

## Pelapisan Permukaan Dalam Nosel Roket RKX100 Dengan $Cr_2C_3$ -NiCr HVOF: Optimasi Kekuatan Lekat Melalui Variasi Kekasaran Permukaan

Bondan T. Sofyan<sup>1</sup>, Yus Prasetyo<sup>1</sup>, Dwi M. Nurjaya<sup>1</sup> dan Edi Sofyan<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Dirgantara, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jl. Raya Lapan, Rumpin, Serpong, Tangerang 15310

Corresponding author: bondan@metal.ui.ac.id

### Abstrak

Nosel roket RKX100 menyumbang sekitar 30 % dari berat total struktur, sehingga sangat terbuka kemungkinan untuk mereduksi beratnya. Salah satu alternatif untuk mereduksi berat adalah dengan mensubstitusi lapisan grafit masif yang selama ini dipakai sebagai lapisan penahan panas dengan lapisan yang dimanufaktur dengan proses HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). Dilakukan studi 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  $Cr_2C_3$ -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  $\mu m$  sebelum grit blasting menjadi 5,72  $\mu m$  dengan tekanan udara grit blasting 6 bar. Kekerasan mikro rata-rata lapisan adalah 631 VHN<sub>300</sub>. Kekuatan tertinggi sebesar 44 MPa dimiliki oleh lapisan yang diaplikasikan pada permukaan dengan kekasaran 5,42  $\mu m$  hasil grit blasting dengan tekanan udara 4 bar. Analisa 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.

**Kata kunci:** HVOF (high velocity oxy-fuel), thermal spray,  $Cr_2C_3$ -NiCr, grit blasting dan kekasaran permukaan

### 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 conducted. This paper presents the investigation on the HVOF  $Cr_2C_3$ -NiCr thermal spray coating, particularly, the optimization of bonding strength by varying surface roughness of substrates. Characterization includes bonding strength test, microhardness measurement and microstructural analysis by both optical and scanning electron microscopes (SEM). The results showed that grit blasting pressure increases the surface roughness from 4.54  $\mu m$  to 5.72  $\mu m$  at the pressure of 6 bar. Average microhardness of the coating is 631 VHN<sub>300</sub>. Coating applied to the surface with roughness of 5.42  $\mu m$  possessed the highest bonding strength of 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.

**Key words:** HVOF (High Velocity Oxy-Fuel), thermal spray,  $Cr_2C_3$ -NiC and grit blasting, surface Roughness

### 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, yang saat ini proporsi berat bahan bakar : berat

struktur : berat muatan masih diluar kondisi ideal, yaitu: 91 % berat bahan bakar, 3 % berat struktur dan 6 % berat muatan [1]. Pada roket RXX100, 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* [2-6]. Selain WC-Co, material lain yang dapat dipakai sebagai pelapis adalah  $Cr_2C_3-NiCr$ , yang diketahui memiliki ketahanan erosi yang baik [7]. Pada makalah ini disampaikan hasil studi mengenai lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  yang diaplikasikan pada material nosel roket RXX100, dimana secara khusus dipelajari pengaruh kekasaran permukaan terhadap karakteristik lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  yang dihasilkan.

## 2. Metode Penelitian

Material dasar yang dipakai adalah sesuai dengan material yang dipakai untuk nosel roket RXX100, 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 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 gum* dengan serbuk  $Cr_2C_3-NiCr$  produk Deloro Stellite GmbH berukuran rata-rata 20  $\mu m$ . Proses *thermal spray*

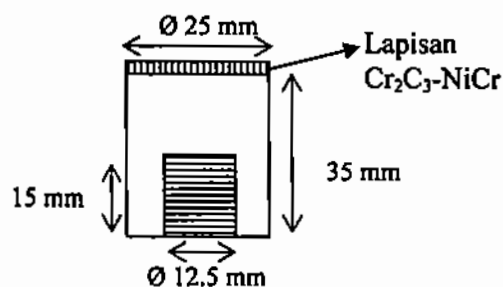
dilakukan dengan tekanan serbuk 45 psi dan temperatur 31,5 °C. Kekerasan mikro diukur menggunakan metode Vickers dengan beban 300 gram.

**Tabel 1.**  
Komposisi Material Dasar, Baja S45C

Unsur	wl. %
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  $Cr_2C_3-NiCr$  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 dengan memakai alat bantu berupa rantai. Bentuk patahan dari sampel diamati secara visual dan dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

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

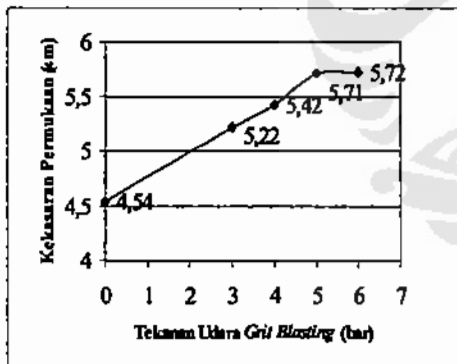


**Gambar 1.**  
Bentuk Sampel dan Posisi Aplikasi Lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$ , Sesuai Standar ASTM C633.

