

PENGARUH TEMPERATUR PELAPISAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP LAJU KOROSI LAPISAN *ELECTROLESS* NI-P BAJA KARBON RENDAH ASTM A36

Iman Saefuloh¹, Ipick Setiawan², Sunardi³, Miftahul Jannah⁴, Rina Lusiani⁵

¹ Jurusan Teknik Mesin FT. Untirta; ² Jurusan Teknik Mesin FT. Untirta; ³ Jurusan Teknik Mesin FT. Untirta; ⁴ Jurusan Teknik Mesin FT. Untirta; ⁵ Jurusan Teknik Mesin FT. Untirta;
Email: iman.saefuloh@untirta.ac.id)

ABSTRACT

The use of ASTM A36 low carbon steel as the building material for the construction of modified pipes and tanks using the Electroless Ni-P coating process. This process aims to improve the properties that the ASTM A36 steel plate must have from its corrosion resistance. With variations in the effect of coating temperature and surface roughness and by the addition of the heat treatment process, the characteristics of the electroless Ni-P layer are in the form of corrosion rates, hardness, microstructure and percentage of nickel content analyzed. With a surface variation of 0.28 μm , 0.15 μm and 0.07 μm and a coating temperature variation of 60° C, 70° C and 80° C and with the addition of a heat treatment of 500° C for 120 minutes. The test results show that the more rough the surface and the higher the coating temperature causes the layer to have a better corrosion resistance value. The heat treatment process of 500° C for 120 minutes significantly increases the corrosion resistance value but cannot significantly increase the rockwell hardness test in the range of 70-80 HRB.

Keywords: ASTM A36 Steel, corrosion resistance, electroless Ni-P, temperature variation, hardness rockwell

ABSTRAK

Pemakaian bahan baja karbon rendah ASTM A36 sebagai bahan dasar bangunan konstruksi pipa dan tanki yang dimodifikasi menggunakan proses pelapisan *Electroless* Ni-P. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan sifat-sifat yang harus dimiliki oleh plat baja ASTM A36 dari ketahanan korosinya. Dengan variasi temperatur pelapisan dan kekasaran permukaan serta penambahan proses perlakuan panas, karakteristik lapisan *electroless* Ni-P berupa nilai laju korosi, kekerasan, struktur mikro dan persentase kandungan nikel dianalisis. Dengan variasi kekaasaran permukaan 0,28 μm , 0,15 μm dan 0,07 μm serta variasi temperatur pelapisan 60° C, 70° C dan 80° C dan dengan penambahan perlakuan panas 500° C selama 120 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin kasar permukaan dan semakin tinggi temperatur pelapisan menyebabkan lapisan tersebut memiliki nilai ketahanan korosi yang lebih baik. Proses perlakuan panas 500° C selama 120 menit meningkatkan nilai ketahanan korosi secara signifikan tetapi tidak dapat meningkatkan uji kekerasan *rockwell* secara signifikan tetap berada di kisaran 70-80 HRB.

Kata kunci: baja ASTM A36, electroless Ni-P, kekerasan rockwell, ketahanan korosi, variasi temperatur

PENDAHULUAN

Baja ASTM A36 tergolong baja karbon rendah yang mempunyai fungsi untuk bangunan konstruksi seperti pipa, tanki, dan juga bisa digunakan untuk bahan pembuatan kapal. Plat baja ASTM A36 juga mudah terkorosi (Iman Saefuloh dkk,

2021). Banyak cara untuk melindungi plat baja dari korosi salah satunya adalah *dicoating*. Pada umumnya pipa tanki harus tahan terhadap korosi agar umur pakai pipa dan tanki tersebut tahan lama. Oleh karena itu untuk meningkatkan sifat-sifat yang harus dimiliki oleh plat baja ASTM A36 dari ketahanan korosinya dapat dilakukan

dengan perlakuan permukaan (*surface treatment*) (Ray Adam Baihaki dkk. 2019).

Metode perlakuan permukaan sudah banyak diteliti dan dikembangkan antara lain *elektroplating*, *electrolessplating*, *elektroforming*, desposisi uap dan lain sebagainya (Fontana dan GM, 1987).

