



STUDI PELAPISAN KOMPOSIT NI-P-NANO Al_2O_3 DENGAN METODE *ELECTROLESS CO-DEPOSITION*

Yulinda Lestari^{*a}, Efendi Mabruri^a, Anne Zulfia Syahrial^b

^aPusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan

^bTeknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok

E-Mail: * yuli021@lipi.go.id

Masuk Tanggal : 18-02-2016, revisi tanggal : 24-04-2016, diterima untuk diterbitkan tanggal 30-04-2016

Intisari

Pelapisan material dengan komposit Ni-P-nano powder Al_2O_3 yang menggunakan metode *electroless* kodeposisi memiliki keunggulan yaitu prosesnya tidak membutuhkan elektroda, laju deposisi yang cepat dan memiliki ketahanan korosi dan ketahanan aus yang baik. Pada penelitian ini, parameter yang divariasikan adalah komposisi penambahan nano powder Al_2O_3 . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenomena struktur mikro, fasa dan kristalinitas, komposisi kimia dan distribusi unsur di permukaan *coating*, dan ketahanan korosi komposit *coating* Ni-P-nano powder Al_2O_3 . Substrat yang digunakan yaitu baja tahan karat 410 dilaku awal (*pretreatment*) untuk mengaktifasi permukaan, kemudian direndam dalam larutan yang terdiri dari nikel sulfat, natrium hypophosphite, ammonium sulfat, sodium asetat, lead asetat dan serbuk nano alumina. Substrat direndam selama 60 menit, dalam suhu proses 90 ± 2 °C dengan kecepatan putaran 150 rpm. Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan alat SEM-EDS (*scanning electron microscopy-energy dispersive spectroscopy*), XRD (*x-ray diffraction*), dan CMS (*corrosion measurement system*). Dari hasil percobaan menunjukkan terdapat perbedaan struktur mikro antara substrat logam dasar dan substrat setelah proses *electroless coating*. Berdasarkan variabel percobaan, untuk komposisi *nano powder* Al_2O_3 yang optimum adalah 10 gr/l karena memberikan distribusi partikel dan ketahanan korosi yang paling baik.

Kata Kunci: Pelapisan material, *Electroless* kodeposisi, Ni-P- Al_2O_3 , Struktur mikro, Kristalinitas, Ketahanan korosi

Abstract

The Ni-P-nano powder Al_2O_3 composite coating have been prepared by *electroless* codeposition method. It has advantage that the process does not require an electrode, fast deposition rate, good corrosion and wear resistance. In this study, the variable parameters are the addition of nano powder Al_2O_3 composition. The aim of this research is to determine microstructure phenomenon, phase and crystalinity, chemical composition and distribution on coating surface, and corrosivity Ni-P-nano powder Al_2O_3 composite coating. The substrate is used stainless steel 410. Substrates have been pre treated in order to activate the surface. Then, substrate immersed in solution that consisting of nickel sulfate, sodium hypophosphite, ammonium sulfate, sodium acetate, lead acetate and nano alumina powder. The substrate is immersed about 60 minutes at a 90 ± 2 °C temperature with speed of 150 rpm. Sample characterization has done by SEM-EDS, XRD, and CMS. Results indicate there is a microstructure visual difference before and after *electroless* coating process. Based on variable experiment, the optimum nanopowder Al_2O_3 composition is 10 gr/l which have given the best partice distribution and most excellent corrosion resistance.

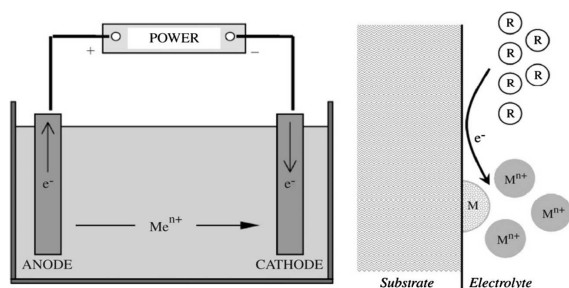
Keywords: Plating material, *Electroless* co-deposition, Ni-P- Al_2O_3 , Microstructure, Crystalinity, Corrosion

1. PENDAHULUAN

Pada pertengahan abad ke-20, suatu metode teknik pelapisan yang revolusioner dikembangkan oleh Brenner dan Riddell dikenal dengan nama "Electroless Coating"^[1]. Metode ini tidak membutuhkan listrik selama

prosesnya melainkan dengan metode autokatalitik dimana terjadi reduksi ion logam dalam larutan dan deposisi film yang terbawa melalui oksidasi unsur kimia yang ada di dalam larutan tersebut seperti *reducing agent* yang ditambahkan yang menyediakan arus internal.

