

## PENINGKATAN KEKERASAN PERMUKAAN MATERIAL KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM MELALUI PROSES *THERMAL SPRAYED COATING*

**\*Hendri Sukma, \*Dwi Rahmalina, \*Dedy Salam**

\*Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Pancasila-Jakarta  
Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

Email: [sukmahendri@yahoo.com](mailto:sukmahendri@yahoo.com)

### ABSTRAK

Pengembangan material komposit matriks aluminium berpenguat partikulat banyak dilakukan untuk berbagai aplikasi komponen karena berat jenisnya yang ringan serta performa yang baik seperti kekuatan tinggi, kekerasan tinggi, sifat tahan aus dan koefisien ekspansi panas rendah. Untuk aplikasi komponen otomotif atau kendaraan tempur, dibutuhkan material yang tahan aus dengan kekerasan permukaan yang tinggi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mencapai kebutuhan tersebut adalah dengan proses pengerasan permukaan melalui metode *coating* yaitu proses pelapisan permukaan suatu material dengan membentuk permukaan baru atau memodifikasi permukaan. Penelitian ini difokuskan pada proses *thermal spray coating* untuk meningkatkan kekerasan pada material komposit matriks aluminium Al-3Si-9Zn-6Mg berpenguat 10% alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Metode yang digunakan adalah *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF) dengan variasi komposisi material *coating* yaitu 88WC-12Co, 83WC-17Co dan 86WC-10Co4Cr. Hasil pengujian kekerasan pada pelat komposit menunjukkan peningkatan nilai kekerasan dibanding material tanpa *coating* yang memiliki kekerasan 39 HRB. Penggunaan material *coating* 88WC-12Co menghasilkan nilai kekerasan 71 HRB, untuk material *coating* 83WC-17Co nilai kekerasan 57 HRB, dan untuk material *coating* 86WC-10Co4Cr didapat nilai kekerasan 87 HRB. Untuk material *coating* tanpa unsur Cr, semakin banyaknya unsur Co maka nilai kekerasan akan semakin kecil. Sedangkan material *coating* dengan kandungan unsur Cr sebesar 4% menghasilkan nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 87 HRB.

**Kata kunci :** *Coating*, HVOF, komposit matrik aluminium, kekerasan.

### ABSTRACT

*Aluminum matrix composites reinforced particulates have been developed for many components, because of its lightweight and good performances such as high strength, high hardness, wear-resistant properties and low coefficient of thermal expansion. Automotive components or military vehicles require wear resistant material with high hardness, which can be achieved by hardening the surface. Coating process is a technique to modify the surface by forming a new surface aimed at improving the hardness without decreasing strength. This research is focused on the thermal spray coating to improve hardness on plate of aluminum matrix composite Al-3Si-9Zn-6Mg reinforced with 10% alumina particulate. Thermal spray coating process via High Velocity Oxy-Fuel method is conducted using variation of material coating composition, such as 88WC-12Co, 83WC-17Co and 86WC-10Co4Cr. Hardness testing of composite plate without coating shows a value of 39 HRB moreover hardness numbers after coating are 71 HRB for plate with 88WC-12Co coating; 57 HRB for plate with 83WC-17Co coating and 87 HRB for plate with 86WC-10Co4Cr. The test results showed that hardness value of coated composite are higher than hardness of non-coated composite. Increasing Co elements in material coating from 12 to 17 % reduced the hardness. Composite plate coated with material non-Cr element had low hardness compared with coated plate of 86WC-10Co4Cr, while the coating material with Cr element content of 4% provided highest hardness.*

**Keywords :** *Coating*, HVOF, aluminum matrix composites, hardness.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Perkembangan industri transportasi 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 rancang bangun, atau (2) pengembangan material yang lebih ringan.

Dengan berkembangnya teknologi material persyaratan untuk beberapa komponen ini dapat dipenuhi melalui penggunaan material komposit matriks aluminium. 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.

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. Vijarayam, 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 10% alumina juga pernah dilakukan dilakukan, namun tanpa dilakukan proses pengerasan pengendapan (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.

