

# Pengaruh Jarak Nozzle dan Tekanan Gas pada Proses Pelapisan FeCrBMnSi dengan Metode Wire Arc Spray terhadap Ketahanan Thermal

Muhammad Suchaimi, Rochman Rochiem, dan Hariyati Purwaningsih  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
*e-mail*: m.suchaimi@gmail.com

**Abstrak**--*Low Temperature Hot Corrosion (LTHC)* merupakan jenis *hot corrosion* yang terjadi pada temperatur 700-800°C dan biasa terjadi pada sudu-sudu turbin uap. Akibatnya material pada sudu turbin tersebut mengalami keretakan maupun penurunan efisiensi putaran. Perlindungan terhadap *hot corrosion* dengan cara memberikan penghalang antara substrat dengan lingkungan salah satunya menggunakan metode pelapisan permukaan logam yaitu *wire arc spray*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jarak *nozzle* dan tekanan gas pada pelapisan FeCrBMnSi dengan metode *wire arc spray* terhadap ketahanan *thermal*. Dari parameter jarak *nozzle* dan tekanan gas yang digunakan, didapatkan parameter terbaik yaitu pada jarak 400 mm dan tekanan gas 3 bar yang mempunyai kekuatan lekat sebesar 22,58 MPa dengan persentase porositas 5,93% dan nilai kekasaran permukaan sebesar 16,36  $\mu\text{m}$ . Sedangkan pada pengujian *thermal cycle* yang dilakukan dengan cara pemanasan dan pendinginan secara kontinyu, pada permukaan *coating* terbentuk senyawa oksida Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang menyebabkan perambatan retak dan delaminasi. Selain itu kekerasan lapisan *coating* meningkat akibat adanya senyawa *precipitate boride (Fe<sub>9</sub>B)<sub>0,2</sub>*.

**Kata Kunci** : Coating, Wire Arc Spray, FeCrBMnSi, Jarak Nozzle, Tekanan Gas, Ketahanan Thermal

## I. PENDAHULUAN

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi. Keuntungan utama menggunakan turbin uap yaitu dapat menghasilkan energi mekanik yang maksimal untuk menggerakkan generator listrik, namun di sisi lain ada biaya tambahan yang diperlukan untuk perawatan yang lebih besar. Tanpa adanya perawatan yang baik pada turbin uap, maka akan menimbulkan masalah-masalah yang berkaitan dengan kinerja dan kualitas turbin uap, bahkan resiko keselamatan sangat mungkin terjadi. Karena turbin uap bekerja pada tekanan dan temperatur yang tinggi. Salah satu komponen pada turbin uap yang sering mengalami kegagalan atau kerusakan yaitu sudu-sudu turbin. Kerusakan tersebut

biasanya disebabkan oleh *erosion*, *hot corrosion*, *fouling* dan *high cycle fatigue*.

*Hot Corrosion* merupakan jenis korosi temperatur tinggi yang terjadi pada sudu-sudu turbin uap. Ada dua jenis *hot corrosion*, yaitu *high temperature hot corrosion (HTHC)* yang terjadi pada temperatur 825°C – 950°C dan *low temperature hot corrosion (LTHC)* yang terjadi pada temperatur 700°C – 800°C. Jenis korosi ini disebabkan adanya kondensasi dari zat kimia yang bekerja pada benda yang bersifat korosif. Korosi dapat menimbulkan berbagai macam kerugian diantaranya adalah berupa biaya perawatan dan biaya penggantian material. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengendalikan laju korosi yaitu dengan mengurangi gas-gas yang bersifat korosif, mencegah terbentuknya kerak dan deposit pada sudu-sudu turbin serta memberi lapisan pelindung. Memberi lapisan pelindung dilakukan dengan cara memutus rantai korosi dengan melindungi logam sehingga konduktor atau kontak metalik tidak berfungsi sehingga elektron tidak bisa mengalir dan korosi terhambat. Sudah banyak jenis bahan pelapisan untuk menanggulangi terjadinya korosi, salah satunya dengan pelapisan logam. Logam metalik adalah penghalang yang berkesinambungan antara permukaan logam dan lingkungan.

