

## Shooting Angle WC12Co Coating Effect to Impeller Pump's Material for Hardening and Wear with High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Method

Gunawan Dwi Haryadi<sup>1,\*</sup>, Deni Fajar<sup>2</sup>, Dimas Adib Karomi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Alamat resmi Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah

\*Corresponding author: [gunawan\\_dh@ft.undip.ac.id](mailto:gunawan_dh@ft.undip.ac.id)

**Abstract.** Coating material process for impeller pump with thermal spray coating method can be considered as wear resilience application. The method in this research with high velocity oxy-fuel. This research aims to find shooting angle WC12Co coating effect to impeller pump's material for hardening and wear. It is found the best shooting angle in 90° with hardness value of 1629 HV and wear rate of 0,00006685 mm<sup>3</sup>/s. It is because of the low Porosity percentage and the un-melted particle of 4,845%.

**Keyword:** High Velocity Oxy-Fuel, Hardening, Wear, WC<sub>12</sub>Co

**Abstrak.** Proses pelapisan material untuk impeller pompa dengan metode *thermal spray coating* dapat dipertimbangkan sebagai aplikasi ketahanan aus. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *high velocity oxy-fuel*. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut penembakan lapisan WC<sub>12</sub>Co terhadap material untuk impeller pompa terhadap nilai kekerasan dan keausan. Didapatkan nilai variasi sudut penembakan terbaik pada sudut 90° dengan nilai kekerasan 1629 HV dan nilai laju keausan 0,00006685 mm<sup>3</sup>/s. Hal ini karena kecilnya/rendahnya persentase porositas dan *un-melted* partikel sebesar 4,845%.

**Kata kunci:** High Velocity Oxy-Fuel, Kekerasan, Keausan, WC<sub>12</sub>Co

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Pada saat ini sebagian besar komponen dalam industri dapat berpotensi terjadinya penurunan dan kegagalan dalam pelayanan karena fenomena seperti keausan, korosi, dan kelelahan. Sehingga pada saat komponen tersebut ingin diperbaiki tidak hanya mengandalkan sifat material-nya saja, tetapi juga pada desain dan karakteristik permukaannya. Rekayasa permukaan melibatkan penerapan teknologi pelapisan logam dengan metode tradisional dan modern untuk melapisi komponen serta material tersebut untuk meningkatkan karakteristiknya [1]. Ada banyak metode pelapisan logam, salah satunya yaitu dengan menggunakan *thermal spray coating*.

*High Velocity Oxy-Fuel* menghasilkan kekuatan ikatan yang lebih tinggi dan kekerasan yang lebih tinggi bersamaan dengan nilai porositas yang lebih rendah dari proses *thermal spray coating* yang lainnya [2]. Studi permodelan tentang dampak partikel pada sudut penyemprotan *thermal spray* telah menyimpulkan bahwa pada sudut minimal > 45° akan didapatkan pengaruh sudut penembakan terhadap karakterisasi lapisan, namun pada sudut < 45°, meningkatnya pemanjangan percikan penyemprotan menyebabkan nilai dari porositas dan kekasaran menjadi meningkat serta

menyebabkan sifat mekanik (kekerasan, kekuatan ikatan, dan ketangguhan retak) menurun [3].

Tujuan penelitian ini adalah pertama mengetahui nilai kekerasan pada penampang melintang sebelum dan sesudah proses pelapisan dan pada tiga lapisan hasil pelapisan yaitu *top coat*, *bond coat* dan substrat pada material untuk bahan baku pembuatan impeller pompa karena pengaruh sudut penembakan. Kedua mengetahui nilai laju keausan pada penampang melintang material untuk bahan baku pembuatan impeller pompa karena pengaruh sudut penembakan sebelum dan sesudah proses pelapisan. Ketiga mengetahui pengaruh sudut penembakan pada pelapisan WC<sub>12</sub>Co terhadap sifat kekerasan dan keausan material untuk bahan baku pembuatan impeller pompa dengan metode *high velocity oxy-fuel (HVOF)*.

