

Increased Surface Hardness Of Aluminum Matrix Composite Through The Ceramic Coating Process

Hendri Sukma¹, Dwi Rahmalina², Bambang Sulaksono³, Erlanda A. Pane⁴, Ibnu Asyifa R.⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Corresponding author: sukmahendri@univpancasila.ac.id

Abstract. The development of particulate strengthened aluminium matrix composite materials to be applied to automotive components because it has a lower density and has high strength and hardness, wear-resistant properties and low heat expansion coefficient compared to ferrous metals. An important factor that influences the composite characteristics is the condition of the particle strengthened area with the aluminium matrix with optimal wetness and minimal cavity defects. This research aims to develop a squeeze casting manufacturing process and ceramic coating process to produce particulate strengthened aluminium matrix composite materials that have the best surface hardness value. Stages of this research include the development of an aluminium matrix composite manufacturing processes, which is followed by a ceramic coating process. Matrix composite material made of Al-7Si-9Zn-6Mg matrix with strengthened of 10% alumina (Al_2O_3) particles and 10% silicon carbide (SiC), while for coating materials using Chromium Oxide, Aluminium Oxide and Ez Zirconium. The results of the hardness test before the ceramic coating process are an average of 71 HRB (127 HV). The ceramic coating process produces hardness values of 163 HV for Chromium Oxide coating material, 338 HV for Aluminium Oxide coating material, and 373 HV for Ez Zirconium coating material.

Abstrak Pengembangan material komposit matriks aluminium berpenguat partikulat telah mulai diaplikasikan pada komponen otomotif, karena mempunyai berat jenis yang lebih ringan serta memiliki performa yang baik seperti kekuatan dan kekerasan tinggi, sifat tahan aus dan koefisien ekspansi panas rendah dibanding logam *ferrous*. Faktor penting yang mempengaruhi karakteristik komposit adalah kondisi daerah antarmuka penguat partikel dengan matriks aluminium dengan kemampuan optimal dan cacat rongga minimal. Riset ini bertujuan untuk mengembangkan proses manufaktur *squeeze casting* dan proses *ceramic coating* untuk menghasilkan material komposit matriks aluminium berpenguat partikulat yang memiliki nilai kekerasan permukaan yang paling baik. Tahapan riset ini meliputi pengembangan proses manufaktur komposit matriks aluminium, yang dilanjutkan dengan proses *ceramic coating*. Material komposit terbuat dari matriks Al-7Si-9Zn-6Mg dengan penguat partikel alumina (Al_2O_3) sebesar 10% dan silikon karbida sebesar (SiC) 10%, sedangkan untuk material *coating* menggunakan Chromium Oxide, Aluminium Oxide dan Ez Zirconium. Hasil pengujian kekerasan sebelum dilakukan proses *ceramic coating* adalah rata-rata sebesar 71 HRB (127 HV). Dari proses *ceramic coating* menghasilkan nilai kekerasan sebesar 163 HV untuk material *coating* Chromium Oxide, 338 HV untuk material *coating* Aluminium Oxide, dan 373 HV untuk material *coating* Ez Zirconium.

Kata kunci : komposit matriks aluminium, alumina, silikon karbida, squeeze casting, ceramic coating, kekerasan

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Perkembangan industri transportasi dan permesinan di Indonesia mengalami perkembangan yang cukup signifikan, baik dari segi pertumbuhan produksi maupun peningkatan teknologi. Akan tetapi para pelaku industri masih mengalami beberapa kendala diantaranya adalah belum seluruhnya industri pendukung seperti bahan baku dan komponen dibuat di dalam negeri. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan material bahan baku komponen yang dapat diproduksi secara mandiri di dalam negeri. Material tersebut harus memiliki persyaratan yang

memadai seperti kualitas yang baik, biaya produksi yang lebih murah, serta material yang lebih ringan agar penggunaan bahan bakar lebih efisien. Penggunaan material baja pada beberapa komponen tertentu sudah tidak efisien lagi, mengingat bobot material baja yang relatif berat. Penurunan berat kendaraan dapat dilakukan melalui beberapa alternatif, seperti (1) perubahan rancangan bangun, atau (2) pengembangan material yang lebih ringan.

