

## Pengaruh Kekasaran Permukaan terhadap Kekuatan Lekat dan Struktur Mikro Lapisan WC-Co hasil HVOF Thermal Spray

Bondan T. Sofyan<sup>1</sup>, Marizki Stefano<sup>1</sup>, Haposan J. Pardede<sup>1</sup>, dan Edi Sofyan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Dirgantara, LAPAN, Jl. Raya Lapan, Rumpin, Serpong, Tangerang 15310

Email: bondan@metat.ui.ac.id

### Abstrak

Pada makalah ini dibahas karakteristik lapisan WC-Co hasil proses thermal spray dengan teknik HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) yang akan diaplikasikan pada pada nosel roket RX-100 guna menggantikan pelapis grafit masif yang berat. Untuk itu, dilakukan studi pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekuatan lekat dan struktur mikro lapisan.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa variasi tekanan proses penyemprotan (grit blasting) menyebabkan variasi kekasaran permukaan, dimana semakin besar tekanan yang diberikan, semakin kasar permukaan yang diperoleh. Namun, kekuatan kohesi lapisan dan kekerasan lapisan WC-Co tidak dipengaruhi oleh kekasaran permukaan tersebut. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tanpa proses persiapan permukaan, lapisan WC-Co thermal spray tidak dapat melekat dengan baik pada logam dasarnya. Analisa struktur mikro lapisan WC-Co menggunakan mikroskop optik dan Scanning Electron Microscope (SEM) menunjukkan bahwa lapisan WC-Co relatif padat dengan komposisi bervariasi pada daerah berbeda. Terdapat indikasi terjadinya difusi W pada daerah antar-fasa yang berkontribusi pada tingginya kekuatan lekat lapisan.

**Kata kunci:** HVOF (High Velocity Oxy-Fuel), thermal spray, WC-Co, grit blasting, kekasaran permukaan

### Abstract

This research investigated the characteristics of HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) thermal spray WC-Co coating to be applied on the nozzle of RX-100 rocket. In particular, it studied the effects of surface preparation on the mechanical properties and microstructures of the coating.

The results showed that the grit blasting pressure directly influences the surface roughness of the substrate, in which the greater the pressure, the higher the surface roughness. However, the cohesive strength and hardness of the coating are not affected by the surface roughness. This research also showed that without grit blasting, the WC-Co coating can not be applied on the substrate. Microstructural analysis of the WC-Co coating showed that this coating is relatively dense with variety in chemical content on different area. An indication of the diffusion of W in the interfacial area was found, which is thought to contribute to the high strength of the coating.

**Key words:** HVOF (High Velocity Oxy-Fuel), thermal spray, WC-Co, grit blasting, surface roughness

### 1. Latar Belakang

Teknologi roket balistik telah dikembangkan di Indonesia sejak awal 1960-an, dimana pada tahun 1962 telah berhasil diluncurkan sebuah roket balistik yang diberi nama Roket Kartika I yang dirancang dan dibuat oleh putra-putri Indonesia dengan berat luncur 220 kg. Sejak itu, berbagai jenis roket balistik telah

dibuat dan diluncurkan di Indonesia, yang seluruhnya merupakan roket berbahan bakar padat. Walaupun demikian, hingga saat ini, masalah kendali dan optimasi berat struktur merupakan masalah utama, yang menyebabkan terhambatnya perkembangan teknologi peroketan di Indonesia. Proporsi berat ideal untuk sebuah roket adalah: 91 % berat bahan bakar, 3 % berat struktur dan 6 % berat muatan [1]. Secara rata-rata, roket