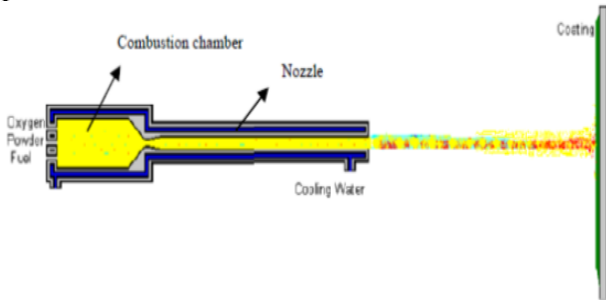
### Metode Penelitian

Bahan yang digunakan sebagai substrat atau spesimen yaitu material untuk bahan baku pembuatan impeller pompa. Masing-masing material dibuat menjadi 2 spesimen, pertama spesimen dengan panjang 70 mm untuk pengujian kekerasan dan pengujian aus sebelum dan setelah pelapisan. Kedua spesimen panjang dipotong untuk pengujian mikrostruktur dan kekerasan pada tiap

lapisan. Alat yang digunakan untuk memotong spesimen adalah *band saw Everising S-12H*.

### Proses High Velocity Oxy-Fuel

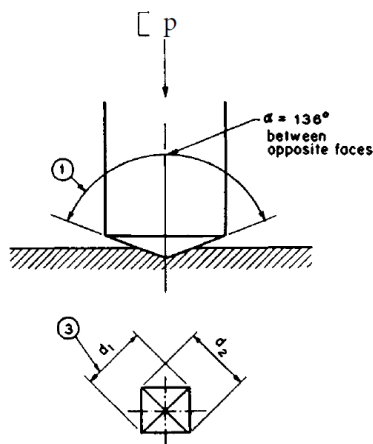
Parameter awal untuk melakukan proses ini mengikuti pedoman alat yang digunakan yaitu tekanan *propane* 5 bar, tekanan oksigen 8 bar, tekanan nitrogen 5 bar, *pre-heat* 80°C, jarak penembakan 300 mm dan variasi sudut penembakan 30°, 45°, 60°, dan 90°.



Gambar 1. HVOF (Sunde, 2015).

### Proses Pengujian Microhardness Vickers

*Spesimen* dicekam pada ragum, lalu dipilih bagian struktur yang akan diuji. Bagian yang diuji kekerasannya yaitu penampang melintang masing-masing spesimen dan tiga lapisan pelapisan yaitu *top coat*, *bond coat* dan substrat secara melintang. Standar pengujian menggunakan ASTM 92-82 tahun 2003.

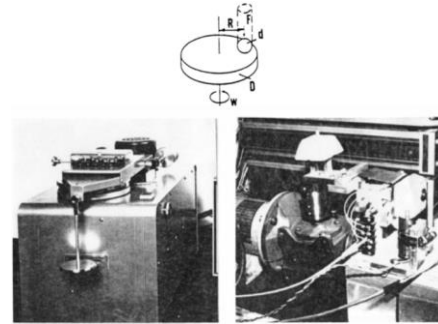


Gambar 2. Kekerasan Vickers (ASTM 92-82, 2003).

### Proses Pengujian Aus

Proses ini dilakukan dengan menggunakan alat *pin on disc*. Pada proses ini *spesimen* silinder menjadi *pin*. Dan yang menjadi *disc* yaitu silika karbida (SiC) dengan *grit* 100. Pengujian ini dilakukan dengan *spesimen* yang berjumlah 4 *spesimen*. Masing-masing *material* menjadi dua *spesimen* uji yaitu *spesimen* uji sebelum proses pelapisan dan *spesimen* uji setelah proses pelapisan.

Standar pengujian menggunakan ASTM G99-95A tahun 2000.



Gambar 3. Skema Uji Keausan (ASTM G99-95A, 2000).

