

## PENGARUH JARAK NOZZLE PADA PROSES COATING FeCrBMnSi DENGAN METODE WIRE ARC SPRAY TERHADAP KETAHANAN THERMAL

Suswanto\*, Muhammad Suchaimi, Hariyati Purwaningsih\*, Rochman Rochiem,  
Budi Agung Kurniawan

Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

\*Email: suswanto.dsm@gmail.com & purwaningsihhariyati@gmail.com

### Abstrak

Turbin uap adalah alat yang sering digunakan di bidang industri maupun sebagai pembangkit listrik. Turbin uap bekerja pada temperatur tinggi sehingga kerusakan yang terjadi biasanya disebabkan oleh korosi temperatur tinggi (KTT) atau hot corrosion. LTHC (Low temperature Hot Corrosion) adalah salah satu jenis KTT yang terjadi pada temperatur 700-800°C. Korosi jenis ini terjadi pada sudu-sudu turbin uap yang menyebabkan material pada turbin mengalami kerusakan dan penurunan fungsi. Salah satu metode yang digunakan untuk melindungi material pada sudu-sudu turbin adalah proses coating dengan metode wire arc spray. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jarak nozzle pada proses coating FeCrBMnSi dengan metode wire arc spray terhadap ketahanan thermal. Penelitian ini diawali dengan proses preparasi spesimen yang kemudian dilakukan proses pengujian yaitu SEM, XRD, dan thermal cycle. Dari hasil penelitian ini, didapatkan hasil terbaik yaitu pada jarak 400 mm dan yang mempunyai kekuatan lekat sebesar 22,58 MPa. Dari pengujian thermal cycle didapatkan senyawa precipitate boride ( $Fe_3B$ )<sub>0,2</sub> yang mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan permukaan. Selain itu pada permukaan coating terbentuk senyawa oksida berupa  $Fe_3O_4$  yang mengakibatkan perambatan retak.

**Kata kunci:** coating, FeCrBMnSi, jarak nozzle, ketahanan thermal, wire arc spray

## 1. PENDAHULUAN

Turbin uap merupakan suatu penggerak yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, atau untuk pembangkit tenaga listrik. 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. 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*.

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 salah satunya dengan cara memberi lapisan pelindung.

Pelapisan permukaan logam adalah suatu cara yang dilakukan untuk memberikan sifat ketahanan *thermal* dan *hot corrosion* pada suatu permukaan benda kerja. Salah satu metode pelapisan permukaan logam yaitu metode *arc spray*. Metode ini merupakan salah satu jenis dari *thermal spray*. Dalam *arc spray coating* tekanan gas sangat berpengaruh terhadap kualitas dari hasil *coating*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jarak *nozzle* pada proses *coating* FeCrBMnSi dengan metode *wire arc spray* terhadap ketahanan *thermal*.

## 2. METODOLOGI

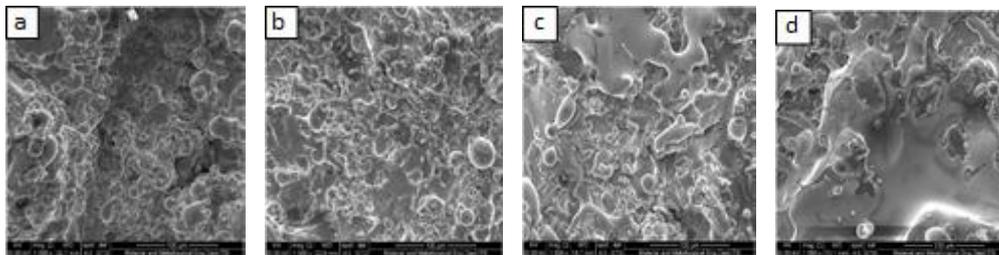
Spesimen dipotong sesuai dengan dimensi yang ditentukan sebanyak 8 buah. Dilakukan proses *abrasive grit blasting*. Bertujuan agar permukaan spesimen menjadi kasar dan meningkatkan ikatan mekanik antara material substrat dengan pelapisnya. Selanjutnya melakukan *spraying bond coat* NiAl dengan tekanan 4 bar dan jarak *nozzle* 200 mm. Selanjutnya melakukan *spraying* 95 MXC

wire dengan sudut  $90^\circ$ , dengan variasi jarak (variasi jarak yang digunakan adalah 100 mm, 200 mm, 300 mm dan 400 mm). Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menggunakan mesin merek FEI Inspect S-50. Bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ketebalan lapisan dari penampang substrat VCL 140. *X-Ray Diffraction* 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*. 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. Pengujian *thermal cycle* menggunakan mesin *muffle furnace*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui daya lekat *coating* terhadap substratnya. Nilai dari kelekatan akan ditunjukkan dari alat dalam satuan MPa. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan fasa pada lapisan *coating*. Pengujian ini menggunakan mesin *microhardness vickers* digital.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian SEM