Pelapisan permukaan logam adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat ketahanan thermal dan *hot corrosion* pada suatu permukaan benda kerja, dimana diharapkan benda tersebut akan mengalami perbaikan baik dalam hal struktur mikro maupun ketahanannya, dan tidak menutup kemungkinan pula terjadi perbaikan terhadap sifat fisiknya. Pelapisan logam merupakan bagian akhir dari proses produksi suatu produk maupun bagian dari proses *maintenance* atau pemeliharaan terhadap suatu komponen atau benda kerja. Salah satu metode pelapisan permukaan logam yaitu metode *arc spray*. Metode ini merupakan salah satu jenis dari *thermal spray*. *Arc spray coating* merupakan salah satu teknik pelapisan logam (*coating*) dalam bentuk kawat. Busur antara dua kawat dalam proses *arc spray coating* ini digunakan untuk mencairkan bahan pelapis. Dalam *arc spray coating* tekanan gas sangat berpengaruh terhadap kualitas dari hasil *coating*. Proses ini akan menentukan karakteristik permukaan akhir material substrat.

Dalam penelitian ini dilakukan variasi jarak *nozzle* dan tekanan gas ketika proses pelapisan FeCrBMnSi *coating* untuk memperoleh parameter yang paling optimal terhadap sifat

korosi dan ketahanannya pada temperatur tinggi.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Preparasi Spesimen VCL 140

Spesimen dipotong menurut dimensi yang ditentukan sebanyak 8 buah. Melakukan proses *abrasive grit blasting* menggunakan *aluminum oxide 24 mesh* dengan tekanan sebesar 7 bar dan jarak *nozzle* 100 mm. Hal ini bertujuan agar permukaan spesimen menjadi kasar serta untuk meningkatkan ikatan mekanik antara material substrat dengan pelapisnya.

### B. Proses Pelapisan

Melakukan *spraying bond coat* NiAl dengan tekanan 4 bar dan jarak *nozzle* 200 mm. *Bond coat* ini berfungsi sebagai lapisan perekat antara substrat dengan lapisan *top coat*. Selanjutnya melakukan *spraying 95 MXC wire* dengan sudut 90°, dengan variasi jarak dan tekanan gas yang digunakan. (variasi jarak yang digunakan adalah 100 mm, 200 mm, 300 mm dan 400 mm, sedangkan tekanan yang digunakan adalah 3 bar dan 4 bar).

### C. Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan sampel yang telah *dicoating*. Pengujian ini menggunakan 8 sampel dengan ukuran 1.5 cm x 1.5 cm. Pengujian ini menggunakan alat uji *surface roughness tester SJ-301 user's manual Mitutoyu* dengan standard JIS20 (dalam satuan mikro meter).

### D. Pengujian SEM

Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menggunakan mesin merek FEI Inspect S-50. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ketebalan lapisan dari penampang substrat VCL 140 setelah mengalami proses *abrasive grit blasting*, dan kemudian dilapisi *bond coat* serta *top coat*.

### E. Pengujian XRD

X-Ray Diffraction adalah pengujian yang digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa yang terbentuk substrat dan hasil *coating*. Data hasil XRD berupa grafik dengan puncak intensitas terhadap  $2\theta$ . Data XRD ini digunakan untuk perhitungan komposisi unsur dan senyawa. Pengujian XRD ini menggunakan alat merk Xper pro panlythical.

### F. Pengujian Thermal Cycle

Pengujian *thermal cycle* ini digunakan untuk mengukur massa yang hilang, morfologi permukaan *coating*, dan senyawa yang terbentuk ketika dipanaskan dari temperatur kamar sampai temperatur tertentu yang diinginkan. Analisis ini digunakan untuk mengetahui perilaku dan kestabilan termal dari material. Pengujian *thermal cycle* menggunakan mesin *muffle furnace* dengan *heating rate* sekitar 30°C/menit dan

temperatur pemanasannya dari 25 - 600°C dalam keadaan *vacum*.

### G. Pengujian Pull Off Bonding

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya lekat *coating* terhadap substratnya. Pengujian ini menggunakan lem *Araldite* yang berfungsi sebagai perekat antara pin dengan spesimen yang akan diuji. Pengujian akan berhenti ketika lem sudah terlepas dari specimen, dengan menarik sebagian permukaan *coating*. Nilai dari kelekatan akan ditunjukkan dari alat dalam satuan MPA.

