

# PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN DAN KECEPATAN PENGADUKAN TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN NIRELEKTRIK Ni-P PADA BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK

## *THE EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS AND STIRRING SPEED ON THE COATING CHARACTERISTICS OF MARTENSITIC ELECTROLESS Ni-P*

Rafi Dwi R<sup>1</sup>, Arini Nikitasari<sup>2,\*</sup>, Sunardi<sup>1</sup>, dan Efendi Mabruri<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jalan Jenderal Sudirman Km 3, Cilegon, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang, Banten, Indonesia

\*E-mail: arini\_nikitasari@yahoo.com

---

### ARTICLE INFO

#### Article history

Received date:

21 February 2017

Received in revised form date:

7 June 2017

Accepted date:

19 September 2017

Available online date:

31 May 2018

---

### Abstract

Coating process of martensitic stainless steel 420 (SS 420) as the base material component of the steam turbine blade component uses an Electroless Ni-P coating process. This process is one of the solution coatings that applied to stainless steel as a substrate to improve corrosion resistance. The goal of this research is to get an idea and information about the effect of surface roughness and stirring speed on the characteristics of Electroless Ni-P layer. Experimental parameters in this research were variations of 0.044  $\mu\text{m}$ , 0.056  $\mu\text{m}$ , 0.101  $\mu\text{m}$ , and 0.164  $\mu\text{m}$  surface roughness and variations of 4.9 rpm, 11.3 rpm, and 21.3 rpm stirring speed. Results showed that the surface roughness and low stirring speed causes the grain distribution becomes more uniform, which is shown by Scanning Electron Microscopy (SEM) examination. Adhesion layer also increases along with increasing levels of surface roughness. The highest value of adhesion was 1.9 MPa at 0.164  $\mu\text{m}$  and the lowest value of adhesion was 0.8 MPa at 0.044  $\mu\text{m}$ .

**Keywords:** Stainless steel, Martensitic, Electroless Ni-P, Corrosion resistance, Adhesion

---

### Kata kunci:

Baja tahan karat  
Martensitik  
Nirelektrik Ni-P  
Ketahanan korosi  
Daya lekat

---

### Abstrak

Proses pelapisan baja tahan karat martensitik 420 (SS 420) sebagai bahan dasar komponen pada sudut turbin dilakukan dengan menggunakan proses pelapisan nirelektrik Ni-P. Proses ini merupakan salah satu solusi pelapisan yang diaplikasikan pada baja tahan karat sebagai substrat untuk memperbaiki ketahanan korosi. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mendapatkan gambaran serta informasi pengaruh kekasaran permukaan dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik lapisan nirelektrik Ni-P. Parameter percobaan yang divariasikan, yaitu kekasaran permukaan 0,044  $\mu\text{m}$ , 0,056  $\mu\text{m}$ , 0,101  $\mu\text{m}$ , dan 0,164  $\mu\text{m}$  serta kecepatan pengadukan 4,9 rpm, 11,3 rpm, dan 21,3 rpm. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan dan kecepatan rendah menyebabkan distribusi butiran menjadi lebih merata, dimana hal ini ditunjukkan oleh pengujian mikroskop elektron payaran (SEM). Daya lekat lapisanpun meningkat seiring dengan meningkatnya tingkat kekasaran permukaan. Nilai tertinggi daya lekat sebesar 1,9 MPa pada 0,164  $\mu\text{m}$  dan nilai terendah daya lekat adalah sebesar 0,8 MPa pada 0,044  $\mu\text{m}$ .

## PENDAHULUAN

Proses pelapisan (*coating*) adalah metode yang paling populer untuk melindungi material termasuk material *stainless steel* (Panja and Sahoo 2014). Metode pelapisan material *stainless steel* untuk tubin uap ada berbagai macam antara lain elektroplating nikel-kadmium, *thermal spray*, dan *plasma spray* (Suchaimi, Rochiem, and Purwaningsih 2017; Kramer 1981).