### Proses Pengujian Mikrostruktur dengan Light Optical Microscope (LOM)

Proses ini hanya untuk melihat hasil pelapisan yang ditunjukkan pada tiga lapisan yaitu *top coat*, *bond coat* dan substrat. Standar pengujian menggunakan ASTM E3 tahun 2007.

### Proses Pengujian SEM

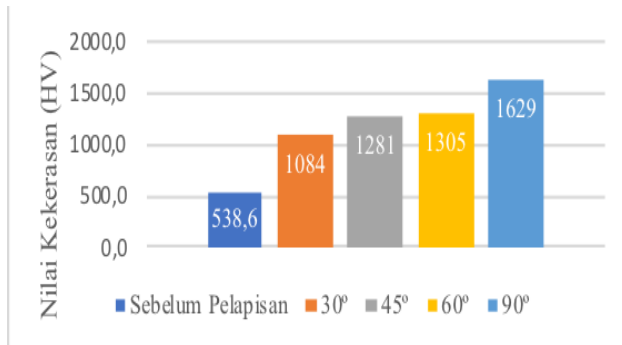
Proses ini dilakukan untuk melihat hasil pelapisan yang ditunjukkan pada penampang melintang. *Spesimen* dimasukan ke wadah uji, lalu dipilih bagian penampang yang akan diuji. Lalu dilakukan pengaturan parameter *electron* seperti *high voltage*, *spot size*, bias dan *beam current* juga parameter *optic* seperti kontras, *focus* dan *astigmatismus* yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal. Standar pengujian mengikuti standar Phenom Pro X desktop.

### Hasil dan Pembahasan

#### Analisa Hasil Microhardness Vickers

Gambar 4 memperlihatkan perbandingan nilai kekerasan *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa tanpa pelapisan dan setelah pelapisan dengan variasi sudut penembakan 30°, 45°, 60°, dan 90°. Terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai kekerasan yang cukup signifikan dari material AISI 304 *Stainless Steel* setelah dilakukan pelapisan dengan metode *high velocity oxy-fuel* (HVOF). Pada sudut penembakan dibawah 45°, nilai kekerasan menurun secara signifikan sampai 1084 HV. Tren ini konsisten dengan hasil dari [4] dan [5] tentang penembakan *high velocity oxy-fuel* (HVOF) menggunakan bubuk *tungsten carbide-cobalt* (WC-Co). Dengan pelapisan *tungsten carbide-cobalt* (WC<sub>12</sub>Co) yang terstruktur dengan baik dalam penelitian ini, penurunan nilai kekerasan yang disebutkan diatas berkorelasi dengan perkembangan nilai persentase porositas pada pelapisan material untuk bahan baku

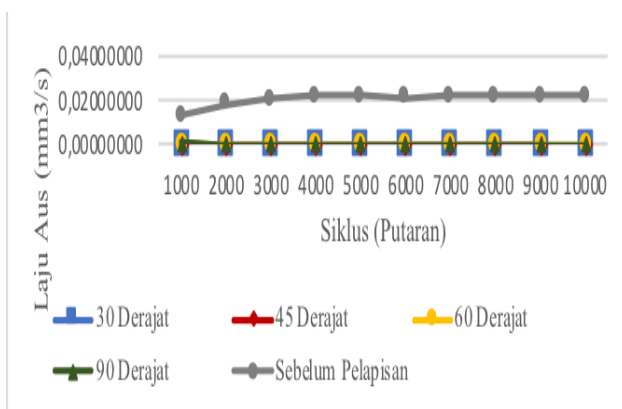
pembuatan *impeller* pompa. Nilai persentase porositas yang tinggi pada mikrostruktur akan menurunkan kekuatan mikrostruktur dan kekerasan pada pelapisan [6].



