

Pengaruh penambahan Magnesium pada *remelting* piston motor bekas menggunakan tungku induksi terhadap kekuatan fatik dan porositas

Mahmud Yunus¹, Tri Cahyo Wahyudi^{2*}, Eko Nugroho³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia
*Corresponding author: trichyowahyudi3@gmail.com

Abstract

Metal is a natural material that is very useful in various aspects of human life, one of which is non-ferrous metal material, the metal does not contain iron elements such as copper, aluminum, tin. The purpose of this study was to determine the effect of the addition of Magnesium on fatigue and porosity testing, using the casting method of used Aluminum piston motor using an induction furnace with a pouring temperature of 700°C. In the fatigue test, the addition of Magnesium element by 1% gets a cycle value of 5,100, and a variation of 1.5% gets a cycle value of 5,220 and a 2% variation gets a cycle value of 5,420. As for the porosity test, the addition of Magnesium element by 1% gets a porosity value of 9.2% and a variation of 1.5% gets a porosity value of 4.5% and a variation of 2% gets a porosity value of 3.5%.

Keywords: Aluminum, remelting, Magnesium, fatigue, porosity.

Abstrak

Logam adalah material alam yang sangat berguna dalam berbagai aspek kehidupan manusia, salah satunya adalah material logam non ferro, logam tersebut tidak mengandung unsur besi contohnya tembaga, Alumunium, timah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur magnesium pada pengujian fatik dan porositas, dengan metode pengecoran bahan aluminium piston motor bekas menggunakan tungku induksi dengan temperatur penuangan sebesar 700°C. Pada pengujian fatik penambahan unsur magnesium sebesar 1% mendapatkan nilai siklus sebesar 5.100, dan variasi 1,5% mendapatkan nilai siklus sebesar 5.220 dan variasi 2% mendapatkan nilai siklus 5.420. Sedangkan untuk pengujian porositas penambahan unsur magnesium sebesar 1% mendapatkan nilai porositas sebesar 9,2% dan variasi 1,5% mendapatkan nilai porositas sebesar 4,5 % dan variasi 2% mendapatkan nilai porositas 3,5%.

Keywords: Alumunium, remelting, Magnesium, fatik, porositas.

Pendahuluan

Logam adalah material alam yang sangat berguna dalam berbagai aspek kehidupan manusia, pada material logam dibagi menjadi dua yaitu logam besi (ferro) dan logam bukan besi (non ferro). Logam Ferro yaitu suatu logam paduan yang terdiri campuran unsur karbon dengan besi contohnya besi tempa dan baja. Sedangkan untuk logam non ferro adalah logam yang tidak mengandung unsur besi contohnya tembaga, Alumunium, timah dan lain-lain.

Kebutuhan material Alumunium mulai tahun 1980 khususnya pada komponen otomotif seperti piston, blok mesin, kepala silinder dan katup terus meningkat sampai saat ini, untuk mengurangi pencemaran limbah tersebut perlu diadakannya daur ulang, selain itu juga daur ulang akan menghemat bahan material baru dengan cara pengecoran logam [1].

Tungku induksi atau yang biasa disebut dengan tanur induksi yaitu bekerja dengan prinsip transformator dengan kumpulan primer dialiri arus AC dari

sumber tenaga dan kumpulan sekunder. Kumparan sekunder yang diletakan hasilkan arus induksi. Berbeda dengan transformator, kumparan sekunder digantikan dengan bahan baku peleburan serta dirancang sedemikian rupa agar arus induksi tersebut berubah menjadi panas yang sanggup mencairkan suatu benda material. Pada alur proses pembuatan mempunyai langkah-langkah seperti pembuatan catu daya, rangkaian inverter frekwensi tinggi, kapasitor bank, pembuatan kumparan kerja dan perakitan alat [2].

