

## **Pengaruh variasi laju aliran dan *preheating* cetakan pada *investment casting* terhadap sifat fisis dan mekanis prototipe aluminium cylinder head engine**

**Masy'ari<sup>1\*</sup>, Ari Dwi Prasetyo<sup>2</sup>, Edi Karyadi<sup>3</sup>, Iyus<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Pontianak  
Jl. Akhmad Yani, Pontianak, Indonesia

\*Corresponding author: [masyari\\_ari@yahoo.com](mailto:masyari_ari@yahoo.com)

### **Abstract**

*This research studies the effect of flow rate on the pouring of molten metal into the mould so that the flow rate into the mould can be controlled. Furthermore, this research studies the effect of mould preheating so that the temperature inside the cavity can be maintained, especially for narrow holes. The process starts with making the engine cylinder head pattern and gating system using a three-dimensional printer with polylactic acid resin. The mould pattern and gating system are combined and coated with a layer of cement plaster, silica sand and kaolin. After the coating is dry, the mould is heated until the mould pattern evaporates and there is no residue. The casting process was carried out at pre-heating moulds of 300 °C and 350 °C and a pouring temperature of 800 °C with pouring speeds of 20, 30, and 40 rpm. The final stage of the research is manufacturing test objects and testing mechanical properties. The results showed that the higher the pouring speed, the less perfect the casting results, especially in the cylinder head fins. The best casting results occurred in the pre-heat condition of the 300 °C mould with a pouring speed of 20 rpm, with a Maximum Tensile Strength of 105 N/mm<sup>2</sup>, Hardness 53 hardness Brinell test (HBN), Density and Porosity of 2.43 gr/cm<sup>3</sup>. The material used in this study refers to the reference is A356 Aluminum Alloy.*

**Keywords:** *cylinder head engine, investment casting, kaolin*

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju aliran pada saat penuangan logam cair ke dalam cetakan, agar laju aliran yang masuk ke dalam cetakan dapat dikendalikan. Penelitian ini juga mempelajari pengaruh *preheat* cetakan, agar temperatur di dalam rongga cetakan dapat dipertahankan khususnya untuk rongga-rongga yang sempit. Penelitian dimulai dengan pembuatan pola *cylinder head engine* dan *gating system* menggunakan printer tiga dimensi dengan material resin *polylactid acid*. Pola cetakan dan *gating system* disatukan dan dilapisi dengan lapisan campuran semen plaster, pasir silika dan tanah kaolin. Setelah lapisan kering, cetakan dipanaskan hingga pola cetakan menguap dan tidak bersisa. Proses pengecoran dilakukan pada *pre-heating* cetakan 300 °C dan 350 °C dan temperatur penuangan 800 °C dengan kecepatan penuangan 20, 30, dan 40 rpm. Tahap akhir dari penelitian adalah pembuatan benda uji dan pengujian sifat mekanis. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi kecepatan penuangan terlihat kecenderungan hasil coran kurang sempurna terutama pada bagian-bagian sirip dari *cylinder head*. Hasil pengecoran terbaik terjadi pada kondisi pre-heat cetakan 300°C dengan kecepatan penuangan 20 rpm, dengan Kekuatan Tarik Maksimum sebesar 105 N/mm<sup>2</sup>, Kekerasan 53 *hardness brinell test* (HBN), Densitas dan Porositas 2,43 gr/cm<sup>3</sup>. Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini mengacu referensi yang ada adalah Paduan Aluminium A356.

