

PELAPISAN PERMUKAAN DALAM NOSEL ROKET RKX100 DENGAN Cr₂C₃-NiCr HVOF : OPTIMASI KEKUATAN LEKAT MELALUI VARIASI KEKASARAN PERMUKAAN

Bondan T. Sofyan , Yus Prasetyo. Sayid Ardiansyah'i.
dan Edi Sofyan")

•JPeneliti Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Kampus UI Depok
) Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirgantara, LAPAN

ABSTRACT

Nozzle of RKX100 rocket contributes 30 % to the total weight of the structure, so that allowing further research on weight reduction. An alternative for this is by substitution of massive graphite, which is currently used as thermal protector in the nozzle, with thin layer of HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) thermal spray layer. A series of study on the characteristics of various type of HVOF coating material have been being conducted. This paper presented the investigation on the HVOF Cr₂C₃-NiCr thermal spray coating, in particular, the optimization of bonding strength by varying surface roughness of substrates. Characterization included bonding strength test, micro hardness measurement and micro structural observation with optical microscope and scanning electron microscope (SEM).

The results showed that grit blasting pressure increases the surface roughness from 4.54 µm to 5.72 µm at the pressure of 6 bar. Average micro hardness of the coating was 631 VHN300- Coating applied to the surface with roughness of 5.42 µm possessed the highest bonding strength, 44 MPa. Microstructural observation by using optical microscope and scanning electron microscope (SEM) confirmed dense lamellae structure with variable composition. High coating adherence was found to be due to mechanical interlocking.

ABSTRAK

Nosel roket RKX100 menyumbang sekitar 30 % dari berat total struktur, sehingga sangat terbuka kemungkdnan untuk mereduksi beratnya. Salah satu alternatif untuk mereduksi berat adalah dengan mensubstitusi lapisan grafit masif yang selama ini dipakai dengan lapisan penahan panas yang dimanufaktur dengan proses HVOF (*High Velocity Oxy-Fuel*). Studi dilakukan terhadap berbagai material pelapis untuk mencari dan menentukan yang paling optimal untuk aplikasi di nosel roket. Pada makalah ini akan disampaikan hasil studi terhadap material pelapis Cr₂C₃-NiCr, khususnya studi mengenai optimasi kekuatan lekat melalui variasi kekasaran permukaan. Karakterisasi mencakup uji kekuatan lekat, kekerasan mikro dan mikrostruktur lapisan.

Studi menunjukkan tekanan udara *grit blasting* akan meningkatkan kekasaran permukaan dari 4,54 µm sebelum *grit blasting* menjadi 5,72 µm dengan tekanan udara *grit blasting* 6 bar. Kekerasan mikro rata-rata lapisan adalah 631 VHN300. Kekuatan tertinggi sebesar 44 MPa dimiliki oleh lapisan yang diaplikasikan pada permukaan dengan kekasaran 5,42 µm hasil *grit blasting* dengan tekanan udara 4 bar. Analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope* (SEM) menunjukkan bahwa lapisan tersusun atas lamel yang relatif padat dengan komposisi bervariasi pada daerah berbeda. Penguncian mekanis [*mechanical interlocking*] antara lapisan dan substrat merupakan mekanisme utama yang berkontribusi pada kekuatan lekat lapisan.