Riset yang dilakukan ini memfokuskan pada pengaruh komposisi material *coating*

terhadap kekerasan komposit matriks aluminium berpenguat partikel alumina melalui teknologi *squeeze casting*. Paduan untuk matriks yang digunakan adalah Al-Si dengan penambahan unsur paduan Zn dan Mg, dengan komposisi unsur paduan mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu Al-3Si-9Zn-6Mg, dengan kandungan unsur paduan Si 3% wt, Zn 9 % wt, Mg 6% wt (B.T. Sofyan, dkk, 2008 ; D. Rahmalina, dkk, 10), dengan penguat partikel alumina 10 %. Material *coating* menggunakan Tungsten Carbide-Cobalt (WC-Co) dan tambahan Chromium (Cr), dengan komposisi 88WC-12Co, 83WC-17Co dan 86WC-10Co4Cr.

### Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah komposisi material *coating* apa yang menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi pada material komposit aluminium berpenguat partikulat.

### Rencana Pemecahan Masalah

Untuk memenuhi kebutuhan material yang tahan aus dengan kekerasan permukaan yang tinggi dapat dilakukan proses pengerasan permukaan melalui metode *coating* yaitu proses pelapisan permukaan suatu material dengan membentuk permukaan baru atau memodifikasi permukaan. Proses *coating* menggunakan *thermal spray coating* dengan metode *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF) dengan variasi komposisi material *coating* yaitu 88WC-12Co, 83WC-17Co dan 86WC-10Co4Cr.

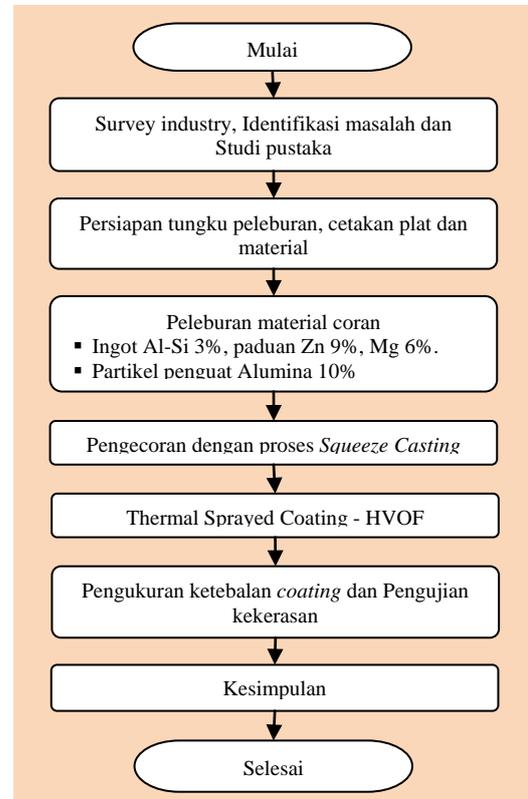
### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan proses manufaktur komposit matriks aluminium berpenguat alumina melalui teknologi *squeeze casting* dilanjutkan dengan *thermal sprayed coating* dengan metode *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF) untuk aplikasi komponen otomotif.
2. Mengetahui jenis dan komposisi material *coating* yang menghasilkan nilai kekerasan permukaan yang paling tinggi, terhadap material komposit matriks aluminium berpenguat partikel alumina.

### METODE

Untuk mencapai pengembangan komposit matriks aluminium berpenguat alumina dengan kekerasan permukaan yang tinggi, maka penelitian dirancang mengikuti diagram alir seperti terlihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Material awal yang digunakan adalah ingot Aluminium dengan kandungan unsur paduan Si 3% wt, kemudian ditambahkan unsur paduan Zn 9 % wt, Mg 6% wt (Al-3Si-9Zn-6Mg). Bahan sebagai penguat komposit adalah alumina serbuk berukuran 10  $\mu\text{m}$ . Tahapan-tahapan yang dilakukan pada riset ini adalah :

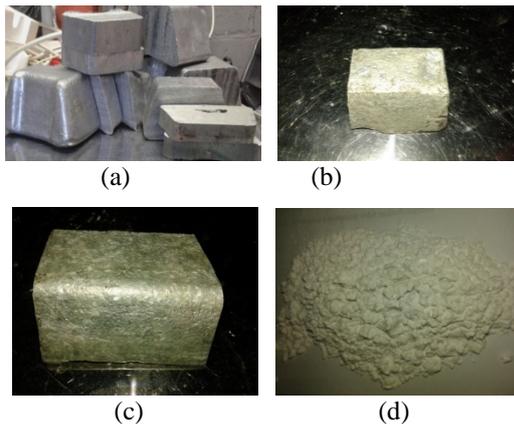
1. Survey industry, identifikasi masalah, dan studi pustaka.
2. Persiapan tungku peleburan, cetakan plat dan material bahan baku coran.
3. Proses pembuatan aluminium matriks komposit dengan penguat alumina, dengan tahapan sebagai berikut:
  - Proses peleburan paduan aluminium dan partikel penguat alumina dilakukan dalam dapur lebur listrik dengan temperatur lebur 850<sup>0</sup>C.