Nirelektrik merupakan salah satu metode konvensional pelapisan (*coating*) pada material untuk mendapatkan lapisan nikel atau paduan nikel yang seragam dengan menggunakan agen pereduksi. Dibandingkan dengan metode lainnya, nirelektrik memiliki beberapa kelebihan antara lain mudah dilakukan, dapat dikembangkan dalam skala besar, fleksibel untuk diaplikasikan pada berbagai karakteristik material, dan menghasilkan lapisan yang seragam (Bulasara et al. 2011).

Nirelektrik nikel posfor adalah jenis nirelektrik yang paling banyak digunakan dalam industri karena memiliki berbagai kelebihan dibanding jenis nirelektrik lainnya, yaitu tingkat kekerasannya yang tinggi, tahan aus, dan tahan korosi, serta dapat melapisi berbagai jenis dan bentuk material dengan seragam serumit apapun bentuk material tersebut (Wojewoda-budka et al. 2016; Wang et al. 2016; Sharifalhoseini and Entezari 2015; Kwon, Kim, and Bum 2014).

Pelapisan material *stainless steel* dengan menggunakan nirelektrik nikel posfor mulai dikembangkan saat ini akibat adanya larangan penggunaan kadmium di beberapa negara karena sifatnya yang beracun. Nirelektrik tidak menggunakan sumber energi listrik untuk mereduksi ion logam, sedangkan metode elektroplating menggunakan sumber energi listrik (dc) untuk melapisi material (Taheri, Oguocha, and Yannacopoulos 2001). Penyemprotan

termal membutuhkan energi dan suhu yang tinggi untuk membentuk lapisan yang seragam begitu pula metode penyemprotan plasma juga membutuhkan biaya yang tinggi untuk menghasilkan lapisan material yang seragam. Oleh karena itu dibandingkan dengan berbagai metode yang telah banyak diaplikasikan untuk melapisi material *stainless steel*, nirelektrik dinilai lebih efisien dalam hal energi dan biaya produksinya.

Penelitian mengenai nirelektrik pada *stainless steel* telah banyak dipublikasikan terutama mengenai kelebihannya dalam ketahanan terhadap korosi dan kekerasannya sebagaimana penelitian yang telah dilakukan oleh Ayoub (2009). Oleh karenanya fokus dari penelitian ini untuk mengetahui hal-hal mengenai nirelektrik Ni-P yang belum dipublikasikan, yaitu pengaruh dari kekasaran permukaan material dan kecepatan pengadukan dalam proses nirelektrik terhadap karakteristik lapisan Ni-P, termasuk di dalamnya komposisi serta sifat adhesif lapisan yang terbentuk.

## METODE

### Preparasi Benda Uji

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja tahan karat martensitik SS 420. Tabel 1 menunjukkan komposisi kimia dari baja tahan karat martensitik SS 420.

Preparasi benda uji dilakukan dengan memotong material baja tahan karat martensitik SS 420 yang berbentuk silinder menjadi bentuk persegi panjang dengan ukuran 2 x 3 cm. Setelah itu, dipoles dengan mesin poles. *Grade* amplas memiliki tingkat kekasaran yang berbeda. *Grade* amplas yang digunakan pada percobaan ini, yaitu 400cw, 800cw, 1200cw, dan 5000cw. Untuk mendapatkan nilai kekasaran per-

mukaan dari *grade* amplas yang digunakan, dilakukan pengujian dengan menggunakan alat *surr coder corder* SE300 yang nantinya nilai tersebut akan dijadikan parameter kekasaran permukaan pada percobaan ini.

