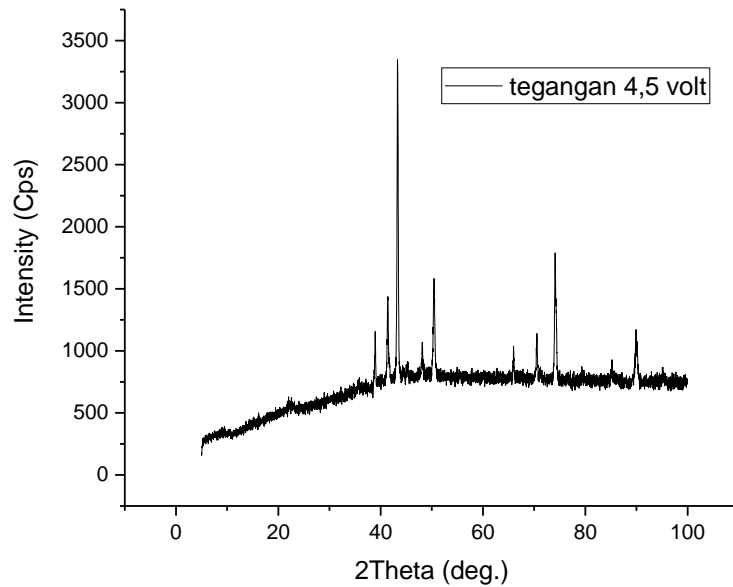


Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

1. Telah diperoleh spektrum XRD sensor suhu kumparan Cu/Ni hasil deposisi pada tegangan 4,5 volt



Gambar 1. Spektrum XRD kumparan Cu/Ni hasil deposisi pada suhu 30 °C

Dari spektrum CRD diatas tampak bahwa lapisan Cu/Ni telah membentuk struktur kristal. Dari identifikasi menggunakan met-3 diperoleh bahwa puncak-puncak tersebut bersesuaian dengan fasa Cu dan Ni pada sudut-sudut difraksi sebagaimana ditampilkan pada tabel 1.

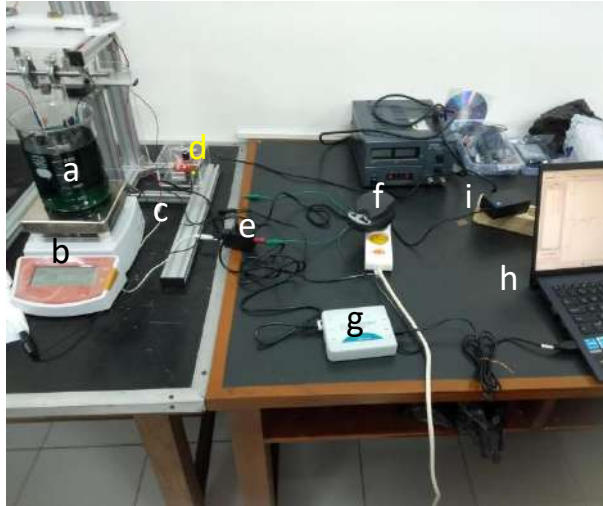
Tabel 1. Nama partikel dan sudut puncak difraksi lapisan Cu/Ni

Partikel	Puncak ke	2 Theta [°]	FWHM [°]
Cu	1	43.32.00	1,666667
	2	50.44.00	2,500000
	3	74.12.00	1,666667
	4	89.9200	1,944444
Ni	1	38.9400	1,666667
	2	41.40.00	1,666667
	3	48.16.00	1,111111
	4	66.00.00	0,833333
	5	70.54.00	1,944444

Untuk memperoleh ukuran butir dilakukan analisis menggunakan metode Scherrer termodifikasi. Hasilnya diperoleh ukuran butir untuk Cu adalah 0,5071 nm dan untuk Ni 0,7761 nm. Data ini digunakan untuk membuat paper sebagai luaran penelitian ke-1.

2. Telah diperoleh kumparan Cu yang dilapisi Ni sebagai sensor suhu rendah pada variasi suhu dari 30°C sampai 70°C.

Proses pelapisan Cu dengan Ni menggunakan alat elektroplating sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Foto alat elektroplating yang dipasangkan dengan sensor tegangan, suhu, arus diamati di laptop menggunakan aplikasi vernier loggerpro. (a) bath elektroplating, (b) heater larutan elektrolit, (c) sensor tegangan, (d) pengatur elektroda naik-turun, (e) sensor arus, (f) catu daya tegangan elektroda, (g) transduser labquest mini, (h) laptop, (i) catu daya penyangga mesin elektroplating.

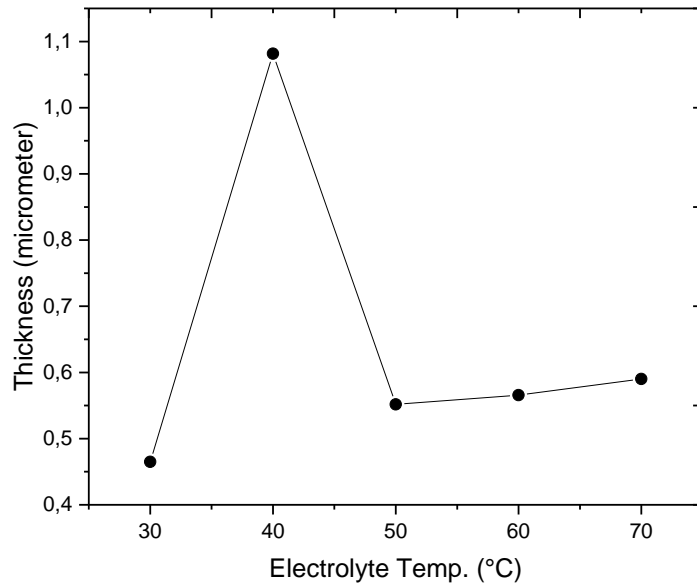
Pelapisan dilakukan dengan teknik elektroplating dalam waktu 4 menit, jarak elektroda 4 cm, tegangan 4,5 volt, suhu divariasikan dari 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C. Pada Gambar 3, (a) sampai (f) diberikan foto kumparan Cu sebelum dan setelah dilapisi. Kumparan Cu terbuat dari kabel tunggal diameter 0,5 mm, dibuat menjadi kumparan berdiameter 0,5 cm sebanyak 300 lilitan 10 cm.



Gambar 3. Sensor suhu kumparan Cu berlapisan Ni. (a) sebelum dilapisi, (b) hasil pelapisan Cu dengan Ni pada suhu elektrolit 30 °C, (c) 40 °C, (d) 50 °C, (e) 60 °C, (f) 70 °C.

Analisis secara fisik menunjukkan bahwa kumparan tembaga sebelum dilapisi nikel berwarna kuning, namun setelah dilapisi nikel warna menjadi keputihan. Semakin tinggi suhu elektrolit semakin menghitam.

3. Telah berhasil dikarakterisasi tebal lapisan



Gambar 4. Tebal lapisan Ni pada berbagai suhu larutan elektrolit

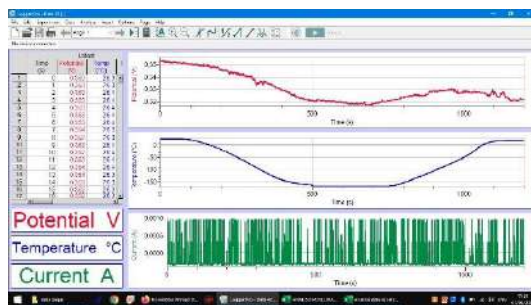
Dari analisis ukuran butir menggunakan metode Scherrer termodifikasi dipeorleh bahwa ukuran butir Ni merentang dari 0,46 μm sampai 1,08 μm . Dari gambar tampak adanya kecenderungan semakin besar suhu elektrolit semakin tebal lapisan Ni. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin naik suhu elektrolit maka semakin mudah partikel ion menembus larutan. Namun dipeorleh kondisi yang luar biasa yaitu pada suhu 40°C ukuran butir meningkat hingga 1,08 μm . Sebagaimana abanyak peneliti ungkapkan memang suhu 40°C atau ada juga yang mengungkapkan suhu antara 40°C sampai 50°C merupakan suhu terbaik untuk melaksanakan plating. Dengan diperolehnya tebal lapisan Ni 1,08 μm tersebut diharapkan sampel ini dapat berperilaku sebagai sensor suhu rendah terbaik.

4. Kurva tegangan, suhu, dan arus terhadap waktu untuk setiap sensor.

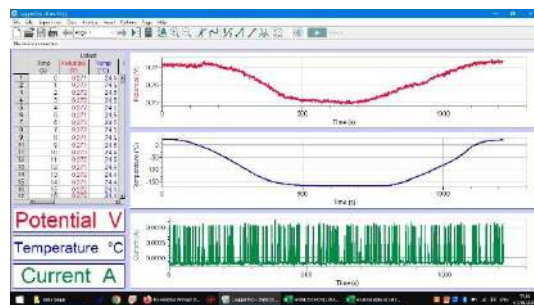
Dari

(a)

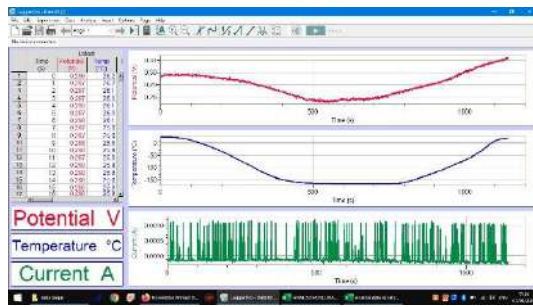
(b)



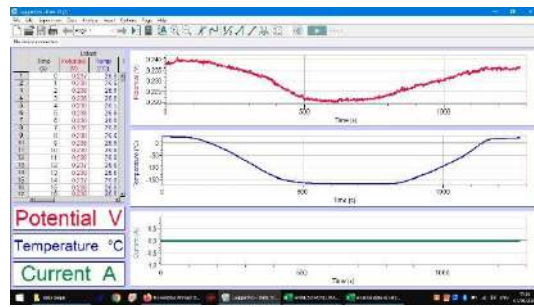
(c)



(d)



(e)



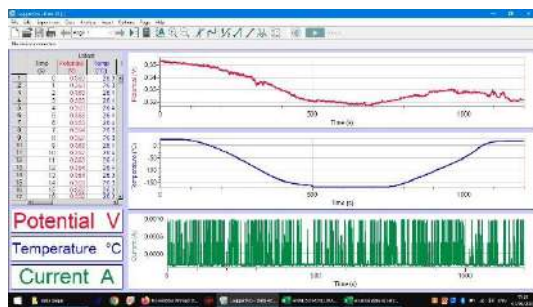
(f)

Gambar 5 sampai Error! Reference source not found. ditampilkan kurva potensial vs waktu dan temperature vs waktu. Sementara di sebelah kiri grafik terdapat tampilan numerik untuk waktu, potensial dan temperature. Gambar ini merupakan luaran tegangan dan suhu melalui aplikasi loggerpro. Dari nilai numerik tersebut selanjutnya dapat diturunkan beberapa besaran sensor meliputi jangkau tegangan, waktu respon sensor, kepekaan, dan rugi histerisis.

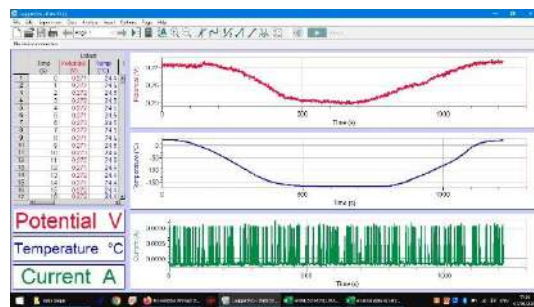


(a)

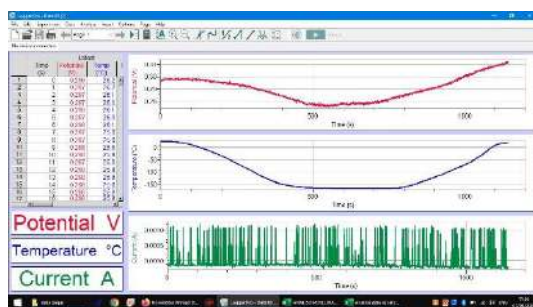
(b)



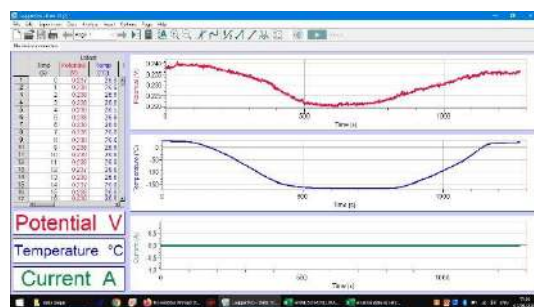
(c)



(d)