**Kata Kunci:** *cylinder head engine, investment casting, tanah kaolin*

## Pendahuluan

Industri pengecoran logam sebagai industri manufaktur yang banyak memproduksi komponen mesin masih terus konsisten memberikan kontribusi terbesar pada perekonomian nasional dalam mencapai target pertumbuhan ekonomi nasional sebesar 5,3% di tahun 2020 [1]. Untuk mencapai target pertumbuhan ekonomi nasional tersebut banyak sektor industri manufaktur mulai melakukan inovasi proses produksi memanfaatkan teknologi digital, seperti industri pengecoran logam. Dengan adanya inovasi sistem produksi ini diharapkan dapat mengefesiesikan proses produksi melalui sentuhan teknologi baru yang ada di era industri 4.0. Salah satu metode pengecoran logam yang memanfaatkan teknologi digital 3D printing dalam pembuatan pola adalah *Investment casting*, yaitu suatu proses pengecoran dengan pola dilapisi dengan bahan tahan panas sebagai cetakan. Pola yang telah dilapisi kemudian dilelehkan, sehingga membentuk rongga cetakan. Semakin rumit bentuk dan ukuran benda yang akan dibuat menjadi faktor penentu durasi pembuatan pola cor, sehingga pembuatan dan kualitas pola coran menjadi kunci penting dalam proses pengecoran.

Terkait dengan pengembangan IPTEK tersebut, terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya diantaranya adalah aplikasi *Rapid Prototyping* dalam industri manufaktur yang menuntut produk yang dihasilkan memiliki kualitas lebih baik dan biaya produksi yang relative rendah dengan produk yang dihasilkan, namun waktu proses juga menjadi hal yang penting dalam peningkatan efisiensi. Penggunaa rapid prototyping dapat membantu dalam pengurangan waktu produksi. Proses Rapid Prototyping menghasilkan produk dalam bentuk 3D tanpa menghasilkan bahan yang terbuang [2].

Adapun penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh laju aliran pada saat penuangan logam cair ke dalam cetakan, agar laju aliran yang masuk ke

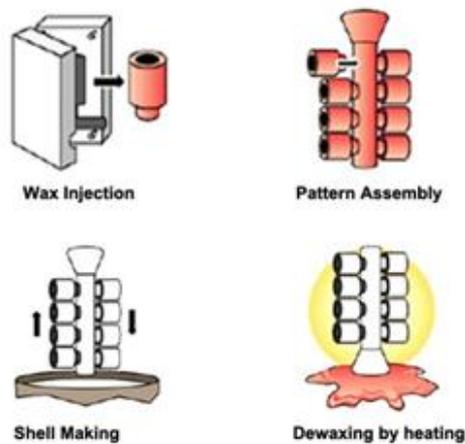
dalam cetakan dapat dikendalikan sehingga tidak terjadi turbulensi di dalam rongga cetakan. Selain itu, penelitian ini juga mempelajari pengaruh preheat cetakan, sehingga temperatur di dalam rongga cetakan dapat dipertahankan khususnya untuk rongga-rongga yang sempit.

## Tinjauan Pustaka

*3D Printer* adalah salah satu jenis mesin FDM. Prinsip kerja dari *3D Printer* ini adalah dengan cara memanaskan bahan *thermoplastic* seperti ABS dan PLA dan di extrusi melalui nosel secara *layer by layer*. Material ini dinamakan *filament*, *filament* dilunakkan dan dilelehkan didalam proses pencairan hingga pada titik lelehnya dan didorong melalui nosel oleh *extruder*. Ketika alat pencairan bergerak hasil extrusi *thermoplastic* tadi tertinggal pada *bed* sehingga membuat pola benda yang telah diinput pada mesin *3D Printer* [3]. Abdillah [4], dalam penelitian mengenai aplikasi *3D Printer* FDM pada pembuatan pola cor. Penggunaan *3D Printer* dengan sistem FDM memungkinkan dan layak untuk pembuatan pola cor. Hal ini dikarenakan produk pola yang dihasilkan memiliki bentuk geometri dan ketelitian yang baik. Dengan demikian aplikasi *3D Printer* dengan sistem FDM dapat digunakan dalam sektor pengecoran logam dan masih memiliki peluang pengembangan untuk meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkan.

