

Investigasi Pengaruh Suhu Larutan Terhadap Struktur Lapisan Cu/Ni pada Pada Elektrodeposisi Berbantuan Medan Magnet Sejajar

Investigation on Effect of Solution Temperature on The Structure of Cu/Ni Layer in The Electroplating Assisted with Parallel Magnetic Field

M. Taufiqurrahman, Moh. Toifur*, Ishafit, dan Azmi Khusnani
Jurusan Pendidikan Fisika, Program Pascasarjana, Universitas Ahmad Dahlan.

Received March, 2020, Accepted May, 2020

DOI: 10.24815/jacps.v9i3.16351

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh variasi suhu larutan terhadap struktur lapisan yang terbentuk melalui metode elektroplating. Larutan elektrolit dibuat dengan campuran NiSO_4 , NiCl_2 , H_3BO_3 , dan H_2O . Elektroplating dilakukan selama 180 s dengan tegangan 4,5 V dan medan magnet 150 G pada arah sejajar permukaan katoda-anoda. Hasil penelitian menunjukkan suhu mempengaruhi ketebalan lapisan, arus listrik, jumlah zat yang terlepas dan terbentuk dan pH larutan. Lapisan paling tebal adalah sampel hasil deposisi pada suhu 40°C dengan ketebalan $[(133,8 \pm 0,9745) \times 10^{-5}]$ cm pada pH 4,21. Kemudian yang paling tipis adalah sampel hasil deposisi pada suhu 60°C dengan ketebalan $[(59,83 \pm 0,6270) \times 10^{-5}]$ cm pada pH 4,18. Ketebalan lapisan yang terbentuk sebanding dengan jumlah zat terlarut dan jumlah arus yang mengalir selama pelapisan berlangsung.

The purpose of this study is to identify the effect of temperature variations on the structure of the layers formed through the electroplating method. Electrolyte solution was made with mixture of NiSO_4 , NiCl_2 , H_3BO_3 , and H_2O . Electroplating was carried out for 180 s on the voltage of 4.5 V and magnetic field parallel to 150 G. The results showed temperature affects the thickness of the layer, electric current, the amount of released and formed substances and the pH of the solution. The thickest of layer is according to the sample deposited at a temperature of 40°C with a thickness of $[(133,8 \pm 0,9745) \times 10^{-5}]$ cm at pH of 4.21. Then the thinnest one was according to the sample which was deposited at 60°C with a thickness of $[(59,83 \pm 0,6270) \times 10^{-5}]$ cm at pH of 4.18. The thickness of the layer is proportional to the amount of solute and the amount of current flowing during the coating.

Keywords: Elektroplating, Flim Tipis, Cu/Ni, Suhu Larutan, Magnet Sejajar.

Pendahuluan

Kajian penggunaan bahan tembaga (Cu) dan nikel (Ni) diketahui dapat menjadi sensor suhu yang mampu mengukur suhu dari rentan 400°C sampai $-234,5^\circ\text{C}$ (Afsarimanesh and Ahmed., 2011; Yang *et al.*, 2011). Kelebihan penggunaan Cu dan Ni sebagai sensor suhu dikarenakan oleh nilai koefisien resistansi suhu yang relatif tinggi yaitu mencapai $4300 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ (Lukose *et al.*, 2016). Meskipun kualitasnya tak sebagus pelatina (pt) namun saat kedua bahan digabungkan menjadi Cu/Ni berpotensi

dapat menjadi sensor suhu rendah pada bidang medis untuk teknik *cryonic*. Terlebih lagi kebutuhan sensor suhu rendah pada bidang kesehatan sangat dibutuhkan sebagai sensor *cryonic* (Soto *et al.*, 2017 ;Wustha *et al.*, 2020). Salah satu metode pembuatan sensor suhu rendah dengan jenis RTD (*Resistance temperature detector*) dapat menggunakan elektroplating. Metode elektroplating dipilih dikarenakan metode ini lebih murah dan mudah (Boylestad, 2014 ;Toifur *et al.*, 2019). Elektroplating digunakan untuk menumbuhkan