Komposit matriks aluminium juga memiliki densitas yang rendah, tahan korosi serta mempunyai elastisitas yang lebih baik. Selain itu, komposit matriks aluminium memiliki sifat

tailorability, sehingga sifat mekanis yang diinginkan dapat dimodifikasi tergantung dari kombinasi matriks, penguat serta kondisi pada daerah antar mukanya (*ASM Handbook*, 1992 ; F.L. Matthews dan Rawlijns, R.D, 1994). Keunggulan ini yang menjadi dasar para periset untuk mengembangkan komposit matriks aluminium sebagai alternatif pengganti material konvensional.

Di beberapa negara, baik di benua Asia maupun Eropa, komposit matriks aluminium telah digunakan secara komersial pada komponen mesin seperti piston, *connecting rod*, *brake system* dan *cylinder line*. Sedangkan untuk kendaraan taktis militer penggunaan material komposit matriks aluminium ini dikembangkan untuk material bodi dan pintu.

Proses manufaktur komposit menjadi suatu faktor penting yang menentukan karakteristik komposit. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan proses pengecoran khusus, yaitu dengan teknologi *squeeze casting*. Proses *squeeze casting* merupakan teknik pengecoran khusus yang menggabungkan keunggulan dari *High Pressure Die Casting* dan teknologi *forging* (T.R. Vijayarayam, et.al., 2006). Keunggulan yang dihasilkan adalah mengeliminasi jumlah gas yang terperangkap dalam hasil cor dan mengurangi jumlah penyusutan akibat solidifikasi.

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil dikembangkan proses manufaktur komposit berpenguat partikel alumina untuk menghasilkan komposit dalam bentuk pelat (D. Rahmalina, dkk, 2014), dengan matrik aluminium Al-Si-Zn-Mg berpenguat 10 % fraksi volume alumina, dan dilakukan proses pengerasan pengendapan. Dari penelitian tersebut didapat hasil kekerasan maksimum sebesar 86 HRB pada Zn 9 wt%. Teknologi yang digunakan pada penelitian tersebut masih memiliki beberapa kelemahan dari hal kestabilan temperatur pada saat pemberian tekanan dan pemberian gaya tekan, sehingga masih membutuhkan pengembangan dari modifikasi dan desain cetakan dan pemberian *heater* pada cetakan. Disamping itu, kondisi cetakan sangat tergantung dari bentuk dan dimensi produk cor yang akan dihasilkan. Pada penelitian tersebut juga dilakukan proses *thermal spray* dengan material *coating* Tungsten Carbide-Cobalt (WC-Co) dengan komposisi 88WC-12Co. Namun pada penelitian ini tidak dilakukan uji karakterisasi, tapi hanya dilakukan uji balistik. Dari pengujian balistik tersebut didapat bahwa pelat komposit dengan pengerasan permukaan memiliki ketahanan balistik yang baik terhadap peluru kaliber 9 mm (tipe II), namun untuk uji balistik yang lebih tinggi yaitu

kaliber 7.62 mm (tipe III) pelat komposit belum mampu menahan penetrasi sehingga terjadi retak.

Penelitian lain untuk komposit matriks aluminium dengan penguat alumina dan silikon karbida juga pernah dilakukan dilakukan, namun tanpa dilakukan proses pelapisan maupun pengerasan (Hendri Sukma, dkk, 2015). Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai kekerasan maksimum dari pelat komposit adalah 60.28 HRB.