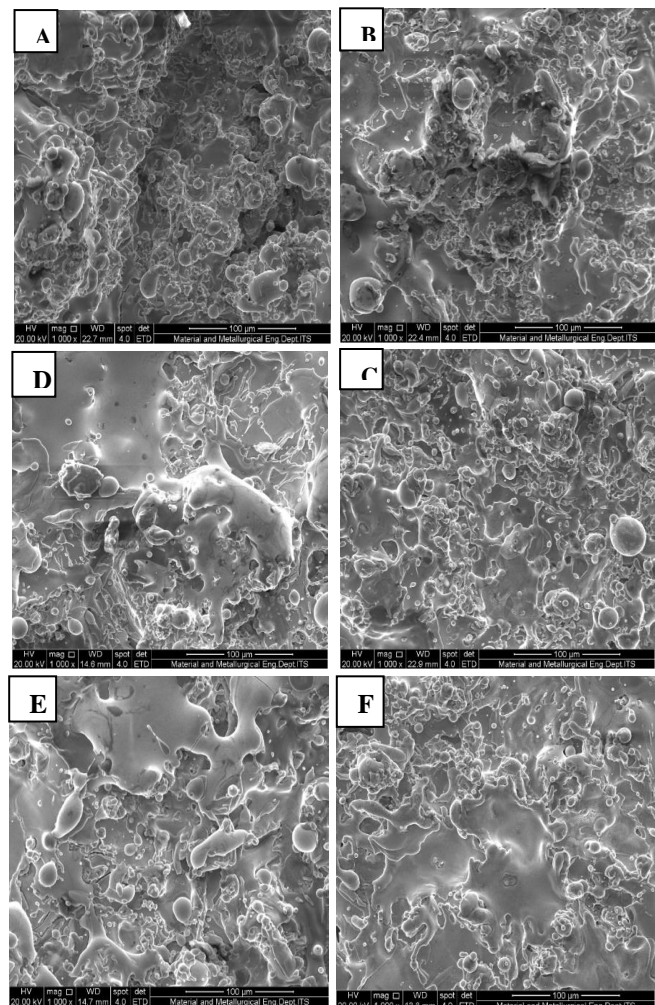
### H. Pengujian Microhardness Vickers

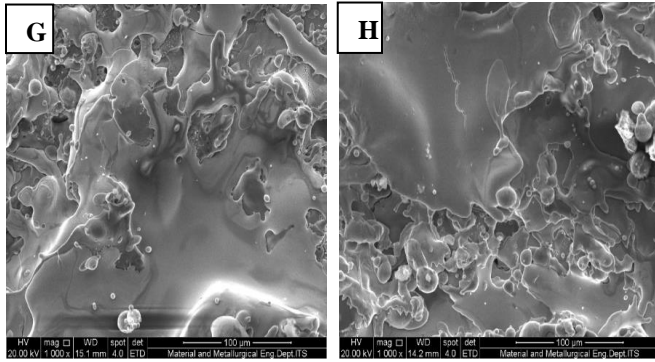
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan fasa pada lapisan *coating* dengan kondisi sebelum dan setelah perlakuan *thermal cycle*. Pengujian ini menggunakan mesin *microhardness vickers* digital.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengujian SEM

Pengamatan terhadap morfologi permukaan hasil *coating* FeCrBMnSi dilakukan dengan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) perbesaran perbesaran 1000x pada Gambar 2. Spesimen yang diamati terdiri dari variasi 100 mm; 3 bar, 100 mm; 4 bar, 200 mm; 3 bar, 200 mm; 4 bar, 300 mm; 3 bar, 300 mm; 4 bar, 400 mm; 3 bar, dan 400 mm; 4 bar.

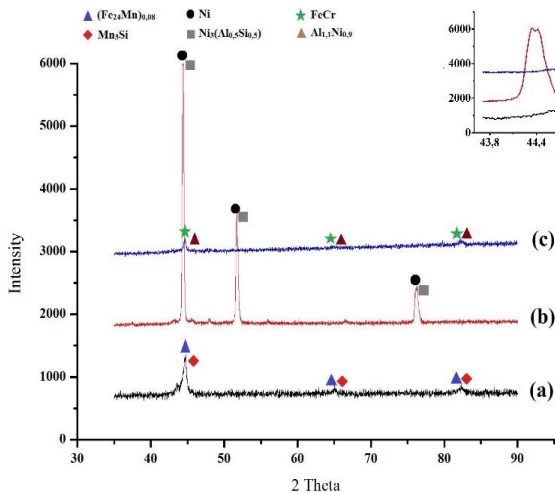




**Gambar 1.** Permukaan Spesimen *Coating* Perbesaran 1000x dengan Variasi (a) 100;3 (b) 100;4 (c) 200;3 (d) 200;4 (e) 300;3 (f) 300;4 (g) 400;3 (h) 400;4

Pada Gambar 1 menginformasikan bahwa semakin dekat jarak *nozzle* yang digunakan menghasilkan permukaan yang kurang rata dan halus. Hal ini disebabkan karena partikel-partikel belum meleleh secara sempurna, sehingga ketika mencapai permukaan substrat bentuk partikel tersebut masih bulat. Bulatnya bentuk partikel bisa menghasilkan rongga pada permukaan hasil *coating* sehingga nilai kekasaran dan porositasnya akan semakin besar [1]. Sedangkan dengan meningkatnya tekanan gas yang digunakan maka partikel-partikel yang terdapat di permukaan substrat mampu meleleh secara sempurna menghasilkan *coating* yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kecepatan *impact* dari lelehan partikel yang lebih kecil ke permukaan substrat seiring dengan meningkatnya tekanan gas yang digunakan. Sehingga mampu meminimalisir rongga yang terbentuk antara partikel-partikel tersebut [2].