kendali balistik yang telah ada saat ini mempunyai proporsi berat: 23 % berat bahan bakar, 33 % berat struktur dan 44 % berat muatan [2]. Komponen nosel menyumbang 30 % dari berat keseluruhan struktur tersebut, sehingga bila material dan proses pembuatan nosel dapat dimodifikasi menjadi lebih ringan, maka pengurangan berat yang dihasilkan akan menjadi sangat signifikan. Saat ini, konstruksi nosel terdiri dari baja dilapis dengan grafit masif setebal 100 mm. Salah satu alternatif untuk mengurangi berat nosel adalah dengan mengganti lapisan grafit masif setebal 100 mm tersebut dengan lapisan tahan panas setebal 1 mm. Pengurangan dimensi hingga 1/100 kali tersebut akan menghasilkan penurunan berat yang signifikan. Material pelapis yang dapat dipakai antara lain adalah serbuk WC-Co (*Tungsten Carbide - Cobalt*) yang diaplikasikan dengan teknik *HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) thermal spray*. Lapisan WC-Co HVOF merupakan lapisan yang memiliki kekerasan tinggi, ketahanan temperatur yang tinggi dan ketahanan erosi yang baik [1]. Namun demikian, kualitas proses HVOF thermal spray sangat tergantung pada antara lain kualitas persiapan permukaan yang akan menentukan kekasaran permukaan. Penelitian ini mempelajari pengaruh kekasaran permukaan terhadap karakteristik lapisan WC-Co yang dihasilkan.

## 2. Metode Penelitian

Material dasar yang dipakai adalah sesuai dengan material yang dipakai untuk nosel roket RX-100, yaitu baja S45C dengan komposisi seperti tampak pada Tabel 1. Sampel dibuat sesuai standar ASTM C633 seperti terlihat pada Gambar 1.

Persiapan permukaan dilakukan dengan *grit blasting* menggunakan serbuk  $Al_2O_3$  berukuran 24 mesh dan dengan variasi tekanan udara 1, 3, 4 dan 5 bar. Sampel diberi label A, B, C, D dan E masing-masing untuk sampel tanpa *grit blasting*, 1, 3, 4 dan 5 bar. Kekasaran permukaan dari setiap sampel diukur dengan *surface*

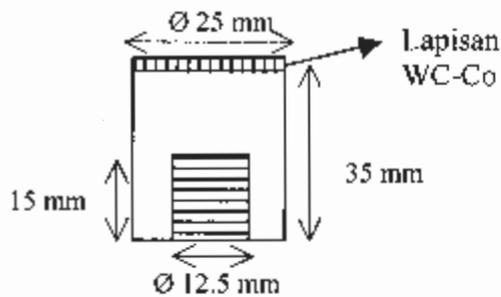
*roughness tester* Surfcom 120A. Proses *thermal spray* menggunakan *Sulzer Metco HVOF gun* dengan serbuk WC-Co produk Deloro Stellite GmbH berukuran 50 mesh. Proses *thermal spray* dilakukan dengan tekanan serbuk 45 psi dan temperatur 31,5 °C. Ketebalan lapisan WC-Co diukur menggunakan mikrometer pada dua titik dari setiap sampelnya dan diverifikasi dengan foto struktur mikro.

Tabel 1.  
Komposisi material dasar, baja S45C

Unsur	wt, %
C	0.423
Mn	0.639
P	0.0045
S	0.01
Cr	0.05
Cu	0.072
Si	0.191
Ni	0.045
Fe	Balance

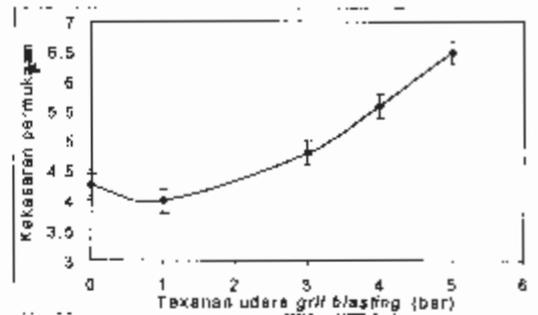
Pengujian kekuatan lapisan WC-Co dilakukan sesuai dengan standar ASTM C633 menggunakan pelekat Devco Epoxy. Pelekat diaplikasikan pada permukaan lapisan WC-Co secara manual dan kemudian dikeringkan pada temperatur kamar dalam kondisi dijepit untuk memastikan kondisi pelekatan sempurna. Jumlah sampel untuk masing-masing parameter adalah 5 (lima). Penarikan sampel dilakukan menggunakan mesin tarik Shimadzu dengan beban maksimum 2 ton dengan memakai alat bantu berupa rantai. Bentuk patahan dari sampel diamati secara visual.

Struktur mikro diamati dengan menggunakan sampel yang telah dietsa menggunakan larutan Murakami ( $K_3Fe(CN)_6 : NaOH = 1 : 1$ ). Pengamatan dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)* dilakukan pada mode *Back-Scattered Electron*. Juga dilakukan analisa komposisi mikro menggunakan detektor *EDXS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy)* di dalam SEM.



