



PENGARUH SUBSTRAT TERHADAP KEKERASAN LAPISAN NiCoCrAlY YANG TERDEPOSISI DENGAN TEKNIK HVOF

Resetiana D. D^{a*}, Eni Sugiarti^a, Endro Junianto^b, Erie Martides^b, Budi Prawara^b

^aPusat Penelitian Fisika, LIPI

Kompleks Puspiptek Gedung 440-442, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia 15314

^bPusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, LIPI

Jl. Sangkuriang, Komplek LIPI Gedung 20. Bandung, Jawa Barat, Indonesia 40135

*E-mail: rese001@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 27-08-2017, revisi tanggal : 07-09-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 30-09-2017

Intisari

Telah dilakukan karakterisasi strukturmikro dan kekerasan mikro pada lapisan NiCoCrAlY yang dideposisikan di atas substrat yang berbeda yaitu baja karbon, nikel krom dan hastelloy. Lapisan NiCoCrAlY dideposisikan menggunakan teknik penyemprotan HVOF (*high velocity oxy fuel*). Proses karakterisasi dan pengukuran dilakukan pada seluruh lapisan dengan irisan melintang. Karakterisasi strukturmikro diamati dengan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 40x. Selanjutnya untuk pengukuran kekerasan menggunakan kekerasan mikro dengan beban 300 gf selama 13 detik. Data pengujian kekerasan diperoleh dengan mengukur nilai rata-rata dari 3 posisi uji kekerasan pada masing-masing bagian substrat sebelum dilapisi, setelah dilapisi dan lapisan NiCoCrAlY. Berdasarkan hasil karakterisasi strukturmikro diketahui bahwa lapisan NiCoCrAlY berhasil terdeposisi dengan ketebalan 370,76 μm , 92 μm , dan 115,73 μm masing-masing di atas substrat baja karbon, nikel krom dan hastelloy. Morfologi permukaan lapisan menunjukkan bahwa lapisan yang terdeposisi tidak begitu rata dan masih tampak adanya pori atau lubang di area lapisan NiCoCrAlY yang terbentuk. Porositas dari lapisan sangat berpengaruh pada sifat mekanik, semakin tinggi persentase porositas lapisan maka kekerasan akan menurun. Nilai kekerasan lapisan NiCoCrAlY pada substrat baja karbon adalah sebesar 349,95 HV, nikel krom sebesar 315,60 HV dan hastelloy sebesar 311,30 HV. Jarak dengan *interface* mempengaruhi pengukuran kekerasan. Semakin dekat dengan *interface* akan semakin menurun nilai kekerasaannya. Hal ini dipengaruhi oleh daerah interdifusi elemen pelapis sehingga mempengaruhi kekuatan mekaniknya.

Kata Kunci: *Strukturmikro, kekerasan mikro, lapisan NiCoCrAlY, HVOF*

Abstract

Micro structure and micro hardness characterizations have been done on NiCoCrAl coating deposited on different substrate, i.e., carbon steel, nickel chrome and hastelloy. NiCoCrAlY coating was deposited by high velocity oxy fuel (HVOF) thermal spraying technique. Characterization and measurements were applied on all cross section of the coating surfaces. Micro structural analysis was characterized by optical microscope with 40x magnification. Moreover, micro hardness tester was utilized to measure the hardness of the sample with 300 gf for 13 second. The hardness data was measured by calculating the average of 3 position of hardness measurement on substrate before coating, after coating and NiCoCrAl coating layer. According to micro structural analysis, it revealed that the thickness of NiCoCrAlY coating layer was about 370.76 μm , 92 μm , dan 115.73 on carbon steel, nickel chrome and hastelloy substrate, respectively. Surface morphology showed that the coated layer was not flat and porous structure or void on the coated layer. The porosity of the coated layer might effect the mechanical properties of the sample where high procentase of porosity might reduce the hardness of the sample. The hardness of NiCoCrAlY coating was about 349.95, 315.60 and 311.30 HV for carbon steel, nickel chrome and hastelloy substrate, respectively. The distance from interface between coating layer and substrate might effect hardness measurement. More closer to interface could decrease hardness value and it might caused by interdiffusion of coating elements. Thus would be effect to its mechanical properties.