**B. Pengujian XRD**



**Gambar 2.** Hasil XRD (a) Spesimen VCL 140, (b) *Bond Coat* dan (c) *As-Received Coating*

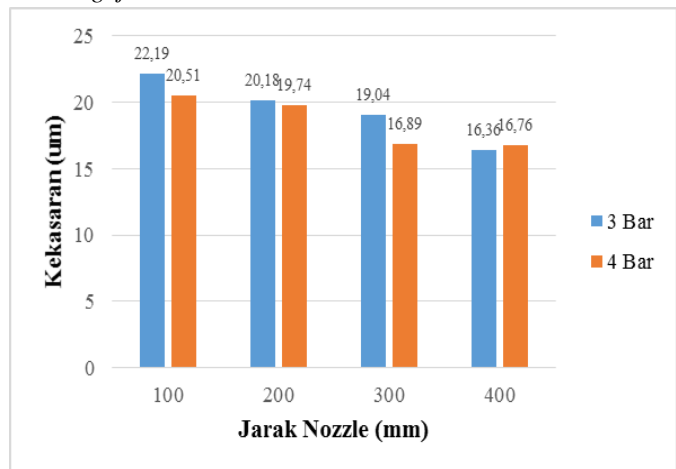
Gambar 2 merupakan hasil pengujian XRD terhadap spesimen substrat VCL 140, hasil *bond coat* dan *as-received coating*. Pada material substrat menunjukkan pola XRD yang mempunyai tiga puncak difraksi pada  $2\theta = 44,7416^\circ; 65,0810^\circ$

dan  $82,4353^\circ$ , yang mengindikasikan terbentuknya fasa kristalin diantaranya terdapat senyawa paduan  $(Fe_{24}Mn)_{0,08}$  dan  $Mn_3Si$ . Senyawa paduan  $(Fe_{24}Mn)_{0,08}$  atau *ferro manganese* mampu meningkatkan sifat mekanik material dan ketahanan korosi [4]. Sedangkan senyawa paduan  $Mn_3Si$  merupakan senyawa yang memberikan pengaruh sifat magnetik terhadap material VCL 140 [5]. Dengan demikian, dengan adanya kedua senyawa paduan tersebut memberikan keuntungan terutama dalam hal aplikasi pelapisan logam.

Pada pola XRD terhadap spesimen hasil *bond coat* menunjukkan bahwa terdapat 3 puncak difraksi pada  $2\theta = 44,3145^\circ; 44,4449^\circ; 51,6314^\circ; 51,8247^\circ; 76,0573^\circ$  dan  $76,3296^\circ$ , yang mengindikasikan terbentuknya fasa kristalin diantaranya terdapat senyawa paduan Ni dan  $Ni_3(Al_{0,5}Si_{0,5})$ . Dengan adanya Ni, material tersebut mempunyai kekuatan dan ketahanan korosi pada temperatur tinggi [6]. Sedangkan senyawa paduan  $Ni_3(Al_{0,5}Si_{0,5})$  merupakan senyawa paduan hasil reaksi antara unsur Ni dan Al yang membentuk senyawa *nickel aluminide*. Senyawa tersebut mampu meningkatkan kekuatan adhesi antara material substrat dan *coating* [7].

Sedangkan pada Pola XRD material *as-received coating* menunjukkan bahwa adanya puncak difraksi pada  $2\theta = 44,6492^\circ; 64,921^\circ$  dan  $82,3322^\circ$ , yang mengindikasikan adanya senyawa paduan FeCr, dan  $Al_{1,1}Ni_{0,9}$ . Fasa intermetalik Fe-Cr tidak memiliki kekerasan yang cukup tinggi, namun berpengaruh terhadap ketangguhan lapisan *coating*, sehingga tidak mudah terkelupas saat menerima beban kejut [8]. Sedangkan pada hasil XRD *as-received coating* terbentuk senyawa paduan  $Al_{1,1}Ni_{0,9}$ . Hal ini menandakan bahwa senyawa paduan yang terbentuk pada material *bond coat* dan *as-received coating* mengalami proses difusi dan berikatan dengan baik, sehingga meningkatkan kekuatan adhesi antara material *bond coat* dan *as-received coating*.

