



Pengaruh Unsur Magnesium (Mg) terhadap Sifat Mekanis dan Fisik pada Paduan Aluminium

Effect of Elemental Magnesium (Mg) on the Mechanical and Physical Properties of Aluminum Alloys

Surya Irawan

Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia

Corresponding author*: surya.irawan310864@gmail.com

Abstrak

Pengaruh komposisi magnesium (Mg), pada metode stir casting terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro aluminium. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh paduan unsur magnesium (15%), terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada aluminium. Proses pengecoran paduan aluminium dilakukan dengan suhu 720°C dengan putaran stir casting sebesar 110 rpm selama 115 menit tiap proses peleburan spesimen. Penelitian ini dilakukan pada spesimen aluminium dengan nilai kekerasan raw material nya sebesar VHN 82,6gf/mm². Paduan unsur magnesium 5% angka kekerasannya rata-rata VHN Vicker 86,06 gf/mm² dan penambahan unsur Mg 10% menghasilkan nilai kekerasan VHN rata-rata 86.66 gf/mm² dan penambahan unsur Mg 15 % di dapat angka kekerasan rata-rata VHN 91,67 gf/mm². Uji struktur mikro dengan unsur paduan aluminium yang dicor dengan metode stir casting, dengan paduan magnesium (Mg) angka tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasannya, karena dengan penambahan unsur magnesium memiliki angka kekerasan naik dan distribusi dan bentuk struktur butiran fasa aluminium paduan yang cenderung menggumpal dengan ukuran butiran lebih kecil hambatan korosinya dan jarak antar butirnya mengelompok. Rata Vicker 82.6 gf/mm² dan penambahan unsur magnesium 5% menghasilkan nilai kekerasan VHN rata-rata 86.06 gf/mm² dan penambahan Unsur magnesium 10% angka kekerasan VHN rata-rata 86.66 gf/mm² dengan paduan unsur 15% didapat angka kekerasan rata-rata 91.67 gf/mm² angka tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasannya, karena dengan penambahan unsur magnesium.

Kata Kunci: Stir casting, Nilai Kekerasan, Struktur Mikro.

Abstract

Effect of magnesium (Mg) composition on the stir casting method on the hardness value and microstructure of aluminum. The purpose of this study was to determine the effect of magnesium alloy (15%) on the hardness value and microstructure of aluminum. The aluminum alloy casting process was carried out at 720°C with a stir casting rotation of 110 rpm for 115 minutes for each specimen melting process. This research was conducted on aluminum specimens with a raw material hardness value of VHN 82.6gf/mm². An alloy of 5% magnesium has an average VHN Vicker value of 86.06 gf/mm² and the addition of 10% Mg results in an average VHN hardness value of 86.66 gf/mm² and the addition of 15% Mg gives an average hardness value of 91 VHN .67 gf/mm². Microstructure test with aluminum alloy elements cast by the stir casting method, with magnesium (Mg) alloys this figure greatly affects the hardness value, because with the addition of magnesium elements the hardness number increases and the distribution and shape of the grain structure of the aluminum alloy phase tend to agglomerate with a smaller grain size corrosion resistance and the distance between the grains is clustered. The Vicker average is 82.6 gf/mm² and the addition of 5% magnesium element produces an average VHN hardness value of 86.06 gf/mm² and the addition of 10% magnesium element averages VHN hardness value of 86.66 gf/mm² with 15% alloying element obtains an average



All Fields of Science J-LAS

Jurnal Penelitian

Available Online: <https://j-las.lemkomindo.org/index.php/AFoSJ-LAS/index>



hardness value 91.67 gf/mm² this number greatly affects the hardness value, because of the addition of magnesium.

Keywords: Stir casting, Hardness Value, Microstructure.