- Proses pengecoran *squeeze casting* dengan besar tekanan 20 kg/cm<sup>2</sup>.
- 4. Proses *thermal spray coating* dengan metode *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF) menggunakan material *coating* 88WC-12Co, 83WC-17Co dan 86WC-10Co4Cr
- 5. Karakterisasi komposit matriks aluminium;
  - Pengukuran ketebalan lapisan *coating*
  - Pengujian kekerasan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Proses Peleburan dan Pengecoran**

Material komposit terdiri dari matriks aluminium dengan paduan Si 3%, kemudian ditambah dengan unsur paduan Zn 9 % wt, Mg 6% wt, sedangkan partikel penguat adalah alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dengan fraksi volume 10% (lihat Gambar 2). Bahan baku selanjutnya ditimbang sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan dan disesuaikan dengan kapasitas atau volume tungku peleburan. Proses perhitungan dimulai dari perhitungan volume cetakan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dari volume dan berat komposit matriks aluminium.

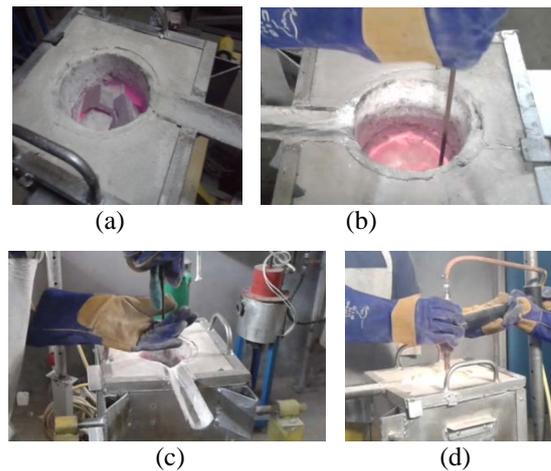


Gambar 2. (a) Aluminium (b) Magnesium (c) Zinc (d) Alumina

Proses peleburan menggunakan dapur lebur tipe *crucible* dengan *filament* sebagai sumber panas untuk mencairkan logam aluminium. Aluminium ingot dipotong menjadi potongan-potongan kecil untuk mempercepat waktu peleburan logam. Proses peleburan aluminium dilakukan pada temperatur 850°C. Setelah aluminium mencair dilakukan proses *degassing* dengan argon sehingga kotoran yang mengendap pada cairan aluminium timbul ke permukaan dan kemudian

dikeluarkan dengan menggunakan ladle. Setelah itu dilakukan pencampuran bahan paduan magnesium, silicon, dan zinc. Setelah bahan paduan mencair, selanjutnya dimasukkan alumina yang berfungsi sebagai penguat dari komposit matrik aluminium.

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 5000 Rpm. Pengadukan berfungsi agar bahan material cair dapat tercampur merata (Gambar 3).



Gambar 3. (a) Proses peleburan; (b) Proses *degassing* menggunakan argon; (c) Pembuangan kotoran; (d) Proses *stirring*

Selanjutnya dilakukan proses pengecoran dan penekanan. Pada Gambar 4 terlihat proses pengecoran dan penekanan logam cair di dalam cetakan.