Keywords: *Microstructure, micro hardness, NiCoCrAlY coating, HVOF*

1. PENDAHULUAN

Lapisan NiCoCrAlY merupakan lapisan logam pengikat (*bondcoat*) dari sistem lapisan perintang termal (*thermal barrier coating*, TBC) yang umumnya digunakan untuk memproteksi komponen yang terbuat dari superalloy pada mesin turbin saat diaplikasikan pada suhu tinggi. Berbagai metode pelapisan yang dapat digunakan untuk mendeposisikan material NiCoCrAlY diantaranya APS (*air plasma spraying*), LPPS (*low-pressure plasma spraying*), VPS (*vacuum plasma spraying*), EB-PVD (*electron beam physical vapour deposition*), dan HVOF (*high-velocity oxy-fuel spraying*)^[1].

HVOF adalah proses penyemprotan termal yang memanfaatkan tekanan yang tinggi dari pembakaran bahan bakar dan oksigen di ruang pembakaran sehingga menghasilkan kecepatan gas supersonik di atas 800 m/detik dan temperatur sekitar 2800 °C. HVOF telah banyak digunakan untuk menghasilkan lapisan pelindung komponen yang digunakan pada aplikasi suhu tinggi dan lingkungan yang agresif seperti oksidasi, korosi, sulfidasi dan lingkungan yang aus^[2-3], dengan biaya yang relatif rendah dibandingkan dengan teknik yang lainnya seperti halnya EB-PVD^[4]. Pada penelitian ini, teknologi HVOF dipilih untuk mendeposisikan lapisan NiCoCrAlY karena dapat menghasilkan lapisan yang homogen dan padat dengan kekuatan ikatan yang tinggi (*high bond strength*) dan porositas yang rendah serta menghasilkan produk oksidasi yang akan melindungi substrat^[5].

Dua hal yang menjadi isu dan sangat penting untuk lapisan logam pengikat NiCoCrAlY adalah sifat termal yang berkaitan dengan performa oksidasi/korosi dan stabilitas mikrostruktur, dan sifat mekanik yang berkaitan dengan kekerasan, kelenturan, keuletan, dan sebagainya. Pengujian sifat termal dan mekanik ini sangat penting untuk mengevaluasi performa dan umur pakai lapisannya. F. Raletz, et. al^[6] telah melakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana pengaruh jenis *powder* lapisan dan kecepatan penembakan terhadap nilai kekerasan lapisan yang terbentuk untuk material pelapis berbasis nikel. Tetapi hasil yang dipaparkan belum menjelaskan bagaimana tingkat kekerasan lapisan NiCoCrAlY yang dideposisikan di substrat yang berbeda.

Substrat yang berbeda memiliki karakteristik yang berbeda pula dimana baja karbon rendah dengan komposisi karbon kurang dari 0,3% memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi

dibandingkan dengan baja tanpa kandungan karbon^[7-8]. Nikel krom adalah perpaduan antara nikel dan krom yang memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap oksidasi dan korosi suhu tinggi serta ketahanan aus yang baik^[9], sedangkan hastelloy C-276 adalah paduan nikel-molibdenum-kromium yang dirancang untuk memiliki ketahanan korosi yang sangat baik untuk diterapkan di lingkungan yang ekstrim^[10-11].

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kekerasan menggunakan kekerasan mikro untuk mengetahui sifat mekanik dari lapisan NiCoCrAlY. Disamping itu pula akan dilakukan pembahasan secara komprehensif untuk mengetahui pengaruh kekerasan lapisan NiCoCrAlY yang terdeplesi pada substrat yang berbeda yaitu baja karbon sebagai material berbasis besi, nikel krom dan hastelloy sebagai material berbasis nikel yang sering dikenal dengan *superalloy*.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