**C. Pengujian Kekasaran Permukaan**

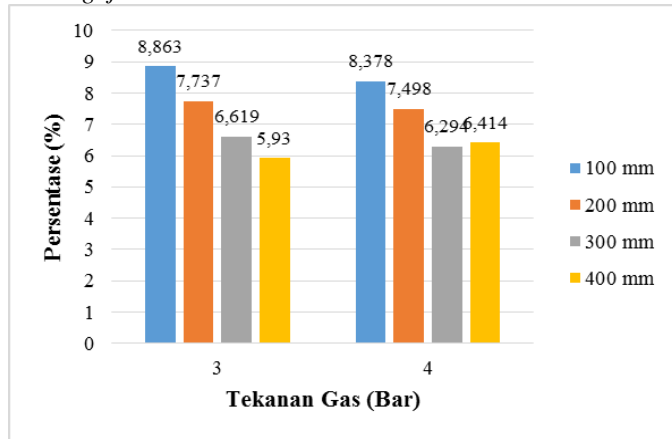


**Gambar 3.** Grafik Kekasaran Permukaan

Gambar 3 menunjukkan kekasaran permukaan pada hasil *coating* dengan jarak *nozzle* 400 mm; 3 bar memiliki nilai kekasaran permukaan paling kecil yaitu  $16,36 \mu m$ . Sedangkan nilai kekasaran permukaan paling besar dimiliki permukaan

hasil *coating* dengan jarak *nozzle* 100 mm dan tekanan gas 3 bar yaitu sebesar 22,19  $\mu\text{m}$ . Dari hasil yang ada dengan meningkatnya tekanan gas pada proses *wire arc spray* menurunkan kekasaran permukaan hasil *coating*. Dengan meningkatnya tekanan gas pada proses *wire arc spray* mempercepat kecepatan *impact* dari lelehan partikelnya yang lebih kecil ke substrat. Sehingga menyebabkan partikel-partikel tersebut melebur secara sempurna dan rongga yang terbentuk antar partikel menjadi sedikit [2].

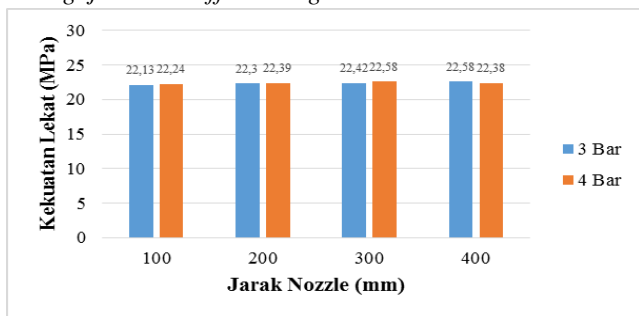
D. Pengujian Porositas



Gambar 4. Grafik Persentase Porositas

Gambar 4 merupakan grafik persentase porositas. Pada gambar tersebut menginformasikan bahwa semakin besar jarak *nozzle* dan tekanan gas yang digunakan mengakibatkan penurunan porositas. Hal ini dikarenakan jarak *nozzle* dan tekanan gas memberikan pengaruh terhadap ukuran *splat*. Semakin besar jarak *nozzle* dan tingginya tekanan gas memperkecil ukuran *splat* [3]. Selain itu dengan meningkatnya tekanan gas yang digunakan mempercepat kecepatan *impact* dari lelehan partikelnya yang lebih kecil ke permukaan substrat. Sehingga menyebabkan partikel-partikel tersebut melebur secara sempurna dan rongga yang terbentuk antar partikel menjadi sedikit [2].

E. Pengujian Pull Off Bonding



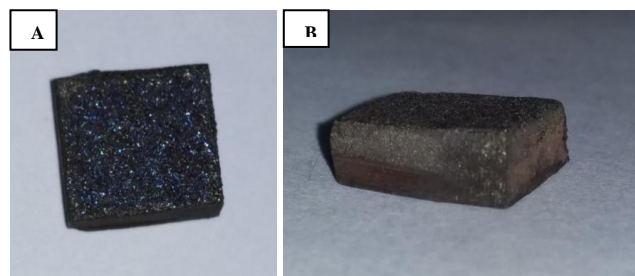
Gambar 5. Grafik Pull Off Bonding

Gambar 5 menunjukkan bahwa spesimen yang memiliki kekuatan lekat tertinggi adalah spesimen dengan variasi 300 mm; 4 bar dan 400 mm; 3 bar yaitu 22,58 MPa dan spesimen

yang memiliki kekuatan terendah yaitu spesimen dengan jarak 100 mm dan tekanan gas 3 sebesar 22,13 MPa.

