

MIKROSTRUKTUR DAN KARAKTERISASI SIFAT MEKANIK LAPISAN Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 HASIL DEPOSISI DENGAN MENGGUNAKAN HIGH VELOCITY OXYGEN FUEL THERMAL SPRAY COATING

Edy Riyanto, Budi Prawara

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Komplek LIPI, Jl. Cicitu No.21/154D, Bandung,
Jawa Barat 40135, Indonesia
edyr001@lipi.go.id; budi.prawara@lipi.go.id

Diterima: 20 Juli 2010; Direvisi: 17 September 2010; Disetujui: 29 September 2010;
Terbit online: 10 Oktober 2010.

Abstrak

Proses pelapisan permukaan komponen dengan menggunakan metode *thermal spray* telah banyak diaplikasikan di industri. Pelapisan keramik matrik komposit yang terdiri dari Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 telah dilakukan untuk memperoleh lapisan material yang memiliki sifat mekanik yang unggul untuk meningkatkan kinerja komponen. Metode *thermal spray* yang digunakan adalah *High Velocity Oxygen Fuel* (HVOF). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap mikrostruktur, kekasaran permukaan dan kekerasan lapisan, dengan membuat variasi ukuran partikel serbuk NiAl. Hasil uji menunjukkan ukuran partikel serbuk NiAl memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik lapisan keramik matrik komposit yang dihasilkan. Semakin kecil ukuran partikel serbuk NiAl, nilai kekerasan lapisan Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 semakin meningkat dengan nilai kekasaran permukaan yang semakin rendah.

Kata kunci: *Thermal spray coating, High Velocity Oxygen Fuel, lapisan Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 .*

Abstract

Surface coating processing of industrial component with thermal spray coatings have been applied in many industrial fields. Ceramic matrix composite coating which consists of Cr_3C_2 - Al_2O_3 -NiAl had been carried out to obtain layers of material that has superior mechanical properties to enhance component performance. Deposition of CMC with High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) thermal spray coating has been employed. This study aims to determine the effect of powder particle size on the microstructure, surface roughness and hardness of the layer, by varying the NiAl powder particle size. Test results show NiAl powder particle size has an influence on the mechanical properties of CMC coating. Hardness of coating increases and surface roughness values of coating decrease with smaller NiAl particle size.

Key Words : *Thermal spray coating, high velocity oxygen fuel, Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 coating*

I. PENDAHULUAN

Pelapisan dengan metode *High Velocity Oxygen Fuel* (HVOF) *thermal spray coating* menghasilkan struktur bahan yang sangat padat, porositas rendah dengan tegangan sisa tarik (*residual stress*) yang rendah. Karena proses ini memiliki energi kinetik partikel sangat tinggi pada saat berdeposisi pada permukaan substrat, HVOF cocok untuk aplikasi pelapisan permukaan yang memerlukan densitas tinggi [1]. Proses ini dicirikan dengan kecepatan partikel *droplet* yang tinggi dan temperatur nyala api yang rendah [2]. Panas pada HVOF diperoleh dari hasil pembakaran campuran oksigen dengan bahan bakar gas, terutama berupa hidrogen, *kerosene*, propana, *propylene*, gas alam cair dan *acetilene*.