lapisan berbentuk flim Ni pada permukaan Cu menjadi Cu/Ni (Lukoseet *et al.*, 2016). Struktur lapisan yang berbentuk endapan Ni pada permukaan Cu sangat mempengaruhi kepekaan sensor suhu rendah nantinya. Semakin teratur susunan kristal penyusun akan menyebabkan semakin baik kepekaan sensor tersebut. Oleh karena itu perlu diperhatikan beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan electroplating seperti pH dan suhu larutan (Luo *et al.*, 2006). pH sangat penting dikarenakan dapat mengontrol evolusi gas hidrogen (Toifuret *al.*, 2019). Sehingga mencegah pembentukan lapisan yang rapuh dengan kehadiran gelembung di dalam lapisan. Sedangkan suhu berfungsi mengencerkan larutan maka semakin mudah bagi ion untuk menembus larutan ke arah katoda dan membentuk endapan (Toifur *et al.*, 2019). Kemudian bantuan medan magnet sejajar membantu pembentukan struktur nanokomposit dengan tekstur yang lebih kuat (Gu *et al.*, 2017).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh suhu larutan terhadap pembentukan struktur lapisan sehingga nantinya dapat memperbaiki kualitas bahan saat diaplikasikan sebagai sensor suhu rendah. Dalam penelitian ini dilakukan sintesis Cu/Ni dengan variasi suhu larutan mulai dari 30°C sampai 70°C selama 180 s dengan penggunaan medan magnet 150 G dan tegangan 4,5 V.

Metodologi

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Prosedur penelitian dilakukan dalam tiga tahap, yakni preparasi sampel, tahap electroplating dan analisis data.

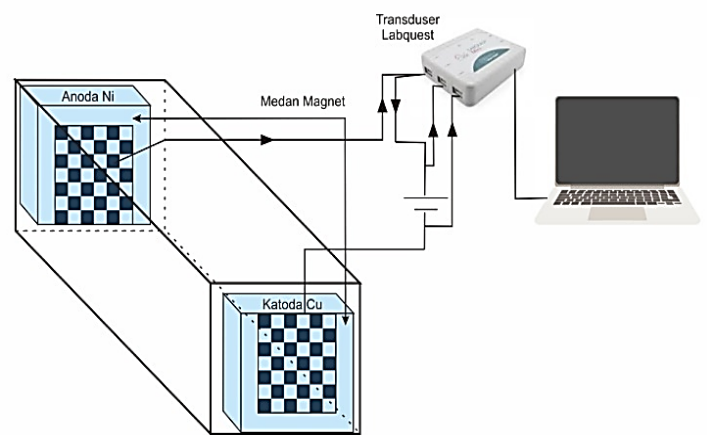
Tahap preparasi sampel

Tahap preparasi sampel merupakan tahap awal dilakukan penelitian pembuatan lapisan tipis Cu/Ni sebagai sensor suhu rendah. Prosedur penyiapan sampel adalah dengan membersihkan plat Cu dengan autosol guna menghilangkan kotoran yang menempel pada permukaan sampel, setelah itu sampel dipotong dengan pola khusus dan ditemplei *cutting sticker* dan dirontokkan menggunakan feriklorid. Setelah sampel terbentuk sesuai dengan pola yang diinginkan kemudian sampel dibersihkan dengan rinso, dibilas dengan aquades, di gosok dengan pasta gigi, dan dibersihkan dengan menggunakan *ultrasonic cleaner* yang terdapat alkohol didalamnya selama 30 menit. Kemudian

sampel dibilas dan dikeringkan untuk kemudian disimpan pada tempat yang kering agar terhindar dari korosi.

