

## **Analisis *Interface Bimetal Aluminium-Tembaga* yang Dibuat dengan Pengecoran Sentrifugal Variasi Kecepatan Putar**

<sup>(1)\*</sup>*Nugroho Santoso, <sup>(1)</sup>Bambang Suharnadi*

<sup>(1)</sup>*Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

*\*Email: [nugroho.santoso20@ugm.ac.id](mailto:nugroho.santoso20@ugm.ac.id)*

Diterima: 13.11.2020 Disetujui: 27.11.2020 Diterbitkan: 30.11.2020

### **ABSTRACT**

*Bimetallic is a combination of two metals that forms a metallurgical bond. Bimetallic made by centrifugal casting has not been developed much, so there is no recommendation for optimum mould rotational speed to produce products as needed. The research was conducted to determine the rotation of the mould in centrifugal casting, resulting in a unified interface with a strong metallurgical bond. The materials used for the manufacture of bimetallic are aluminum and copper. Aluminum is melted at a temperature of 700°C, while copper is melted at a temperature of 1,150°C. The metallic liquid was poured on a rotating mould with a filling speed of 0.20 kg/s. The variations in the rotational speed of the mould when pouring are 350, 400, and 450 rpm. The pouring of metal liquids is carried out alternately. First, aluminum is poured into the mould. Then after the aluminum temperature has dropped to 350°C, copper is poured into the mould to form aluminum-copper bimetallic in the form of a bushing. The results showed that the width of the interface increases with the increased rotation of the mould during the pouring process. The hardness and wear resistance of interfaces are increased compared to base metals in aluminum and copper. The increase in hardness and wear resistance is due to the formation of AlCu, Al<sub>2</sub>Cu and Al<sub>4</sub>Cu<sub>9</sub> compounds in the interface area.*

*Keywords: bimetallic, interface, aluminum-copper, centrifugal casting, bushing*

### **ABSTRAK**

*Bimetal adalah gabungan dua logam yang membentuk ikatan metalurgi. Bimetal yang dibuat dengan pengecoran sentrifugal belum banyak dikembangkan, sehingga belum ada rekomendasi kecepatan putar cetakan yang optimum untuk menghasilkan produk sesuai kebutuhan. Penelitian dilakukan untuk menentukan putaran cetakan pada pengecoran sentrifugal, sehingga dihasilkan penyatuan *interface* dengan ikatan metalurgi yang kuat. Bahan yang digunakan untuk pembuatan *bimetal* adalah aluminium dan tembaga. Aluminium dicairkan pada temperatur 700°C, sedangkan tembaga dicairkan pada temperatur 1.150°C. Cairan logam dituang pada cetakan yang berputar dengan kecepatan pengisian 0,20 kg/s. Variasi kecepatan putaran cetakan saat penuangan adalah 350, 400, dan 450 rpm. Penuangan cairan logam dilakukan secara bergantian. Pertama aluminium dituang pada cetakan, kemudian setelah temperatur aluminium turun hingga 350°C, tembaga dituang ke dalam cetakan sehingga terbentuk *bimetal* aluminium-tembaga yang berbentuk *bushing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lebar *interface* meningkat seiring peningkatan putaran cetakan saat proses penuangan. Kekerasan dan ketahanan aus *interface* meningkat dibanding logam dasar aluminium dan tembaga. Peningkatan kekerasan dan ketahanan aus disebabkan terbentuknya senyawa AlCu, Al<sub>2</sub>Cu dan Al<sub>4</sub>Cu<sub>9</sub> pada daerah *interface*.*

*Kata Kunci: bimetal, interface, aluminium-tembaga, pengecoran sentrifugal, bushing*