1 LATAR BELAKANG

Roket RKX100 merupakan roket kendali balistik berdiameter 100 mm yang sedang dikembangkan oleh LAPAN saat ini. Salah satu aspek yang menentukan kinerja roket tersebut adalah berat, di mana saat ini proporsi berat bahan bakar : berat struktur : berat muatan masih di luar kondisi ideal, yaitu 91 % berat bahan bakar, 3 % berat struktur dan 6 % berat muatan [ASM, 1992]. Pada roket RKX 100, komponen nosel menyumbang 30 % dari keseluruhan berat struktur, sehingga sangat terbuka kemungkinan untuk melakukan modifikasi terhadap material dan proses pembuatan nosel untuk menghasilkan penurunan berat roket yang signifikan. Salah satu alternatif untuk mengurangi berat nosel adalah dengan mengganti lapisan grafit masif yang dipakai saat ini dengan lapisan tahan panas setebal maksimum 1 mm. Serangkaian penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi kemungkinan pemakaian lapisan WC-Co (*Tungsten Carbide - Cobalt*) pada permukaan dalam nosel, yang diaplikasikan dengan teknik *HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) thermal spray*. Selain WC-Co, material lain yang dapat dipakai sebagai pelapis adalah Cr₂C₃-NiCr, yang diketahui memiliki ketahanan erosi yang baik [Li, C.J. dan Li, W.Y., 2002]. Pada makalah ini disampaikan hasil studi mengenai lapisan Cr₂C₃-NiCr yang diaplikasikan pada material nosel roket RKX 100, secara khusus dipelajari pengaruh kekasaran permukaan terhadap karakteristik lapisan Cr₂C₃-NiCr yang dihasilkan.

2 METODE PENELITIAN

Material dasar yang digunakan adalah sesuai dengan material yang dipakai untuk nosel roket RKX 100, yaitu baja S45C dengan komposisi seperti tampak pada Tabel 2-1. Sampel dibuat sesuai standar ASTM C633 seperti terlihat pada Gambar 2-1.

Persiapan permukaan dilakukan dengan *grit blasting* menggunakan

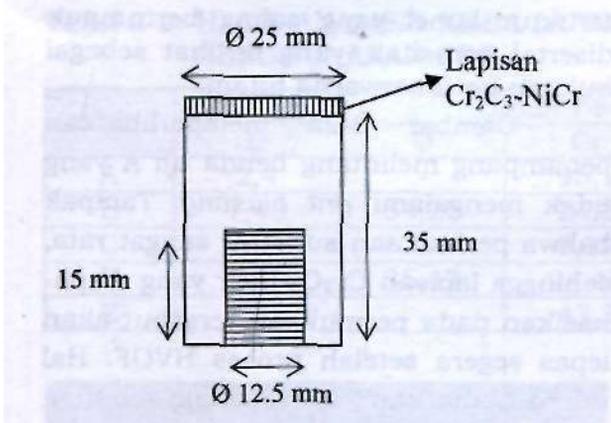
serbuk Al₂O₃ berukuran 24 mesh dan dengan variasi tekanan udara 3, 4, 5 dan 6 bar. Sampel diberi label A, B, C, D dan E masing-masing untuk sampel tanpa *grit blasting*, 3, 4, 5 dan 6 bar. Kekasaran permukaan dari setiap sampel diukur dengan *surface roughness tester* Surfcom 120A. Proses *thermal spray* menggunakan *Sulzer Metco HVOF gun* dengan serbuk Cr₂C₃-NiCr produk Deloro Satellite GmbH berukuran rata-rata 20 um.

Proses *thermal spray* dilakukan dengan tekanan serbuk 45 psi dan temperatur 31,5 °C. Kekerasan mikro diukur menggunakan metode Vickers dengan beban 300 gram.

Tabel 2-1: 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 dilakukan sesuai dengan standar ASTM C633 menggunakan pelekat Devco Epoxy dan FM 1000. Pelekat diaplikasikan pada permukaan lapisan Cr₂C₃-NiCr secara manual dan kemudian *di-curing* pada temperatur 150 °C. Jumlah sampel untuk masing-masing parameter adalah 5 (lima). Penarikan sampel dilakukan menggunakan mesin tarik Shimadzu dengan beban maksimum 2 ton dan memakai alat bantu berupa rantai. Bentuk patahan dari sampel diamati secara visual dan dengan menggunakan *scanning electron microscope (SEM)*.



