

e.7.PROSIDING_SNTTM_XVII_20
18_KUPANG_1_6-
8_Okt_2018_-5-9.pdf
by

Submission date: 20-Sep-2021 01:53PM (UTC-0500)

Submission ID: 1653185082

File name: e.7.PROSIDING_SNTTM_XVII_2018_KUPANG_1_6-8_Okt_2018_-5-9.pdf (1.03M)

Word count: 2481

Character count: 14945

The Effect of Pour Temperature and Cooling Media on Porosity and Hardness of Al-12.6%Si Alloy Using Wet Sand Mold Casting

Rudi Siswanto^{1*} dan Muhammad Dhahsyad²

^{1,2}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

*Corresponding author: rudi_siswanto@yahoo.co.id/rudiswanto@ulm.ac.id

Abstract. The purpose of this research is to know the influence of casting temperature and cooling media on porosity and hardness of foundry product. The foundry method uses gravity casting. The mold used is wet sand mold. The material used Al-12,6% Si alloy (scrap) from piston. The melting furnace uses a crucible furnace. Al alloy (scrap) is heated in furnace until melted, then poured into mold with variation of casting temperature 650 °C and 700 °C. Then cooled in mold for 10 minutes. Furthermore, castings are removed from the mold and then cooled with variations of coolant medium; air, water and brine for 30 minutes. From the test results indicate that; (1) The pour temperature and the type of cooling medium is highly distorted to the porosity and hardness of the castings. (2) The higher the pouring temperature, the porosity value tends to decrease (water cooling medium and brine). (3) The higher the casting temperature, the castings hardness tends to increase.

Keywords : Al-12% Si alloy, pour temperature, coolant medium, porosity, hardness.

Abstrak. Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh temperatur tuang dan media pendingin terhadap porositas dan kekerasan dari produk hasil pengecoran. Metode pengecoran menggunakan pengecoran tuang. Cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir basah. Material yang digunakan paduan Al-12,6%Si (scrap) dari piston. Tungku peleburan menggunakan tungku jenis crusibel. Paduan Al (scrap) dipanaskan di dalam tungku hingga mencair, kemudian dituang ke dalam cetakan dengan variasi temperatur tuang 650 °C dan 700 °C. Kemudian didinginkan dalam cetakan selama 10 menit. Selanjutnya coran dikeluarkan dari cetakan kemudian didinginkan dengan variasi media pendingin; udara, air dan air garam selama 30 menit. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa; (1) Temperatur tuang dan jenis media pendingin berpengaruh terhadap nilai porositas dan kekerasan coran. (2) Semakin tinggi temperatur tuang nilai porositas cenderung semakin menurun (media pendingin air dan air garam), akan tetapi untuk media pendingin udara sebaliknya. (3) Semakin tinggi temperatur tuang kekerasan hasil coran cenderung semakin meningkat.

Kata kunci : paduan Al-12%Si, temperatur tuang, media pendingin, porositas, kekerasan

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

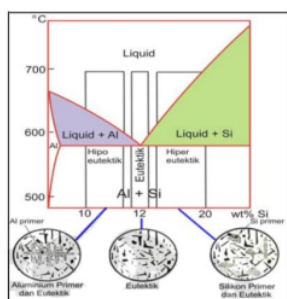
Aluminium adalah logam yang mempunyai sifat ringan yang pemanfaatannya sangat luas. Selain ringan juga memiliki kelebihan lain seperti pengantar panas yang baik. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, dan konstruksi. Aluminium mempunyai beberapa sifat karakter fisis antara lain memiliki berat jenis sekitar 2,65-2,8 kg/dm³, mempunyai daya hantar listrik dan panas yang baik, tahan terhadap korosi, dalam beberapa bahan, titik lebur 660°C dan susunan atom face centered cubic (FCC). Ketika aluminium terkena udara, lapisan tipis aluminium oksida terbentuk pada permukaan logam. Hal ini untuk mencegah korosi dan berkarat. Karakteristik penting lainnya dari aluminium

termasuk kepadatan rendah (yang hanya sekitar tiga kali lipat dari air), daktilitas (yang memungkinkan untuk ditarik ke dalam kawat), dan kelenturan (yang berarti dapat dengan mudah dibentuk menjadi lembaran tipis).

Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya, mempunyai permukaan yang bagus, tanpa kegetasan panas, memiliki sifat mampu cor dan ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisiennya kecil dan sebagai penghantar listrik dan panas yang baik, karena sifat-sifatnya maka paduan ini banyak dipakai sebagai bahan pengelasan logam paduan Al, baik pada paduan cor maupun paduan tempa. Selain itu pada paduan Al-Si yang dipadu dengan unsur-unsur lain banyak dipakai untuk benda-benda tuang untuk industri mobil, misalnya torak, kepala silinder, pelek dan

sebagainya. Kandungan silikon pada diagram fasa Al-Si ini terdiri dari 3 macam, yaitu:

1. *Hipoeutektic* yaitu apabila terdapat kandungan silikon < 11.7 % dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur ferrite (*alpha*) kaya aluminium, dengan struktur eutektik sebagai tambahan.
2. *Eutectic* yaitu apabila kandungan silikon yang terkandung didalamnya sekitar 11.7% sampai 12.6% Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke padat).
3. *Hyperutektic* yaitu apabila komposisi silikon diatas 12.6 % sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Keberadaan struktur kristal silikon primer pada daerah ini mengakibatkan karakteristik yaitu:
 - a. Ketahanan aus paduan meningkat.
 - b. Ekspansi termal yang rendah.
 - c. Memiliki ketahanan retak panas (*hot tearing*) yang baik



Gambar 1. Diagram fasa paduan Al-Si [1]

Penelitian material rongsek aluminium paduan untuk proses pengecoran telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Material paduan yang diteliti antara lain ; Al-Si limbah piston [3], paduan Al-19,6Si-2,5Cu-2,3Zn [9, 11], Paduan Al-21%Mg [5-7], Al-21%Si [10], Al-12.6%Si [4], Al-17%Mg [8].

Kualitas hasil pengecoran dipengaruhi oleh suhu tuang [2]. Temperatur tuang yang digunakan dalam pengecoran paduan aluminium (*scrap*) adalah 650 °C, 660 °C, 670 °C, dan 680 °C [9] 650°C, 700°C, 750°C [5-6]; 600 °C [10]; 700 °C [12]; 650 °C, 660 °C, 670 °C, dan 680 °C [11]. Semakin tinggi temperatur peleburan berpengaruh pada struktur butir fasa α -Al semakin halus. Semakin lama waktu peleburan juga meningkatkan struktur butir fasa α -Al semakin halus [6]. Semakin tinggi temperatur peleburan akan meningkatkan massa jenis dan meningkatkan kekerasan, kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur peleburan 750 °C [5]. Semakin tinggi temperatur peleburan berpengaruh

pada penurunan volume dan berat hasil pengecoran [7].

Coran dibuat dari logam yang dicairkan, dituang ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku. Untuk membuat coran, harus dilakukan proses; pencairan logam, membuat cetakan, menuang, membongkar dan membersihkan coran [14]. Pengecoran menggunakan cetakan pasir merupakan salah satu dari metode proses pengecoran yang menganut sistem gravitasi. Pengecoran ini menggunakan bahan cetakan yang dari pasir, dimana cetakannya hanya dapat digunakan sekali saja atau disebut dengan pengecoran cetakan sekali pakai (*expendable mold casting*). Pengecoran cetakan pasir dapat digunakan untuk membuat produk cor yang sederhana maupun rumit, berukuran kecil maupun besar, jumlah kecil maupun banyak. Material logam yang dapat digunakan pada pengecoran cetakan pasir adalah besi, baja, tembaga, perunggu, kuningan, aluminium ataupun logam paduan lainnya. Penelitian pengecoran menggunakan cetakan pasir basah telah dilakukan [10], dengan variasi waktu tunggu dalam cetakan (10 dan 15 menit) dan media pendingin (udara, air dan air garam). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis media pendingin dan waktu tunggu dalam cetakan berpengaruh terhadap porositas dan kekerasan cor.

Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda. Perbedaan kemampuan media pendingin disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin. Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam itu. Karbon yang dihasilkan dari pendinginan cepat lebih banyak dari pendinginan lambat. Hal ini disebabkan karena atom karbon tidak sempat berdifusi keluar, terjebak dalam struktur kristal dan membentuk struktur tetragonal yang ruang kosong antar atomnya kecil, sehingga kekerasannya meningkat. Berbagai media pendinginan yang bisa digunakan antara lain; udara, air, oli, larutan garam dan dan lainnya.

