

KETEBALAN DAN NILAI RESITIVITAS LAPISAN TIPIS Cu/Ni/Cu/Ni HASIL PENUMBUHAN DENGAN METODE ELEKTROPLATING PADA VARIASI TEGANGAN DEPOSISI (V)

Rizalul Fiqry¹, Moh. Toifur² dan Azmi Khusnani³

^{1,3}Mahasiswa Program Studi Megister Pendidikan Fisika Program Pascasarjana UAD

²Dosen Program Studi Megister Pendidikan Fisika Program Pascasarjana UAD

Abstrak

Dewasa ini, penggunaan dan pemanfaatan teknologi sensor ditemukan hampir di semua bidang. Pengembangan teknologi sensor juga masif dilakukan, baik di bidang kesehatan, pertanian, pendidikan, militer, maupun teknik sipil. Salah satu sensor yang juga dikembangkan adalah sensor suhu rendah. Riset untuk mencari varian sensor suhu rendah tersebut juga telah banyak dilakukan. Begitu juga dengan penelitian yang akan dilakukan ini. Penelitian yang dilakukan ini, dihadapkan untuk menambah varian bahan dasar yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan sensor suhu rendah. Multilapisan yang tersusun dari logam tembaga (Cu) dan nikel (Ni) diharapkan mampu identik dengan RTD yang berbahan dasar platina (Pt). Dari penelitian penelitian sebelumnya, diketahui lapisan tipis Cu/Ni memiliki tingkat kepekaan terhadap suhu yang masih rendah. Kemudian, dengan menjadikan sampel berupa lapisan multilayer, diketahui dapat meningkatkan kepekaan lapisan terhadap suhu rendah. Sehingga, penelitian ini akan memfokuskan pada pembuatan multilapisan Cu/Ni/Cu/Ni menggunakan metode elektroplating dengan memvariasi waktu dan tegangan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui ketebalan lapisan dan nilai resistivitas setiap lapisan. Dari analisis data, diperoleh kesimpulan; (1) peningkatan tegangan, linier dengan peningkatan ketebalan lapisan; (2) Pada pelapisan Ni terhadap Cu, Cu terhadap Cu/Ni dengan konsentrasi, waktu dan suhu yang sama menunjukkan nilai resistivitas dengan nilai yang hampir sama. Hal itu menunjukkan lapisan yang terbentuk homogen; dan (3) pada pelapisan Ni terhadap Cu/Ni/Cu dengan variasi tegangan, menunjukan peningkatan nilai resistivitas.

Kata kunci: RTD, resistivitas, multilapisan, Cu/Ni/Cu/Ni, electroplating.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di abad 21 terus meningkat. Cara hidup yang lebih efektif dan akurat menjadi dasar yang kuat untuk melakukan riset bertajuk inovasi di bidang teknologi. Salah satu teknologi yang dikembangkan dalam penelitian adalah teknologi sensor. Pemanfaatan sensor nyaris ditemukan hampir di seluruh bidang, diantaranya, kedokteran (Jeroen et al, 2015; (2015), teknologi komputer (Ching et al, 2015), dan detektor asap (Mukund, 2015).

Salah satu yang menjadi fokus penelitian dewasa ini adalah sensor suhu rendah (Xianghong et al, 2015; Toifur, 2015; Qiuyue et al, 2016; Getinet, 2016). Sebuah alat yang mampu mengukur sampai batas suhu ekstrim menjadi cita-cita ilmu pengetahuan. Begitu juga dengan cita-cita pengembangan teknologi sensor suhu rendah. Sebagai elemen utama penyusun sensor suhu rendah, riset tentang RTD masif dilakukan. Meski sudah banyak penelitian dilakukan untuk meningkatkan sensitivitas RTD, namun usaha untuk menemukan varian yang tepat dan sesuai kebutuhan terus dilakukan. Logam penyusun RTD yang biasa digunakan adalah, platina (Pt) (Maher et al, 2014). Logam yang masuk dalam komunitas logam mulia itu biasa didapat dengan harga yang mahal, sehingga perlu dilakukan penelitian

dengan menggunakan logam lain. Salah satu pilihan yang biasa dipakai adalah mendifusikan tembaga (Cu) dan nikel (Ni) hingga menjadi *alloy* Cu-Ni atau dwilapisan Cu/Ni.