Dengan menggunakan desain nosel konvergen-divergen, *jet* nyala api hasil

pembakaran dapat mencapai kecepatan supersonik yang ditandai dengan pembentukan *shock diamond* [3], [4]. Pembakaran yang dihasilkan adalah pembakaran yang kontinyu sehingga hasil deposisi memiliki ketebalan yang seragam. Pada aplikasi industri, Cr_3C_2 , Al_2O_3 dan *Tungsten carbide* telah banyak dikenal sebagai material penguat yang digunakan untuk meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus dengan koefisien friksi yang rendah [5], [6]. Untuk membentuk struktur lapisan yang memiliki densitas yang tinggi, material yang berfungsi sebagai pengikat partikel penguat berfasa padat diperlukan. Karakter serbuk partikel tersebut memiliki temperatur lebur yang lebih rendah daripada material penguat. Material pengikat yang digunakan dapat berupa nikel, khrom, kobalt dan aluminium [2].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh lapisan permukaan yang memiliki nilai kekerasan permukaan yang tinggi dengan nilai kekasaran yang rendah. Modifikasi lapisan permukaan dilakukan dengan menggunakan serbuk Cr_3C_2 dan Al_2O_3 sebagai material penguat dan serbuk NiAl sebagai material pengikat. Untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel serbuk terhadap sifat mekanik lapisan, ukuran serbuk NiAl divariasikan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan sebagai substrat adalah baja karbon menengah S45C berukuran 50 x 40 x 3 mm. Baja jenis ini memiliki nilai kekerasan *microhardness* sebesar 138 Hv. Alat yang digunakan untuk proses pelapisan adalah HVOF *gun spray* dengan tipe Hipojet-2700. Udara bertekanan digunakan sebagai pendingin HVOF *gun spray*. Propana digunakan sebagai bahan bakar pembentuk nyala api berkecepatan tinggi. Komposisi perbandingan berat campuran serbuk Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 adalah 60-30-10 %. Parameter yang digunakan pada proses penyemprotan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1.
Parameter proses penyemprotan.

Parameter	HP2700
Kecepatan alir oksigen (lt/min)	271
Kecepatan alir bahan bakar (lt/min)	62,4
Kecepatan alir gas pembawa (lt/min)	8
Tekanan gas pembawa (bar)	5
Tekanan oksigen (bar)	8
Tekanan bahan bakar (bar)	5
Bahan bakar	Propana

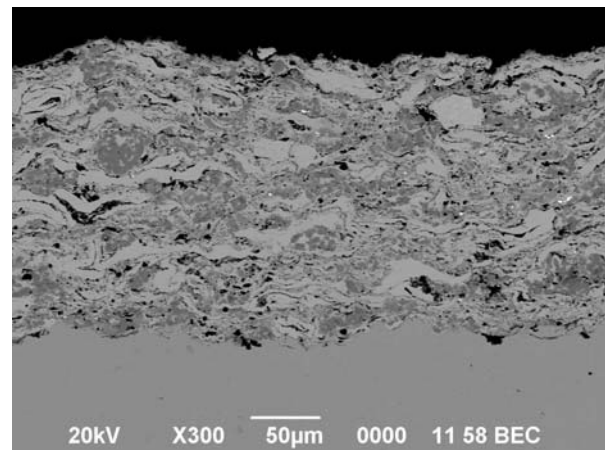
Sebelum proses *spraying* permukaan substrat dikasarkan dengan menggunakan *blasting* yang memiliki diameter nosel 3 mm. Bahan *blasting* yang digunakan adalah *steel grit* berukuran *mesh* 24. Jarak antara ujung nosel dan permukaan substrat 15 cm. Mikrostruktur potongan melintang lapisan Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 di amati dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Nilai kekerasan lapisan diukur dengan menggunakan indentasi Vicker's berbeban 200 g. Masing-masing spesimen dilakukan proses indentasi sebanyak 5 titik mengikuti standard JIS H8666.

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan ukuran partikel terhadap kekasaran permukaan, uji kekasaran dilakukan dengan menggunakan SurfTest SJ-301 (Mitutoyo).