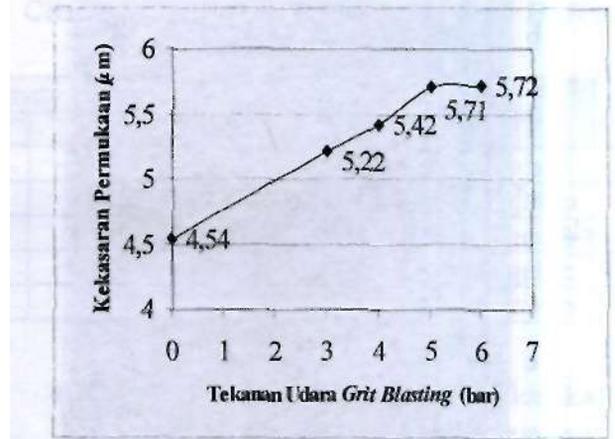
Gambar 2-1: Bentuk sampel dan posisi aplikasi lapisan Cr_2C_3-NiCr , sesuai standar ASTM C633

Struktur mikro diamati dengan menggunakan sampel yang telah dites menggunakan larutan Murakami ($KsFe (CN)_6 : NaOH = 1 : 1$). Pengamatan dengan SEM dilakukan pada mode *Back-Scattered Electron*. Juga dilakukan analisis komposisi mikro menggunakan detektor *EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)* di dalam SEM.

3 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Tekanan *Grit Blasting* terhadap Kekasaran Permukaan

Pengaruh tekanan udara *grit blasting* terhadap kekasaran permukaan substrat ditampilkan pada Gambar 3-1. Terlihat bahwa meningkatnya tekanan udara *grit blasting* menyebabkan peningkatan kekasaran permukaan. Hal ini disebabkan karena dengan tekanan yang semakin tinggi, energi yang dimiliki partikel *grit* semakin tinggi, sehingga ketika terjadi tumbukan dengan permukaan substrat terjadi deformasi yang semakin besar. Ada hal yang menarik yaitu dengan perubahan tekanan udara dari 5 bar menjadi 6 bar, tidak dihasilkan peningkatan kekasaran permukaan yang signifikan. Hal ini menandakan kekasaran optimum akibat *grit blasting* telah tercapai pada tekanan tersebut. Sehingga untuk mendapatkan permukaan yang lebih kasar tidak dapat dilakukan dengan penambahan tekanan udara, tetapi harus dilakukan dengan menggunakan partikel *grit* yang lebih kasar.



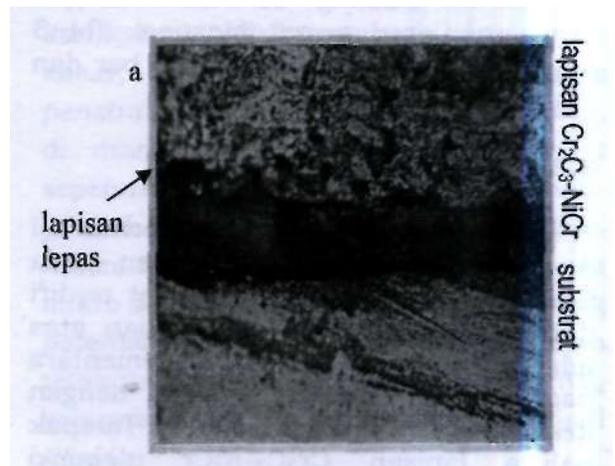
Gambar 3-1: Pengaruh tekanan *grit blasting* terhadap kekasaran permukaan substrat

