

## PENGARUH KOMPOSISI DAN TEMPERATUR RUANG TERHADAP FLUIDITAS PADUAN PERUNGGU TIMAH MELALUI INVESTMENT CASTING.

Sugeng Slamet<sup>1,2</sup>, Suyitno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

<sup>2</sup>Program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus  
Jl. Gondangmanis, PO. Box 53, Bae, Kudus 59352

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

### Abstrak

Logam perunggu merupakan paduan antara tembaga dengan timah yang lebih dikenal dengan paduan Cu-Sn. Perunggu merupakan paduan berbasah dasar tembaga yang telah lama digunakan untuk berbagai macam keperluan. Komposisi timah yang ada dalam paduan perunggu juga sangat menentukan sifat fisis yang dihasilkan. Perunggu selain digunakan untuk membuat berbagai macam produk rumah tangga, asesories, komponen permesinan, juga digunakan untuk membuat alat musik gamelan. Keberhasilan proses pengecoran perunggu timah sangat dipengaruhi sifat mampu alir dan mampu isi pada cetakan.

Metode yang dilakukan adalah membuat paduan perunggu timah pada batas high tin bronze. Paduan yang digunakan yaitu Cu-(20,22, 24 dan 25%)Sn. Paduan perunggu dilakukan peleburan pada temperatur T<sub>m</sub>, T<sub>S1</sub> dan T<sub>S2</sub>. Pengujian fluiditas menggunakan jenis cetakan investment casting dengan model cetakan Birmingham. Variasi rongga cetakan dibuat dengan ketebalan strip plat 1.5,2,3,4 dan 5 mm dengan panjang 400 mm. Temperatur cetakan saat penuangan pada temperatur rata-rata 300°C. Pengujian dilakukan dengan menentukan panjang fluiditas paduan perunggu pada beberapa komposisi dengan variasi temperatur penuangan..

Hasil pengujian menunjukkan panjang fluiditas mengalami penurunan dengan penambahan Sn pada temperatur lebur (T<sub>m</sub>). Peningkatan temperatur T<sub>S1</sub> dan T<sub>S2</sub> mampu meningkatkan laju fluiditas. Peningkatan tebal strip plat meningkatkan laju fluiditas pada setiap komposisi paduan perunggu timah. Laju fluiditas sangat penting untuk menghindari gagal produk terutama pada pembuatan produk cor ber dinding tipis.

Kata kunci : fluiditas, komposisi paduan, perunggu timah, investment casting, temperatur tuang.

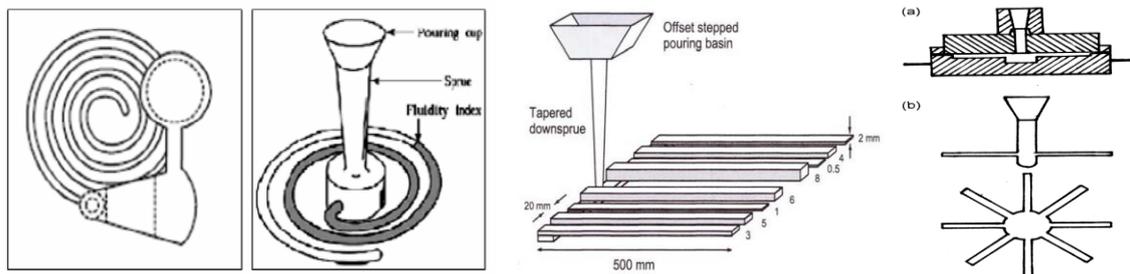
### 1. PENDAHULUAN

Tembaga paduan khususnya perunggu mulai digunakan sejak ilmu metalurgi dikenal oleh masyarakat yaitu sekitar abad 9 dan 10 (Srinivasan et al. 2007). Perunggu merupakan paduan antara logam tembaga (Cu) dan timah (Sn). Paduan perunggu pada komposisi 10%,14% dan 20% Sn banyak digunakan untuk produk patung, persenjataan militer serta alat musik seperti lonceng, gamelan, simbal drum dan lainnya. Material perunggu timah (Cu-Sn) diaplikasikan untuk pembuatan lonceng gereja selama berabad-abad (Audy & Audy 2008). Perunggu timah terbagi menjadi 2 kelompok yaitu : perunggu timah rendah dengan kadar timah kurang dari 17% dan perunggu timah tinggi kadar timah lebih dari 17% (Republic 2012).