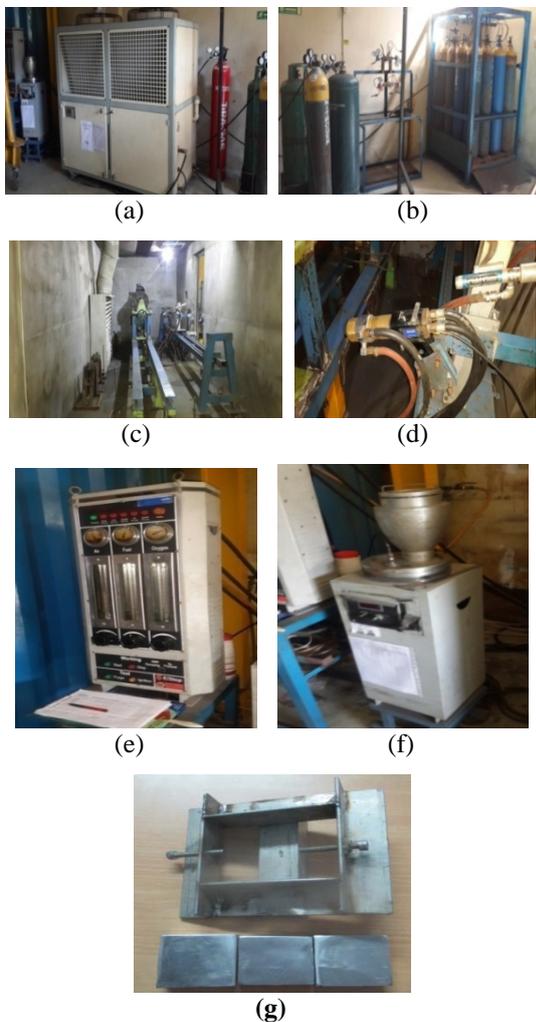
Gambar 4. Proses penuangan dan penekanan material coran.

Sebelum dilakukan proses pengecoran, dilakukan pemanasan cetakan dengan *heater* yang bertujuan agar logam cair tidak 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.

Pemberian tekanan menggunakan sistem hidrolik dengan kekuatan tekan sebesar 20 kg/cm<sup>2</sup>. Proses penekanan ini dilakukan agar logam cair tersebut dapat mengisi penuh seluruh rongga cetakan, sehingga tidak ada rongga kosong serta untuk meminimalkan terjadinya cacad *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 mengalami *freezing* secara sempurna.

### Proses Coating



Gambar 5. (a) Chiller, (b) Propen Oxygen Nitrogen,, (c) Spray Room, (d) Spray Gun. (e) Control Panel, (f) Tempat Powder, (g) Jig.

Proses *Thermal Sprayed Coating* dengan metode *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF) doawali dengan persiapan peralatan dan material pendukung. Peralatan utama yang digunakan diantaranya *jig* pemegang benda kerja, *spray gun* sebagai penyemprot material pelapis, *coating room* sebagai tempat proses pelapisan, *blasting room* untuk proses *blasting*, tempat penyimpanan material *coating*, *oxygen*, *nitrogen*, *propen*, kompresor, control panel, *chiller*, serta beberapa peralatan pendukung lainnya (Gambar 5).

Bahan baku yang digunakan pada proses *coating* ini adalah material komposit matrik alumunium berpenguat alumina yang akan di *coating*, material *coating* dalam bentuk serbuk (*powder*) yang terdiri dari unsur Tungsten Carbide, Cobalt dan Chrom, yang terdiri dari tiga komposisi yaitu 88WC-12Co, 83WC-17Co, 86WC-10Co-4Cr (Gambar 6).

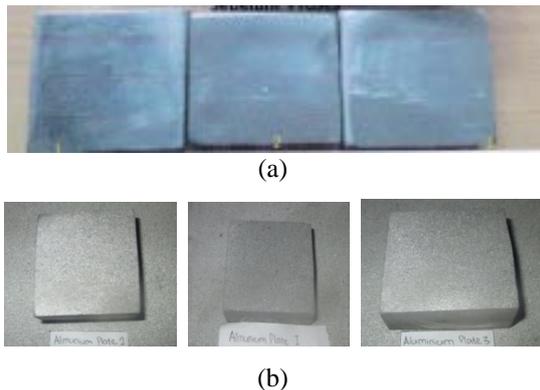


Gambar 6. Material *powder coating*,

Proses pelapisan dibagi menjadi 2 tahap yaitu proses persiapan (*preparation*) permukaan material dan proses penyemprotan (*spraying*). Proses persiapan permukaan merupakan proses yang dilakukan guna menyiapkan permukaan sebelum proses *spraying* pada bagian permukaan yang akan *dicoating*. Tahap kerja yang dilakukan selama proses persiapan permukaan adalah sebagai berikut :