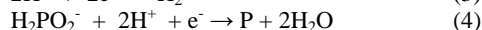
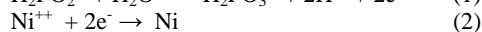
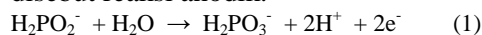
Proses ini juga membutuhkan kation logam yang dideposikan dan direduksi dengan menerima elektron dari permukaan substrat logam atau dari permukaan katalis yang digunakan untuk inisiasi deposisi. Zat reduktan kemudian mengirim elektron ke permukaan dan kemudian terjadi oksidasi^[2]. Berbagai macam logam bisa dilapisi menggunakan metode *electroless* ini dengan keunggulannya untuk memproduksi *coating* yang memiliki ketahanan korosi dan aus yang sangat baik^[3]. Gambar 1 menunjukkan skema perbedaan antara *electroplating* dan *electroless plating*.



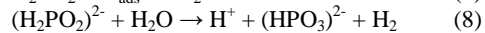
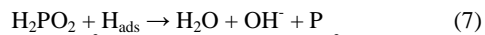
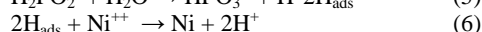
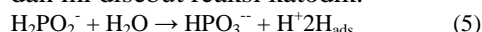
Gambar 1. Proses *electroplating* (sisi kiri), Proses deposisi *electroless plating* (sisi kanan)^[4].

Aspek dasar yang dibutuhkan dalam sebuah *electroless bath* yaitu konsentrasi ion logam utama, *reducing agents*, *complexing agents*, *bath stabilizers*, kontrol pH dan temperatur. Banyak *reducing agent* yang telah dikomersialisasi seperti *sodium hypophosphite*, *amino boranes*, *sodium borohydride*, dan *hydrazine*. Dalam penelitian ini dipilih *reducing agent sodium hypophosphite* karena deposisi *electroless* dengan *hypophosphite bath* memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan boron atau *hydrazine bath*. *Hypophosphite bath* biayanya lebih murah dan memberikan ketahanan korosi yang lebih baik. Mekanisme reduksi ion logam dengan *hypophosphite* terdiri dari 2 reaksi yaitu^[5]:

a. Mekanisme elektrokimia yaitu ketika ion *hypophosphite* secara katalitik mengoksidasi dan ion logam direduksi pada permukaan katalitik. Bagian yang dilepas hidrogen diserap ke permukaan katalitik dan ini disebut reaksi anodik.



b. Mekanisme Atom Hidrogen yaitu ketika ion nikel pada permukaan katalis kemudian direduksi oleh hidrogen aktif yang terserap dan ini disebut reaksi katodik.



Percobaan penggabungan partikel pada fasa kedua dalam *electroless* matriks nikel ini dimulai dari tahun 1960an^[6]. Keuntungan utama pembuatan *coating* komposit dengan *electroless* kodeposisi adalah bentuknya mengikuti geometri yang sesuai dan mengeliminasi penggunaan *finishing* mekanik^[7]. *Electroless coating* komposit dibentuk dengan tumbukan dan pengendapan partikel pada permukaan benda kerja, dan selanjutnya partikel ini diselubungi dengan matriks material seperti yang dilapisinya. Tidak ada ikatan molekul antara partikel dan matriks logam^[8]. Beberapa faktor yang mempengaruhi penggabungan partikel keras/halus ke dalam matriks *electroless Ni-P* yaitu bentuk dan ukuran partikel, densitas relatif partikel, muatan partikel, ketidakreaktifan partikel, konsentrasi partikel dalam *bath*, metode dan derajat agitasi, kesesuaian partikel dengan matriks dan orientasi bagian yang dilapis^[3]. Dalam penelitian ini digunakan serbuk alumina yang berukuran nano dan variabel penelitiannya adalah konsentrasi partikel alumina. Hal ini karena menurut Apachitei et al.^[9], di bawah kondisi operasi yang sama, partikel yang lebih kecil dengan distribusi ukuran yang sempit menghasilkan penggabungan yang maksimal. Reddy et al.^[10] merekomendasikan bahwa untuk mencapai integritas yang lebih baik antara partikel dan matriks *electroless Ni-P*, ukuran partikel harus menjadi kecil sehingga dapat diikat oleh matriks. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan serbuk nano Al_2O_3 sebagai partikel pengisi matriks *coating Ni-P*. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh variasi komposisi serbuk nano Al_2O_3 terhadap struktur mikro, fasa dan korosifitas *coating Ni-P-Al₂O₃* yang dihasilkan.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Pelapisan pada baja tahan karat (*stainless steel-SS*) sangat sulit karena masalah aktivasi pada permukaannya. Proses *pre-treatment* memegang peranan penting untuk mendapatkan pelindung *coating* yang baik pada baja tahan karat. Keberhasilan deposisi tergantung dari penghilangan lapisan tipis, pasivasi permukaan lapisan oksida pada baja tahan karat. Hal ini bisa diatasi dengan pembersihan awal. Substrat yang digunakan berbentuk *rod*. Pertama-tama permukaan substrat dibersihkan secara mekanik dari produk korosi dan yang berlemak dengan larutan detergen kemudian dibilas dengan air