Picas, Josep A, et.al pada tahun 2005, telah melakukan penelitian tentang *thermal sprayed coating* pada komposit matriks aluminium, dengan material coating CrC-NiCr dan WC-CoCr, untuk menganalisis struktur mikro terhadap jenis material *coating* dan parameter proses *thermal spray*. Namun pada penelitian tersebut belum dilakukan pengujian karakterisasi mekanik seperti kekerasan.

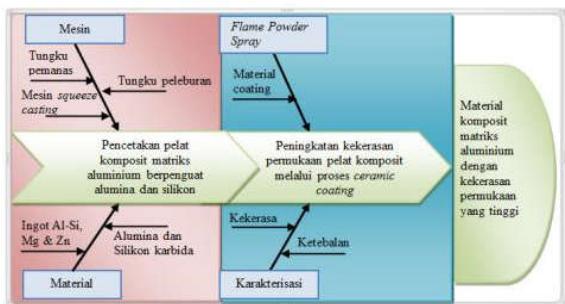
Penelitian tentang peningkatan kekerasan permukaan komposit matriks aluminium Al-3Si-9Zn-6Mg berpenguat 10% alumina (Al₂O₃), dengan teknologi *thermal sprayed coating* melalui metode *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF) dengan variasi komposisi material *coating* yaitu 20Ni-80Cr, 88WC-12Co, dan 86WC-10Co4Cr (Hendri Sukma, dkk, 2017). Pada penelitian tersebut didapatkan nilai kekerasan 1171 HV untuk material *coating* 20Ni-80Cr, 1406 HV untuk material *coating* 88WC-12Co dan 1487 untuk material *coating* 86WC-10Co4Cr.

Sachin Jadav N dan Anil Kumar C, pada tahun 2014 melakukan penelitian *ceramic coating* pada Aluminium 6061T6 dengan metode *Plasma Spraying*, yang menghasilkan kekerasan 121 HV untuk material *coating* Ez Zirconium, 317 HV untuk material *coating* Titanium Dioxide-40% Zirconium, 776 HV untuk material *coating* Titanium Dioxide.

Dari penelitian ini diharapkan dapat diperoleh jenis material *ceramic coating* yang dapat memberikan nilai kekerasan yang paling tinggi. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperkuat sistem inovasi nasional di bidang rekayasa material yang dapat diaplikasikan dalam bidang otomotif dan produk industri permesinan lainnya.

Metode Penelitian

Untuk mencapai pengembangan komposit matriks aluminium berpenguat alumina dan silikon karbida dengan karakteristik mekanik yang baik, serta proses *ceramic coating* untuk menghasilkan kekerasan permukaan yang tinggi, maka riset dirancang mengikuti diagram alir seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.

**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

Material awal yang digunakan adalah ingot Aluminium murni dan kemudian ditambahkan unsur paduan Si 7% wt Zn 9 % wt, Mg 6% wt (ditulis Al-7Si-9Zn-6Mg). Bahan penguat komposit adalah alumina serbuk berukuran 10 μm dan silikon karbida. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada riset ini adalah :

1. Studi pustaka terkait pengecoran aluminium dan komposit.
2. Persiapan tungku untuk memanaskan material penguat, tungku untuk peleburan material, peralatan pengecoran dan penekan hidrolik, cetakan plat, material bahan baku coran, dan peralatan pendukung lainnya seperti kompresor, saluran coran, gas LPG untuk pemanas saluran coran.
3. Proses pembuatan aluminium matriks komposit dengan penguat alumina dan silikon karbida dengan variasi jumlah fraksi penguat, dengan tahapan sebagai berikut:
 - Pemanasan partikel penguat alumina dan silikon karbida pada temperatur 1000°C.
 - Proses peleburan aluminium ingot dan paduannya yaitu silikon, magnesium dan zinc pada dilakukan dalam dapur lebur listrik dengan temperatur lebur 850°C.
 - Pencampuran partikel penguat alumina dan silikon karbida dengan paduan aluminium dilakukan pada temperatur 850°C.
 - Proses pengecoran dengan metode *squeeze casting* dilakukan untuk menghasilkan komposit matriks aluminium berpenguatan partikel alumina dan silikon karbida dengan penekanan sebesar 20 kg/cm².
4. Proses *ceramic coating* dengan metode *Flame Powder Coating* menggunakan material *coating Chromium Oxide*, *Aluminum Oxide* dan *Ez Zirconium*.
5. Karakterisasi komposit matriks aluminium;
 - Pengukuran ketebalan lapisan *coating*
 - Pengujian kekerasan