Gambar 1.

Bentuk sampel dan posisi aplikasi lapisan WC-Co, sesuai standar ASTM C633.



Gambar 2.

Pengaruh tekanan *grit blasting* terhadap kekasaran permukaan

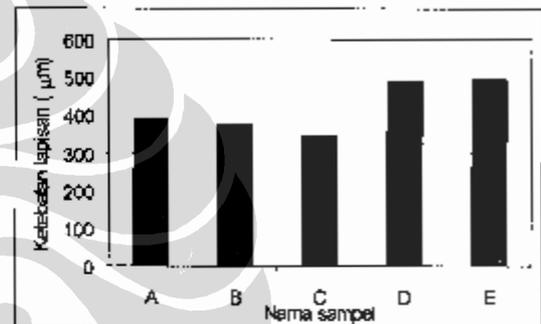
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Kekasaran Permukaan

Pengaruh tekanan udara pada proses *grit blasting* terhadap kekasaran permukaan yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 2. Tampak bahwa kekasaran permukaan awal setelah proses gerinda adalah 4,25  $\mu\text{m}$ . Setelah di *grit blasting* dengan tekanan 1 bar, permukaan menjadi lebih halus. Hal ini disebabkan karena ukuran serbuk *grit blasting* lebih halus dibandingkan dengan ukuran media gerinda. Namun kemudian, dengan bertambahnya tekanan *grit blasting* bertambah besar pula energi tumbukan dari media *grit blasting*, sehingga semakin besar deformasi pada permukaan sampel, yang artinya semakin tinggi tingkat kekasaran permukaan yang dihasilkan.

#### 3.2 Ketebalan Lapisan

Ketebalan lapisan WC-Co *thermal spray* ditargetkan sekitar 400  $\mu\text{m}$ . Namun demikian, karena sampel berukuran relatif kecil dibandingkan dengan diameter semprot yang dihasilkan, amat sulit mengontrol ketebalan lapisan. Seperti tampak pada Gambar 3, ketebalan lapisan yang dihasilkan bervariasi mulai dari 346,4  $\mu\text{m}$  hingga 492,9  $\mu\text{m}$ , yaitu dengan simpangan sebesar ~ 18 % dari target. Hasil penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa besarnya simpangan



Gambar 3.

Ketebalan lapisan WC-Co pada sampel dengan kekasaran berbeda. Sampel A: tanpa *grit blasting*, dan sampel lainnya dengan *grit blasting* dengan tekanan B: 1 bar, C: 3 bar, D: 4 bar dan E: 5 bar.

ketebalan dari target bervariasi sekitar 15 – 40 % [3]. Dalam aplikasinya, guna menyeragamkan ketebalan, lapisan umumnya digerinda setelah proses. Namun demikian, hal tersebut tidak dilakukan pada penelitian ini karena fokus penelitian adalah pada persiapan permukaan sampel.

#### 3.3 Kekuatan Lekatan

Hasil pengujian kekuatan lekatan menunjukkan bahwa lapisan WC-Co yang diberikan pada permukaan tanpa *grit blasting* memiliki kekuatan sangat rendah, dimana seluruh lapisan WC-Co lepas pada permukaan logam dasar pada saat proses penarikan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4, dimana permukaan logam dasar

yang tampak mengkilap. Lepasnya lapisan WC-Co ini disebabkan karena rendahnya ikatan mekanis antara lapisan WC-Co dengan permukaan akibat permukaan yang memiliki kekasaran tidak seragam setelah proses frais. Selain itu, tanpa proses *grit blasting*, permukaan sampel lebih kotor dan memiliki lapisan lemak dan uap air akibat proses sebelumnya. Lapisan kotoran, lemak dan uap air ini menghambat penempelan lapisan WC-Co pada permukaan material dasar [4]. Hal ini tampak jelas pada struktur mikro yang terdapat pada Gambar 6 (a), dimana terdapat ruang kosong antara lapisan WC-Co dengan permukaan substrat.