Kelebihan dari tungku induksi adalah peleburan bersih, mudah dalam mengatur kalor atau panas selain itu juga dapat dipakai untuk berbagai jenis material. Pada tungku induksi semakin tinggi suhu maka akan semakin banyak energi Panas yang terbuang kelilingkungan sekitar yang suhunya lebih rendah. Alumunium mempunyai titik leleh 600°C dan massa jenis $2,75 \text{ kg/m}$. Pemakaian Alumunium sebagai pengikat memiliki banyak keuntungan yaitu: Alumunium lebih ringan, tahan korosi, pengantar panas yang baik, non magnetik. Didalam bidang otomotif Alumunium dipadukan dengan Silikon (Al-Si) untuk pembuatan piston sebagai komponen penting dalam kendaraan [3].

Paduan Alumunium biasanya dipadukan dengan unsur-unsur antara lain: Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni dan masih banyak unsur paduan lainnya. masing-masing paduan ini mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dengan tujuan yang berbeda-beda pula. Magnesium (Mg) adalah unsur kedelapan yang paling berlimpah dan merupakan sekitar 2% dari berat kerak bumi dan merupakan unsur yang paling banyak ketiga terlarut dalam air laut, 4 magnesium sangat melimpah di alam dan ditemukan dalam bentuk mineral penting didalam bebatuan seperti dolomit. Penambahan unsur magnesium (Mg) akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada Alumunium tanpa terlalu menurunkan keuletan pada suatu bahan material, tingkat kekerasan paduan Alumunium juga ditentukan oleh persentase unsur paduan yang ditambahkan,

besarnya persentase dan unsur paduan yang ditambahkan juga akan berpengaruh pada struktur mikro hasil coran, dalam karakteristik suatu logam paduan, pengaruh ukuran butir merupakan bagian terpenting yang perlu mendapatkan perhatian karena parameter ukuran butir akan menentukan kekuatan mekanis logam paduan. Magnesium adalah salah satu unsur yang sering digunakan pada peleburan Alumunium, karena Penambahan magnesium akan meningkatkan nilai kekuatan, kekerasan dan menghaluskan butiran kristal secara efektif pada Alumunium supaya paduan cepat tercampur, biasanya magnesium yang digunakan berupa serbuk [3]. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui Pengaruh penambahan magnesium pada remelting piston bekas menggunakan tungku induksi terhadap kekuatan fatik, dan Pengaruh penambahan Magnesium (Mg) pada remelting piston terhadap pengujian porositas

Tinjauan Pustaka

1. Pengecoran Logam

Pada bidang industri proses pengelolaan logam, salah satunya menggunakan metode pengecoran (*casting*) masih menjadi pilihan utama dikarenakan proses pengecoran dapat mengerjakan sesuatu yang rumit dan kompleks, Logam yang paling banyak dipergunakan untuk pembuatan produk cor adalah Alumunium, disisi lain Alumunium mempunyai sifat mampu cor dan juga memiliki sifat mekanik yang kurang bagus, maka dari itu dipergunakan unsur paduan Alumunium. Tujuan dari penambahan unsur paduan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat mekanik pada Alumunium, hasil dari pengecoran Alumunium yang meliputi pembuatan alat rumah tangga, kesehatan, kontruksi bangunan. Dalam proses pengecoran logam juga mempunyai peranan penting didalam bidang otomotif untuk keperluan pembuatan komponen-komponen mesin seperti blok silinder, Head silinder,

piston, stang piston, sudu (*impeller*), poros rumah pompa, dan lain-lain [4].

2. Tungku Induksi

Tungku induksi atau biasa kita sebut tanur induksi telah banyak digunakan dalam berbagai industri dalam proses peleburan logam dan pada era modern seperti saat ini penemuan ini semakin berkembang pesat dan dapat dipergunakan sebagai dasar pembuatan pemanas induksi, dengan memanfaatkan energi listrik yang dihasilkannya, karena tungku induk silebih ramah lingkungan dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan sekitar. induksi ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1831, dimana proses pemanasan induksi terjadi ketika suatu logam atau benda kerja yang memiliki sifat kemagnetan terkena gelombang elektromagnetik dan akan menimbulkan induksi panas [2].

