



Pengaruh Suhu Anil Terhadap Ketebalan dan Resistivitas Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Elektroplating Berbantuan Medan Magnet

Effect of Annealing Temperature on Thickness and Resistivity of Thin Cu / Ni Coatings Electroplating Results Assisted by Magnetic Fields

Rizki Agung*, M. Toifur, Azmi Khusnani

Pasca Sarjana Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta
Corresponding author: rizkiagungpfis08uad@gmail.com*, mtoifur@yahoo.com,
husnaniazmi@gmail.com

Riwayat Artikel: Dikirim; Diterima; Diterbitkan

Abstrak

Telah dilakukan penelitian pembuatan lapisan tipis Cu/Ni dengan proses elektroplating berbantuan medan magnet luar yang dipasang sejajar dengan medan listrik dan perlakuan suhu anil. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan suhu anil pada resistivitas keping Cu/Ni dan ketebalan Ni yang terbentuk dalam waktu 60 detik, suhu larutan elektrolit 60 °C, pH larutan elektrolit yaitu 4 dan jarak antar elektroda 4 cm. Larutan elektrolit yang digunakan adalah campuran dari NiSO₄, NiCl₂, dan H₃BO₃ dalam aquadest. Proses anil dilakukan dengan memvariasikan suhu yaitu dari 0 °C sampai 100 °C dengan interval 100 °C untuk tiap-tiap sampel. Hasil resistivitas keping diperoleh dari pengukuran sampel dengan alat probe 4 titik, sedangkan untuk ketebalan diketahui dengan perhitungan pada rumus yang sudah ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya ketebalan lapisan Ni yang terbentuk pada substrat dan nilai resistivitas keping lapisan tipis Cu/Ni semakin menurun seiring dengan kenaikan suhu anilnya.

Kata kunci: lapisan tipis Cu/Ni, elektroplating, anil, resistivitas keping

Abstract

Research has been carried out on the manufacture of Cu/Ni thin films by electroplating processes assisted by an external magnetic field mounted parallel to the electric field and annealing temperature treatment. The purpose of this study was to determine the effect of annealing temperature treatment on the Cu/Ni chip resistivity and Ni thickness formed within 60 seconds, the temperature of the 60 °C electrolyte solution, the pH of the electrolyte solution 4 and the distance of the cathode anode as far as 4 cm. The electrolyte solution was used by mixing NiSO₄, NiCl₂, H₂O, and H₃BO₃. The annealing process is carried out by varying the temperature from 0 °C to 100 °C with an increase of 100 °C for each sample. The results of chip resistivity can be obtained from measuring the sample with a 4 point probe while the thickness of the substrate can be determined by calculating the formula that has been determined. The results showed that the thickness of the Ni layer formed on the substrate and the resistivity value of the Cu/Ni thin layer decreased with increasing annealing temperature.

Keywords: a thin layer of Cu/Ni, electroplating, annealing

PENDAHULUAN

RTD (*Resistance Temperature Detector*) merupakan salah satu jenis sensor untuk alat ukur suhu yang tergolong ke dalam jenis termometer resistansi (Raharjo & Toifur, 2014), (Prasetyo, Toifur, & Khusnani, 2018). Sensor RTD bekerja berdasarkan perubahan nilai tahanan atau hambatan dikarenakan adanya perubahan suhunya (Chowdury & Bulbul, 2010), (Boylestad, 2003), (Toifur, Haryadi, & Riswanto, 2014). Umumnya RTD terbuat dari bahan logam yang bentuknya berupa kawat (*Wire Wound*) dan lapisan tipis (*thin film*) (Fraden, 2003). Logam yang paling umum digunakan untuk elemen RTD adalah logam platina walaupun jenis logam lainnya dapat juga untuk digunakan. Penggunaan logam platina karena



memiliki karakteristik yaitu stabilitas, linier dan reproduksibilitas. Namun dilain sisi logam platina memiliki harga yang sangat mahal, tergolong langka dan hanya ditemukan di beberapa negara saja.