Sementara itu, sampel yang mengalami proses persiapan permukaan *grit blasting*, memiliki kekuatan lekatan lapisan WC-Co yang sangat baik. Kekuatan lekatan lapisan WC-Co ini bahkan lebih tinggi dari kekuatan lekatan epoksi sebagai pelekats [3], sehingga bentuk patahan setelah pengujian kekuatan lekatan memiliki mode adhesi dimana patahan terjadi antara epoksi dan permukaan batangan pengujian, seperti tampak pada Gambar 5. Oleh karena itu, maka tidak dapat diperoleh nilai kuantitatif mengenai kekuatan lekatan.



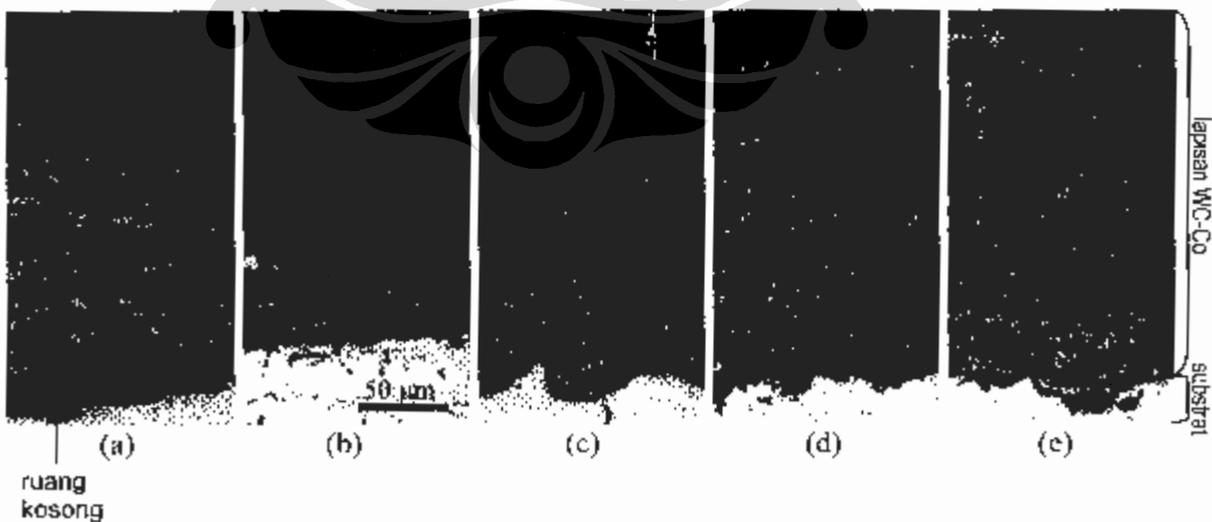
Gambar 4.

Permukaan patahan pengujian kekuatan lekat dari sampel A yang tidak mengalami proses *grit blasting*.



Gambar 5.

Permukaan patahan setelah pengujian kekuatan lekat, dimana permukaan hitam merupakan patahan adhesi di antara epoksi dan permukaan batang uji.



Gambar 6.

Struktur mikro lapisan WC-Co dengan proses *grit-blasting* bertekanan (a) 0 (tanpa *grit blasting*), (b) 1 bar, (c) 3 bar, (d) 4 bar dan (e) 5 bar.

### 3.4 Struktur mikro lapisan

Gambar 6 menunjukkan foto mikro dari lapisan WC-Co dengan kondisi kekasaran permukaan berbeda. Lapisan tampak padat, dengan tidak teramatinya porositas secara dominan di dalam struktur