- Pembersihan permukaan material dengan menggunakan *thinner*, agar permukaan material bersih dari kotoran berupa oli dan korosi.
- Pemanasan material dengan menggunakan nyala api bahan bakar gas (LPG) dalam waktu yang relative singkat untuk menghilangkan air dan *thinner* yang mungkin saja masih tersisa pada material.
- Pengasaran permukaan dengan *grit blasting* dengan tekanan 4 bar. Hasil proses *blasting* yang baik apabila

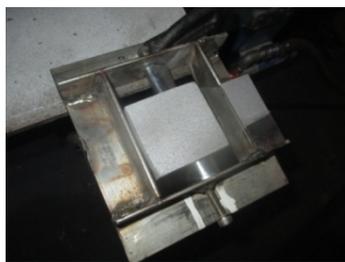
permukaan material terlihat kusam dan agak kasar seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Material benda kerja; (a) Sebelum proses *blasting*; (b) Setelah proses *blasting*

Setelah proses *blasting*, dilanjutkan dengan proses penyemprotan (*spraying*) yaitu proses pelapisan material. Proses pelapisan harus dilakukan sesegera mungkin setelah proses pengasaran permukaan untuk mengurangi kemungkinan teroksidasinya permukaan material yang mempengaruhi kekuatan ikatan lapisan. Tahapan proses pelapisan adalah sebagai berikut:

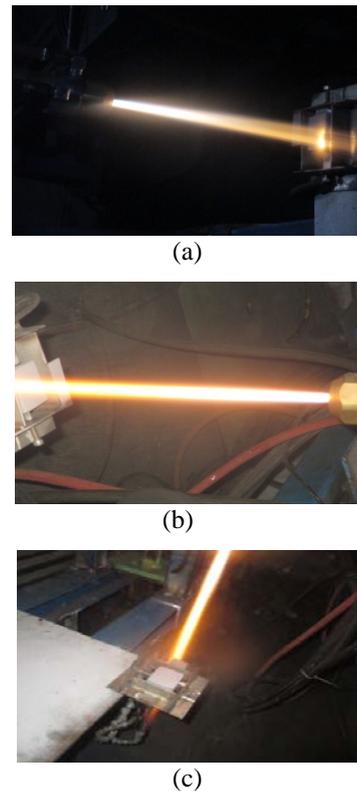
- Pemasangan material pada penahan (*jig*) agar benda kerja tetap pada tempatnya ketika dilakukan penyemprotan, seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Penempatan *material* pada *jig*

- Pengaturan parameter proses *coating*. Material ditempatkan pada jarak sekitar 140 mm dari *spray gun*, kemudian parameter tetap proses pembakaran diatur pada tekanan 5 bar untuk oksigen, 3 bar untuk propen, dan 2 bar untuk udara.
- Pelapisan yang pertama menggunakan material 86WC-10Co-4Cr dengan ketebalan rata-rata 0,33 cm, pelapisan kedua menggunakan material 88WC-12Co dengan ketebalan rata-rata 0,26 cm, dan menggunakan material 83WC-17Co

dengan ketebalan rata-rata 0,15 cm (Gambar 9).



Gambar 9. Proses pelapisan dengan material; (a) 86WC-10Co-4Cr, (b) 88WC-12Co, dan (c) 83WC-17Co.



Gambar 10. Material benda kerja setelah dilepaskan dari *jig* penahan.

Setelah proses pelapisan selesai dilaksanakan, selanjutnya material benda kerja dilepaskan dari *jig* penahan setelah material

berada dalam keadaan dingin atau temperature ruang (Gambar 10).

Tahapan berikutnya adalah pengukuran ketebalan pelapisan. Pengukuran ketebalan dilakukan pada 3 (tiga) titik untuk setiap benda kerja, seperti terlihat pada Tabel 1. Dari pengukuran ketebalan didapatkan hasil rata-rata ketebalan lapisan dengan material pelapis 86WC-10Co-4Cr sebesar 0,34 mm, untuk material pelapis 88WC-12Co sebesar 0,26 mm, dan untuk material pelapis 83WC-17Co sebesar 0,16 mm. Dari hasil pengukuran ketebalan tersebut memperlihatkan bahwa semakin banyak WC maka ketebalan semakin besar dan dengan penambahan Cr dapat juga menambah ketebalan, seperti terlihat pada material pelapis 86WC-10Co-4Cr, dimana walaupun nilai WC lebih kecil dari pada 88WC-12Co tapi nilai ketebalannya lebih tinggi.