Waktu tunggu dalam cetakan dan jenis media pendingin sangat berpengaruh terhadap kekerasan coran [12]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis media pendingin dan waktu tunggu dalam cetakan berpengaruh terhadap porositas dan kekerasan coran [10].

Pada industri kecil pengecoran logam pada umumnya lebih memilih menggunakan cetakan pasir basah dalam proses pembuatan coran karena mudah didapat serta biayanya yang cenderung lebih murah dibandingkan dengan cetakan logam.

Cetakan pasir basah terbuat dari pasir, bahan pengikat tanah lempung, kemudian ditambah dengan air kemudian diaduk menjadi satu dan membentuk adonan cetakan pasir basah.

6

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Yaitu melakukan pengecoran logam dengan variasi temperatur tuang dan media pendingin menggunakan cetak pasir basah dengan bahan Al paduan ((*scrap*)) piston. Hasil pengecoran (coran) dibuat spesimen. Kemudian diuji laboratorium untuk mengetahui porositas dan kekerasan.

a. Alat

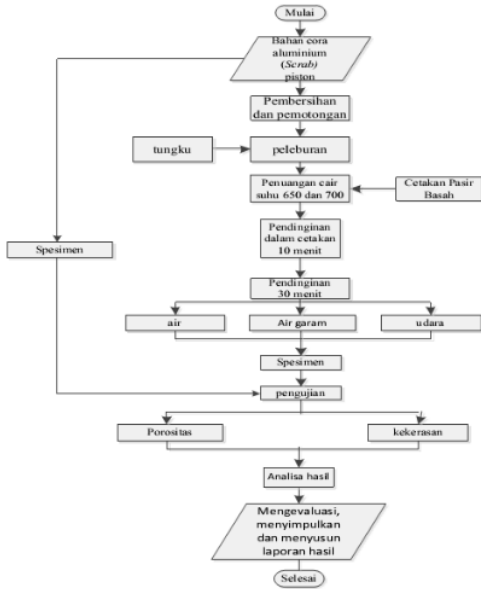
- Peralatan yang digunakan terdiri dari :
- Tungku peleburan jenis krusibel.
 - Pola, cetakan, pasir cetak.
 - Alat ukur : *Infrared* Thermometer, termometer, *stopwath*, jangka sorong, Penggaris baja, dan timbangan digital.
 - Alat uji porositas dan uji kekerasan.

b. Bahan

- Bahan yang digunakan :
- Bahan Al paduan ((*scrap*)) piston (Al-21%Si)
 - Bahan bakar arang kayu.
 - Air, garam dapur

8

c. Diagram Alir



Gambar 2. Diagram alir penelitian

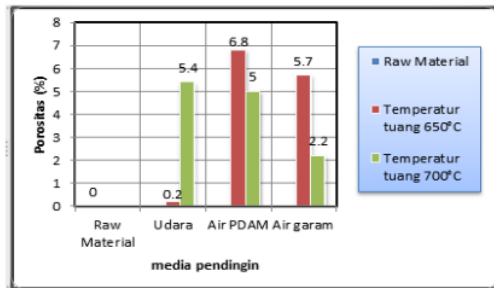
Hasil Dan Pembahasan

Tabel 1. Hasil pengujian porositas dan kekerasan

No.	Media Pendingin	Temperatur Tuang (°C)	Porositas (%)	Kekerasan (kg/mm ²)
1.	Udara	650	0,2	95,01
2.	Udara	700	5,4	95,80
3.	Air	650	6,8	97,30
4.	Air	700	5,0	108,60
5.	Air garm	650	5,7	109,30
6.	Air garm	700	2,2	172,30
7.	Raw matr.	-	0	124,89

a. Pengujian Porositas

Gambar 3 merupakan grafik hubungan jenis media pendingin dengan porositas pada temperatur tuang 650 °C dan 700 °C.