distilasi, dan dietsa dengan HNO₃ (Merck, USA) 10 ml, HCl (Merck, USA) 20 ml dan H₂O 30 ml pada temperatur kamar selama 2 menit setelah itu dibilas kembali dalam air distilasi. Substrat diaktivasi dalam PdCl₂ (Merck, USA) 0,6 gr/l + HCl 5 ml pada temperatur kamar selama 10 menit, setelah itu dibilas dalam air distilasi dengan *ultrasonic cleaning* selama 1 menit. Terakhir, substrat dikenakan dengan NaH₂PO₂ (Merck, USA) selama 10 menit kemudian dibilas dengan air distilasi dan siap untuk proses *electroless coating*^[4]. Komposisi kimia logam dasar berdasarkan uji menggunakan alat Spark-OES (*optical emission spectrometry*) yaitu:

Tabel 1. Komposisi kimia standar baja tahan karat (SS 410)

| Elemen | % Berat |
|--------|---------|
| C | 0,03 |
| Mn | 0,34 |
| Si | 0,68 |
| Cr | 12,8 |
| Mo | 0,002 |
| Ni | 0,155 |
| S | 0,0012 |
| P | 0,0162 |
| Fe | 85,85 |

Serbuk nano Al₂O₃ (Merck, USA) yang digunakan berukuran kira-kira 30-60 nm dan divariasikan komposisinya sebanyak 1, 5, 10, 15 gr/l. Hal ini mengacu pada beberapa referensi dan agar terlihat dampak pengaruhnya jika menggunakan interval komposisi yang lebar^[1, 11, 12]. Serbuk nano alumina ini dicampur air distilasi kemudian dilakukan ultrasonik selama 30 menit^[13]. Komposisi bahan untuk membuat larutan dalam bath dipilih berdasarkan komposisi optimum dari beberapa referensi^[1, 11, 14]. Tabel 2 menunjukkan komposisi larutan Ni-P.

Tabel 2. Komposisi bath Ni-P-Al₂O₃

| | |
|---|--------------------|
| Nikel sulfat (Merck, USA) | 27 gr/l |
| Sodium hypophosphite (Merck, USA) | 24 gr/l |
| Ammonium Sulfat (Merck, USA) | 15 gr/l |
| Sodium Acetate (Merck, USA) | 10 gr/l |
| Lead acetate (Merck, USA) | 2 mg/l |
| Nano Powder Al ₂ O ₃ (Merck, USA) | 0;1;5;10;15 g/l |
| pH | 5-6 |
| Temperatur | 90 °C |
| Rpm | 150 |

Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah grade analitik dan penambahan air distilasi dalam *bath* hingga 250 mL. Sel elektrokimia disambungkan dengan substrat baja tahan karat SS 410 yang terendam larutan *electroless*

selama 60 menit. pH diatur tetap pada *range* dengan penambahan larutan asam klorida atau amonium hidroksida. Variasi temperatur diatur dan dikontrol dengan *stirrer* pada kecepatan putaran 150 rpm. Berat deposit dievaluasi perubahannya pada berat substrat sebelum dan sesudah proses *electroless*^[15]. Substrat hasil proses *electroless coating* kemudian dikarakterisasi dengan peralatan sebagai berikut:

a. Uji struktur mikro/nano

Bertujuan untuk mengetahui distribusi partikel dalam *coating* dan tingkat keberhasilan penggabungan partikel dalam matriks Ni-P/Ni-B. Alat yang digunakan adalah SEM (*scanning electron microscopy*) merk Jeol 6390a, Jepang dengan perbesaran 500x.

b. Uji fasa

Bertujuan untuk mengetahui fasa *coating* komposit yang dihasilkan, apakah kristalin atau *amorphous* dengan cakupan sudut difraksi 2θ antara 0-100°. Diukur dengan menggunakan alat *x-ray diffraction* merk Shimadzu XRD 7000 Maxima X, Jepang dengan material anode Cu dan kecepatan scan 2 derajat/menit.

c. Uji korosi

Bertujuan untuk mengetahui ketahanan *coating* komposit terhadap lingkungan korosif. Performa sampel *coating* dalam lingkungan korosi dievaluasi dalam larutan NaCl 3,5% dengan metode EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*), EN (*electrochemical noise*), dan *potentiodynamic polarization* menggunakan alat CMS (*corrosion measurement system*) merk Gamry G750, USA dengan scan rate 1 mV/s.