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell* skala B dengan beban sebesar 100 Kgf. Sampel material yang diuji sebanyak 4 sampel yaitu plat yang tanpa pelapisan, dan 3 sampel yang telah dilapisi dengan 86WC-10Co-4Cr, 88WC-12Co, dan 83WC-17Co. Untuk setiap benda kerja dilakukan pengujian pada 5 (lima) titik dan kemudian dirata-ratakan.

Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 2. Pengujian kekerasan untuk material benda kerja yang tidak di *coating* didapatkan nilai 39 HRB. Untuk benda kerja yang di *coating* didapatkan hasil 71 HRB untuk 88WC-12Co, 57 HRB untuk 83WC-17Co, dan 87 HRB untuk penggunaan material *coating* 86WC-10Co-4Cr.

Tabel 1. Hasil pengukuran ketebalan *coating*.

Material Benda Kerja	Material <i>Coating</i>	Pengukuran Ketebalan			Rata-rata (mm)
		Titik A	Titik B	Titik C	
1	88WC-12Co	0,22	0,23	0,33	0,26
2	83WC-17Co	0,15	0,16	0,16	0,16
3	86WC-10Co-4Cr	0,37	0,39	0,25	0,34

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan.

Material Benda Kerja	Material <i>Coating</i>	Nilai Kekerasan HRB					Rata-rata
		Titik I	Titik II	Titik III	Titik IV	Titik V	
1	88WC-12Co	68,3	70,8	71,7	71,6	72,6	71
2	83WC-17Co	57,3	56,4	57,7	56,0	56,4	57
3	86WC-10Co-4Cr	89,1	85,8	86,5	87,2	88,0	87
4	Tanpa <i>coating</i>	39,3	37,0	38,8	39,1	39,5	39

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan untuk jenis material *coating* WC-Co, didapat hasil bahwa komposisi unsur WC yang lebih besar menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, yaitu 71 HRB untuk 88WC-12Co dan 57 HRB untuk 83WC-17Co. Kekerasan kekerasan yang paling tinggi didapatkan pada penggunaan material *coating* 86WC-10Co-4Cr yaitu sebesar 87 HRB. Penambahan unsur Cr pada material *coating* akan meningkatkan

kekerasan permukaan material yang di *coating*. Penurunan jumlah komposisi unsur Co dapat menurunkan kekerasan permukaan material yang di *coating*.

Untuk dapat lebih meningkatkan kekerasan permukaan material, khususnya material komposit matriks aluminium berpenguat partikel alumina, pada penelitian berikutnya dapat disarankan beberapa hal diantaranya yaitu melakukan proses *Heat Treatment* pada material bahan baku sebelum

dilakukan proses *coating*. Menggunakan material coating dari jenis unsur yang berbeda agar didapat nilai perbandingan dengan hasil yang sudah didapatkan menggunakan jenis material coating paduan WC-Co-Cr. Serta, dilakukan juga pengujian keausan untuk mengetahui lebih menyeluruh karakteristik permukaan material yang di *coating*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim asisten dan teknisi di Laboratorium Pengecoran Logam, Fakultas Teknik Universitas Pancasila atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_, (1992), *ASM Handbook, 21: Composites*. ASM International, The Materials Information Company.
- B.T. Sofyan, S. Susanti, R. R. Yusfranto, (2008), *Peran 1 dan 9 w.t. % Zn dalam Proses Pengerasan Presipitasi Paduan Aluminium AA319*, Makara Teknologi, 12 (1), pp. 48-54.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- F.L. Matthews dan Rawlijns, R.D, (1994), *Composite Material: Engineering & Science*, Chapman & Hall, London.
- 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.
- 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.
- N. Souissi, S. Souissi, C.L. Nivinen, M.B. Amar, C. Bradai, F. Elhalouani, (2014), *Optimization of Squeeze Casting Parameters for 2017 A Wrought Al Alloy using Taguchi Method*, Metals 4, pp 141-154.
- 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.
- Serope Kalpakjian and Steven R.Schmid, (2009), *Manufacturing Engineering & Technology*, Sixth Edition, Pearson Education Inc, Singapore.
- T.R. Vijarayam, et.al., (2006), *Fabrication of Fiber Reinforced Metal Matrix Composite by Squeeze Casting Technology*, Journal of Materials Processing Technology 178, 34-38.