Perunggu timah dipilih sebagai bahan untuk lonceng dan alat musik karena mempunyai keunggulan yaitu : mampu cor yang baik, menghasilkan produk lonceng dengan kualitas tinggi, umur pakai tinggi dan mempunyai sifat akustik yang baik (Sugita et al. 2011). Penambahan timah putih (Sn) pada paduan perunggu sebagai material alat musik khususnya lonceng sangat mempengaruhi sifat mekanis dan akustik yang dihasilkan. Paduan perunggu 10-20% Sn, 5% Zn dan 1% Sb akan mampu meningkatkan kekuatan tarik, keuletan, kekerasan dan sifat akustiknya. Penambahan unsur lain lebih dari 1.5% Pb, Zn dan 1% Ag pada paduan justru akan menurunkan kualitas akustiknya (Audy & Audy 2008). Paduan perunggu komposisi 20-25%Sn menghasilkan produk lonceng dengan frekuensi yang tinggi dibanding menggunakan paduan 10-15%Sn (Debut et al. 2016). Densitas perunggu dapat ditingkatkan dengan menambahkan logam lain yaitu seng (Zn). Unsur seng digunakan untuk menghasilkan paduan perunggu yang lebih keras, kuat, warna yang menarik, dan meningkatkan fluiditasnya.

Fluiditas adalah kemampuan logam cair mengalir dalam cetakan uji sampai berhenti karena terjadi solidifikasi (Campbell & Harding 1994). Produk hasil pengecoran akan menjadi cacat apabila sifat fluiditas logam jelek terutama pada kasus pengecoran benda benda tipis. Mampu alir atau fluiditas logam cor sangat mempengaruhi kualitas produk cor. Fluiditas logam cor yang rendah tidak akan mampu mengisi rongga cor keseluruhan sehingga akan menimbulkan cacat produk. Fluiditas sangat dipengaruhi oleh temperatur tuang, perpindahan panas, viskositas, tegangan permukaan dan inklusi logam (Valery Marinov, 2004). Pengukuran fluiditas secara tidak langsung juga mengukur viskositas, panjang fluiditas dan memaparkan sifat-sifat dari komposisi paduan (Raza 2015). Viskositas paling tinggi terjadi pada fase  $\beta$  yaitu pada paduan Cu-25%Sn. Ketika konsentrasi paduan antara 20-40% viskositas cenderung meningkat dengan penurunan temperatur sangat cepat (Tan et al. 2007). Panjang fluiditas diukur dari titik tuang sampai dengan titik pembekuan berhenti dan merupakan jarak maksimum logam cair mengalir di dalam cetakan (Siavashi 2011). Fluiditas yang jelek akan menyulitkan pengisian cetakan dan meningkatnya cacat cor (Caliari et al. 2015).

Metode uji fluiditas dapat dilakukan dengan beberapa model cetakan. Pengujian fluiditas dengan model cetakan spiral merupakan metode yang sangat sederhana. Metode ini dilakukan dengan mengalirkan logam cair dalam cetakan berbentuk spiral. Kemampuan fluiditas logam diukur dengan mengukur panjang benda cor yang terbentuk. Metode ini sesuai untuk menguji fluiditas paduan Aluminium (Sabatino 2005). Metode lain yang dapat digunakan untuk menguji laju fluiditas adalah model cetakan Birmingham. Metode ini dikembangkan selain dapat mengukur panjang fluiditas juga dapat digunakan untuk mengukur efek dari dimensi rongga terhadap laju pembekuan logam cair saat penuangan (Campbell & Harding 1994). Selain kedua metode diatas terdapat juga uji fluiditas menggunakan model Qudong. Metode ini mempunyai keunggulan dimana 8 alur yang ada akan mendapatkan distribusi aliran logam cair yang sama besar karena saluran turun terletak di tengah cetakan (Qudong et al. 1999). Metode Birmingham dan metode Wang Qudong sangat sesuai untuk menentukan panjang fluiditas dan ketebalan rongga yang dilalui logam cair. Beberapa model uji fluiditas sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. (a) metode spiral (b) metode Birmingham, UK (c) metode Qudong