*Investment casting* atau dikenal juga *lost wax casting* adalah salah satu metode pengecoran logam yang sudah digunakan sejak beberapa abad yang lalu. Metode ini dikenal dengan kemampuannya untuk memproduksi suatu komponen dengan permukaan yang baik, akurasi dimensi yang tinggi, dan bentuk yang kompleks. *Investment casting* ini sangat berguna untuk membuat bentuk-bentuk yang sukar untuk dimesin. *Investment casting* telah digunakan untuk membuat senjata, perhiasan, dan pengecoran seni pada zaman dahulu. Saat ini aplikasi *investment casting* sudah sangat berkembang salah satunya pembuatan *blade turbine* dan komponen mesin lainnya [5].

Perkembangan teknologi saat ini *investment casting* tidak menggunakan lilin sebagai inti cetaknya tetapi menggunakan inti yang dibentuk dengan metode *rapid prototyping* sehingga pembuatan inti cetakan dapat dilakukan dengan langsung tanpa harus menggunakan metode *injection molding* [6]. Berikut proses dari *investment casting* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Investment Casting menggunakan lilin [5].

Kemudian Raza [7], melakukan penelitian tentang *process development for investment casting of thin-walled components*. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa pengaruh ketebalan lapisan keramik sangat mempengaruhi cacat penyusutan (*shrinkage*). Ketebalan lapisan keramik juga mempengaruhi kapasitas penyerapan panas, terutama untuk bentuk yang kompleks dan tipis.

Slamet [8], juga melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi dan temperatur ruang terhadap fluiditas paduan perunggu timah melalui *investment casting*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur mampu meningkatkan laju fluiditas dan laju fluiditas sangat penting untuk menghindari gagal produk terutama pada pembuatan produk cor berdinding tipis. Khristyson [9], dalam penelitiannya mengenai analisa *investment casting* perannya untuk reparasi *towing beam* kapal tunda dengan metode elemen hingga menyatakan bahwa penerapan *investment casting* pada produksi *towing beam* kapal tunda dapat menjadi peluang

usaha baru bagi industri manufaktur karena dapat mempersingkat waktu dengan *man power* yang sama sebesar 52% atau selisih estimasi waktu 15 jam setara dengan 2,5 hari kerja. dan memperingan biaya fabrikasi bagi industri galangan kapal sehingga mereduksi biaya reparasi 41% yaitu mengurangi biaya fabrikasi dan *quality repair cost*.

## Metode Penelitian

Material cor yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium scrap, yaitu Velg Toyota Fortuner untuk pre-heat cetakan 300<sup>0</sup> dan Velg Toyota Avanza untuk pre-heat cetakan 350<sup>0</sup>, sedangkan material untuk pembuatan pola dan cetakan serta peralatan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu kepada penelitian yang telah dilakukan oleh penulis sebelumnya [10]. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Pontianak selama enam bulan. Adapun tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

### a. Tahap Pembuatan Pola

Untuk tahapan pembuatan pola mengacu kepada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis sebelumnya [2].

### b. Tahapan Pembuatan Cetakan *Investment Casting*

Demikian juga untuk pembuatan cetakan *Investment Casting* mengacu kepada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis sebelumnya [2].

### c. Tahapan Pengecoran

- Melakukan proses peleburan aluminium scrap pada temperatur 800°C, seperti yang terlihat pada Gambar 2.
- Melakukan *pre-heating* pada cetakan dengan temperatur 300°C dan 350°C. Proses *pre-heating* menggunakan *liquefied petroleum gas* (LPG), yaitu dengan menempatkan *burner* di bawah tungku *pre-heating* sampai temperatur cetakan mencapai temperatur yang diinginkan, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Proses peleburan dan pengukuran temperatur logam cair



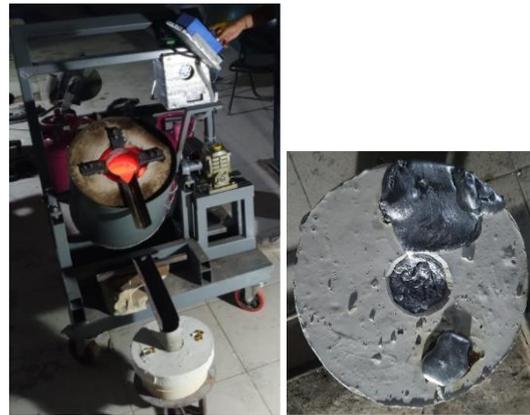
Gambar 3. Proses pre-heating pada cetakan