## I. Pendahuluan

*Bimetal* merupakan gabungan dari dua logam yang membentuk ikatan metalurgi di antara logam tersebut. *Bimetal* menjadikan komponen yang terbuat dari dua logam terintegrasi namun masing-masing logam masih mempunyai sifat uniknya sendiri (Nazari, Yousefi, Kerahroodi, Mofrad, & Abhari, 2014). Adanya ikatan logam pada *interface* menyebabkan peningkatan sifat mekanik komponen. Kedua logam akan saling melengkapi dalam hal sifat mekanik, kimia, dan fisik (Abbasi & Hejazi, 1994). Komposit *bimetal* dapat dibuat dengan pengecoran gravitasi maupun pengecoran sentrifugal (Changyun, et al., 2010). Pengecoran yang sering digunakan adalah pengecoran gravitasi atau *gravity casting* (Sumpena, 2017). Pembuatan komposit *bimetal* dengan pengecoran menghasilkan senyawa kohesif dan difusi *interface* logam saat penuangan, sehingga menghasilkan kekuatan ikatan yang tinggi (Nerl, et al., 2014). Salah satu penggunaan *bimetal* yang saat ini masih dikembangkan adalah produk *bushing*. Pembuatan *bushing* dengan metode pengecoran gravitasi akan dihasilkan produk dengan densitas rendah dengan cacat coran (Changyun, et al., 2010). Sedangkan pembuatan *bushing* dengan pengecoran sentrifugal akan menghasilkan produk dengan dimensi akurat, permukaan halus, porositas sedikit dan pembekuan yang lebih cepat (Wu, Xu, & Xue, 2011).

Pengecoran sentrifugal memanfaatkan gaya yang dihasilkan oleh gaya sentripetal dari cetakan yang berputar untuk mendistribusikan logam cair ke dalam cetakan (Ebhotu, Karun, & Inambao, 2016). Putaran yang tinggi dapat menurunkan jumlah cacat produk (Jia, Xu, Li, Guo, & Fu, 2012). Pengecoran dengan temperatur yang tinggi memerlukan kecepatan putar yang lebih tinggi untuk menghindari terjadinya *sliding*. Sedangkan untuk temperatur pengecoran yang rendah akan menyebabkan permukaan coran bertumpuk dan adanya porositas. Temperatur pengecoran mempengaruhi laju pembekuan dan jumlah segregasi yang terjadi (Nazari, Yousefi, Kerahroodi, Mofrad, & Abhari, 2014).

Evaluasi *interface bimetal* tembaga-aluminium menunjukkan bahwa lama waktu pembekuan lapisan primer dihitung berdasarkan persamaan *chornief* (Nazari,

Yousefi, Kerahroodi, Mofrad, & Abhari, 2014). Penuangan cairan logam kedua setelah rentang waktu yang berbeda akan mengubah temperatur *interface* komponen. Kemampuan difusi dan kekerasan tergantung pada temperatur tembaga dan aluminium saat penuangan dalam cetakan. Struktur intermetallik yang bersifat getas akan menurun, jika temperatur penuangan rendah. Ikatan metalurgi akan menjadi kuat jika temperatur penuangan sesuai dan berkurangnya pengotor ataupun oksida logam (Nazari, Yousefi, Kerahroodi, Mofrad, & Abhari, 2014). Cacat yang terbentuk pada *bimetal* disebabkan karena keterlambatan saat menuangkan tembaga cair setelah pembekuan aluminium. Hal ini menyebabkan pembentukan ikatan metalurgi di bagian *interface* tidak terbentuk dengan baik (Pandey, Jha, Kumar, & Bharat, 2017).

Kekuatan ikatan aluminium-tembaga pada *interface* dihasilkan dari ikatan senyawa intermolekul dan intermetallik kedua logam yang disatukan. Temperatur penuangan yang lebih tinggi akan meningkatkan kekuatan ikatan *interface* kedua logam. Namun jika temperatur terlalu tinggi, maka akan berakibat timbulnya fase baru yang bersifat rapuh. Ikatan *interface* antar logam dalam pengecoran sentrifugal dipengaruhi kecepatan rotasi (Pandey, Jha, Kumar, & Bharat, 2017). Salah satu ikatan yang terbentuk pada *interface* adalah fase *quasichristaline* dan *intermetallic* yang melekat dalam matrik Al-FCC. Fase tersebut mempunyai kestabilan dan kekuatan mekanik yang tinggi, yaitu 4-7x dari sebelumnya (Koga, et al., 2019). Sifat mekanis, fisik dan kimia fase intermetallik sangat berbeda dengan dua sifat logam penyusunnya.

Pengembangan *bushing bimetal* dengan pengecoran sentrifugal terus dilakukan, namun belum ada rekomendasi temperatur dan putaran optimum saat penuangan, sehingga menghasilkan *sound product*. Analisa dan evaluasi dilakukan pada cacat produk dan *interface*, sehingga produk mempunyai kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Penelitian dilakukan untuk menentukan putaran *mold* pada *centrifugal casting*, sehingga menghasilkan penyatuan pada *interface* dengan baik.