**Gambar 4.** Perbandingan Kekerasan pada *Cross Sectional Area*.

### Analisa Hasil Pengujian Aus

Pada hasil pengujian aus spesimen *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa terjadi perbedaan yang sangat signifikan antara *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa tanpa pelapisan dan *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa hasil pelapisan dengan sudut penembakan 30°, 45°, 60°, dan 90°. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa hasil pelapisan memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa tanpa pelapisan. Dapat dilihat pada Gambar 5 grafik perbandingan laju keausan *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa.



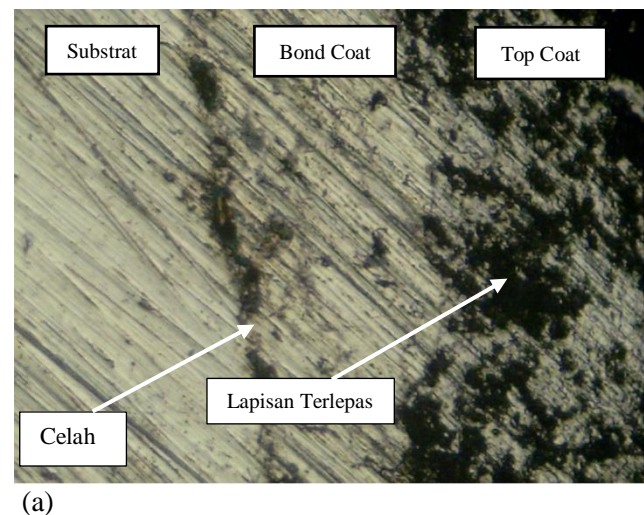
**Gambar 5.** Perbandingan Laju Keausan.

Lapisan *Tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) lima kali lebih tahan aus dibandingkan dengan lapisan *nickel-chromium* (Ni-Cr). Lapisan *tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) memenuhi harapan dari penurunan ketahanan aus dengan penurunan sudut penembakan. Lapisan *tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) yang ditembakkan pada sudut

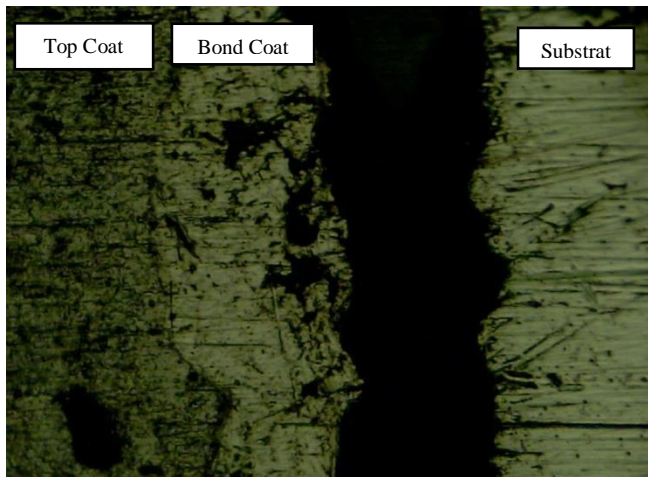
penembakan dibawah sudut 90° terutama pada sudut penembakan 30° memiliki keausan yang buruk. Mekanisme keausan dari lapisan *tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) secara tegak lurus dapat ditandai dengan hilangnya kandungan logam secara bertahap diikuti oleh penurunan kohesi kandungan karbida dan menghilangkan karbida. Pelapisan *tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) yang ditembakkan pada sudut dibawah 90° menunjukkan keausan yang besar diwakili dengan tidak hanya oleh terlepasnya kandungan karbida, tetapi juga oleh keseluruhan bagian percikan partikel. Perilaku seperti itu menunjukkan rendahnya kohesi antar percikan di lapisan atau adhesi lapisan yang rendah terhadap substrat yang terhubung dengan penyebaran partikel yang tidak sempurna [4].