PENDAHULUAN

Upaya peningkatan kebutuhan barang-barang produksi pada era sekarang dengan kebutuhan dan permintaan yang menuntut kualitas barang yang lebih dengan seiringnya kemajuan teknologi masa sekarang. Dengan demikian para ahli teknik melakukan upaya berbagai penelitian meningkatkan hasil produksi salah satunya berupa pengolahan logam dengan proses melalui pengecoran maupun produksi, hingga saat ini banyak dimanfaatkan sebagai elemen produksi yang digunakan. Bahan teknik dapat dikelompokkan dalam kelompok logam, bukan logam dan komposit. Hal ini dapat disebutkan sebagai kelompok secara teknisnya. Bahan logam dapat dipaparkan menjadi dua bagian, yakni logam besi (ferro) dan bukan besi (non ferro). Logam bukan besi (non ferro) yakni logam yang tidak mengandung unsur besi,



Gambar 1. Ingot Magnesium

Spesifikasi: 7,5kg \pm 0,5kg setiap ingot Warna: Perak cerah, Penampilan: Permukaannya berkilau perak metalik. Komposisi utama: Magnesium Bentuk: bentuk ingot Permukaannya halus dan bersih, Kualitas permukaan: bebas dari oksidasi, perawatan pencucian asam. Pada tabel 1 menunjukkan komposisi kimia ingot Magnesium.

Tabel 1. Komposisi kimia Ingot Magnesium

Purity	Content of chemical (%)											
	Mg ²⁺	Fe	Si	Ni	Cu	Al	Mn	Ti	Pb	Sn	Zn	Others
Mg999	99.99	0.002	0.002	0.0003	0.0003	0.002	0.002	0.0005	0.001	0.002	0.003	-
Mg998	99.98	0.002	0.003	0.0005	0.0005	0.004	0.002	0.001	0.001	0.004	0.004	-
Mg995	99.95	0.005	0.015	0.001	0.002	0.015	0.015	-	0.005	0.005	0.01	0.01
Mg990	99.90	0.04	0.03	0.001	0.004	0.02	0.03	-	-	-	0	0.01

Magnesium merupakan unsur kimia yang memiliki simbol Mg, nomor atom 12 dan massa atom 24,31. Pada tabel periodik, magnesium termasuk golongan alkali tanah. Magnesium murni mempunyai ciri fisik berwarna putih keperakan, termasuk logam dengan berat ringan yang hanya 2/3 dari berat logam aluminium..

METODE PENELITIAN

Sebelum melakukan penelitian, peneliti mempersiapkan pembuatan cetakan spesimen untuk wadah dari hasil pengecoran yang akan dibuat. Cetakan kayu dibuat dengan model cup dan drug. Material kayu yang digunakan untuk membuat cetakan adalah kayu bebas. Pola dibentuk menggunakan kayu dengan ukuran 100mm \times 20mm \times 20mm. ukuran pola tersebut disesuaikan dengan ukuran spesimen yang dibutuhkan dalam

pengujian yang dilakukan.

Proses penelitian yang dilakukan oleh penulis melalui tahapan diantara lain sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan komposisi bahan penelitian pengecoran paduan aluminium diantaranya aluminium ingot batang, unsur magnesium (Mg),
- 2) Menimbang berat komposisi unsur tiap paduan variasi spesimen yang ditentukan, termasuk juga bahan raw material nya.
- 3) Menyiapkan peralatan tungku peleburan serta alat stir casting dan membuat cetakan pasir sesuai bentuk pola spesimen yang dibuat.
- 4) Masukkan paduan aluminium beserta unsur yang ditimbang sesuai nomor urut variasi paduan yang ditentukan termasuk bahan raw material nya.
- 5) Waktu peleburan yang ditetapkan yaitu 90 menit dan proses mixer stir casting selama 10 menit dengan putaran 300 rpm setiap satu proses peleburan hingga temperatur tungku mencapai 700°C menggunakan alat thermometer infrared.
- 6) Menuangkan pada cetakan pasir yang sudah siap dituang. g. Menunggu selama 10 menit setelah proses penuangan.
- 7) Mengulang proses tersebut hingga semua spesimen terpenuhi jumlah dan hasil yang diinginkan Kemudian spesimen raw material dilakukan pengujian kekerasan dan analisa uji struktur mikro guna mengetahui pengaruh perubahan pada material.