**Tabel 1.** Komposisi kimia baja tahan karat martensit SS 420

| Komposisi Kimia (% Berat) |      |      |      |      |      |       |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| C                         | Si   | S    | P    | Mn   | Ni   | Cr    | Fe   |
| 0,43                      | 0,26 | 0,02 | 0,02 | 0,37 | 0,15 | 12,41 | Bal. |

### Nirelektrik Nikel-Posfor

Sebelum proses nirelektrik nikel-posfor dimulai, dilakukan *pre-treatment* terlebih dahulu terhadap benda uji. Pertama-tama, permukaan benda uji dibersihkan secara mekanik dari produk korosi dan dibersihkan dengan menggunakan deterjen lalu dibilas dengan menggunakan air suling. Selanjutnya, benda uji direndam dalam 10 ml HNO<sub>3</sub>, 20 ml HCl, dan 30 ml H<sub>2</sub>O pada suhu ruang selama dua menit lalu dibilas dengan menggunakan air suling. Setelah itu, benda uji diaktivasi dengan menggunakan 0,6 g/l PdCl<sub>2</sub> + 5 ml HCl pada suhu ruang selama sepuluh menit lalu direndam dalam air suling selama satu menit. Terakhir, benda uji dimasukkan ke dalam larutan 50 g/l NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub> selama sepuluh menit dan dibilas dengan menggunakan air suling.

Setelah proses perlakuan awal terhadap benda uji selesai dilakukan, benda uji dimasukkan ke dalam larutan nirelektrik nikel-posfor. Larutan nirelektrik nikel-posfor memiliki komposisi kimia seperti pada Tabel 2. Benda uji direndam selama 120 menit dalam larutan nirelektrik nikel-posfor yang diaduk dengan pengaduk magnetik. Kecepatan pengadukan dari pengaduk magnetik divariasikan mulai dari yang rendah, sedang dan tinggi. Nilai dari kecepatan pengadukan didapatkan dengan alat takometer untuk mengetahui

rpm putaran pengadukan, dari yang rendah memiliki nilai 4,9 rpm, nilai yang sedang memiliki nilai 11,3 rpm, dan nilai yang tinggi 21,3 rpm.

**Tabel 2.** Komposisi kimia nirelektrik nikel-posfor

| Komposisi         | Konsentrasi (g/l) |
|-------------------|-------------------|
| Nikel Sulfat      | 35                |
| Sodium hipoposfit | 20                |
| Sodium citrat     | 15                |
| Sodium acetat     | 5                 |

Sumber: (Ayoub, n.d.)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

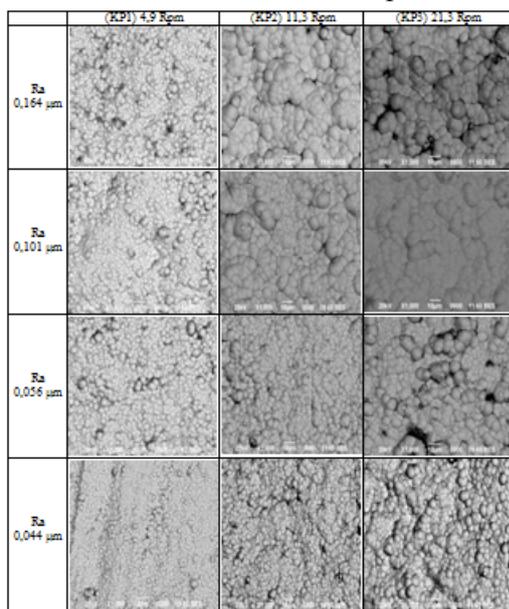
### Analisis Morfologi

Analisis permukaan hasil pelapisan nikel posfor diuji dengan menggunakan mikroskop electron payaran (SEM).