NiCoCrAlY terdeplesi di atas substrat baja karbon, nikel krom dan hastelloy dengan teknik penyemprotan HVOF. Pengujian kekerasan pada sampel lapisan dilakukan dengan kondisi sampel tampak irisan melintang (*cross section*). Oleh karena itu, sampel harus diresin dan dipotong menjadi 2 bagian sehingga kondisi lapisan sampelnya terlihat dengan jelas. Untuk mendapatkan permukaan sampel yang halus dan rata, maka permukaan sampel diampelas dengan menggunakan kertas amplas berukuran #100, #400, #800, #1200, #1500, #3000 dan dilanjutkan menggunakan suspensi alumina berukuran 1 µm dan 0,5 µm hingga memperoleh permukaan yang sangat halus. Strukturmikro sampel lapisan tampak irisan melintang diamati menggunakan mikroskop optik merk BestScope dengan kamera Paxcam perbesaran 40 x dan untuk visualisasi gambarnya didapatkan dari perangkat lunak Pax-It yang terkoneksi dengan mikroskop optik tersebut.

Setelah memahami strukturmikro lapisan maka pengujian kekerasan dapat dilakukan. Pengujian dilakukan pada bagian substrat dan lapisan NiCoCrAlY untuk ketiga sampel dengan substrat yang berbeda. Kekerasan mikro yang digunakan adalah peralatan buatan LECO Corp., USA tipe LM 100AT, seri FMX 2635. Beban 300 gf digunakan selama pengujian kekerasan dengan waktu selama 13 detik. Data pengujian kekerasan diperoleh dengan memposisikan sampel tegak lurus terhadap ujung indenter dimana dilakukan 3 posisi uji

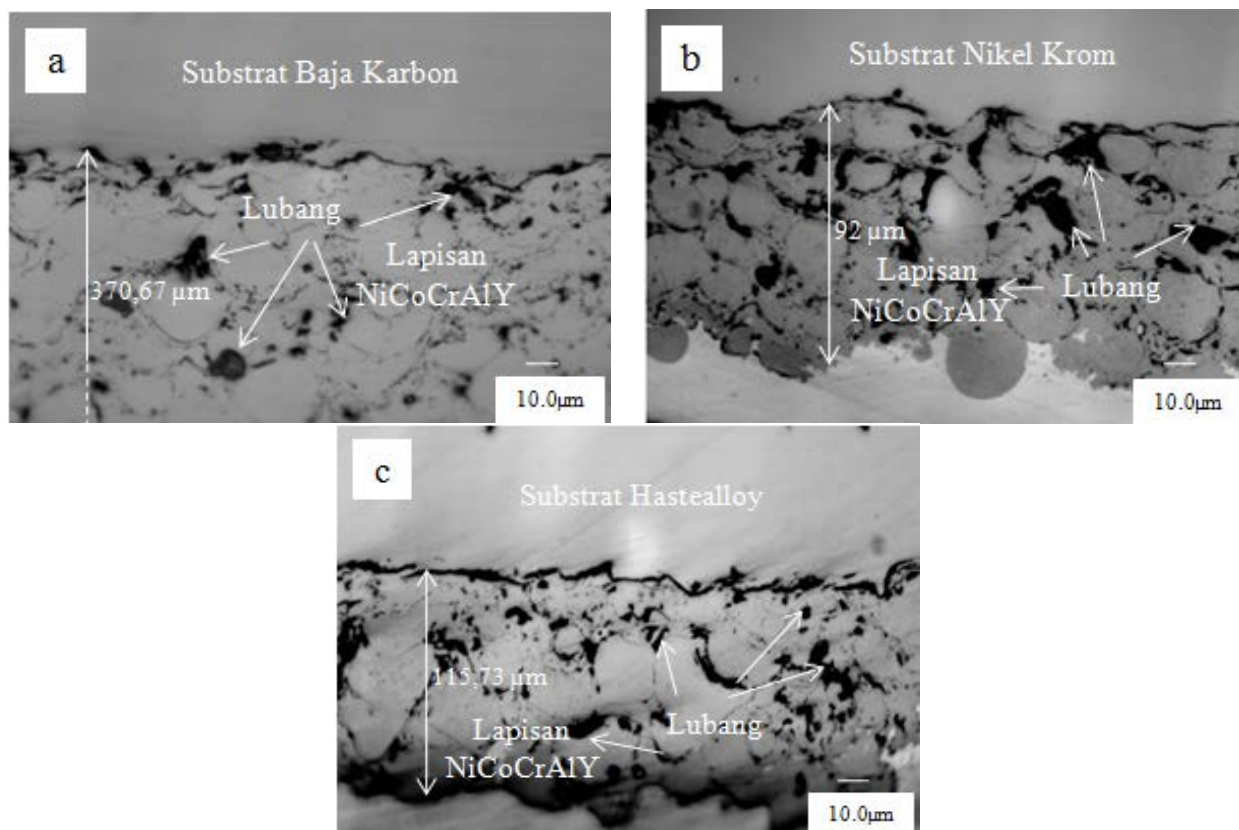
kekerasan pada masing-masing bagian substrat dan lapisan NiCoCrAlY. Besarnya kekerasan yang terukur dapat ditampilkan secara otomatis menggunakan perangkat lunak LECO AMH43 *automatic hardness testing system*. Nilai kekerasan yang dianalisis merupakan nilai rata-rata dari tiga posisi yang diambil tersebut.