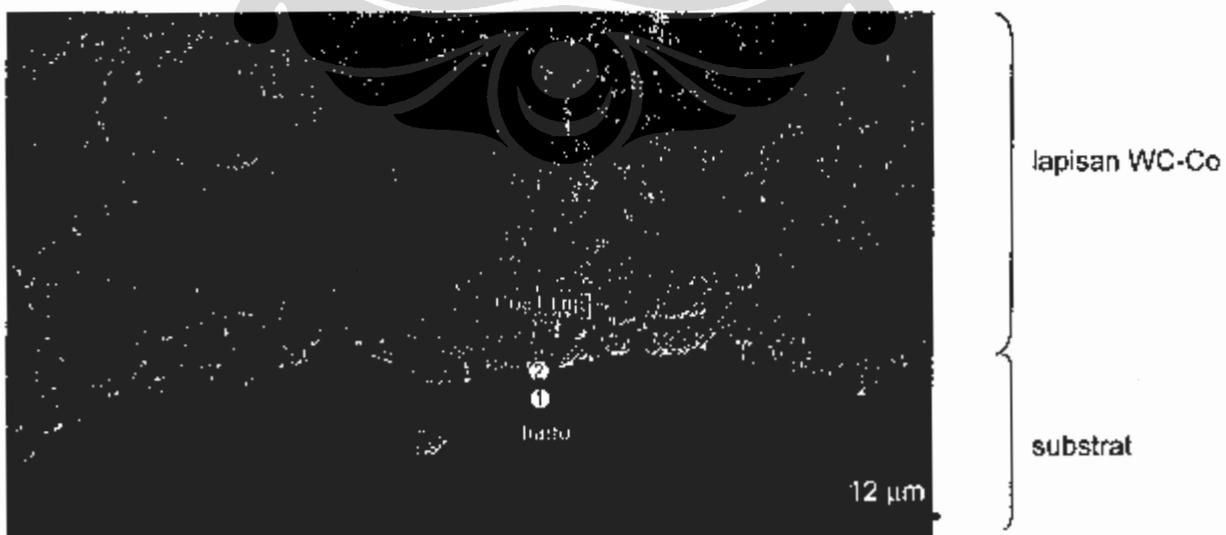
mikro. Secara umum, kepadatan lapisan ini merupakan keunggulan dari proses *thermal spray* dengan metode HVOF [5]. Juga tampak bahwa lapisan memiliki karakteristik unik *thermal spray*, yaitu berupa lamel berombak yang terbentuk akibat proses deposit lamel WC-Co yang terjadi secara kontinyu, dimana jarak antar lamel ini berkisar antara 0,01 – 0,1  $\mu\text{m}$  [6]. Lapisan WC-Co terdiri dari beberapa struktur yang memiliki warna atau tampilan yang berbeda. Warna struktur yang berbeda dapat mengindikasikan adanya perbedaan komposisi kimia pada lapisan, yang akan diamati lebih lanjut menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Dari Gambar 6 juga tampak bahwa ketebalan lapisan cenderung sama untuk suatu segmen luas tertentu. Lapisan WC-Co melekat pada permukaan mengikuti kontur permukaan substrat, namun perbedaan kontur pada permukaan dengan tingkat kekasaran berbeda tidak teramati

melalui foto mikro ini yang diambil dengan menggunakan mikroskop optik.

Hasil pengamatan struktur mikro menggunakan SEM ditampilkan pada Gambar 7, sementara hasil analisa EDXS pada posisi 1 – 6 yang ditunjukkan pada foto SEM tersebut ditabulasi pada Tabel 2. Struktur berbentuk lamel berombak dikonfirmasi, dimana batas antar lamel dapat dilihat jelas. Juga tidak tampak adanya porositas secara dominan, yang menunjukkan bahwa lapisan WC-Co hasil HVOF ini memiliki kepadatan yang tinggi.

Terlihat bahwa lapisan WC-Co memiliki penampakan beragam dari satu tempat ke tempat lainnya. Hal ini menarik karena hasil analisa EDXS menunjukkan bahwa posisi 1, 2 dan 3 yang keseluruhannya berada pada lapisan WC-Co memiliki komposisi kimia berbeda. Perbedaan terutama tampak pada kandungan W, O dan Co. Hal ini diperkirakan disebabkan oleh mekanisme pembentukan lapisan yang terjadi, dimana serbuk WC-Co mengalami proses peleburan dan kemudian diatomisasi dengan tekanan tinggi, sebelum kemudian menumbuk permukaan logam dasar dan membeku. Pada proses atomisasi tersebut terjadi penguraian unsur sehingga terjadi separasi saat



Gambar 7.  
Foto SEM pada daerah antarmuka.

Tabel 2.  
Hasil analisa EDXS pada posisi 1 – 6, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7.

