

PENGARUH WAKTU DEPOSISI PADA TEBAL LAPISAN, STRUKTUR MIKRO, RESISTIVITAS KEPING LAPISAN TIPIS CU/NI HASIL DEPOSISI DENGAN TEKNIK ELEKTROPLATING

MOH. TOIFUR[†], NURMALIA A., OKIMUSTAVA, IRMA SUKARELAWAN

*Program Studi Magister Pendidikan Fisika,
Program Pascasarjana, Universitas Ahmad Dahlan
Jl. Pramuka No 42 Sidikan Umbulharjo Yogyakarta 55161*

Abstrak. Telah dibuat lapisan tipis Cu/Ni pada variasi waktu deposisi Ni dengan metode elektroplating. Penelitian bertujuan untuk menentukan pengaruh waktu deposisi terhadap tebal lapisan Ni, struktur mikro, dan resistivitas lapisan. Sebagai elektroda digunakan pelat nikel dan tembaga, sedangkan larutan elektrolit dibuat dari paduan NiSO₄ 75g, NiCl₂ 10g, H₃BO₃ 7,5g, dan H₂O 250 ml. Deposisi dilakukan pada tegangan 1,5 volt, jarak antar elektroda 4 cm, dan suhu 60°C. Waktu deposisi divariasi dari 1 menit sampai 5 menit. Karakterisasi sampel dilakukan dengan memotret tampang permukaan Ni dan tampang lintang Cu/Ni menggunakan foto SEM, analisis kandungan unsurnya menggunakan EDS untuk sampel hasil deposisi 1 menit dan 5 menit, karakterisasi struktur mikro dengan XRD, tebal lapisan Ni dengan perhitungan, serta resistivitas keping dilakukan dengan alat probe empat titik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tebal lapisan Ni sebanding dengan waktu deposisi Ni. Dari foto SEM pada permukaan lapisan Ni terlihat bahwa sampel hasil deposisi Ni selama 1 menit belum menampakkan adanya butir-butir Ni sedangkan pada sampel hasil deposisi Ni selama 5 menit telah menampakkan butir-butir Ni. Dari analisis menggunakan EDS diperoleh bahwa pada lapisan Cu/Ni mengandung elemen Ni dan Cu serta senyawa NiO dan CuO dengan kadar Ni sebanding dengan waktu deposisi Ni. Dari analisis struktur mikro menggunakan XRD diperoleh beberapa fasa yaitu Cu, Ni, dan NiO berstruktur kristal sedangkan fasa CuO berstruktur amorf. Dari nilai resistivitas keping, semakin lama waktu deposisi resistivitas keping semakin berkurang.

Kata kunci: lapisan Cu/Ni, elektroplating, tebal lapisan, struktur mikro, resistivitas keping, waktu deposisi

Abstract. It has been produced the Cu/Ni thin film by electroplating methods on the various time deposition. The aim of the research is to determine the effect of deposition time to the Ni thickness, microstructure, and sheet resistivity of film. Nickel and copper were used as electrodes, while electrolyte solution was made from alloy of NiSO₄ 75g, NiCl₂ 10g, H₃BO₃ 7,5g, and H₂O 250 ml. Deposition was done on the voltage of 1.5 volt, electrode distance of 4 cm, temperature of 60°C. Deposition time was varied from 1 to 5 minutes. Characterization of sample was done by taking the SEM photograph on the surface of Ni film and cross section of Cu/Ni, analysis of element content was done by EDS for samples resulted from 1 minute and 5 minutes' depositions, characterization on the microstructure by XRD, Ni film thickness by calculation, and sheet resistivity with four point probes. The results show that the Ni layer thickness was proportional to Ni deposition time. From the SEM image on the surface of the Ni layer it is seen that the sample resulting from Ni deposition for 1 min has not revealed any Ni grains while in the sample resulting from Ni deposition for 5 mins has revealed Ni grains. From the analysis using EDS it is found that in Cu / Ni layer contains Ni and Cu elements and NiO and CuO compounds with Ni content is proportional to Ni deposition time. From micro structure analysis using XRD obtained some phase that is Cu, Ni, and NiO in the crystal structure while CuO phase is amorphous structure. From the sheet resistivity value, the longer deposition time the less sheet resistivity.

Keywords: Cu/Ni thin film, electroplating, film thickness, microstructure, sheet resistivity, deposition time.