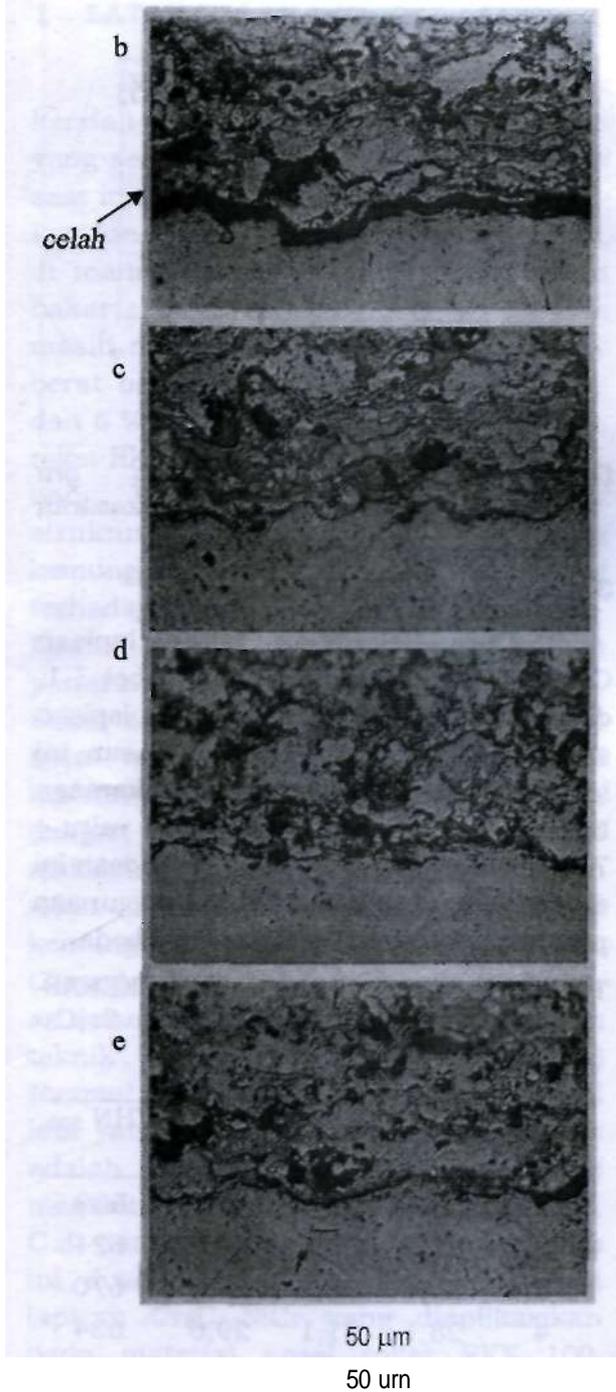
3.2 Kekerasan Mikro Lapisan

Data kekerasan mikro lapisan Cr_2C_3-NiCr ditampilkan pada Tabel 3-1, di mana nilai kekerasan rata-rata lapisan adalah 631 VHN300. Nilai kekerasan ini lebih rendah 13 % dari nilai kekerasan lapisan Cr_2C_3-NiCr tipe komposit yaitu ~ 714 VHN300 [Pawloski, 1995]. Perbedaan ini diperkirakan disebabkan oleh penggunaan parameter proses HVOF yang berbeda.

Tabel 3-1: HASIL PENGUJIAN KEKERASAN MIKRO LAPISAN Cr_2C_3-NiCr

Jejak	d_1 (Mm)	d_2 (Dm)	d rata ² (m)	VHN 300
1	27	33,4	30,2	609
2	28,1	31,6	29,85	624
3	25,4	32,2	28,8	670
4	28,1	31,1	29,6	634
5	28,5	31,4	29,95	620
VHN 300 rata-rata = 631				





Gambar 3-2: Struktur mikro lapisan $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$ dengan proses *grit-blasting* bertekanan (a) 0 (tanpa *grit blasting*), (b) 3 bar, (c) 4 bar, (d) 5 bar dan (e) 6 bar

3.3 Struktur Mikro Lapisan

Foto mikro lapisan dari benda uji A, B, C, D dan E ditampilkan pada Gambar 3-2. Foto mikro terlihat terdiri dari dua bagian, di mana bagian atas adalah lapisan $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$, sementara bagian bawah adalah substrat dengan kekasaran permukaan tertentu. Tampak bahwa lapisan $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$ memiliki