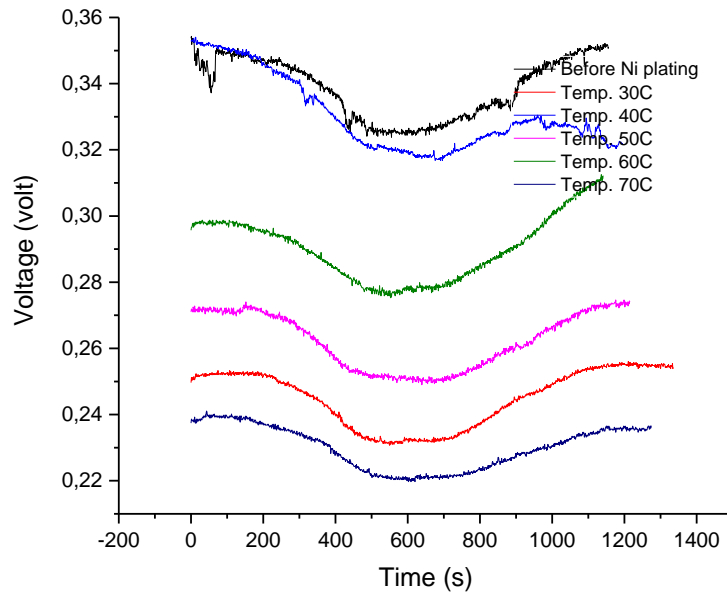
(e)



(f)

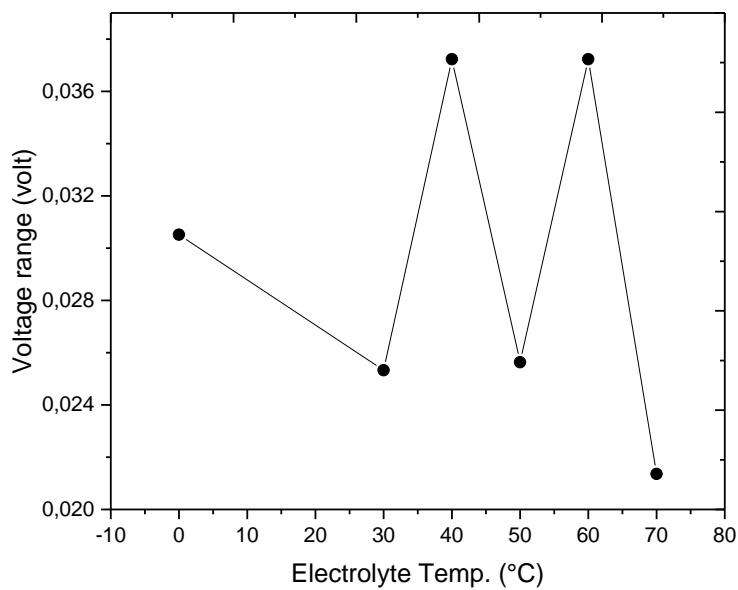
Gambar 5. Hasil karakterisasi tegangan, suhu, arus dan waktu untuk : (a) sensor Cu sebelum dilapisi Ni, (b) dilapisi Ni pada suhu elektrolit 30 °C, (c) dilapisi Ni pada suhu elektrolit 40 °C, (d) dilapisi Ni pada suhu elektrolit 50 °C, (e) dilapisi Ni pada suhu elektrolit 60 °C, (f) dilapisi Ni pada suhu elektrolit 70 °C.

Dari Gambar 5 (a) sampai (e) jika dijadikan satu khusus untuk sensor kumparan Cu/Ni menjadi sebaga berikut:



Gambar 6. Kurva tegangan-waktu pada berbagai suhu elektrolit

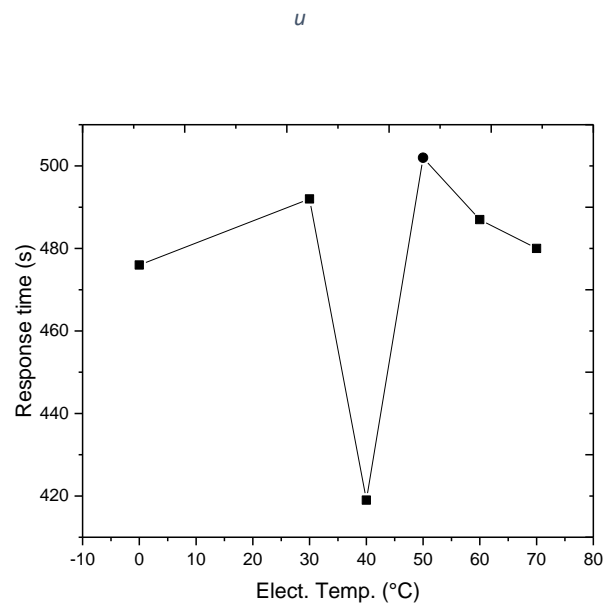
5. Jangkauan tegangan



Gambar 7. Variasi jangkauan tegangan sensor hasil deposisi pada berbagai suhu elektrolit

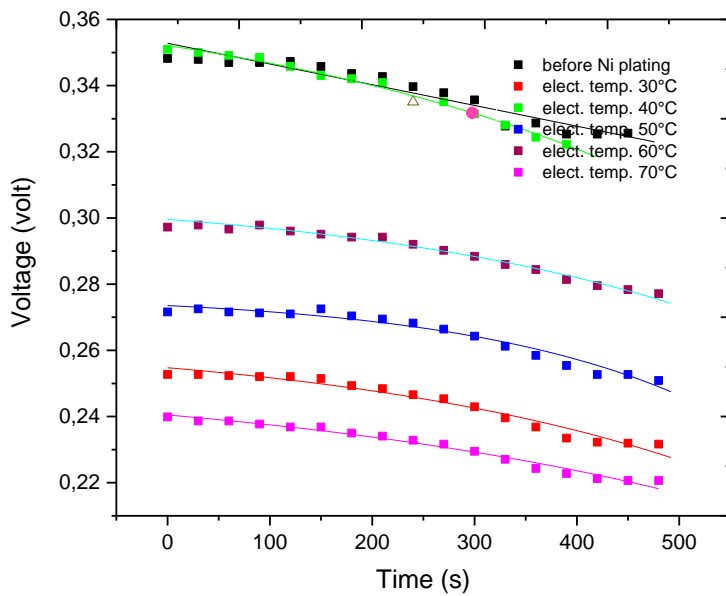
Jangkau tegangan mendiskripsikan tegangan output sensor jika digunakan untuk mengukur suhu terendah (-160°C) sampai suhu tertinggi (25°C). Jangkau sensor ini berhubungan dengan ketelitian sensor untuk menunjuk dengan tepat suhu medium yang diukur. Sensor yang memiliki jangkau tegangan besar lebih teliti dalam menunjuk suhu. Dari gambar tampak bahwa jangkau sensor berkisar dari 0,021 volt sampai 0,037 volt. Jangkau tegangan tertinggi 0,037 volt bersesuaian dengan pelapisan Ni pada suhu 40°C. Ini lebih tinggi dari kumparan Cu sebelum dilapisi Ni yaitu 0,030 volt. Dengan demikian maka pelapisan nikel dapat meningkatkan jangkau tegangan sensor.

6. Waktu respon sensor



Gambar 8. Waktu respon setiap sensor terhadap perubahan suhu

Waktu respon merupakan waktu yang diperlukan sensor untuk merespon suhu dari 20°C sampai -160°C. Sensor yang baik yang memiliki waktu respon singkat. Walaupun demikian pada setiap suhu respon sensor tidak sama. Pada suhu-suhu tinggi di sekitar 0°C sensor relatif lebih cepat merespon perubahan suhu dibanding pada suhu-suhu rendah di dekat -150°C. Dengan demikian diperlukan besaran satu parameter lagi yaitu konstanta waktu.



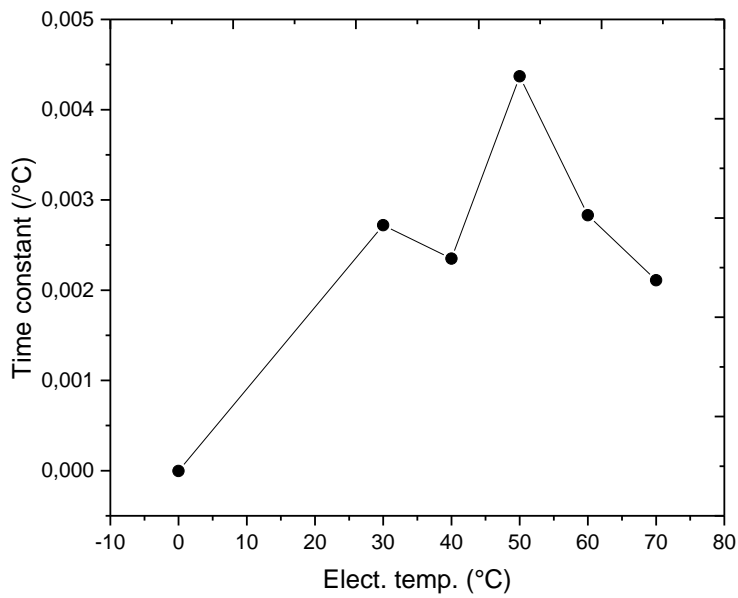
Gambar 9. Kurva Tegangan – waktu untuk menentukan konstanta waktu

Persamaan pencocokan data suhu - tegangan yang digunakan untuk menghasilkan konstanta waktu adalah

$$y = y_0 + Ae^{-Bx}$$

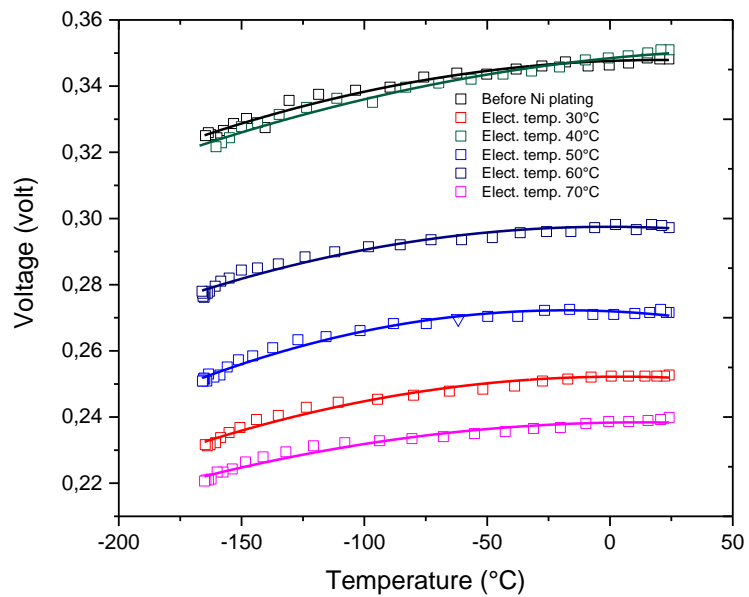
Dengan y tegangan, y_0 tegangan awal (pada suhu elektrolit 0C), A tegangan maksimum, B konstanta waktu.

Suhu elektrolit (°C)	Kontanta waktu
0	0,0000 +/- 0,0002
30	0,0027 +/- 0,0001
40	0,0024 +/- 0,0001
50	0,0044 +/- 0,0002
60	0,0028 +/- 0,0001
70	0,0021 +/- 0,0001



Gambar 10. Kontanta waktu sampel kumparan Cu/Ni pada berbagai suhu elektrolit

7. Kepekaan



Gambar 11. Kurva tegangan terhadap suhu pada variasi suhu elektrolit

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta mengunggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui BIMA.

Luaran	Jenis luaran	Status
Luaran wajib	Publikasi ke Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah (JIPFRI).	Terbit di Jipfri, Sinta 3, vol. 7(2) tahun 2023.
Luaran tambahan	Naskah tesis	Sudah selesai , dan sudah diujikan pada tanggal 9 September 2023, sudah lulus dan sudah diwisuda pada tanggal 4 November 2023.
	Monograf ber ISBN berjudul “Sensor suhu rendah kumparan tembaga/Nikel (Cu/Ni)”	Sudah terbit oleh Penerbit K-Media Yogyakarta dengan ISBN 978-623-174-253-7
	HKI monograf	Sudah terbit dengan No. pencatatan: 000511518
	Publikasi ke jurnal fisika dan aplikasinya (SPEKTRA)	Submitted dengan judul: Pengukuran ketebalan dan kepekaan kumparan tembaga/nikel hasil elektroplating variasi suhu larutan elektrolit sebagai sensor suhu rendah
	Publikasi ke jurnal fisika dan aplikasinya (SPEKTRA)	Submitted dengan judul: Pengaruh Plating Nikel pada Kumparan Tembaga pada Suhu Elektrolit 30°C untuk meningkatkan Kepekaan sebagai Sensor Suhu Rendah

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui BIMA.

Tidak ada mitra

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Tidak ada kendala

G. RENCANA TAHAPAN SELANJUTNYA: Tuliskan dan uraikan rencana penelitian di tahun berikutnya berdasarkan indikator luaran yang telah dicapai, rencana realisasi luaran wajib yang dijanjikan dan tambahan (jika ada) di tahun berikutnya serta *roadmap* penelitian keseluruhan. Pada bagian ini diperbolehkan untuk melengkapi penjelasan dari setiap tahapan dalam metoda yang akan direncanakan termasuk jadwal berkaitan dengan strategi untuk mencapai luaran seperti yang telah dijanjikan dalam proposal. Jika diperlukan, penjelasan dapat juga dilengkapi dengan gambar, tabel, diagram, serta pustaka yang relevan. Jika laporan kemajuan merupakan laporan pelaksanaan tahun terakhir, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai.