Namun dalam segi ekonomi metode *electrolessplating* lebih ekonomis karena prosesnya tidak membutuhkan energi yang besar, metode *electrolessplating* ini adalah proses pelapisan nikel pada permukaan substrat tanpa listrik merupakan metode alternatif, karena tidak menggunakan energi listrik dalam pelapisannya dan media cairan pelapis yang digunakan adalah *Nickel Phosphor* terhadap material tersebut, disamping itu metode *plating* nikel tanpa listrik banyak digunakan karena memiliki keunggulan. Lapisan *nickel-posphor* yang dihasilkan oleh *electrolessplating* umumnya seragam pada seluruh permukaan substrat, baik eksternal dan internal, sehingga dapat digunakan untuk melapisi benda kerja dengan bentuk kompleks dan lapisan ini memiliki daya tahan terhadap korosi yang baik (Ron P, 2015).

Metode pelapisan ini pun lebih efisien karena tidak memerlukan peralatan yang rumit. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini penulis menggunakan metode *electroless nickel-posphor plating* pada material plat baja ASTM A36 yang pada umumnya digunakan pada konstruksi tanki dan pipa. Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, tentang pengaruh kekasaran permukaan dan kecepatan pengadukan terhadap karakteristik lapisan *electroless Ni-P* pada baja tahan karat martensitik 420, bahwa kekasaran yang bervariasi pada permukaan benda uji mempengaruhi daya lekatnya. Semakin kasar suatu permukaan maka akan menghasilkan daya lekat yang lebih kuat

lagi, dan semakin cepat kecepatan pengadukan menghasilkan ketebalan yang lebih tebal (Ron P, 2015). Pada penelitian yang lain yang juga telah dilakukan tentang pengaruh suhu dan waktu pemanasan terhadap karakteristik lapisan elektroless Ni-P pada baja tahan karat martensitik ss 420. Menghasilkan pada suhu 500° C selama 120 menit memiliki nilai korosi yang terbaik (Dwi R Rafi dkk., 2018). Dan pada penelitian tentang pengaruh konsentrasi hipofosfit dan waktu pelapisan terhadap karakteristik mikrostruktur lapisan *electroless Ni-P* menghasilkan bahwa waktu pelapisan 120 menit adalah kondisi optimum untuk pelapisan karena menghasilkan lapisan dengan mikrostruktur dan distribusi komponen yang seragam (Nurhakim Bahtiar dkk., 2017, Nikitasari Arini dkk., 2017, Lestari Yulinda, dkk., 2016, dan Iman Saefuloh, dkk., 2017).

Maka dari itu, pada penelitian kali ini penulis akan melakukan penelitian pelapisan pada plat baja ASTM A36 dengan metode *electroless Ni-P* dengan variasi kekasaran permukaan dan pengaruh temperatur pelapisan, selama 120 menit waktu pelapisan dengan ditambahkan perlakuan panas selama 120 menit pada suhu 500°C terhadap laju korosi dan uji kekerasan lapisan *electroless Ni-P*.

METODE PENELITIAN

Ada 4 tahapan proses dalam melaksanakan penelitian ini antara lain:

1. Preparasi sampel

Memotong baja ASTM A36 dengan dimensi 2x3cm, setelah itu menghilangkan sisa pemotongan dan karat dengan gerinda tangan, kemudian mengamplas permukaan sampel dengan amplas grid 400, 800 dan 1200, proses selanjutnya adalah mencuci sampel dengan detergent, selanjutnya

mencelupkan sampel kedalam cairan kimia HNO₁₀ ml + 20 mlHCL + 30 ml aquades selama 2 menit, dan langkah terakhir adalah dengan membilas sampel dengan aquades.

2. Menyiapkan larutan electroless

Larutan *electroless* Ni-P dibuat dengan mencampurkan sejumlah bahan yang dicampur kedalam gelas berisi 500 ml aquades, dengan komposisi:

- Nickel Sulfat 35 g/l, dibuat 500 ml maka 17,5 gr
- Sodium Hiposfit 20 g/l, dibuat 500 ml maka 10gr
- Sodium Acetit 5 g/l, dibuat 500 ml maka 2,5 gr
- Sodium Citrat 15 g/l, dibuat 500 ml maka 7,5 gr

Proses pelapisan

Sebelum proses pelapisan dimulai, pastikan terlebih dahulu larutan *electroless* Ni-P sudah berada pada suhu yang telah ditentukan sesuai dengan variasi suhu yang telah ditentukan yaitu 60°, 70° dan 80°C dan memiliki PH 4-5. Setelah itu sampel diikatkan pada tiang statif diatas gelas beaker perendaman. Proses pelapisan dilakukan dengan variasi suhu pelapisan dan kekasaran permukaan yang berbeda dan lamanya proses pelapisan yaitu 120 menit. Dibawah ini data dari perbedaan variasi perlakuan sampel selama proses pelapisan berlangsung.