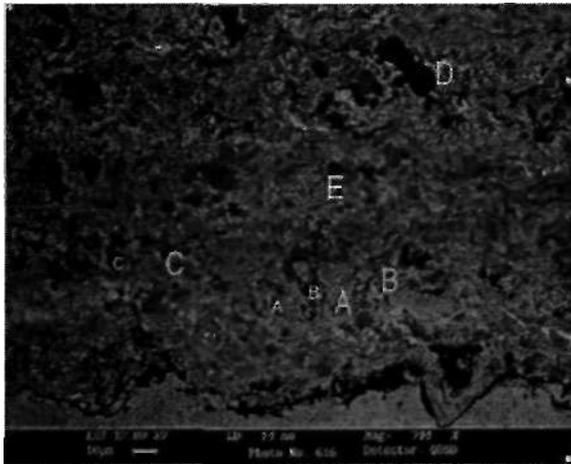
struktur lamel yang saling bertumpuk disertai porositas, yang terlihat sebagai bulatan kecil berwarna hitam.

Gambar 3-2a memperlihatkan penampang melintang benda uji A yang tidak mengalami *grit blasting*. Tampak bahwa permukaan substrat sangat rata, sehingga lapisan $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$ yang diaplikasikan pada permukaan tersebut akan lepas segera setelah proses HVOF. Hal ini diakibatkan oleh tidak adanya mekanisme penguncian mekanis (*mechanical interlocking*) antara substrat dan lapisan. Gambar 3-2b memperlihatkan penampang melintang lapisan benda uji B yang di-*grit blasting* dengan tekanan 3 bar, di mana terlihat permukaan substrat yang lebih kasar dari permukaan yang tidak di-*grit blasting* (Gambar 3-2a). Pada kondisi ini lapisan tidak lepas dan tetap melekat di permukaan substrat karena adanya mekanisme *mechanical interlocking*. Namun terlihat adanya celah antara lapisan dan substrat. Celah ini terbentuk akibat proses pengamplasan pada saat persiapan sampel. Adanya celah ini menggambarkan bahwa kekuatan lekat antara substrat dan lapisan masih lemah. Sedangkan pada Gambar 3-2c s.d 3-2e terlihat permukaan substrat yang lebih kasar dan tidak ada celah yang terjadi akibat proses pengamplasan. Tampak jelas bahwa lapisan $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$ yang diaplikasikan pada permukaan yang kasar memiliki kekuatan lekat yang tinggi.

Hasil observasi struktur mikro (Gambar 3-2) menunjukkan bahwa lapisan $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$ memiliki lamel dengan warna yang berbeda-beda. Hal ini mengindikasikan komposisi kimia yang berbeda, sehingga dilakukan pengamatan lebih detil menggunakan SEM dan EDS. Foto struktur mikro hasil SEM tampak pada Gambar 3-3 dan hasil analisis kimia lapisan dengan menggunakan EDS ditampilkan pada Tabel 3-2. Pada Gambar 3-4 terlihat penampakan lapisan $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$ dengan warna berbeda-beda, yaitu warna putih, abu-abu dan hitam (gelap).

Tabel 3-2: HASIL ANALISIS KIMIA LAPISAN CR2C3-NICR PADA TITIK A, B, C, D DAN E MENGGUNAKAN EDS

Titik	Unsur (% Berat)					Deskripsi
	C	O	Cr	Ni	Ti	
A	2,4	-	95,1	2,36	-	Daerah abu ²
B	7,48	34,25	24,8	3,86	23,92	Daerah gelap
C	15,56	-	8,39	-	74,61	Daerah gelap
D	14,04	36,42	24,48	11,74	-	Daerah gelap
E	1,65	-	43,3	54,39	-	Daerah putih



