifat keras dan ulet sedangkan matrik Sn lebih lunak. Nilai kekerasan paduan perunggu timah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Nilai kekerasan paduan perunggu timah (a) sand casting/SC (b) investment casting/IC



Gambar 8. Kekuatan tarik paduan perunggu timah (a) Sand casting/SC (b) Investment casting/IC

Peningkatan komposisi wt.%Sn cenderung meningkatkan kekuatannya. Penggabungan kedua sifat antara matrik Cu dan Sn membentuk sifat mekanis baru yang lebih ulet. Karakteristik yang terbentuk menunjukkan sifat berbanding terbalik, dimana kekerasan paduan akan menurun dengan meningkatnya keuletan bahan. Perubahan karakteristik sifat mekanis tersebut akan membentuk paduan yang keras dan ulet. Sifat mekanis kekuatan tarik paduan perunggu timah ditunjukkan pada Gambar 8.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan komposisi timah dari 20wt.%Sn sampai 25wt.%Sn menurunkan panjang fluiditas pada kedua metode pengecoran.
2. Peningkatan temperatur tuang meningkatkan laju fluiditas untuk semua komposisi pada kedua metode pengecoran.
3. Peningkatan temperatur tuang cenderung menurunkan densitas terutama pada metode sand casting sebagai akibat pemakaian air sebagai pengikat partikel pasir dan tanah liat.

4. Sifat mekanis kekerasan paduan perunggu timah menurun dengan penambahan komposisi wt.%Sn timah sedangkan kekuatannya meningkat. Perubahan tersebut menyebabkan terbentuknya sifat mekanis yang keras namun ulet.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan pada LPPM Universitas Muria Kudus atas pendanaan riset yang diberikan, laboratorium teknik pengecoran logam Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus, serta laboratorium bahan teknik Universitas Gadjah Mada-Yogyakarta.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Audy, J, Audy, K. (2008) 'Analysis of bell materials: Tin bronzes', *China Foundry*, 5(3), pp. 199–204.
- Andri., D. Masnur, (2015) ' Studi fluiditas Aluminium minuman kaleng cair dengan variasi temperatur tuang dan ketebalan rongga' *Jom F Teknik* ,2, No. 1 Februari 2015 pp. 1-6.
- Bartocha, D., Baron, C. (2016) 'Influence of Tin Bronze Melting and Pouring Parameters on Its Properties and Bells ' Tone', *Archives of Foundry Engineering*, 16(4), pp. 17–22.
- Caliari, D., Timelli, G., Bonollo, F., Amalberto, P., Giordano, P. (2015) 'Fluidity of aluminium foundry alloys: Development of a testing procedure', *Metallurgia Italiana*, 107(6), pp. 11–18.
- Campbell, J., Harding, R. A. (1994) 'The Fluidity of Molten Metals', *TALAT Lecture 3205*, pp. 1–19.
- Debut, V., Carvalho, M., Figueiredo, E., Antunes, J, Silva, R. (2016) 'The sound of bronze: Virtual resurrection of a broken medieval bell', *Journal of Cultural Heritage*, 19, pp. 544–554.
- Fletcher, N. (2012) 'Materials And Musical Instruments', *Acousitics Australia*, 40, pp. 130–134.
- Furtauer, S., Li, D., Cupid, D., Flandorfer, H. (2013) 'The Cu-Sn phase diagram , Part I: New experimental results', *Intermetallics* , 34, pp. 142–147.
- Li, D., Franke, P., Fürtauer, S., Cupid, D., Flandorfer, H. (2013) 'The Cu-Sn phase diagram part II : New thermodynamic assessment', *Intermetallics*, 34, pp. 148–158.
- Raza, M., 2015, Process development for investment casting of thin-walled components, ISBN 978-91-7485-204-2, ISSN 1651-9256, *Malardalen University Press*, Sweden.
- Rzychoń, T., Kiełbus, A., Serba, M. (2010) 'The influence of pouring temperature on the microstructure and fluidity of AE42 alloy', *Archives of Materials Science and Engineering*, 55(1), pp. 7–13.
- Siavashi, K., 2011, The effect of casting parameters on the fluidity and porosity of aluminium alloys in the lost foam casting process, Thesis, University of Birmingham, United Kingdom
- Sik, J., Woo, C., June, K. (2009) 'Implication of peritectic composition in historical high-tin bronze metallurgy', *Materials Characterization*. Elsevier Inc., 60(11), pp. 1268–1275.
- Sulaiman, S., Hamouda, A. M. S. (2001) 'Modeling of the thermal history of the sand casting process', *Journal of Materials Processing Tech.*, 113, pp. 245–250.
- Sumarsam (2002) 'Introduction to Javanese gamelan (Javanese Gamelan-Beginners)', *Syllabus*, 451(1), pp. 1–28.
- Suyitno., Sutiyoko, (2012) 'Effect of Pouring Temperature and Casting Thickness on Fluidity, Porosity and Surface Roughness in Lost Foam Casting of Gray Cast Iron' *Procedia Engineering*, ICASCE-2012, 50, pp.88-94
- S Slamet., F Musyaddad., R Wibowo, (2018), Pengaruh tekanan dan temperatur tuang paduan Al34,96%-Si38,8%-Cu15,9% terhadap sifat fisi dan mekanis produk sepatu rem melalui teknik High Pressure Die Casting, Prosiding SNATIF ke-5, ISBN: 978-602-1180-86-0 pp. 647-654.
- S Slamet., Suyitno, (2017) ' Pengaruh komposisi dan temperatur tuang terhadap fluiditas paduan perunggu timah melalui investment casting, Prosiding SNATIF ke-4, ISBN:978-602-1180-50-1 pp. 655-660.
- Tan, M., Xiufang, B., Xianying, X., Yanning, Z., Jing, G., Baoan, S. (2007) 'Correlation between viscosity of molten Cu – Sn alloys and phase diagram', 387, pp. 1–5.
- Zeynep Taslicukur, Gozde S. Altug, Seyda Polat, S. Hakan Atapek, E. T. (2012) 'A Microstructural Study on CuSn10 Bronze Produced by Sand and Investment Casting Techniques', *Metal 2012*, 5, pp. 23–25.