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Mikrostruktur Lapisan

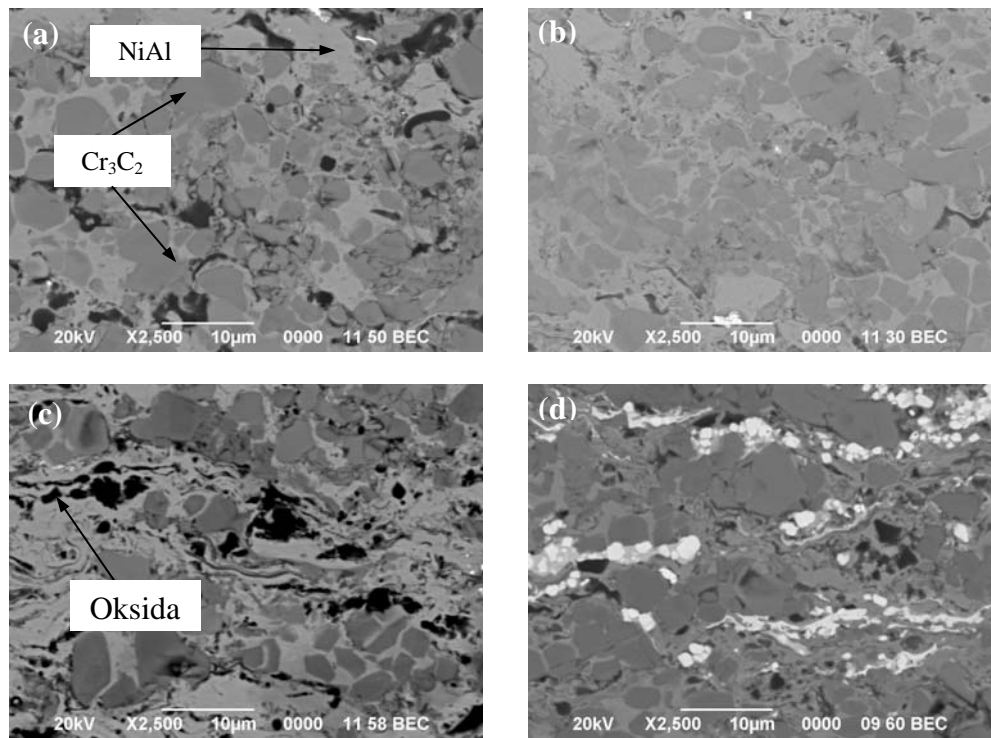
Hasil deposisi dengan menggunakan HVOF *thermal spray coating* menunjukkan ikatan mekanik (*mechanical bonding*) antara *Ceramic Matrix Composite* dengan *medium carbon steel substrate* seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Lapisan oksida tidak terbentuk pada *interface coating* dengan substrat, hal ini menunjukkan bahwa *stochiometri* pembakaran campuran *propane* dan oksigen yang baik dan temperatur substrat yang selalu terjaga di bawah 150 °C.



Gambar 1. SEM *micrograph* potongan melintang CMC coating.

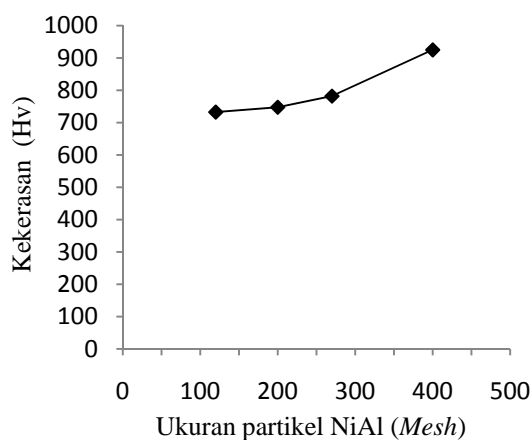
Mikrostruktur dari potongan penampang lintang lapisan Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 dengan berbagai ukuran *reinforced* NiAl partikel ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil deposisi dengan menggunakan HVOF *thermal spray coating* menunjukkan ikatan yang kuat antar *lamella* (*interlamella contact*) dan tidak ada *crack* (retak) yang terbentuk diantara *lamella*. Perbedaan unsur pada *coating* dapat dilihat dengan menggunakan perbedaan skala warna kelabu (*gray scale*) hasil dari *backscattered image*. Warna hitam menunjukkan porositas dari *coating* serta unsur Cr, Ni, dan Al berturut-turut sesuai dengan degradasi ke warna kelabu yang lebih muda.

