

Pengaruh Sudut Penembakan pada Pelapisan WC₁₂Co Terhadap Sifat Kekerasan dan Keausan *Material* untuk Bahan Baku Pembuatan *Impeller* Pompa dengan Metode *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF)

Gunawan Dwi Haryadi*, Deni Fajar Fitriyana, Dimas Adib Karomi

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Alamat resmi Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah

*E-mail: 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 mm³/s. It is because of the low Porosity percentage and the un-melted particle of 4,845%.

Keyword: High Velocity Oxy-Fuel, Hardening, Wear, WC₁₂Co

Abstrak

Proses pelapisan bahan untuk *impeller* pompa dengan metode *thermal spray coating* dapat di pertimbangkan 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 WC₁₂Co 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 mm³/s. Hal ini karena kecilnya/rendahnya persentase porositas dan *un-melted* partikel sebesar 4,845%.

Kata kunci: High Velocity Oxy-Fuel, Kekerasan, Keausan, WC₁₂Co

1. 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].

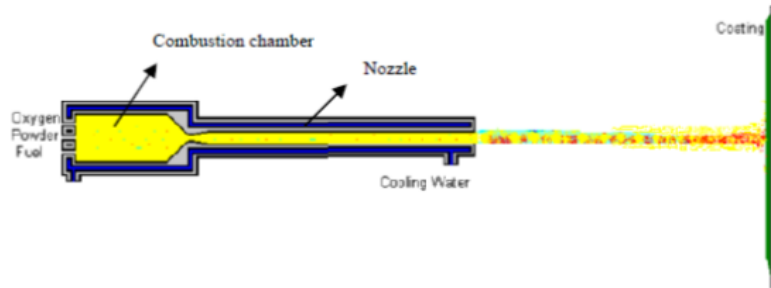
Tujuan penelitian ini adalah pertama mengetahui nilai kekerasan pada penampang melintang sebelum dan sesudah proses pelapisan dan pada tiga lapisan hasil pelapisan yaitu *top coat*, *bond coat* dan substrat pada material untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa karena pengaruh sudut penembakan. Kedua 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 WC₁₂Co terhadap sifat kekerasan dan keausan material untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa dengan metode *high velocity oxy-fuel* (HVOF).

2. Material dan Metodologi

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*.

2.1. Proses High Velocity Oxy-Fuel

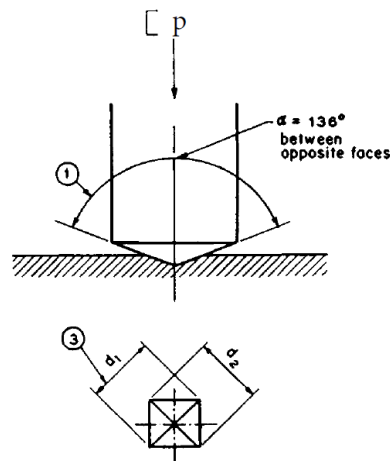
Parameter awal untuk melakukan proses ini mengikuti pedoman alat yang digunakan yaitu tekanan *propane 5 bar*, tekanan oksigen *8 bar*, tekanan nitrogen *5 bar*, *pre-heat 80°C*, jarak penembakan *300 mm* dan variasi sudut penembakan *30°, 45°, 60°, dan 90°*.



Gambar 1. HVOF [4].

2.2. Proses Pengujian Microhardness Vickers

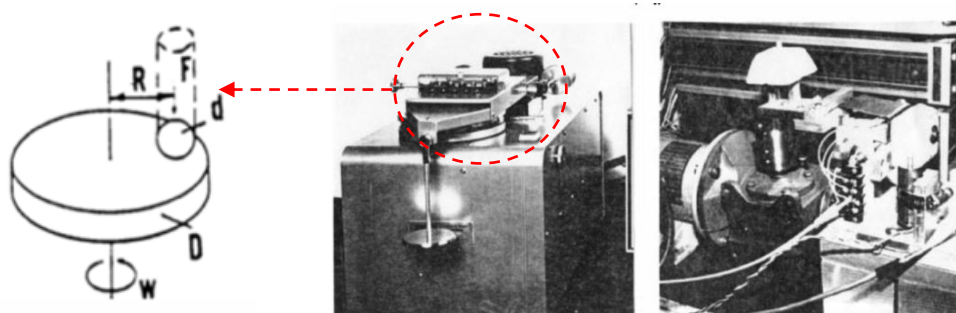
Spesimen dicekam pada ragum, lalu dipilih bagian struktur yang akan diuji. Bagian yang diuji kekerasannya yaitu penampang melintang masing-masing spesimen dan tiga lapisan pelapisan yaitu *top coat*, *bond coat* dan substrat secara melintang. Standar pengujian menggunakan ASTM 92-82 tahun 2003.