3. Penambahan Unsur Paduan Logam

Produk pengecoran logam terbuat dari bahan seperti magnesium, Alumunium, kuningan, perunggu, besi cor, baja cor dan untuk spesifik khusus didalam dunia industri telah dikembangkan berbagai jenis material contohnya: seng, nikel, crom timah dan lain -lain.

Paduan dalam Al-Mg-Si merupakan suatu fasa yang berada didalam larutan, Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antara logam kelebihan dari paduan Al-Si-Mg memiliki ketahanan korosi yang cukup baik. Paduan Al-Si juga memiliki sifat mampu cair yang sangat baik, 24 dan memiliki permukaan cukup bagus tanpa ketegasan panas, memiliki kualitas yang sangat baik untuk paduan coran [5].

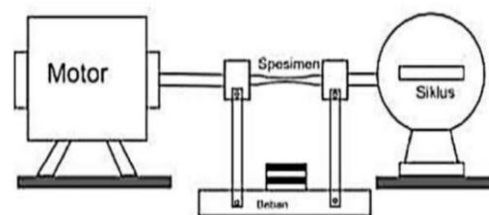
4. Remelting

Dalam proses pengecoran logam pada industri kecil tidak selalu menggunakan Alumunium murni biasanya menggunakan bahan yang tidak terpakai contoh nya piston motor bekas, Alumunium *scrap* atau *reject materials*. Material yang sebelumnya sudah di cor di sebut remelting. Remelting adalah metode pengecoran logam daur ulang dengan melebur kembali bahan

material yang sudah tidak terpakai, Hal ini bertujuan untuk mengurai limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan sekitar. Kelebihan dari daur ulang Remelting adalah biaya tidak terlalu mahal dan juga dapat memanfaatkan limbah dari sisa produksi, namun daur ulang remelting memiliki kekurangan yaitu kualitas bahan tidak sebgus pengecoran dengan material Alumunium tetapi masih dapat dipergunakan untuk benda yang tidak menerima gaya yang terlalu besar [6]. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengecoran logam adalah suhu penuangan, karena hal ini sangat berpengaruh terhadap hasil cetakan, suhu tuang pada Alumunium yang terlalu rendah maka akan menyebabkan rongga cetakan tidak akan terisi penuh dimana saluran masuk akan terbuka dan jika suhu tuang Alumunium terlalu tinggal makan akan menyebabkan penyusutan atau kehilangan akan keakuratan dimensi coran [3].

5. Pengujian Fatik

Pengujian fatik atau yang lebih dikenal dengan pengujian kelelahan merupakan kerusakan material yang di timbulkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih rendah dari *yield strength* material yang diberi beban koston.

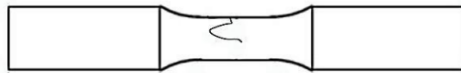


Gambar 1. Alat uji fatik

Uji kelelahan dan pengamatan bentuk patahan benda uji sangat penting dilakukan untuk material logam yang terkena beban berulang-ulang ini bertujuan mengetahui apakah material logam tersebut layak untuk digunakan pada pengaplikasian nya [7]. Dalam pengujian fatik terdapat tiga fase perpatahan yaitu :

Permulaan Retak

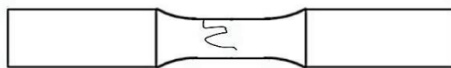
Cara kerja fatik umumnya diawali dari *crack Initiation* yang terjadi pada permukaan material yang lemah atau daerah dimana terjadi kontraksi tegangan di permukaan benda kerja, isi bagian tinjauan pustaka ditulis ringkas, dan hanya teori yang benar-benar digunakan sebagai dasar penelitian.