Mengembangkan penelitian dengan membuat sensor suhu berbasis **kumparan Cu/Ni** hasil deposisi pada variasi waktu, konsentrasi larutan elektrolit, tegangan elektroda, jarak elektroda, pemakaian medan magnet.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

- [1] H. Thomson, "The big freeze," *New Scientist*, vol. 231, pp. 26–31, Jul. 2016
- [2] A.D. Wolf, "Identification Validation and Implementation of View Cryonics Technologies," Germany: Advanced Neural Biosciences, Inc. 2014.
- [3] V. M. Soto, D. Leandro, A. L. Aldaba, J. J. B. López, J.I.P. Landazábal, J. L. Auguste, R. Jamier, P. Roy and M. L. Kar Amo, "Study of Optical Fiber Sensors for Cryogenic Temperature Measurements," *Sensors*, Vol. 17, pp. 1-12, Nov. 2017.
- [4] A. U. Smith, "Current trends in cryobiology," 1th ed., London: Springer, 2013, pp. 153-158.
- [5] A. Ukil, H. Braendle, P. Krippner, "Distributed Temperature Sensing: Review Of Technology And Applications", *IEEE Sens. J.*, pp. 1-8, May 2012.
- [6] R.L. Boylestad, "Introductory Circuit Analysis," Twelfth Ed., United States of America: Parental Hall Pearson, 2014, pp. 88-91.
- [7] Schleich W. Application of Copper-Nickel Alloy UNS C70600 for Seawater Service Metallurgical Considerations. *Biofouling*. :1–14.
- [8] Chuang HC, Yang HM, Wu GL, Sánchez J, Shyu JH. The effects of ultrasonic agitation on supercritical CO₂ copper electroplating. *Ultrason Sonochem* [Internet]. 2018;40(June 2017):147–56. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.06.029>.
- [9] Prasad, Dora S, Ebenezer, Nitla S, Shoba C, Rao, Pujari S. Effect of nickel electroplating on the mechanical damping and storage modulus of metal matrix composites. 2018;
- [10] Yang B, He X. Experimental investigation of surface color changes in vacuum evaporation process for gold-like stainless steel. *MATEC Web Conf*. 2016;43:3–7.
- [11] Toifur M, Agustin N, Khusnani A, Okimustava. Investigation on Performance of Cu/Ni Film as Low Temperature Sensor. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2020;924(1).
- [12] Hamidun E, Toifur M. Pembuatan Lapisan Cu / Ni pada Variasi Waktu Deposisi Berbantuan Medan Magnet. 2019;1–5.
- [13] Toifur M, A N, Okimustava, Sukarelawan I. Pengaruh Waktu Deposisi pada Tebal Lapisan, Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi dengan Teknik Elektroplating. 2017;07(02):33–43.
- [14] Wustha J, Toifur M, Khusnani A. Thickness and Resistivities of Cu/Ni Film Resulted by Electroplating on the Various Electrolyte Temperature. *J Phys Conf Ser*. 2019;1373(1).
- [15] Agung R, Toifur M, Khusnani A. Pengaruh Suhu Anil Terhadap Ketebalan dan Resistivitas Lapisan Tipis Cu / Ni Hasil Elektroplating Berbantuan Medan Magnet. *Pros Semin Nas Mhs Unimus*. 2019;2:436–43.
- [16] Toifur, M., Haryadi, B., and Rahmadani, W. 2015. Prototype of Low Temperature Sensor Based on Coils-Resistance Temperature Detector Enhanced with Three-Wire Configurations Bridge. *Contemporary Engineering Sciences*, HIKARI Ltd. 8 (29), pp. 1351 -1359.
- [17] Singgih S, Toifur M. Pengukuran Nilai Resistivitas Plat Tipis Cu-Ni Hasil Elektroplating Variasi Konsentrasi Larutan dan Jarak Katoda sebagai Sensor Suhu Rendah Berbasis Resistance Temperature Detector (RTD). 2020;(June).
- [18] Lebioda M, Rymaszewski J. Dynamic properties of cryogenic temperature sensors. *Prz Elektrotechniczny*. 2015;91(2):225–7.

- [19] Wang Y, Zhang C, Li J, Ding G, Duan L. Fabrication and characterization of ITO thin film resistance temperature detector. *Vacuum* [Internet]. 2017;140:121–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2016.07.028>
- [20] Fraden J. *Handbook of Modern Sensors* [Internet]. 2020. Available from: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- [21] Riswanto R. Analisis Resistansi Coil Kawat Tembaga Terhadap Perubahan Suhu Sangat Rendah Sebagai Rancang Dasar Pengukuran Suhu Rendah. *J Pendidik Fis*. 2015;3(1):73–83.
- [22] Fiqry R, Toifur M, Khusnani A. Ketebalan dan Nilai Resistivitas Lapisan Tipis Cu/Ni/Cu/Ni Hasil Penumbuhan dengan Metode Elektroplating pada Variasi Tegangan Deposisi (V). *Semin Nas Edusainstek*. 2018;46–54.
- [23] Sarkar S. Platinum RTD sensor based multi-channel high-precision temperature measurement system for temperature range -100°C to $+100^{\circ}\text{C}$ using single quartic function. *Cogent Eng* [Internet]. 2018;5(1):1–15. Available from: <https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1558687>
- [24] Toifur M, Yuningsih Y, Khusnani A. Microstructure, thickness and sheet resistivity of Cu/Ni thin film produced by electroplating technique on the variation of electrolyte temperature. *J Phys Conf Ser*. 2018;997(1)

Lampiran 1. Sampul Naskah Publikasi Jipfri

12/7/23, 10:00 AM

Vol. 7 No. 2 (2023): November Edition | JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah)



HOME / ARCHIVES / Vol. 7 No. 2 (2023): November Edition

Vol. 7 No. 2 (2023): November Edition



JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah) has been published in **Vol. 7 No. 2, November 2023**. Our hope with the publication of this journal can help readers to provide insight, ideas, references, in the development of educational innovations and scientific physics.



DOI: <https://doi.org/10.30599/jipfri.v7i2>

PUBLISHED: 2023-11-18

ARTICLES

Pengaruh Ketebalan Lapisan Tipis ZnO terhadap Kinerja Sel Surya Perovskit Fleksibel

Putri Ekarani, Eka Cahya Prima, Dadi Rusdiana

46-55



DOI: <https://doi.org/10.30599/jipfri.v7i2.2692>

Abstract Views: 56 | File Views: 38

Penentuan Ukuran Butir (Particle Size) Cu dan Ni pada Lapisan Cu/Ni Menggunakan Metode Scherrer Termodifikasi

Rizka Nuzul Islamiyati, Moh. Toifur

Penentuan Ukuran Butir (*Particle Size*) Cu dan Ni pada Lapisan Cu/Ni Menggunakan Metode Scherrer Termodifikasi

Rizka Nuzul Islamiyati^{*}, Moh. Toifur

Magister Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Ahmad Dahlan 55161

Jl. Pramuka No. 42 Sidikan Umbulharjo Yogyakarta

^{*}E-mail: rizkanuzul1225@gmail.com

Abstrak

Lapisan Cu/Ni merupakan lapisan yang dapat digunakan sebagai bahan untuk sensor suhu rendah. Lapisan tersebut dapat dibuat dengan cara elektroplating. Elektroplating memiliki keterbatasan dalam mengontrol jumlah dan ukuran partikel logam. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah menentukan ukuran butir Cu dan Ni pada lapisan Cu/Ni hasil elektroplating pada variasi tegangan dari 6 volt sampai 8 volt menggunakan metode Scherrer termodifikasi dan menganalisis pengaruh tegangan terhadap ukuran butir. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif menggunakan pendekatan kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran butir pada substrat Cu diperoleh $D = (0,5071 \pm 0,06)$ nm. Sedangkan untuk lapisan Ni secara tegangan memengaruhi ukuran butir. Tegangan 7 volt dapat menghasilkan ukuran butir terbesar yaitu 0,776059 nm.

Kata kunci: Ukuran Butir, Lapisan Cu/Ni, Elektroplating, Scherrer Termodifikasi

Abstract

The Cu/Ni layer is a layer that can be used as a material for low temperature sensors. The coating can be made by means of electroplating. Electroplating has limitations in controlling the number and size of metal particles. Therefore, the purpose of this study was to determine the grain size of Cu and Ni in electroplated Cu/Ni layers at varying voltages from 6 to 8 volts using the modified Scherrer method and to analyze the effect of stress on grain size. The method used in this research is descriptive method using a quantitative approach. The results showed that the grain size of the Cu substrate was $D = (0.5071 \pm 0.06)$ nm. As for the Ni layer, stress affects grain size. A voltage of 7 volts can produce the largest grain size of 0.776059 nm.

Keywords: Grain Size, Cu/Ni Coating, Electroplating, Modified Scherrer

PENDAHULUAN

Lapisan tipis Cu/Ni merupakan lapisan yang dapat digunakan sebagai bahan untuk sensor suhu rendah. Sensor suhu memiliki berbagai macam jenis, salah satunya adalah sensor jenis RTD (*Resistance Thermal Detector*). Sensor suhu jenis ini merupakan suatu sensor yang berfungsi untuk menentukan nilai atau besar suhu dengan mengaplikasikan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, dan nikel (Raharjo & Toifur, 2014). Pada umumnya bahan yang paling sering digunakan dalam membuat lapisan tipis adalah platina (Hamidun & Toifur, 2019).

Dikarenakan platina memiliki ketahanan terhadap oksidasi dan akurasi yang cukup tinggi. Namun karena platina berharga mahal, maka bahan logam yang digunakan untuk membuat sensor adalah tembaga berlapisan nikel.

Material tembaga (Cu) dan nikel (Ni) dapat dibentuk menjadi kumparan dan dapat juga dibentuk menjadi lapisan tipis. Proses pelapisan tembaga oleh nikel dapat dilakukan dengan cara elektroplating (Hamidun & Toifur, 2019).

Metode elektroplating adalah salah satu cara penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan prinsip pengendapan logam secara elektrokimia (Charles Manurung, ST.,

2014; Fiqry et al., 2018). Pembuatan lapisan tipis menggunakan elektroplating memiliki beberapa keunggulan, antara lain lapisan yang dihasilkan lebih merata dan proses elektroplating tidak memerlukan tegangan yang terlalu tinggi, dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan membuat tampilan strukturnya halus, rata, dan mengkilap atau *glossy* sehingga menjadi menarik dan berkualitas. Metode tersebut dinilai efektif karena bisa mengontrol tegangan dan waktu pelapisan. Meskipun metode elektroplating (relatif) mudah dilakukan, tetapi metode ini memiliki keterbatasan dalam mengontrol jumlah dan ukuran butir logam (Fiqry et al., 2018).

Ukuran butir merupakan salah satu parameter ukuran partikel. Ukuran butir merupakan ukuran diameter butir atau partikel dari material penyusun. Ukuran butir memegang peranan yang penting pada penentuan sifat fisis bahan dan kinerja bahan (Muniz et al., 2016). Pada logam, ukuran butir berpengaruh pada sifat-sifat logam. Semakin kecil ukuran butir semakin meningkat kekuatan dan kekerasannya. Sebaliknya jika ukuran butir semakin besar, maka dislokasi atau perpindahan lokasi akan semakin terjadi dan hal ini dapat menyebabkan kekerasannya berkurang serta mikrostrainnya menjadi lebih besar (Permatasari, 2018). Kebergantungan sifat-sifat ini terhadap ukuran butir menjadi salah satu masalah yang penting dalam mengontrol proses pembentukan kebanyakan logam.

Penentuan ukuran butir yang selama ini lazim digunakan adalah dengan mengukur secara langsung diameter butir pada foto SEM permukaan dengan bantuan *software* seperti ImageJ. Selain itu, terdapat juga katakterisasi XRD dengan menggunakan metode Williamson-Hull Plot, pengukuran dengan menggunakan persamaan Scherrer dan Scherrer termodifikasi (Bunaciu et al., 2015; Lalu A. Didik, 2020).

Hasil pengukuran dari foto SEM dan metode Williamson-Hull Plot lebih merepresentasikan ukuran butir secara keseluruhan di dalam sampel. Sedangkan hasil pengukuran dengan persamaan Scherrer

dan Scherrer termodifikasi lebih mempresentasikan ukuran butir dari fase tertentu saja. Metode ini cocok untuk sampel polikristalin karena di dalam polikristalin terdapat fasa lain yang juga membentuk sampel dan tidak diperhitungkan dalam perhitungan.