3. HASIL DAN DISKUSI

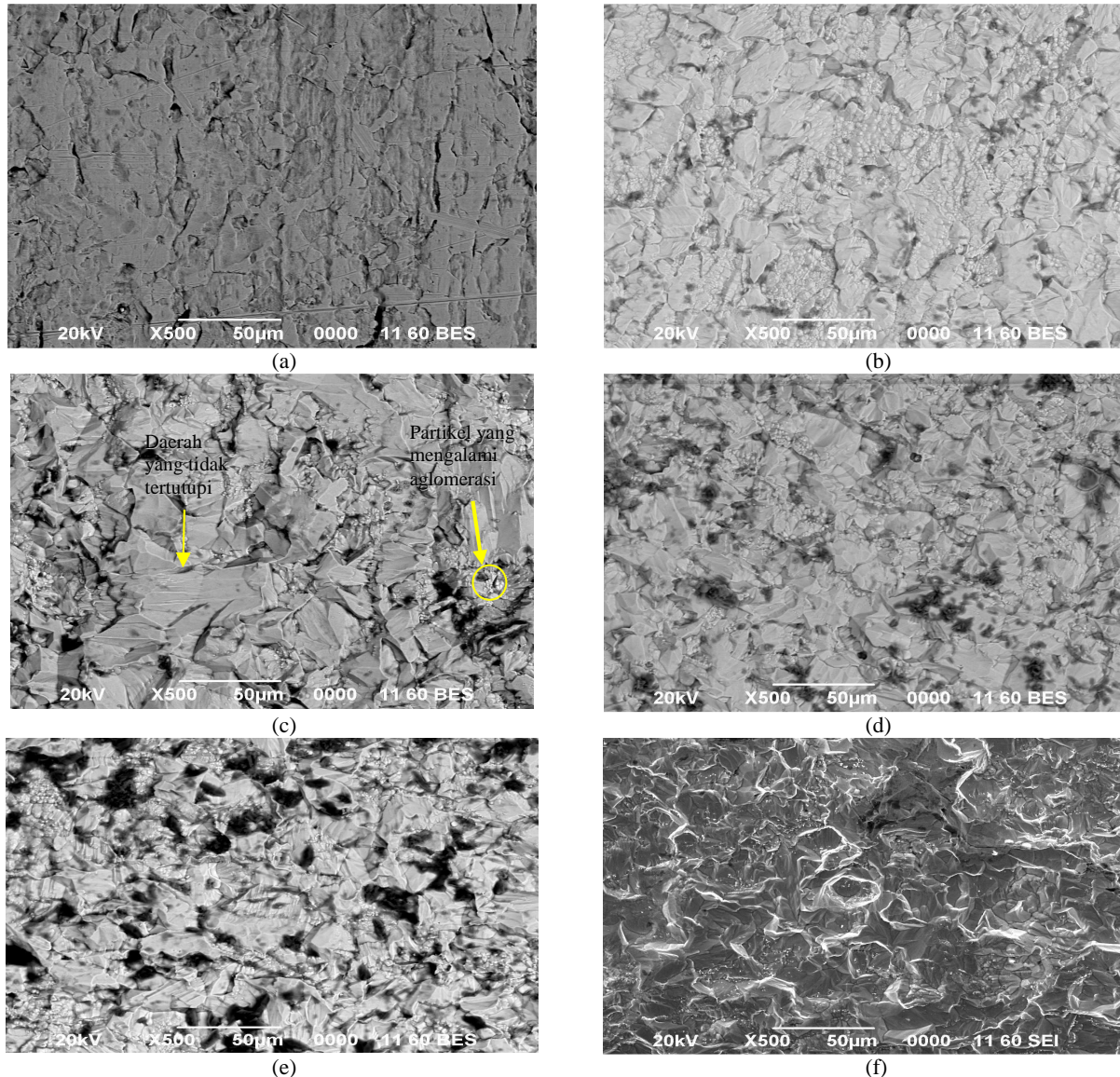
A. Analisa Struktur Mikro

Gambar 2(a) merupakan morfologi permukaan material logam dasar SS 410 setelah dilakukan *pre-treatment* menggunakan larutan PdCl₂ dan natrium *hypophosphite* sebelum proses *coating*. Proses *pre-treatment* ini sangat penting untuk menghilangkan kotoran dan produk korosi serta mengaktivasi permukaan substrat agar *coating* dapat menempel sempurna di permukaan substrat. Substrat dengan pasif *spot* dapat menghasilkan deposisi yang tidak seragam dan menimbulkan porositas^[16].