3. HASIL DAN DISKUSI

A. Strukturmikro Lapisan NiCoCrAlY

Gambar 1 menunjukkan strukturmikro lapisan NiCoCrAlY pada tiga substrat yang berbeda yaitu baja karbon, nikel krom dan hasteelloy secara irisan melintang. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa ketebalan lapisan NiCoCrAlY yang terdeposisi adalah 370,67 μm , 92 μm , dan 115,73 μm untuk masing-masing substrat baja karbon, nikel krom dan hasteelloy.

Morfologi permukaan lapisan menunjukkan bahwa lapisan yang terdeposisi tidak begitu rata dimana masih tampak bentuk partikel dari material pelapisnya dan kondisi hasil pelapisan ini telah diketahui dan umumnya didapatkan dengan teknik penyemprotan HVOF^[11]. Meskipun teknik penyemprotan HVOF memiliki tingkat densitas yang sangat baik, namun masih tampak adanya pori atau lubang di area lapisan NiCoCrAlY yang terbentuk. Porositas lapisan ini tentu akan mempengaruhi nilai kekerasannya dimana semakin tinggi persentase porositas lapisan maka kekerasannya akan menurun demikian pula sebaliknya lapisan dengan densitas yang semakin tinggi akan memiliki kekerasan yang semakin tinggi pula^[12-14].

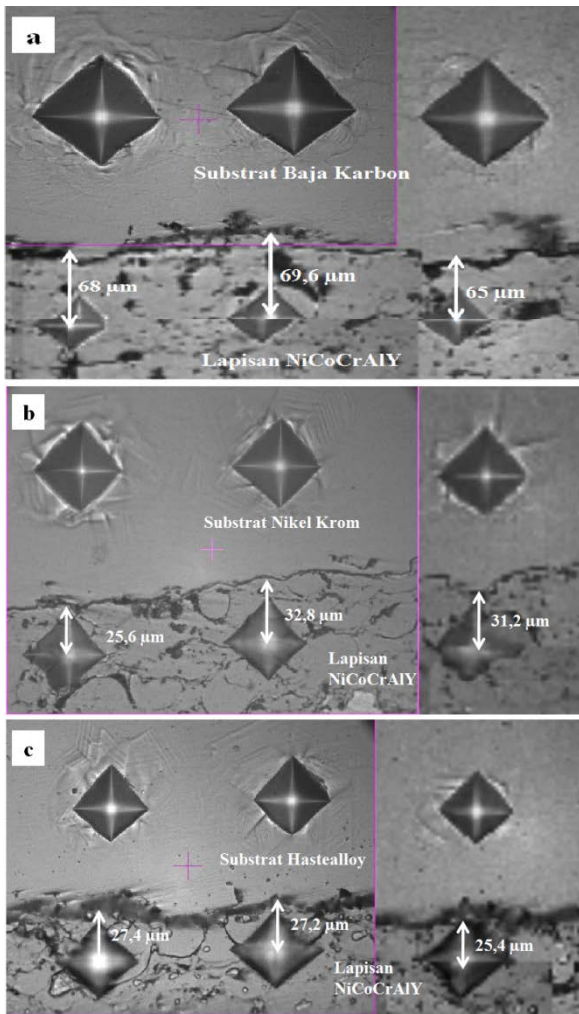


Gambar 1. Strukturmikro lapisan NiCoCrAlY pada substrat; (a) baja karbon, (b) Nikel krom dan (c) Hasteelloy