Proses penelitian ini dilakukan dengan kondisi waktu peleburan tetap selama 90 menit dan 10 menit proses stir casting dengan putaran 300 rpm dalam satu kali proses peleburan. Variasi peleburan yang dilakukan berjumlah dua puluh delapan kali proses penambahan termasuk raw material nya dengan komposisi variasi spesimen yang ditentukan sselama proses peleburan aluminium. Penelitian ini difokuskan pada hasil pengujian karakteristik hasil coran dari spesimen yang dicetak.

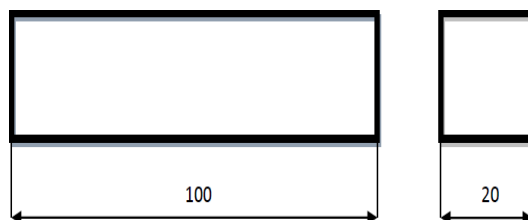
1) Alat dan Bahan Penelitian

a) Alat Penelitian

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu sendok pasir, tungku pelebur, termokopel, sendok baja pengaduk, cetakan kayu, stopwatch, timbangan digital, mesin frais universal, microvickers hardness test dan mikroskop optik metalurgi.

b) Bahan Penelitian & Spesimen :

- Aluminium sebanyak 5 Kg
- Magnesium ingot 99% murni sebanyak 200 gr.
- Pola spesimen yang berukuran sebagai berikut:



Gambar 2. Spesimen.

2) Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang dibutuhkan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

a) Variabel bebas

Adapun variabel bebas dalam penelitian ini ialah pengecoran menggunakan metode stir casting dengan variasi penambahan 3 unsur yaitu magnesium, mangan, dan silikon dengan persentase (Mg) (5%, 10%, 15%),

b) Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kekerasan dan struktur mikro.

c) Variabel kontrol

Adapun variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

- Jenis aluminium yang akan digunakan adalah aluminium dengan kandungan 97.93%.
- Proses stir casting dengan putaran 300 rpm selama 10 menit dalam pengecoran
- Penambahan unsur magnesium (Mg) (5%, 10%, 15%),
- Lama waktu pembongkaran
- cetakan pasir dilakukan 10 menit setelah proses penuangan.
- Pembuatan spesimen dilakukan dengan proses machining dengan standar yang ditentukan.
- Pengujian kekerasan dengan metode mikrovickers untuk semua spesimen.
- Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik yang diambil dari tiga spesimen yang tinggi nilai kekerasannya.

3) Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu dengan dokumentasi dan uji laboratorium. Dokumentasi dilakukan dengan mendokumentasikan setiap peristiwa-peristiwa yang dilakukan sehingga terjadi kronologi peristiwa yang runtut sesuai diagram alir penelitian. Dokumen dapat berupa tulisan, gambar, atau benda-benda. Penulis mendokumentasikan dan mencatat hal - hal penting selama penelitian. Dalam penelitian ini, spesimen yang telah dilakukan proses perlakuan panas dengan variasi waktu penahanan yang berbeda kemudian diuji kekerasan dan diamati struktur mikronya.

Penelitian ini menggunakan teknik pengambilan data observasi terstruktur. Menurut Sugiyono (2012:146) observasi terstruktur ialah observasi yang disusun secara sistematis mengenai objek-objek yang akan diteliti, kapan, dan dimana tempat penelitian dilakukan.

4) Uji Kekerasan

Uji kekerasan dengan menggunakan metode mikrovickers dengan microindentation Vickers dengan menggunakan standar ASTM E92 yaitu dengan pembebanan 100 gf. Indentor yang digunakan yaitu indentor berbentuk kerucut intan dengan sudut bidang yang berhadapan yaitu 136°. Angka kekerasan diambil secara acak pada permukaan spesimen dengan masing-masing 3 titik pengujian.