Dari Gambar 2(a) terlihat adanya guratan-guratan, hal ini dikarenakan larutan PdCl₂ dan natrium *hypophosphite* mengaktivasi permukaan logam agar dapat dilapisi sehingga *coating* dapat menempel. Penggabungan antara

matriks dan *filler* dalam komposit sangat penting karena berkaitan dengan sifat-sifat yang dihasilkan. Dengan menganalisa pengaruh komposisi *fillernano powder* Al_2O_3 maka akan didapatkan komposisi *filler* yang optimum dilihat dari struktur mikro permukaan substrat apakah tersebar merata atau terbentuk kluster-

kluster yang menandakan *nano powder* Al_2O_3 mengalami aglomerasi sehingga kurang sempurna proses penggabungan dengan matriks Ni-P dalam pembentukan komposit *coating*.



Gambar 2. Struktur mikro permukaan substrat dengan variasi komposisi Al_2O_3 (gr/l) sebesar; (a) logam dasar, (b) 0, (c) 1, (d) 5, (e) 10, dan (f) 15

Dari Gambar 2(b) memperlihatkan struktur yang berbeda dengan permukaan logam dasar SS 410. *Coating* Ni-P terlihat menempel di beberapa permukaan logam. Dari gambar tersebut, struktur Ni-P berbentuk nodular dengan adanya beberapa pori-pori yang terbentuk. Menurut Mohammad Islam^[17], ternyata perlu penambahan komposisi *sodium hypophosphite* sebagai *reducing agent* minimal 25 g/l untuk menghilangkan pori-pori dan *crack* yang terbentuk di permukaan *coating* Ni-P. Semakin banyak *reducing agent* yang

ditambahkan maka akan mengisi pori-pori yang terbentuk dari proses *electroless coating* tersebut.

Dengan penambahan *nano powder* Al_2O_3 1 gr/l dari Gambar 2(c) terlihat ada partikel Al_2O_3 Nano partikel Al_2O_3 tersebut membentuk gumpalan karena partikel ukuran nano cenderung mengalami aglomerasi. Partikel yang terjebak dalam batas nodular akan mengalami aglomerasi. Keberadaan partikel dalam batas nodular akan mempengaruhi pertumbuhan nodular^[18]. Dari gambar terlihat

ada kluster-kluster yang menandakan kurang sempurna proses penggabungan dalam pembentukan komposit *coating*. Ada beberapa permukaan logam dasar yang tidak terlapis menandakan deposisi *coating* pada substrat kurang baik (Gambar 2c).

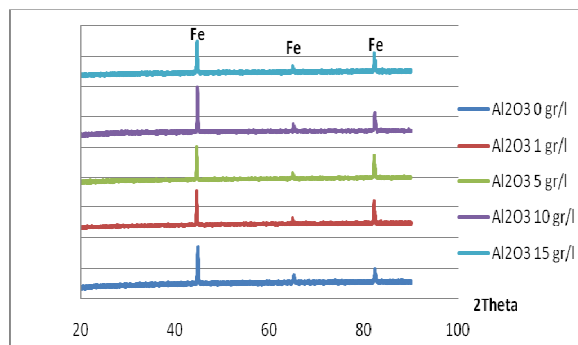
Penambahan *nano powder* Al_2O_3 5 gr/l memberikan hasil yang baik terlihat dari Gambar 2(d) yang menunjukkan banyaknya bulatan putih kecil dan nodular di permukaan sampel yang menandakan semakin banyak *coating* yang menempel. Penggabungan antar matriks dan *filler* pun semakin baik dan semakin merata. Semakin banyak penambahan *fillernano powder* Al_2O_3 maka penggabungan dalam pembentukan komposit *coating* semakin meningkat walaupun ukuran nodul semakin kecil. Dari Gambar 2(e) menunjukkan semakin banyak penambahan Al_2O_3 sebanyak 10 gr/l ke dalam larutan *electroless coating* maka persebaran *coating* lebih merata. permukaan substrat sebagian besar tertutupi oleh *coating*. Percobaan dengan komposisi Al_2O_3 15 gr/l hanya dalam waktu 10 menit bisa dilakukan karena terlihat pada saat proses *electroless coating* logam dasar permukaannya terdegradasi.