2. METODOLOGI

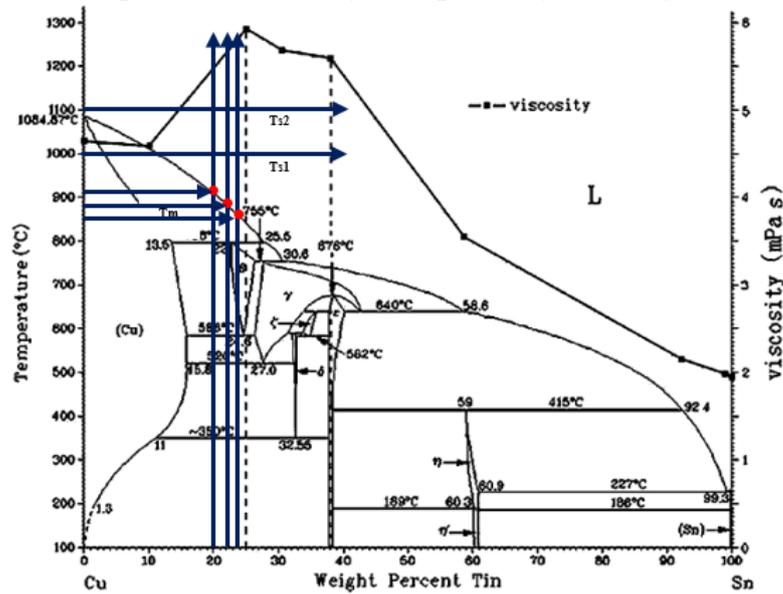
Penelitian ini menggunakan master alloys paduan perunggu timah Cu-(20,22,24 dan 25%)Sn dengan uji spektrometri ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Uji komposisi

Paduan	Komposisi paduan						
	Cu	Sn	Zn	Pb	Fe	Ni	Al
Cu-25%Sn	73.71	24.92	<0.05	0.51	0.59	<0.02	0.041
Cu-24%Sn	75.13	23.89	0.140	0.204	0.487	0.14	<0.001
Cu-22%Sn	78.16	21.49	0.037	0.149	0.13	0.10	<0.001
Cu-20%Sn	78.36	20.03	0.372	0.10	0.00	0.08	0.00

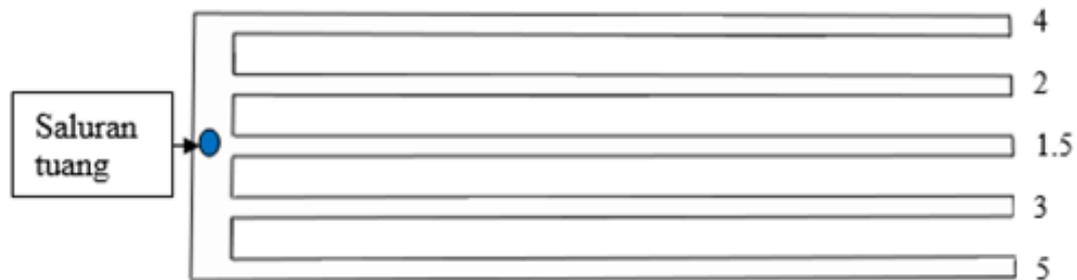
Paduan perunggu timah selanjutnya dilakukan proses peleburan pada tungku peleburan dengan variasi temperatur tuang yaitu  $T_m$ ,  $T_{s1}$  dan  $T_{s2}$ .  $T_m$  (melting temperatur) merupakan temperatur lebur, ditentukan dengan mengacu pada diagram fase Cu-Sn. Sedangkan  $T_{s1}$

(superheat temperatur 1) dan Ts2 (superheat temperatur 2) ditentukan dengan menghitung selisih temperatur liquidus (TL) dengan temperatur lebur (Tm). Batasan temperatur tuang dan komposisi paduan yang dimaksud dalam penelitian ini, ditunjukkan pada diagram fase gambar 2.



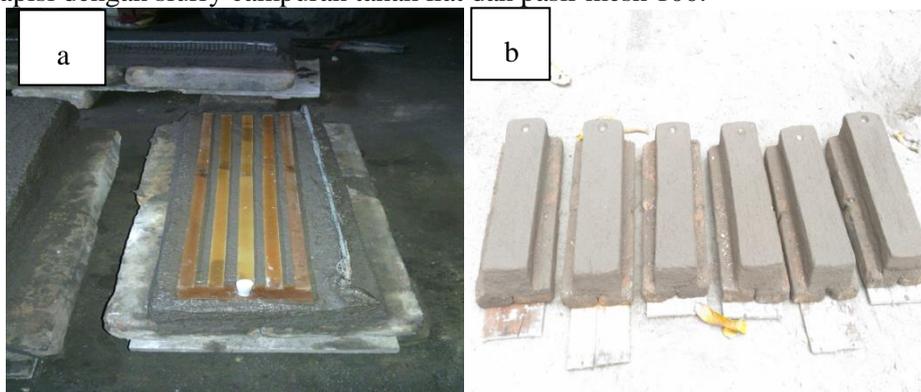
Gambar 2. Diagram fase Cu-Sn: Tm; Ts1=1000°C; Ts2=1100°C