Porositas dari *coating* dapat berpengaruh pada sifat mekanik seperti kekerasan [7]. Semakin tinggi persentase porositas lapisan maka kekerasan akan menurun demikian pula sebaliknya lapisan dengan densitas yang semakin tinggi akan memiliki kekerasan yang semakin tinggi pula.



Gambar 2. Mikrostruktur lapisan $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiAl-Al}_2\text{O}_3$ dengan variasi ukuran partikel serbuk NiAl, (a) *mesh* 120, (b) *mesh* 200, (c) *mesh* 270, (d) *mesh* 400.

B. Kekerasan Lapisan



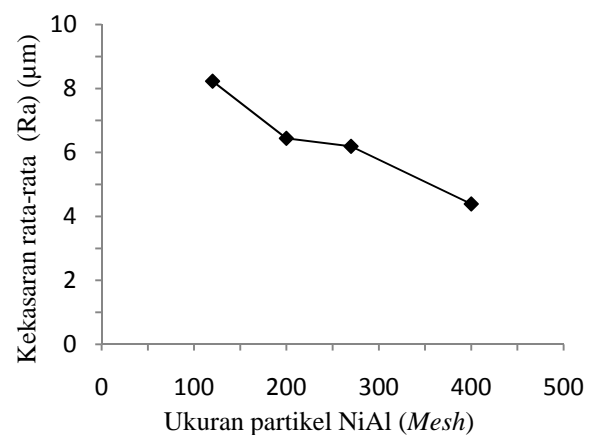
Gambar 3. Pengaruh ukuran partikel NiAl terhadap kekerasan lapisan $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiAl-Al}_2\text{O}_3$.

Bahan substrat yang digunakan pada proses pelapisan $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiAl-Al}_2\text{O}_3$ adalah baja karbon menengah dengan kekerasan 138 Hv. Dengan dilapisi $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiAl-Al}_2\text{O}_3$ menggunakan metode HVOF *thermal Spray*, nilai kekerasan dapat di tingkatkan sampai dengan 925 Hv. Gambar 3 menunjukkan pengaruh ukuran partikel NiAl terhadap nilai kekerasan lapisan $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiAl-Al}_2\text{O}_3$. Semakin kecil ukuran partikel NiAl, nilai kekerasan lapisan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari kondisi *melting* dari partikel pada saat menumbuk substrat membentuk lapisan *coating*. Semakin besar ukuran partikel serbuk NiAl, semakin besar nilai

fraksi volume partikel yang tidak lebur, sehingga daya ikat antara partikel penguat semakin rendah. Daya ikat yang rendah akan mengakibatkan nilai kekerasan lapisan yang rendah. Kondisi tersebut juga menyebabkan ruang kosong di antara partikel-partikel yang tidak meleleh membentuk porositas [6].

C. Kekasaran Permukaan Lapisan

Gambar 4 menunjukkan hubungan ukuran partikel serbuk yang digunakan terhadap kekasaran rata-rata permukaan lapisan yang terbentuk. Semakin kecil ukuran partikel NiAl, nilai rata-rata kekasaran permukaan lapisan semakin rendah.