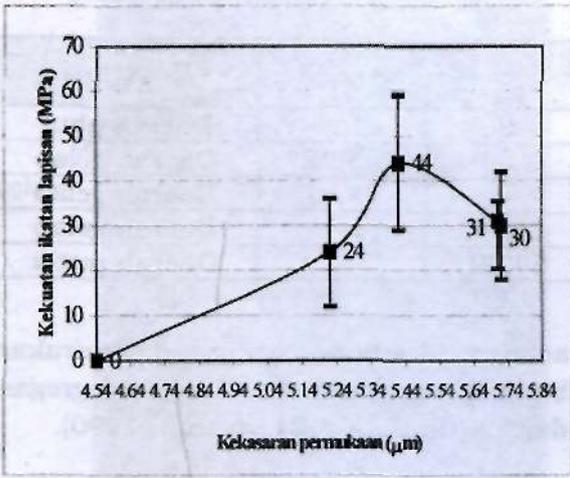
Gambar 3-4: Struktur mikro lapisan Cr₂C₃-NiCr dengan menggunakan SEM.

Hasil analisis mikro dengan EDS menunjukkan bahwa daerah dengan warna yang berbeda memiliki komposisi kimia yang berbeda, Tabel 3. Daerah A yang berwarna abu-abu memiliki kandungan Cr yang tinggi serta kandungan Ni dan karbon yang rendah. Kemungkinan besar daerah ini merupakan partikulat Cr₂C₃ yang telah kehilangan C akibat tersegregasi. Pada daerah E yang berwarna putih ditemukan kandungan Ni dan Cr yang tinggi, sehingga diperkirakan bahwa daerah ini berasal dari leburan matriks NiCr. Analisis kimia, pada daerah yang berwarna lebih gelap menunjukkan kandungan Ti yang tinggi. Terdeteksinya Ti dapat dipastikan berasal dari zat poles, yaitu TiO₂, yang masuk ke dalam porositas. Pada daerah D ditemukan kandungan oksigen yang cukup tinggi, yaitu 36,42 % sehingga diperkirakan bahwa daerah tersebut merupakan leburan partikulat yang teroksidasi [Pawloski, 1995]. Hasil analisis kimia pada seluruh daerah menunjukkan

adanya karbon, yang diperkirakan berasal dari karbon yang tersegregasi dari partikulat Cr₂C₃ [Rycroft, 1990].

3.4 Pengaruh Kekasaran Permukaan terhadap Kekuatan Lekat Lapisan

Gambar 3-5 memperlihatkan grafik pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekuatan lekat lapisan. Kekasaran permukaan 4,54 (µm, yaitu pada substrat yang tidak *di-grit blasting*, tidak memiliki nilai kekuatan lekat karena lapisan lepas segera setelah proses HVOF. Hal ini diakibatkan oleh tidak adanya mekanisme *mechanical interlocking* antara substrat dan lapisan. Pada permukaan yang *di grit blasting*, secara umum tampak bahwa kekuatan lekat lapisan meningkat dengan meningkatnya kekasaran permukaan, yaitu dari 22 MPa pada kekasaran 4,54 µm hingga mencapai nilai optimum (44 MPa) pada kekasaran permukaan dengan nilai 5,42 (µm, yang diperoleh dengan melakukan *grit blasting* pada tekanan 4 bar. Bila kekasaran terus ditingkatkan melewati nilai tersebut, akan terjadi penurunan kekuatan lekat lapisan menjadi 30 MPa. Hal ini disebabkan karena pada permukaan yang sangat kasar, cenderung terjadi *incomplete penetration* [Wang, B. Q. & Shui, 2002], di mana partikulat cair tidak dapat sepenuhnya masuk ke dalam lembah-lembah permukaan yang lebih dalam. Hal ini menyebabkan terbentuknya rongga mikro antara lapisan dan substrat yang potensial menjadi awal pembentukan retak pada saat pembebanan. Akibatnya, kekuatan lekat lapisannya menjadi rendah.