Tabel 2. Parameter Penelitian

No.	Variasi unsur Magnesium, Mangan, Silikon	Waktu (menit)	Angka kekerasan <i>Vickers</i> (gf/mm ²)			Rata-rata
			Uji 1	Uji 2	Uji 3	
R	<i>Raw material</i>	100				
1	5%, 1%, 1%	100				
2	10%, 1%, 1%	100				
3	15%, 1%, 1%	100				

5) Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan cara mengamati secara langsung spesimen. Sebelum pengamatan dilakukan, permukaan spesimen dipotong dan dihaluskan dengan cara pengamplasan secara perlahan sehingga didapatkan permukaan yang rata. Pengamatan pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mesin uji struktur mikro dengan perbesaran 100x. Pengujian struktur mikro dilakukan guna menganalisa struktur maupun penyebaran distribusi partikel didalam spesimen dengan variasi penambahan unsur yang ditentukan. Lama dan kecepatan putaran stir casting sangat berpengaruh terhadap partikel paduan unsur yang dilebur dalam proses peleburan spesimen. Paduan Spesimen Penambahan Unsur Magnesium 5%,10%,15%.

6) Kalibrasi Instrumen

Kalibrasi yaitu proses menentukan kebenaran nilai petunjuk alat ukur dan bahan ukur dengan melalui perbandingan terhadap standar ukur baik national maupun international untuk satuan ukuran dan bahan- bahan tersertifikasi. Dalam penelitian ini alat ukur yang dikalibrasi adalah mesin uji kekerasan.

7) Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ialah menggunakan metode statistik deskriptif. Statistik deskriptif adalah statistik yang berfungsi memberi gambaran terhadap data yang telah dikumpulkan tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang umum (Sugiyono,2012:147). Data yang telah terkumpul kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel sehingga lebih mudah dipelajari maksudnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data kekerasan dari masing-masing spesimen yang telah dipadukan dengan komposisi yang berbeda. Pengambilan data dilakukan dengan pengujian pada tiap spesimen menggunakan mesin Microhardness Tester (FM-

800) untuk mengetahui nilai kekerasannya. Proses pengujian kekerasan dilakukan dengan cara mengambil 3 titik dengan permukaan uji dengan pembebanan 100gf pada tiap spesimen, kemudian data yang diperoleh diambil rata-ratanya untuk menghasilkan perbandingan rata-rata kekerasan permukaan dari seluruh permukaan spesimen yang diuji.



Gambar 3. Pengujian kekerasan

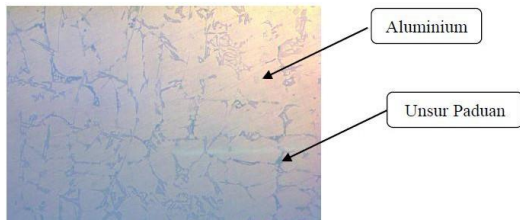
Proses pengujian struktur mikro dilakukan dengan perbandingan tiga paduan spesimen yang memiliki nilai kekerasan yang baik, untuk mengetahui struktur tiap spesimen. Sebelum melakukan pengujian struktur mikro, spesimen harus mencapai tingkat kehalusan permukaan yang baik dengan cara diampas, kemudian spesimen melalui proses etsa dengan campuran hidrofluorida asam (HF) 10ml, nitrid asam (HNO₃) 1 ml, dan air 200 ml. Pengujian struktur mikro menggunakan mesin Infinity 2 Lumenera dengan perbesaran 100kali.



Gambar 4. Pengujian struktur mikro

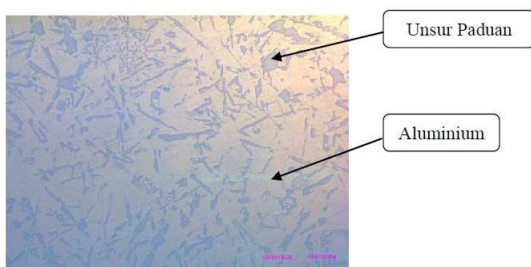
Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro digunakan untuk menganalisa struktur maupun penyebaran distribusi partikel didalam tiap spesimen yang diambil tiga dari duapuluh tujuh paduan aluminium yang dinilai tinggi tingkat kekerasannya. Paduan aluminium pengamatan struktur mikro yang diambil yaitu unsur magnesium sebesar 5%, 10%, 15%. Pengamatan dalam penelitian struktur mikro ini menggunakan perbesaran 100 kali.