[†] email: mtoifur@yahoo.com

1. Pendahuluan

Kajian mengenai material tembaga (Cu) dan nikel (Ni) menjadi penting karena potensinya yang besar untuk digunakan sebagai bahan sensor suhu jenis suhu rendah [1,2,3]. Aplikasi material tersebut untuk dijadikan sensor suhu adalah berbasis RTD (*Resistance Temperature Detector*) yaitu perubahan nilai tahanan listrik berdasarkan perubahan suhu [3,4]. Kedua bahan tersebut bisa dibentuk kumparan bisa juga dibentuk menjadi lapisan tipis. Tembaga lebih sesuai digunakan untuk suhu rendah [5,6] bahkan dapat digunakan untuk mengukur suhu yang sangat rendah hingga mencapai suhu $-234,5^{\circ}\text{C}$ [5] dengan respon linier. Tembaga juga memiliki koefisien temperatur yang tinggi ($4300 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$) [7] walaupun masih lebih rendah dari platina. Koefisien temperatur ini menentukan sensitivitas sensor. Oleh karena itu tembaga merupakan material terbaik sebagai pengganti platina yang selama ini telah umum digunakan.

Nikel juga memiliki kemampuan untuk digunakan sebagai sensor suhu pada rentang -200°C s.d. 320°C . Secara ekonomis nikel berharga murah sebagaimana tembaga dan baik digunakan sebagai sensor suhu [4].

Jika kedua bahan berikatan dapat membentuk paduan. Hal ini memungkinkan karena syarat terbentuknya paduan kesamaan ukuran atomnya dan kesamaan struktur kristal. Ni dan Cu memiliki ukuran atom hampir sama yaitu $0,1246\text{\AA}$ dan $0,1278\text{\AA}$ dan keduanya memiliki struktur kristal fcc sehingga dengan terjadinya proses difusi akan terbentuk paduan dengan jenis ikatan ikatan substitusi [8]. Jika Cu dan Ni dibuat lapisan tipis menjadi Cu/Ni maka akan menghasilkan gaya adhesi pada *interface* antara tembaga dan nikel yang sangat kuat [9].

Pada penelitian ini akan dibuat lapisan tipis Cu/Ni atau (Cu substrat/Ni film) dengan teknik elektroplating atau plating DC [10,11]. Plating Ni pada Cu akan meningkatkan nilai resistivitas Cu dari $1,7 \mu\Omega\text{cm}$ menjadi lebih besar karena Ni memiliki resistivitas $7,3 \mu\Omega\text{cm}$. Besarnya peningkatan resistivitas Cu/Ni bergantung pada kadar Ni [12]. Untuk memperoleh resistivitas terbesar dilakukan variasi waktu deposisi Ni. Pengaturan parameter deposisi yang tepat akan memberikan keuntungan tambahan. Pengaturan suhu elektrolit 60°C akan menghasilkan lapisan yang lebih lentur [13]. Jika tebal lapisan Ni pada Cu mencapai sekitar 10 nm maka akan dihasilkan lapisan yang lebih keras dari pada lapisan tipis individual Cu atau lapisan Ni saja. Kenaikan kekerasan maksimum untuk Ni 25% [14].

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari plat tembaga berukuran $10 \times 1,3 \text{ cm}^2$ sebanyak 5 buah, plat ini digunakan sebagai substrat dan dipasang sebagai katoda sedangkan nikel dengan ukuran sama digunakan sebagai anoda. Larutan elektrolit dibuat dari campuran asam borak (H_3BO_3), nikel sulfat (NiSO_4), dan nikel klorida (NiCl_2). Asam borak digunakan sebagai pengontrol pH larutan elektrolit yang terdiri dari nikel sulfat dan nikel klorida. Untuk mengencerkan larutan digunakan aquadest.

Sementara peralatan penelitian terdiri dari beaker glass 1000 ml sebagai wadah (*bath*) untuk proses elektroplating, termokopel untuk mengontrol suhu larutan agar tetap 60°C , pembakar spiritus untuk memanaskan larutan elektrolit, resistor untuk menarik arus listrik, sumber tegangan DC diatur 1,5

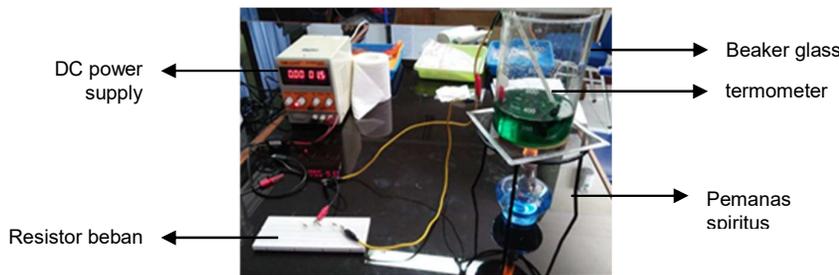
volt, neraca Ohaus tipe PA214 untuk mengukur massa pelat sebelum dan setelah dideposisi, *ultrasonic cleaner* untuk membersihkan sampel, serta Multimaster untuk menampilkan nilai tegangan dan arus pada alat probe 4 titik secara teliti.

Alat yang digunakan untuk karakterisasi meliputi SEM untuk mengetahui tampang permukaan lapisan Ni dan tampang lintang lapisan Cu/Ni, XRD untuk mengetahui struktur kristal Cu/Ni, dan *probe* empat titik untuk menentukan resistivitas keping lapisan .