Logam jenis lain yang dapat digunakan untuk pengganti logam platina sebagai elemen RTD adalah logam tembaga. Logam tembaga merupakan salah satu jenis logam yang dapat dijadikan sebagai elemen RTD, karena memiliki kemampuan dalam mengukur suhu rendah bahkan bisa menjangkau suhu $-234,5^{\circ}\text{C}$ (Afsarimanesh & Ahmed, 2011) dan koefisien temperatur yang dimiliki logam tembaga tergolong tinggi yaitu $4.300 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ (Lukose, Zoppi, & Birkett, 2015). Namun ada kelemahan dari logam tembaga yaitu mudah mengalami korosi akibat adanya proses oksidasi, sehingga diperlukan lapisan dari logam lain yang mampu membuat lapisan tahan akan korosi. Salah satu yang dapat dipadukan dengan logam tembaga adalah logam nikel, karena memiliki kesamaan dalam ukuran atom penyusun dan kesamaan struktur kristalnya. Ukuran atom pada logam nikel dan tembaga hampir memiliki kemiripan yaitu $0,1246 \text{ \AA}$ dan $0,1278 \text{ \AA}$ serta struktur kedua logam yaitu bersifat fcc (Toifur, Agustin, Okimustava, & Sukarelawan, 2017).

Pembentukan lapisan nikel pada logam tembaga dapat dilakukan dengan menggunakan Teknik elektroplating (Srivinas, Hamann, Wambach, A, & S, 2014) (Paunovic & Schlesinger, 2006) (Mattox, 1998). Teknik elektroplating juga akan membantu dalam penyelesaian masalah korosi pada permukaan logam (Suhendro, Laela, & Suyamto, 2011). Hasil pembentukan lapisan nikel pada logam tembaga akan meningkatkan nilai resistivitas logam tembaga yang sebelumnya dari $1,7 \mu\Omega\text{cm}$ akan menjadi lebih besar, karena nikel memiliki nilai resistivitas yang tinggi dari logam tembaga yaitu $7,3 \mu\Omega\text{cm}$ (Toifur, Agustin, Okimustava, & Sukarelawan, 2017). Perlu perhatian juga, bahwa peningkatan nilai resistivitas lapisan Cu/Ni bergantung pada nilai kadar dari logam nikel yang digunakan (Hultgren, 1953).

Lapisan tipis Cu/Ni yang terbentuk dapat diperbaiki perilaku kristalisasi logamnya dengan menerapkan medan magnet luar pada proses elektroplating. Hasil endapan yang terbentuk akan lebih seragam dan perubahan komposisi pada lapisan alloy (Tacken & Janssen, 1995). Adanya penerapan medan magnet akan menyebabkan peningkatan transportasi massa pada permukaan elektroda (Ebadi M. , Basirun, Alias, & Mahmoudian, 2010). Medan magnet dalam proses elektroplating akan menimbulkan interaksi gaya Lorentz dan gaya pendorong magnet. Medan magnet yang tegak lurus dengan medan listrik, maka gaya Lorentz akan lebih dominan dari gaya penggerak, namun jika sejajar dengan medan listrik maka gaya penggerak akan lebih dominan (Yu, Ge, Song, & Wei, 2015).

Lapisan tipis yang terbentuk pada proses elektroplating memiliki struktur yang akan mempengaruhi hasil kinerja sebagai sensor suhu terutama suhu rendah. Apabila struktur yang terbentuk memiliki sifat yang teratur maka akan memiliki nilai sensitivitas yang baik. Sebagai upaya yang dilakukan untuk menghasilkan struktur yang baik, variabel lain yang dapat diberlakukan pada lapisan yang terbentuk dari proses elektroplating akan diperlakukan proses anil. Anil adalah proses dimana memanaskan suatu logam atau paduan pada suhu tertentu, dengan menahannya pada waktu tertentu kemudian didinginkan dengan perlahan (Istiyono, 2006). Perlakuan anil pada lapisan tipis akan mempengaruhi distribusi dari suatu ukuran presipitat sehingga hasilnya akan cenderung homogen dan keteraturan itu diharapkan lebih memiliki sensitivitas yang baik dalam merespon suhu rendah dan terjadi penurunan nilai resistivitasnya.

Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan informasi pengaruh dari penerapan medan magnet luar dalam proses elektroplating terhadap tebal dan resistivitas dari lapisan tipis Cu/Ni serta pengaruh dari suhu anil terhadap resistivitasnya.



METODE

Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini berupa gelas ukur 1000 ml sebagai pengukur volume larutan gunting untuk memotong plat tembaga, penggaris baja untuk mengukur panjang dari sampel, pinset untuk menjepit sampel, baki untuk wadah sampel, *hair dryer* untuk mengeringkan sampel, *ultrasonic cleaner* sebagai wadah untuk mencuci sampel, neraca ohaus P214 sebagai alat ukur massa sampel, sikat gigi yang memiliki bulu lembut untuk membersihkan sampel, kabel penghubung, probe 4 titik untuk mengukur nilai resistivitas plat Cu dan Cu/Ni yang dihubungkan dengan DC Power Supply CEILKIT 1502 DDU dan rangkaian resistor 100 Ω serta multimeter digital untuk menampilkan nilai tegangan dan kuat arus listrik. Proses elektroplating menggunakan alat berupa DC Power supply EXTECH 382213, Slide regulator TDGC2-2Kva yang dihubungkan dengan magnet yang besarnya 200 Gauss serta gelas persegi sebagai wadah larutan elektrolit dan proses elektroplating Cu dan Ni. Sensor yang digunakan berupa sensor suhu, sensor magnetik, sensor tegangan dan sensor arus listrik yang dihubungkan dengan LabQuest serta laptop lenovo ideapad 320 untuk menampilkan program loggerPro berupa grafik suhu, arus listrik serta tegangan terhadap waktu. Alat untuk proses anil menggunakan open yaitu neycraft dengan jangkauan temperatur dari 0 °C hingga 1100 °C.

Bahan

Bahan yang digunakan berupa plat tembaga tebal 0,3 mm dengan ukuran 10 mm x 1,3 mm sebanyak 6 sampel, ferri klorit digunakan untuk membentuk sampel dari plat tembaga, air secukupnya untuk melarutkan ferri klorit, plat nikel, autosol dan pasta gigi untuk membersihkan plat Cu, alkohol untuk proses reparasi sampel, aquades 250 mL dan tisu. Larutan elektrolit yang merupakan campuran asam borat (H_3BO_3) 40 g/L, Nikel sulfat ($NiSO_4$) 260 g/L, dan nikel klorida ($NiCl_2$) 60 g/L (Ebadi, Basirun, & Alias, 2010).

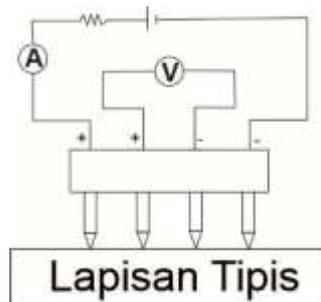
Prosedur Penelitian

Penelitian ini mengikuti prosedur penelitian sebagai berikut:

1. Membersihkan plat Cu dengan menggunakan autosol sampai plat terlihat mengkilap.
2. Memanaskan air sampai suhu 80 °C, selanjutnya melarutkan ferri klorit menggunakan air yang sudah dipanaskan dalam bak yang berisikan sampel plat yang sudah ditempel *cutting sticker* dan lakban.
3. Membersihkan plat Cu yang sudah terbentuk dengan menggunakan autosol, pasta gigi kemudian digosok menggunakan tisu.
4. Memasukkan plat Cu ke dalam wadah berisi aquades yang sudah dipanaskan, kemudian disikat dengan sikat gigi secara menyeluruh dan merata.
5. Memasukkan plat Cu ke dalam larutan alkohol untuk proses preparasi sampel menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 60 detik kemudian plat Cu dipindahkan ke dalam aquades dan dikeringkan dengan alat *hair dryer*.
6. Menimbang nilai massa plat Cu sebanyak 5 kali untuk masing-masing sampel dengan alat neraca OHAUS digital PA 214 dan mencatat hasilnya.
7. Mengukur nilai resistivitas plat Cu menggunakan alat probe 4 titik pada gambar 1 dengan mendapatkan data nilai kuat arus (I) dan tegangan (V) serta mencatat hasilnya.

Gambar 1

Rangkaian untuk mengukur resistivitas keping plat Cu dan Cu/Ni



Sumber : Dokumen Pribadi

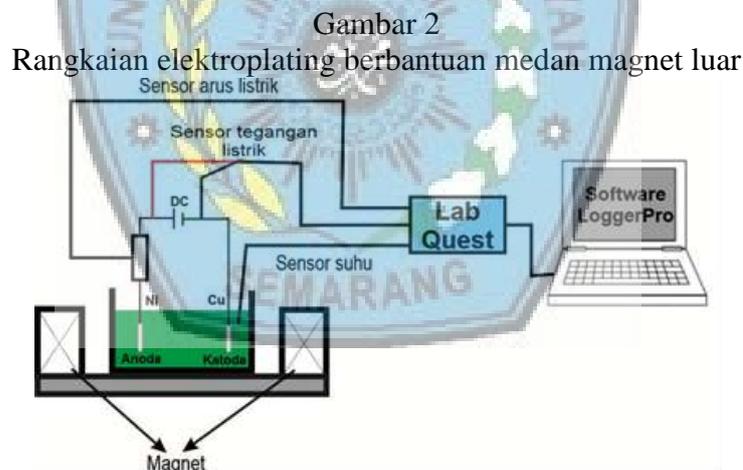
Pengukuran dilakukan dengan meletakkan probe 4 titik pada posisi yang berbeda sebanyak 5 kali.

8. Data yang diperoleh dari langkah 8 dimasukkan ke dalam persamaan 1 untuk mencari nilai resistivitas kepingnya.

$$R_s = \frac{\pi V}{\ln 2 I} \quad (1)$$

dengan V merupakan tegangan listrik (V), I merupakan kuat arus listrik (A) dan R_s adalah nilai resistivitas keping (Ω/sq).

9. Selanjutnya menyiapkan peralatan proses elektroplating seperti pada gambar 2, kemudian dilakukan kalibrasi terhadap medan magnet menggunakan alat sensor magnetik yang terhubung melalui LabQuest dan laptop. Medan magnet yang digunakan yaitu sebesar 200 Gauss.



Sumber : Dokumen Pribadi

10. Setelah proses elektroplating, maka plat Cu/Ni dipindahkan ke dalam larutan aquades dan selanjutnya dikering dengan alat bantuan *hair dryer* serta dimasukkan dalam lipata tisu yang sudah disiapkan.
11. Uji resistivitas plat Cu/Ni seperti langkah nomor 8 dan 9.
12. Plat Cu/Ni selanjutnya ditimbang menggunakan neraca ohaus digital PA 214 untuk mengetahui nilai massa setelah proses elektroplating.
13. Perolehan massa plat Cu dan plat hasil proses elektroplating berupa Cu/Ni akan digunakan untuk mencari ketebalan lapisan yang terbentuk dengan menggunakan persamaan 2 (Toifur, Agustin, Okimustava, & Sukarelawan, 2017) (Khusnani & Toifur, 2018) (Setyowati, Iriani, & Ramelan, 2012).



$$\delta = \frac{m_{\text{Cu/Ni}} - m_{\text{Cu}}}{\rho A} \quad (2)$$

dengan δ adalah tebal lapisan yang terbentuk pada substrat (cm), $m_{\text{Cu/Ni}}$ adalah massa setelah elektroplating (gr), m_{Cu} adalah massa sebelum proses elektroplating (gr), ρ adalah massa jenis pelapis yaitu logam nikel (gr/cm^3) yang memiliki nilai sebesar $8,908 \text{ gr/cm}^3$ serta A adalah luas permukaan lapisan (cm^2) dengan nilai sebesar $7,61 \text{ cm}^2$.