Gambar 2. Kekerasan Vickers merujuk pada ASTM 92-82.

2.3. 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 merujuk pada ASTM G99-95A.

2.4. 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.

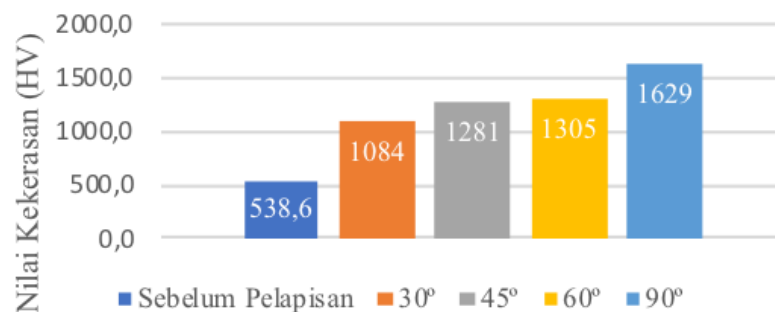
2.5. Proses Pengujian SEM

Proses ini dilakukan untuk melihat hasil pelapisan yang ditunjukkan pada penampang melintang. *Spesimen* dimasukkan 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.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Hasil *Microhardness* Vickers

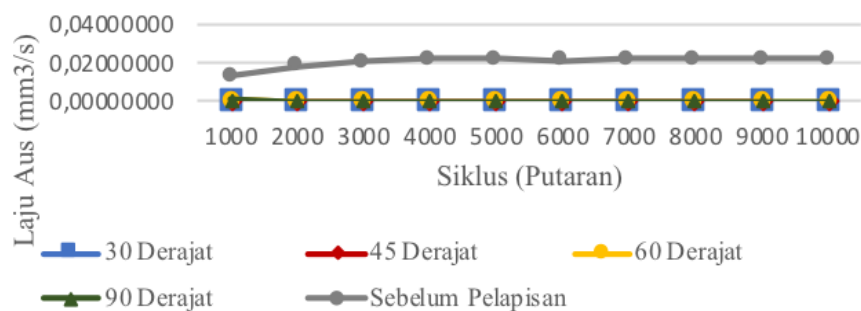
Gambar 4 memperlihatkan perbandingan nilai kekerasan *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa tanpa pelapisan dan setelah pelapisan dengan variasi sudut penembakan 30°, 45°, 60°, dan 90°. Terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai kekerasan yang cukup signifikan dari material AISI 304 *Stainless 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 [5] dan [6] tentang penembakan *high velocity oxy-fuel* (HVOF) menggunakan bubuk *tungsten carbide-cobalt* (WC-Co). Dengan pelapisan *tungsten carbide-cobalt* (WC₁₂Co) 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 [7].



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

3.2. 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.