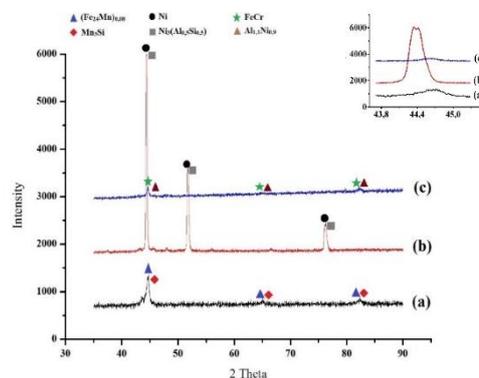
Pengamatan terhadap morfologi permukaan hasil *coating* FeCrBMnSi dilakukan dengan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) perbesaran perbesaran 1000x.



**Gambar 1.** Permukaan Spesimen *Coating* Perbesaran 1000x dengan Variasi jarak (a) 100 mm (b) 200 mm (c) 300 mm (d) 400 mm pada tekanan 3 bar.

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 (Sarikaya, 2005).

#### 3.2 Pengujian XRD



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

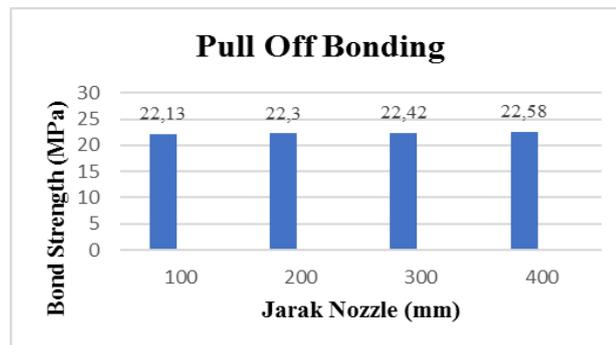
Gambar 2 merupakan hasil pengujian XRD terhadap spesimen substrat VCL 140, hasil *bond coat* dan *as-received coating*. Pada material substrat menunjukkan pola XRD yang mempunyai tiga

puncak difraksi pada  $2\theta = 44,7416^\circ$ ;  $65,0810^\circ$  dan  $82,4353^\circ$ , yang mengindikasikan terbentuknya fasa kristalin diantaranya terdapat senyawa paduan  $(\text{Fe}_{24}\text{Mn})_{0,08}$  dan  $\text{Mn}_3\text{Si}$ . Senyawa paduan  $(\text{Fe}_{24}\text{Mn})_{0,08}$  atau *ferro manganese* mampu meningkatkan sifat mekanik material dan ketahanan korosi (Dybkov, 2016). Sedangkan senyawa paduan  $\text{Mn}_3\text{Si}$  merupakan senyawa yang memberikan pengaruh sifat magnetik terhadap material VCL 140 (Kaufmann, 2003). 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  $\text{Ni}_3(\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{0,5})$ . Dengan adanya Ni, material tersebut mempunyai kekuatan dan ketahanan korosi pada temperatur tinggi (Suherman, 1999). Sedangkan senyawa paduan  $\text{Ni}_3(\text{Al}_{0,5}\text{Si}_{0,5})$  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* (Chaitanya, 2007).

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  $\text{Al}_{1,1}\text{Ni}_{0,9}$ . Fasa intermetalik Fe-Cr tidak memiliki kekerasan yang cukup tinggi, namun berpengaruh terhadap ketangguhan lapisan *coating*, sehingga tidak mudah terkelupas saat menerima beban kejut (Yuping Wu dkk., 2006). Sedangkan pada hasil XRD *as-received coating* terbentuk senyawa paduan  $\text{Al}_{1,1}\text{Ni}_{0,9}$ . 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*.

### 3.3 Pengujian Pull Off Bonding

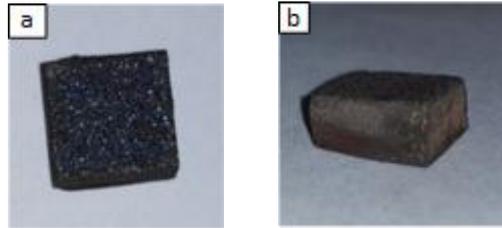


**Gambar 3. Grafik Pull Off Bonding**

Gambar 3 menunjukkan bahwa spesimen yang memiliki kekuatan lekat tertinggi adalah spesimen dengan variasi jarak 400 mm yaitu 22,58 MPa dan spesimen yang memiliki kekuatan terendah yaitu spesimen dengan jarak 100 mm 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* (Antunes dkk., 2013).