Selain *alloy*, Cu dan Ni juga bisa ditumbuhkan dalam bentuk lapisan tipis (orde *nano* – *amstrom*) dengan salah satu metode yang bernama elektroplating (Mordechay, 2004). Metode elektropalting adalah salah satu cara penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan prinsip pengendapan logam dengan cara *elektrokimia*. Metode ini dinilai efektif untuk penumbuhan lapisan tipis karena bisa mengontrol tegangan dan waktu. Meskipun (relatif) mudah dilakukan, tetapi metode ini memiliki keterbatasan dalam mengontrol jumlah dan ukuran partikel logam (Jang, 2011 et al; Saehana, 2012; Mamat et al, 2016).

Riset untuk penumbuhan lapisan Cu/Ni menunjukkan tingkat kesensitifan yang relatif masih kurang dan memungkinkan untuk ditingkatkan (Xiaohua Zhang, 2017). Salah satu cara yang digunakan adalah meningkatkan nilai resistivitas dengan menambah lapisan tipis (Sudjatmoko, 2005). Penumbuhan lapisan tipis multilapisan adalah salah satu cara yang bisa digunakan. Penelitian bertujuan untuk membuat desain sensor suhu rendah bentuk multilapisan *Cu/Ni/Cu/Ni* dengan variasi waktu dan tegangan, meningkatkan sensitivitas lapisan tipis tembaga sebagai bahan dasar pembuatan *RTD* dengan cara pelapisan nikel melalui proses *electroplating* dan melihat struktur mikro dari lapisan yang terbentuk. Lapisan yang akan dihasilkan nantinya diharapkan mampu peka pada suhu terendah dari nitrogen cair.

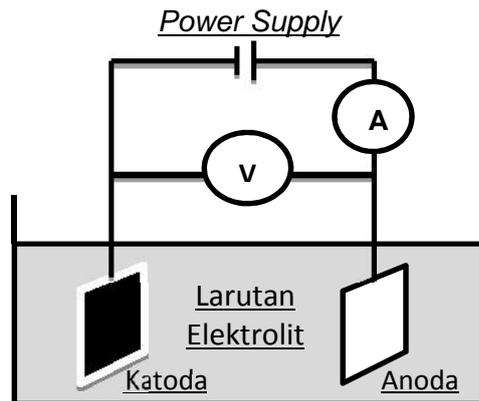
Penelitian ini pada akhirnya diharapkan mampu meningkatkan kinerja sensor suhu rendah. Peningkatan kinerja sensor akan dilihat dengan membandingkan kinerja sensor lapisan Cu/Ni yang telah diteliti dengan Cu/Ni/Cu/Ni yang akan diteliti. Beberapa kelebihan Penumbuhan multi lapisan dari hasil riset yang telah dilakukan adalah, berpotensi mampu memberikan nilai kekerasan yang tinggi (Budi, 2016), meningkatkan rasio *magneto-impedansi* dan sensitivitas medan meningkat secara signifikan (Ismail et al, 2015), mengalami peningkatan nisbah *magneto-impedansi* dengan dilakukan pelapisan secara berulang (Amiruddin et al, 2014) dan peningkatan nilai resistivitas.