Kecepatan pergerakan partikel dipengaruhi oleh jari-jari atom dan kecepatan pengadukan. Semakin kecil jari-jari atomnya, maka kecepatan untuk bergerak akan lebih cepat daripada atom dengan jari-jari atom yang lebih besar. Jika dilihat berdasarkan jari-jari atomnya, Fe (besi) mempunyai 126 pm (pikometer) dan Ni (Nikel) mempunyai jari-jari atom 124 pm (pikometer). Oleh karenanya nikel akan lebih mudah bergerak ke permukaan lapisan dibandingkan besi. Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh pada kecepatan pergerakan partikel dimana kecepatan pengadukan berfungsi sebagai katalisator Bergeraknya partikel ke permukaan lapisan. Hal ini dibuktikan pada Gambar 1 dimana semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka ukuran partikel lapisan yang terbentuk semakin besar.

Kekasaran permukaan berpengaruh terhadap struktur morfologi lapisan Ni-P yang terbentuk. Berdasarkan Gambar 1, pada permukaan yang lebih kasar ukuran partikel lebih besar tetapi tidak merata ke seluruh permukaan. Semakin halus permukaan, maka struktur morfologi yang terbentuk lebih kecil dan

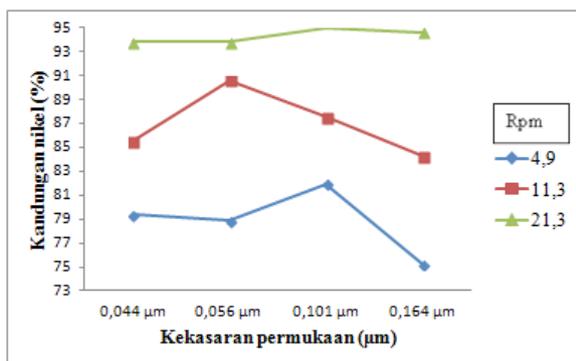
lebih merata ke seluruh permukaan.



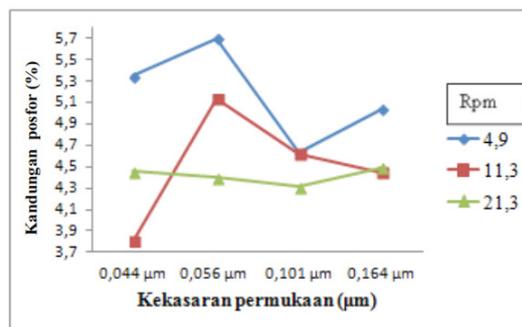
**Gambar 1.** Morfologi permukaan hasil coating Ni-P antara kekasaran permukaan (Ra) terhadap kecepatan pengadukan (KP).

### Korelasi Kekasaran Permukaan terhadap Komposisi Nikel dan Posfor

Komposisi nikel dan posfor pada lapisan nirelektik Ni-P yang terbentuk dianalisis dengan menggunakan spektrometri disperse energi (EDS).



**Gambar 2.** Grafik hubungan antara kandungan nikel terhadap kekasaran permukaan.



**Gambar 3.** Grafik hubungan antara kandungan posfor terhadap kekasaran permukaan.

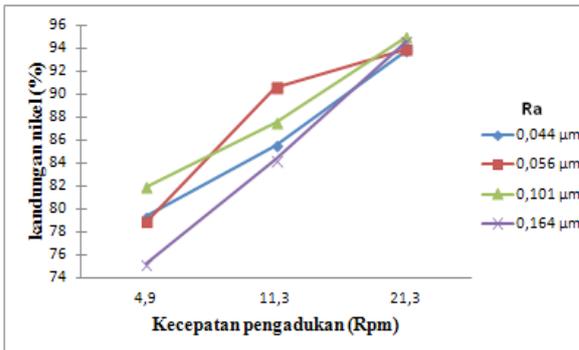
Gambar 2 merupakan grafik korelasi antara kandungan nikel dengan kekasaran permukaan, sedangkan Gambar 3 merupakan grafik korelasi antara kandungan posfor dengan kekasaran permukaan. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin kasar permukaan, maka kandungan nikel pada lapisan yang terbentuk semakin kecil pada kecepatan pengadukan 4,9 dan 11,3 rpm. Sedangkan pada kecepatan pengadukan 21,3 rpm, kekasaran permukaan tidak terlalu memengaruhi komposisi nikel yang terdapat pada lapisan. Kekasaran permukaan tertinggi pada kecepatan pengadukan 4,9 rpm menghasilkan komposisi nikel yang terendah, yaitu 75,2%.