B. Analisa Fasa dan Kristalinitas

Berdasarkan hasil XRD pada Gambar 3 menunjukkan semua *coating* yang dihasilkan memiliki struktur amorf. Puncak tertinggi di $2\theta = 45^\circ$ berlokasi di semua deposit *coating* nikel dimana berhubungan dengan profil amorf deposit *electroless* nikel. Jumlah partikel Al_2O_3 dalam substrat terlalu rendah (kurang dari 5% berat dilihat dari Tabel 2 komposisi Al dan O), sehingga puncak difraksi Al_2O_3 tidak bisa terlihat dalam hasil XRD yang ditunjukkan pada Gambar 3. Puncak Fe yang terdeteksi dalam *coating* dimana ketebalan *coating* lebih rendah daripada kedalaman difusi x-ray ketika mengobservasi puncak substrat^[17]. Untuk SS 410 yang merupakan tipe martensit dengan penambahan unsur logam lain seperti kromium dan sedikit nikel tidak terlihat puncaknya, yang terbaca hanya puncak Fe. Karena puncak yang terbaca menandakan fasa bukan unsur tunggal. Ion Cr berada pada fasa *alpha* dalam puncak Fe.

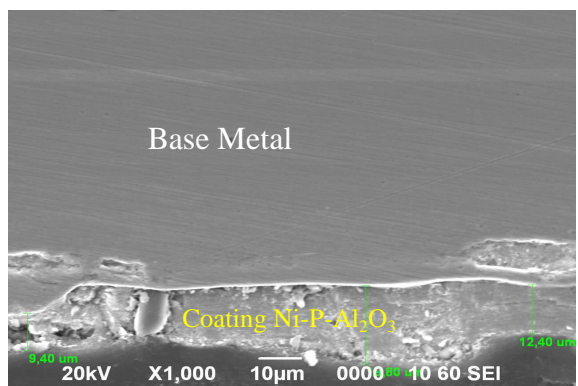
Dengan adanya variasi komposisi tidak mempengaruhi puncak yang dihasilkan, dimana saling berhimpit satu sama lain, hanya tinggi puncak yang berbeda. Dari Gambar 3 puncak tertinggi dihasilkan dari komposisi *nano powder* Al_2O_3 10 gr/l. Menurut Allen dan Vander Sande^[19], *electroless coating* nikel

dengan kandungan fosfor yang tinggi cenderung memiliki fasa amorf (non-kristalin). Tetapi dari data mikrostruktur telah dibahas adanya perubahan setelah proses *electroless coating*, juga data komposisi kimia pada Tabel 2 yang menunjukkan adanya unsur Ni, P dan Al. Untuk melihat lebih jelas lapisan yang terbentuk, diambil satu contoh gambar melintang *coating* Ni-P dengan komposisi Al_2O_3 10 gr/l seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Grafik perbandingan data XRD variasi komposisi *nano powder* Al_2O_3

Dari Gambar 4 terlihat lapisan yang terbentuk, akan tetapi tebal lapisan tidak merata.



Gambar 4. Penampang melintang *coating* Ni-P- Al_2O_3 10 gr/l

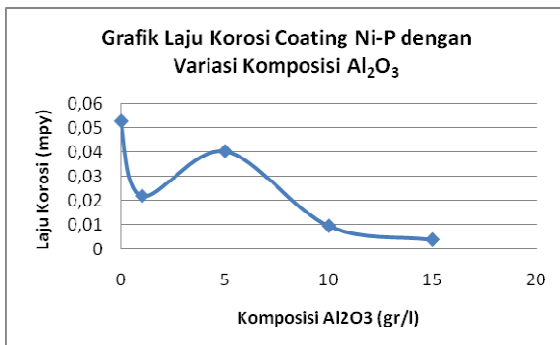
Tabel 2. Perbandingan komposisi unsur di permukaan substrat dengan variasi komposisi penambahan Al_2O_3

| Unsur | Base Metal | % Mass | | | | |
|-------|------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | Al_2O_3 0 gr/l | Al_2O_3 1 gr/l | Al_2O_3 5 gr/l | Al_2O_3 10 gr/l | Al_2O_3 15 gr/l |
| Fe | 83,74 | 83,07 | 83,14 | 80,27 | 80,72 | 85,54 |
| Cr | 12,13 | 12,18 | 12,33 | 12,46 | 12,26 | 12,87 |
| Ni | 0,14 | 1,30 | 1,13 | 1,71 | 1,86 | 0,31 |
| P | - | 0,38 | 0,22 | 0,82 | 0,91 | - |
| Al | - | - | 0,04 | 0,34 | 0,37 | 0,02 |
| O | - | - | 2,03 | 2,94 | 2,56 | 0,34 |