## II. Bahan dan Metode

Material yang digunakan dalam penelitian adalah aluminium dan tembaga. Komposisi unsur aluminium dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan komposisi unsur tembaga dapat dilihat pada Tabel 2. Keduanya diuji dengan alat *spectrometer* dengan metode IK 5.4-1-1.

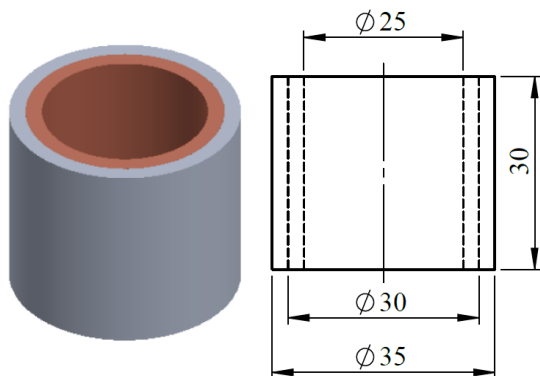
Tabel 1. Komposisi unsur aluminium

Unsur	Komposisi (% wt)	Unsur	Komposisi (% wt)
Al	92,33	Mn	0,210
Si	4,929	Mg	0,312
Fe	0,680	Zn	0,977
Cu	0,477	Ni	0,026

Tabel 2. Komposisi unsur tembaga

Unsur	Komposisi (% wt)	Unsur	Komposisi (% wt)
Cu	99,63	Al	0,091
Mn	0,010	Pb	<0,050
Ni	0,062	Sn	<0,005
Si	0,015	P	<0,010

Pengecoran *bushing bimetal* aluminium-tembaga dilakukan dengan pengecoran sentrifugal. Aluminium dicairkan pada temperatur 700°C, sedangkan tembaga dicairkan pada temperatur 1150 C. Logam cair dituang pada cetakan pasir yang berputar dengan kecepatan pengisian yang dibuat konstan sekitar 0,20 kg/s. Variasi kecepatan putaran cetakan *centrifugal casting* adalah 350, 400, dan 450 rpm. Penuangan logam cair dilakukan secara bergantian. Pertama aluminium dituang pada cetakan, kemudian setelah temperatur aluminium 350°C, tembaga dituang ke dalam cetakan, sehingga terbentuk *bimetal* aluminium-tembaga yang berbentuk *bushing*.



Gambar 1. Skema dan ukuran bimetal bushing

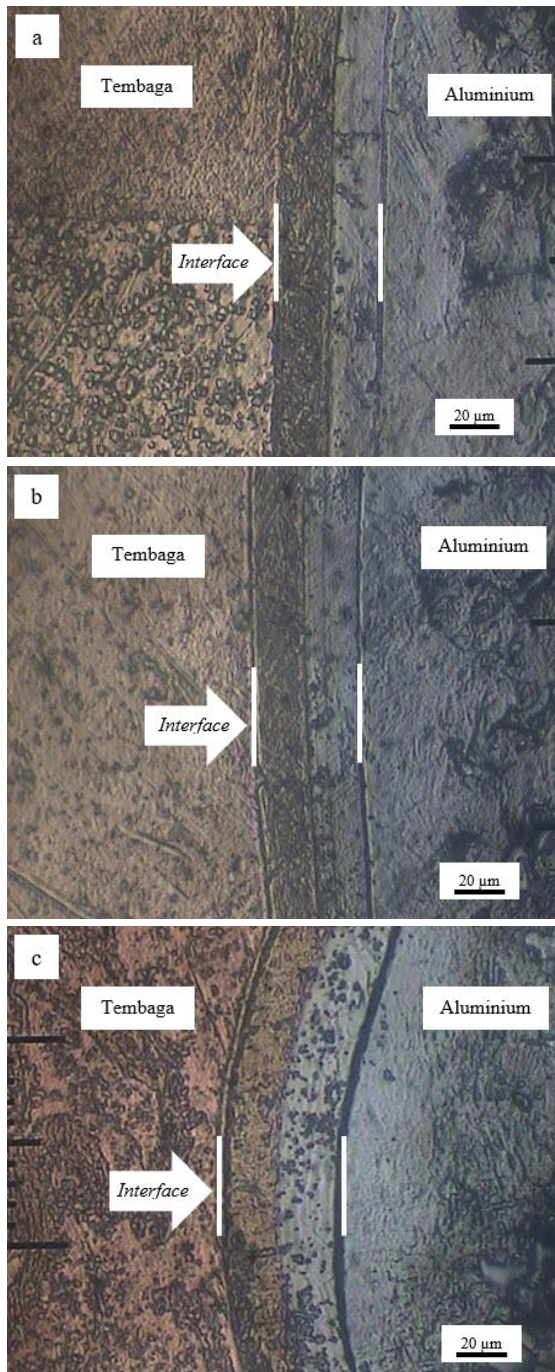
Gambar 1. menunjukkan skema dan ukuran *bimetal bushing* yang dibuat. *Bushing* mempunyai ukuran diameter luar 35 mm, sedangkan diameter dalam 30 mm dengan tinggi 30 mm. Ketebalan aluminium dan tembaga masing masing 2,5 mm.