Prosedur penyiapan sampel sebagai substrat adalah: pertama memotong pelat tembaga (Cu) sebagai substrat dengan ukuran $10 \times 1,3 \text{ cm}^2$ kemudian dihaluskan secara bertahap menggunakan kertas *abrasive* berukuran 1200 cw, 1500 cw, dan 2000 cw. Pelat Cu yang telah diampelas dihaluskan dengan penggosokan pada permukaannya berbantuan autosol, kemudian dibersihkan dengan larutan rinso, dibilas dengan aquadest, dan tahap terakhir dibilas dengan alkohol di dalam *ultrasonic cleaner*. Substrat yang telah dibersihkan dikeringkan dengan *hair dryer*, setelah kering dibungkus tissue, dan disimpan dalam plastik klip.

2.2 Metode eksperimen

Pada proses elektroplating disiapkan larutan elektrolit dengan komposisi H_3BO_3 (7,5 g), NiSO_4 (75 g), NiCl_2 (10 g) dan H_2O (250 ml). Selanjutnya peralatan dirangkai sesuai Gambar 1, larutan dipanaskan dengan pembakar bunsen hingga suhu 60°C . Proses elektroplating dilakukan pada tegangan 1,5 volt selama 1 menit dengan jarak elektroda 4 cm. Proses elektroplating diulangi dengan melakukan variasi waktu 2 menit, 3 menit, 4 menit dan 5 menit.



Gambar 1. Rangkaian alat pada proses elektroplating Ni/Cu

Massa substrat sebelum dan setelah elektroplating ditimbang untuk menentukan tebal lapisan Ni mengikuti persamaan:

$$d = \frac{\Delta m}{\rho A} = \frac{m_{\text{Cu/Ni}} - m_{\text{Cu}}}{\rho A}, \quad (1)$$

dengan, d tebal lapisan Ni yang terbentuk (cm), Δm selisih massa sebelum dan setelah dilapisi (gr), $m_{\text{Cu/Ni}}$ massa sampel Cu/Ni, m_{Cu} massa substrat Cu, ρ massa jenis pelapis (gr/cm^3), dan A luas permukaan lapisan (cm^2). Ralat d diperoleh dari perambatan ralat dari $m_{\text{Cu/Ni}}$, m_{Cu} , dan A sehingga menjadi:

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

Pengukuran resistivitas keping menggunakan probe 4 titik dengan persamaan [15]:

$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{I}. \quad (3)$$

Jika pengukuran dilakukan dengan melakukan variasi I dan mencatat nilai V , maka pers. (2) dapat ditulis menjadi:

$$V = \frac{\ln 2}{\pi} R_s I. \quad (4)$$

Jika dimisalkan $y=V$ dan $x=I$ maka dengan melakukan regresi linier set data (I_i, V_i) mengikuti persamaan $y = ax+b$ diperoleh slope grafik a ,

$$a = \frac{\ln 2}{\pi} R_s, \quad (5)$$

sehingga resistivitas keping menjadi

$$R_s = \frac{a\pi}{\ln 2}, \quad (6)$$

dan ralat untuk R_s adalah

$$s_{R_s} = \left| \frac{\partial R_s}{\partial a} s_a \right| = \frac{\pi}{\ln 2} s_a, \quad (7)$$

dengan

$$s_a = s_{\hat{y}} \sqrt{\frac{N}{N \sum I_i^2 - (\sum I_i)^2}}, \quad (8)$$

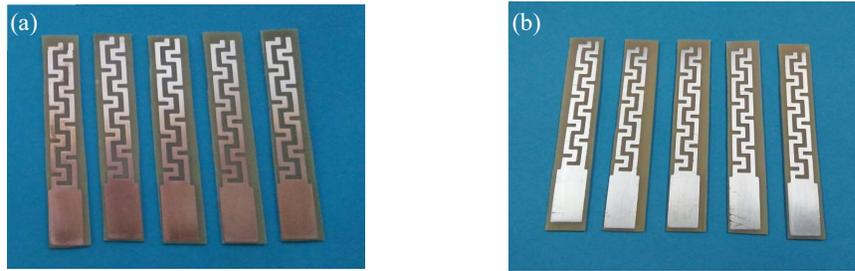
dan

$$s_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \bar{V})^2}{N - 2}}, \quad (9)$$

Dengan N banyaknya data

3. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 2 ditampilkan foto substrat Cu sebelum dan setelah dilapisi Ni. Sebelum dideposisi dengan Ni seperti pada Gambar 2(a) substrat berwarna coklat kemerahan, dan setelah dideposisi dengan Ni warna permukaan sampel menjadi putih keperak-perakan seperti ditunjukkan pada Gambar 2(b). Sampel yang disiapkan terdiri dari 5 variasi waktu deposisi, dengan demikian untuk sampel Cu/Ni yang merupakan sampel hasil deposisi Ni pada substrat Cu dengan 5 variasi waktu deposisi. Sampel dibagi menjadi 2 bagian yaitu yang berisi litografi dan yang tidak mengandung litografi. Luas sampel yang mengandung litografi 1,6 cm² sedangkan luasa sampel yang tidak mengandung litografi adalah 2,6 cm².