- Selama *pre-heating* pengukuran temperatur dilakukan pada bagian saluran udara tungku *pre-heating* menggunakan *thermocouple* tipe K. Adapun hasil *pre-heating* cetakan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil pre-heating cetakan

- Setelah temperatur cetakan dan logam cair mencapai temperatur yang telah ditentukan, berikutnya adalah proses penuangan logam cair ke dalam cetakan, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Adapun variabel proses pengecoran dapat dilihat pada Tabel 1.



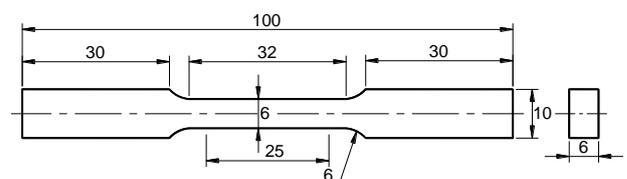
Gambar 5. Proses penuangan logam cair ke dalam cetakan

Tabel 1. Variabel pada proses *Investment Casting*

Varibel	Satuan	Keterangan
Suhu pengecoran	°C	Suhu pengecoran aluminium
Aluminium scrap		Material pengecoran
Kecepatan penuangan :		Berpengaruh pada kecepatan aliran,
a. 20	rpm	semakin cepat aliran akan mempengaruhi hasil coran
b. 30		
c. 40		
Suhu <i>pre-heating</i> cetakan :	°C	Suhu <i>pre-heating</i> cetakan mempertahankan suhu di rongga cetakan
a. 300		
b. 350		
Hasil coran yang paling sempurna		Untuk pengujian sifat fisis dan mekanis

#### d. Tahap Pembuatan Benda Uji dan Pengujian

Pada tahap ini pembuatan benda uji hanya dilakukan untuk benda uji tarik. Benda uji diambil dari bagian bawah *head cylinder* dengan pertimbangan bahwa pada bagian ini lebih banyak mendapatkan tekanan saat digunakan dengan standar ASTM E-8M. Selain itu, uji tarik juga dilakukan uji kekerasan, uji densitas dan porositas. Adapun spesifikasi geometri ASTM-E-8M dapat dilihat pada Gambar 6.

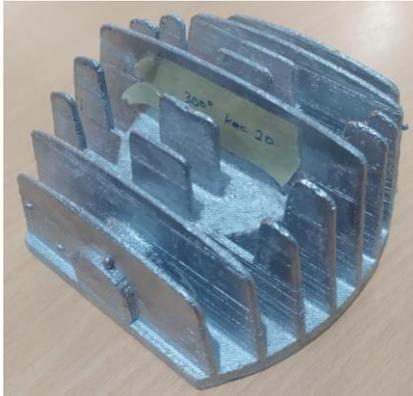


Gambar 6. Benda uji tarik ASTM-E8M

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil

Suhu *pre-heat* cetakan 300<sup>0</sup>C dan kecepatan penuangan 20 rpm, seperti yang terlihat pada Gambar 7. Suhu *pre-heat* cetakan 300<sup>0</sup>C dan kecepatan penuangan 30 rpm, seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 7. Pre-heat 3000C kecepatan 20 rpm



Gambar 8. Pre-heat 3000C kecepatan 30 rpm

Suhu *pre-heat* cetakan 300<sup>0</sup>C dan kecepatan penuangan 40 rpm, seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pre-heat 3000C kecepatan 40 rpm

Suhu *pre-heat* cetakan 350<sup>0</sup>C dan kecepatan penuangan 20 rpm, seperti yang terlihat pada Gambar 10.