Gambar 4.5 Hasil foto struktur mikro paduan 5%, 10%, 15% Mg dengan perbesaran 100x

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro paduan aluminium menggunakan metode stir casting terbentuk beberapa fasa diantaranya fasa aluminium dan fasa aluminium paduan.



Gambar 6. Hasil foto struktur mikro paduan 5%, 10%, 15% Mg dengan perbesaran 100x.

Nilai Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dengan metode Vickers menunjukkan bahwa raw material mempunyai tingkat kekerasan yang paling rendah bila dibandingkan dengan hasil pengecoran aluminium dengan penambahan unsur magnesium (Mg) sebesar 5%, 10%, 15%. Dari keseluruhan data yang disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 3. paduan spesimen

No	Variasi Unsur Mg (Magnesium)	Waktu (Menit)	Angka Kekerasan Vickers (gf/mm ²)			Rata-rata
			Uji 1	Uji 2	Uji 3	
R	Raw Material	110	82	82,5	83.3	82.6
1	5 % Mg	110	86.4	85.3	86.5	86.06
2	10 % Mg	110	87	86	87	86.66
3	15 % Mg	110	90	92	93	91.67

pada Gambar di atas diketahui spesimen terlihat meningkat nilai kekerasannya, hal tersebut berhubungan dengan pengaruh unsur paduan yang berpengaruh terhadap ukuran butir aluminium maka jarak antar butirnya semakin rapat, sehingga spesimen tersebut menjadi keras. Paduan nomor pada tabel di atas dengan tanpa magnesium angka kekerasan rata Vicker 82.6 gf/mm² dan penambahan unsur magnesium 5% menghasilkan nilai kekerasan VHN rata-rata 86.06 gf/mm² dan penambahan Unsur magnesium 10% angka kekerasan VHN rata-rata 86.66 gf/mm² dengan paduan unsur 15% didapat angka kekerasan rata-rata 91.67 gf/mm² angka tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasannya, karena dengan penambahan unsur magnesium (Mg)

Struktur Mikro

Struktur mikro hasil paduan unsur magnesium (dengan aluminium pengecoran dengan metode stir casting). Lama dan kecepatan putaran dari stir casting sangat berpengaruh dimana mixer untuk mengaduk cairan aluminium dan paduan unsur dengan tujuan menghindari terjadinya gumpalan paduan unsur yang tidak terdistribusi merata dengan aluminium sehingga menghasilkan kekerasan yang tidak merata. Dari hasil gambar foto struktur mikro dapat dilihat seberapa pengaruh persentase paduan unsur yang ditambah merupakan hasil paduan aluminium yang mempunyai struktur yang baik. Pada hasil paduan unsur magnesium (Mg) 5%, 10%, 15%, ditunjukkan pada gambar di atas, sedangkan fasa aluminium paduan (berwarna kelabu kehitam-hitaman) merupakan meningkatnya kekuatan, kekerasan dan menghambat laju korosi pada paduan aluminium. Pada paduan aluminium yang dicor dengan metode stir casting, dengan paduan magnesium (Mg) 15%,

SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada pengaruh pada paduan unsur magnesium (Mg), silikon (Si) dan mangan (Mn) pada proses pengecoran aluminium dengan metode stir casting hasil dapat disimpulkan bahwa:

1. Unsur paduan berpengaruh terhadap tingkat kekerasan aluminium dengan proses pengecoran stir casting. Nilai kekerasan dengan paduan unsur magnesium 15%, mangan 2%, silikon 5% dan aluminium 78% memiliki tingkat kekerasan yang paling tinggi menghasilkan nilai kekerasan 157 VHN dengan perbandingan raw material sebesar 83,6 VHN.
2. Pengamatan uji struktur mikro dengan unsur paduan paduan aluminium yang dicor dengan metode stir casting, dengan paduan magnesium (Mg) 15%, mangan (Mn) 2%, silikon (Si) 5% memiliki distribusi dan bentuk struktur butiran fasa aluminium paduan yang cenderung menggumpal dengan ukuran butiran lebih kecil hambatan korosinya dan jarak antar butirnya mengelompok.

Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka pada penelitian selanjutnya khususnya pada bidang industri pengolahan bahan, supaya memperhatikan bahan baku pengecoran logam dan paduan unsur dengan metode stir casting yaitu menentukan komposisi presentase unsur yang tepat, paduan 15% magnesium (Mg). memenuhi peningkatan nilai kekerasannya mencapai 157 VHN dibanding dengan raw material sebesar 83,6 VHN.

DAFTAR PUSTAKA

- Adril, E., Zulfikar., S. M. D. Basa dan N. Firmawati. 2010. Pengaruh Penambahan Mangan Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium A7075. *Jurnal Poli Rekayasa* 6(1): 41-47.
- ASM International. 2000. *ASM Handbook Volume 8th Mechanical Testing and Evaluation*. United States of America: ASM International.
- Bahtiar dan L. Soemardji. 2012. Pengaruh Temperatur Tuang dan Kandungan Silikon

- Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Al-Si. *Jurnal Mekanika* 3 (2): 311-316.
- Bayuseno dan Chamdani. 2011. ACD 12 Sebagai Material Sepatu Rem Menggunakan Pengecoran High Pressure Die Casting Dengan Variasi Temperatur Penuangan. *Jurnal Rotasi* 13(1): 17-23.
- Callister, W.D. 1999. *Material Science and Engineering and Introduction*. Fifth Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Cholis. 2013. Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium. *Jurnal nossle* 1-6.
- Diester. 1961. *Mechanical Metallurgy*. Penerbit: New York, McGraw-Hill.
- El-Karomi, K, S., B. Harjanto dan Subagsono. 2011. Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Tingkat Kekerasan, Struktur Mikro dan Kekuatan Impact Pada Velg Aluminium (Al-0,5% Si). *Jurnal Nossel* 1-6.
- George, E dan Dieter. 1961. *Mechanical Metallurgy*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- 1Hay dan A. A. Firdaus. 2013. Penambahan Unsur Mangan Dalam Paduan Aluminium Silikon Sebagai Upaya Pencegahan Terjadinya Pelengkakan Material Pada Baja Cetakan H13. *Jurnal Teknik Mesin* 7 1-8.
- Kartika. 2012. Pengaruh Penambahan Mangan Terhadap Sifat Mampu Tempa Paduan Co- 35Cr-5Mo Untuk Aplikasi Implan. *Jurnal Metalugri* 27(2): 95-104.
- Khairuddin Tampubolon, Fider Lumbanbatu (2020), Analisis Penggunaan Knalpot Berbahan Komposit Untuk Mengurangi Tingkat Kebisingan Pada Motor Suzuki Satria, *Jmemme: Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy*, 4(2), 174-182.
From: <http://www.ojs.uma.ac.id/index.php/jmemme/article/view/4065>
- Elazhari, 2019. *Policy In the development of social development in society: Study of implementation of regional regulation number 4 of 2008 concerning handling of homeless and beggar in the ...*
- Khairruddin Tampubolon, & Koto, F. R. (2019). Analisis Perbandingan Efisiensi Kerja Mesin Bensin Pada Mobil Tahun 2000 Sampai Tahun 2005 Dan Mobil Tahun 2018 Serta Pengaruh Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Cara Perawatannya Sebagai Rekomendasi Bagi Konsumen. *Jmemme: Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy*, 3(2), 76-83.
From [Http://Ojs.Uma.Ac.Id/Index.Php/Jmemme/Article/View/2773](http://Ojs.Uma.Ac.Id/Index.Php/Jmemme/Article/View/2773)
- Wispi Elbar, Khairuddin Tampubolon, (2020), Pengaruh Campuran Silikon Pada Aluminium Terhadap Kekerasan Dan Tingkat Keausannya, *Jmemme: Journal Of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials And Energy*, 4(2), 183-196.
From: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jmemme/article/view/4070>
- Surya Irawan, Khairuddin Tampubolon (2021); Pengaruh Unsur Fe dan Penambahan Grain Refiner Al-5TiB Terhadap Morfologi Fasa Intermetalik dan Sifat Mekanis Pada Paduan Zamak 3, *Jurnal: Journal Of Mechanical Engineering Manufactures Materials And Energy*, V.5, No.2 (hal:96-114),
URL: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jmemme/article/view/4629>