

## MODIFIKASI PENGUJIAN KEKUATAN LEKAT LAPISAN HVOF THERMAL SPRAY DENGAN SERBUK WC PADA NOSEL ROKET

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

1. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
2. Divisi Kendali, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Serpong, Tangerang 15310, Indonesia

E-mail: bondan@metal.ui.ac.id

---

### Abstrak

Salah satu cara untuk mengurangi berat struktural roket RX-100 adalah dengan memodifikasi material dan proses pembuatan nosel. Nosel dipilih sebagai sasaran pengurangan berat karena nosel menyumbang 30 % dari keseluruhan berat struktur. Salah satu cara untuk mengurangi berat nosel adalah dengan mengganti lapisan grafit masif, yang digunakan sebagai pelindung panas, dengan lapisan WC (*Tungsten Carbide*) yang diaplikasikan dengan teknik HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) thermal spray. Pada makalah ini akan dibahas karakteristik dasar dari material nosel yang dipakai saat ini. Selain itu, juga akan dibahas modifikasi pengujian kekuatan lekatan lapisan, guna memperoleh alat bantu untuk mempermudah pengujian tanpa mengorbankan tingkat presisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material yang dipakai sebagai nosel roket RX-100 adalah baja S45C. Modifikasi alat bantu pengujian kekuatan lekat lapisan dilakukan dengan menambahkan rantai, yang meningkatkan fleksibilitas dan kemudahan pengujian tanpa mengorbankan tingkat presisi.

### Abstract

**Modification of Bonding Strength Test of WC HVOF Thermal Spray Coating on Rocket Nozzle.** One way to reduce structural weight of RX-100 rocket is by modifying the nozzle material and processing. Nozzle is the main target in weight reduction due to the fact that it contributes 30 % to the total weight of the structure. 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. This paper presents the characterization of nozzle base material as well as the modification of bonding strength test, by designing additional jig to facilitate testing processes while maintaining level of test accuracy. The results showed that the material used for RX-100 rocket nozzle is confirmed to be S45C steel. Modification of the bonding strength test was conducted by utilizing chains, which improve test flexibility and maintains level of accuracy of the test.

*Keywords: thermal spray, WC, bonding strength test.*

---

### 1. Pendahuluan

Bagian struktur utama dari sebuah roket adalah kerucut hidung (*nose cone*), tabung muatan (*payload tank*), tabung bahan bakar (*propellant tank*) dan nosel (*nozzle*). Pada roket yang diproduksi di Indonesia, nosel merupakan komponen struktural terberat, yaitu menyumbang sekitar 30 % dari berat keseluruhan struktur. Sementara itu, berat total roket terdiri dari 23 % berat bahan bakar, 33 % berat struktur dan 44 % berat muatan, yang masih jauh dari komposisi berat ideal,

yaitu 91 % berat bahan bakar, 3 % berat struktur dan 6 % berat muatan [1]. Untuk itu, akan diobservasi kemungkinan mengurangi berat nosel dengan cara menggantikan bahan grafit masif sebagai pelapis tahan panas yang diaplikasikan dengan menggunakan teknik pelapisan HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) thermal spray. Material pelapis HVOF yang dapat dipakai antara lain adalah serbuk WC (*Tungsten Carbide*) yang merupakan material yang memiliki kekerasan tinggi, ketahanan temperatur yang tinggi dan ketahanan erosi yang baik [2]. Masalah utama yang harus diantisipasi

pada pemakaian teknik HVOF pada nosel roket adalah kekuatan lekatan lapisan. Hal ini disebabkan karena tingginya kekuatan aliran gas panas yang keluar dari nosel. Sehingga, bila lapisan tidak melekat kuat, akan terjadi pelepasan (*spalling*) lapisan terluar. Untuk itu perlu dilakukan pengujian kekuatan lekatan lapisan. Namun, prosedur pengujian kekuatan lapisan yang terdapat pada standar ASTM C633 mempersyaratkan keseragaman beban dan sampel yang sangat presisi. Hal ini sulit diperoleh karena ulir yang dibuat untuk menyearahkan beban dan sampel tersebut dibuat secara manual. Oleh karena itu, pada makalah ini akan dibahas modifikasi pengujian kekuatan lekatan, guna mendapatkan alat bantu untuk memudahkan pengujian tanpa harus mengorbankan tingkat ketelitian. Hasil modifikasi peralatan diverifikasi dengan pengujian beberapa sampel. Selain itu, makalah ini juga akan membahas karakteristik dasar material yang dipakai sebagai nosel roket RX-100.