Gambar 3. Grafik hubungan jenis media pendingin dan porositas pada temperatur tuang 650 °C dan 700 °C

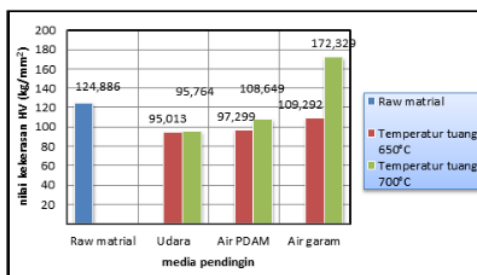
Dari gambar 3 grafik hasil uji porositas tersebut terlihat bahwa temperatur tuang dan jenis media pendingin sangat berpengaruh terhadap porositas hasil pengecoran. Pada temperatur tuang 650 °C nilai porositas paling kecil (0,2 %) dengan media pendingin udara, kemudian (5,7 %) dengan media pendingin air garam, sedangkan porositas tertinggi (6,8 %) dengan media pendingin air. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan [10] bahwa jenis media pendingin dan waktu tunggu dalam cetakan berpengaruh terhadap porositas hasil coran. Semakin lama waktu tunggu dalam cetakan porositas semakin tinggi sedangkan kekerasan mengalami penurunan. Porositas terkecil (0,6 %) terjadi pada waktu tunggu dalam cetakan 10 menit dengan median pendingin dari udara.

Pada temperatur 700 °C nilai porositas paling kecil (2,2 %) dengan media pendingin air garam, kemudian (5 %) dengan media pendingin air, sedangkan porositas tertinggi (5,4 %) dengan media pendingin udara. Jika dibandingkan dengan

porositas raw material (0 %), maka nilai porositas hasil pengecoran ulang menggunakan cetakan pasir pada temperatur tuang 650 °C dan 700 °C dengan media pendingin udara, air dan air garam lebih tinggi dibanding raw material. Temperatur tuang sangat berpengaruh terhadap nilai porositas hasil pengecoran [5].

b. Pengujian kekerasan

Gambar 4 merupakan grafik hubungan jenis media pendingin dengan kekerasan (HV) pada temperatur tuang 650 °C dan 700 °C.



Gambar 4. Grafik hubungan jenis media pendingin dengan kekerasan (HV) pada temperatur tuang 650 °C dan 700 °C.

Dari gambar 4 grafik hasil uji nilai kekerasan tersebut terlihat bahwa temperatur tuang dan jenis media pendingin cukup berpengaruh terhadap kekerasan hasil pengecoran. Pada temperatur tuang 650 °C nilai kekerasan paling kecil (95,01 kg/mm²) dengan media pendingin udara, kemudian (97,3 kg/mm²) dengan media pendingin air, sedangkan kekerasan tertinggi (109,3 kg/mm²) dengan media pendingin air garam. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan [10] bahwa jenis media pendingin dan waktu tunggu dalam cetakan berpengaruh terhadap kekerasan hasil coran.

Pada temperatur 700 °C nilai kekerasan paling kecil (95,76 kg/mm²) dengan media pendingin udara, kemudian (108,65 kg/mm²) dengan media pendingin air, sedangkan nilai kekerasan tertinggi (172,33 kg/mm²) dengan media pendingin air garam. Jika dibandingkan dengan kekerasan raw material (124,89 kg/mm²), maka pada temperatur tuang 700 °C dengan media pendingin air garam menghasilkan nilai kekerasan lebih tinggi, atau meningkat sebesar 37,9% dari kekerasan raw material. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengecoran ulang menggunakan cetakan pasir basah pada temperatur tuang 700 °C dengan media pendingin air garam akan meningkatkan nilai kekerasan dibanding raw material. Temperatur tuang sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan

hasil pengecoran. Semakin tinggi temperatur peleburan akan meningkatkan masa jenis dan kekerasan [5].

Pada temperatur tuang 700 °C, bahwa hubungan antara porositas dengan kekerasan menunjukkan semakin tinggi nilai porositas maka nilai kekerasan hasil pengecoran akan semakin menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan [13] bahwa semakin tinggi nilai persentase cacat porositas pada produk cor aluminium cetakan pasir, maka semakin rendah nilai kekerasannya. Akan tetapi pada temperatur tuang 650 °C tidak menunjukkan hal demikian. Kualitas hasil pengecoran dipengaruhi oleh suhu tuang [2].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa ; (1) Temperatur tuang dan jenis media pendingin berpengaruh terhadap porositas dan kekerasan hasil coran. (2) Semakin tinggi temperatur tuang nilai porositas cenderung semakin menurun (media pendingin air dan air garam), akan tetapi untuk media pendingin udara sebaliknya. (3) Semakin tinggi temperatur tuang kekerasan hasil coran cenderung semakin meningkat.