Pengamatan struktur mikro *interface bimetal* menggunakan *metallurgical microscope* (PME 3, Olympus, Japan) dan SEM-EDS (Quanta x50 SEM Series). Sebelum diamati, spesimen dipreparasi dengan amplas #180 hingga #1000 kemudian di-*polish* dengan autosol. Untuk memunculkan struktur mikro, aluminium dietsa dengan larutan hidrofleuride (HF) 80%, sedangkan tembaga dietsa menggunakan larutan HNO<sub>3</sub> 60%. Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan dengan alat *microhardness tester* (HMV-M3, Shimadzu, Japan). Jarak antar titik uji adalah 50 µm dengan beban 50 gf, yang ditahan selama 5 detik.

## III. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2. menunjukkan struktur mikro pada *interface bimetal* Al-Cu dengan variasi rpm. Berdasar hasil pengamatan, terlihat semua produk dengan variasi rpm terjadi Al-Cu *intermetallic compounds* (IMCs). Ketebalan IMCs produk berbeda pada setiap variasi rpm. Ketebalan IMCs pada produk dengan putaran 350, 400, dan 450 rpm, secara berurutan adalah 40, 42, dan 46 µm.

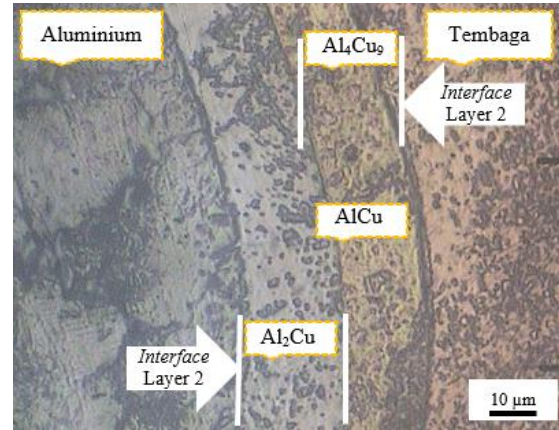
Ikatan pada *interface* logam bimetal aluminium-tembaga yang dibuat dengan pengecoran sentrifugal terjadi dengan baik. Lebar *interface* meningkat seiring dengan peningkatan putaran cetakan. Lebar *interface* pada *bimetal* yang dibuat dengan 450 rpm adalah 46 µm, sehingga ada peningkatan 15% dibandingkan pada produk yang dibuat dengan 350 rpm. Putaran yang tinggi saat penuangan, meningkatkan gaya dorong logam cair memasuki cetakan. Hal ini menyebabkan ikatan yang terjadi pada *interface* lebih baik. *Interface* terbentuk karena ikatan antar atom, sehingga tidak ada fase baru yang terbentuk (Nazari, Yousefi, Kerahoodi, Mofrad, & Abhari, 2014).



Gambar 2. Struktur mikro interface pada 350 rpm (a), 400 rpm (b) dan 450 rpm (c)

Berdasar pengamatan menggunakan SEM-EDS, terdapat senyawa pada daerah *interface* berupa  $Al_2Cu$ ,  $AlCu$ , dan  $Al_4Cu_9$  (*inference component*) seperti terlihat pada Gambar 3. Berdasar pengamatan, senyawa  $Al_2Cu$  terbentuk pada layer 2 yang merupakan *interface* yang berdekatan dengan aluminium, sedangkan senyawa  $Al_4Cu_9$  terbentuk pada layer 2 yang berdekatan dengan tembaga. Senyawa paling keras yaitu  $AlCu$  terbentuk pada layer 1 yang berada di tengah *interface*.