Tabel 1. Daftar Variabel sampel

No	Ukuran kekasaran amplas (grit)	Kekasaran permukaan hasil amplas (ra)	Temperatur pelapisan
1	400	0.28	60
2	400	0.28	70
3	400	0.28	80
4	800	0.15	60
5	800	0.15	70
6	800	0.15	80
7	1200	0.07	60
8	1200	0.07	70
9	1200	0.07	80

3. Perlakuan panas

Setelah proses pelapisan selesai sampel dikeringkan terlebih dahulu kemudian, sampel diberi perlakuan panas pada furnace dengan suhu 500° C selama 120 menit. Proses ini bertujuan untuk melihat perbedaan sampel yang melalui perlakuan panas dengan yang tidak.

4. Pengujian nilai laju korosi dengan immersion method

Analisis uji korosi digunakan untuk mengetahui seberapa kuat lapisan terhadap korosi yang terjadi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode *weight loss* yang mengacu pada standar ASTM G 31. Pengujian dilakukan dengan media larutan HCL 10% yang direndam 24 jam. Didapat nilai laju korosi dengan menggunakan rumus (ASTM G31-72) pers 1:

$$\text{Laju korosi} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots \text{Pers. 1}$$

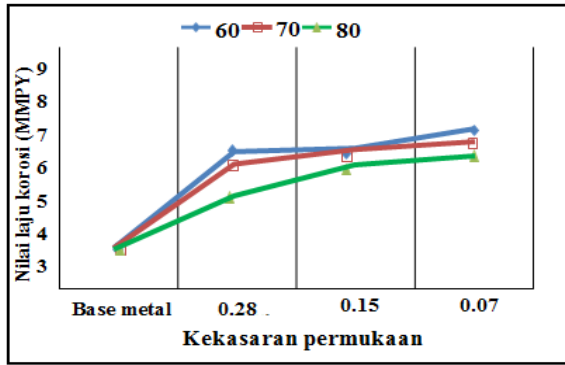
Dimana :

- K = Konstanta (mmpy = 8,76 x 10⁴)
- W = Kehilangan berat (gram)
- D = Densitas (gram/cm³)
- A = Luas permukaan (cm²)
- T = Waktu perendaman (jam)

HASIL DAN PEMBAHASAN

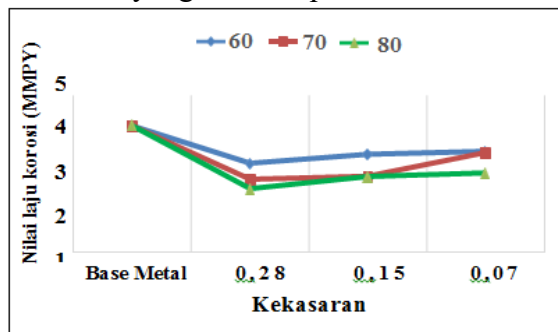
Analisa hasil pengujian kekerasan

Pada gambar 1 diatas dapat dilihat sebelum proses perlakuan panas nilai laju korosi pada semua sampel berada diatas sampel yang tidak dilapisi. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan yang terbentuk belum merekat kuat pada daerah substrat logam dasar sehingga lapisan tersebut mudah untuk terjadi korosi.



Gambar 1. Grafik hubungan laju korosi terhadap temperatur dan kekasaran permukaan sebelum proses perlakuan panas

Pada gambar 1 menunjukkan nilai laju korosi pada sampel yang melalui proses perlakuan panas dan didapatkan hasil yang lebih baik daripada sampel yang tidak dilapisi dan juga lebih baik sampel yang telah dilapisi tetapi tidak diberikan perlakuan panas. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan yang melapisi sampel telah melekat ke substrat logam dasar sehingga tidak mudah untuk terserang korosi. Pada variabel temperatur pelapisan ini dapat kita lihat bahwa nilai korosi yang lebih baik adalah pada suhu pelapisan 80°C kemudian 70°C dan yang terakhir pada suhu 60°C.