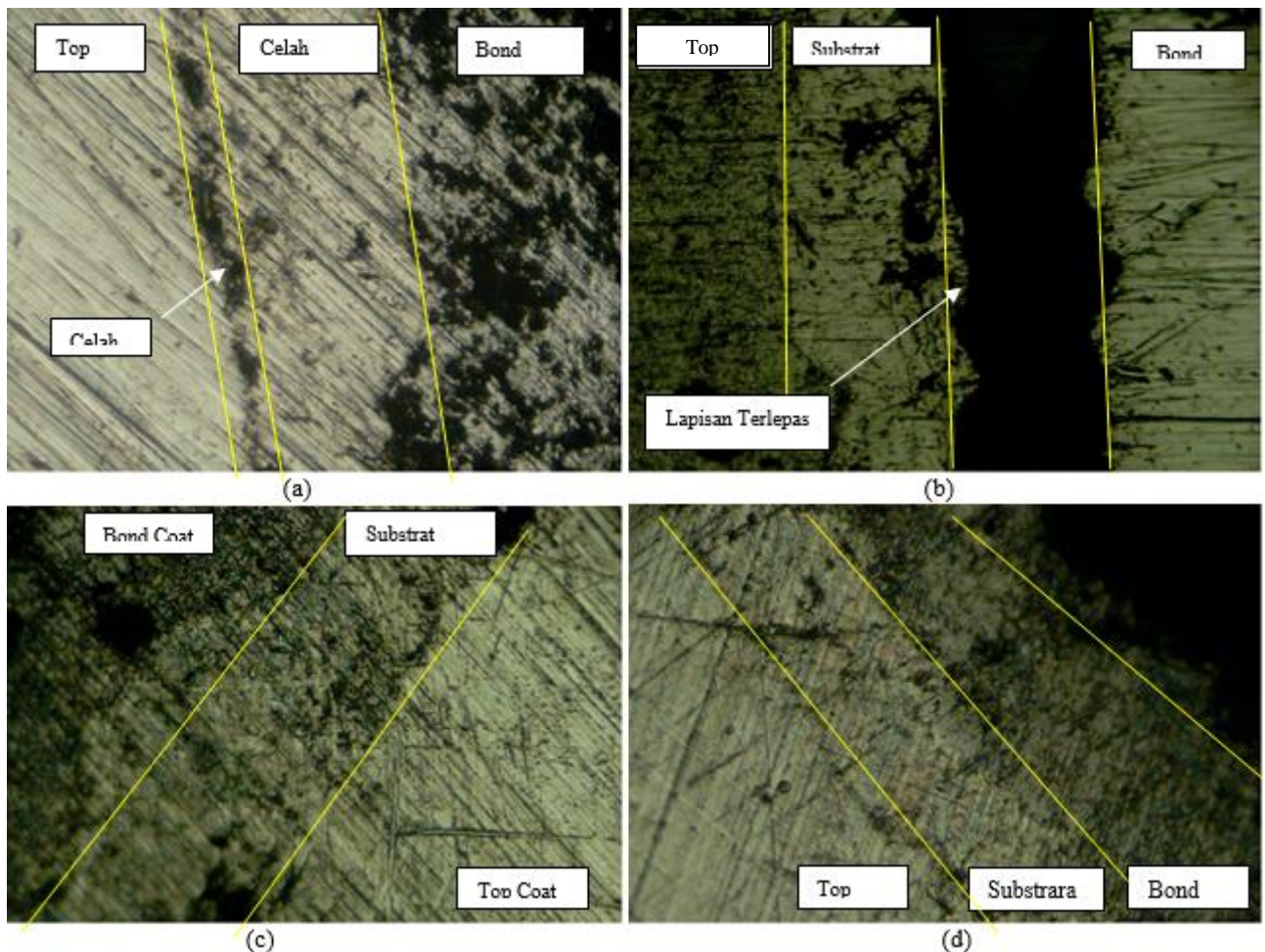
Gambar 5. Perbandingan Laju Keausan.

Lapisan *Tungsten carbide-cobalt* (WC₁₂Co) lima kali lebih tahan aus dibandingkan dengan lapisan *nickel-chromium* (Ni-Cr). Lapisan *tungsten carbide-cobalt* (WC₁₂Co) memenuhi harapan dari penurunan ketahanan aus dengan penurunan sudut penembakan. Lapisan *tungsten carbide-cobalt* (WC₁₂Co) yang ditembakkan pada sudut

penembakan dibawah sudut 90° terutama pada sudut penembakan 30° memiliki keausan yang buruk. Mekanisme keausan dari lapisan tungsten carbide-cobalt (WC₁₂Co) secara tegak lurus dapat ditandai dengan hilangnya kandungan logam secara bertahap diikuti oleh penurunan kohesi kandungan karbida dan menghilangkan karbida. Pelapisan tungsten carbide-cobalt (WC₁₂Co) 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 [5].

3.3. 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 (WC₁₂Co) 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.



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 (Al₂O₃) dengan tekanan 7 bar. Pada kondisi ini top coat tungsten carbide-cobalt (WC₁₂Co) 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 [8].