Tahap electroplating

Tahap electroplating disiapkan larutan H₃BO₃, NiCl₂, NiSO₄, yang dilarutkan dalam aquades 100 ml dengan pengadukkan selama 3 jam. Proses electroplating merupakan tahap pelapisan Cu menggunakan Ni dengan variasi suhu larutan 30 – 70°C dengan kelipatan 10°C disetiap variasi selama 5 kali, tegangan yang digunakan adalah sebesar 4,5 volt dengan medan magnet luar sejajar sebesar 150 G selama 180 s. Skema rangkaian alat eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema alat eksperimen untuk electroplating berbantuan medan magnet sejajar elektroda.

Metode analisis data

Menentukan ketebalan lapisan yang terbentuk saat dilakukan deposisi Ni pada variasi suhu larutan dengan medan magnet luar sejajar adalah dengan menimbang massa Cu sebelum pelapisan dan setelah pelapisan. Kemudian menghitung ketebalan menggunakan persamaan (Toifuret *al.*, 2018 ;Aliofkhazraei, 2015).

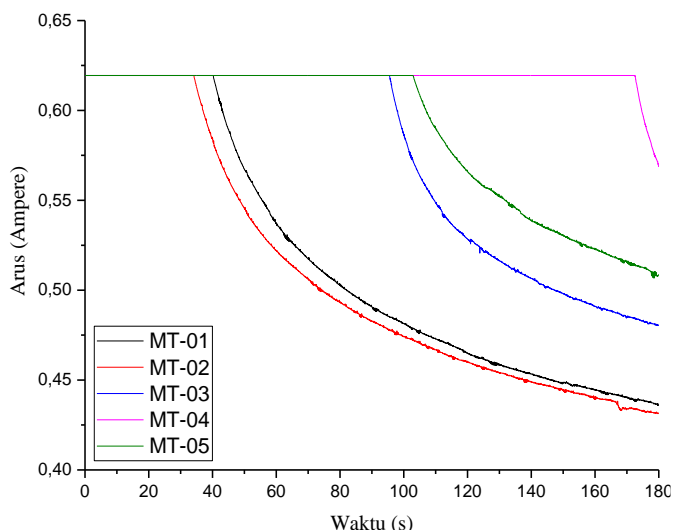
$$D = \frac{\Delta m}{\rho A} = \frac{m_1 - m_2}{\rho A} \tag{1}$$

Dimana, *D* adalah ketebalan (cm²), Δm adalah $m_{Cu} - m_{Cu/Ni}$ (gr), ρ adalah massa jenis nikel (gr/cm³), *A* adalah luas permukaan sampel (cm²). Kemudian *d* dihitung menggunakan Pers. (2).

$$s_d = \sqrt{\left(\frac{1}{\rho A} S_{m_{Cu/Ni}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\rho A} S_{m_{Ni}}\right)^2 + \left(\frac{m_{Cu/Ni} - M_{Cu}}{\rho A^2} S_A\right)^2} \tag{2}$$