Dari beberapa penelitian terdahulu, metode Scherrer dan Scherrer termodifikasi telah diaplikasikan pada beberapa material. Perhitungan Scherrer dan Scherrer termodifikasi menghasilkan nilai yang berbeda (Azizah, 2020; Harbbi & Jahil, 2017; Sumadiyah & Manuaba, 2018). Metode Scherrer menggunakan pendekatan distribusi gauss yang pada dasarnya adalah memberikan probabilitas tertinggi (yang paling mungkin) sedangkan metode Scherrer termodifikasi menggunakan *Least Squares Fit to straight line* yaitu memberikan nilai rata-rata dari keseluruhan data ukuran kristal. Sehingga penggunaan Scherrer Termodifikasi memberikan ukuran kristal yang lebih akurat. Oleh karena itu, pada penelitian ini metode scheerer yang termodifikasi akan diaplikasikan pada lapisan tipis Cu/Ni.

Pada paper ini penulis menampilkan penentuan ukuran butir kristal Cu dan Ni pada lapisan Cu/Ni dengan metode Scherrer termodifikasi. Lapisan Cu/Ni yang digunakan adalah hasil elektroplating pada variasi tegangan dari 6 volt sampai 8 volt.

METODE/EKSPERIMEN

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Hasil penelitian diolah serta dianalisis untuk diambil kesimpulannya.

Sebagai sampel digunakan lapisan Cu dan Ni yang ada pada lapisan Cu/Ni hasil elektroplating pada variasi tegangan deposisi 6 volt; 6,5 volt; 7 volt; 7,5 volt; dan 8 volt. Selanjutnya masing-masing permukaan sampel dikarakterisasi struktur mikroskopiknya menggunakan XRD. Selanjutnya dari spektrum XRD diidentifikasi puncak Cu dan puncak Ni kemudian mencatat sudut difraksi dan intensitas puncak-puncak difraksinya.

Persamaan Scherrer mengindikasikan

bahwa semakin lebar puncak difraksi maka semakin kecil ukuran kristalit. Persamaan 1 merupakan persamaan Scherrer yang dipublikasikan pada tahun 1918 (Azizah, 2020; Ramadani, 2015).

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

dimana D = ukuran butir

K = Konstanta = 0,9

λ = panjang gelombang sinar-X =

0,154098 nm

β = FWHM (*Full Width at Half Maximum*)

atau lebar $\frac{1}{2}$ puncak maksimum

Informasi nilai 2θ dan FWHM pada setiap puncak diperoleh dari *software* Match! 3 (Sinaga & Joniwarta, 2020).

Pada metode Scherrer termodifikasi, Persamaan (1) diubah terlebih dulu dengan menampilkan $1/\cos\theta$ sebagai variabel bebas dan FWHM (β) sebagai variabel terikat (Masruroh et al., 2013).

$$\beta = \frac{K\lambda}{D \cos \theta} \quad (2)$$

Dengan mengambil logaritma kedua ruas maka diperoleh

$$\ln \beta = \ln \frac{K\lambda}{D \cos \theta} \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan (3), ruas kanan diuraikan dari logaritma perkalian kedalam bentuk logaritma penjumlahan.

$$\ln \beta = \ln \left(\frac{K\lambda}{D} \right) + \ln \left(\frac{1}{\cos(\theta)} \right) \quad (4)$$

Dengan persamaan (4) ini maka dapat dibuat regresi linier

$$y = a + bx \quad (5)$$

Dengan $y = \ln \beta$, dan $x = \ln(1/\cos \theta)$ (Bonardo & Siburian, 2021).

$$a = \ln \left(\frac{K\lambda}{D} \right) \quad (6)$$

Setelah didapatkan nilai intersep dari grafik hubungan $\ln(1/\cos \theta)$ dan $\ln \beta$, kemudian dapat diperoleh nilai ukuran butir kristal dengan persamaan:

$$\frac{K\lambda}{D} = e^a \quad (7)$$

Sehingga diperoleh ukuran butir partikel:

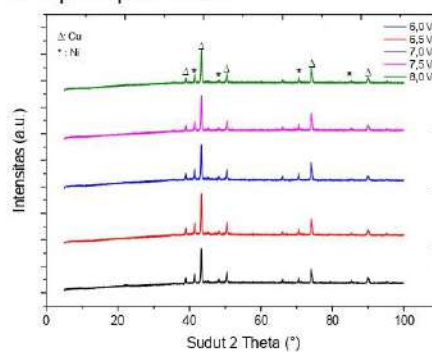
$$D = \frac{K\lambda}{e^a} = K\lambda e^{-a} \quad (8)$$

Tahap berikutnya adalah mencermati ukuran-ukuran butir yang diperoleh untuk variasi tegangan deposisi, V . Dengan menjadikan ukuran butir sebagai fungsi tegangan diperolehnya nilai $D = f(V)$ maka dapat dianalisis pengaruh V terhadap D serta alasan rasional yang menyebabkan nilai tersebut. Pada pembuatan lapisan tipis Cu, tidak dilakukan dengan tujuan spesifik seperti variasi tegangan. Sehingga ukuran butir yang benar untuk substat Cu adalah nilai rata-ratanya dengan menggunakan Persamaan 9.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^N D_i}{N} \quad (9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang telah diperoleh dari hasil karakterisasi XRD kemudian dapat dianalisis lebih lanjut untuk mencari ukuran butir. Sebelum melakukan perhitungan ukuran butir, dilakukan pencocokan puncak pada data untuk mengetahui kepemilikan setiap puncaknya. Spektrum XRD pada lapisan Cu/Ni ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum XRD untuk Sampel Cu/Ni

Nilai 2θ dan FWHM untuk sampel Cu dan Ni yang terbaca pada *software* Match! 3 pada variasi tegangan disajikan pada Tabel 1 dan 2.

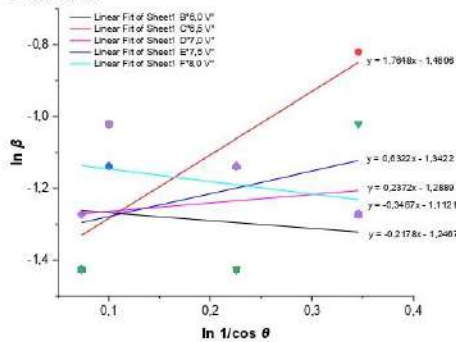
Tabel 1. Nilai 2θ dan FWHM untuk partikel Cu

No. puncak	Partikel	6,0 V		6,5 V		7,0 V		7,5 V		8,0 V	
		2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta></th></theta></th></theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta></th></theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta>	FWHM
1	Cu	43.32	0.2400	43.36	0.2400	43.32	0.2400	43.36	0.2400	43.36	0.2800
2	Cu	50.44	0.3600	50.46	0.3200	50.44	0.3200	50.48	0.3600	50.46	0.3600
3	Cu	74.12	0.2400	74.14	0.3200	74.10	0.3200	74.14	0.2400	74.14	0.3200
4	Cu	89.92	0.2800	89.94	0.4400	89.90	0.2800	89.94	0.3600	89.92	0.2800

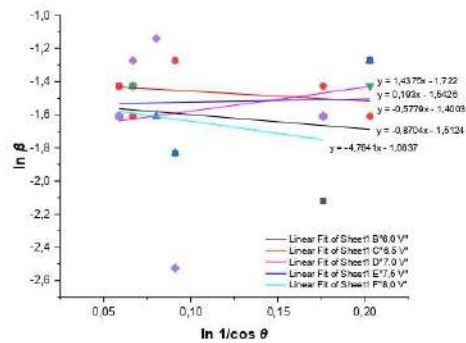
Tabel 2. Nilai 2θ dan FWHM untuk partikel Ni

No. puncak	Partikel	6,0 V		6,5 V		7,0 V		7,5 V		8,0 V	
		2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta></th></theta></th></theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta></th></theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> <th>2<theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta></th></theta>	FWHM	2 <theta [°]<="" th=""> <th>FWHM</th> </theta>	FWHM
1	Ni	38.94	0.2400	38.96	0.2400	38.94	0.2000	38.98	0.2000	38.98	0.2000
2	Ni	41.40	0.2400	41.44	0.2000	41.42	0.2400	41.44	0.2400	41.44	0.2800
3	Ni	48.16	0.1600	48.20	0.2800	45.26	0.2000	66.02	0.2000	48.18	0.3200
4	Ni	66.00	0.1200	66.00	0.2400	48.16	0.1600	70.56	0.2400	66.00	0.0800
5	Ni	70.54	0.2800	70.56	0.2000	66.00	0.2000			70.56	0.2000
6	Ni					70.54	0.2800				

Nilai 2θ dan FWHM pada Tabel 1 dan Tabel 2 di atas merupakan data untuk Lapisan Cu dan Ni. Selanjutnya setelah diperoleh nilai 2θ dan FWHM pada masing-masing lapisan Cu/Ni, kemudian dari kelima sampel tersebut juga dicari nilai intersep. Penentuan nilai intersep diperoleh dari grafik hubungan $\ln(1/\cos\theta)$ sebagai sumbu x dan $\ln\beta$ sebagai sumbu y. Regresi linear komponen Cu tersaji pada Gambar 2 dan komponen Ni pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Regresi Linear Komponen Cu



Gambar 3. Grafik Regresi Linear Komponen Ni

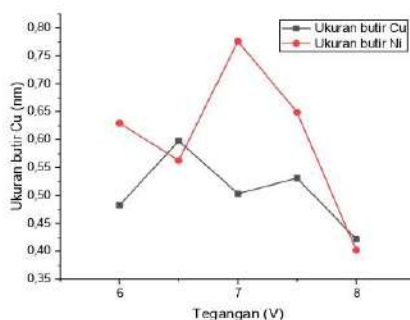
Setelah nilai Intersep diperoleh, kemudian langkah terakhir yaitu menentukan nilai ukuran butir. Rumus yang digunakan untuk menentukan ukuran butir dengan metode scherrer termodifikasi yaitu dengan menggunakan Persamaan (8). Dimana nilai K sebesar 0,9 dan panjang gelombang sinar-X sebesar 0,1541 nm (Kurapati & Srivastava, 2018).

Perhitungan dilakukan untuk tegangan 6 volt; 6,5 volt; 7 volt; 7,5 volt; 8 volt. Berdasarkan perhitungan ukuran butir Cu dan butir Ni pada lapisan Cu/Ni maka diperoleh

hasil sebagaimana pada Tabel 3. Grafik perbandingan ukuran butir Cu dan Ni tersaji pada Gambar 4 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Ukuran Butir Lapisan Cu/Ni

Tegangan, V (volt)	Ukuran butir Cu, D (nm)	Ukuran butir Ni, D (nm)
6	0,4825	0,6293
6,5	0,5975	0,5626
7	0,5033	0,7761
7,5	0,5308	0,6486
8	0,4217	0,4018



Gambar 4. Grafik Perbandingan Ukuran Butir Cu/Ni

Pada pembuatan lapisan Cu, tidak dilakukan dengan tujuan spesifik seperti variasi tegangan. Sebelum dilapisi substrat Ni, lapisan Cu disiapkan sebaik mungkin dengan metode pembersihan permukaan menggunakan teknis secara berturutan mulai pembersihan menggunakan metal polish autosol, dibilas menggunakan air bersih, dirinso dalam *ultrasonic cleaner*, dibilas memakai alkohol dalam *ultrasonic cleaner*, dikeringkan dengan bantuan *hair dryer*, dan dibungkus dalam kertas *tissue*, serta disimpan dalam *dry box*. Oleh karena itu ukuran butir yang benar untuk substat Cu adalah nilai rata-ratanya dengan menggunakan Persamaan (9). Dari kelima data D pada Tabel 3 diperoleh nilai ukuran butir Cu sebesar $D = (0,5071 \pm 0,0577)$ nm.

Pada proses elektroplating lapisan Cu/Ni menggunakan variasi tegangan deposisi yaitu pada 6 volt; 6,5 volt; 7 volt; 7,5 volt; dan 8 volt. Lapisan Ni di plating pada substrat Cu

dan dari lapisan Ni tersebut tampak bahwa tegangan deposisi pada saat elektroplating tidak terlalu berpengaruh pada nilai ukuran butir Ni. Secara umum terdapat tegangan optimum yaitu tegangan yang dimiliki oleh nilai ukuran butir tertinggi. Ukuran butir Ni mengalami peningkatan yang menghasilkan ukuran butir terbesar yaitu pada 7 volt dengan nilai 0,7761 nm. Namun mengalami penurunan secara kontinu pada tegangan 7,5 volt.

Dalam proses menganalisis ada tiga langkah untuk menentukan ukuran butir yaitu menentukan puncak dan FWHM dengan menggunakan software Match! 3, menentukan intersep dari grafik hubungan $\ln(1/\cos\theta)$ sebagai sumbu x dan $\ln\beta$ sebagai sumbu y, dan yang terakhir mencari ukuran butir dengan memasukan data pada persamaan Scherrer termodifikasi. Dalam beberapa kasus, persamaan linier Scherrer yang dimodifikasi menghasilkan hubungan negatif. Hal tersebut dikarenakan pada sudut yang lebih tinggi, pada 2θ , dengan nilai $\cos\theta$ lebih rendah dan nilai β yang diamati dan diukur kurang dari yang seharusnya sesuai dengan rumus Scherrer (Azizah, 2020).