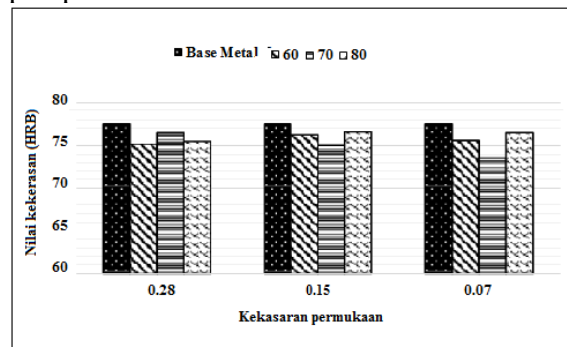
Gambar 2. Grafik hubungan laju korosi terhadap temperatur dan kekasaran permukaan setelah proses perlakuan panas

Pada gambar 2 terlihat perbedaan nilai laju korosi yang tidak melalui proses perlakuan panas dan sampel yang melalui proses perlakuan panas setelah proses pelapisan dilakukan. Nilai laju korosi setelah proses perlakuan panas mempunyai nilai yang lebih baik daripada sampel yang tidak dilapisi dan sampel yang tidak melalui proses perlakuan panas setelah proses

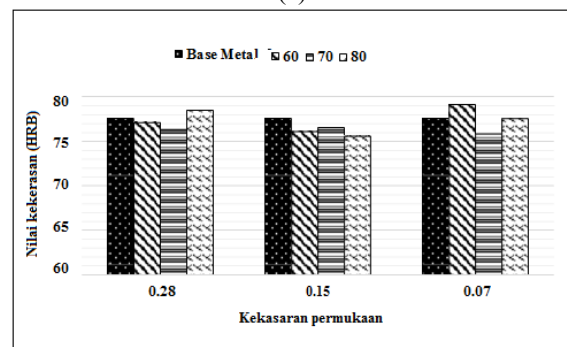
pelapisan. Pada variabel ini, dengan variasi kekasaran permukaan menunjukkan bahwa nilai kekasaran permukaan 0,28 μm adalah nilai kekasaran permukaan terbaik pada uji laju korosi, yang kemudian pada nilai kekasaran permukaan 0,15 μm dan yang terakhir pada nilai kekasaran permukaan 0,07 μm . Semakin kasar permukaan lapisan, lapisan semakin kuat daya rekatnya.

Analisa hasil pengujian kekerasan

Analisis uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari baja yang telah dilapisi dengan pelapisan *electroless* Ni-P. Pengujian ini menggunakan metode *Rockwell* dengan standar JIS Z 2245 (2016) yang dilakukan di PT. Krakatau Steel. Pengujian ini meliputi semua variabel kekasaran permukaan dan temperatur pencelupan serta perlakuan panas yang diberikan setelah pelapisan.



(a)



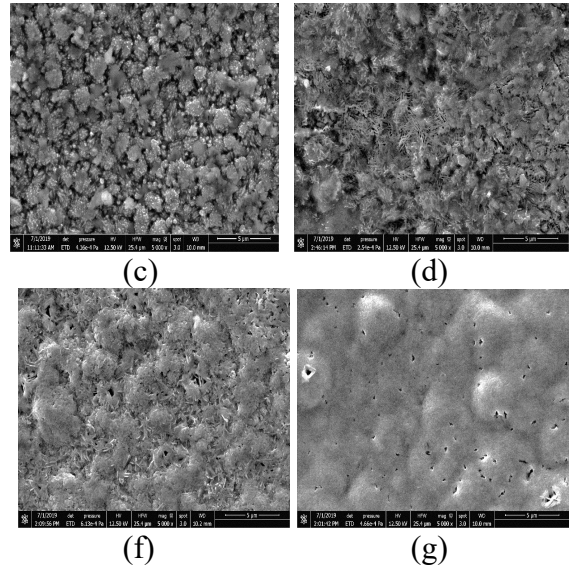
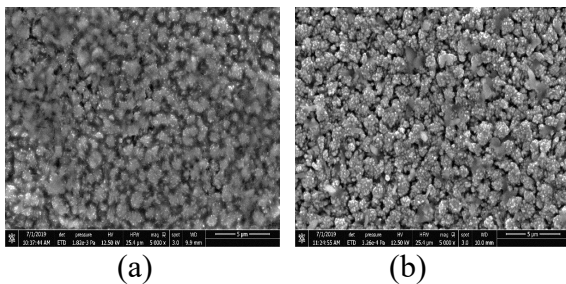
(b)