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa kandungan posfor fluktuatif terhadap kekasaran permukaan pada semua kecepatan pengadukan, sehingga tidak dapat disimpulkan pengaruh kekasaran permukaan terhadap komposisi posfor yang terbentuk. Akan tetapi, semua kandungan posfor dengan berbagai variasi nilai kekasaran permukaan berada pada range (1-6% P). Range kandungan posfor tersebut termasuk tipe posfor rendah dengan ciri mikrostruktur berbentuk mikrokristal. Kandungan posfor rendah memiliki kekerasan dan tahan aus yang tinggi, tetapi memiliki ketahanan korosi yang rendah (Taheri, Oguocha, and Yannacopoulos 2001).

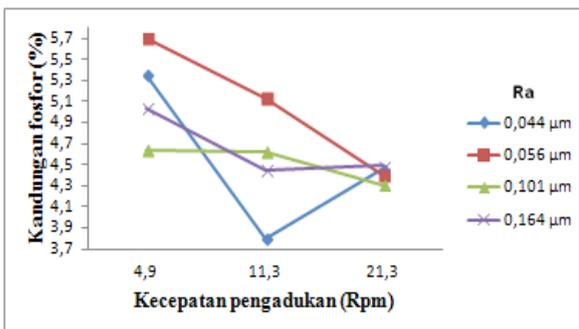
### Korelasi Kecepatan Pengadukan terhadap Komposisi Nikel dan Posfor

Pada Gambar 4 menampilkan grafik hubungan antara kandungan nikel terhadap kecepatan pengadukan. Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap kandungan nikel yang dihasilkan. Semakin cepat pengadukan, maka kandungan nikel pada lapisan Ni-P yang terbentuk semakin tinggi.

Gambar 5 merupakan grafik hubungan antara kandungan posfor terhadap kecepatan pengadukan. Hasil analisis SEM-EDS pada Gambar 5 tidak menunjukkan hasil dengan perbedaan yang signifikan. Faktor kecepatan pengadukan bukan faktor penentu tinggi rendahnya suatu kandungan posfor dalam lapisan Ni-P. Dari data ini, kandungan posfor pada lapisan Ni-P yang terbentuk rata-rata sebesar 4%.



Gambar 4. Grafik hubungan antara kandungan nikel terhadap kecepatan pengadukan

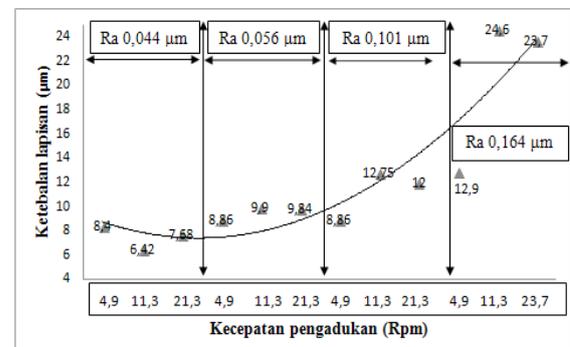


Gambar 5. Grafik hubungan antara kandungan posfor terhadap kecepatan pengadukan

Seiring dengan peningkatan kandungan nikel pada Gambar 4, kandungan posfor pada Gambar 5 terlihat semakin menurun. Hal ini dikarenakan unsur nikel lebih cepat mengalami reduksi daripada posfor.

### Ketebalan Lapisan

Hasil analisis dengan SEM-EDS pada Gambar 6 menunjukkan cukup terlihat perubahan terhadap ketebalan setiap masing-masing material.