### Hasil Pengujian Mikrografi

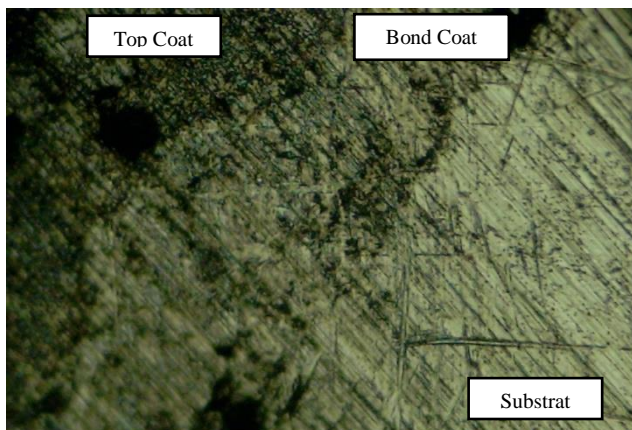
Pada pengujian mikrografi ini menunjukkan 3 bagian hasil pelapisan. Spesimen *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa yang melalui proses pelapisan dengan *bonding nickel-chromium* (Ni-Cr) dan *top coat tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) akan memperlihatkan 3 lapisan saat diuji mikrografi. Pengujian ini bertujuan untuk melihat efek deposisi hasil *high velocity oxy-fuel* pada spesimen *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa.



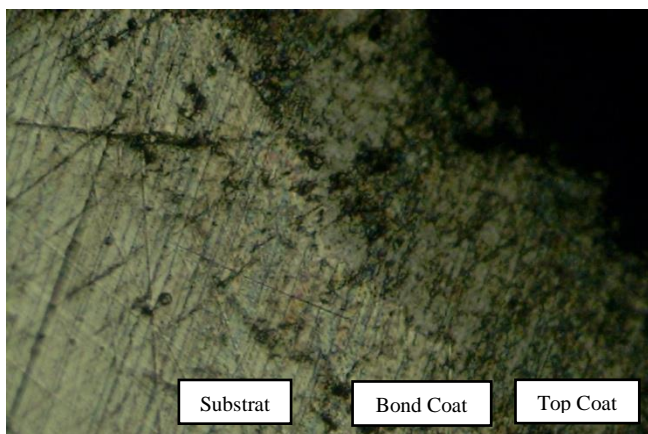




(b)



(c)



(d)

**Gambar 6.** Mikrografi *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa Hasil Pelapisan (a) 30°, (b) 45°, (c) 60°, dan (d) 90°.

Gambar 6a memperlihatkan penampang melintang lapisan benda uji *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa yang di-grit blasting menggunakan *aluminium oxide* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

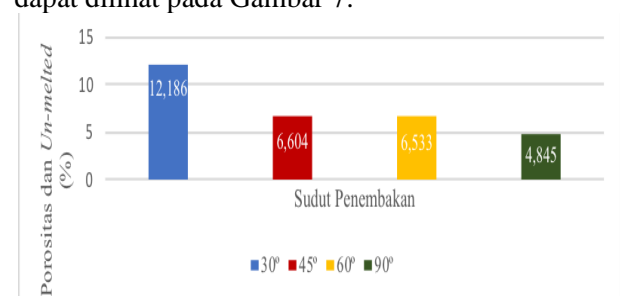
dengan tekanan 7 bar. Pada kondisi ini *top coat tungsten carbide-cobalt* ( $\text{WC}_{12}\text{Co}$ ) dan *bond coat nickel-chromium* (Ni-Cr) melekat pada permukaan substrat karena adanya mekanisme penguncian mekanis (*mechanical interlocking*). Namun terlihat adanya celah antara *bond coat nickel-chromium* (Ni-Cr) dan substrat. Celah ini terbentuk akibat proses persiapan sampel. Adanya celah ini menggambarkan bahwa kekuatan lekat antara substrat dan *bond coat nickel-chromium* (Ni-Cr) masih lemah [7].