B. Kekerasan Mikro Lapisan NiCoCrAlY

Gambar 2 menunjukkan morfologi lapisan NiCoCrAl setelah dilakukan pengujian kekerasan secara mikro. Terlihat bahwa pada permukaan lapisan terdapat morfologi berbentuk layang layang akibat dari indentasi kekerasan mikro yang berbentuk piramida intan yang menyebabkan kondisi regangan pada daerah yang terdeformasi.

Nilai rata-rata kekerasan dari ketiga lapisan baik itu nilai kekerasan substrat sebelum dilapisi, setelah dilapisi dan nilai kekerasan lapisan NiCoCrAlY pada substrat ditampilkan pada Tabel 1 dan grafik perubahan nilai kekerasannya ditunjukkan pada Gambar 3.



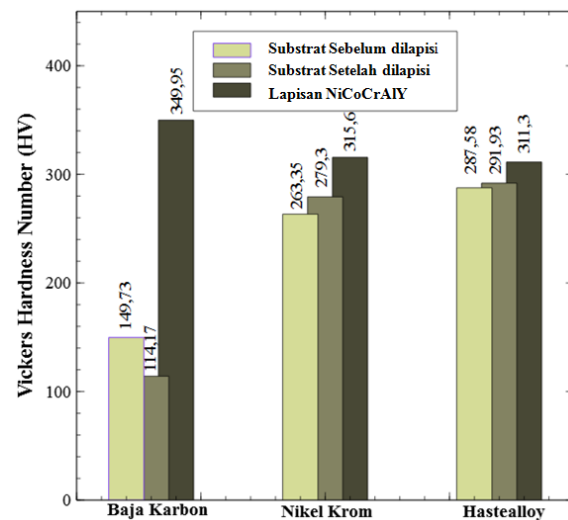
Gambar 2. Morfologi pengujian kekerasan menggunakan kekerasan mikro dengan mengukur hasil indenter yang berbentuk layang-layang dari 3 posisi pengujian yang berbeda

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 1 diketahui bahwa nilai kekerasan pada substrat baja karbon sebelum dilapisi adalah sebesar 149,73 HV dan setelah dilapisi mengalami penurunan yaitu menjadi sebesar 114,17 HV. Hal ini dapat disebabkan karena saat proses penyemprotan HVOF, baja karbon mengalami deformasi yang sangat tinggi. Deformasi plastis berat dan solidifikasi kuat terjadi karena dampak dari kecepatan tinggi saat penyemprotan bahan pelapis terhadap substrat^[15]. Hal ini pula yang dapat menyebabkan lapisan pelapis memiliki lubang dan retak yang tidak bisa dihindari^[16]. Sedangkan nilai kekerasan untuk substrat berbasis nikel yaitu nikel krom dan hastelloy sebelum dan setelah dilapisi memiliki nilai sebesar 250±40 HV. Terjadi peningkatan nilai kekerasan substrat berbasis nikel setelah dilapisi NiCoCrAlY. Hal ini dapat disebabkan karena adanya difusi dari elemen pelapis pada

daerah *interface* yang berkontribusi pada tingginya kekuatan lekatan lapisan^[17].