2. KAJIAN LITERATUR

Bahan yang digunakan dalam pembuatan lapisan tipis adalah logam dari golongan IV, yaitu palatina (Pt), emas (Au), tembaga (Cu), dan nikel (Ni). Lapisan tipis yang terbentuk digunakan sebagai bahan dasar *RTD* (*Resistance Temperature Detector*). Pt dianggap paling baik sebagai bahan dasar pembuatan *RTD* karena memiliki respon dan ketahanan dalam jangka waktu yang panjang (Fraden, 2010). Mahalnya bahan dasar dari Pt dan Au menjadikan logam Cu dan Ni sebagai alternatif pemanfaatannya sebagai bahan lapisan tipis. Untuk meningkatkan nilai resistivitas, maka Cu harus dikotori dengan Ni.

Selain *alloy*, cara yang digunakan untuk mendifusikan logam Cu dan Ni adalah dengan proses pelapisan. Salah satu metode yang digunakan dalam proses pelapisan adalah dengan memindahkan partikel dari lempeng logam pelapis ke logam yang dilapisi secara *elektrokimia*. Metode ini dikenal dengan sebutan elektroplating (Basmal, 2012). Pada metode ini, dibutuhkan arus searah (*DC*) dengan tegangan yang konstan.

Sebagai pengotor, logam *Ni* memiliki fungsi untuk meningkatkan nilai resistivitas logam Cu. Berbagai penelitian menumbuhkan lapisan tipis Cu/Ni dengan metode elektroplating untuk mengetahui tingkat resistivitas lapisan sebagai bahan dasar sensor suhu dengan variasi pada waktu, konsentrasi larutan, tegangan dan suhu anil telah dilakukan (Riswanto et al, 2014; Prasetyo et al, 2017; Toifur et al, 2017; Khusnani dan Toifur, 2018). Setiap variasi bertujuan untuk melihat pengaruhnya pada tingkat kepekaan terhadap suhu nitrogen. Konsentrasi larutan (Afriani et al, 2012), waktu celup (Triyono, 2013), rapat arus (Supriadi, 2010) berpengaruh pada nilai kekerasan, ketebalan dan resistivitas.



Gambar 1. Skema alat elektropaling

Tingkat sensitifitas (kepekaan) dari lapisan Cu/Ni masih rendah, sehingga dimungkinkan untuk dilakukan peningkatan kepekaan (Jikan, 2013). Salah satu cara yang bisa dilakukan untuk meningkatkan nilai kepekaan tersebut adalah dengan melakukan pelapisan secara berulang atau menumbuhkan lapisan tipis multilayer (Nakamura et al, 2007; Saritan, 2015). Secara umum, ada empat hal yang mempengaruhi kualitas hasil elektroplating, yaitu rapat arus, suhu larutan, nilai *pH* larutan *elektrolit* dan waktu pelapisan (Rieger; Rasyad, 2011; Riyanto dan Toifur, 2013; Sukarelawan dan Toifur, 2015).

Multilapisan terbentuk ketika bahan yang berbeda secara bergantian diendapkan (Shen et al, 2018). Sistem multilapisan metalik tipis telah sering digunakan dalam perekaman magnetik dan pembacaan untuk mencapai kepadatan pengemasan yang lebih tinggi (Sadeghi dan Zolanvari, 2009). Proses penumbuhan multilapisan teknik elektroplating dengan meningkatkan waktu dan nilai tegangan tertentu bertujuan untuk meningkatkan transportasi massa. Semakin banyak lapisan dengan kepadatan transportasi massa tertentu, maka bahan akan mengalami peningkatan hambatan listrik (Kim et al, 2011).

Dalam proses elektroplating dengan bahan pelapis Ni, larutan elektrolit yang dapat digunakan antara lain nikel sulfat (NiSO_4) dan nikel klorida (NiCl_2). Tingkat keasaman (*pH*) larutan elektrolit perlu diperhatikan. Agar tingkat keasaman dapat diperoleh, maka perlu ditambahkan asam borak (H_3BO_3) sebagai pengontrol kadar keasaman larutan elektrolit. Konsentrasi larutan elektrolit dinyatakan berdasarkan perbandingan massa zat terlarut (gr) terhadap volume zat pelarut (ml).