Hasil pengamatan ini memperkuat hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya (Jia, Xu, Li, Guo, & Fu, 2012). Ketebalan *interface* layer 2 ( $Al_2Cu$  dan  $Al_4Cu_9$ ) hampir sama, sekitar 20  $\mu m$ . Sedangkan lebar *interface* layer 1 ( $AlCu$ ) adalah sekitar 2  $\mu m$ .



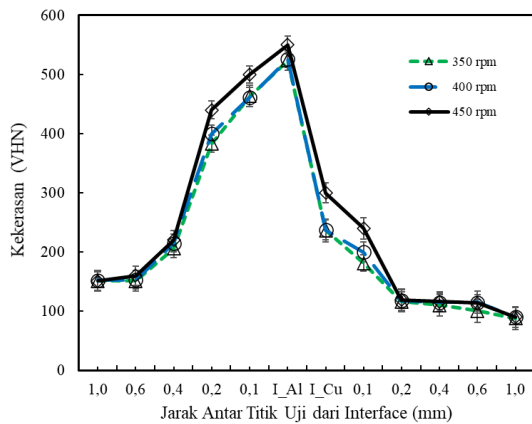
Gambar 3. Senyawa yang terdapat pada interface

Dari pengamatan struktur mikro beberapa tempat, terlihat adanya pengotor di daerah *interface* yang disebabkan oleh oksida logam dan oksida pelindung kedua material. Tekanan cairan logam tidak dapat mengeluarkan oksida logam tersebut, sehingga di daerah *interface* tidak ada ikatan khusus. Jika ada pengotor, dua logam terpisah, dan ikatan difusi tidak terbentuk di antara keduanya. Pengotor di *interface* paling sedikit terjadi pada *bushing* yang dibuat dengan 450 rpm. Kecepatan putaran *mold* saat penuangan meningkatkan tekanan cairan terdistribusi kedalam cetakan (Ebhotu, Karun, & Inambao, 2016). Hal ini menurunkan jumlah cacat produk (Jia, Xu, Li, Guo, & Fu, 2012), salah satunya pengotor oksida.

Hasil uji kekerasan *interface bimetal* dapat dilihat pada Gambar 4. Kekerasan aluminium terlihat meningkat hingga daerah *interface*, kemudian menurun lagi pada daerah tembaga. Kecenderungan perubahan kekerasan terlihat sama antar spesimen variasi rpm. Spesimen *bimetal* yang dibuat dengan 450 rpm memiliki kekerasan aluminium sebesar 151 VHN diukur dengan jarak 1 mm dari *interface*, kemudian meningkat secara tajam hingga 550 VHN pada daerah *interface*. Kekerasan menurun secara tajam hingga 114 VHN pada tembaga.

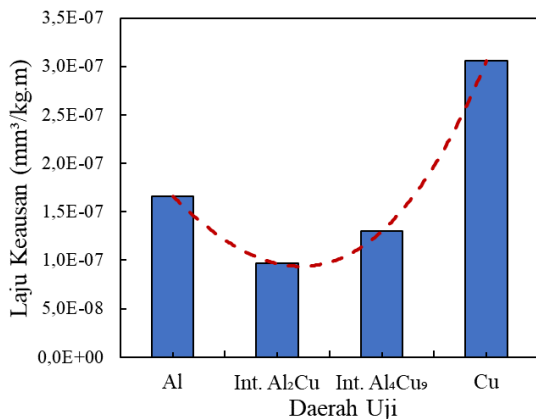
Kekerasan daerah *interface* lebih tinggi dibanding logam penyusun. Kekerasan aluminium dan tembaga pada jarak 0.4 mm sudah sama dengan kekerasan *base metal*.

Peningkatan kekerasan *interface* mencapai 550 VHN ( $> 3,5 \times \text{base metal}$ ). Semakin tinggi putaran cetakan saat penuangan, menyebabkan kekerasan pada *interface* semakin tinggi. Peningkatan kekerasan karena terbentuknya senyawa AlCu yang bersifat keras.