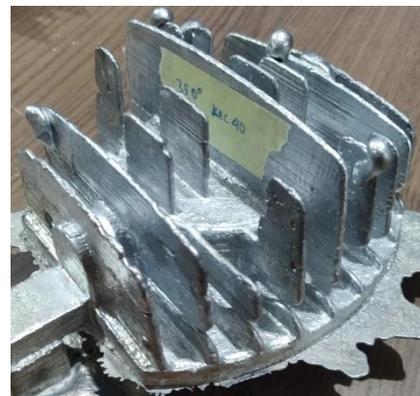
Gambar 10. Pre-heat 3500C kecepatan 20 rpm

Suhu *pre-heat* cetakan 350<sup>0</sup>C dan kecepatan penuangan 30 rpm, seperti yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pre-heat 3500C kecepatan 30 rpm

Suhu *pre-heat* cetakan 350<sup>0</sup>C dan kecepatan penuangan 40 rpm, seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 12. Pre-heat 3000C kecepatan 40 rpm

Hasil Pengujian Tarik yang dilakukan pada hasil coran yang terbaik dengan 2 buah spesimen uji tarik, yaitu rata-rata *ultimate tensile strength* sebesar 105 MPa.

Hasil Pengujian Kkerasan yang dilakukan pada hasil coran yang terbaik dengan 2 buah spesimen uji kekerasan dengan Metode Brinell, yaitu rata-rata sebesar 53 HBN.

Uji Densitas dan Porositas yang dilakukan pada hasil coran yang terbaik dengan 2 buah spesimen, yaitu rata-rata sebesar 2,43 gr/cm<sup>3</sup>.

Sementara itu, untuk uji komposisi mengacu dari referensi material velg paduan aluminium A356, adapun komposisi kimia dari paduan aluminium A356 dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Komposisi kimia paduan aluminium A356

Al	Cd	Cu	Fe	Mg
92.756	<0.002	<0.001	0.220	0.400
Ni	Pb	Si	Ti	Zn
<0.002	0.001	6.550	0.006	0.004

## Pembahasan

Pada pengecoran dengan *pre-heat* cetakan 300<sup>0</sup>C maupun 350<sup>0</sup>C semakin tinggi kecepatan penuangan terlihat kecenderungan hasil coran kurang sempurna terutama pada bagian-bagian sirip dari *cylinder head*. Hal ini diduga semakin tinggi kecepatan penuangan menyebabkan terjadinya turbulensi permukaan pada cairan logam, sehingga menyebabkan banyak udara yang terjebak. Hal ini diperkuat oleh penelitian [8] bahwa laju fluiditas mempengaruhi hasil coran.

Selain hasil coran yang tidak sempurna, masih terdapat gumpalan-gumpalan pada hasil coran, hal ini diduga pada dinding cetakan terjadi pengikisan oleh logam cair sehingga menyebabkan timbulnya rongga pada cetakan.

Sementara itu, untuk hasil pengecoran yang terbaik dan sempurna terjadi pada kondisi *pre-heat* cetakan 300<sup>0</sup>C dengan kecepatan penuangan 20 rpm. Hasil terbaik ini diduga karena pada kondisi kecepatan penuangan 20 rpm aliran fluida yang masuk kedalam rongga cetakan lebih fokus dan stabil, sehingga tidak terjadi turbulensi aliran.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa kualitas kesempurnaan

hasil coran untuk bentuk coran yang bersirip lebih baik dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya [10-17].

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengecoran yang terbaik pada penelitian ini terjadi pada kondisi *pre-heat* cetakan 300<sup>0</sup>C dengan kecepatan penuangan 20 rpm. Pengujian mekanis yang dilakukan pada hasil coran terbaik, yaitu Uji Tarik sebesar 105 MPa dan Uji kekerasan Brinell sebesar 53 HBN, hasil ini tidak jauh berbeda dengan uji mekanis material-material Aluminium Paduan, seperti A356. Untuk hasil uji Densitas dan Porositas yang juga dilakukan pada hasil coran terbaik menghasilkan 2,43 gr/cm<sup>3</sup>.

## Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih peneliti sampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Polnep atas bantuan dana yang dianggarkan melalui dana PNBPN, hingga selesainya penelitian ini.