Gambar3-5: Grafik pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekuatan lapisan

4 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa

- Tanpa proses persiapan permukaan, lapisan Cr₂C₃-NiCr *thermal spray* tidak dapat melekat pada permukaan substrat.
- Semakin besar tekanan udara pada proses persiapan permukaan *grit blasting*, semakin kasar permukaan substrat yang diperoleh.
- Peningkatan tekanan udara dari 3 bar hingga 6 bar meningkatkan kekasaran permukaan dari 5,24 (im menjadi 5,74 (im.
- Kekuatan lekat lapisan akan semakin tinggi dengan semakin kasarnya permukaan hingga kekasaran 5,44 urn. Setelah itu, peningkatan kekasaran malah menurunkan kekuatan lekat lapisan karena terjadinya *incomplete penetration*.
- Mekanisme ikatan yang terjadi antara substrat dan lapisan didominasi oleh *mechanical interlocking*, akibat mengalirnya partikulat cair membungkus kontur permukaan
- Struktur mikro lapisan yang terbentuk terdiri atas lamel-lamel yang saling bertumpukan dengan komposisi bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya, serta adanya porositas yang

merupakan salah satu ciri proses *thermal spray*.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PT. Tekno-kraftindo Asia yang telah mengerjakan proses HVOF *thermal spray* dan PT. Nusantara Turbin dan Propulsi untuk pengujian kekuatan lekat.

DAFTAR RUJUKAN

- ASM, 1992. *ASM Handbook Volume 5: Surface Engineering*, ASM Ohio.
- Bondan T. Sofyan, Marizki Stefano, Haposan J. Pardede, Edi Sofyan, 2003. *Studi Proses Persiapan Permukaan HVOF Thermal Spray Dengan Serbuk WC Untuk Nosel Roket*, Publikasi Rmiah Seminar Nasional Iptek Dirgantara VH, ISBN 979-8554-71-X, Serpong, 11 Desember 2003, p.61-65.
- Bondan T. Sofyan, Haposan J. Pardede, Marizki Stefano, Edi Sofyan, 2003. *Modifikasi pengujian kekuatan lekat lapisan HVOF thermal spray dengan serbuk WC pada nosel roket*, *Prosiding Seminar Nasional Iptek Dirgantara VII*, Serpong, 11 Desember 2003.
- Bondan T. Sofyan, Marizki Stefano, Haposan J. Pardede, Edi Sofyan, 2004. *Optimization of HVOF Thermal Spray Coating for Rocket Nozzle Application*, *Proc. 7th Int. Conf. Quality in Research 2004*, ISSN 1411-1284, Depok 4-5 August 2004, p.MM-004.1-5.
- Bondan T. Sofyan, Marizki Stefano, Haposan J. Pardede, Edi Sofyan, 2004. *Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Lekat dan Struktur Mikro Lapisan WC-Co Hasil HVOF Thermal Spray*, accepted by Jurnal Teknologi.
- Bondan T. Sofyan, Marizki Stefano, Haposan J. Pardede, Edi Sofyan, 2004. *Characteristics of HVOF Coating Used for Rocket Nozzle Application*, accepted by Int. Conf. Advanced Materials and Processing 3, Melbourne, 29 Nov - 1 Dec 2004.

- U, C.J dan Li, W.Y, 2002. *Effect of Sprayed Powder Particle Size on The Oxidation Behaviour of MCrAlY Materials During High Velocity Oxygen-fuel Deposition, Surface Coatings Tech*, Vol. 162, hal 31 - 41.
- Pawloski, L, 1995. *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, , John Wiley and Sons, London.
- Rycroft, M, ed., 1990. *The Cambridge Encyclopedia of Space*, Cambridge University Press.
- Wang, B.Q dan Shui, Z. R, 2002. *The Hot Erosion Behaviour of HVOF Chromium Carbide - Metal Cermet Coatings Sprayed With Different Powders*, *Wear*, Vol. 253, hal 550-557.