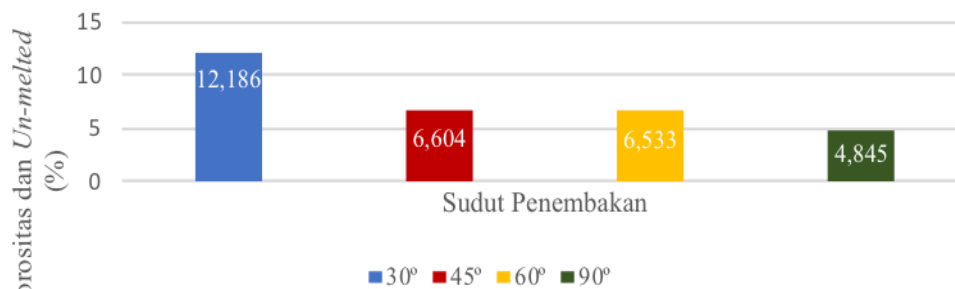
Gambar 6b memperlihatkan penampang melintang lapisan benda uji material untuk bahan baku pembuatan impeller pompa yang di-grit blasting menggunakan aluminium oxide (Al₂O₃) dengan tekanan 7 bar dengan hasil yang tidak sempurna. Tampak bahwa permukaan substrat sangat rata, sehingga bond coat nickel-chromium (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) [8].

Gambar 6c dan 6d memperlihatkan penampang melintang lapisan benda uji *material* untuk bahan baku pembuatan *impeller* pompa yang di-*grit blasting* menggunakan *aluminium oxide* (Al_2O_3) dengan tekanan 7 bar. Pada kondisi ini *top coat tungsten carbide-cobalt* ($WC_{12}Co$) 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 [8].

3.4. 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.

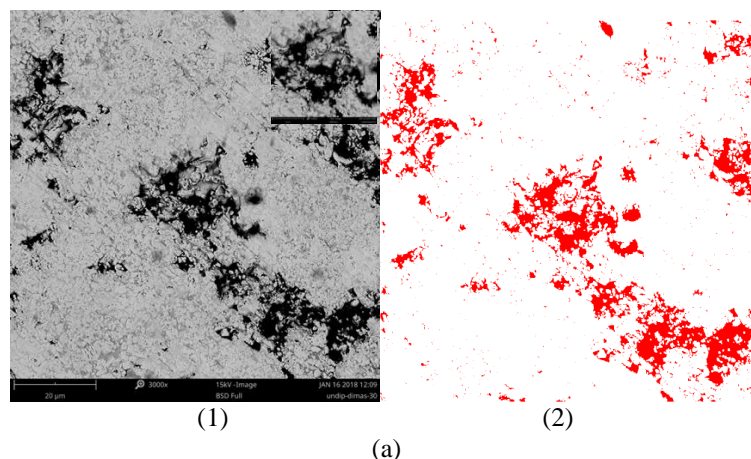


Gambar 7. Grafik Besaran Persentase Porositas dan *Un-melted*.