14. Sampel hasil elektroplating masing-masing diberikan perlakuan anil dengan suhu $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $100 \text{ }^\circ\text{C}$, $200 \text{ }^\circ\text{C}$, $300 \text{ }^\circ\text{C}$, $400 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $500 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu anil selama 1 jam.
15. Uji resistivitas kemudian dilakukan lagi pada sampel yang telah dianil dengan mengikuti langkah pada nomor 8 dan 9.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil elektroplating berbantuan medan magnet luar yang sejajar dengan medan listrik pada 6 sampel menghasilkan ketebalan endapan Ni yang terbentuk pada plat tembaga. Proses elektroplating dilakukan dengan waktu selama 60 detik dengan suhu larutan elektrolit sebesar $60 \text{ }^\circ\text{C}$, jarak antar elektroda yaitu 4 cm dan pH larutan yaitu 4. Hasil ketebalan dari endapan nikel pada plat tembaga di tunjukkan pada tabel 1.

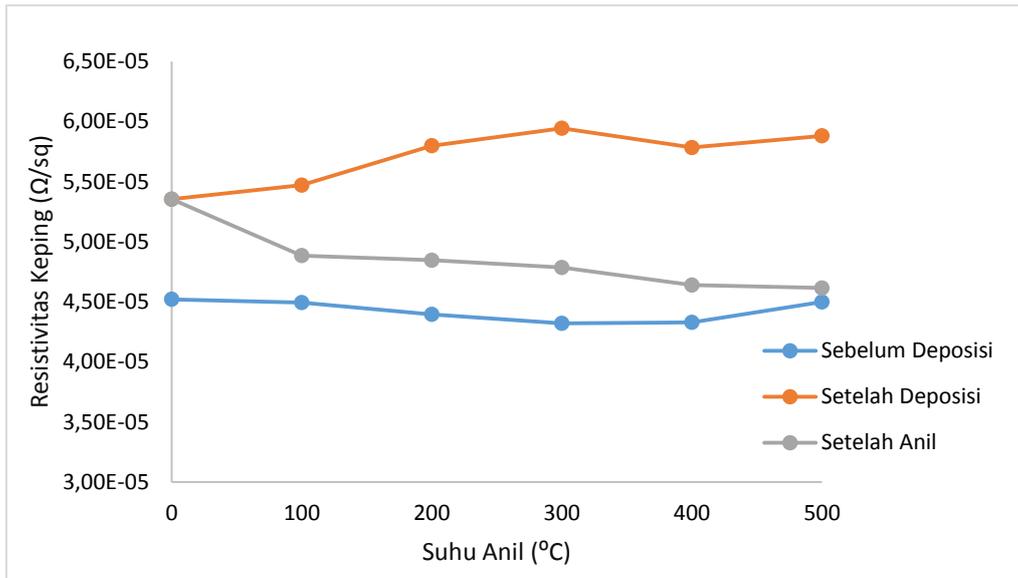
Tabel 1
Tebal Lapisan Ni Hasil Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Sejajar

Sampel	m_{Cu} (g)	$m_{\text{Cu/Ni}}$ (g)	Δm (g)	δ (cm) $\times 10^{-5}$
1	1.8225	1.8292	0.0066	9.79
2	1.8211	1.8275	0.0064	9.41
3	1.8619	1.8678	0.0059	8.70
4	1.8201	1.8256	0.0055	8.05
5	1.8579	1.8636	0.0057	8.44
6	1.8462	1.8517	0.0056	8.20

Hasil ketebalan Ni yang terbentuk pada setiap sampel memiliki nilai yang berbeda-beda, adanya perbedaan ketebalan karena substrat yang terbentuk tidak merata pada setiap sampel. Penerapan medan magnet yang sejajar dengan medan listrik pada proses elektroplating membantu peningkatan ketebalan Ni pada substrat karena gaya pendorong lebih dominan sehingga meningkatkan ketebalan lapisan Ni pada tiap substrat.