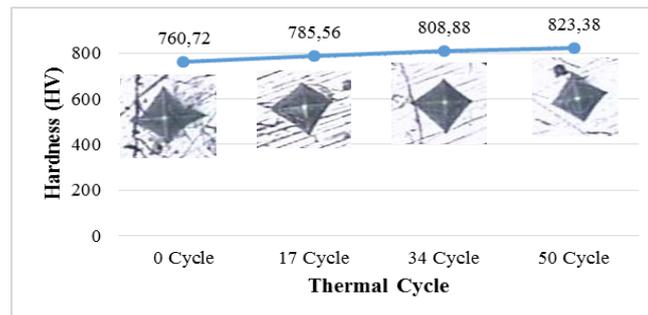
### 3.4 Pengujian *Thermal Cycle*



**Gambar 4. Hasil Pengamatan Makro Spesimen Setelah 50 Cycle (a) Tampak Permukaan Hasil *Coating* (b) Tampak *Cross Section***

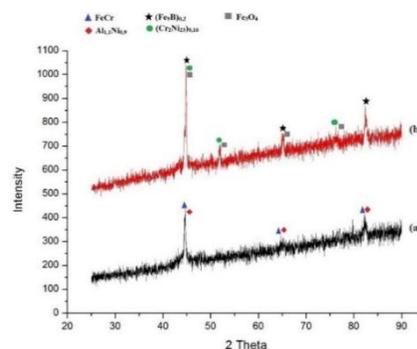
Hasil pengamatan secara visual pada Gambar 4 (a) merupakan spesimen yang mengalami perlakuan 50 *cycle* menunjukkan bahwa permukaan hasil *coating* mulai berwarna kehitaman, sedikit terkorosi serta penurunan kekasaran. Hal ini disebabkan adanya proses perlakuan *thermal cycle* pada temperatur 600°C serta waktu pendinginan di udara bebas selama 30 menit.

Gambar 4 (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 (Suherman, 1999).



**Gambar 5. Grafik *Microhardness Vicker* Spesimen Sebelum dan Setelah *Thermal Cycle***

Dari Gambar 5 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*) (Ran, 2013).



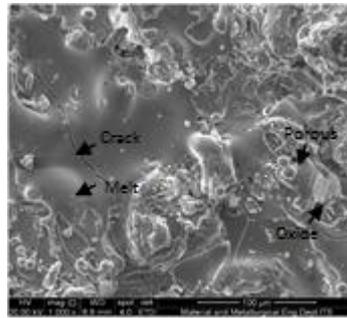
**Gambar 6. Hasil XRD Spesimen (a) *As-Received Coating* dan (b) 50 Cycle**

Gambar 6 merupakan perbandingan hasil pengujian XRD terhadap spesimen (a) *as-received*

*coating* dan (b) perlakuan *thermal cycle* dengan jumlah 50 *cycle*. Pada profil *single peak* yang paling tajam terhadap kedua spesimen 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  $(\text{Fe}_9\text{B})_{0,2}$ ;  $(\text{Cr}_2\text{Ni}_{23})_{0,16}$  dan senyawa oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Senyawa paduan  $(\text{Fe}_9\text{B})_{0,2}$  atau *precipitate boride* ini memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekerasan lapisan *coating* seiring dengan meningkatnya jumlah *cycle* yang diujikan (Zheng, 2015).

Sedangkan senyawa paduan  $(\text{Cr}_2\text{Ni}_{23})_{0,16}$  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  $(\text{Cr}_2\text{Ni}_{23})_{0,16}$  atau *chromium nickel*.

Senyawa oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terbentuk akibat adanya fenomena *Pilling-Bedworth Ratio* (PBR) yang tinggi, dimana disebabkan oleh perlakuan *thermal cycle* (Ran, 2013). Senyawa oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  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 7. Hasil Pengujian SEM/EDS Setelah 50 Cycle dengan Kondisi (a) Daerah Melt dan (b) Daerah Oxide**

Gambar 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  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Senyawa oksida tersebut terbentuk akibat adanya fenomena *Pilling Bedworth Ratio* (PBR) yang tinggi (Ran, 2013). Secara morfologi dimungkinkan senyawa oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  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* (Ran, 2013).

#### 4. KESIMPULAN

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

1. Pada variasi jarak *nozzle* sebesar 400 mm menghasilkan nilai kekuatan lekat terbesar 22,58 MPa.

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 akibat senyawa oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Chaitanya. (2007). *Processing and Characterization of Nickel-Aluminide Coating On Metal Substrates*. Master of Technology In Mechanical Engineering Thesis. National Institute of Technology, Roukela.
- 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.
- Kaufmann, E.N. (2003). *Characterization Of Materials: Volumes 1 and 2*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Ran, Li. (2013). *Microstructure and High-Temperature Oxidation Behavior of Wire-Arc Sprayed Fe Based Coating*. Beijing University of Technology. Beijing, China.
- 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.
- Suherman, Wahid. (1999). *Ilmu Logam 2*. Surabaya: ITS Press.
- 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.
- 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.