### 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 2. 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.

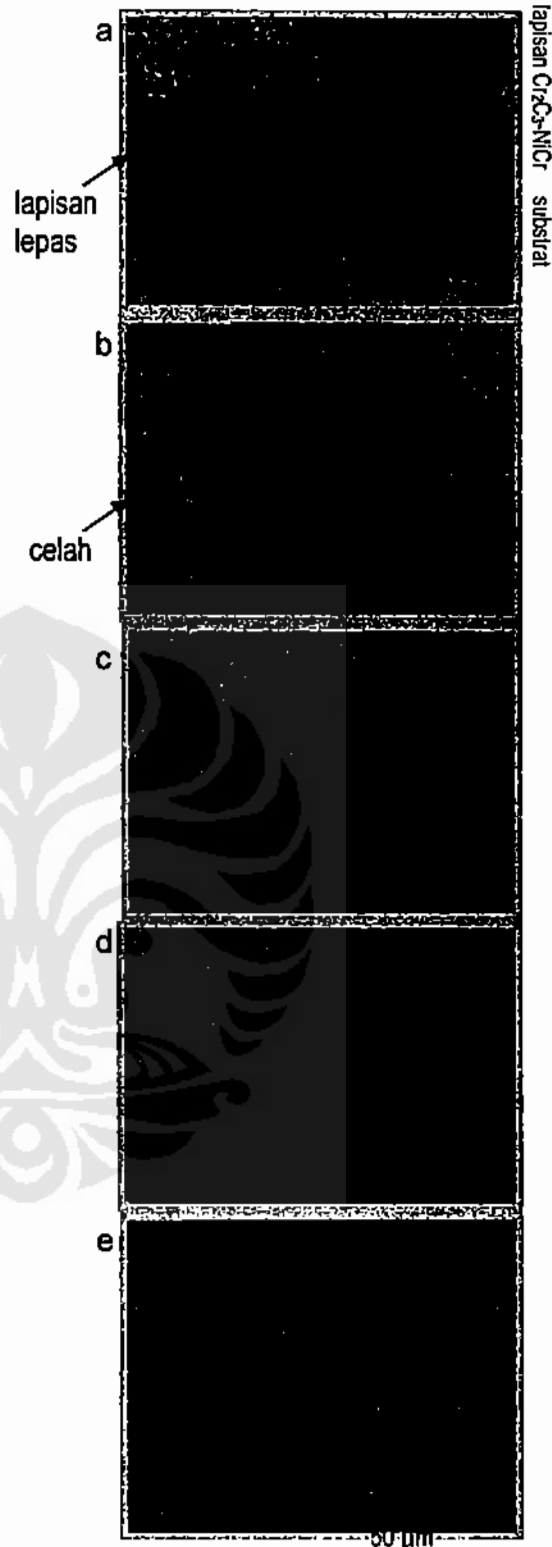


Gambar 2. Pengaruh Tekanan *Grit Blasting* Terhadap Kekasaran Permukaan Substrat.

#### 3.2. Kekerasan Mikro Lapisan

Data kekerasan mikro lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  ditampilkan pada Tabel 2, dimana nilai kekerasan rata-rata lapisan adalah 631  $VHN_{300}$ . Nilai kekerasan ini lebih rendah 13 % dari nilai kekerasan lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  tipe komposit yaitu  $\sim 714$   $VHN_{300}$  [8]. Perbedaan ini diperkirakan disebabkan oleh penggunaan parameter proses HVOF yang berbeda.

PERPUSTAKAAN PUSAT  
UNIVERSITAS INDONESIA



Gambar 3. Struktur Mikro Lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  Dengan Proses *Grit-blasting* Bertekanan (a) 0 (Tanpa *Grit Blasting*), (b) 3 Bar, (c) 4 Bar, (d) 5 Bar dan (e) 6 Bar.

**Tabel 2.**  
Hasil Pengujian Kekerasan Mikro Lapisan  
 $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$ .

Jejak	$d_1$	$d_2$	$d \text{ rata}^2$	VHN <sub>100</sub>
	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	
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 <sub>100</sub> rata-rata = 631				

### 3.3. Struktur Mikro Lapisan

Foto mikro lapisan dari benda uji A, B, C, D dan E ditampilkan pada Gambar 3. Foto mikro terlihat terdiri dari dua bagian, dimana 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(a) 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(b) memperlihatkan penampang melintang lapisan benda uji B yang di-*grit blasting* dengan tekanan 3 bar, dimana terlihat permukaan substrat yang lebih kasar dari permukaan yang tidak di-*grit blasting* (Gambar 3(a)). 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 (c) – (e) 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) 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 rinci menggunakan SEM dan EDS. Foto struktur mikro hasil SEM tampak pada Gambar 4 dan hasil analisis kimia lapisan dengan menggunakan EDS ditampilkan pada Tabel 3. Pada Gambar 4 terlihat penampakan lapisan  $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$  dengan warna berbeda-beda, yaitu warna putih, abu-abu dan hitam (gelap).