Proses anil yang diberlakukan pada tiap sampel dengan suhu yang berbeda yaitu $0 \text{ }^\circ\text{C}$ sampai $500 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan rentang untuk tiap-tiap sampel sebesar $100 \text{ }^\circ\text{C}$ memberikan hasil perilaku bahwa adanya penurunan nilai resistivitas keping dari proses elektroplating yang di tunjukkan pada grafik 1.

Grafik 1
Hubungan Suhu Anil dengan Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni



Berdasarkan data grafik 1 bahwa terjadi perubahan nilai resistivitas keping lapisan tipis Cu/Ni setelah proses elektroplating atau deposisi dengan setelah perlakuan anil pada tiap-tiap sampel. Pada sampel 1 untuk suhu anil 0 °C tidak ada perubahan nilai resistivitas kepingnya (R_s) yaitu sebesar $5,35 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$. Sampel 2 dengan perlakuan suhu anil 100 °C nilai R_s setelah deposisi yaitu $5,47 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ berubah menjadi $4,89 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ dengan selisih penurunan sebesar $0,58 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$. Sampel 3 dengan perlakuan suhu anil 200 °C nilai R_s setelah deposisi yaitu $5,80 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ berubah menjadi $4,85 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ dengan selisih penurunan sebesar $0,95 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$. Sampel 4 dengan perlakuan suhu anil 300 °C nilai R_s setelah deposisi yaitu $5,94 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ berubah menjadi $4,79 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ dengan selisih penurunan sebesar $1,15 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$. Sampel 5 dengan perlakuan suhu anil 400 °C nilai R_s setelah deposisi yaitu $5,78 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ berubah menjadi $4,64 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ dengan selisih penurunan sebesar $1,14 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$. Sampel 6 dengan perlakuan suhu anil 500 °C nilai R_s setelah deposisi yaitu $5,88 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ berubah menjadi $4,62 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$ dengan selisih penurunan sebesar $1,26 \times 10^{-5} \Omega/\text{sq}$. Penurunan nilai resistivitas keping pada tiap sampel yang diberikan perlakuan anil bahwa ada perubahan morfologi permukaan dan sifat struktur pada lapisan tipis Cu/Ni. Adanya peningkatan suhu pada proses anil menyebabkan terjadi perubahan ukuran kristal dan peningkatan aktivitas nilai mobilitas sehingga nilai resistivitas keping mengalami penurunan (Cho, et al., 2010).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian bahwa menerapkan medan magnet sejajar dengan medan listrik dapat diterapkan dalam proses elektroplating untuk menghasilkan lapisan tipis Cu/Ni. Perlakuan anil yang diberlakukan pada tiap sampel dapat menurunkan nilai resistivitas keping dari lapisan tipis Cu/Ni hasil elektroplating yang menunjukkan bahwa semakin besar suhu anilnya maka nilai resistivitas kepingnya akan semakin turun.