Hasil dan Pembahasan

Proses Peleburan. Proses peleburan menggunakan dapur lebur tipe *crucible* dengan *filament* sebagai sumber panas untuk mencairkan logam aluminium. Proses peleburan aluminium dilakukan pada temperatur 850°C (Gambar 2). Setelah aluminium mencair dilakukan proses *degassing* dengan argon sehingga kotoran yang mengendap pada cairan matriks aluminium timbul ke permukaan dan kotoran yang timbul ke permukaan tersebut dikeluarkan dengan menggunakan ladel (Gambar 3). Setelah itu dilakukan pencampuran bahan paduan magnesium, silicon, dan seng.

**Gambar 2.** Proses peleburan aluminium.**Gambar 3.** Pembuangan kotoran dan pencampuran bahan paduan magnesium, silicon, dan zeng.

Setelah bahan paduan mencair, selanjutnya dimasukkan alumina dan grafit yang berfungsi sebagai penguat dari komposit matrik aluminium. Sebelum proses pencampuran, alumina dan grafit terlebih dahulu dilakukan proses pemanasan dengan temperatur 1000°C kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama 1 jam (Gambar 4).

Bahan yang sudah dicampurkan kedalam tungku peleburan tersebut kemudian diaduk (*stirring*) dengan menggunakan poros pengaduk yang digerakkan menggunakan tenaga angin dari kompresor dan dapat menghasilkan putaran hingga 7500 Rpm (Gambar 5). Pengadukan berfungsi agar bahan material dapat tercampur secara merata.



Gambar 4. Pemanasan penguat dan pencampuran penguat pada bahan paduan.



Gambar 5. Proses stirring.

Proses Pengecoran. Sebelum dilakukan proses pengecoran, terlebih dahulu dilakukan pemanasan saluran masuk penuangan menggunakan pemanas manual yaitu dengan *burner cutting torch* dan juga dilakukan pemanasan cetakan dengan *heater* yang dibuat sebagai pemanas otomatis yang bertujuan agar logam cair tidak cepat membeku pada saluran masuk dan tidak terjadi pendinginan awal pada saat logam cair masuk kedalam cetakan. Proses pemanasan cetakan ini dilakukan pada temperatur 300°C. Proses penuangan dilakukan secara perlahan untuk menghindari turbulensi aliran material coran di dalam cetakan.

Setelah material coran dituang ke dalam cetakan, selanjutnya diberikan tekanan menggunakan sistem hidrolik dengan kekuatan tekan sebesar 20 kg/cm² didalam cetakan (Gambar 6). Proses penekanan ini dilakukan agar logam cair tersebut dapat mengisi penuh seluruh rongga cetakan, sehingga tidak ada rongga kosong serta untuk meminimalkan terjadinya cacat *void* dan porositas gas akibat proses peleburan. Pemberian tekanan ini dilakukan setelah cairan komposit berada pada kondisi *semi solid* sehingga memudahkan proses penekannya. Penekanan ini dilakukan hingga logam dingin secara sempurna. Setelah material coran dingin secara sempurna, selanjutnya dilakukan pembongkaran cetakan dan mengeluarkan material hasil coran dari cetakan (Gambar 7).