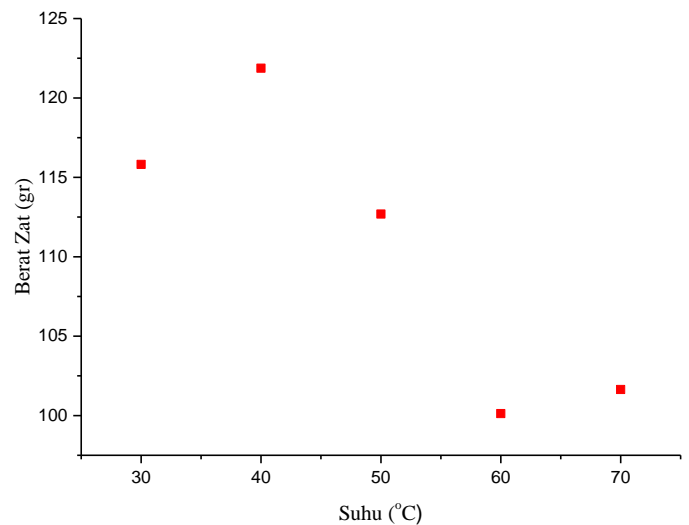
Hasil Penelitian

Pertumbuhan logam pelapis dan nukleasi dari larutan sangat dipengaruhi oleh suhu, arus, dan juga tegangan yang berperan penting dalam proses deposisi (Abbott *et al.*, 2015). Penerapan medan magnet sejajar ($B_{//}$) pada proses elektroplating dapat mempengaruhi efisiensi arus dan struktur lapisan (Gu *et al.*, 2017). Sehingga visualisasi arus pada saat elektroplating menggambarkan pola yang berbeda. Arus pada proses elektroplating menggambarkan laju penumbuhan struktur lapisan Ni pada permukaan Cu. Penggunaan medan magnet (B) pada proses elektroplating membantu menstabilkan arus (Khusnani *et al.*, 2019). Penggunaan $B_{//}$ dengan elektrode mengakibatkan perbedaan laju pertumbuhan Ni. Gambar 2 menunjukkan bahwa laju penumbuhan Ni pada suhu larutan 70°C terjadi selama 43,5 s, laju penumbuhan Ni pada suhu larutan 60°C terjadi selama 36,95 s, laju penumbuhan Ni pada suhu larutan 50°C terjadi selama 97,85 s, laju penumbuhan Ni pada suhu larutan 40°C terjadi selama 174,65 s, dan laju penumbuhan pada suhu larutan 30°C terjadi selama 106,9 s. Seritan (2015) menyatakan bahwa peningkatan suhu larutan elektrolit terutama pada suhu tinggi dapat menyebabkan terjadinya pengurangan efisiensi arus. Dengan berkurangnya efisiensi arus maka jumlah ion-ion Ni yang terdeposit pada substrat juga menurun sehingga menyebabkan pembentukan struktur lapisan yang tipis. Hal ini terjadi karena peningkatan suhu larutan mengakibatkan meningkatnya transportasi massa logam (Su *et al.*, 2009). Sehingga pengendapan partikel dan evolusi hidrogen semuanya dikendalikan oleh defusi massa.

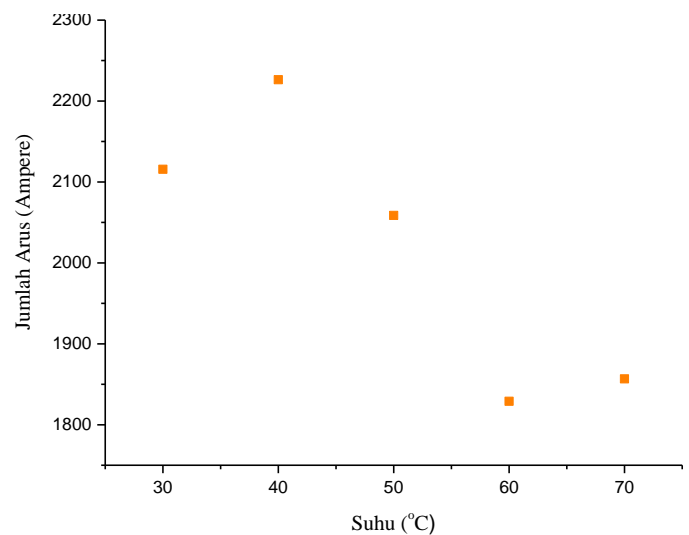


Gambar 2 Grafik hubungan arus plating terhadap waktu

Terjadinya perbedaan laju penumbuhan Ni selama proses elektroplating mengakibatkan adanya perbedaan jumlah zat-zat yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisis dan perbedaan jumlah arus listrik yang mengalir dalam elektrolit selama proses pelapisan berlangsung. Menurut hukum Faraday tentang prinsip dasar lapis listrik menyatakan bahwa jumlah zat yang terlepas dan terbentuk sebanding dengan jumlah arus yang mengalir (Saleh, 2014). Hubungan keduanya dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Grafik hubungan berat zat terhadap suhu



Gambar 4 Grafik hubungan jumlah arus terhadap suhu

Adanya perbedaan ion massa Ni yang luruh dan perbedaan jumlah arus yang mengalir dalam larutan mengakibatkan adanya perbedaan ketebalan lapisan Ni yang terdeposit pada Cu. Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin banyak zat yang larut dan jumlah arus yang mengalir ketebalan lapisan yang terbentuk juga semakin tebal.