Referensi

- [1] ASM International, 2004. ASM Metal Handbook, Vol.9
- [2] Khodai, M. and Parvin, N., Pressure Measurement and Some Observation in Lost Foam Casting, Journal of Material Processing and Technology, 2008, Vol. 206, pp.1-8.
- [3] Mu'afax et al., 2013. Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Makro Hasil Remelting Al-Si Berbasis Limbah Piston Bekas Dengan Perlakuan Degassing, Jurnal Nosel Vol 1, No 3, UNS Kampus Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta.
- [4] Ridho A. dan Siswanto R., 2017, Pemanfaatan Paduan Al (Scrap) Sebagai Bucket Turbin Pelton Menggunakan Metode Pengecoran Evaporative, Jurnal Sains dan Teknologi No. 3, Vol. 1, Hal. 28-33, Fakultas Teknik Universitas Islam Muhammad Arsyad Albanjari Banjarmasin.
- [5] Siswanto R., 2011. The Influence of Temperature and Melting Duration Pour Casting to Density and Hardness of Al-21%Mg Alloys, Jurnal Ilmiah Suara Teknik, ISSN:2086-1826, Universitas Muhammadiyah Pontianak.

- [6] Siswanto R., 2011. Pengaruh Temperatur dan Waktu Peleburan Pengecoran Tuang Terhadap Struktur Mikro Paduan Al-21%Mg, Jurnal Ilmiah Media Sains, Kopertis Wilayah XI, ISSN:2085-3548, Kopertis Wilayah XI Kalimantan.
- [7] Siswanto R., 2012. Pemanfaatan Rongsokan (Scrap) Paduan Al-Mg Sebagai Bahan Baku Produk Pengecoran, Prosiding Seminar Nasional “ Inovasi dan Aplikasi Teknologi Pertambangan untuk Negeri” Fak. Teknik Univ. Lambung Mangkurat, ISBN : 978-602-992-44-8, Volume 1, Halaman 1-252
- [8] Siswanto R., 2014. Analisis Pengaruh Temperatur dan Waktu Peleburan Terhadap Komposisi Al dan Mg Menggunakan Metode Pengecoran Tuang, Proceedings Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti (SNTMUT-2014), ISBN: 978-602-70012-0-6, MET06(1-6), Jakarta.
- [9] Siswanto R., 2015. Analisis Struktur Mikro Paduan AL-19.6Si-2.5Cu-2.3Zn (Scrap) Hasil Pengecoran Evaporative, Proceedings Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV Tahun 2015 (SNNTM XIV), Mat. 44, Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin.
- [10] Siswanto R., dan Rais R., 2017. Analisis Porositas dan Kekerasan Padua Al-12.6%Si Dengan Variasi Waktu Tunggu Dalam Cetakan dan Media Pendingin Menggunakan Cetakan Pasir Basah, Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah Ke-3 Tahun 2017, LB-04-35, LPPM Universitas Lambung Mangkurat.
- [11] Siswanto R., 2017. Analysis of Casting Temperature Effect on The Hardness and Tensile Strength of Alloy of Al-19.6Si-2.5Cu, 2.3Zn (Recycle) From Result of Avaporative Casting, Prosiding Seminar Nasional Riset Terapan 2, C49-C58
- [12] Siswanto R., et al., 2018. Analisis Porositas dan Kekerasan Padua Al-12.6%Si Dengan Variasi Waktu Tunggu Dalam Cetakan dan Media Pendingin Hasil Pengecoran Evaporative, Jurnal Teknik Lingkungan Jukung, Vol. 04, No. 01, Hal. 1-86 ((72-81), ISSN: 2461-0437), Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat.
- [13] Sudibyo A., et al., 2013. Pengaruh Penampang Ingate Terhadap Cacat Porositas dan Nilai Kekerasan Pada Proses Pengecoran Aluminium Menggunakan Cetakan Pasir, Jurnal Volume 12 Nomor 1, September 2013, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [14] Surdia, T. Dan Chijiwa, K., 1996. Teknik Pengecoran Logam, Cetakan Ketujuh, Pradnya Paramita, Jakarta.