Selama proses elektroplating dengan logam nikel sebagai pelapis, NiSO_4 akan mengalami elektrolisis menjadi ion Ni^{2+} dan SO_4^{2-} dan NiCl_2 menjadi Ni^{2+} dan 2Cl^- . Selanjutnya ion Ni^{2+} akan tertarik menuju katoda dan membentuk lapisan Ni pada katoda. Sedangkan logam nikel pada anoda akan teroksidasi menjadi ion Ni^{2+} dan bereaksi dengan ion SO_4^{2-} dan 2Cl^- menggantikan ion Ni^{2+} yang membentuk lapisan pada katoda. Reaksi kimia yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut (Setyowati, 2012). Uji ketebalan dilakukan dengan membagi selisih massa setelah pelapisan dengan massa sebelum pelapisan dengan massa jenis logam yang dikalikan dengan luas penampang lapisan (Basmal, 2012). Nilai resistivitas didapat dengan menggunakan probe empat titik dengan cara memvariasi tegangan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap dari Januari 2019 sampai dengan September 2019. Pertama. Proses pembuatan sampel Cu/Ni/Cu/Ni dengan metode *electroplating* dan karakterisasi resistivitas keping untuk Cu, Cu/Ni, Cu/Ni/Cu dan Cu/Ni/Cu/Ni dilakukan di Laboratorium Pascasarjana Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan Jl. Pramuka No. 42, Sidikan, Umbulharjo Yogyakarta. Kedua, karakterisasi struktur

mikro *XRD* untuk lapisan tipis Cu/Ni/Cu/Ni dilakukan di Laboratorium Kimia bagian Laboratorium *XRD* Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta. Ketiga, uji karakterisasi mikro untuk foto *SEM-EDX* dilakukan di Laboratorium LIPI Yogyakarta.

Sasaran penelitian ini adalah untuk mengamati hasil lapisan tipis *electroplating* terhadap nilai resistivitas dan struktur mikro. Sasaran variabel yang dituju yaitu perubahan waktu dan tegangan yang digunakan pada proses elektroplating.

Untuk preparasi sampel dilakukan dengan urutan, pembuatan desain berupa cutting sticker berukuran (10 x 1,3) cm pada PCB polos yang memiliki lapisan Cu. Sampel kemudian dilarutkan dengan menggunakan larutan FeCe₃, kemudian dibersihkan dengan aquades. Proses elektropalting dilakukan sebanyak 3 tahap, yaitu pelapisan Ni terhadap Cu dengan waktu 60 detik, pelapisan Cu terhadap Cu/Ni dengan waktu 90 detik dan pelapisan Ni terhadap Cu/Ni/Cu. Pada pelapisan terakhir dilakukan proses elektropalting dengan menggunakan variasi tegangan (V).

Untuk larutan pada setiap pelapisan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Kosentrasi larutan untuk pelapisan pertama

Pelapisan	Larutan yang digunakan					
	H ₃ BO ₃ (g)	NiSO ₄ (g)	NiCl ₂ (g)	H ₂ O (ml)	CuSO ₄ (g)	H ₂ SO ₄ (ml)
Ni terhadap lapisan Cu	7,5	175	30	250	-	-
Cu terhadap lapisan Cu/Ni	-	-	-	250	62,5	13
Ni terhadap lapisan Cu/Ni/Cu	7,5	100	15	250	-	-

Sampel multilapisan yang telah ditumbuhkan kemudian dilakukan beberapa pengujian. Pertama, menentukan tebal lapisan. Cu sebagai lapisan pertama yang merupakan bahan penyusun *PCB* ditimbang telah dahulu sebagai massa awal. Setelah dilakukan pelapisan dengan Ni, kemudian massa lapisan Cu/Ni ditimbang. Pehitungan ketebalan lapisan (u) dilakukan dengan membagikan selisih massa (W) dan perkalian massa jenis (...) logam pelapis dengan luas penambang lapisan (A). Persamaan yang digunakan adalah:

$$u = \frac{W}{\dots A} \quad (1)$$

Kedua, menentukan resistivitas lapisan penentuan nilai resistivitas lapisan tipis. Data yang diperoleh dari eksperimen kinerja sensor adalah perubahan nilai tegangan *output* (V) terhadap perubahan suhu (T). Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai resistivitas adalah:

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

$$R_s = \frac{f}{\ln 2} a \quad (3)$$

Ketiga, Uji Kinerja Sensor. Data yang diperoleh dari eksperimen kinerja sensor adalah perubahan nilai tegangan *output* (V) terhadap perubahan suhu (T). Analisis karakteristik struktur mikro dengan melihat data puncak (*peak list*) yang dihasilkan. Dengan melakukan analisis terhadap tampilan puncak *difraktograf* dapat diketahui apakah telah terbentuk lapisan Ni yang diinginkan atau tidak. Untuk uji *SEM-EDX* akan dihasilkan gambar lapisan

yang terbentuk, dan dapat diketahui struktur atom yang telah tersusun dari pelapisan yang dihasilkan

4. HASIL PENELITIAN

1. Tampilan sampel hasil elektroplating

Hasil dari elektroplating ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2. (a) Lapisan Cu/Ni; (b) Lapisan Cu/Ni/Cu; dan (c) Lapisan Cu/Ni/Cu/Ni

2. Uji Ketebalan Lapisan

Electroplating merupakan salah satu metode pembuatan lapisan tipis dengan memanfaatkan arus searah (*DC*). Proses pelapisan dilakukan dengan mendeposisikan logam pelapisan terhadap yang logam dilapisi dalam sebuah larutan elektrolit. Larutan elektrolit digunakan sebagai tempat berpindahnya elektron dari plat pelapis ke plat yang akan dilapisi. Proses pembuatan multilapisan adalah dengan dilakukan electroplating deposisi secara berulang hingga terbentuk lapisan $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$.

Penentuan ketebalan lapisan bahan pelapis yang terbentuk di atas sebelumnya dilakukan dengan teknik pengukuran tidak langsung yaitu dengan mengukur selisih antara massa sebelum dan sesudah pada lapisan tipis. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 2. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu_1/Ni_1 dan $Cu/Ni/Cu$

Lapisan	waktu (s)	Suhu (T) ($^{\circ}C$)	Tegangan (V) (volt)	Rata-rata (cm) $\times 10^{-4}$
Cu/Ni	60	60	1,15E-02	1,29 \pm 0.43
Cu/Ni/Cu	30	60	8,10E-03	1,00 \pm 0.43

Sampel $Cu_1/Ni_1/Cu_2$ kemudian di-*electroplating* lagi dengan Ni_2 dengan menggunakan variasi tegangan. Sehingga membentuk lima sampel $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$.

Tabel 3. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂

Sampel	V	Waktu (s)	Massa Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂	Massa Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂	m (g)	(cm) x10 ⁻⁴
10	1,5	60	4,3531	4,3591	6,00E-03	0,886± 0.43
5	2,5	60	4,1126	4,1292	1,66E-02	2,45± 0.43
2	3,5	60	4,111	4,1323	2,13E-02	3,14± 0.43
9	4,5	60	3,5062	3,5322	2,60E-02	3,84± 0.43
1	5,5	60	4,0827	4,1144	3,17E-02	4,68± 0.43

Hasil ketebalan lapisan dapat dilihat pada tabel 8 dan 9, dimana masing-masing memiliki nilai ketebalan lapisan yang tidak jauh berbeda. Hal ini menandakan bahwa lapisan Cu telah terlapisi oleh Ni dan lapisan Cu₁/Ni₁ yang telah terlapisi Cu dengan ketebalan yang cenderung identik. Sedangkan untuk hasil ketebalan lapisan Ni₂ yang dilapisi pada Cu₁/Ni₁/Cu₂ yang ditunjukkan oleh tabel 10 mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan transportasi massa yang memiliki hubungan linier dengan peningkatan tegangan saat dilakukan proses *electroplating*.