Dibanding dengan cara analisis ukuran butir data SEM menggunakan ImageJ, perhitungan ukuran butir dengan menggunakan hasil karakterisasi XRD pada metode Scherrer termodifikasi lebih sederhana dalam hal persiapan sampel dan analisis. Metode Scherrer termodifikasi lebih cocok untuk analisis ukuran butir kristal dalam material kristal, sementara SEM dengan ImageJ lebih cocok untuk analisis morfologi permukaan sampel secara visual (Putama Mursal, 2018). Metode Scherrer termodifikasi juga memberikan hasil yang lebih akurat karena perhitungan tersebut menggunakan rata-rata keseluruhan nilai ukuran butir (Sumadiyasa & Manuaba, 2018).

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data hasil karakterisasi XRD sehingga data yang ditampilkan hanya dari fase tertentu saja yaitu fase Cu/Ni. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa struktur butir Cu dan Ni dalam kasus ini memiliki ukuran yang sangat halus dan berada pada skala nanometer.

Ukuran butir yang sangat kecil seperti ini dapat memiliki dampak signifikan pada sifat-sifat material, termasuk kekuatan, konduktivitas, dan reaktivitas kimia. Dalam banyak kasus, ukuran butir yang lebih kecil dapat meningkatkan sifat material dalam berbagai aplikasi.

PENUTUP

Ukuran butir yang benar untuk substrat Cu adalah nilai rata-ratanya karena tidak ada tujuan spesifik untuk membuat variasi ukuran butir pada substrat Cu. Dari kelima data ukuran butir pada substrat Cu diperoleh $D = (0,5071 \pm 0,06)$ nm. Sedangkan untuk substrat Ni secara umum terdapat tegangan optimum yang menghasilkan ukuran butir terbesar yaitu 7 volt dengan ukuran butir 0,7761 nm. Dari perhitungan ukuran butir Cu dan Ni yang telah dilakukan, tegangan deposisi memengaruhi ukuran butir dengan adanya tegangan optimum pada lapisan Ni yaitu pada tegangan 7 volt.

REFERENSI

- Azizah, A. (2020). Analisis Parameter Struktur pada Reduced Graphene Oxide dari Tempurung Kelapa Menggunakan Metode Scherrer dan Williamson-Hall. *Skripsi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- Bonardo, D., & Siburian, R. (2021). Analisis Struktur Nano Partikel Silika dari Abu Ampas Tebu Menggunakan Metode XRD. *EINSTEIN (e-Journal)*, (1), 13–20. <http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/einsteine-issn:2407-747x,p-issn2338-1981>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Charles Manurung, ST., M. (2014). Pengaruh Kuat Arus Terhadap Ketebalan Lapisan dan Laju Korosi (Mpy) Hasil Elektroplating Baja Karbon Rendah dengan Pelapis Nikel. *Visi*, 21(2), 1857–1869.
- Fiqry, R., Toifur, M., & Khusnani, A. (2018). Ketebalan dan Nilai Resistivitas Lapisan Tipis Cu/Ni/Cu/Ni Hasil Penumbuhan dengan Metode Elektroplating pada Variasi Tegangan Deposisi (V). *Seminar Nasional Edusainstek*, 46–54.
- Hamidun, E., & Toifur, M. (2019). *Pembuatan Lapisan Cu / Ni pada Variasi Waktu Deposisi Berbantuan Medan Magnet*. 1–5.
- Harbbi, K. H., & Jahil, S. S. (2017). Study the Lattice Distortion and Particle Size of One Phase of MnO by Using Fourier Analysis of X-ray Diffraction Lines. *Advances in Physics Theories and Applications*, 65(x), 6–22.
- Kurapati, S., & Srivastava, P. K. (2018). Application of Debye-Scherrer Formula in The Determination of Silver Nano Particles Shape. *International Journal of Management, Technology And Engineering*, 8(XII), 81–84.
- Lalu A. Didik. (2020). Penentuan Ukuran Butir Kristal CuCr_{0,98}Ni_{0,02}O₂ dengan Menggunakan X-Ray Difraction (XRD) Dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Indonesian Physical Review*, 2(3), 1–8.
- Masrurroh, Manggara, A., Papilaka, T., & T, R. T. (2013). Penentuan ukuran Kristal (crystallite size) lapisan tipis PZT dengan metode XRD melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer. *Jurusan Fisika Dan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya*, 1(2), 24–29.
- Muniz, F. T. L., Miranda, M. A. R., Morilla Dos Santos, C., & Sasaki, J. M. (2016). The Scherrer equation and the dynamical theory of X-ray diffraction. *Acta Crystallographica Section A: Foundations and Advances*, 72(3), 385–390. <https://doi.org/10.1107/S205327331600365X>
- Pematasari, I. (2018). Analisis Struktur Mikro Kristal pada Serbuk dan Lapisan Nical dengan Elemen Reaktif (Si Dan Y) menggunakan Metode Scherrer. *Skripsi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*, 1–84.
- Putama Mursal, I. L. (2018). Karakterisasi XRD Dan SEM Pada Material Nanopartikel Serta Peran Material Nanopartikel Dalam Drug Delivery System. *Pharma Xplore: Jurnal Ilmiah Farmasi*, 3(2), 214–221. <https://doi.org/10.36805/famasi.v3i2.491>
- 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*, 168–169.
- Ramadani, I. W. S. (2015). Karakterisasi Koreksi Pelebaran Puncak dan 2 θ pada Analisis Difraksi Sinar-X. *Thesis, Program Magister Bidang Keahlian Material, Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*, 108.
- Sinaga, Z., & Joniwarta, J. (2020). Analisis Ukuran Kristal Dan Sifat Magnetik Melalui Proses Pemesinan Milling Menggunakan Metode Karakterisasi Xrd, Mechannical Alloying, Dan Ultrasonik Tekanan Tinggi Pada Material Barium Hexaferrite (Bafe12o19). *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(1), 9–14. <https://doi.org/10.52447/jktm.v5i1.2372>
- Sumadiyasa, M., & Manuaba, I. B. S. (2018). Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM. *Buletin Fisika FMIPA UNUD, Buleti (No. 1)*, 19, 28–35.

Lampiran 3. Luaran tambahan paper -1

PENGUKURAN KETEBALAN DAN KEPEKAAN KUMPARAN TEMBAGA/NIKEL HASIL ELEKTROPLATING VARIASI SUHU LARUTAN ELEKTROLIT SEBAGAI SENSOR SUHU RENDAH

Moh. Toifur^{1*}, Rizka Nuzul Islamiyati², Okimustava³

^{1,2,3}*Magister Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Ahmad Dahlan 55161
Jl. Pramuka No. 42 Sidikan Umbulharjo Yogyakarta, Indonesia*

Email: rizkanuzul1225@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian pembuatan kumparan Cu/Ni dengan proses elektroplating dengan perlakuan variasi suhu larutan elektrolit. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan variasi suhu larutan elektrolit pada ketebalan Ni dan kepekaan Cu/Ni. Elektroplating dilakukan dengan parameter suhu elektrolit 30°C-70°C, jarak elektroda 4 cm, tegangan 4,5 volt dan waktu pelapisan selama 4 menit. Larutan elektrolit yang digunakan yaitu campuran dari NiSO₄ 260 g, NiCl₂ 60 g, H₃BO₃ 40 g dan Aquades 1000 mL. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kondisi yang luar biasa pada ketebalan Ni yaitu pada suhu 40°C ketebalan meningkat hingga 1,08 µm. Selain itu, terdapat suhu terbaik yang dapat menghasilkan nilai kepekaan terbesar pada elektroplating kumparan Cu/Ni yaitu pada suhu 50°C.

Kata-kata kunci: Elektroplating; Kumparan tembaga; Sensor suhu

Abstract

Research has been conducted on the manufacture of Cu/Ni coils by electroplating process with electrolyte solution temperature variation treatment. The purpose of this study is to determine the effect of electrolyte solution temperature variation treatment on Ni thickness and Cu/Ni sensitivity. Electroplating was carried out with electrolyte temperature parameters of 30°C-70°C, electrode spacing of 4 cm, voltage of 4.5 volts, and plating time of 4 minutes. The electrolyte solution used is a mixture of NiSO₄ 260 g, NiCl₂ 60 g, H₃BO₃ 40 g and Aquades 1000 mL. Based on the results of the study, an extraordinary condition was obtained on the thickness of Ni, namely at a temperature of 40°C the thickness increased to 1.08 µm. In addition, there is the best temperature that can produce the largest sensitivity value in the electroplating of Cu/Ni coils, namely at a temperature of 50°C.

Keywords: Cooper coil; Electroplating; Temperature sensore

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang terus meningkat di abad ke-21 telah memberikan dampak signifikan pada industri makanan. Pada masa lalu, metode pengawetan makanan menggunakan teknik pembekuan dengan amoniak yang memiliki tingkat dingin yang rendah, sehingga makanan

mudah mengalami kerusakan. Namun, dari keterbatasan ini, muncul ide inovatif yang dikenal sebagai kriogenik. Kriogenik adalah sebuah bidang dalam fisika yang memfokuskan pada metode untuk mencapai suhu sangat rendah, jauh di bawah suhu ruangan [1]. Teknologi ini menggunakan nitrogen cair (LN_2) [2] sebagai refrigerannya dengan suhu yang sangat rendah, berkisar antara $-196,1^\circ\text{C}$ sampai -198°C [3]. Dibandingkan dengan teknik pembekuan konvensional, penggunaan teknologi kriogenik dalam pembekuan makanan jauh lebih efektif [4]. Teknologi pembekuan tersebut saat ini telah diterapkan dalam berbagai sektor, termasuk sektor peternakan [5], sektor kesehatan dan industri makanan [6].

Dengan perkembangan teknologi kriogenik yang semakin maju, ada kebutuhan mendesak untuk memiliki termometer yang dapat mengukur suhu rendah dengan akurasi tinggi. Para peneliti sedang menghadapi tantangan yang cukup besar dalam menemukan bahan dan metode pembuatan sensor khusus yang mampu memantau suhu hingga -200°C . Membuat sensor suhu pada tingkat ini merupakan tugas yang kompleks karena sifat listrik dan panas dari bahan pada suhu tersebut sangat tidak teratur [7].

Salah satu teknologi sensor yang dapat beroperasi secara optimal pada suhu rendah adalah sensor *Resistance Temperature Detector* (RTD) [7]. RTD merupakan jenis sensor yang bekerja berdasarkan perubahan resistansi termal yang dipengaruhi oleh perubahan suhu [8]. Elemen RTD umumnya terbuat dari logam atau paduan, dalam bentuk gulungan atau film tipis. Material yang biasa digunakan adalah platina, nikel atau tembaga. Platina adalah logam penyusun yang paling umum digunakan karena memiliki respon dan ketahanan dalam jangka waktu panjang. Namun material platina harganya relatif mahal, sehingga desain pengukuran suhu rendah memerlukan biaya yang lebih tinggi. Ketersediaan kawat tembaga yang melimpah mendorong para peneliti untuk mencoba mempelajari sifat respon kawat tembaga terhadap perubahan suhu yang sangat rendah. Dari serangkaian pengalaman penelitian pendahuluan yang telah dilakukan oleh peneliti dan tim telah ditemukan bahan yang layak untuk sensor suhu kriogenik tersebut yaitu kombinasi tipis Cu/Ni atau paduan tembaga dan nikel [9].

Tembaga (Cu) dipilih sebagai bahan untuk mengukur suhu yang sangat rendah karena memiliki respons linier yang baik terhadap perubahan suhu yang relatif kecil [10]. Tembaga mampu merespon perubahan suhu sampai $-234,5^\circ\text{C}$. Salah satu bentuk efektif yang digunakan sebagai dasar sensor pengukuran suhu rendah adalah kawat tembaga yang dibentuk menjadi kumparan atau lilitan [11]. Tembaga sebagai sensor suhu secara mandiri masih kurang sensitif karena resistivitasnya kecil ($16,78 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}$ pada 20°C) namun ketika dipasangkan dengan Ni yang memiliki resistivitas besar ($69,30 \text{ n}\Omega\cdot\text{m}$) ini dapat menghasilkan sensor yang sangat peka. Selain dapat meningkatkan resistivitas pelapisan menggunakan Ni juga dapat meningkatkan kekerasan bahan. Ni juga memiliki kemampuan untuk digunakan sebagai sensor suhu rendah dengan rentang -200°C s.d. 320°C . Kedua bahan dimungkinkan dapat membentuk paduan karena memiliki kesamaan ukuran atom dan struktur kristal. Ni dan Cu memiliki ukuran atom yang hampir sama yaitu $0,1246 \text{ \AA}$ dan $0,1278 \text{ \AA}$ serta keduanya memiliki struktur kristal fcc. Oleh karena itu, melalui proses difusi, paduan dapat terbentuk dengan jenis ikatan substitusi [12].

Sensor RTD dibuat dengan metode elektroplating bertujuan untuk membentuk sebuah lapisan tipis yang padat pada permukaan sebuah logam menggunakan elektrolisis kimia berbantuan listrik [13] [14]. Metode elektroplating dipilih karena harga yang relatif lebih murah, cepat, dan proses kontrol yang mudah [15] [16].