Gambar 4. Hasil uji kekerasan bimetal

Gambar 5. menunjukkan keausan pada daerah aluminium, *interface*, dan tembaga. Keausan aluminium, layer Al<sub>2</sub>Cu, layer Al<sub>4</sub>Cu<sub>9</sub> dan tembaga secara berurutan adalah 1,9E-07, 8,7E-08, 1,1E-07, dan 3,1E-07 mm<sup>3</sup>/kg.m. Keausan pada daerah *interface* meningkat hingga 1,6 kali dibanding keausan pada daerah aluminium dan meningkat 2,8 kali dibanding keausan pada daerah tembaga.



Gambar 5. Laju keausan bimetal

#### IV. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa lebar *interface* antara logam aluminium dan tembaga meningkat seiring peningkatan putaran cetakan saat proses penuangan. Kekerasan dan ketahanan aus pada bagian *interface* meningkat dibanding *base metal*.

Semakin tinggi putaran cetakan saat penuangan menyebabkan kekerasan pada *interface* semakin tinggi. Peningkatan kekerasan dan ketahanan aus disebabkan terbentuknya senyawa AlCu, Al<sub>2</sub>Cu dan Al<sub>4</sub>Cu<sub>9</sub> di daerah *interface*.

#### Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gajah Mada (UGM) yang telah memberikan bantuan berupa pendanaan dan peralatan pengujian material, sehingga penelitian dapat diselesaikan.

#### Daftar Pustaka

- Abbasi, M., & Hejazi, J. (1994). Manufacturing Bimetal Centrifugal Casting Method. *The Sixth Annual Seminar of Iranian Foundry Society, Iran University of Science and Technology*, (pp. 1-15).
- Changyun, L., Haiyan, W., Shiping, W., Lei, X., Kuangfei, W., & Hengzhi, F. (2010). Research on Mould Filling and Solidification of Titanium Alloy in Vertical Centrifugal Casting. *Rare Metal Materials and Engineering*, 39(3), 388-392. doi:10.1016/S1875-5372(10)60085-9
- Ebhota, W. S., Karun, A. S., & Inambao, F. L. (2016). Centrifugal Casting Technique Baseline Knowledge, Applications, and Processing Parameters: Overview. *International Journal of Materials Research*, 107(10), 960-969. doi:10.3139/146.111423
- Jia, L., Xu, D., Li, M., Guo, J., & Fu, H. (2012). Casting defects of Ti-6Al-4V alloy in vertical centrifugal casting processes with graphite molds. *Metals and Materials International*, 18(1), 55-61. doi:10.1007/s12540-012-0007-0
- Koga, G. Y., e Silva, A. B., Wolf, W., Kiminami, C. S., Bolfarini, C., & Botta, W. J. (2019). Microstructure and mechanical behavior of Al92Fe3Cr2X3 (X = Ce, Mn, Ti, and V) alloys processed by centrifugal force casting. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 2092-2097. doi:10.1016/j.jmrt.2018.12.022

- Nazari, J., Yousefi, M., Kerahroodi, M. A., Mofrad, N. B., & Abhari, S. A. (2014). Production of Copper-Aluminum Bimetal by Using Centrifugal Casting and Evaluation of Metal Interface. *International Journal of Materials Lifetime*, 1(1), 20-28. doi:10.12691/ijml-1-1-4
- Nerl, C., Wimmer, M., Hoffmann, H., Kaschnitz, E., Langbein, F., & Volk, W. (2014). Development of a continuous composite casting process for the production of bilayer aluminium strips. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(7), 1445-1455. doi:10.1016/j.jmatprotec.2014.02.018
- Pandey, S., Jha, S. K., Kumar, P., & Bharat, A. K. (2017). Analysis of Defects for Aluminium Copper Bimetal Fabricated by Centrifugal Casting. *ELK Asia Pacific Journals*, 1-6.
- Sumpena, S. (2017). Pengaruh Paduan Serbuk Fe12% pada Aluminium terhadap Porositas dan Struktur Mikro dengan Metode Gravity Casting. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1(1), 20-25. doi:10.30588/jeemm.v1i1.225
- Wu, S. P., Xu, Q., & Xue, X. (2011). The Solidified Structure and Macrosegregation of Wedge-Shaped Titanium Castings Produced by Vertical Centrifugal Casting Process. *Advanced Materials Research*, 317-319, 456-459. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.317-319.456