DAFTAR PUSTAKA

- Afsarimanesh, N., & Ahmed, P. Z., 2011. Labview based characterization and optimization of thermal sensors. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent System*, pp. 726-739.
- Boylestad., 2003. *Introductory circuit analysis, tenth edition*. Parential Hall Pearson Education International.
- Cho, S., Jo, H., Jang, S., Park, J., Jung, H.-J., Yun, C.-B., . . . Seo, J.-W., 2010. Structural health monitoring of a cable-stayed bridge using wireless smart sensor Technology: Data Analyses. *Smart Structures and Systems*, 6, pp. 461-480.
- Chowdury, T., & Bulbul, H., 2010. Design of a temperature sensitive voltage regulator for a load using rtd. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4(12), pp. 7896-7903.
- Ebadi, M., Basirun, W. J., & Alias, Y., 2010. Influence of magnetic field on the electrodeposition of Ni-Co alloy. *Journal of Chemical Science*, 122(2), pp. 279-285.
- Ebadi, M., Basirun, W. J., Alias, Y., & Mahmoudian, M., 2010. Electrodeposition of quaternary alloys in the presence of magnetic field . *Chemistry Central Journal*, pp. 1-8.
- Fraden, J., 2003. *Handbook of modern sensors physics, designs and applications*. New York: Springer.
- Hultgren, R., 1953. *Fundamental of physical metallurgy*. New York: Prentice-Hall Inc.
- Istiyono, E., 2006. Kajian Sifat Mekanik Bahan yang Mengalami Anilisasi. *Jurnal Penelitian Sainstek*, pp. 56-86.
- Khusnani, A., & Toifur, M., 2018. Resistivitas keping sensor suhu rendah lapisan tipis (Cu/Ni)/(Cu/Ni) dengan metode elektroplating pada variasi waktu deposisi. *Seminar Nasional Quantum*. Yogyakarta: Pend. Fisika UAD.
- Lukose, C. C., Zoppi, G., & Birkett, M., 2015. Thin film resistive materials: past, present and future. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 104*. Poland: IOP Publishing.
- Mattox, D. M., 1998. *Handbook of physical vapor deposition (pvd) processing film formation, adhesion, surface preparation and contamination control*. New Jersey: Noyes Publications.
- Paunovic, M., & Schlesinger, M., 2006. *Fundamental of electrochemical deposition second edition*. United States of America: Wiley Interscience.
- Prasetyo, R. D., Toifur, M., & Khusnani, A., 2018. Hubungan suhu anil dengan perubahan nilai resistivitas lapisan tipis cu/ni hasil deposisi menggunakan teknik elektroplating. *Seminar Nasional Quantum #25* (p. 597). Yogyakarta: Pendidikan Fisika UAD.
- Raharjo, P. W., & Toifur, M., 2014. Kawat solenoida sebagai sensor suhu berbasis resistor temperature detector coils (RTD-C). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*, (p. 166). Yogyakarta.
- Setyowati, Iriani, Y., & Ramelan, A. H., 2012. Pengaruh rapat arus terhadap ketebalan dan struktur lapisan nikel pada tembaga. *Indonesian Journal of Applied Physics*.
- Srivinas, P., Hamann, S., Wambach, M., A, L., & S, D. R., 2014. Fabrication of a ni-cu thin film material library using pulsed electrodeposition. *Journal of the electrochemical Society*, pp. 504-509.
- Suhendro, B., Laela, T. D., & Suyamto., 2011. Rancang bangun dan analisis alat pelapisan tembaga menggunakan teknik elektroplating. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII*, 612.
- Tacken, R. A., & Janssen, L. J., 1995. Applications of magneto-electrolysis. *Journal of Applied Electrochemistry*, pp. 1-5.



- Toifur, M., Agustin, N., Okimustava, & Sukarelawan, I., 2017. Pengaruh waktu deposisi pada tebal lapisan, struktur mikro, resistivitas keping lapisan tipis cu/ni hasil deposisi dengan teknik elektroplating. *Material dan Energi Indonesia*, pp. 33-43.
- Toifur, M., Haryadi, B., & Riswanto, R., 2014. Cow cement sensor based on coil-resistance temperature detector (c-rtd) coupled with four wire configuration bridge (4-WCB). *International Conference on Physics and its Applications* (pp. 135-137). Paris: Atlantis Press.
- Yu, Y., Ge, H., Song, Z., & Wei, G., 2015. Effects of magnetic fields on the electrodeposition process of cobalt. *International journal of electrochemical science*, pp. 4812-4819.