Suhu dalam proses elektroplating menjadi parameter yang ikut mempengaruhi struktur mikro dari lapisan komposit karena berkaitan dengan peningkatan aktivitas partikel [17]. Ukuran butir ion masa logam sedikit menurun dikarenakan meningkatnya suhu larutan elektrodeposisi [18]. Suhu yang terlalu tinggi menurunkan kemampuan adsorpsi katoda sehingga energi kristalisasi menurun, kepadatan menurun dan butiran menjadi kasar.

Dalam hal kepekaan sensor, bagian terbesar yang berkontribusi terhadap kepekaan adalah lapisan interface antara Cu dan Ni. Jika lapisan belum rata, lapisan tersebut tidak sensitif/ tidak peka. Kepekaan sensor akan meningkat jika lapisannya kontinyu dan tipis. Jika ketebalan lapisan meningkat, resistivitas cenderung menurun dan kepekaannya menurun. Oleh karena itu, terdapat waktu optimal yang menghasilkan sensitivitas terbesar.

Pada tahun 2013, peneliti telah membuat sensor suhu rendah berbahan kumparan tembaga dengan diameter kawat divariasi dari 0,1 mm sampai 0,2 mm. Jumlah lilitan juga divariasi dari 3.600 lilitan sampai 12.000 lilitan untuk memperoleh spesifikasi yang optimum [20]. Media yang digunakan yaitu udara yang didinginkan dengan nitrogen cair sehingga mencapai suhu 157K kemudian suhu dinaikkan hingga 253K melalui penguapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada suhu udara bersuhu sangat rendah, nilai suseptibilitas tidak dipengaruhi banyaknya lilitan serta variasi diameter kawat lilitan karena medium di dalam solenoida berfasa diamagnetik. Kumparan yang digunakan pada penelitian adalah bahan tembaga yang belum pernah dipadukan dengan pelapis.

Demikian pula sensor suhu rendah Cu/Ni berbentuk lapisan tipis telah dibuat pada berbagai variasi yaitu tegangan [21], waktu [22] [23] [24], suhu larutan [25] [26], jarak elektroda [10], baik menggunakan atau tanpa menggunakan medan magnet.

Masih terbuka peluang untuk meningkatkan sensor yaitu dengan pelapisan nikel pada kumparan tembaga. Keunggulan sensor dalam bentuk kumparan dibandingkan dengan dalam bentuk lapisan tipis adalah kenaikan resistansi yang sangat signifikan karena ketergantungan resistansi pada panjang kawat dan kecilnya diameter kawat. Oleh karena itu pada penelitian ini diusulkan penelitian lanjutan dengan pembuatan sensor suhu rendah Cu/Ni hasil elektroplating nikel pada kumparan tembaga. Penelitian ini akan dilakukan dengan variasi suhu larutan. Suhu larutan pada proses elektroplating faktor yang sangat penting [27], karena mempengaruhi resistivitas bahan [28]. Variasi suhu yang digunakan yaitu suhu larutan dari 40°C-80°C.

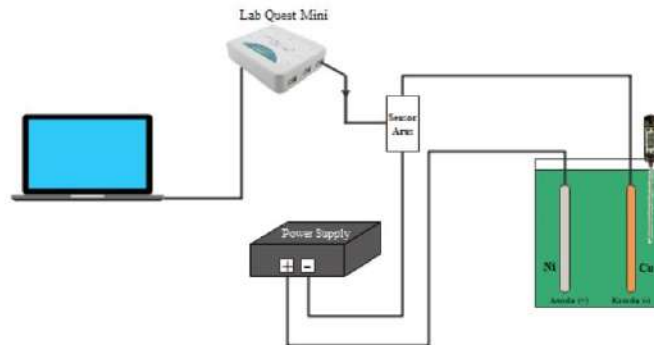
METODE

Pembuatan Substrat

Pada tahap ini bahan disiapkan kawat tembaga dengan diameter 0,5 mm yang berasal dari kabel tunggal. Bagian pinggir potongan pada kawat tembaga dihaluskan dengan menggunakan kikir. Kemudian kawat tembaga dibersihkan dengan melepaskan kawat dari lapisan luar kabel. Setelah dibersihkan, kawat tembaga dibentuk menjadi kumparan (lilitan) yaitu sebanyak 300 lilitan. Selanjutnya siapkan pelat nikel dan bersihkan pada bagian permukanaan dengan menggunakan autosol hingga bersih. Kemudian mencuci bersih pelat menggunakan sikat gigi dan bilas dengan sunlight. Pelat nikel dibilas kembali dengan *aquades* dan *alcohol* pada *ultrasonic cleaner* selama 3 menit. Lalu dikeringkan dengan *hair dryer* dan dibungkus dengan *tissue*.

Pembuatan lapisan tipis Cu/Ni

Tahap pertama dalam proses pembuatan lapisan tipis yaitu siapkan bahan yang diperlukan seperti kumparan tembaga, pelat nikel, dan larutan elektrolit yang terdiri dari NiSO₄ 260 g, NiCl₂ 60 g, H₃BO₃ 40 g dan Aquades 1000 mL. bahan larutan diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer selama 3 jam. Eksperimen dilakukan dengan merangkai alat seperti pada GAMBAR 1. Meletakkan Cu pada katoda dan Ni pada anoda. Proses deposisi dilakukan dengan memvariasi suhu dari 30°C - 70°C. Pelapisan Ni dengan jarak elektroda 4 cm dan waktu pelapisan selama 4 menit.



GAMBAR 1. Rangkaian Alat

Karakterisasi lapisan Cu/Ni

Penentuan tebal lapisan

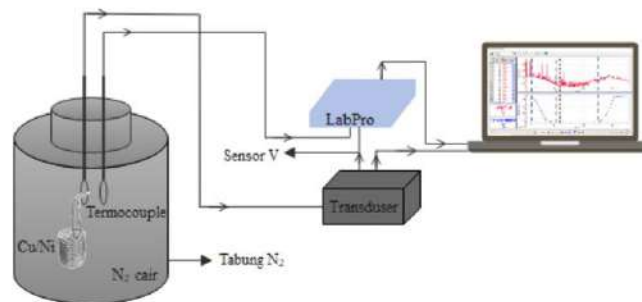
Proses pengukuran tebal lapisan deposisi yang terbentuk pada proses *electroplating* dihitung dengan cara menimbang sampel sebelum dan sesudah proses *electroplating* menggunakan neraca ohaus. Kemudian menghitung selisih dengan cara mengurangi berat sesudah dengan sebelum *electroplating*. Tebal lapisan Ni yang terbentuk dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$D = \frac{W}{\rho A} = \frac{(m_{CuNi} - m_{Cu})}{\rho A} \quad (1)$$

Dimana, D adalah tebal lapisan, W adalah selisih massa Cu/Ni dan massa Cu, ρ adalah kepadatan lapisan logam Ni (gr/cm^3) yang memiliki nilai sebesar $8,908 \text{ gr/cm}^3$, dan A adalah luas sampel.

Uji kinerja sensor

Pengujian kinerja sensor kriogenik dilakukan dalam medium bersuhu -198°C dengan rangkaian seperti pada GAMBAR 2. Pengujian dilakukan dengan cara pencelupan sensor kedalam LN_2 dan pengangkatan kembali. Proses kalibrasi sensor dilakukan dengan sensor *thermocouple*. Dari data yang diperoleh kemudian dianalisis sehingga diperoleh kepekaan sensor, waktu respon sensor, histerisis sensor.



GAMBAR 2. Uji kepekaan sensor

Kepekaan merupakan ukuran seberapa besar output sensor berubah terhadap suhu. Untuk output berupa tegangan maka kepekaan menyatakan perubahan tegangan terhadap perubahan suhu. Hubungan antara tegangan keluaran dengan suhu mengikuti formula Callendar-Van Dusen [19]:

$$R_T = R_0 [1 + AT + BT^2 + (T - 100)CT^3] \quad (2)$$

Semakin kecil orde T semakin baik sensor tersebut. Kepekaan dinyatakan dengan derivatif RT terhadap T sehingga menjadi

$$S(T) = \frac{dR_T}{dT} = R_0 [A + 2BT + (AT - 300)CT^2] \quad (3)$$

Menentukan kepekaan sensor adalah dengan melihat hubungan nilai tegangan RTD dengan perubahan suhu yang kemudian diolah dengan fitting data polinomial orde dua [29], sebagai berikut:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (4)$$

Dimana, y adalah tegangan (V), x adalah suhu (T),

$$V(T) = aT^2 + bT + c \quad (5)$$

Metode ini digunakan untuk menguji kepekaan sensor dimana data diambil dari *software logger pro* yang membentuk grafik non linear. Hal ini dapat dihasilkan nilai kepekaan sensor dengan menurunkan persamaan dari polinomial orde dua.

$$\frac{dy}{dx} = 2ax + b \quad (6)$$

Sehingga menjadi:

$$\frac{dV}{dT} = S(T) = 2aT + b \quad (7)$$

Nilai koefisien a , b , dan c memuat variabel x yang disebut slope, artinya menunjukkan tingkat kemiringan kurva dan dapat digunakan untuk menentukan nilai suatu fungsi. Sedangkan koefisien d disebut intersep, yaitu menunjukkan titik perpotongan garis dengan sumbu y . Perhitungan secara manual untuk mengetahui a , b , c , dan d . Semakin kecil nilai a semakin linier kurva tersebut. Demikian pula semakin besar nilai b semakin peka sensor tersebut.

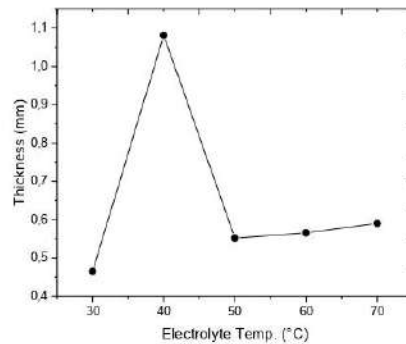
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil elektroplating Ni pada kumparan Cu dengan variasi suhu larutan elektrolit dari 30°C -70°C, jarak elektroda 4 cm, tegangan 4,5 volt dan waktu pelapisan selama 4 menit menghasilkan ketebalan endapan Ni yang terbentuk pada kumparan Cu. hasil massa sampel sebelum dan sesudah di lapisi dapat dilihat pada TABEL 1.

TABEL 1. Data massa sampel

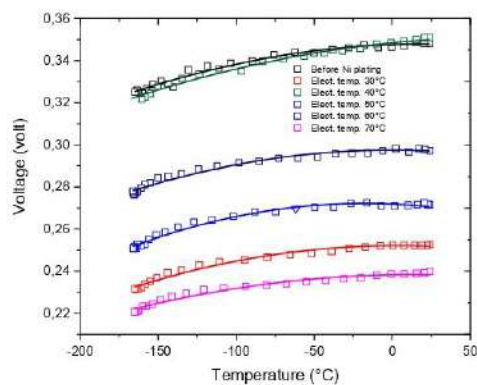
Sampel	Suhu Elektrolit (°C)	m_{Cu} (g)	$m_{Cu/Ni}$ (g)	Δm (g)
1	30	15,7410	15,7720	0,0310
2	40	16,1410	16,2124	0,0714
3	50	14,9085	14,9085	0,0000
4	60	16,3014	16,3387	0,0373
5	70	16,1259	16,1649	0,0390

Hasil ketebalan Ni yang terbentuk pada setiap sampel memiliki nilai yang berbeda-beda. Diperoleh bahwa ketebalan endapan yang terbentuk dari 0,46 μm sampai 1,08 μm .



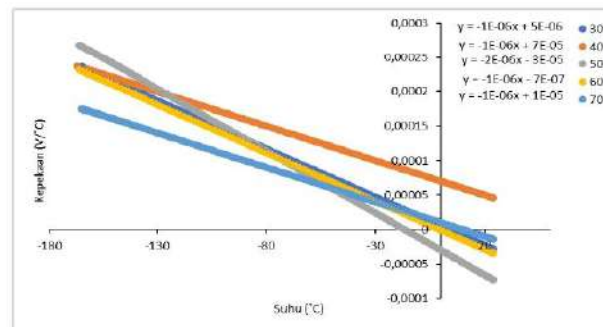
GAMBAR 3. Tebal lapisan Ni pada berbagai suhu larutan elektrolit

Pada GAMBAR 3 tampak adanya kecenderungan semakin besar suhu elektrolit semakin tebal lapisan Ni. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin naik suhu elektrolit maka semakin mudah partikel ion menembus larutan. Namun diperoleh kondisi yang luar biasa yaitu pada suhu 40°C ketebalan meningkat hingga 1,08 μm . Sebagaimana banyak peneliti ungkapkan memang suhu 40°C atau ada juga yang mengungkapkan suhu antara 40°C sampai 50°C merupakan suhu terbaik untuk melaksanakan plating. Dengan diperolehnya tebal lapisan Ni 1,08 μm tersebut diharapkan sampel ini dapat berperilaku sebagai sensor suhu rendah terbaik.