Tabel 1. Nilai kekerasan (HV) substrat dan lapisan NiCoCrAlY yang terdeposisi pada 3 substrat yang berbeda

Substrat	Substrat sebelum dilapisi	Substrat setelah dilapisi	Lapisan NiCoCrAlY
Baja karbon	149,73	114,17	349,95
Nikel krom	263,35	279,30	315,60
Hastealloy	287,58	291,93	311,30



Gambar 3. Perbedaan nilai kekerasan (HV) yang telah ditunjukkan pada Tabel 1

Sedangkan untuk nilai kekerasan lapisan NiCoCrAlY rata-rata memiliki nilai di atas 300 HV. Nilai kekerasan lapisan NiCoCrAlY pada substrat baja karbon memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 349,95 HV. Hal ini dapat disebabkan karena jarak proses pengambilan indentasi relatif jauh dari daerah *interface* yaitu sekitar 67,53 μm . Sedangkan lapisan NiCoCrAlY pada substrat nikel krom dan hastelloy memiliki nilai kekerasan masing-masing yaitu sekitar 315 dan 311 HV. Hal ini juga dapat disebabkan jarak indentasi lebih dekat dari daerah *interface* yaitu sekitar 29,87 μm untuk substrat nikel krom dan 26,67 μm untuk substrat hastelloy. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah *interface* antara substrat dan lapisan NiCoCrAlY memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah daripada daerah tengah lapisan karena daerah *interface* merupakan daerah terjadinya interdifusi yang dapat menyebabkan nilai kekerasannya menurun. Tabel 2 menunjukkan bagaimana pengaruh jarak indentasi rata-rata dari *interface* untuk besarnya nilai kekerasan dari masing-

masing substrat baja karbon, nikel krom dan hastealloy.

Tabel 2. Pengaruh jarak pengambilan indentasi lapisan NiCoCrAlY dari substrat terhadap nilai kekerasan

Substrat	Jarak	Nilai kekerasan
Baja karbon	67,53 μm	349,95 HV
Nikel krom	29,87 μm	315,60 HV
Hastealloy	26,67 μm	311,30 HV

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi strukturmikro dan pengukuran kekerasan dari sampel lapisan NiCoCrAlY pada ketiga substrat yang berbeda diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Baja karbon : ketebalan lapisan 370,67 μm , memiliki banyak lubang, jarak pengambilan indentasi dari *interface* yaitu 6,53 μm dengan nilai kekerasan pada lapisan NiCoCrAlY sebesar 349,95 HV.
- b. Nikel krom : ketebalan lapisan 92 μm , memiliki banyak lubang, jarak pengambilan indentasi dari *interface* yaitu 29,87 μm dengan nilai kekerasan pada lapisan NiCoCrAlY sebesar 315,60 HV.
- c. Hastealloy : ketebalan lapisan 115,73 μm , memiliki banyak lubang, jarak pengambilan indentasi dari *interface* yaitu 26,67 μm dengan nilai kekerasan pada lapisan NiCoCrAlY sebesar 311,30 HV.