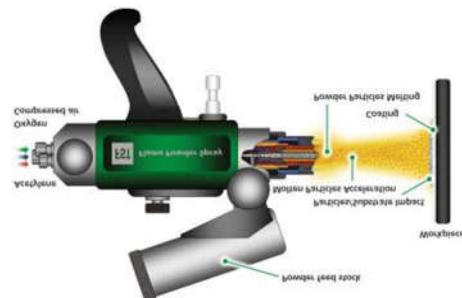


Gambar 6. Proses pengecoran dan penekanan pada cetakan.



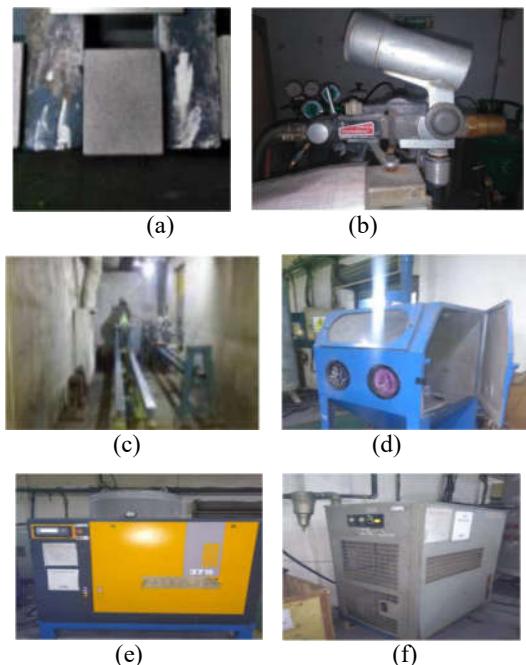
Gambar 7. Pembongkaran cetakan.

Proses Ceramic Coating. Proses Ceramic Coating dilakukan dengan metode *Flame Powder Spray* (FPS), dengan skema proses seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema Proses Ceramic Coating.

Peralatan dan bahan yang digunakan pada proses ceramic coating ini diantaranya adalah *jig* spesimen, *spray gun* sebagai penyemprot material pelapis, *coating room*, *blasting room*, *oxygen*, *nitrogen*, *propene*, kompresor, *control panel*, *chiller*, serta beberapa peralatan pendukung lainnya. (Gambar 9). Material *coating* yang digunakan adalah dalam bentuk serbuk (*powder*) yaitu *Chromium Oxide*, *Aluminum Oxide*, dan *Ez Zirconium*.





Gambar 9. (a) *Jig Spesiment* ; (b) *Spray Gun* ; (c) *Coating Room* ; (d) *Blasting Room* ; (e) *Kompresor Air 6 Bar* ; (f) *Air Dryer* ; (g) *Flame Powder Spray Full Set*.

Proses *coating* dilakukan dalam dua tahapan proses yaitu proses persiapan (*preperation*) dan proses penyemprotan (*spraying*). Proses persiapan meliputi:

1. Pembersihan material menggunakan thinner, agar permukaan bersih dari kotoran, oli dan korosi.
2. Pemanasan material dengan menggunakan nyala api bahan bakar gas (LPG) dalam waktu yang singkat untuk menghilangkan air dan thinner yang mungkin saja masih tersisa pada material.
3. Pengasaran permukaan dengan *grit blasting* dengan tekanan 4 bar. Hasil proses *blasting* yang baik apabila permukaan material terlihat kusam dan agak kasar (Gambar 10).



Gambar 10. (a) Benda uji sebelum *blasting*, (b) Benda uji sesudah *blasting*.