GAMBAR 4. Grafik hubungan antara tegangan dan suhu

Proses elektroplating dengan variasi suhu larutan elektrolit yang diberlakukan pada tiap sampel yaitu 30°C sampai 70°C dengan rentang untuk tiap-tiap sampel sebesar 10°C. GAMBAR 4 merupakan grafik hubungan antara tegangan dan suhu masing-masing kumparan. Data dari suhu tersebut diambil dari suhu normal hingga suhu pada titik terendah.



Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan PERSAMAAN 7, memberikan hasil perilaku bahwa adanya suhu terbaik yang dapat memberikan nilai resistivitas terbesar dari proses elektroplating yang di tunjukkan pada TABEL 1.

TABEL 2. Hasil uji kepekaan sensor

Suhu (°C)	Kepekaan (V/°C)	Proyeksi T=-200°C
30	$S(T) = -1E-06T + 5E-06$	0,00041
40	$S(T) = -1E-06T + 7E-05$	0,00047
50	$S(T) = -2E-06T - 3E-05$	0,00077
60	$S(T) = -1E-06T - 7E-07$	0,00040
70	$S(T) = -1E-06T + 1E-05$	0,00041

Berdasarkan TABEL 2 terjadi perubahan nilai kepekaan dari kumparan Cu/Ni. Hasil dari proyeksi T=-200°C diperoleh bahwa nilai kepekaan kumparan Cu/Ni dengan perlakuan suhu elektrolit 50°C memiliki nilai yang lebih besar daripada kumparan Cu/Ni pada suhu elektrolit lainnya. Kumparan Cu/Ni pada suhu 30°C-50°C mengalami peningkatan hingga pada suhu elektrolit 60°C mengalami penurunan secara kontinu. Nilai kepekaan terbesar yaitu pada suhu 50°C menunjukkan nilai 0,00077 V/°C. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat suhu terbaik yang dapat digunakan dalam elektroplating Ni terhadap kumparan Cu sehingga menghasilkan nilai kepekaan terbesar yaitu pada suhu 50°C.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian plating Ni pada kumparan Cu dengan variasi suhu elektrolit 30°C - 70°C diperoleh kondisi yang luar biasa pada ketebalan Ni yaitu pada suhu 40°C ketebalan meningkat hingga 1,08 μm. Sebagaimana banyak peneliti ungkapkan memang suhu 40°C atau ada juga yang mengungkapkan suhu antara 40°C sampai 50°C merupakan suhu terbaik untuk melaksanakan plating. Selain itu, nilai kepekaan dengan suhu elektrolit 30°C -50°C mengalami peningkatan. Terdapat suhu terbaik yang dapat digunakan dalam elektroplating Ni terhadap kumparan Cu sehingga menghasilkan nilai kepekaan terbesar yaitu pada suhu 50°C dengan nilai 0,00077 V/°C..

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan hasil dari penelitian utama dengan judul Kumparan Cu/Ni sebagai sensor suhu rendah deposisi pada variasi suhu elektrolit. Peneliti mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Kemdikbud yang telah memberi dana hibah DRPTM Kemedikbud ristek tahun 2023.

REFERENSI

- [1] I. S. Jawahir *et al.*, "Cryogenic Manufacturing Processes," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 2, pp. 713–736, 2016, doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.007.
- [2] A. Biglia, L. Comba, E. Fabrizio, P. Gay, and D. Ricauda Aimonino, "Case Studies in Food Freezing at Very Low Temperature," *Energy Procedia*, vol. 101, no. September, pp. 305–312, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.039.
- [3] K. Fikiin *et al.*, "Refrigerated Warehouses as Intelligent Hubs to Integrate Renewable Energy in Industrial Food Refrigeration and to Enhance Power Grid Sustainability," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 60, no. February, pp. 96–103, 2017, doi: 10.1016/j.tifs.2016.11.011.
- [4] T. K. Goswami, "Recent Trends of Application of Cryogenics in Food Processing and Preservation," *iMedPub Journals*, vol. 1, no. 3:27, pp. 1–4, 2017.
- [5] M. Toifur, J. Saputra, Okimustava, and A. Khusnani, "The Effect of Magnetic Field on the Performance of Cu/Ni As Low-Temperature Sensor," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 3526–3532, 2020.
- [6] V. de Miguel-Soto *et al.*, "Study of Optical Fiber Sensors for Cryogenic Temperature Measurements," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 12, pp. 1–12, 2017, doi: 10.3390/s17122773.
- [7] M. Lebioda and J. Rymaszewski, "Dynamic Properties of Cryogenic Temperature Sensors," *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 91, no. 2, pp. 225–227, 2015, doi: 10.15199/48.2015.02.51.
- [8] Y. Wang, C. Zhang, J. Li, G. Ding, and L. Duan, "Fabrication and Characterization of ITO Thin Film Resistance Temperature Detector," *Vacuum*, vol. 140, pp. 121–125, 2017, doi: 10.1016/j.vacuum.2016.07.028.
- [9] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors*. 2020.
- [10] S. Singgih and M. Toifur, "Pengukuran Nilai Resistivitas Plat Tipis Cu-Ni Hasil Elektrolating Variasi Konsentrasi Larutan dan Jarak Katoda sebagai Sensor Suhu Rendah Berbasis Resistance Temperature Detector (RTD)," no. June, 2020.
- [11] R. Riswanto, "Analisis Resistansi Coil Kawat Tembaga Terhadap Perubahan Suhu Sangat Rendah Sebagai Rancang Dasar Pengukuran Suhu Rendah," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 3, no. 1, pp. 73–83, 2015, doi: 10.24127/jpf.v3i1.23.
- [12] W. Schleich, "Application of Copper-Nickel Alloy UNS C70600 for Seawater Service Metallurgical Considerations," *Biofouling*, pp. 1–14.
- [13] H. C. Chuang, H. M. Yang, G. L. Wu, J. Sánchez, and J. H. Shyu, "The Effects of Ultrasonic Agitation on Supercritical CO₂ Copper Electroplating," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 40, no. June 2017, pp. 147–156, 2018, doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.06.029.
- [14] S. Prasad, D. S. Ebenezer, Nitla, C. Shoba, and S. Rao, Pujari, "Effect of Nickel Electroplating on the Mechanical Damping and Storage Modulus of Metal Matrix Composites," 2018.
- [15] A. Hankhantod, E. Kantarak, W. Sroila, T. Kumpika, P. Singjai, and W. Thongsuwan, "α-Fe₂O₃ Modified TiO₂ Nanoparticulate Films Prepared by Sparking Off Fe Electroplated Ti Tips," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 477, pp. 116–120, 2019, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.11.224.
- [16] B. Yang and X. He, "Experimental Investigation of Surface Color Changes in Vacuum Evaporation Process for Gold-like Stainless Steel," *MATEC Web Conf.*, vol. 43, pp. 3–7, 2016, doi: 10.1051/matecont/20164303004.
- [17] Y. H. Ahmad and A. M. A. Mohamed, "Electrodeposition of Nanostructured Nickel-Ceramic Composite Coatings: A Review," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 1942–1963, 2014.
- [18] L. Jinlong, L. Tongxiang, and W. Chen, "Effect of Electrodeposition Temperature on Grain Orientation and Corrosion Resistance of Nanocrystalline Pure Nickel," *J. Solid State Chem.*, vol. 240, pp. 109–114, 2016, doi: 10.1016/j.jssc.2016.05.025.
- [19] S. Sarkar, "Platinum RTD sensor based multi-channel high-precision temperature measurement system for temperature range –100°C to +100°C using single quartic function," *Cogent Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–15, 2018, doi: 10.1080/23311916.2018.1558687.
- [20] M. Toifur, "Pengaruh Jumlah Lilitan dan Diameter Kawat Terhadap Suseptibilitas Magnet Udara Bersuhu Sangat Rendah dari 157 K – 253 K," *J. Sains Dasar*, vol. 2, pp. 65–71, 2013.

- [21] R. Fiqry, M. Toifur, and A. Khusnani, "Ketebalan dan Nilai Resistivitas Lapisan Tipis Cu/Ni/Cu/Ni Hasil Penumbuhan dengan Metode Elektroplating pada Variasi Tegangan Deposisi (V)," *Semin. Nas. Edusainstek*, pp. 46–54, 2018.
- [22] M. Toifur, N. Agustin, A. Khusnani, and Okimustava, "Investigation on Performance of Cu/Ni Film as Low Temperature Sensor," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 924, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/924/1/012024.
- [23] E. Hamidun and M. Toifur, "Pembuatan Lapisan Cu / Ni pada Variasi Waktu Deposisi Berbantuan Medan Magnet," pp. 1–5, 2019.
- [24] M. Toifur, N. A. Okimustava, and I. Sukarelawan, "Pengaruh Waktu Deposisi pada Tebal Lapisan, Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi dengan Teknik Elektroplating," vol. 07, no. 02, pp. 33–43, 2017.
- [25] J. Wustha, M. Toifur, and A. Khusnani, "Thickness and Resistivities of Cu/Ni Film Resulted by Electroplating on the Various Electrolyte Temperature," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1373, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012029.
- [26] R. Agung, M. Toifur, and A. Khusnani, "Pengaruh Suhu Anil Terhadap Ketebalan dan Resistivitas Lapisan Tipis Cu / Ni Hasil Elektroplating Berbantuan Medan Magnet," *Pros. Semin. Nas. Mhs. Unimus*, vol. 2, pp. 436–443, 2019.
- [27] X. Qiao, H. Li, W. Zhao, and D. Li, "Effects of Deposition Temperature on Electrodeposition of Zinc-Nickel Alloy Coatings," *Electrochim. Acta*, vol. 89, pp. 771–777, 2013, doi: 10.1016/j.electacta.2012.11.006.
- [28] L. Aguilera *et al.*, "Influence of electrodeposition temperature in the electrochemical properties of Ni(OH)₂: An experimental and theoretical study," *Thin Solid Films*, vol. 670, pp. 24–33, 2019, doi: 10.1016/j.tsf.2018.12.007.
- [29] M. Toifur, Y. Yuningsih, and A. Khusnani, "Microstructure, Thickness and Sheet Resistivity of Cu/Ni Thin Film Produced by Electroplating Technique on the Variation of Electrolyte Temperature," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 997, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/997/1/012053.

Lampiran 4

PENGARUH PLATING NIKEL PADA KUMPARAN TEMBAGA PADA SUHU ELEKTROLIT 30°C UNTUK MENINGKATKAN KEPEKAAN SEBAGAI SENSOR SUHU RENDAH

Rizka Nuzul Islamiyati¹, Moh. Toifur^{2*}

^{1,2}Magister Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Ahmad Dahlan 55161
Jl. Pramuka No. 42 Sidikan Umbulharjo Yogyakarta, Indonesia

Email: rizkanuzul1225@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi dan kepekaan kawat tembaga sebelum dan sesudah elektroplating pada suhu elektrolit 30°C sebagai sensor suhu rendah. Larutan elektrolit terdiri dari NiSO₄ 260 g, NiCl₂ 60 g, H₃BO₃ 40 g dan Aquades 1000 mL. Elektroplating dilakukan dengan suhu elektrolit 30°C, jarak elektroda 4 cm, tegangan 4,5 volt dan waktu pelapisan selama 4 menit. Hasil plating dianalisis untuk mengetahui resistansi dan kepekaan sensor pada suhu 0 sampai -160°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai resistansi kumparan Cu diperoleh $R_{Cu} = (1,44 \pm 0,00)$ ohm dan resistansi kumparan Cu/Ni $R_{Cu/Ni} = (1,50 \pm 0,00)$ ohm. Nilai resistansi pada kumparan Cu/Ni (setelah plating) lebih besar dari pada kumparan Cu (sebelum plating). Sedangkan hasil pengujian kepekaan sensor menunjukkan bahwa kumparan Cu dan Cu/Ni telah memiliki sifat sebagai sensor suhu rendah. Kepekaan sensor meningkat setelah dilakukan plating. Nilai kepekaan yang diperoleh kumparan Cu adalah $S(T) = -1E-06T + 6E-05$ dan kumparan Cu/Ni $S(T) = -2E-06T + 2E-05$. Kepekaan proyeksi pada suhu -200 °C diperoleh 0,00046 V/°C lebih kecil dari kumparan Cu/Ni 0,00082 V/°C. Sehingga plating nikel pada kumparan tembaga pada suhu elektrolit 30°C telah berhasil meningkatkan nilai kepekaan dari sensor suhu rendah.

Kata-kata kunci: Elektroplating, Kumparan tembaga, Lapisan Cu/Ni, Suhu larutan elektrolit

Abstract

This study aims to determine the resistance value and sensitivity of copper wire before and after electroplating at 30°C electrolyte temperature as a low-temperature sensor. The electrolyte solution consisted of NiSO₄ 260 g, NiCl₂ 60 g, H₃BO₃ 40 g and Aquades 1000 mL. Electroplating was carried out with an electrolyte temperature of 30°C, electrode distance of 4 cm, voltage of 4.5 volts and plating time of 4 minutes. The plating results were analyzed to determine the resistance and sensitivity of the sensor at temperatures from 0 to -160°C.