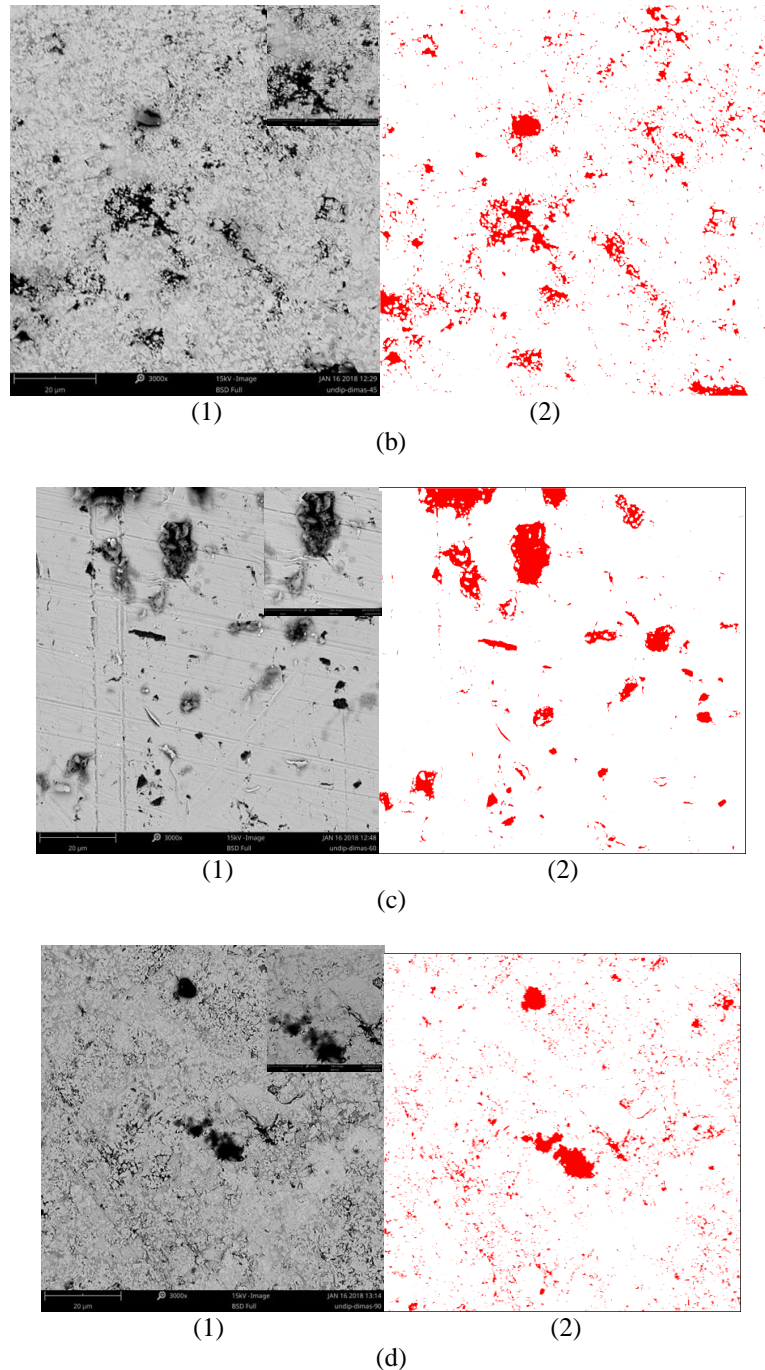
Seiring dengan penurunan sudut penembakan, nilai persentase porositas meningkat sekitar 3 kali lipat dari nilai 4,845% sampai 12,186% seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 dengan nilai perbesaran gambar SEM 3000x. Gambar 7 juga memperlihatkan bahwa porositas yang relatif lebih rendah terdapat pada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

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 [9].

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% [9]. Sudut penembakan yang lebih kecil mengarah kepada nilai persentase porositas yang lebih tinggi dengan perubahan yang signifikan [7]. Nilai persentase porositas yang lebih rendah terdapat pada sudut penembakan 30° dibandingkan dengan sudut penembakan yang lebih besar yaitu sudut penembakan 45° dan 60° [5] dan [6]. 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° [6]. Ketika sudut penembakan dibawah 90° 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 [10].



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.]



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.] (lanjutan)

4. 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°, 45°, 60°, dan 90° 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° yaitu *top coat* sebesar 976,9 HV, *bond coat* 419,7 HV dan substrat 381,3 HV, sudut penembakan 45° yaitu *top coat* 1026,5 HV, *bond coat* tidak ditemukan nilai kekerasannya dan substrat 424,3 HV, sudut penembakan 60° yaitu *top coat* 981,2 HV, *bond coat* 142,8 HV dan substrat 364,8 HV dan pada sudut penembakan 90° 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°, 45°, 60°, dan 90° 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° nilai kekerasan yang

dihasilkan akan semakin tinggi sehingga nilai laju keausan yang didapatkan semakin menurun. Pada sudut penembakan 30° nilai laju keausan semakin meningkat dan ketahanan aus semakin menurun. Hal tersebut dikarenakan rendahnya nilai presentase porositas dan *un-melted* partikel pada sudut penembakan 90°.

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] N. Espallargas, Thermal spray coatings, lecture notes, 2010.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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 µm) fine powders, J. Therm. Spray Technol. 22 pp 272–279.
- [8] T Bondan. Sofyan, Yus Prsaetyo. Sayid Ardiansyah'I, dan Edi Sofyan., 2010, "Pelapisan Permukaan Dalam Nosel Roket RKX100 Dengan Cr₂C₃-NiCr HVOF : Optimasi Kekuatan Lekat Melalui Variasi Kekasaran Permukaan".
- [9] Du P.C., Zhu X.P., Meng Y., Feng H.,Wang Q.F., Lei M.K., 2016 "Water-lubricated tribological behavior of WC-Ni coatings deposited by off-angle HVOF spraying".vol 309,pp 663-670.
- [10] 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).