Gambar 3. Grafik hubungan nilai kekerasan terhadap temperatur dan kekasaran permukaan pelapisan hasil perlakuan panas (HT) (a) sebelum Proses (HT) (b) setelah Proses (HT)

Pada gambar 3 variabel pengaruh temperatur pencelupan dapat kita lihat nilai kekerasan antara *base metal*, logam yang telah dilapisi, dan logam yang telah dilapisi serta diberi perlakuan panas nilai uji kekerasan pun tidak merubah nilai kekerasan karena pada dasarnya pelapisan *electroless* Ni-P ini tidak mengubah sifat mekanik kekerasan logam dasar yang dilapisi dan tujuan dari proses pemanasan tersebut adalah untuk merekatkan lapisan yang sudah dilapisi sehingga nilai korosinya meningkat. Dapat kita lihat pada variabel ini dengan nilai kekasaran permukaan yang berbeda, nilai uji kekerasan sebelum dan setelah proses perlakuan panas nilai kekerasan tidak berubah secara signifikan bahkan bisa dibilang stabil di kisaran nilai 70-80. Pengaruh variasi kekasaran permukaan pada proses pelapisan tidak dapat membuat nilai kekerasan baja ASTM A36 meningkat, sehingga didapatkan hasil yang tidak begitu jauh dengan sampel yang tidak dilapisi.

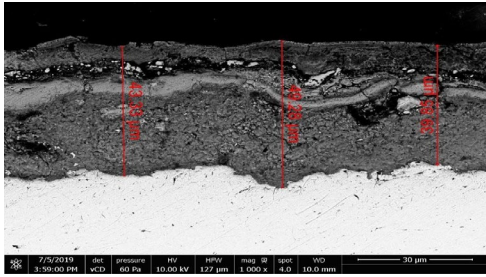
Analisis Morfologi Hasil Lapisan Electroless Ni-P menggunakan SEM

Analisis permukaan hasil pelapisan *electroless* Ni-P dengan menggunakan *Scanning electron microscopy energy* (SEM) merk FEI dengan type QUANTA 650. Untuk mengetahui struktur lapisan yang terbentuk dari hasil pelapisan, komposisi kimia dari lapisan dan juga ketebalan lapisan. Pengujian SEM dilakukan di PT. Cipta Mikro Material, Tangerang Selatan.



Gambar 4. Hasil pengamatan Struktur lapisan menggunakan SEM perbesaran 5000x, sebelum (grit) (a) 400 (b) 800 (c) 1200 dan sesudah *electroless* pada kekasaran amplas (grit) (a) 400 (b) 800 (c) 1200

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin kasar permukaan besar struktur butir semakin kecil. Variasi kekasaran permukaan pada grade 400 dengan nilai kekasaran permukaan $0,28 \mu\text{m}$ sebelum melewati proses perlakuan panas memiliki struktur butir yang kecil dan merata tetapi tidak rapat dan setelah proses perlakuan panas struktur butir terlihat kecil namun tidak merata serta terlihat lebih rapat. Kemudian pada variasi kekasaran permukaan 800 dengan nilai kekasaran permukaan $0,15 \mu\text{m}$ sebelum melewati proses perlakuan panas memiliki struktur butir yang sedang dan merata dan setelah perlakuan panas dapat kita lihat struktur butir menjadi lebih besar dan terlihat rapat. Kemudian pada variasi kekasaran permukaan 1200 dengan nilai kekasaran permukaan $0,07 \mu\text{m}$ sebelum melewati proses perlakuan panas memiliki struktur butir yang besar dan merata dan setelah perlakuan panas dapat kita lihat struktur butir menjadi lebih besar dan tidak merata, bahkan struktur butir tidak terlalu terlihat disini hanya saja struktur butir tersebut terlihat rapat.

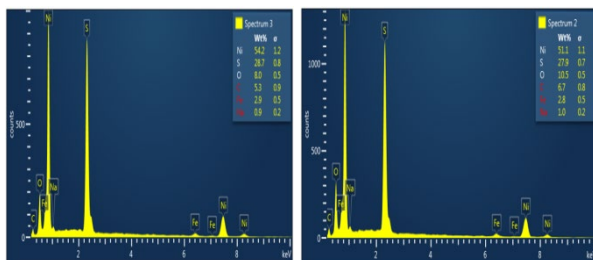


Gambar 6. Ketebalan lapisan hasil pengamatan menggunakan SEM dengan perbesaran 5000x