C. Analisa Korosifitas

Uji korosifitas menggunakan grafik tafel pada alat CMS untuk membandingkan laju korosi antar variabel percobaan. Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa *filler* Al_2O_3 berperan penting terhadap ketahanan korosi karena nilai

laju korosi yang semakin kecil seiring dengan penambahan komposisi Al_2O_3 , karena dengan penambahan serbuk nano Al_2O_3 akan mempertebal *coating* yang dihasilkan sehingga tidak rentan mengalami korosi. Hal ini diperkuat dengan data uji *cyclic* dari Tabel 4. Data uji *cyclic* menunjukkan potensial repasifikasi lebih kecil dibandingkan potensial *pitting*. Hal ini menandakan tidak terjadi korosi *pitting* selama uji *cyclic* berlangsung. *Pitting* merupakan jenis korosi terlokalisasi yang menimbulkan lubang pada material, yaitu pada daerah serangan korosi dimana luasnya relatif lebih kecil dibandingkan keseluruhan permukaan yang terekspos. Sedangkan repasivasi merupakan proses ketika permukaan logam kembali menjadi pasif. Sehingga ketika repasivasi terjadi lebih dahulu maka di permukaan logam sudah terbentuk lapisan protektif untuk melindungi permukaan dari korosi *pitting*. Pada awal imersi, terjadi ketidakstabilan arus dan semakin stabil seiring bertambahnya waktu. Arus akan fluktuatif karena lapisan pasif masih dalam proses pembentukan. Hal ini juga berhubungan dengan teori *ion competitive* antara oksigen terlarut dan ion klorida untuk teradsorpsi ke permukaan logam.



Gambar 4. Grafik analisa laju korosi coating Ni-P dengan variasi komposisi Al_2O_3

Fenomena seperti ini juga bisa diakibatkan karena *overprotect* yang terjadi saat awal pemberian arus proteksi. Semakin bertambahnya waktu, arus semakin stabil disebabkan terjadinya passivasi pada permukaan spesimen^[20].

Tabel 4. Tabel perbandingan *cyclic* dengan variasi komposisi Al_2O_3

| Sampel | Potensial Repasivasi | Potensial Pitting |
|-------------------|----------------------|-------------------|
| Tanpa coating | -382,8 mV | -203,1 mV |
| Tanpa Al_2O_3 | 678 mV | 790,2 mV |
| Al_2O_3 1 gr/l | -450,5 mV | -245,9 mV |
| Al_2O_3 5 gr/l | -422,5 mV | -330,2 mV |
| Al_2O_3 10 gr/l | -446,2 mV | -319,0 mV |
| Al_2O_3 15 gr/l | -124,9 mV | -74,79 mV |

4. KESIMPULAN

Berdasarkan karakterisasi dan analisa hasil percobaan *coating* Ni-P- Al_2O_3 dengan metode *electroless* kodeposisi maka dapat disimpulkan struktur mikro permukaan *coating* Ni-P berupa nodular, setelah penambahan *nano powder* Al_2O_3 terlihat ada bulatan partikel putih di atas nodular. Seiring dengan bertambahnya komposisi Al_2O_3 menunjukkan struktur mikro yang teratur tidak teraglomerasi. Kondisi ini hanya ditemui pada komposisi Al_2O_3 15 gr/l dimana terdegradasi saat proses *electroless coating* baru berjalan 10 menit. Analisa fasa menunjukkan semua variasi *coating* Ni-P- Al_2O_3 berada dalam fasa amorf karena sedikitnya kadar Ni, P, Al dan O di permukaan substrat sehingga fasa kristalin yang terbaca hanya Fe. Komposisi kimia unsur Ni, P, Al dan O semakin bertambah seiring dengan bertambahnya komposisi *nano powder* Al_2O_3 dalam *coating* sehingga persebaran unturnya di permukaan pun semakin baik. Ketahanan korosi *coating* Ni-P semakin baik seiring dengan bertambahnya komposisi Al_2O_3 dalam *coating* yang mempertebal lapisan protektif di permukaan logam dasar. *Coating* Ni-P- Al_2O_3 ini juga tidak rentan terjadi korosi *pitting* dalam lingkungan NaCl 3,5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada P2MM – LIPI yang telah mendanai penelitian ini melalui Kegiatan Kompetensi Inti (Tematik) Tahun 2015. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Angga – mahasiswa magang dari UNSRI – Palembang karena telah membantu kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sahoo, P., and Das, K. S, “ Tribology of electroless nickel coatings- a review,” *Material and Design Journal.*, vol. 32, pp. 1760-1775, 2011.
- [2] Richter, S., Hilbert, L.R., and Thorarinsdottir, R.I, “ On-line corrosion monitoring in geothermal district heating systems. I. General Corrosion Rates,” *Corrosion Science.*, vol. 48, pp. 1770 – 1778, 2006.
- [3] Balaraju, J.N., Sankara Narayanan, T.S.N., and Seshadri, S.k, Electroless Ni-P composite coatings,” *Journal of Applied Electrochemistry.*, vol. 33, pp. 807-816, 2003.
- [4] Carraro, C., Maboudian, R., and Magagnin, L, “Metallization and