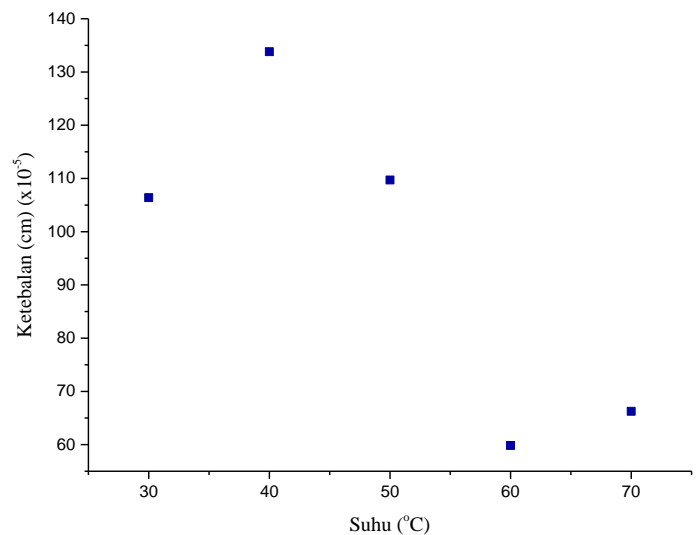
Ketebalan lapisan Ni yang terdeposit didapatkan dengan menggunakan Pers, (1) dengan menimbang massa sebelum dan sesudah deposisi, dan A memiliki luas permukaan 7,6 cm² serta massa jenis Ni 8,9 gr/cm³. Data hasil perhitungan ketebalan lapisan yang terbentuk pada variasi suhu larutan berbantuan medan magnet sejajar pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil perhitungan ketebalan lapisan yang terbentuk pada variasi suhu larutan berbantuan medan magnet sejajar

No.	Sampel	Suhu (°C)	m _{Cu} (gr)	m _{Cu/Ni} (gr)	Δm (gr)	(δ ± S _δ) (x 10 ⁻⁵) (cm)
1	MT-01	70	2,517	2,562	0,045	66,26 ± 0,6598
2	MT-02	60	2,533	2,574	0,041	59,83 ± 0,6270
3	MT-03	50	2,493	2,568	0,074	109,7 ± 0,8489
4	MT-04	40	2,544	2,635	0,091	133,8 ± 0,9745
5	MT-05	30	2,514	2,586	0,072	106,4 ± 0,8409

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada suhu tinggi yaitu suhu 60 dan 70°C terdapat perubahan massa dengan selisih yang sangat kecil dibandingkan dengan suhu yang lainnya. Sedangkan selisih perubahan massa tertinggi terjadi pada suhu 40°C kemudian disusul oleh sampel pada suhu 50°C dan 30°C. Adanya perbedaan massa sebelum dan sesudah elektroplating menandakan terjadinya pelapisan Ni pada permukaan Cu sehingga terbentuk Cu/Ni atau menempelnya partikel Ni pada permukaan Cu sehingga menyebabkan terjadinya penambahan massa dari substrat Cu. Hasil deposit partikel Ni pada permukaan Cu terlihat dari perubahan warna pada substrat Cu yang tadinya berwarna kecoklatan menjadi putih keperak-perakan. Sehingga untuk memudahkan pengamatan pengaruh dari suhu terhadap ketebalan lapisan yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 5. Proses deposisi Ni dengan menggunakan suhu larutan 40°C adalah sampel dengan lapisan paling tebal yaitu [(109,7± 0,8489)×10⁻⁵] cm kemudian sampel yang memiliki lapisan yang paling tipis adalah sampel dengan suhu larutan 60°C dengan tebal lapisan [(59,83± 0,6270)×10⁻⁵] cm.