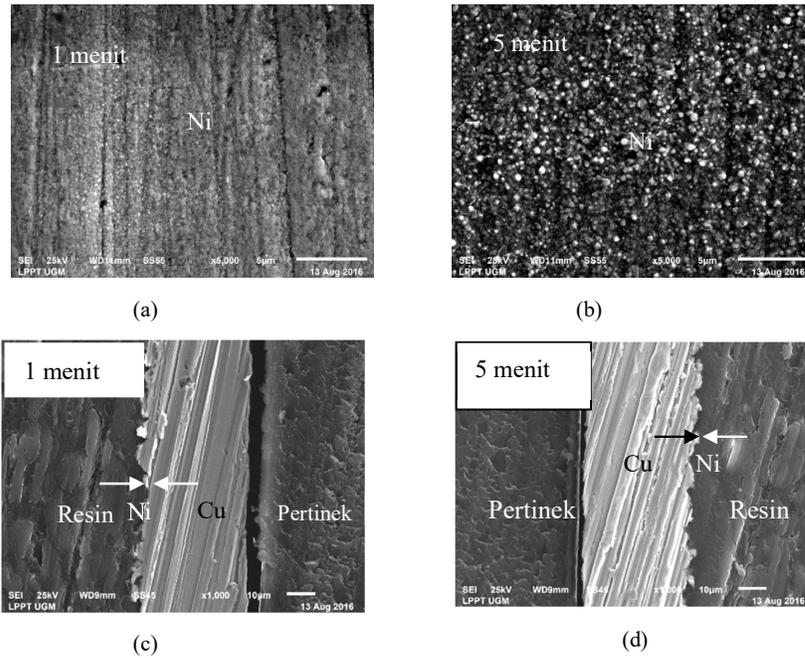


Gambar 2. (a) Substrat Cu sebelum dilapisi Ni, (b) sampel Cu/Ni setelah dideposisi dengan Ni pada variasi waktu deposisi.

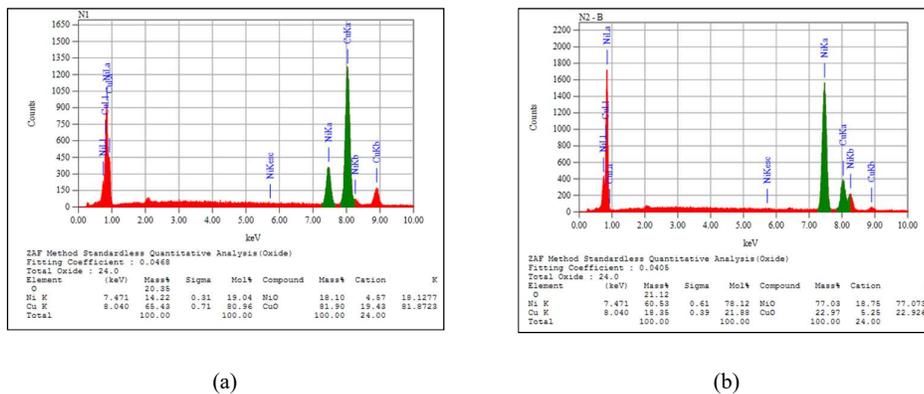
Pada Gambar 3 ditampilkan foto SEM tampang permukaan lapisan Ni pada sampel Cu/Ni dengan perbesaran 5.000 kali. Gambar 3(a) untuk sampel Cu/Ni dengan waktu deposisi Ni 1 menit, sedangkan Gambar 3(b) untuk sampel Cu/Ni dengan waktu deposisi 5 menit. Peneliti menganggap cukup membandingkan 2 foto permukaan lapisan Ni hasil deposisi Ni pada substrat Cu selama 1 menit (yang merupakan batas waktu deposisi terkecil) dengan 5 menit (yang merupakan waktu deposisi terbesar) karena pada kedua sampel ini perbedaan tampilan permukaan lapisan Ni cukup mencolok, sedangkan untuk sampel hasil deposisi Ni pada substrat Cu selama 2 menit, 3 menit, dan 4 menit tidak ditampilkan karena perbedaan tampilan permukaan lapisan Ni kurang jelas.