Pada gambar 6 menunjukkan hasil ketebalan lapisan dari sampel dengan variasi grade kekasaran permukaan 400 dengan suhu pelapisan 80° C selama 120 menit dengan proses perlakuan panas pada suhu 500° C selama 120 menit menggunakan SEM. Dari gambar 8 perbesaran 1000x diatas dapat dilihat bahwa ketebalan lapisan paling tinggi yaitu sebesar 49,28 µm, dengan rata-rata ketebalan lapisan sebesar 44,153 µm

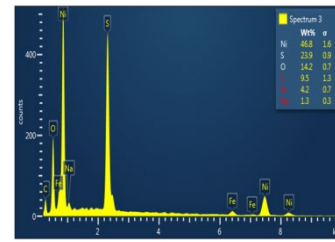
Analisis Kandungan Bahan Baku Menggunakan (SEM-EDS)

Analisis kandungan yang terkandung pada bahan baku yang digunakan pada penelitian ini diuji dengan *Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive Spectrometry* (SEM EDS) Untuk mengetahui kandungan unsur yang terkandung. Pada lapisan ini terdapat berbagai unsur seperti *carbon*, *oksigen*, *natrium*, *sulfur*, besi, dan nikel. Namun unsur yang paling banyak adalah nikel dan *sulfur*. Data komposisi unsur setiap sampel ini dapat dilihat masing-masing pada tabel dibawah ini (H.E. Exner and S. Weinbruch.).



(a)

(b)



(c)

Gambar 8. Komposisi lapisan hasil pengamatan SEM-EDS pada temperatur pelapisan (a) 60°C (b) 70°C dan (c) 80°C

Kandungan unsur *nickel* yang paling besar sebelum dan setelah pemanasan terkandung pada variasi grade kekasaran permukaan 0,28 µm dengan suhu pelapisan 80°C selama 120 menit dengan nilai kandungan nikel sebelum perlakuan panas sebanyak 54.22% dan setelah perlakuan panas sebanyak 51.88%, kemudian pada variasi grade kekasaran permukaan 0,15 µm dengan suhu pelapisan 80°C selama 120 menit dengan nilai kandungan nikel sebelum perlakuan panas sebanyak 51.12% dan setelah perlakuan panas sebanyak 50.56%, dan yang terakhir memiliki unsur nikel sedikit ada pada variasi grade kekasaran permukaan 0,07 µm dengan suhu pelapisan 80°C selama 120 menit dengan nilai kandungan nikel sebelum perlakuan panas sebanyak 46.85% dan setelah perlakuan panas sebanyak 45.11%.

Nickel merupakan senyawa yang berfungsi untuk menahan laju korosi, lapisan yang mengandung unsur *nickel* lebih banyak memiliki nilai korosi yang lebih rendah. Namun dengan adanya perlakuan panas komposisi nikel pada lapisan berkurang tetapi tidak berbeda jauh dari komposisi awal sebelum diberi perlakuan panas, tetapi perlakuan panas ini menyebabkan lapisan yang terbentuk lebih rapat dan menempel ke daerah substrat maka nilai laju korosi yang didapat jauh lebih baik.

Analisa faktor pengaruh dari kedua variabel proses

Dengan menggunakan rumus dibawah ini maka didapatkan nilai sebaran distribusi persentase variabel yang paling berpengaruh pada penelitian ini antara temperatur pelapisan dan kekasaran permukaan sesuai dengan nilai laju korosinya:

$$\frac{\bar{x} \text{ tertinggi} - \bar{x} \text{ terendah}}{\bar{x} \text{ tertinggi}} \times 100\% \dots \text{ pers. 2}$$

Table 2. Daftar distribusi Persentase pengaruh temperatur Pelapisan

Temperatur Pelapisan (°C)	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Nilai Rata-Rata Variabel (mmpy)
60	2.8162	3.0410
	3.1038	
	3.2029	
70	2.3085	2.6272
	2.4076	
	3.1656	
80	2.0033	2.2993
	2.3915	
	2.5032	

Persentasi pengaruh temperatur pelapisan:

$$\frac{3.0410 - 2.2993}{3.0410} \times 100\% = 24.4\% \dots \text{ pers. 3}$$

Table 3. Daftar distribusi Persentase pengaruh kekasaran permukaan

Temperatur Pelapisan (°C)	Nilai Laju Korosi (mmpy)	Nilai Rata-Rata Variabel (mmpy)
0.28	2.8162	2.3760
	2.3085	
	2.0033	
0.15	3.1038	2.6343
	2.4076	
	2.3915	
0.07	3.2029	2.9572
	3.1656	
	2.5032	