Gambar 6. Grafik hubungan antara ketebalan lapisan terhadap kecepatan pengadukan

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa perbandingan nilai grafik setiap kekasaran permukaan sangat berpengaruh terhadap ketebalan lapisan. Pada kekasaran permukaan 0,044 μm, ketebalan lapisan Ni-P yang terbentuk sangat rendah, yaitu 8,4 μm, 6,42 μm dan 7,68 μm. Kekasaran permukaan 0,056 μm memiliki ketebalan lapisan Ni-P 8,86 μm, 9,9 μm dan 9,84 μm. Pada kekasaran permukaan 0,101 μm, ketebalan lapisan Ni-P lebih baik jika dibandingkan dengan 0,056 μm dan pada kekasaran permukaan yang paling tinggi 0,164 μm memiliki ketebalan lapisan yang paling tinggi. Kecenderungan grafik, semakin kasar permukaan, maka semakin tebal lapisan yang terbentuk pada material substrat. Hal ini dikarenakan permukaan substrat yang kasar mempunyai celah-celah *trapping* (guratan). Oleh karena itu,

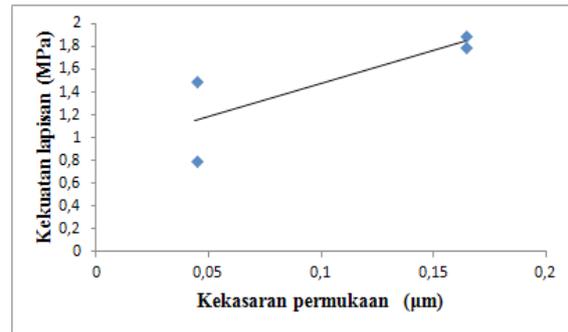
atom-atom nikel akan terisi di material substrat tersebut dan lapisan yang terbentuk akan semakin tebal.

Pada kecepatan pengadukan 4,9 rpm ketebalan lapisan Ni-P yang terbentuk 8,4  $\mu\text{m}$ , 8,86  $\mu\text{m}$ , 8,86  $\mu\text{m}$ , dan 12,9  $\mu\text{m}$ . Pada kecepatan pengadukan 11,3 rpm diperoleh ketebalan lapisan Ni-P sebesar 6,42  $\mu\text{m}$ , 9,9  $\mu\text{m}$ , 12,75  $\mu\text{m}$ , dan 24,6  $\mu\text{m}$ . Pada kecepatan 21,3 rpm ketebalan lapisan Ni-P yang terbentuk sebesar 7,68  $\mu\text{m}$ , 9,84  $\mu\text{m}$ , 12  $\mu\text{m}$ , dan 23,7  $\mu\text{m}$ . Hal ini membuktikan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan Ni-P yang terbentuk. Hasil ini sesuai dengan penelitian In Kwon Hong, dkk yang menyebutkan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan (Kwon, Kim, and Bum 2014).

#### **Analisis Uji *Bonding Strength* Berdasarkan Kekasaran Permukaan**

Kekasaran permukaan merupakan ketidak-teraturan suatu permukaan berupa goresan atau lekuk-lekuk kecil. Sedangkan kuat lekat (*bonding strength*) dapat diketahui dengan adanya cacat internal berupa rongga yang mengakibatkan tidak adanya *mechanical interlocking* antara substrat dan lapisan, maka akan dijelaskan hubungan antara kekasaran permukaan dan daya lekat.

Gambar 7 menunjukkan pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekuatan daya lekat pada spesimen yang telah mengalami proses nirelektrik, tampak bahwa daya lekat meningkat seiring dengan meningkatnya tingkat kekasaran permukaan benda uji. Hal ini terjadi karena spesimen memiliki celah atau lubang setelah proses penggerusan, sehingga lapisan dengan permukaan yang kasar memiliki daya lekat lebih kuat jika dibandingkan dengan lapisan dengan permukaan yang halus.