Setelah dilakukan proses *blasting* kemudian dilakukan tahap kedua yaitu proses *spraying* atau proses pelapisan. Proses pelapisan harus dilakukan sesegera mungkin untuk mencegah terjadinya oksidasi yang memperngaruhi kekuatan ikatan lapisan. Proses pelapisan dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut;

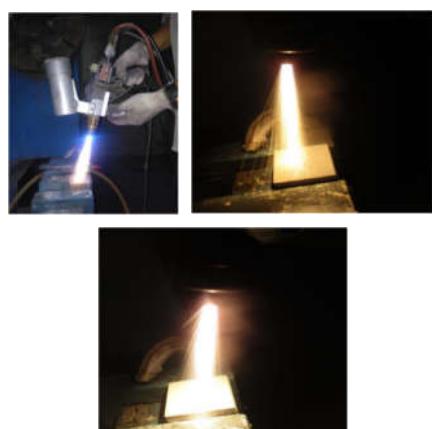
1. Pemasangan material pada penahan (*jig*) agar benda kerja tetap pada tempatnya saat dilakukan proses penyemprotan.
2. Material di tempatkan pada jarak 114 mm dari spray gun sesuai rekomendasi pabrik (Gambar 11).
3. Pengaturan parameter proses *coating* mengikuti rekomendasi pabrik, yaitu:
 - a. Untuk material coating *Chromium Oxide*, tekanan oksigen 4 bar, tekanan acetylen 1 bar dan tekanan udara 2 bar.
 - b. Untuk material coating *Almuminium Oxide*, tekanan oksigen 4 bar, tekanan acetylen 1 bar dan tekanan udara 4 bar.

- c. Untuk material coating *Ez Zirconium*, tekanan oksigen 4 bar, tekanan acetylen 2 bar dan tekanan udara 4 bar.



Gambar 11. Pengaturan jarak *spray gun*

Setelah proses *coating* selesai dilakukan (Gambar 12), setelah benda kerja berada dalam keadaan dingin atau temperatur ruang, selanjutnya benda kerja dilepaskan dari *jig* penahan (Gambar 13).



Gambar 12. Proses *Coating* pada Permukaan Material.



Gambar 13. Material benda kerja yang sudah melalui proses *coating*

Pengukuran Ketebalan Lapisan Coating. Pengukuran ketebalan lapisan *coating* dilakukan dengan mengukur ketebalan spesimen plat sebelum dan sesudah *coating*, dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Ketebalan Coating

No.	Material Coating	Ketebalan Sebelum Coating	Ketebalan Setelah Coating	Ketebalan Coating(mm)
1	Chromium Oxide	18,7	18,82	0,12
2	Aluminum Oxide	18,05	18,19	0,14
3	Ez Zirconium	18,60	18,72	0,13

Pengujian Kekerasan. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan permukaan material yang telah dilakukan proses *coating*, serta untuk melihat perbedaan nilai kekerasan dari jenis material *coating* yang berbeda. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode uji *Micro Vickers* dengan mengacu pada standar ASTM E92. Parameter pengujian menggunakan *indentor diamond* 136° dan beban sebesar 0,3N selama 12 detik, dengan jumlah penjajakan sebanyak enam kali untuk setiap benda uji, dengan nilai rata-rata kekerasan seperti terlihat pada Tabel 2..

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

No.	Material Coating	Kekerasan Rata-Rata (HV)
1	Chromium Oxide	163
2	Aluminum Oxide	338
3	Ez Zirconium	373

Dari hasil pengujian kekerasan, hasil nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada material *coating* Ez Zirconium yaitu sebesar 373 HV, dan nilai kekerasan paling rendah didapatkan pada material *coating* Chromium Oxide yaitu sebesar 163 HV.

Kesimpulan

1. Komposit dibuat dari matriks Al-7Si-9Zn-6Mg dengan penguat partikel alumina (Al_2O_3) sebesar 10% dan silikon karbida sebesar (SiC) 10%, dengan nilai kekerasan, sebelum dilakukan proses *ceramic coating*, adalah rata-rata sebesar 71 HRB (127 HV).
2. Material *coating* menggunakan *Chromium Oxide*, *Aluminum Oxide* dan *Ez Zirconium*.
3. Nilai kekerasan hasil proses *ceramic coating* adalah sebesar 163 HV untuk material *coating* *Chromium Oxide*, 338 HV untuk material *coating* *Aluminum Oxide*, dan 373 HV untuk material *coating* *Ez Zirconium*.