Gambar 2. Permulaan retak

Penyebaran Retak

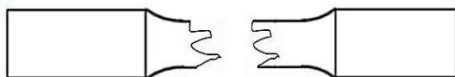
Crack initiation ini berkembang menjadi *microcracks*, atau perambatan perpaduan *microcracks* hal ini kemudian membentuk *macrocracks* yang akan berujung pada *failure*.



Gambar 3. Penjalaran retak

Perpatahan Akhir

Pada pengujian fatik perpatahan ini terjadi karena material telah mengalami siklus tegangan atau regangan yang dapat menghasilkan kerusakan secara fatal dan permanen.



Gambar 4. Perpatahan akhir

Kasus kegagalan yang dialami oleh komponen biasanya disebabkan oleh beban dinamis pembebanan yang berulang-ulang dan berbeda) dapat mengakibatkan suatu benda atau material yang terkena gaya akan mengalami patah (*fracture*). Terdapat dua kegagalan dalam komponen struktur yaitu kegagalan statik (merupakan kegagalan yang tidak tergantung pada waktu, dan juga ketahanan dinyatakan dengan kekuatan). Kedua pada kegagalan yang sangat bergantung pada saat waktu ketahanan terhadap kegagalan dinyatakan dengan umur atau usia.

6. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam pengujian fatik

Terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi dalam pengujian fatik yaitu :

- Suhu lingkungan faktor, suhu lingkungan sangat berpengaruh besar terhadap pengujian fatik, karena kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan pit korosi dan juga retak, pada benda uji yang hal tersebut menyebabkan tingkat kegagalan yang tinggi.
- Faktor tegangan sisa, faktor tegangan sisa mungkin saja terjadi pada saat pembuatan benda uji direduksi dengan cara melakukan pemakaian pahat sehalus mungkin pada benda uji, hal tersebut berguna agar supaya tidak menyebabkan tegangan sisa maupun tegangan lentur.
- Faktor komposisi kimia pada pengaruh komposisi kimia dalam pengujian fatik untuk seluruh benda uji pada satu kali proses pembuatan hal ini bertujuan agar mendapatkan kondisi pengujian yang standar untuk seluruh benda uji [8].

Metode Penelitian

1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2020, kemudian untuk tempat pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro. Bahan Aluminium yang digunakan limbah piston motor bekas kendaraan roda dua, temperatur tuang hasil pengecoran sebesar 700°C. Penambahan unsur Magnesium sebesar 1%, 1,5%, dan 2%. 4. Pengujian yang dilakukan adalah uji fatik dan uji porositas. Bahan Aluminium paduan yang didapatkan dari piston bekas serta Magnesium. Alat yang dipergunakan berupa timbangan, cetakan logam, thermogun, mesin gerinda, kertas amplas, jangka sorong, alat uji fatik, alat uji porositas.

2. Pembuatan dan peleburan

Benda uji spesimen pada peleburan benda uji spesimen mempunyai urutan atau langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Ingot Aluminium dan Magnesium dipotong dengan menggunakan mesin dengan dimensi yang kecil, Pemotongan ini dilakukan untuk mempermudah menghitung perbandingan paduan Al dan Mg pada saat proses pengecoran.
- b. Ditimbang sesuai dengan jumlah % paduan yang akan dibuat.
- c. Dapur lebur mulai dipanaskan.
- d. Ingot Aluminium dimasukkan ke dalam tungku peleburan, dan dileburkan hingga suhu 700°C.
- h. Proses pendinginan cairan logam dibiarkan hingga membeku dalam temperatur kamar.
- i. Proses *finishing*, proses ini terbagi menjadi :
 - 1. Periksa pada produk coran.
 - 2. Pembersihkan pada produk coran.
 - 3. Pemotongan bagian yang tidak sesuai cetakan.
 - 4. Penyesuaian ukuran dengan cara proses *machining*,
 - 5. Memperbaiki sifat mekanik logam pengecoran dengan perlakuan panas [9].