3. Uji Resistivitas Lapisan

Resistivitas listrik merupakan parameter dasar untuk mengelompokkan suatu jenis logam yang bersifat isolator, konduktor atau semikonduktor. Logam Cu yang digunakan sebagai elemen RTD sebagai suhu rendah diharapkan mempunyai sensitivitas yang lebih baik, sehingga harus dipadukan dengan Ni. Untuk meningkatkan sensitivitas, adalah membuat multilapisan sehingga nilai resistivitas meningkat.

Pengukuran resistivitas keping bertujuan untuk mengetahui besarnya resistansi setiap lapisan pada sampel. Resistivitas merupakan parameter dasar untuk mengkrakterisasi sifat suatu logam. Penentuan nilai resistivitas dianalisis dengan teknik regresi linier antara kuat arus terhadap beda potensial pada masing-masing *probe*. Penentuan nilai resistivitas dilakukan empat (4) kali, yaitu dilakukan sebelum proses pelapisan (Cu), pelapisan Cu terhadap Ni, pelapisan Ni terhadap Cu₁/Ni₁ dan pelapisan Ni terhadap Cu₁/Ni₁/Cu₂.

a. Resistivitas lapisan Cu, Ni terhadap Cu dan Cu terhadap Cu/Ni

Menggunakan perlakuan yang sama, yaitu suhu, konsentrasi dan tegangan yang tetap maka rata rata nilai Rs pada setiap lapisan adalah:000

$$\begin{aligned} \text{Cu (lapisan dasar)} &= (1,12 \pm 0,04) \times 10^{-3} \\ \text{Ni terhadap Cu} &= (1,26 \pm 0,04) \times 10^{-3} \\ \text{Cu terhadap Cu/Ni} &= (1,09 \pm 0,03) \times 10^{-3} \end{aligned}$$

b. Resistivitas lapisan Ni₂ terhadap Cu₁/Ni₁/Cu₂ dengan variasi tegangan (V)

Persamaan hasil regresi data antara beda potensial (V) dan kuat arus (I) untuk menentukan nilai resistivitas keping Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂ setelah di-*electroplating* dengan variasi tegangan ditampilkan pada tabel 17.

Tabel 4. Persamaan linier antara tegangan (V) dan kuat arus (I) berbagai sampel setelah elektroplating deposisi dengan variasi tegangan (V)

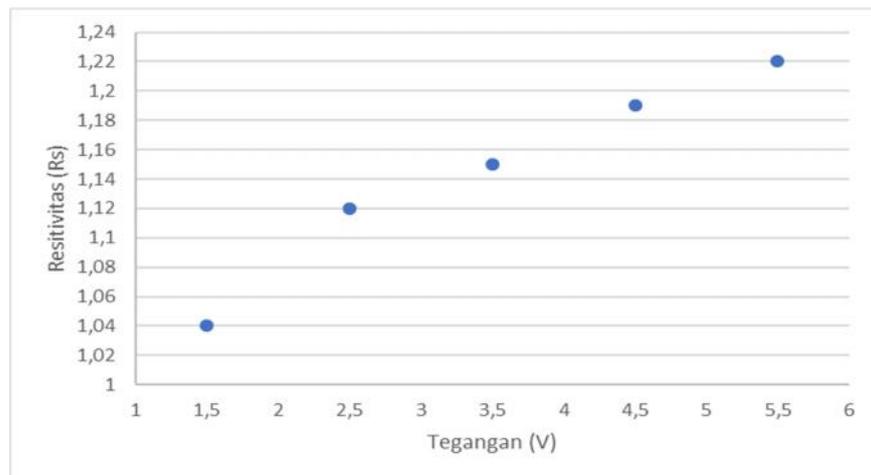
No.	Sampel	Persamaan y=ax+b	R ²
1	10	V=0,0002I - 0,0035	0,9968
2	5	V=0,0002I - 0,00006	0,9970
3	2	V=0,0003I-0,0055	0,9989
4	9	V=0,0003I - 0,0030	0,9987
5	1	V=0,0003I -0,0019	0,9986