Penghargaan

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada kepala dan staf Laboratorium Pengecoran Logam Fakultas Teknik Universitas Pancasila dan Thermic Group of Companies yang telah membantu dalam proses pengecoran dan *ceramic coating*. Kami juga menyampaikan ucapan terimakasih kepada Kemenristekdikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skema hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) tahun anggaran 2018-2018.

Referensi

- [1] _____, (1992), *ASM Handbook, 21: Composites*. ASM International, The Materials Information Company.
- [2] D. Rahmalina, I. Kusuma, B. Suharno, B.T. Sofyan, E.S. Siradj, (2010), *Pengaruh Penambahan Unsur Cu dan Mg pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja untuk Aplikasi Material Armor melalui Proses Squeeze Casting*, Prosiding Seminar Nasional SENAMM IV.
- [3] D. Rahmalina, B. T. Sofyan, N. Askarningsih, S. Rizkyardiani, (2012), *Effect of Treatment Process on Hardness of Al7Si-Mg-Zn Matrix Composite Reinforced with Silikon karbida Particulate*, Proceeding of the 2012 International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science (ICAMMS 2012), Beijing, China.
- [4] D. Rahmalina, I. Kusuma, B. Suharno, B.T. Sofyan, E.S. Siradj, (2010), *Pengaruh Penambahan Unsur Cu dan Mg pada Daerah Antarmuka Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Kawat Tali Baja untuk Aplikasi Material Armor melalui Proses Squeeze Casting*, Prosiding Seminar Nasional SENAMM IV.
- [5] D. Rahmalina, Hendri.S, I.G.Eka Lesmana, A. Halim, (2014), *Effect of Solution Treatment on Hardness of Alumina Reinforced Al-9Zn Composite Produced by Squeeze Casting*, International Journal on Smart Material and Mechatronics, Vol. 1 pp. 25-35.
- [6] F.L. Matthews dan Rawlijns, R.D, (1994), *Composite Material: Engineering & Science*, Chapman & Hall, London.
- [7] Hendri Sukma, Rini P, D Rahmalina, Rizal I, (2015), *Peran Penguat Partikel Alumina dan Silikon Karbida Terhadap Kekerasan Material Komposit Matriks Aluminium*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Universitas Muhammadiyah, Jakarta.
- [8] Josep A. Picas, Antonio Forn, Ramiro Rilla, Enric Martin, (2005) *HVOF Termal Sprayed Coating on Aluminium Alloys and Matrix Composite*, Surface & Coating Technology 200, pp 1178-1181.
- [9] O. Beffort, S.Long, C. Cayron, J. Kuebler, P. Buffat, (2007), *Alloying Effects on Microstructure and Mechanical Properties of High Volume Fraction SiC-Particle Reinforced*

- Al-MMCs Made by Squeeze Casting Infiltration, Composite Science and Technology* 67, pp. 737-745.
- [10] Serope Kalpakjian and Steven R.Schmid, (2009), *Manufacturing Engineering & Technology*, Sixth Edition, Pearson Education Inc, Singapore.
- [11] Hendri Sukma, dkk, Pengaruh Variasi Material Coating Pada Proses *Thermal Sprayed Coating* Dengan Metode *High Velocity Oxy-Fuel* Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Komposit Matriks aluminium, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, STT Texmaco, Subang, 2018, hal 23-33.
- [12] Hendri Sukma, dkk, Pengaruh Variasi Jarak Penyemprotan Pada Proses *Thermal Sprayed Coating* Terhadap Peningkatan Kekerasan Material Matriks aluminium, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, STT Texmaco, Subang, 2018, hal 34-40.
- [13] Sachin Jadav N-1, Anil Kumar C₂ . 2014. *Ceramic Coating [TiO₂-ZrO₂] On Aluminium 6061T6 For Wear Properties*. Journal of Research in engineering and Technology, K. S Institute of Technology, pp 43-49.