Pada Gambar 3(a) butiran-butiran Ni pada permukaan Cu kurang tampak. Hal ini disebabkan karena dalam waktu tersebut kadar atom-atom Ni yang terdeposisi pada substrat Cu belum begitu banyak sehingga tampilan permukaan masih bercampur dengan lapisan Cu. Pada sampel ini tebal lapisan Ni kurang signifikan. Lain dengan Gambar 3(b) kadar Ni yang dideposisikan pada substrat Cu tampak lebih banyak sehingga tampak butiran-butiran di permukaan Cu. Dengan membandingkan kedua sampel ini maka waktu deposisi berpengaruh pada pembentukan lapisan Ni di permukaan Cu. Semakin lama waktu deposisi semakin banyak lapisan Ni yang menempel pada lapisan Cu.

Selanjutnya pada Gambar 3(c) dan Gambar 3(d) ditampilkan foto SEM tampang lintang sampel Cu/Ni yang merupakan hasil deposisi Ni pada substrat Cu dalam waktu 1 menit dan 5 menit. Foto diambil dengan perbesaran 1000 kali. Kedua gambar tidak menampakkan adanya lapisan Ni pada Cu. Hal ini disebabkan lapisan Ni masih sangat tipis.



Gambar 3. Foto SEM yang mendeskripsikan morfologi sampel Cu/Ni. (a) tampak permukaan lapisan Ni hasil deposisi pada substrat Cu dalam waktu 1 menit, (b) tampak permukaan lapisan Ni hasil deposisi pada substrat Cu dalam waktu 5 menit, (c) tampak lintang sampel Cu/Ni untuk dengan waktu deposisi lapisan Ni selama 1 menit, (d) tampak lintang sampel Cu/Ni untuk dengan waktu deposisi lapisan Ni selama 5 menit.



Gambar 4. Spektrum EDS sampel Cu/Ni hasil deposisi Ni pada substrat Cu pada waktu: (a) 1 menit dan (b) 5 menit.

Pada gambar 4 ditampilkan spektrum EDS (*Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy*) sample Cu/Ni hasil deposisi Ni pada substrat Cu pada waktu 1 menit dan 5 menit. Dari gambar tersebut serta dari nilai komposisi Ni dan yang tercantum di tabel yang menyertai gambar baik dalam bentuk persen elemen maupun persen senyawanya dengan oksigen diperoleh kejelasan bahwa lapisan nikel telah ada didalam sampel tersebut. Selain itu terbentuk juga senyawa NiO yang merupakan hasil reaksi antara nikel dengan oksigen dari larutan. Oksigen ini berasal dari elemen pelarut asam borak dan nikel sulfat. Perbandingan persen massa elemen Ni dan Cu hasil dari analisis EDS sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan massa tembaga dan nikel pada lapisan Cu/Ni

| Persentase massa elemen | Deposisi | |
|----------------------------|----------|---------|
| | 1 menit | 5 menit |
| Ni | 14,22% | 60,53% |
| Cu | 66,43% | 18,35% |

Selain itu juga ditemukan senyawa NiO dan CuO. Kandungan Ni pada sampel hasil deposisi dengan Ni selama 5 menit cukup besar dibanding kandungan Ni pada sampel hasil deposisi selama 1 menit. Dengan elektroplating hal ini memungkinkan terjadi karena penumbuhan lapisan Ni pada Cu ini termasuk penumbuhan material jenis logam ke logam lain sehingga tipenya cenderung mengikuti S-K (Stranski-Krastanov)[16]. Tipe S-K ini dimulai dari reaksi ion-ion Ni dengan permukaan Cu sehingga terbentuk struktur tegang (*strained structure*) dilanjutkan pembentukan kluster, kemudian terbentuk lapisan. Kejadian ini berulang-ulang sehingga terbentuk lapisan yang lebih tebal. Pertumbuhan jenis S-K terjadi pada suhu yang tidak tinggi dan mobilitas di bagian permukaan rendah [17,18].

Pada sampel ini lapisan Ni dapat menempel dengan kuat pada permukaan Cu karena terjadinya difusi atom Ni ke atom-atom Cu. Hal ini sangat mungkin karena terjadi karena sebagaimana dikemukakan oleh Schleich bahwa secara atomik Cu dan Ni memiliki radius dan parameter kisi yang hampir sama dan memiliki struktur kristal sama yaitu fcc (*face centered cubic*) [[8][8]. Selain itu gaya adesi pada *interface* antara Cu dan Ni yang cukup kuat juga membantu terbentuknya ikatan Ni ke permukaan Cu ini [9].

Selanjutnya untuk menentukan pengaruh waktu deposisi terhadap ketebalan lapisan Ni dilakukan perhitungan tebal lapisan sesuai persamaan (1), dengan data luas $A = 7,61 \text{ cm}^2$ dan $\rho = 8,9 \text{ g/cm}^3$. Hasilnya ditampilkan pada Tabel 2.