Dari data tersebut diketahui bahwa pada jarak 100 mm memiliki ukuran ketebalan terbesar pada hasil *coating*, sehingga daya lekatnya pun menurun dibandingkan dengan jarak 200 mm, 300 mm dan 400 mm. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya ketebalan maka menimbulkan tegangan permukaan yang besar antara permukaan substrat dengan hasil *coating* [9]. Selain itu, pada penelitian yang lain dijelaskan bahwa porositas dalam jumlah yang rendah dapat memperbaiki sifat kerapatan *coating* dan menghasilkan ikatan yang baik antara substrat dengan lapisan *coating*. Besarnya tingkat porositas meningkatkan rongga permukaan antara *coating* dengan substrat sehingga menurunkan tingkat kelekatan antara permukaan substrat dengan lapisan *coating* [10].

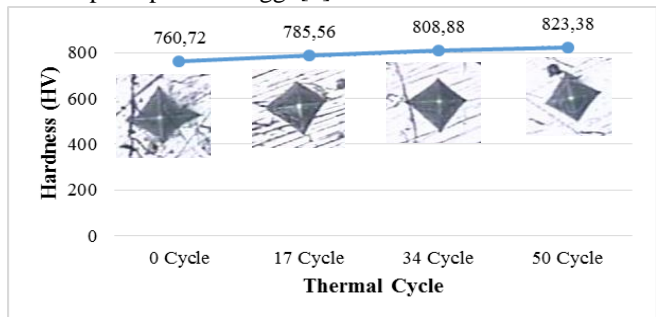
F. Pengujian Thermal Cycle



Gambar 6. Hasil Pengamatan Makro Spesimen Setelah 50 Cycle (a) Tampak Permukaan Hasil Coating (b) Tampak Cross Section

Hasil pengamatan secara visual pada Gambar 6 (a) merupakan spesimen yang mengalami perlakuan 50 cycle menunjukkan bahwa permukaan hasil *coating* mulai berwarna kehitaman, sedikit terkorosi serta penurunan kekasaran. Hal ini disebabkan adanya proses perlakuan *thermal cycle* pada temperatur 600°C serta waktu pendinginan di udara bebas selama 30 menit.

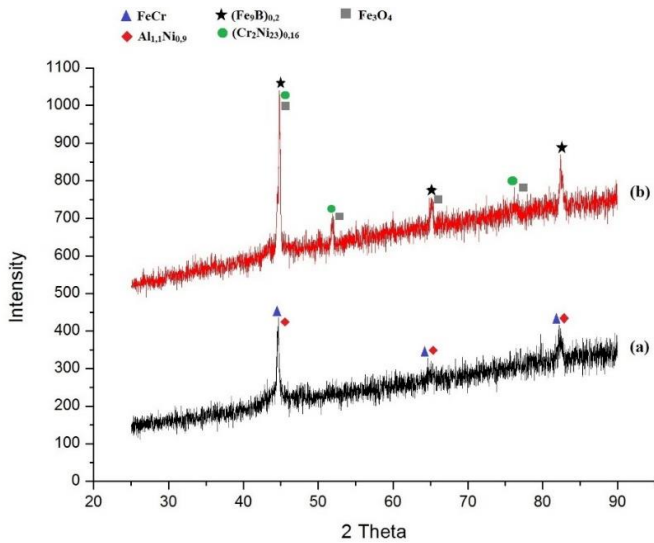
Gambar 9 (b) merupakan bagian *cross section* spesimen terutama bagian substrat menunjukkan bahwa bagian tersebut tidak mengalami pelelehan material maupun keretakan (*crack*) setelah perlakuan *thermal cycle*. Hal ini disebabkan adanya unsur Cr dan Mo yang memberikan pengaruh sifat ketahanan terhadap temperatur tinggi [6].



Gambar 7. Grafik Microhardness Vicker Spesimen Sebelum dan Setelah Thermal Cycle

Dari Gambar 7 terlihat bahwa dengan peningkatan perlakuan *thermal cycle* membuat hasil *coating* meningkat nilai kekerasannya. Hal ini dikarenakan dua hal : (1) Penurunan *tensile residual stress* pada hasil *coating*, dengan *residual*

stress menurun maka hasil *coating* tersebut mampu menahan beban sebesar *tensile residual stress* yang turun ditambah dengan beban yang mampu diterima hasil *coating* tersebut, (2) Proses kristalisasi dari fasa amorfus sehingga terbentuk fasa *fine crystalline* yang seragam (*uniformity of grain size*) [11].