Cetakan uji fluiditas dalam penelitian ini menggunakan pola lilin dengan metode *investment casting*. Pola lilin dilapisi dengan slurry yang merupakan campuran antara tanah liat, pasir cetak lolos mesh 100 dan air sebagai pengikat. Cetakan dikeringkan secara alami dan selanjutnya dilakukan proses dewaxing untuk mengeluarkan pola lilin. Proses sintering dilakukan pada cetakan sampai mencapai temperatur 700°C. Sintering ini bertujuan untuk melepaskan kandungan air dan memperkuat ikatan antar partikel antara tanah liat dan pasir. Model dan dimensi cetakan ditunjukkan pada gambar 3.



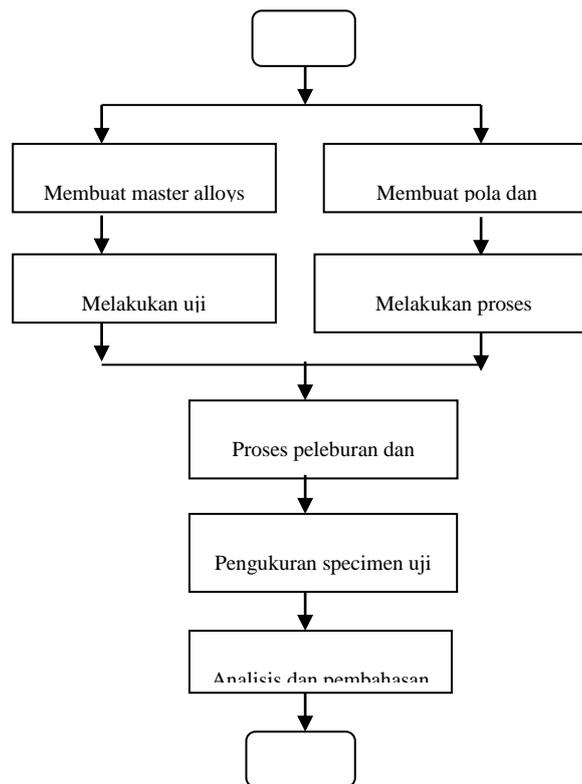
Gambar 3. Model dan dimensi cetakan uji fluiditas

Gambar 4. Menunjukkan penempatan pola lilin dalam cetakan dan hasil akhir cetakan investment setelah dilapisi dengan slurry campuran tanah liat dan pasir mesh 100.



Gambar 4. Cetakan uji fluiditas (a) pola lilin (b) cetakan sudah dilapisi slurry

Tahapan proses dalam penelitian ini mengikuti diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Paduan perunggu komposisi 20-25%Sn sebagai objek dalam penelitian ini merupakan paduan high tin bronze. Hasil pengujian fluiditas yang telah dilakukan terhadap komposisi paduan 20-25%Sn ditunjukkan pada gambar 6.