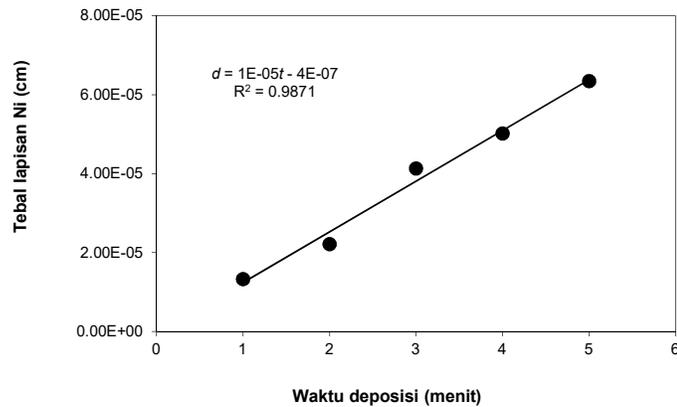
Tabel 2. Tebal lapisan Ni pada variasi waktu deposisi

| Waktu deposisi (t) | m_{Cu} (g) | $m_{\text{Cu/Ni}}$ (g) | Tebal lapisan Ni, d (cm) |
|-----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1 | $2,8266 \pm 0,00005$ | $2,8275 \pm 0,00005$ | $(1,3288 \pm 0,0004) \times 10^{-05}$ |
| 2 | $2,9683 \pm 0,00005$ | $2,9698 \pm 0,00005$ | $(2,2147 \pm 0,0006) \times 10^{-05}$ |
| 3 | $3,0403 \pm 0,00005$ | $3,0431 \pm 0,00005$ | $(4,1341 \pm 0,0012) \times 10^{-05}$ |
| 4 | $2,8366 \pm 0,00005$ | $2,8400 \pm 0,00005$ | $(5,0200 \pm 0,0014) \times 10^{-05}$ |
| 5 | $2,8987 \pm 0,00005$ | $2,9030 \pm 0,00005$ | $(6,3488 \pm 0,0018) \times 10^{-05}$ |

Dari set data (t_i, d_i) jika diregresi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5 diperoleh maka memiliki hubungan yang linier yang terbentuk menurut persamaan

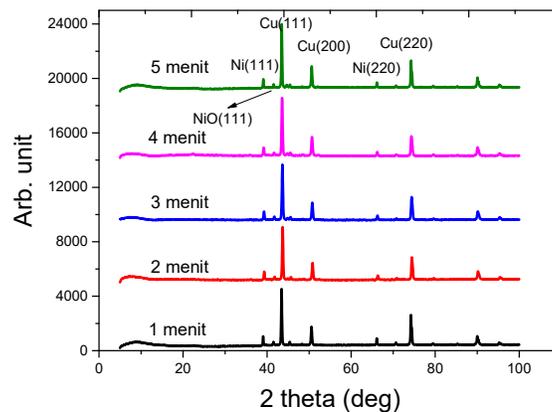
$$d = 1.2845 \times 10^{-5} t - 4.4294 \times 10^{-7} \quad (10)$$

Hal ini menunjukkan semakin lama waktu yang digunakan dalam pelapisan, maka semakin tebal lapisan Cu/Ni.



Gambar 5. Kurva hubungan waktu deposisi dengan tebal lapisan nikel

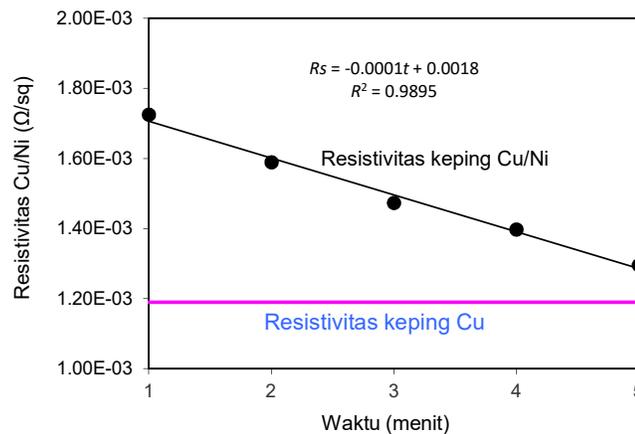
Selanjutnya pada Gambar 6 ditampilkan pola difraksi sinar -X sampel Cu/Ni hasil deposisi pada berbagai waktu deposisi. Dari pola tersebut dapat diidentifikasi adanya beberapa fasa berstruktur kristal yaitu Cu, Ni, dan NiO. Puncak dominan Cu berada pada sudut difraksi 2θ sekitar 42° dengan orientasi bidang hkl (111) sedangkan puncak dominan Ni terjadi pada sudut difraksi sekitar 39° dengan orientasi bidang hkl (111). Tidak ada pergeseran fasa Ni yang disebabkan perlakuan variasi waktu deposisi. Fasa NiO muncul pada sudut $41,5^\circ$ dengan orientasi bidang hkl (111), sementara fasa CuO tidak ditemukan. Jika hal ini dikonfirmasi dengan hasil analisis spektrum EDS dimana pada spektrum EDS ditemukan senyawa CuO maka senyawa ini tidak berstruktur kristal namun amorf.