Terjadinya perubahan ketebalan lapisan seiring dengan perubahan suhu larutan yang digunakan. Suhu larutan elektrolit dapat mempengaruhi laju pengendapan ion massa logam tergantung pada suhu operasi serta mengurangi konsentrasi larutan (Loto, 2016).

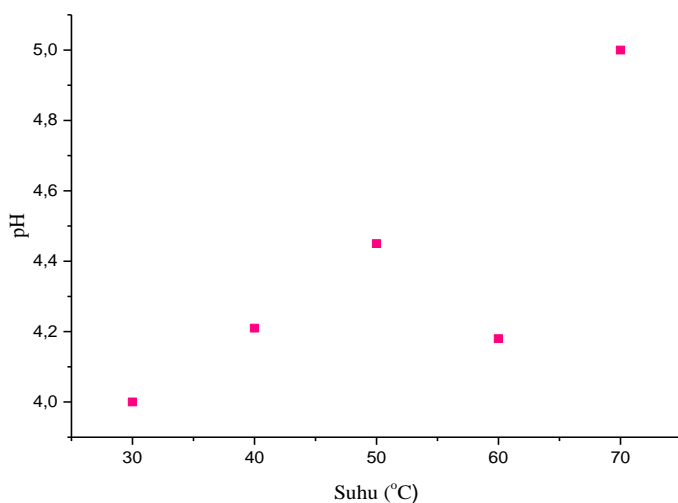


Gambar 5 Grafik hubungan ketebalan terhadap suhu

Adanya perubahan suhu larutan membuat kekentalan cairan berkurang sehingga memudahkan ion melewatinya untuk dapat terdeposit pada substrat (Toifuret *et al.*, 2019). Pada sampel MT-04 dengan suhu 40°C merupakan sampel dengan tebal lapisan yang paling tebal laju pengendapan ion massa Ni yang larut kedalam larutan sebanding dengan daya serap pada katoda oleh Cu sehingga pada suhu 40°C mendapat struktur lapisan yang lebih tebal. Ketebalan lapisan pada proses deposisi rendah tidak menjamin struktur endapannya yang terbentuk lebih baik karena menurut Loto suhu rendah akan menyebabkan terjadinya pengurangan energi untuk suatu reaksi yang konsekuensinya mengarah pada tingkat pengendapan yang buruk. Sedangkan pada sampel yang diposisi pada suhu tinggi yaitu sampel MT-02 dan MT-01 mendapat struktur lapisan dengan ketebalan yang paling tipis karena adanya peningkatan suhu larutan yang menyebabkan terjadinya peningkatan laju tranfer ion massa logam (Jabbar *et al.*, 2017). Terjadinya peningkatan laju tranfer ion massa logam didalam larutan mengakibatkan meningkatnya resiko terjadinya tabrakan antar partikel yang menyebabkannya hancurnya partikel ataupun perubahan struktur atom saat terjadi tumbukan. Specimen yang dihasilkan pada penggunaan suhu yang tinggi juga mengakibatkan berkurangnya kadar Ni yang dikarenakan oleh terbakarnya flim Ni dan struktur lapisan yang terbentuk tidak melekat dengan baik (Wustha *et al.*, 2020). Berdasarkan Gambar 5 juga menginformasikan bahwa peningkatan suhu mengakibatkan berkurangnya ketebalan lapisan Ni yang disebabkan oleh

menurunnya kandungan Ni dalam pelapisan. Hal senada juga disampaikan oleh Qiao (2013) bahwa kandungan Ni dalam lapisan menurun dengan naiknya suhu pengendapan.