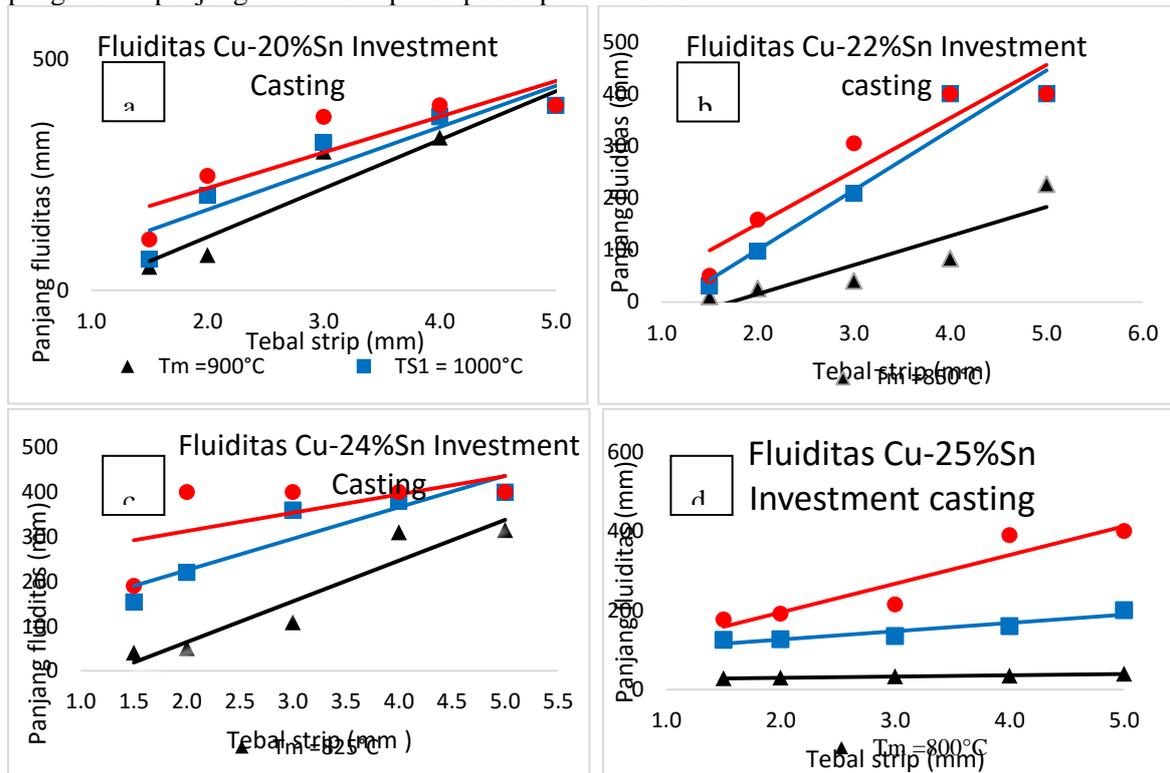


Gambar 6. Uji fluiditas investment casting (a) 20%Sn (b)22%Sn (c)24%Sn (d) Cu-25%Sn

Perlakuan temperatur terhadap panjang fluiditas menunjukkan bahwa perubahan temperatur tuang dari  $T_m$  ke  $T_{s1}$  dan  $T_{s2}$  akan meningkatkan panjang fluiditas pada semua komposisi paduan. Panjang fluiditas paling rendah terjadi pada temperatur lebur ( $T_m$ ), sedangkan perlakuan temperatur superheat ( $T_{s1}$  dan  $T_{s2}$ ) akan meningkatkan panjang fluiditas. Peningkatan temperatur akan menyebabkan turunnya tegangan permukaan antara logam cair dengan dinding cetakan dan viskositas, sehingga menambah kecepatan pengisian (Di Sabatino 2005). Peningkatan temperatur akan menurunkan viskositas (Mudry et al. 2013). Temperatur tuang yang tinggi juga akan memperpanjang waktu pembekuan, semakin lama waktu pembekuan semakin panjang aliran logam. Peningkatan panjang fluiditas logam cair untuk mengisi rongga yang tipis sangat kecil dibanding pada rongga yang tebal (Qudong et al. 1999).

Penambahan komposisi timah akan meningkatkan viskositas yang dapat menurunkan mampu alir dan menurunkan panjang fluiditas. Logam paduan pada umumnya mempunyai batas pembekuan yang pendek dibandingkan dengan logam murni. Paduan akan mempunyai fluiditas yang tinggi jika mempunyai batas pembekuan yang panjang. Komposisi 10%Sn merupakan fase pembekuan  $\alpha+L$  dan terus bergerak menuju fase pembekuan  $\beta+L$  pada komposisi 25%Sn. Batas daerah pembekuan pada  $\alpha+L$  lebih panjang sementara batas daerah pembekuan  $\beta+L$  lebih pendek. Panjang fluiditas sangat dipengaruhi oleh kecepatan penuangan dan waktu pembekuan (Talat,1994).Transisi intermetallic fase  $\alpha$  dan  $\beta$  ini akan menyebabkan peningkatan viskositas yang dapat menurunkan panjang fluiditas. Penambahan komposisi timah akan meningkatkan viskositas paduan mulai pada 10%Sn dan maksimal 25%Sn (Tan et al. 2007). Penambahan komposisi 20-30%Sn akan mempengaruhi viskositas pada phase  $\beta$  dan  $\gamma$  intermetallic (Mudry et al. 2013).