3. Alur proses pengecoran

Unsur paduan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Aluminium paduan (Al-Si) dari piston motor bekas dan penambahan magnesium sebesar 1%, 1,5% dan 2%. Alur dari proses pengecoran meliputi

- a. Persiapan cetakan dalam penelitian ini menggunakan cetakan logam.
- b. Menyiapkan bahan paduan unsur paduan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Magnesium (Mg) sebesar 1%, 1,5%, dan 2%.
- c. Penimbangan unsur paduan penimbangan unsur paduan bertujuan untuk menentukan komposisi paduan agar sesuai dengan ketentuan.
- d. Pencampuran paduan setelah proses penimbangan selesai tahap selanjutnya adalah mencampur dan memasukkan bahan paduan ke dalam wadah (krusibel).
- e. Persiapan burner *furnace* bahan dimasukkan kedalam *furnace* dan menyetel temperatur suhu hingga mencapai 700°C.
- f. Pengadukan setelah benda kerja dicairkan kemudian *furnace* dibuka dan dilakukan pengadukan selama beberapa saat.
- g. Penuangan cairan logam setelah benda kerja mencair, lalu dituangkan kedalam cetakan logam.

4. Spesimen uji

Pada pengujian porositas pada pengujian porositas spesimen uji didesain berbentuk balok dengan ukuran 30 mm x 30 mm x 10 mm. Hal ini bertujuan agar mempermudah dalam proses pengujian dan memperoleh hasil yang baik. Pengujian fatik memiliki langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Pada pengujian sebelum pengambilan data, diharapkan melakukan pengujian tarik terlebih dahulu agar mendapatkan nilai *yield strength*.
- b. Setelah mengetahui nilai *yield strength* dari pengujian tarik, maka tahap selanjutnya menentukan berat pembebanan.
- c. Pemasangan benda uji atau spesimen pada pencengkam dan diikat dengan kuat.
- d. Pemasangan cover transparan.
- e. Menghubungkan kabel jala listrik ke sumber daya.
- f. Membuka atau memutar ke arah kanan tombol panic.
- g. Mengendorkan roda beban berlawanan arah jarum jam (tidak sampai lepas), atau tanpa beban.
- h. Mengatur Tampilan *forcemeter* menjadi nol, dengan cara memutar potensio disisi kanan panel.
- i. Mereset *countermeter* dan menekan tombol reset di panel.

- j. Menekan tombol *Run-Stop* untuk pengaktifan *motor speed control*.
- k. Menekan tombol *Start* pada *speed control*, frekuensi ditingkatkan secara bertahap sampai putaran tertentu.
- l. Mengamati *forcemeter* dan *countermeter* untuk keperluan data.
- m. Mesin akan berhenti secara otomatis bila benda uji mengalami putus atau patah.
- n. Melepaskan hubungan kabel jala listrik ke sumber daya.
- o. Mengeluarkan patahan benda uji spesimen dari ruang mesin uji fatik.

5. Langkah Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan dari material dengan persentase penambahan unsur Magnesium sebesar 1% di, 1,5%, dan 2% dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Memotong ujung material dari sisa pengujian fatik.
- b. Ukur panjang dengan presisi, panjang 3 cm, tinggi 0,7 dan lebar 2 cm.
- c. Ukur massa kering dari material.
- d. Masukkan material uji ke dalam wadah yang berisi air dan *holding* selama 10 menit.
- e. Kemudian mengukur massa basah material.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian sesudah melakukan penelitian pada pengujian fatik dan porositas yang dilaksanakan untuk memperoleh sampel dan data-data yang diperlukan sebagai bahan kajian eksperimen.