Posisi	C (wt. %)	O (wt. %)	Fe (wt. %)	Co (wt. %)	W (wt. %)
1	1,4	8,26	0	16,43	73,25
2	2,65	0,34	0	5,01	91,99
3	1,3	6,96	0	18,54	72,63
4	2,97	-	94,27	0	2,76
5	2,03	-	97,97	0	0
6	1,87	-	98,13	0	0

menumbuk dan membeku di permukaan logam dasar. Komposisi kimia lapisan WC-Co untuk daerah dengan luas tertentu (titik 1) hampir serupa dengan komposisi kimia daerah yang berwarna hitam (titik 3). Oksigen yang terdeteksi pada daerah – daerah ini ada kemungkinan berasal dari proses oksidasi partikel WC-Co (partikel pelapis) oleh O<sub>2</sub> yang berasal dari udara saat proses penyemprotan [6]. Daerah yang berwarna lebih terang (titik 2) diketahui lebih kaya kandungan tungsten dan karbonnya, dibandingkan daerah titik 1 maupun titik 3. Perbedaan kandungan cobalt antara posisi-posisi ini disebabkan oleh perbedaan temperatur lebur cobalt (T<sub>m</sub> = 1493 °C) dan tungsten karbida (T<sub>m</sub> = 2780 °C) [7]. Cobalt yang memiliki temperatur lebur lebih rendah memiliki kecenderungan untuk tersegregasi saat dilakukan penyemprotan, akibatnya akan ditemui adanya daerah yang kaya akan elemen – elemen tertentu [6].

Pada batas antar muka lapisan dan substrat, tampak jelas bahwa lapisan WC-Co melekat kuat pada substrat. Tidak terdapat rongga atau ruang kosong di antara keduanya. Yang menarik untuk diamati adalah bahwa kandungan W pada daerah antar muka (posisi 4) adalah 2,76 %. Adanya W ini mengindikasikan terjadinya difusi W dari lapisan ke dalam substrat. Difusi W inilah yang diperkirakan berkontribusi terhadap tingginya kekuatan lekatan lapisan.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanpa proses persiapan permukaan, lapisan WC-Co *thermal spray* tidak dapat melekat pada permukaan logam dasar.
2. Semakin besar tekanan udara pada proses persiapan permukaan *grit blasting*, semakin kasar permukaan logam dasar yang diperoleh.
3. Peningkatan tekanan udara dari 1 bar hingga 5 bar meningkatkan kekasaran permukaan dari 3,99 µm menjadi 6,48 µm.
4. Kekuatan ikatan lapisan WC-Co hasil HVOF *spraying* sangat tinggi, melebihi kekuatan epoksi yang digunakan pada penelitian ini. Tingginya kekuatan lapisan ini diperkirakan disebabkan antara lain oleh difusi W pada daerah antar muka lapisan dan logam dasar.
5. Kekasaran permukaan bukan hanya satu – satunya faktor yang akan mempengaruhi kekuatan adhesi lapisan WC-Co, luas daerah singgung antara *lamellae* dan permukaan, dan kebersihan permukaan juga akan mempengaruhi kekuatan adhesi lapisan.
6. Struktur mikro lapisan WC-Co sangat padat dengan jumlah porositas minimal dan memiliki morfologi lamel berlapis dengan komposisi kimia yang bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya.

#### Daftar Acuan

1. Rycroft, M, ed., *The Cambridge Encyclopedia of Space*, Cambridge University Press, 1990.

2. LAPAN, *Hasil Penelitian*, tidak dipublikasikan.
3. Wang, B.Q dan Shui, Z. R, The hot erosion behaviour of HVOF chromium carbide – metal cermet coatings sprayed with different powders, *Wear*, Vol. 253, 2002, 550-557.
4. Li, C.J dan Li, W.Y, Effect of sprayed powder particle size on the oxidation behaviour of MCrAlY materials during high velocity oxygen-fuel deposition, *Surface Coatings Tech*, Vol. 162, 2002, 31 – 41.
5. Qiao, Y, Fischer, T.E dan Dent, A, The effects of fuel chemistry and feedstock powder structure on the mechanical and tribological properties of HVOF thermal-sprayed WC-Co coatings with very fine structures, *Surface Coatings Tech*, Vol. 172, 2003, 24 – 41.
6. Pawloski, L, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, John Wiley and Sons, London, 1995.
7. Stokes, J, *The Theory and Application of HVOF Thermal Spray Process*, <http://www.webpages.dcu.ie/>