Sehingga persentasi pengaruh kekasaran permukaan:

$$\frac{2.9572 - 2.3760}{2.9572} \times 100\% = 19.7\% \dots \text{pers. 4}$$

Sesuai tabel 2 dan tabel 3 diatas dan perhitungan distribusi persentasi pengaruh maka variable yang berpengaruh adalah temperatur pelapisan dengan persentasi

24.4% jika dibandingkan dengan kekasaran permukaan yang memiliki persentasi 19.5%.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa maka dapat disimpulkan bahwa temperatur pelapisan berpengaruh terhadap hasil *electroless* Ni-P, semakin tinggi suhu pelapisan semakin baik lapisan dan laju korosinya semakin baik (menurun). Demikian pula dengan Kekasaran permukaan, semakin kasar permukaan lapisan semakin baik dan tahan terhadap laju korosinya. Proses perlakuan panas berpengaruh terhadap hasil *electroless* Ni-P, dengan pemberian perlakuan panas permukaan baja ASTM A36 lebih tahan terhadap korosi yang ditunjukkan nilai laju korosi yang semakin rendah. Untuk ketiga variable penelitian perubahan temperatur yang paling berpengaruh besar terhadap peningkatan ketahanan korosinya bila dibandingkan dengan kedua variable yang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu berjalannya penelitian ini (Laboratorium teknik mesin Untirta, LIPI material dan metallurgy, Laboratorium kimia dasar Untirta), serta teman-teman yang mendukung terlaksananya penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Penelitian ini dilakukan dengan pendanaan mandiri peneliti.

DAFTAR RUJUKAN

Iman Saefuloh, dkk. 2021, *Pengaruh Variasi Kecepatan Pengadukan dengan Penambahan Perlakuan Panas Lapisan Electroless Ni-P terhadap Laju Korosi dan Kekerasan Permukaan Baja Karbon Rendah ASTM A36*, Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.16, No.2, pp. 241-248

- Ray Adam Baihaqi, Herman Pratikno, Yoyok Setyo, Hadiwidod, 2019, *Analisis Sour Corrosion pada Baja ASTM A36 Akibat Pengaruh Asam Sulfat dengan Variasi Temperatur dan Waktu Perendaman di Lingkungan Laut*, Jurnal Teknik ITS. Vol 8, No 2 hal.237-242
- Ron P. 2015, Properties and application electroless nickel. Amerika Serikat. Nickeldevelopment institute.
- Dwi Rachman Rafi, Nikitasari Arini, dkk. 2018, *Pengaruh Kekasaran Permukaan Dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Karakteristik Lapisan Electroless Ni-P Pada Baja Tahan Karat Martensitik SS 420*. Widyasari. Vol. 4, No.1
- Nurhakim Bahtiar, Nikitasari Arini, dkk.. 2017, *Pengaruh Suhu Dan Waktu Pemanasan Terhadap Karakteristik Lapisan Electroless Ni-P Pada Baja Tahan Karat Martensitik SS 420*. Jurnal Sains Materi Indonesia. ISSN : pp.1411-1417
- Nikitasari Arini, Mabururi Efendi, dkk. 2017. *Kengaruh konsentrasi Hipofosfit dan Waktu Pelapisan terhadap Karakteristik Mikrostruktur Lapisan Electroless Ni-P*. Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik Vol.7, No.1, pp.1-6
- Lestari Yulinda, Mabururi Efendi, dkk. 2016, *Studi pelapisan komposit Ni-P-Nano Al_2O_3 dengan metode electroless co-deposition*. Jurnal Material Metalurgi vol) 1, 2016, pp.1-68
- Iman Saefuloh, dkk. 2017, *Studi Analisa Kuat Arus Proses Elektroplating Dengan Pelapis Nikel Cobalt Terhadap Kekerasan, Ketahanan Korosi, Dan Penambahan Tebal Baja Karbon Rendah St 41*. FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta. Vol. 3, no. 2 pp.42-47
- ASTM G31-72, "Practice For Laboratory Immersion Corrosion Testing Of Metals".
- H.E. Exner and S. Weinbruch. Scanning Electron Microscopy, Metallography and Microstructures, ASM Handbook, ASM