Gambar 6b memperlihatkan penampang melintang lapisan benda uji *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa yang di-grit blasting menggunakan *aluminium oxide* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dengan tekanan 7 bar dengan hasil yang tidak sempurna. Tampak bahwa permukaan substrat sangat rata, sehingga *bond coat nickel-chromium* (Ni-Cr) yang diaplikasikan pada permukaan tersebut akan segera lepas setelah dilakukannya proses *high velocity oxy-fuel* (HVOF). Hal ini diakibatkan oleh tidak maksimalnya proses mekanisme penguncian mekanis (*mechanical interlocking*) antara substrat dan *bond coat nickel-chromium* (Ni-Cr) [7].

Gambar 6c dan 6d memperlihatkan penampang melintang lapisan benda uji *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa yang di-grit blasting menggunakan *aluminium oxide* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dengan tekanan 7 bar. Pada kondisi ini *top coat tungsten carbide-cobalt* ( $\text{WC}_{12}\text{Co}$ ) dan *bond coat nickel-chromium* (Ni-Cr) melekat pada permukaan substrat karena adanya mekanisme penguncian mekanis (*mechanical interlocking*). Terlihat tidak adanya celah ini menggambarkan bahwa kekuatan lekat antara substrat dan *bond coat nickel-chromium* (Ni-Cr) dapat dikatakan baik [7].