Dari hasil persamaan regresi linier diperoleh nilai a yang selanjutnya menentukan nilai resistivitas keping menggunakan persamaan (25) dan ralatnya diperoleh dengan menggunakan persamaan (26). Hasil perhitungan nilai resistivitas keping dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 5. Nilai resistivitas keping sampel $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$

No	V	Sampel	$R_s \pm S_{R_s}$ (/sq) 10^{-3}
1	1.5	10	(1,04±0,03)
2	2.5	2	(1,12±0,04)
3	3.5	5	(1,15±0,02)
4	4.5	9	(1,19±0,03)
5	5.5	1	(1,22±0,03)

Berdasarkan analisis data, didapatkan bahwa persamaan hasil regresi data antara beda potensial (V) dan kuat arus (I) untuk menentukan nilai resistivitas keping $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ terlihat pada Tabel 12. Dari hasil tersebut, maka didapatkan nilai resistivitas dan ralatnya yang terlihat pada Tabel 13. Pada data tabel menunjukkan ada peningkatan nilai resistivitas yang linier dengan peningkatan tegangan. Hubungan antara tegangan dengan resistivitas pada lapisan $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ ditunjukkan oleh grafik. Dibandingkan dengan nilai resistivitas pada lapisan Cu_1/Ni_1 terlihat penurunan nilai R_s . Hal ini menunjukkan meningkatkan kepekaan lapisan terhadap suhu.



Gambar 3. Hubungan antara resistivitas dengan tegangan

5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Peningkatan tegangan, linier dengan peningkatan ketebalan lapisan
2. Pada pelapisan Ni terhadap Cu, Cu terhadap Cu/Ni dengan konsentrasi, waktu dan suhu yang sama menunjukkan nilai resistivitas dengan nilai yang hampir sama. Hal itu menunjukkan lapisan yang terbentuk homogen.
3. Pada pelapisan Ni terhadap Cu/Ni/Cu dengan variasi tegangan, menunjukan peningkatan nilai resistivitas