Gambar 6. Pola defraksi sinar X untuk sampel lapisan Cu/Ni hasil deposisi pada berbagai waktu deposisi Ni.

Keteraturan struktur kristal berhubungan dengan karakteristik bahan tersebut baik fisis maupun elektrik. Pada lapisan yang memiliki susunan kristal teratur akan memberikan kemudahan aliran arus listrik untuk mengalir sehingga resistivitasnya relatif lebih kecil dibandingkan lapisan dengan susunan kristal yang kurang teratur atau tidak teratur.

Pada Gambar 7 ditampilkan resistivitas keping sampel Cu/Ni. Sebelum dilapisi Ni resistivitas keping substrat Cu = $(1,19 \pm 0,08) \times 10^{-3} \Omega/\text{sq}$ dan setelah dilapisi Ni seluruh nilai resistivitas keping Cu/Ni menjadi meningkat, lebih besar dari resistivitas keping Cu semula. Hal ini sesuai dengan ungkapan Afsarimanesh bahwa cara untuk meningkatkan tahanan lapisan tembaga adalah dengan mengkombinasikannya dengan bahan lain sehingga terbentuk paduan [19]. Menurut rumus Hume-Rothery jika dua atom memiliki ukuran yang hampir sama, memiliki selisih ukuran atom relatif kurang dari 15%, struktur kristalnya sama serta elektronegativitasnya hampir sama, maka akan lebih mudah membentuk paduan karena mampu berdifusi secara substitusi. Pembentukan paduan ini secara teoritis sangat memungkinkan karena ukuran atom Ni dan Cu hampir sama yaitu $0,1246 \text{ \AA}$ dan $0,1278 \text{ \AA}$, selisih relatif dari jari-jari kedua atom 2,57%, sementara struktur kristalnya sama yaitu fcc (*face centered cubic*) [20], dan elektronegativitasnya hampir sama yaitu 1,91 untuk Ni dan 1,9 untuk Cu sehingga akan terjadi proses difusi.



Gambar 7. Resistivitas keping Cu dan lapisan Cu/Ni hasil deposisi pada variasi waktu deposisi Ni

Nikel jika dipadukan dengan tembaga memiliki peran untuk meningkatkan tahanan tembaga [12] karena resistivitas nikel ($7,0 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$) lebih besar dibanding resistivitas Cu ($1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$). Kenaikan resistivitas keping Cu/Ni berpeluang untuk meningkatkan kepekaan bahan jika akan digunakan sebagai sensor suhu. Namun sejalan dengan kenaikan waktu deposisi Ni, resistivitas keping menjadi semakin menurun. Penurunan nilai resistivitas keping berhubungan secara linier terhadap waktu deposisi Ni sesuai dengan persamaan:

$$R_s = -0.0001 t + 0.0018 \quad (11)$$

Sementara itu dari data ketebalan lapisan sebagaimana diungkapkan pada Gambar 5 semakin lama deposisi ketebalan semakin bertambah. Walaupun demikian penurunan resistivitas keping Cu/Ni tidak sampai mencapai atau lebih kecil dari resistivitas keping substrat Cu. Dengan demikian difusi Ni pada substrat Cu akan menaikkan nilai resistivitas, dan penambahan ketebalan lapisan Ni pada Cu/Ni menjadikan resistivitas keping semakin turun.

4. Kesimpulan

Telah berhasil dilakukan deposisi Ni pada substrat Cu dengan metode elektroplating pada tegangan 1,5 volt dan suhu larutan elektrolit 60°C yang terbuat dari campuran H₃BO₃ (7,5 g), NiSO₄ (75 g), NiCl₂(10 g), H₂O(250 ml), proses deposisi dilakukan dalam waktu 2 menit. Berdasarkan analisis SEM, semakin lama proses deposisi maka kandungan nikel pada permukaan tembaga semakin meningkat. Dari analisis EDS diperoleh elemen Cu dan Ni dengan kandungan Ni pada deposisi Ni 5 menit lebih besar dari deposisi Ni 1 menit. Selain itu juga ditemukan senyawa NiO dan CuO. Dari perhitungan tebal lapisan diperoleh hasil bahwa semakin lama deposisi ketebalan lapisan semakin bertambah. Dari uji struktur mikro dengan XRD diperoleh semua sampel mengandung fasa Cu, Ni, dan NiO yang berstruktur kristal, sedangkan NiO berstruktur amorf. Dari uji resistivitas keping menunjukkan pada deposisi 1 menit nilai resistivitas keping Cu/Ni menjadi tinggi, dan resistivitas keping ini semakin menurun dengan semakin lama waktu deposisi Ni.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini merupakan sebagian hasil dari penelitian utama dengan judul Rancang Bangun Suhu Semen Sapi Menggunakan Lapisan Tipis Cu/Ni dengan Metode Elektroplating. Peneliti mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Menristekdikti yang telah memberi dana melalui skim Hibah Bersaing tahun 2016 dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian tahun anggaran 2016 nomor 011/HB-LIT/III/2016.