Jarak pengambilan indentasi, deformasi plastis dan porositas dari lapisan sangat berpengaruh pada sifat mekanik lapisan NiCoCrAlY. Nilai kekerasan lapisan NiCoCrAlY pada daerah *interface* cenderung lebih rendah karena lapisan NiCoCrAlY terdeposisi dengan substrat yang mana difusi nilai kekerasannya menurun pada lapisan itu sendiri. Hal lain yang mempengaruhi nilai kekerasannya yaitu semakin tinggi persentase porositas lapisan maka kekerasan akan menurun.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didukung dan dibiayai dari beberapa program penelitian antara lain kegiatan unggulan LIPI sub program Pengembangan Material dan Rekayasa Manufaktur (PMRM), Insetif INSINAS Riset Pratama Individu (IRPI) dan STRG ITSF Toray yang mendukung terlaksananya penelitian dan penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Bose, J. DeMasi-Marcin, "Thermal barrier coating experience in gas turbine engines at Pratt & Whitney", *J. Therm. Spray. Technol.*, vol. 6, pp 99-104, 1997.
- [2] I. Gurrappa and A. Sambasiva Rao, "Thermal Barrier Coatings for Enhanced Efficiency of Gas Turbine Engines", *Surf. Coat. Technol.*, 201(6), p 3016-3029, 2006.
- [3] J.R. Nicholls, N.J. Simms, W.Y. Chan, and H.E. Evans, "Smart Overlay Coatings—Concept and Practice", *Surf. Coat. Technol.*, 149(2–3), p 236-244, 2002.
- [4] B. Baufeld and M. Schmqcke, "Microstructural Evolution of a NiCoCrAlY Coating on an IN100 Substrate", *Surf. Coat. Technol.*, 199(1), p 49-56, 2005.
- [5] C. Leyens, U. Schulz, B.A. Pint, and I.G. Wright, "Influence of Electron Beam Physical Vapor Deposited Thermal Barrier Coating Microstructure on Thermal Barrier Coating System Performance under Cyclic Oxidation Conditions", *Surf. Coat. Technol.*, 120-121, p 6, 1999.
- [6] F. Raletz, G.Ezo'o, L. Longwy, M. Vardelle, SPCTS Limoges, M. Ducos, Mornas, "Characterization of Cold Sprayed Nickel-Base Coatings", *Thermal Spray: Advances in Technology and Applications (ASM International)*, vol. 6, pp. 323 – 328, 2004.
- [7] J. K. Odusote, T. K. Ajiboye, A. B. Rabi, "Evaluation of Mechanical properties of medium carbon steel quenched in water and oil", *J. Miner. Mater. Character. Eng.*, vol. 11, pp 859-862, 2012.
- [8] J. Birn, M. Janik-Czachor, A. Wolowik, A. Szummer, "Corrosion behavior of high nickel and chromium alloys in natural baltic seawater", *J. Corr.*, vol. 55 (10), pp 977-983, 1999.
- [9] Haynes International, "Hastealloy C-276", [online]. Available: <http://mail.haynesintl.com/C276HastelloyAlloy.htm>
- [10] G. Maa, F. Niu, D. Wu, Y. Qu "Electrochemistry corrosion properties of pulsed laser welding Hastelloy C-276", *Physics Procedia*, vol. 41, pp.31 – 37, 2013.

- [11] K. Fritscher, C. Leyens, U. Schulz, "Investigation of an as-sprayed NiCoCrAlY overlay coating: A thermoanalytical approach DLR", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 369, pp. 144–15, 2004.
- [12] A.K. Ray, N. Roy, A. Kar, A. K. Ray, S. C. Bose, G. Das, J. K.Sahu, D. K. Das, B. Venkataraman, S. V. Joshi, "Mechanical property and characterization of a NiCoCrAlY type metallic bondcoat used in turbine blade", *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 505, pp. 96–104, 2009.
- [13] C.J. Li, Y.Y. Wang, "Effect of particle state on the adhesive strength of HVOF sprayed metallic coating", *J. Therm. Spray. Technol.*, vol. 11(4), pp. 523- 529, 2002.
- [14] E. Riyanto, B. Prawara, "Mikrostruktur dan karakterisasi sifat mekanik lapisan Cr_3C_2 -NiAl- Al_2O_3 hasil deposisi dengan menggunakan HVOF thermal spray coating", *Journal of Mechatronics, Electrical Power and Vehicular Technology*, vol. 01(1), pp 1-4, 2010.
- [15] N.A.Ahmad, Z. Kamdi, Z. Mohamad, A. S. Omar, N. Abdul Latif, A. L. Mohd Tobi," Characterization of WC-10Ni HVOF Coating for Carbon Steel Blade"*Materials Science and Engineering*, vol. 165 , 012022, 2017.
- [16] J.G. La Barbera-Sosa, Y.Y. Santana, M.H. Staia, D. Chicot, J. Lesage, J.Caro, G.Mesmacque, E.S. Puchi-Cabrera, "Microstructural and mechanical characterization of Ni- base thermal spray coatings deposited by HVOF", *Surface & Coatings Technology*, 202, pp 4552-4559, 2008.
- [17] Bondan T. Sofyan, Marizki Stefano, Haposan J. Pardede, Edi Sofyan, "Pengaruh Kekasaran Permukaan terhadap Kekuatan Lekat dan Strukturmikro Lapisan WC-Co hasil HVOF Thermal Spray" *Jurnal Teknologi, ISSN 0215 – 1685*, vol. 4 Tahun XVIII, pp. 291-297, 2004.