## Referensi

- [1] Menperin Optimistis Industri Manufaktur Dorong Pertumbuhan Ekonomi 2020, Diunduh 26 April 2020, dari <https://www.medcom.id/ekonomi/mikro>.
- [2] Aplikasi Rapid Prototyping Dalam Industri Manufaktur, Diunduh 04 April 2020, dari <https://www.academia.edu>.
- [3] O.S. Carneiro, A.F. Silva, R. and Gomes., Materials & Design. Fused Deposition Modeling with Polypropylene, 769, 2015.
- [4] Abdillah. H, dan Ulukaryani, Aplikasi 3d Printer Fused Deposite Material (Fdm) Pada Pembuatan Pola Cor, SINTEK JURNAL, Vol. 13 No. 2, 2019

- [5] S. Pattnaik, D. Karunakar, and P. Jha, Developments In Investment Casting Process - A Review, *Journal of Materials Processing Technology*, 1, 2012.
- [6] A. Rosochowski, and A. Matuszak, Rapid Tooling: The State Of The Art, *Journal of Materials Processing Technology*, 191, 2000.
- [7] Raza, M., 2015, Process Development For Investment Casting Of Thin-Walled Components: Manufacturing Of Light Weight Components, Mälardalen University Press Licentiate Theses, 199, 2015.
- [8] Slamet, S., dan Suyitno, Pengaruh komposisi dan temperatur ruang terhadap Fluiditas paduan perunggu timah melalui investment casting, *Prosiding SNATIF Ke -4*, 2017.
- [9] Khristyson, S., F., Sulaiman, dan Prahasti, R., Analisa Investment Casting Perannya untuk Reparasi Towing Beam Kapal Tunda dengan Metode Elemen Hingga, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2020.
- [10] Masy'ari, Prasetyo, A., D., dan Karyadi, E., Pembuatan Prototip Aluminium *Cylinder Head Engine* Dengan Metode *Rapid Prototyping* dan *Investment Casting*, *Jurnal TURBO*, 10 (20), pp. 142-151, 2021.
- [11] Masy'ari, Karyadi, E., dan Sunarso, 2016, Pembuatan Prototip Aluminium *Cylinder Head Engine* Menggunakan Pengecoran *Lost Foam* Dengan Memanfaatkan Potensi Sumber Daya Mineral di Wilayah Kalimantan Barat, *Prosiding Seminar Nasional Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 2017.
- [12] Rasyid, I, M., Rancang Bangun Sudu Turbin Kaplan Dengan Metode *Rapid Prototyping* Dan *Investment Casting*, Skripsi Prodi D4 Teknik Mesin, Politeknik Negeri Pontianak, 2020.
- [13] Drihandono, S., & Budiyanto, E. (2017). Pengaruh Temperatur Tuang, Temperatur Cetakan, dan Tekanan Pada Pengecoran Bertekanan (High Pressure Die Casting/HPDC) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Aluminium Paduan Silikon (Al-Si 7, 79%). *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1).
- [14] Nugroho, E., Budiyanto, E., & Firdaus, A. D. (2021). Pengaruh penambahan Silikon pada remelting piston motor bekas menggunakan tungku induksi terhadap kekuatan tarik dan kekerasan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(2).
- [15] Budiyanto, E., Nugroho, E., & Zainudin, A. (2018). Uji ketahanan fatik aluminium scrap hasil remelting piston bekas menggunakan alat uji fatik tipe rotary bending. *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, 7(1).
- [16] Nugroho, E., Budiyanto, E., Kurniawan, R., & Sumosusilo, J. (2020). Uji ketahanan fatik aluminium hasil remelting piston bekas menggunakan metode pengecoran centrifugal casting. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(2).
- [17] Wahyono, W., Nugroho, E., Handono, S. D., & Budiyanto, E. (2020). Analisa uji ketahanan fatigue Aluminium scrap hasil remelting sepatu rem (brake shoe) terhadap variasi beban menggunakan tipe rotary bending. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 1(2), 96-107