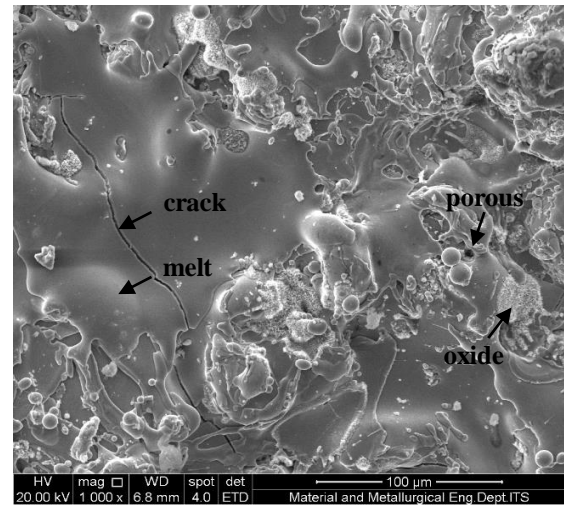


Gambar 8. Hasil XRD Spesimen (a) *As-Received Coating* dan (b) *50 Cycle*

Gambar 8 merupakan perbandingan hasil pengujian XRD terhadap spesimen (a) *as-reeceived coating* dan (b) perlakuan *thermal cycle* dengan jumlah *50 cycle*. Pada profil *single peak* yang paling tajam terhadap kedua spesimeen tersebut mengalami pergeseran posisi *2 theta*, sehingga menyebabkan terbentuknya senyawa baru akibat adanya perlakuan *thermal cycle*. Perubahan posisi *2 theta* menjadi 44,8200°; 51,8565°; 65,1849°; 76,3376° dan 82,3604°. Beberapa senyawa yang teridentifikasi yaitu senyawa paduan (Fe<sub>9</sub>B)<sub>0,2</sub>; (Cr<sub>2</sub>Ni<sub>23</sub>)<sub>0,16</sub> dan senyawa oksida Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Senyawa paduan (Fe<sub>9</sub>B)<sub>0,2</sub> atau *precipitate boride* ini memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekerasan lapisan *coating* seiring dengan meningkatnya jumlah *cycle* yang diujikan [12].

Sedangkan senyawa paduan (Cr<sub>2</sub>Ni<sub>23</sub>)<sub>0,16</sub> atau *chromium nickel* terbentuk akibat adanya perlakuan *thermal cycle* terhadap spesimen. Dimungkinkan terjadinya pengelupasan lapisan *coating* di beberapa area, sehingga senyawa paduan dalam material *bond coat* dan *top coat* berdifusi membentuk senyawa paduan baru yang salah satunya (Cr<sub>2</sub>Ni<sub>23</sub>)<sub>0,16</sub> atau *chromium nickel*.

Senyawa oksida Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terbentuk akibat adanya fenomena *Pilling-Bedworth Ratio* (PBR) yang tinggi, dimana disebabkan oleh perlakuan *thermal cycle* [11]. Senyawa oksida Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> membentuk lapisan tipis atau *thin film* dimana terdapat oksida yang terperangkap di dalam partikel *thin film* tersebut.



Keterangan	Fe (%)	Cr (%)	Mn (%)	Si (%)	O (%)
(a) Melt	68,9	26,77	0,43	1,38	2,53
(b) Oxide	37,17	41,34	2,03	-	19,46

Gambar 9. Hasil Pengujian SEM/EDS Setelah *50 Cycle* dengan Kondisi (a) Daerah *Melt* dan (b) Daerah *Oxide*

Gambar 9 merupakan hasil pengujian SEM/EDS dengan perbesaran 1000x terhadap morfologi permukaan hasil *coating* setelah perlakuan *thermal cycle* pada *50 cycle*. Dari hasil tersebut menunjukkan jumlah partikel-partikel yang meleleh lebih banyak bila dibandingkan dengan sebelum perlakuan. Sedangkan partikel-partikel yang tidak meleleh jauh berkurang. Tetapi pada morfologi permukaan muncul retak halus (*soft crack*) membentuk jalur yang cukup panjang.