Gambar 5 memperlihatkan grafik pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekuatan lekat lapisan. Kekasaran permukaan 4,54  $\mu\text{m}$ , 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  $\mu\text{m}$  hingga mencapai nilai optimum (44 MPa) pada kekasaran permukaan dengan nilai 5,42  $\mu\text{m}$ , 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* [10], dimana partikulat cair tidak dapat sepenuhnya masuk kedalam lembah-lembah permukaan yang lebih

**Tabel 3.**  
Hasil Analisis Kimia Lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  Pada Titik A, B, C, D dan E Menggunakan EDS

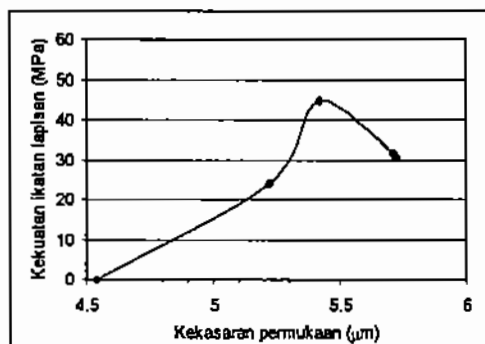
Titik	Unsur (% Berat)					Deskripsi
	C	O	Cr	Ni	Ti	
A	2,4	-	95,1	2,36	-	Daerah abu <sup>2</sup>
B	7,48	34,25	24,8	3,86	23,92	Daerah gelap
C	15,56	-	8,39	-	74,61	Daerah gelap
D	14,04	36,42	24,48	11,74	-	Daerah gelap
E	1,65	-	43,3	54,39	-	Daerah putih

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.



**Gambar 4.**  
Struktur Mikro Lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  Dengan Menggunakan SEM

### 3. 4. Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Lekat Lapisan



**Gambar 5.**  
Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Lekat Lapisan

## 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanpa proses persiapan permukaan, lapisan  $Cr_2C_3-NiCr$  *thermal spray* tidak dapat melekat pada permukaan substrat.
2. Semakin besar tekanan udara pada proses persiapan permukaan *grit blasting*, semakin kasar permukaan substrat yang diperoleh.
3. Peningkatan tekanan udara dari 3 bar hingga 6 bar meningkatkan kekasaran permukaan dari 5,24  $\mu m$  menjadi 5,74  $\mu m$ .
4. Kekuatan lekat lapisan akan semakin tinggi dengan semakin kasarnya permukaan hingga kekasaran 5,44  $\mu m$ . Setelah itu, peningkatan kekasaran malah menurunkan kekuatan lekat lapisan karena terjadinya *incomplete penetration*.
5. Mekanisme ikatan yang terjadi antara substrat dan lapisan didominasi oleh *mechanical interlocking*, akibat mengalirnya partikulat cair membungkus kontur permukaan
6. 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*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada PT. Teknokrafindo Asia yang telah

mengerjakan proses HVOF *thermal spray* dan PT. Nusantara Turbin dan Propulsi untuk pengujian kekuatan lekat.

#### Daftar Acuan

1. Rycroft, M, ed., *The Cambridge Encyclopedia of Space*, 1990, Cambridge University Press.
2. 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 Ilmiah Seminar Nasional Iptek Dirgantara VII, Serpong, 11 Desember 2003, p.61-65.
3. 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.
4. Bondan T. Sofyan, Marizki Stefano, Haposan J. Pardede, Edi Sofyan, 2004, *Optimization of HVOF Thermal Spray Coating for Rocket Nozzle Application*, Proc. 7<sup>th</sup> Int. Conf. Quality in Research 2004, Depok 4-5 August 2004, p.MM-004.1-5
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*, Jurnal Teknologi, Edisi No. 4, Tahun XVIII, Desember 2004, p. 291-297
6. Bondan T. Sofyan, Marizki Stefano, Haposan J. Pardede, Edi Sofyan, 2004, *Characteristics of HVOF Coating used for Rocket Nozzle Application*, Materials Forum, Vol. 29, p. 147-151.
7. ASM, *ASM Handbook Volume 5: Surface Engineering*, 1992, ASM Ohio.
8. 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.
9. Y. Qiao, T.E. Fischer, and A. 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 structure, *Surface Coatings Tech*, Vol. 172, 2003, 24 – 41.
10. Pawloski, L, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, 1995, John Wiley and Sons, London.