Gambar 5. Proses peleburan



Gambar 6. Spesimen



Gambar 7. Proses uji fatik

1. Hasil pengujian fatik

Setelah dilaksanakan pengujian fatik yang telah dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro maka didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian fatik

No	Penambahan paduan magnesium	0 %	1 %	1,5 %	2 %
1	L (mm)	44	44	44	44
2	D (mm)	6	6	6	6
3	Beban (Newton)	5	5,10	5,22	5,42
4	Putaran (rpm)	1000	1000	1000	1000
5	Tegangan fatik (MPa)	306	306	306	306
6	Siklus	5000	5100	5220	5420

Penjelasan tabel di atas didapatkan data pengujian fatik dengan nilai tertinggi pada spesimen dengan variasi penambahan unsur Magnesium sebesar 2% dengan nilai siklus sebesar 5.420, sedangkan untuk

variasi sebesar 1,5 mendapatkan nilai siklus sebesar 5.220 dan untuk variasi yang paling terendah sebesar 1% dengan nilai siklus sebesar 5.100. Kemudian variasi yang tidak memiliki penambahan unsur Magnesium 0% memperoleh nilai siklus sebesar 5.000. paduan dalam Al-Mg-Si merupakan suatu fasa yang berada di dalam larutan, Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antara logam Al-Mg₂-Si, kelebihan dari paduan Al-Si-Mg memiliki ketahanan korosi yang cukup baik artinya semakin tinggi nilai penambahan unsur maka nilai kekuatan fatik yang akan dihasilkan semakin tinggi.

2. Hasil pengujian porositas

Hasil Pengujian porositas Setelah dilaksanakan pengujian porositas yang telah dilakukan di Labolatorium Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro maka di dapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil Pengujian Porositas

No					Rata-Rata
1	Penambahan Unsur Paduan Magnesium	1%	1,5 %	2 %	
2	Apperent Density (gr/cm)	2,452	2,579	2,608	2,605
3	True Destiypt h (gr/cm)	2,7	2,7	2,7	2,7
4	Presentase Porositas (P) %	9,2	4,5	3,5	3,6

Pada tabel di atas didapatkan nilai porositas tertinggi yaitu spesimen dengan variasi sebesar 2% dengan nilai porositas sebesar 3,5 dan porositas terkecil didapat dari penambahan unsur Magnesium sebesar 1% dengan nilai porositas sebesar 9,2% sedangkan untuk variasi 1,5% memperoleh nilai porositas sebesar 4,5%,. Artinya semakin tinggi nilai penambahan unsur

maka akan semakin rendah porositas yang akan dihasilkan, nilai porositas tersebut dapat dilihat berdasarkan penimbangan pada saat di udara dan di dalam air pada penelitian untuk sebuah material. Paduan Al-Si juga memiliki sifat mampu cair yang sangat baik, dan memiliki permukaan cukup bagus tanpa ketegasan panas, selain itu memiliki kualitas yang sangat baik untuk paduan coran, sehingga dapat mengurangi porositas pada benda uji [10].

Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan penelitian *remelting* piston bekas menggunakan tungku induksi terhadap kekuatan fatik dan porositas, memperoleh kesimpulan bahwa paduan Al-Si-Mg memiliki sifat mampu cair yang sangat baik, dan memiliki permukaan cukup bagus tanpa ketegasan panas, selain itu memiliki kualitas yang sangat baik untuk paduan coran. Dari hasil *remelting* piston motor bekas pada pengujian fatik setiap spesimen dengan variasi penambahan unsur magnesium sebesar 1%, 1,5% dan 2%, memakai temperatur tuang sebesar 700°C, dengan putaran 1000 rpm, didapatkan data pengujian fatik dengan nilai tertinggi pada spesimen dengan variasi penambahan unsur Magnesium sebesar 2% dengan nilai siklus sebesar 5.420, sedangkan untuk variasi sebesar 1,5 mendapatkan nilai siklus sebesar 5.220 dan untuk variasi yang paling terendah sebesar 1% dengan nilai siklus sebesar 5.100. Kemudian variasi yang tidak memiliki penambahan unsur Magnesium memperoleh nilai siklus sebesar 5.000.