**Gambar 7.** Pengaruh kekasaran permukaan terhadap kuat lekat lapisan

#### **KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian pengaruh kekasaran permukaan dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik lapisan nirelektrik Ni-P pada baja tahan karat martensitik, disimpulkan bahwa semakin kasar permukaan substrat dan semakin cepat pengadukan dalam proses nirelektrik Ni-P, maka ukuran partikel lapisan nirelektrik Ni-P yang terbentuk semakin besar, tetapi tidak seragam melapisi seluruh permukaan substrat. Kekasaran permukaan dan kecepatan pengadukan juga berpengaruh terhadap komposisi nikel yang terdapat pada lapisan nirelektrik yang terbentuk. Semakin tinggi kekasaran permukaan dan kecepatan pengadukan, maka semakin tinggi kandungan nikel yang terdapat pada lapisan nirelektrik Ni-P yang terbentuk. Semakin kasar permukaan dan semakin cepat pengadukan, maka lapisan yang terbentuk semakin tebal. Selain itu, kekasaran permukaan juga berpengaruh terhadap *bonding strength* lapisan yang terbentuk, dimana semakin kasar permukaan kuat lekatnya juga semakin tinggi.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI yang telah mendanai

penelitian ini melalui mekanisme kegiatan Tematik 2016.

#### DAFTAR ACUAN

- Ayoub, I E. 2009. "Study of Electroless Ni-P Plating on Stainless Steel", *The Online Journal on Mathematics and Statistics* no. 1: 13–16.
- Bulasara, Vijaya Kumar, Harjyoti Thakuria, Ramgopal Uppaluri, and Mihir Kumar Purkait. 2011. "Combinatorial Performance Characteristics of Agitated Nickel Hypophosphite Electroless Plating Baths", *Journal of Materials Processing Tech.* 211 (9). Elsevier B.V.: 1488–99. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2011.03.022>.
- Kramer, L.D. 1981 "Avoiding Corrosion of Low Pressure Steam Turbines by Coating", *Thin Solid Films* 83: 457–459.
- Kwon In, Hyungjin Kim, and Seung Bum. 2014. "Optimization of Barrel Plating Process for Electroless Ni – P Plating." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20 (5). The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry: 3767–3774. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.12.07>.
- Panja Bikash, and Prasanta Sahoo. 2014. "Wear Behavior of Electroless Ni-P Coatings in Brine Solution and Optimization of Coating Parameters." *Procedia Technology* - 14. Elsevier B.V.: 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.08.023>.
- Sharifalhoseini Zahra, and Mohammad H Entezari. 2015. "Enhancement of the Corrosion Protection of Electroless Ni – P Coating by Deposition of Sonosynthesized ZnO Nanoparticles." *Applied Surface Science* 351. Elsevier B.V.: 1060–1068. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.06.028>.
- Suchaimi Muhammad, Rochman Rochiem, and Hariyati Purwaningsih. 2017. "Pengaruh Jarak Nozzle Dan Tekanan Gas pada Proses Pelapisan FeCrBMnSi Dengan Metode Wire Arc Spray terhadap Ketahanan Thermal" *Jurnal Teknik ITS* 6 (1): 7–12.
- Taheri, R.I.N.A, Oguocha, and S Yannacopoulos. 2001. "The Tribological Characteristics of Electroless NiP Coatings", *Wear* 249 (January): 389–396.
- Wang Wenchang, Weiwei Zhang, Yurong Wang, Naotoshi Mitsuzak, and Zhidong Chen. 2016. "Ductile Electroless Ni – P Coating onto Flexible Printed Circuit Board." *Applied Surface Science* 367. Elsevier B.V.: 528–532. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.01.254>.
- Wojewoda-budka, J, A Wierzbicka-miernik, L Litynska-dobrzynska, and M J Szczerba. 2016. "Microstructure Characteristics and Phase Transformations of the Ni-P and Ni-P-Re Electroless Deposited Coatings after Heat Treatment" *Electrochimica Acta* 209: 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.05.043>.