**2. Metode Penelitian**

Material yang dipakai pada penelitian ini adalah baja S45C yang selama ini dipakai sebagai nosel roket RX-100. Pada baja S45C dilakukan pengujian komposisi, pengujian kekerasan makro dan pengujian tarik untuk mengetahui bahwa material ini sesuai dengan spesifikasi. Pengujian komposisi dilakukan menggunakan *emission spectrometer*, sementara pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Brinnel dengan beban 187, 5 kg dan diameter indenter 3 mm, sesuai standar ASTM E10-00. Pengujian tarik dilakukan dengan sesuai standar ASTM E8 menggunakan mesin uji tarik Shimadzu Servopulsor.

Pengujian kekuatan lekat dilakukan sesuai dengan standar ASTM C633. Sampel berbentuk silinder dengan diameter 25 mm dan tinggi 35 mm, dengan salah satu permukaan diberi lubang berulir. Sebelum di *thermal spray*, permukaan sampel disiapkan dengan menggunakan proses frais dan *grit blasting*. Proses *grit blasting* dilakukan dengan serbuk Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berukuran 24 mesh dengan tekanan udara 3 bar. Proses *thermal spray* menggunakan *Sulzer Metco HVOF gun* dengan serbuk WC produk Deloro Stellite GmbH berukuran 50 mesh. Proses thermal spray dilakukan dengan tekanan serbuk 45 psi dan temperatur 31,5 °C. Ketebalan lapisan WC diukur menggunakan mikrometer pada dua titik dari setiap sampelnya.

**3. Hasil dan Pembahasan**

Hasil pengujian komposisi material nosel dapat dilihat pada Tabel 1. Sementara hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan tabel tersebut, kekerasan rata-rata material adalah 186 BHN. Grafik kekekuatan – regangan dari material nosel dapat dilihat

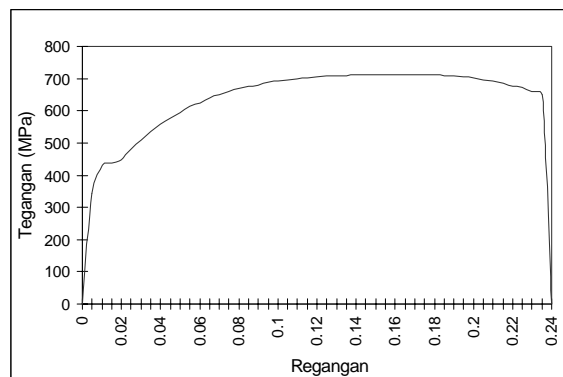
pada Gambar 1. Dari grafik tersebut, dapat diketahui karakteristik mekanik dari material nosel adalah:  $\sigma_y = 432$  MPa,  $\sigma_u = 711$  MPa dan  $E = 43241$  MPa. Keseluruhan karakteristik di atas, baik komposisi, kekerasan maupun kekuatan tarik sesuai dengan spesifikasi baja S45C [2].

**Tabel 1. Komposisi material nosel (dalam wt. %)**

Unsur	wt. %
C	0.45
Si	0.20
Mn	0.60
P	≤ 0.030
S	≤ 0.035
Ni	≤ 0.20
Cr	≤ 0.20
Cu	≤ 0.30

**Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan material nosel**

Jejak	Kekerasan (BHN)
1	185
2	182
3	181
4	181
5	190
6	199

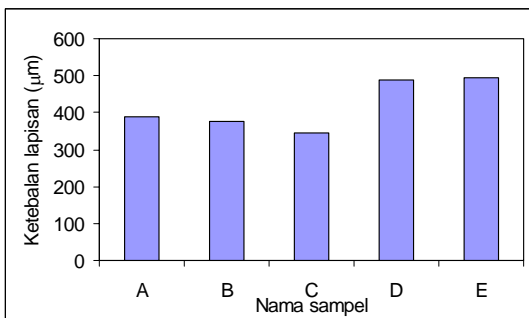


**Gambar 1. Kurva tegangan – regangan dari material nosel**

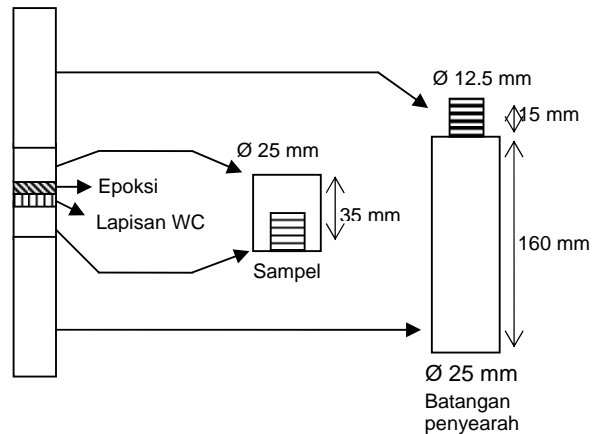
Proses pelapisan dengan teknik HVOF thermal spray dengan serbuk WC menghasilkan ketebalan lapisan bervariasi. Pada penelitian ini, ketebalan lapisan WC *thermal spray* ditargetkan sekitar 400  $\mu\text{m}$ . Namun demikian, karena sampel berukuran relatif kecil dibandingkan dengan diameter semprot yang dihasilkan, amat sulit mengontrol ketebalan lapisan. Seperti tampak pada Gambar 2, ketebalan lapisan yang dihasilkan bervariasi mulai dari 346,4  $\mu\text{m}$  hingga 492,9  $\mu\text{m}$ , yaitu dengan simpangan sebesar  $\sim 18\%$  dari target. Hasil penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa besarnya simpangan ketebalan dari target bervariasi sekitar 15 – 40% [3-5]. Dalam aplikasinya, guna menyeragamkan ketebalan, lapisan umumnya digerinda setelah proses. Namun demikian, hal tersebut tidak dilakukan pada penelitian ini karena fokus penelitian adalah pada modifikasi pengujian kekuatan lekatan.

Untuk menguji kekuatan lekatan lapisan WC, digunakan pelekat Devco Epoxy. Pelekat diaplikasikan pada permukaan lapisan WC secara manual, dimana konstruksi lapisan WC dan epoksi pada sampel secara detil disajikan pada Gambar 3. Epoksi kemudian dikeringkan pada temperatur kamar dalam kondisi dijepit untuk memastikan kondisi pelekatan sempurna (Gambar 4).

Berdasarkan standar ASTM C633, sampel ini kemudian disatukan dengan batangan penyearahnya, sesuai dengan Gambar 3. Namun, dengan posisi seperti ini, tingkat presisi pengujian sangat ditentukan oleh kelurusan ulir, baik di dalam sampel, maupun pada batangan penyearah. Sementara, proses penguliran dilakukan secara manual, yang menyebabkan besarnya kemungkinan tidak tegak lurusnya ulir terhadap arah pembebanan. Pada penelitian ini, telah dicoba berulang kali penarikan sampel langsung dengan batangan penyearah, namun mesin tidak dapat melakukan



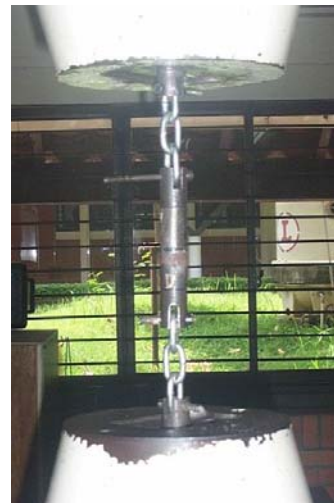
**Gambar 2.** Ketebalan lapisan WC pada sampel dengan kekasaran berbeda. Sampel A: tanpa *grit blasting*, dan sampel lainnya dengan *grit blasting* dengan tekanan B: 1 bar, C: 3 bar, D: 4 bar dan E: 5 bar.