Daftar Pustaka

- [1] Post, J.W. and Bhattacharyya, A., *Burn-In and Thermal Cyclic Tests to Determine the Short-Term Reliability of A Thin Film Resistance Temperature Detector*. Microelectronics Reliability. (2012) p. 1389-1395.
- [2] Santos, E.J.P. , Vasconcelos, I.B.. *RTD-Based Smart Temperature Sensor: Process Development and Circuit Design*. Proceedings in 2008 26th International Conference on Microelectronics, (2008) Vol. 1 and 2. p. 333-336.
- [3] Nusse, D. , Noetzel, R. and Vdi., *Temperature Sensors in Nickel Thin Film Technology*, Sensoren Und Messsysteme (2008) p. 891-898
- [4] Chowdhury, T. & H. Bulbul, *Design of a Temperature Sensitive Voltage Regulator for AC Load Using RTD*, International Journal of Engineering Science and Technology, (2010) Vol. 2 No. 12, p.7896-7903.
- [5] Afsarimanesh, Nasrin and Ahmed, Zaheer, P. *LabVIEW Based Characterization and Optimization of Thermal Sensors*, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, (2011) Vol. 4 No. 4. ISSN: 1178-5608. p. 726-739.
- [6] Boylestad, *Introductory Circuit Analysis*, Tenth Edition (2003) Parential Hall Pearson Education International.
- [7] Lukose, C.C., Zoppi, G. and Birkett, M. *Thin film resistive materials: past, present and future*, Materials Transactions, (2004) Vol. 45, No. 12 pp. 3330 to 3333.
- [8] Schleich, KM Europa Metal AG, *Application Of Copper-Nickel Alloy Uns C70600 For Seawater Service*, <https://pdfs.semanticscholar.org>
- [9] Okamoto, N., Wang, F. and Watanabe, T. *Adhesion of Electrodeposited Copper, Nickel and Silver Films on Copper, Nickel and Silver Substrates*, Materials Transactions, (2004) Vol. 45, No. 12 pp. 3330-3333.

- [10] Srinivas, P., Hamann, S., Wambach, M., Ludwig A. and Dey, S. R. *Fabrication of a Ni-Cu Thin Film Material Library Using Pulsed Electrodeposition*, Journal of The Electrochemical Society, (2014) **161** No. 10 D504-D509).
- [11] Mattox, Donald, M.. *Handbook Of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing Film Formation, Adhesion, Surface Preparation And Contamination Control*. (1986) New Jersey: Noyes Publications
- [12] Hultgren, R., *Fundamental of Physical Metallurgy*. Prentice-Hall Inc., (1953) New York.
- [13] Luo, J. K., Pritschow, M., Flewitt, A. J., Spearing, S. M., Fleck, N. A., and Milne, W. I., *Effects of Process Conditions on Properties of Electroplated Ni Thin Films for Microsystem Applications*, Journal of The Electrochemical Society (2006) **153** (10) D155-D161.
- [14] Tokarz, T. Frączek, Z. Balaga and Z. Nitkiewicz, *Structure, Hardness and Thermal Stability of Electrodeposited Cu/Ni Nanostructured Multilayers*, Rev.Adv.Mater.Sci. **15** (2007) 247-252.
- [15] Toifur, M. *Memahami Resistivitas berbagai Jenis Probe Arus-Tegangan*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta, 26 April (2014) ISSN : 0853-0823.
- [16] Venables, J. A., and Spiller, G. D. T. *Nucleation and Growth of Thin Films, Surface Mobilities on Solid Materials—Fundamental Concepts and Applications*, (V. T. Binh, ed.), NATO ASI Series, Series B: Physics (1983) Vol. 86, p. 341, Plenum Press.
- [17] Venables, J. A., Spiller, G. D. T., and Hanbucker, M., *Nucleation and Growth of Thin Films*, Rep. Prog. Phys., (1984) **47**:399-89.
- [18] Nieminen, J. A., and Kaski, K., *Criteria for Different Growth Modes of Thin Films*, Surf. Sci., (1987) 185:L 489.
- [19] Fraden, J., *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. (2003) New York: Springer.
- [20] Purnama, B., Nurosyid, F., Abraha, K., dan Sudjatmoko. *Analisis Sifat Listrik Dan Magnetik Lapisan Tipis Ni₈₀Fe₂₀ Hasil Deposisi Sputtering Sebagai Bahan Dasar Sensor Magnet*, Majalah IPTEK (2004) Vol. 15, No. 2