- nanostructuring of semiconductor surfaces by galvanic displacement processes,” *Surface Science Reports.*, vol. 62 (12), pp.499-525, 2007.
- [5] Gutziet, G, “An outline of the chemistry involved in the process of catalytic nickel deposition from aqueous solution,” *Plating Surface Finishing.*, vol. 47 (63), 1960.
- [6] Metzger, W., and Th Florian, “The deposition of dispersion hardened coatings by means of electroless nickel,” *Transactions of the Institute of Metal Finishing Journal*, vol. 54 (174), 1976. Riedel, W, “Electroless Nickel Plating,” *ASM International.*, Ohio, 1991.
- [7] Riedel, W., “Electroless Nickel Plating,” *ASM International, Materials Park, Ohio*, 1991.
- [8] Hubbell, F.N., “Chemically Deposited Composites-A New Generation of Electroless Coatings,” *Plating Surface Finishing.*, vol. 65(12), 1978.
- [9] Apachitei, I., Duszczuk, J., Katgerman, L., and Overkamp, P.J.B, “Electroless Ni-P composite coatings: the effect of heat treatment on the microhardness of substrate and coating,” *Scripta Materialia.*, vol. 38 (9), pp. 1347-1353, 1998.
- [10] Reddy, V.V.N., Ramamoorthy, B., and Nair, P.K, “A Study on the wear resistance of electroless Ni-P/diamond composite coatings,” *Wear.*, vol. 239, pp. 111-116, 2000.
- [11] Sahoo P, “Friction performance optimization of electroless Ni-P coatings using the taguchi method,” *Journal of Physics D: Applied Physics.*, vol. 41, 095305, pp. 1–11, 2008.
- [12] Liu D., Yan Y., Lee K., Yu J, “ Effect surfactant on the alumina dispersion and corrosion behavior of electroless Ni-P-Al₂O₃ composite coatings,” *Materials and Corrosion.*, vol. 60 (9), pp. 690–694, 2009.
- [13] Wang, M., Yi Dan, W., Fen Li, J., Feng Ding, J., Qing Zhou, G., and Sheng Wang, Q., “Preparation and characterization of Al₂O₃ nanoparticles with dodecyl trimethyl ammonium bromide as surfactant,” *AMM Journal.*, vol. 09, 2013.
- [14] I. K., Kim, H., and Lee, B. S, “Optimization of barrel plating process for electroless Ni-P plating,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry.*, vol. 20, pp. 3767-3774, 2014.
- [15] Kundu, S., Das, S.K., and Sahoo, P, “Properties of electroless nickel at elevated temperature a review,” *Procedia Engineering.*, vol. 97, pp. 1698-1706, 2014.
- [16] Gadhari, P., and Sahoo, P, “ Effect of process parameters on corrosion resistance of Ni-P-Al₂O₃ composite coating using electrochemical impedance spectroscopy,” *Portugaliae Electrochimica Acta.*, vol. 33 (1), pp. 49-68, 2015.
- [17] Islam, M., Azhar, M. R., Fredj, N., and Burleigh, T. D, “Electrochemical impedance spectroscopy and indentation studies of pure and composite electroless Ni-P coatings,” *Surface and Coatings Technology.*, vol. 236, pp.262-268, 2013.
- [18] Afroukhteh, S., Dehghanian, C., and Emamy, M, “ Preparation of electroless Ni-P composite coatings containing nano-scattered alumina in presence of polymeric surfactant,” *Progress in Natural Science: Materials International.*, vol. 22(4), pp. 318-325, 2012.
- [19] Allen, R. M., and Vander Sande, J. B., “The structure of electroless Ni--P films as a function of composition,” *Scripta Metallurgica.*, vol. 16, 1982, p: 1161-1164.
- [20] Febrianto, “Analisis fluktuasi arus korosi saat hancurnya lapisan pasif dan repasifasi oleh ion klorida,” *Prosiding Seminar Nasional ke-15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir.*, Surakarta, 2009.