Tebal strip terhadap panjang fluiditas menunjukkan bahwa penambahan tebal strip pada cetakan akan meningkatkan panjang fluiditas pada semua komposisi. Penambahan tebal strip akan meningkatkan mampu alir dan volume aliran logam cor masuk ke dalam cetakan. Gambar 7. hasil pengukuran panjang fluiditas tiap komposisi paduan Cu-Sn.



Gambar 3. Grafik panjang fluiditas (a) 20%Sn (b) 22%Sn (c) 24%Sn (d) 25%Sn

Paduan perunggu timah yang direkomendasikan untuk bahan alat musik gamelan dan lonceng berkisar antara 20-23%Sn (Goodway 1992) dan 20-25%Sn (Debut et al. 2016).

#### 4. KESIMPULAN

Pengujian fluiditas sangat menentukan keberhasilan proses pengecoran untuk dapat meminimalisir cacat produk. Kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian fluiditas paduan perunggu timah dengan penambahan komposisi dan tempatur tuang adalah sebagai berikut :

1. Variasi temperatur tuang, komposisi paduan serta tebal rongga cetakan sangat mempengaruhi fluiditas paduan perunggu timah.
2. Peningkatan temperatur tuang dan tebal rongga cetakan akan meningkatkan panjang fluiditas.
3. Peningkatan komposisi timah pada high tin bronze yaitu > 17%Sn cenderung menurunkan laju fluiditas, terutama pada temperatur lebur ( $T_m$ ) akibat dari makin pendeknya waktu pembekuan pada fase  $\alpha+L$  dan  $\beta+L$ .
4. Peningkatan temperatur liquidus ( $T_{s1}$  dan  $T_{s2}$ ) dan tebal rongga akan meningkatkan panjang fluiditas pada komposisi 20-24%Sn yang berada pada fase  $\alpha+L$ , sedangkan paduan 25%Sn berada pada fase  $\beta+L$  menunjukkan padang fluiditas yang lebih pendek.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Audy, J. & Audy, K., 2008. Analysis of bell materials: Tin bronzes. *China Foundry*, 5(3), pp.199–204.
- Caliari, D. et al., 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 3205 The Fluidity of Molten Metals. *TALAT Lecture 3205*, pp.1–19.
- Debut, V. et al., 2016. The sound of bronze: Virtual resurrection of a broken medieval bell. *Journal of Cultural Heritage*, 19, pp.544–554.
- Goodway, M., 1992. Metals of Music. , 184, pp.177–184.
- Mudry, S. et al., 2013. Viscosity and structure of liquid Cu – In alloys. *Journal of Molecular Liquids*, 179, pp.94–97. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2012.12.019>.
- Qudong, W. et al., 1999. Study on the fluidity of AZ91+xRE magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 271(1–2), pp.109–115.
- Raza, M., 2015. *PROCESS DEVELOPMENT FOR INVESTMENT CASTING OF THIN-WALLED COMPONENTS*,
- Republic, C., 2012. A MICROSTRUCTURAL STUDY ON CuSn10 BRONZE PRODUCED BY SAND AND INVESTMENT CASTING TECHNIQUES Zeynep TAŞLIÇUKUR \*, Gözde S . ALTUĞ \*, Şeyda POLAT \*\*, Ş . Hakan ATAPEK \*\*, Enbiya.
- Sabatino, M. Di, 2005. Fluidity of aluminium foundry alloys. , (September).
- Di Sabatino, M., 2005. Fluidity of aluminium foundry alloys. , (September), p.161.
- Siavashi, K., 2011. The Effect of Casting Parameters on the Fluidity and Porosity of Aluminium Alloys in the Lost Foam Casting Process. , p.226.
- Srinivasan, S. et al., 2007. MEGALITHIC HIGH-TIN BRONZES AND PENINSULAR INDIA ' S " LIVING PREHISTORY " Sharada Srinivasan. , (Srinivasan 1994).
- Sugita, I.K.G., Soekrisno, R. & Miasa, I.M., 2011. The Effect of Annealing Temperature on Damping Capacity of the Bronze 20 % Sn Alloy. , (August), pp.1–5.
- Tan, M. et al., 2007. Correlation between viscosity of molten Cu-Sn alloys and phase diagram. *Physica B: Condensed Matter*, 387(1–2), pp.1–5.
- Talat, lecture 3205, 1994, The fluidity of molten metals, prepared by John Campbell and Richard A. Harding, IRC in Materials, The University of Birmingham, pp.1-19