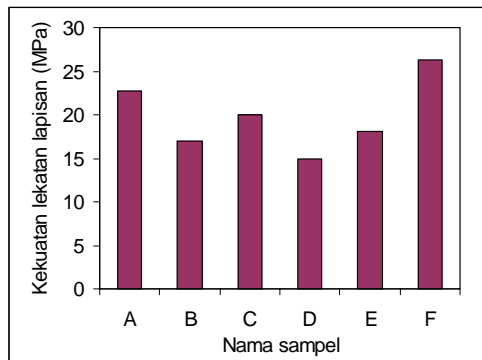
**Gambar 3.** Bentuk sampel dan posisi aplikasi lapisan WC dan pelekat epoksi, sesuai standar ASTM C633



**Gambar 4.** Penjepitan sampel untuk memastikan pelekatan epoksi secara sempurna.



**Gambar 5.** Modifikasi alat bantu pengujian kekuatan lekatan dengan memasang rantai pada batang penyearah, untuk memberi fleksibilitas antara sampel dan mesin uji.



**Gambar 6.** Hasil pengujian kekuatan lekatan lapisan dari sampel yang telah dilapisi WC setebal ~ 400  $\mu\text{m}$  dengan teknik HVOF *thermal spray*.

penarikan karena tidak searahnya sampel dengan beban. Untuk mengatasi hal ini, maka dilakukan modifikasi dengan memasang rantai baja pada batangan penyearah. Rantai kemudian dihubungkan dengan sebuah penjepit yang akan dipasang pada mesin uji tarik. Konstruksi rantai ini dapat dilihat pada Gambar 5. Dengan memakai rantai, maka terdapat fleksibilitas antara sampel dan batangan penyearah dengan mesin uji tarik.

Modifikasi alat bantu pengujian ini dicoba pada beberapa sampel dengan proses *thermal spray* bervariasi. Pengujian dilakukan pada mesin tarik Shimadzu Servopulser dengan beban maksimum 2 ton. Hasil pengujian menunjukkan kestabilan proses penarikan, sehingga tidak diperoleh sampel gagal uji, dan hasil pengujian menunjukkan data yang berada dalam sebaran yang tidak terlalu besar. Hasil pengujian dari sampel yang memiliki ketebalan lapisan WC ~ 400  $\mu\text{m}$  ditampilkan pada Gambar 6. Kekuatan lekatan tampak rendah karena mode perpatahan adhesi yang dominan, dimana patahan terjadi di antara lapisan

epoksi dengan permukaan sampel. Namun demikian, sebaran dari nilai kekuatan lekatan adalah sebesar 14 %, yang umum diperoleh pada hasil pelapisan dengan teknik *thermal spray* [3-5]. Penelitian ini masih dilanjutkan guna menemukan epoksi yang berkekuatan tinggi yang dapat menahan lepasnya lapisan WC.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan bahwa material yang dipakai sebagai nosel roket RX-100 adalah baja S45C. Pengujian kekuatan lekatan dengan memakai alat bantu pengujian sesuai yang disarankan oleh standar ASTM C633 sangat peka terhadap keserahan ulir pada sampel dengan beban uji. Modifikasi alat bantu pengujian dengan menambahkan rantai meningkatkan fleksibilitas antara sampel dan mesin uji. Hal ini memberi kemudahan yang berarti tanpa mengorbankan tingkat presisi pengujian. Hasil pengujian sampel yang telah dilapisi dengan WC menunjukkan sebaran ~ 14 %.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada PT. Teknokraftindo Asia yang telah mengerjakan proses HVOF *thermal spray*.

#### Daftar Acuan

- [1] M. Rycroft, The Cambridge Encyclopedia of Space, Cambridge University Press, 1990.
- [2] <http://www.csggs.com/english2.htm>
- [3] B. Q. Wang, Z. R. Shui, Wear 253 (2002) 550.
- [4] C. J. Li, W.Y. Li, Surface Coatings Tech. 162 (2002) 31.
- [5] Y. Qiao, T.E. Fischer, A. Dent, Surface Coatings Tech. 172 (2003) 24.