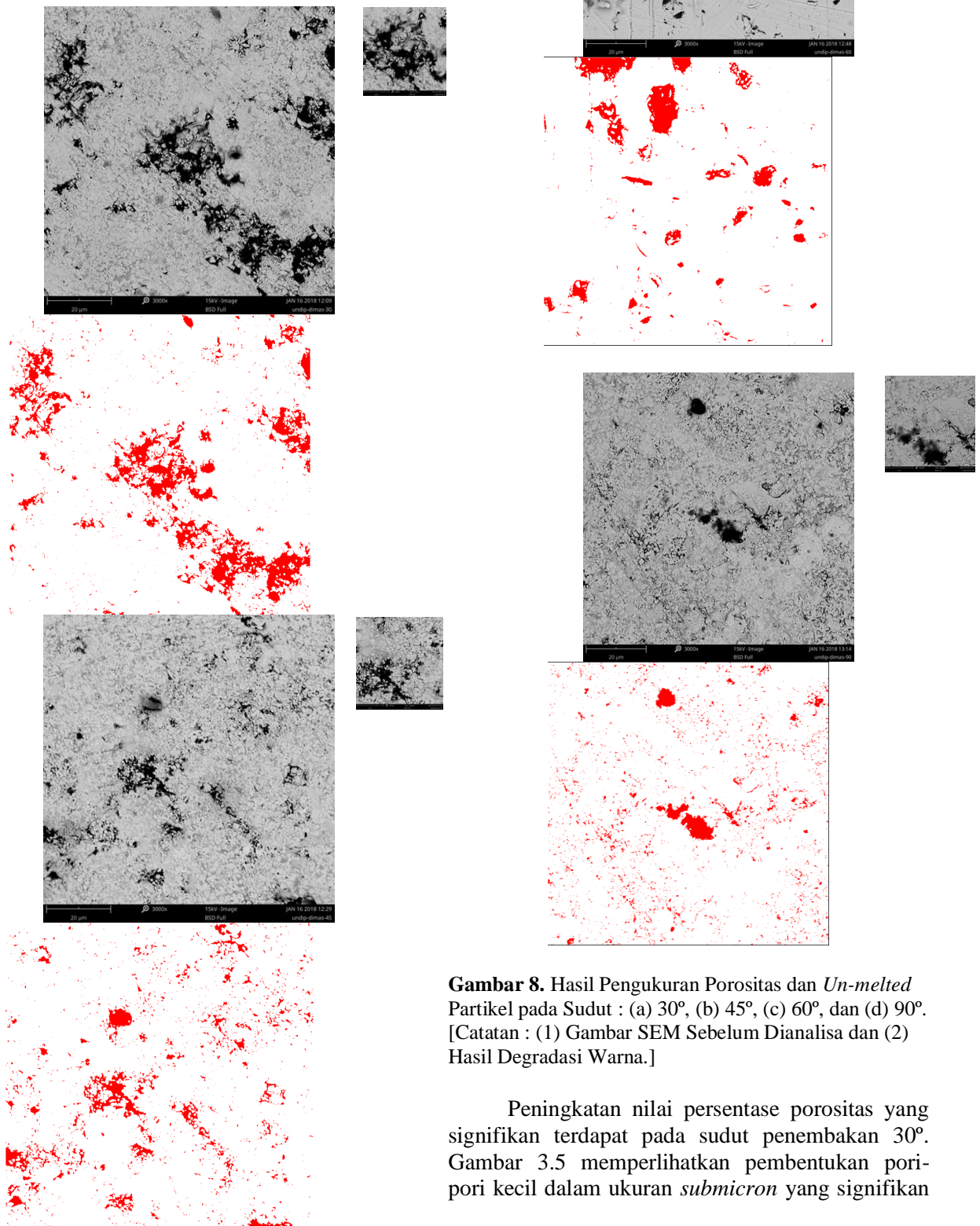
### Hasil Pengujian SEM

Hasil gambar SEM dianalisa dengan *image processing program* dalam penelitian ini menggunakan program Image-J. Program Image-J ini bertujuan menentukan besaran luasan porositas total yang terbentuk dengan luasan gambar yang dianalisa. Hasil persentase porositas dan *un-melted* dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik Besaran Persentase Porositas dan *Un-melted*.

Seiring dengan penurunan sudut penembakan, nilai persentase porositas meningkat sekitar 3 kali lipat dari nilai 4,845% sampai 12,186% seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 dengan nilai perbesaran gambar SEM 3000x. Gambar 7 juga memperlihatkan bahwa porositas yang relatif lebih rendah terdapat pada sudut penembakan 90°, 60°, dan 45°.



**Gambar 8.** Hasil Pengukuran Porositas dan *Un-melted* Partikel pada Sudut : (a) 30°, (b) 45°, (c) 60°, dan (d) 90°. [Catatan : (1) Gambar SEM Sebelum Dianalisa dan (2) Hasil Degradasi Warna.]

Peningkatan nilai persentase porositas yang signifikan terdapat pada sudut penembakan 30°. Gambar 3.5 memperlihatkan pembentukan pori-pori kecil dalam ukuran *submicron* yang signifikan

terdapat pada sudut penyemprotan yang lebih kecil [8].

Peningkatan nilai persentase porositas pada pelapisan *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa dengan menggunakan *tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 4.34 mempengaruhi nilai kekerasan *microhardness* karena nilai porositas yang didapat melebihi 1% [8]. Sudut penembakan yang lebih kecil mengarah kepada nilai persentase porositas yang lebih tinggi dengan perubahan yang signifikan [6]. Nilai persentase porositas yang lebih rendah terdapat pada sudut penembakan  $30^\circ$  dibandingkan dengan sudut penembakan yang lebih besar yaitu sudut penembakan  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  [4] dan [5]. Hasil ini dikaitkan kepada struktur kandungan *carbide* halus dengan fasa terdispersi yang baik dan terbentuk pada sudut penembakan yang sangat rendah yaitu sudut penembakan  $30^\circ$  [5]. Ketika sudut penembakan dibawah  $90^\circ$  sebagian besar struktur mikro dari lapisan yang diproduksi oleh *high velocity oxy-fuel* (HVOF) dengan bubuk *tungsten carbide-cobalt* ( $WC_{12}Co$ ) halus akan tetap berbentuk utuh [9].