Pada proses pengujian Porositas spesimen dengan penambahan unsur magnesium 1%, 1,5% dan 2% menggunakan temperatur tuang sebesar 700°C didapatkan nilai porositas tertinggi yaitu spesimen dengan variasi sebesar 2% dengan nilai porositas sebesar 3,2% dan porositas terendah didapat dari penambahan unsur magnesium sebesar 1% dengan nilai porositas sebesar 9,2 sedangkan untuk variasi 1,5% memperoleh nilai porositas sebesar 4,5 %.

Referensi

- [1] Agung Dwi W, Danar Susilo W, Budi Harjanto. 2012. "Pengaruh Variasi Jenis Cetakan Dan Penambahan Serbuk Dry Cell Bekas Terhadap Porositas Hasil Remelting Al-9% Si Berbasis Piston Bekas", Teknik Mesin. pendidikan Teknik dan Kejuruan FKIP. UNS Pabelan. Sukarakarta.
- [2] [2] Syabardia, Herman Sumantri, Aldi Suryaman. 2018. "Pembuatan Tungku Induksi Sederhana". Teknik Mesin. Universitas Diponegoro.
- [3] Eko Budiyo, Eko Nugroho, Agus Zainudin. 2018. "Uji Kekuatan Fatik Aluminium Scrap Bekas Hasil Remelting Menggunakan Alat Uji Fatik Tipe Rotary Bending". Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Metro.
- [4] Suyitno, Urip Agus Salim, Muslim Mahardika. 2016. "Aplikasi Cetakan Permanen Untuk Meningkatkan Produksi Dan Kualitas Produk IKM Pengecoran Logam Kuningan Di Ngawen Sidokarto Godean, Yogyakarta". Teknik Mesin Dan Industri, Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- [5] Martin Doloksaribu, Sri Bimo Pratomo. 2014. "Variasi Jenis Dan Metode Pembuatan Cetakan Pasir Terhadap Cacat Penyitrenan Untuk Produk Housing Dan Frame". Balai Besar Logam Dan Mesin, Kementerian Perindustrian.
- [6] Dedi Dwi W. 2019. "Pengaruh Serbuk Ti-AL Dengan Matriks Al-Si Terhadap Kekerasan Dan Porositas Pada Piston kendaraan". Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Malang.
- [7] Bambang Pratmono, Novran Apriansyah. 2016. "Analisa Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah Dengan AC10 Tipe Rotary Bending". Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Bandar Lampung. Lampung.
- [8] Nanang Tawaf, Wahyono Suprpto, Anindito Purnowidodo. 2014. "Analisa Fatigue Failure Suhu Rendah Struktur Batang Duralumin Dengan Siklus Bending". Teknik Mesin. Faklutas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- [9] Rudi Siswanto, Abdul Ghofron Dan Komang Aria K. K. 2018. "Analisa Porositas Dan Kekerasan Paduan Al-12,6%Si Dengan Variasi Waktu Tunggu Dalam Cetakan Dan Media Pendingin Hasil Pengecoran Evaporative". Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Lambung Mangkurat.
- [10] Aang Kurniawan, Susilo adi W, Yusuf Umardhani. 2013. "Pengaruh Temperatur Cetakan Pada Cacat Visual dengan Metode Die Casting". Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [11] Budiyo, 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).
- [12] Nugroho, E., Budiyo, 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).
- [13] Wahyono, W., Nugroho, E., Handono, S. D., & Budiyo, 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.
- [14] Indratmoko, A. L., Nugroho, E., Asroni, A., & Budiyo, E. (2020). Pengaruh Holding Time dan media pendingin pada proses quenching terhadap kekerasan dan kekuatan Impact pegas daun sebagai alternatif pengganti pisau slicer penuai tebu. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 1(2), 82-95.

- [15] 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).