pH larutan juga ikut mempengaruhi pelapisan. Perubahan pH terjadi umumnya karena adanya perbedaan perlakuan suhu cairan elektrolit saat plating. Umumnya larutan elektroplating pada larutan yang bersifat asam yang secara teori memiliki tingkat keasaman 4,5 - 5,6 (Saleh, 2014). Terjadinya peningkatan suhu larutan elektrolit mengakibatkan terjadinya penurunan pH larutan elektrolit. pH larutan memberikan pengaruh yang signifikan pada ukuran butir atom terdeposit (Kockar *et al.*, 2010 ;Tianet *al.*, 2011), dan juga mempengaruhi struktur morfologi logam. Peningkatan pH larutan elektrolit dari 4 ke 4,45 menyebabkan terjadinya peningkatan ukuran butir dan endapan ion massa logam meningkat. Namun pada pH elektrolit menurun saat penggunaan suhu tinggi khususnya suhu 60°C (Seritan *et al.*, 2015). Nilai pH elektrolit yang terlalu tinggi di khawatirkan menyebabkan timbulnya endapan tembaga hidroksida. Pada penelitian pelapisan Ni ini didapatkan hasil bahwa pH 4,21 pada suhu 40°C merupakan pH larutan yang memiliki ketebalan lapisan yang terdeposit paling tebal. Sedangkan pada pH 4,18 pada suhu 60°C dan pH 5 pada suhu 70°C mendapat struktur lapisan yang paling tipis dikarenakan terjadinya reaksi konsentrasi ion hidrogen yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan terjadinya pertambahan kecepatan pengendapan ion-ion menjadi menurun.



Gambar 6 Grafik hubungan pH terhadap suhu

Sehingga tampak timbul struktur lapisan yang berbentuk kasar atau cacat berbentuk sumuran pada

permukaan substrat dikarenakan adanya kecenderungan pengumpulan ion feromagnetik di dalam larutan elektrolit. Peristiwa ini mengakibatkan terjadinya lapisan yang terbentuk tipis. Kemudian pada pH 4 dengan suhu larutan 30°C juga mendapatkan ketebalan lapisan yang tipis dikarenakan tingkat keasaman pH yang sedikit lebih tinggi dibandingkan pH pada larutan yang lain. Tingginya nilai pH larutan elektrolit mengakibatkan terjadinya pelepasan ion hidroksil dan oksigen yang akan terikat pada anoda. Peristiwa ini menyebabkan terjadinya penurunan pelepasan ion massa nikel dalam larutan dan ion menjadi pasif pada pada anoda nikel. Data pH larutan yang dipengaruhi oleh suhu dapat dilihat pada Gambar 6.

Kesimpulan

Pelapisan Ni pada substrat Cu dengan variasi suhu larutan mempengaruhi ketebalan lapisan, pH larutan, arus selama elektroplating, dan jumlah zat yang terlepas dan terlarut selama pelapisan berlangsung. Berdasarkan analisis diatas substrat yang mendapat lapisan paling tebal adalah MT-04 yang diposisi pada suhu 40°C dengan ketebalan $[(133,8 \pm 0,9745) \pm 10^{-5}]$ cm yang paling tipis adalah substrat yang dideposisi pada suhu 60°C dengan ketebalan $[(59,83 \pm 0,6270) \times 10^{-5}]$ cm. Berat zat yang terlarut dan terlepas serta jumlah arus yang mengalir selama elektroplating sebanding dengan ketebalan yang terbentuk. Lapisan dengan ketebalan yang paling tebal berada pada pH 4,21 dan pH pada lapisan dengan ketebalan paling tipis adalah 4,18.

Referensi

- Abbott, A. P., Ballantyne, A., Harris, R. C., Juma, J. A. 2015. *A Comparative Study of Nickel Electrodeposition Using Deep Eutectic Solvents and Aqueous Solutions*. *Electrochimica Acta*. Vol. 176 : 718–726.
- Afsarimanesh, N., and Ahmed, P. Z. 2011. *LabVIEW Based Characterization and Optimization of Thermal Sensors*. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*. Vol. 4(4) : 726–739.
- Aliofkhaezrai, M. 2015 *Electroplating of Nanostructures*, Published by AvE4EvA.
- Boylestad, R. 2014. *Introductory Circuit Analysis (11th edition)*. Pearson Education Limited.USA.
- Gu, Y., Liu, J., Qu, S., Deng, Y., Han, X., Hu, W., Zhong, C. 2017. *Electrodeposition of alloys and compounds from high-temperature molten salts*.