Dari hasil EDS menunjukkan bahwa pada daerah yang meleleh (*melt*) secara sempurna mempunyai komposisi yang sama dengan sampel sebelum perlakuan. Tetapi komposisi masing-masing unsur tersebut mengalami perubahan. Sedangkan pada daerah yang teroksidasi (*oxide*) mempunyai kandungan oksida yang cukup tinggi sekitar 19%. Terbukti dengan hasil pengujian XRD teridentifikasi senyawa oksida yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Senyawa oksida tersebut terbentuk akibat adanya fenomena *Pilling Bedworth Ratio* (PBR) yang tinggi [11]. Secara morfologi dimungkinkan senyawa oksida Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> membentuk lapisan tipis atau *thin film* dimana terdapat oksida yang terjebak di dalam partikel *thin film* tersebut. Dengan adanya oksida yang terperangkap, mampu menghasilkan tegangan dalam atau *internal stress* dan diikuti dengan adanya pertumbuhan *crack* serta *delamination*. *Crack* dan *delamination* memberikan ruang terhadap oksigen untuk berpenetrasi ke dalam lapisan *coating* [11].

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada variasi jarak *nozzle* sebesar 400 mm dan tekanan gas sebesar 3 bar menghasilkan nilai kekuatan lekat terbesar 22,58 MPa dengan persentase porositas 5,93% dan tingkat kekasaran permukaan 16,36  $\mu\text{m}$ .
2. Kondisi spesimen setelah perlakuan *thermal cycle* ke-50 tidak mengalami penurunan massa yang signifikan. Penurunan massa disebabkan oleh penurunan kekasaran partikel *coating* tetapi material substrat tidak mengalami pelelehan.
3. Perlakuan *thermal cycle* hingga *cycle* ke-50 berpengaruh terhadap peningkatan kekasaran permukaan hasil *coating*. Hal ini dikarenakan terdapat senyawa baru yang terbentuk yaitu  $(\text{Fe}_9\text{B})_{0,2}$  atau *precipitate boride*.
4. Kondisi permukaan hasil *coating* setelah perlakuan *thermal cycle* ke-50 terdapat perambatan retak dan delaminasi akibat senyawa oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sarikaya, Ozkan. 2005. *Effect of the Substrate Temperature SS304L On Properties of Plasma Sprayed  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Coatings*. Materials and Design 26, 53-57.
- [2] Wang, X., Heberlein, J., Pfender, E., Gerberich, W., *Effect of Nozzle Configuration, Gas Pressure, and Gas Type on Coating Properties in Wire Arc Spray*, JTTEE5 8:565-575 (1999).
- [3] Daengmool, Reungruthai, Sitichai Wirijanupathum, Sukanda J., Apicat Sopadang. *Effect of Spray Parameter on Stainless Steel Arc Sprayed Coating*. MP03 (2006).
- [4] Dybkov. 2016. *Basic of Formation of Iron Boride Coatings*. Department of Physical Chemistry of Inorganic Materials, Institute of Problems of Materials Science, National Academy of Sciences of Ukraine : Ukraine.
- [5] Kaufmann, E.N. 2003. *Characterization Of Materials: Volumes 1 and 2*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- [6] Suherman, Wahid. 1999. *Ilmu Logam 2*. Surabaya : ITS Press.
- [7] Chaitanya. 2007. *Processing and Characterization of Nickel-Aluminide Coating On Metal Substrates*. Master of Technology In Mechanical Engineering Thesis. National Institute of Technology, Roukela.
- [8] Yuping Wu, Pinghua, Lin. Guozhie Xie. 2006. *Formation of Amorphous and Nanocrystalline Phase in High VelocityOxy-Fuel Thermally Sprayed a Fe-Cr-B-Mn-Si Alloy*. Materials Science Engineering. A 430 34-39.
- [9] Antunes, Jose Fernando, Brito, Vinisius Ribeiro dos Santos de Sa, Bastos, Ivan Napoleao, Costa, Hector Reynaldo Meneses. 2013. *Characterization of FeCr and FeCoCr alloy Coatings of Carbon Steels for Marine Environment Applications*. Applied Adhesion Science 2013 1:3.
- [10] Fernando , Jose Antunes. 2013. *Characterization of FeCr and FeCoCr alloy coatings of carbon steels for marine environment applications*. Adhesion Science, 1:3.
- [11] Ran, Li. 2013. *Microstructure and High-Temperature Oxidation Behavior of Wire-Arc Sprayed Fe Based Coating*. Beijing University of Technology. Beijing. China.
- [12] Zheng, Z.B, Zheng, Y.G, Sun, W.H. 2015. *Effect of Heat Treatment On The Structure, Cavitation Erosion and Erosion Corrosion Behaviour of Fe-Based Amorphous Coating*. Tribology International Author's Manuscript.