## Kesimpulan

Nilai kekerasan *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa sebelum dilakukan pelapisan yaitu sebesar 538,6 HV, setelah dilakukan pelapisan dengan sudut penembakan  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$  didapatkan nilai masing-masing kekerasan pada *cross section* sebesar 1084 HV, 1281 HV, 1305 HV dan 1629 HV. Adapun masing-masing nilai kekerasan pada 3 lapisan dengan sudut penembakan  $30^\circ$  yaitu *top coat* sebesar 976,9 HV, *bond coat* 419,7 HV dan substrat 381,3 HV, sudut penembakan  $45^\circ$  yaitu *top coat* 1026,5 HV, *bond coat* tidak ditemukan nilai kekerasannya dan substrat 424,3 HV, sudut penembakan  $60^\circ$  yaitu *top coat* 981,2 HV, *bond coat* 142,8 HV dan substrat 364,8 HV dan pada sudut penembakan  $90^\circ$  yaitu *top coat* 1195 HV, *bond coat* 414 HV dan substrat 549,5 HV. Nilai hasil laju keausan pada *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa sebelum pelapisan  $2,00 \times 10^{-2} \text{ mm}^3/\text{s}$ , setelah dilakukan pelapisan dengan sudut penembakan  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$  didapatkan nilai masing-masing laju keausan sebesar  $7,56 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{s}$ ,  $7,17 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{s}$ ,  $1,39 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{s}$  dan  $6,69 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{s}$ . Pada sudut penembakan  $90^\circ$  nilai kekerasan yang dihasilkan akan semakin tinggi sehingga nilai laju keausan yang didapatkan semakin menurun.

Pada sudut penembakan  $30^\circ$  nilai laju keausan semakin meningkat dan ketahanan aus semakin menurun. Hal tersebut dikarenakan rendahnya nilai persentase porositas dan *un-melted* partikel pada sudut penembakan  $90^\circ$ .

## Referensi

- [1] Hasan, M., 2005, "High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Thermal Spray Deposition of Functionally Graded Coatings," Dublin, Ireland. PhD thesis, Dublin City University.
- [2] Parker, D. W., Kutner, G. L., 1991, "HVOF-Spray Technology-Poised for Growth", Journal of Advanced Materials and Processes, Vol. 4, , pp. 68-74.
- [3] Bussmann, M., Chandra, S., Mostaghimi, J., 1999, Numerical Results of Off-Angle Thermal Spray Particle Impact, Proceedings of the United Thermal Spray Conference, Dusseldorf, Germany, 17-19 March, pp. 783 – 786.
- [4] Houdková, Š., Zahálka, F., Kašparová, M., 2009, "The influence of the spraying angle on properties of thermally sprayed HVOF cermet coatings" vol 62, 59-69.
- [5] Strock, E., Ruggiero, P., Reynolds, D., 2001, The Effect of Off- Angle Spraying on the Structure and Properties of HVOF WC/ CoCr Coatings, Thermal Spray 2001: New Surfaces for a New Millennium, C.C. Berndt, K.A. Khor, and E.F. Lugscheider, Ed., ASM International, Materials Park, OH, p 671-676.
- [6] Tillmann, W. , Baumann, I., Hollingsworth, P., Laemmerhirt, I., 2013, Influence of the spray angle on the properties of HVOF sprayed WC-Co coatings using  $(-10 + 2 \mu\text{m})$  fine powders, J. Therm. Spray Technol. 22 pp 272–279.
- [7] T Bondan. Sofyan, Yus Prsaetyo. Sayid Ardiansyah'I, dan Edi Sofyan., 2010, "Pelapisan Permukaan Dalam Nosel Roket Rkx100 Dengan  $Cr_2c_3$ -Nici Hvf : Optimasi Kekuatan Lekat Melalui Variasi Kekasaran Permukaan".
- [8] P.C. Du, X.P. Zhu, Y. Meng, H. Feng, Q.F. Wang, M.K. Lei., 2016 "Water-lubricated tribological behavior of WC-Ni coatings deposited by off-angle HVOF spraying". vol 309, pp 663-670.
- [9]. Baumann, I.T, 2012, Highly Wear-Resistant and Near-Net-Shape Tool Surfaces by Means of High Velocity Oxygen Fuel Flame Spraying Techniques, Ph.D. Thesis, Technische Universitaet Dortmund, Vulkan, Essen, Germany, ISBN 978-3-8027-8813-0 (in German).