- Journal of Alloys and Compounds. Vol. 690 : 228–238.
- Jabbar, A., Yasin, G., Khan, W. Q., Anwar, M. Y., Korai, R. M., Nizam, M. N., Muhyodin, G. 2017. *Electrochemical deposition of nickel graphene composite coatings effect of deposition temperature on its surface morphology and corrosion resistance*. RSC Advances. Royal Society of Chemistry. Vol. 7(49) : 31100–31109.
- Khusnani, A., Toifur, M., Maruto, G., Pramudya, Y. 2019. *The effect of the magnetic field to the microstructure and sensitivity of Cu/Ni film*. Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering. Vol. 6(5) : 84–89.
- Kockar, H., Alper, M., Sahin, T., Karagac, O. 2010. *Role of electrolyte pH on structural and magnetic properties of Co-Fe films*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol. 322 : 1095–1097.
- Loto, C. A. 2016. *Electroless Nickel Plating – A Review*. Silicon. Vol. 8 : 177–186.
- Lukose, C. C., Zoppi, G. Birkett, M. 2016. *Thin film resistive materials: Past, present and future*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 104 : 012003.
- Luo, J. K., Pritschow, M., Flewitt, A. J., Spearing, S. M., Fleck, N. A., Milne, W, I. 2006. *Effects of Process Conditions on Properties of Electroplated Ni Thin Films for Microsystem Applications*. Journal of The Electrochemical Society. Vol. 153(10) : D155-D161.
- Soto, V. D. M., Leandro, D., Aldaba, A. L., Lopes, J. J. B., Landazabal, J. I. P., Augeste, J. L., Jamier, R., Roy, P., Amo, M. L. 2017. *Study of optical fiber sensors for cryogenic temperature measurements*. Sensors. Vol. 17 : 1–12.
- Seritan, M. P., Cretescu, I. Cojocar, C., Amarieri, S., Suci, C. 2015. *Experimental design for modelling and multi-response optimization of Fe-Ni electroplating process*. Chemical Engineering Research and Design. Vol. 96 : 138–149.
- Qiao, X., Li, H., Zhao, W., Li, D. 2013. *Effects of deposition temperature on electrodeposition of zinc-nickel alloy coatings*. Electrochimica Acta. Vol. 89 : 771–777.
- Saleh, A. A. 2014. *Electroplating Teknik Pelapisan Logam dengan Cara Listrik*. Yrama Widya, Bandung.
- Su, C. W., Wang, E. L., Zhang, Y. B. He, F. J. 2009. *Ni_{1-x}Fe_x (0.1 < x < 0.75) alloy foils prepared from a fluoroborate bath using electrochemical deposition*. Journal of Alloys and Compounds. Vol. 474 : 190–194.
- Tian, L., Xu, J., Qiang, C. 2011. *The electrodeposition behaviors and magnetic properties of Ni-Co films*. Applied Surface Science. Vol. 257 : 4689–4694.
- Toifur, M., Khusnani, A., Okimustava. 2019. *Effect of mass fraction of Ni in solution on the microstructure and sensitivity of Cu/Ni film as low-temperature sensor*. Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering. Vol. 6 : 76–83.
- Toifur, M., Ningsih, Y., Khusnani, A. 2018. *Microstructure, thickness and sheet resistivity of Cu / Ni thin film produced by electroplating technique on the variation of electrolyte temperature*. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 997 : 012053.
- Wustha, J., Toifur, M., Mustava, O. 2020. *Microstructure and resistivity of Cu/Ni thin film prepared by magnetized electroplating on various electrolyte temperature*. International Journal of Scientific and Technology Research. Vol. 9(1) : 2763–2767.
- Yang, L., Zhao, Y., Feng, C., Zhou, H. 2011. *The influence of size effect on sensitivity of Cu/CuNi thin-film thermocouple*. Physics Procedia. Vol. 22 : 95–100.