6.DAFTAR PUSTAKA

- Basmal, Bayuseno dan Sri Nugroho. (2012). Pengaruh Suhu dan Waktu Pelapisan Tembaga-Nikel pada Baja Karbon Rendah Secara Elektroplating Terhadap Nilai Ketebalan dan Kekasaran. *Jurnal ROTASI Vol. 14, No. 2, April 2012 (23-28)*
- Catherine F. Smura, Dinah R. Parker, Mohamed Zbiri, Mark R. Johnson, Zoltán A. Gál, Simon J. Clarke. 2011. High-Spin Cobalt(II) Ions in Square Planar Coordination: Structures and Magnetism of the Oxsulfides Sr₂CoO₂Cu₂S₂ and Ba₂CoO₂Cu₂S₂ and Their Solid Solution *Journal of the American Chemical Society, 2011, 133, 2691-2705*
- Ching-Tsung Hsueh, Chih-Yu Wen, Yen-Chieh Ouyang. (2015). A Secure Scheme Against Power Exhausting Attacks in Hierarchical Wireless Sensor Networks. *IEEE*
- Haglund, J.; Korling, M.; Fernandez Guillermet, F.; Grimvall, G. 1993. Theory of Bonding in Transition-Metal Carbides and Nitrides. *Physical Review, Serie 3. B - Condensed Matter (18,1978-)*
- Jeroen J. van Vonderen, Stuart B. Hooper, Jacco K. Kroese, Arno A. W. Roest, Ilona C. Narayen, Erik W. van Zwet, Arjan B. te Pas. (2015). Pulse Oximetry Measures a Lower Heart Rate at Birth Compared with Electrocardiography. *The Journal of Pediatrics*
- Jun Zhang, Xianghong Liu, Giovanni Neri, Nicola Pinna. (2015). Nanostructured Materials for Room-Temperature Gas Sensors. *IEEE*
- Kim, Jikwang *et al.* (2001). A Study on the Fabrication of an RTD (Resistance Temperature Detector) by Using Pt Thin Film. *Korean J. Chem. Eng, 18 (1), p.61-66*
- Lida Shen, Kailin Zhao, Mingbo Qiu, Xin Wang, Mingzhi Fan. (2018). Preparation and Properties of Nano-multilayer Films by Rotating Jet Electrodeposition. *Int. J. Electrochem. Sci, 13 (2018) 984 – 993, doi: 10.20964/2018.01.47*
- Maher, Anthony, Vijayalakshmi Velusamy, Daniel Riordan and Joseph Walsh. 2014. Modelling of Temperature Coefficient of Resistance of a Thin Film RTD Towards Exhaust Gas Measurement Applications. *Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology, p.19-22*
- Mamat Rokhmat, Edy Wibowo, Sutisna, Khairurrijal, Mikrajuddin Abdullah. (2016). Performance Improvement of TiO₂/CuO Solar Cell by Growing Copper Particle using Fix Current Electroplating Method. *Engineering Physics International Conference, EPIC*
- Moh. Toifur, Nuramalia A, Okimustava O, Irma Sukarelawan. (2017). Pengaruh Waktu Deposisi Pada Tebal Lapisan Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi Dengan Teknik Electroplating. *Jurnal Material dan Energi Indonesia: Vol 7 No 02*
- Moh. Toifur, Y Yuningsih and A Khusnani. (2018). Microstructure, thickness and sheet resistivity of Cu/Ni thin film produced by electroplating technique on the variation of electrolyte temperature. *IOP Science*
- Moh. Toifur. (2007). Deposition of Cu/Ag At The Various Deposition Time For Resulting The High Quality Decorative Silver. *Proceeding of The International Seminar on Natural Sciences and Applied Natural Sciences, Yogyakarta 2007, ISBN: 978-979-3812-09-0.*
- Mordechay Schlesinger. (2004). Electroplating. *Wiley Online Library*

- Mukund Kulkarni, Saravanan Meenatchi Sundaram, Vinten Diwakar. (2015). Development of sensor and optimal placement for smoke detection in an electric vehicle battery pack. *IEEE*
- Qiuyue Yang, Xiaobiao Cui, Jiangyang Liu, Jing Zhao, Yinglin Wang, Yuan Gao, Peng Sun, Jian Ma and Geyu Lu. (2016). A low temperature operating gas sensor with high response to NO₂ based on ordered mesoporous Ni-doped In₂O₃
- S. Saehana, P. Arifin., Khairurrijal, and M. Abdullah. (2012). A new architecture for solar cells involving a metal bridge deposited between active TiO₂ particles. *Journal of Applied Physics 111*, 2012, pp 1-7
- Shu-Hong Yu, Helmut Cölfen, and Markus Antonietti. (2011). Control of the Morphogenesis of Barium Chromate by Using Double-Hydrophilic Block Copolymers (DHBCs) as Crystal Growth Modifiers. *Chemistry A European Journal*
- Subhas Chandra Mukhopadhyay. (2015). Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review. *IEEE*
- Xiaohua Zhang, Daoxin Liu, Xiaoying Li, Hanshan Dong, Yuntao Xi. (2017). The Effect of Modulation Ratio of Cu/Ni Multilayer Films on the Fretting Damage Behaviour of Ti-811 Titanium Alloy
- Y. H. Jang, X. Xin, M. Byun, Y. J. Jang, Z. Lin, D. H. Kim. (2011). An Unconventional Route to High Efficiency DSSC via Embedding Graphitic Thin Film into TiO₂ Nanoparticles Photoanodes. *Nano Lett 12*, 2011, pp 479-485