ORIGINALITY REPORT

10%

SIMILARITY INDEX

%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

- 1** Eko Julianto, Rahmad Ramadhan, Doddy Irawan, Eko Sarwono. "ANALISA KEKERASAN MATA PISAU BAHAN ST 60 PADA MESIN PEMOTONG ZINCALUME DENGAN PROSES PERLAKUAN PANAS (HEAT TREATMENT)", *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 2019
Publication 3%
- 2** Rudi Siswanto, Ma'ruf, Adi Marhadi Mukti, Rachmat Subagyo. "The effect of pure temperature and pressure on alloy hardness of Al-6.7% Cu using squeeze casting method", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021
Publication 3%
- 3** Eko Sarwono, Aris Sugianto, Masrum Hadisusanto, Eko Julianto. "ANALISA HASIL PENGECORAN PENAMBAHAN BAHAN MATERIAL PISTON DAN KALENG BEKAS PADA ALAT RUMAH TANGGA TERHADAP PERUBAHAN NILAI KEKERASAN DAN 1%

STRUKTUR MIKRO AlMg-Si", Suara Teknik:
Jurnal Ilmiah, 2018

Publication

4

Eko Nugroho, Eko Budiyanto, Rubi Kurniawan, Joko Sumosusilo. "Uji ketahanan fatik aluminium hasil remelting piston bekas menggunakan metode pengecoran centrifugal casting", Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 2020

Publication

1 %

5

Ai Hendrani, Dadan Ramdhani, Thika Febriani, Sriyani Sriyani. "Corporate Tax Avoidance: Kontribusi Mekanisme Corporate Governance dan Corporate Social Responsibility Pada Perusahaan Industri Manufaktur Sektor Industri Dasar dan Kimia yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia Tahun 2014-2018", STATERA: Jurnal Akuntansi dan Keuangan, 2020

Publication

<1 %

6

Prihastini Oktasari Putri. "Implementasi Model Pembelajaran Team Game Tournament (TGT) Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa", Intersections, 2019

Publication

<1 %

7

T Endramawan, A Sifa, F Dionisius, A B Rifai. "Effect of Natrium Carbonate (Na CO) on porosity and hardness in the melting of

<1 %

8

Eko Budiyanto, Eko Nugroho, Agus Zainudin.
"UJI KETAHANAN FATIK ALUMINIUM SCRAP
HASIL REMELTING PISTON BEKAS
MENGUNAKAN ALAT UJI FATIK TIPE ROTARY
BENDING", Turbo : Jurnal Program Studi
Teknik Mesin, 2018

Publication

<1 %

9

Aspiyansyah Aspiyansyah. "Effect of Squeeze
Casting Parameter Process (Melt
Temperature, Die Temperature And Al-
3,22%Si) On Microstructure, Hardness And
Tensile Strength In Thin Wall Casting", Suara
Teknik: Jurnal Ilmiah, 2010

Publication

<1 %

10

Irza Sukamana. "PENGARUH KECEPATAN
TOOL PADA DISSIMILAR METAL ALUMINIUM
1100 DAN 5052 TERHADAP KUALITAS HASIL
PENGELASAN DENGAN METODE LAS GESEK
PUNTIR (FRICTION STIR WELDING)", Machine :
Jurnal Teknik Mesin, 2020

Publication

<1 %

11

Muh Aan Anhar. "PENGARUH VARIASI MEDIA
PENDINGIN TERHADAP NILAI KEKERASAN
PADUAN GEAR SPROCKET AISI 1020 DENGAN

<1 %

TIMAH MELALUI HEAT TREATMENT", JURNAL SIMETRIK, 2020

Publication

12

Timur Rizovich Ablyaz, Karim Ravilevich Muratov, Aleksey Aleksandrovich Sumkov, Evgeniy Sergeevich Shlykov et al.

"Computational and experimental study of lattice structured patterns for casting process", Rapid Prototyping Journal, 2020

Publication

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On