Gambar 4. Pengaruh ukuran partikel NiAl terhadap kekasaran permukaan lapisan.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai kekasaran, permukaan lapisan semakin halus. Fenomena ini dimulai dari proses awal pembentukan *droplet* pada saat masing-masing partikel menyerap energi panas nyala api. Partikel yang besar cenderung membentuk *droplet* dalam ukuran besar dengan tingkat volume partikel yang meleleh yang rendah atau leleh sebagian [8]. *Droplet* dengan kondisi tersebut akan menumbuk substrat membentuk *lamella* dalam ukuran yang besar. Tumpukan *lamella* berukuran besar akan membentuk lapisan yang memiliki nilai kekasaran permukaan yang tinggi. Sedangkan partikel yang memiliki ukuran kecil akan mudah untuk meleleh penuh membentuk *droplet* cair dan berdeposisi ke arah samping membentuk lapisan yang memiliki permukaan yang halus [8], [9]. Sesaat setelah *droplet* menumbuk substrat akan terbentuk *splat* dengan ketebalan yang sangat dipengaruhi oleh kecepatan pergerakan *droplet* sesaat sebelum berdeposisi. Ketebalan *splat* berkurang dengan bertambahnya kecepatan *droplet* dan sebaliknya. Faktor kondisi lebur partikel juga berpengaruh terhadap proses pembentukan *splat*. Meningkatnya fraksi volume fasa padat *droplet* menyebabkan ketebalan *splat* meningkat dengan ukuran radius *splat* yang semakin pendek [2]. *Splat* yang tebal akan membentuk *lamella* berukuran tebal dengan diameter yang pendek. Tumpukan *lamella-lamella* dengan kondisi tersebut membentuk permukaan lapisan dengan nilai kekasaran yang tinggi.

IV. KESIMPULAN

Deposisi lapisan keramik matrik komposit (*ceramic matrix composite*) berbasis *chrome carbide* dengan partikel penyisip NiAl yang memiliki variasi ukuran telah dilakukan menggunakan *high velocity oxygen fuel (HVOF) thermal spray coating*. Hasil-hasil yang didapat dari kegiatan/penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Nilai kekasaran permukaan lapisan Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 dipengaruhi oleh ukuran partikel serbuk, fraksi volume fasa padat *droplet*, ketebalan dan radius *splat* yang terbentuk.
- b. Berkurangnya ukuran partikel serbuk yang digunakan pada lapisan Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 menyebabkan nilai kekerasan meningkat dengan nilai kekasaran permukaan lapisan yang semakin rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua teknisi Puslit Telimek LIPI yang telah membantu kegiatan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian Kompetitif LIPI Tahun 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Magnani, P.H. Soegama, N. Espallargas, C.S. Fugivara, S. Dosta, J.M. Guilemany, and A.V. Benedetti, Corrosion and Wear Studies of Cr_3C_2 -NiCr-HVOF Coatings Sprayed on AA7050 T7 Under Cooling, *Journal of Thermal Spray Technology*, March 2009.
- [2] J. He, M. Ice and E. Lavernia, Particle Melting Behaviour During High Velocity Oxygen Fuel Thermal Spraying, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol 10(1), 2001, pp. 83-93.
- [3] E. Turunen, Diagnostic Tools for HVOF Process Optimization, *Dissertation for the degree doctor of Science*, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2005.
- [4] K.W. David Hart, D.H. Harper, M.J. Gill and G.R. Heath, Case Studies in Wear Resistance Using HVOF, PTAW and Spray Fusion Surfacing, Eutectetic Canada Inc., Edmonton, Alberta, Canada.
- [5] D.E. Wolfe, T.J. Eden, J.K. Potter and A.P. Jaroh, Investigation and Characterization of Cr_3C_2 - Based Wear-Resistant Coatings Applied by the Cold Spray Process, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol 15(3), 2006, pp. 400- 412.
- [6] G.-J. Ji, C.-J. Li, Y.-Y. Wang and W.-Y. Li, Erosion Performance of HVOF-Sprayed Cr_3C_2 -NiCr Coatings, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol 16(4), 2007, pp. 557-565.
- [7] C.-J. Li, Y.-Y. Wang, Effect of Particle State on the Adhesive Strength of HVOF Sprayed Metallic Coating, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol 11(4), 2002, pp. 523- 529.
- [8] V.V.Sobolev, J.M.Guilemany, and A.J.Martin, Flattening of Composite Powder Particles during Thermal Spraying, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol 6(3), 1997, pp. 353- 360.
- [9] R.S.Neiser, M.F.Smith, and R.C.Dykhuisen, Oxidation in Wire HVOF-Sprayed Steel, *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol 7(4), 1998, pp. 537-545.