The results showed that the resistance value of the Cu coil was obtained $R_{Cu} = (1.44 \pm 0.00)$ ohm and the resistance of the Cu / Ni coil $R_{Cu / Ni} = (1.50 \pm 0.00)$ ohm. The resistance value on the Cu / Ni coil (after plating) is greater than the Cu coil (before plating). While the test results of sensor sensitivity show that Cu and Cu / Ni coils have properties as low temperature sensors. Sensor sensitivity increases after plating. The sensitivity value obtained by Cu coil is $S(T) = -1E-06T + 6E-05$ and Cu/Ni coil $S(T) = -2E-06T + 2E-05$. The projection sensitivity at a temperature of -200 °C obtained is 0.00046 V/°C less than

the Cu/Ni coil 0.00082 V/°C. So nickel plating on copper coil at 30°C electrolyte temperature has successfully improved the sensitivity value of the low-temperature sensor.

Keywords: Electrolyte solution temperature, Electroplating, Copper coil, Cu/Ni coating

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di abad 21 yang terus meningkat berdampak pada industri makanan. Dahulu proses pengawetan makanan menggunakan teknik pembekuan dengan amoniak. Tingkat dingin teknologi tersebut rendah, sehingga mudah merusak makanan. Dari keterbatasan inilah muncul ide kriogenik. Kriogenik adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari metode untuk mencapai suhu rendah jauh di bawah suhu ruangan [1]. Teknologi ini menggunakan nitrogen cair (LN₂) [2] sebagai refrigerannya dengan suhu -196,1°C sampai -198°C [3]. Pembekuan dengan teknologi kriogenik jauh lebih baik daripada teknik pembekuan konvensional [4]. Teknologi pembekuan tersebut digunakan pada pengawetan di berbagai sektor antara lain sektor peternakan [5], sektor kesehatan dan industri makanan [6].

Dengan berkembangnya kriogenik, diperlukan termometer pengukur suhu rendah yang berfungsi dengan baik. Sensor khusus yang dapat digunakan untuk memantau suhu hingga -200°C masih mengisik para peneliti dalam menemukan bahan dan metode pembuatannya. Membuat sensor suhu tersebut tidaklah mudah karena sifat listrik dan panas bahan pada suhu ini sangat tidak linier [7].

Salah satu teknologi sensor yang dapat bekerja dengan optimal pada suhu rendah adalah sensor *Resistance Temperature Detector* (RTD) [7]. RTD merupakan sensor dengan prinsip kerja menggunakan perubahan resistansi termal yang dipengaruhi oleh suhu [8]. Elemen RTD umumnya terbuat dari logam atau paduan, dalam bentuk gulungan atau film tipis. Material yang biasa digunakan adalah platina, nikel atau tembaga. Platina adalah logam penyusun yang paling umum digunakan karena memiliki respon dan ketahanan dalam jangka waktu panjang. Namun material platina harganya relatif mahal, sehingga desain pengukuran suhu rendah memerlukan biaya yang lebih tinggi. Ketersediaan kawat tembaga yang melimpah mendorong para peneliti untuk mencoba mempelajari sifat respon kawat tembaga terhadap perubahan suhu yang sangat rendah. Dari serangkaian pengalaman penelitian pendahuluan yang dilakukan sebelumnya, telah ditemukan bahan yang layak untuk sensor suhu kriogenik tersebut yaitu kombinasi tembaga dan nikel dalam bentuk lapisan tipis Cu/Ni atau *alloy* [9].

Tembaga (Cu) telah dapat digunakan untuk mengukur suhu sangat rendah karena tembaga memiliki sifat linier yang baik dalam merespons perubahan suhu yang relatif kecil [10]. Tembaga mampu merespon perubahan suhu sampai -234,5°C. Kawat tembaga yang dibentuk menjadi kumparan/lilitan merupakan bentuk yang efektif yang dapat digunakan sebagai dasar sensor pengukuran suhu rendah [11]. Tembaga sebagai sensor suhu secara mandiri masih kurang sensitif karena resistivitasnya kecil (16,78 nΩ.m pada 20°C) namun ketika dipasangkan dengan Nikel (Ni) yang memiliki resistivitas besar (69,30 nΩ.m) menjadi sensor yang sangat peka. Selain dapat meningkatkan resistivitas pelapisan menggunakan Ni juga dapat meningkatkan kekerasan bahan. Ni juga memiliki kemampuan untuk digunakan sebagai sensor suhu rendah dengan rentang -200°C s.d. 320°C. Kedua bahan dimungkinkan dapat membentuk paduan karena memiliki kesamaan ukuran atom dan struktur kristal. Ni dan Cu memiliki ukuran atom yang hampir sama yaitu 0,1246 Å dan 0,1278 Å serta keduanya memiliki struktur kristal fcc, sehingga dengan terjadinya proses difusi akan terbentuk paduan dengan jenis ikatan substitusi.

Selain *alloy*, cara mendifusikan logam Cu dan Ni adalah dengan proses pelapisan. Metode tersebut dikenal dengan elektroplating. Sensor RTD dibuat dengan metode elektroplating bertujuan untuk membentuk sebuah lapisan tipis yang padat pada permukaan sebuah logam menggunakan elektrolisis kimia berbantuan listrik [12], [13]. Metode elektroplating dipilih karena harga yang relatif lebih murah, cepat, dan proses kontrol yang mudah [14], [15].

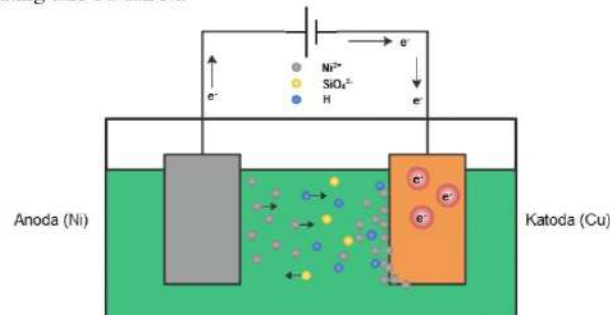
Suhu dalam proses elektroplating menjadi parameter yang ikut mempengaruhi struktur mikro dari lapisan komposit karena berkaitan dengan peningkatan aktivitas partikel [16]. Pada suhu yang terlalu tinggi kekentalan larutan berkurang dan terjadi peredaman aktivitas gas hidrogen. Hal ini akan memudahkan ion-ion Ni menembus medium menuju katoda. Akibatnya lapisan yang terbentuk akan lebih cepat, tebal dan tidak merata karena adanya resiko *overplating*. Oleh karena itu, dengan perlakuan suhu yang tidak terlalu tinggi diharapkan dapat menghasilkan lapisan yang tipis dan merata sehingga dapat dihasilkan sensor suhu yang lebih berkualitas dan dapat meningkatkan kepekaan sensor suhu.

Dalam hal kepekaan sensor, bagian terbesar yang berkontribusi terhadap kepekaan adalah lapisan interface antara Cu dan Ni. Jika lapisan belum rata, lapisan tersebut tidak sensitif/ tidak peka. Kepekaan sensor akan meningkat jika lapisannya kontinu dan tipis. Jika ketebalan lapisan meningkat, resistivitas cenderung menurun dan kepekaannya menurun.

Sensor suhu rendah Cu/Ni berbentuk lapisan tipis telah dibuat pada berbagai variasi yaitu tegangan [17], waktu [5], [18], [19], suhu larutan [20], [21], jarak elektroda [10], baik menggunakan atau tanpa menggunakan medan magnet. Mengacu pada hasil pra survei/percobaan pendahuluan diperoleh gambaran bahwa kawat tembaga yang dibentuk menjadi bentuk kumparan merupakan bentuk yang efektif untuk menciptakan nilai resistansi yang besar pada kawat. Resistansi kawat tembaga juga dipengaruhi oleh suhu sekitar yang bekerja padanya. Kumparan tembaga merespons dengan baik pada perubahan suhu yang rendah yang dihasilkan oleh nitrogen cair, sehingga masih terbuka peluang untuk meningkatkan kepekaan sensor yaitu dengan pelapisan nikel pada kumparan tembaga. Keunggulan sensor dalam bentuk kumparan dibandingkan dengan dalam bentuk lapisan tipis adalah kenaikan resistansi yang sangat signifikan karena ketergantungan resistansi pada panjang kawat dan kecilnya diameter kawat. Suhu larutan pada proses elektroplating faktor yang sangat penting [22]. Penting kiranya memulai proses elektroplating pada kondisi sederhana, termasuk suhu elektrolit pada suhu ruang sekitar 30°C. Jika pada suhu ini berhasil diharapkan dapat dikembangkan ke suhu lain dan dapat diperoleh suhu optimum untuk proses elektroplating.

METODE

Tahap pertama dalam proses pembuatan lapisan tipis yaitu menyiapkan bahan yang diperlukan seperti kumparan tembaga, pelat nikel, dan larutan elektrolit yang terdiri dari NiSO₄ 260 g, NiCl₂ 60 g, H₃BO₃ 40 g dan Aquades 1000 mL. Elektroplating dilakukan dengan suhu elektrolit 30°C, jarak elektroda 4 cm, tegangan 4,5 volt dan waktu pelapisan selama 4 menit. GAMBAR 1 menunjukkan proses elektroplating dari Cu dan Ni.



GAMBAR 1. Proses elektroplating

Menganalisis nilai resistansi dari kumparan Cu dan Cu/Ni yaitu dengan melakukan perhitungan nilai resistansi total serta standar deviasinya. Seperti pada PERSAMAAN 1 dan PERSAMAAN 2 sebagai berikut:

$$R = \frac{\sum R_i}{N} \quad (1)$$

Dan standar deviasinya,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{N}} \quad (2)$$

Hasil perhitungan nilai resistansi pada kumparan Cu dan Cu/Ni dapat dilihat perubahannya dengan menggunakan PERSAMAAN 3. Nilai resistansi awal merupakan nilai dari kumparan sebelum di plating yaitu Cu sedangkan nilai resistansi akhir adalah nilai dari kumparan setelah di plating yaitu Cu/Ni.

$$\text{Persentase (\%)} = \left| \frac{R_{\text{awal}} - R_{\text{akhir}}}{R_{\text{awal}}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

Menentukan kepekaan sensor adalah dengan melihat hubungan nilai tegangan RTD dengan perubahan suhu yang kemudian diolah dengan fitting data polinomial orde dua [23], sebagai berikut:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (4)$$

Dimana, y adalah tegangan (V), x adalah suhu (T),

$$V = (T) = aT^2 + bT + c \quad (5)$$

Metode ini digunakan untuk menguji kepekaan sensor dimana data diambil dari *software logger pro* yang membentuk grafik non linear. Hal ini dapat dihasilkan nilai kepekaan sensor dengan menurunkan persamaan dari polinomial orde dua.

$$\frac{dy}{dx} = 2ax + b \quad (6)$$

Sehingga menjadi:

$$\frac{dV}{dT} = 2aT + b \quad (7)$$

Nilai koefisien a , b , dan c memuat variabel x yang disebut slope, artinya menunjukkan tingkat kemiringan kurva dan dapat digunakan untuk menentukan nilai suatu fungsi. Sedangkan koefisiensi d disebut intersep, yaitu menunjukkan titik perpotongan garis dengan sumbu y . Perhitungan secara manual untuk mengetahui a , b , c , dan d . Semakin kecil nilai a semakin linier kurva tersebut. Demikian pula semakin besar nilai b semakin peka sensor tersebut.

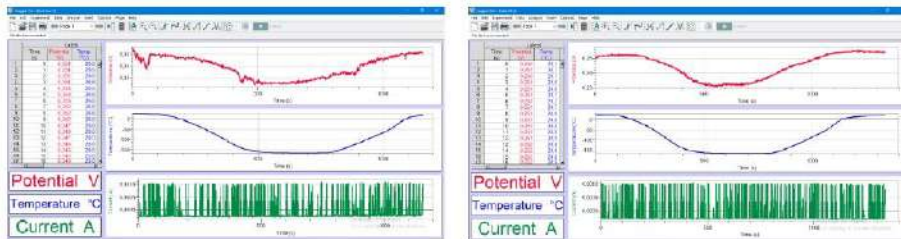
HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah berhasil diperoleh kumparan Cu/Ni hasil desposisi pada suhu 30°C, jarak elektroda 4 cm, tegangan 4,5 volt dan waktu pelapisan selama 4 menit. Terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua data yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan.

TABEL 1. Data resistansi

No	R_{Cu} (ohm)	R_{CuNi} (ohm)
1	1,44	1,50
2	1,44	1,49
3	1,44	1,50
4	1,44	1,50
5	1,44	1,50
6	1,44	1,50
7	1,44	1,50
8	1,45	1,49
9	1,44	1,50
10	1,45	1,50
Jumlah	14,42	14,98
Rata-rata	1,44	1,50
Ralat	0,00	0,00

Berdasarkan pada TABEL 1 diperoleh hasil resistansi Cu $R_{Cu}=(1,44\pm 0,00)$ ohm dan resistansi Cu/Ni $R_{CuNi}=(1,50\pm 0,00)$ ohm. Dari hasil tersebut, dengan menggunakan PERSAMAAN 3 tampak terdapat perbedaan sebesar 3,8% dan dapat dilihat bahwa pada kumparan Cu/Ni mengalami peningkatan.

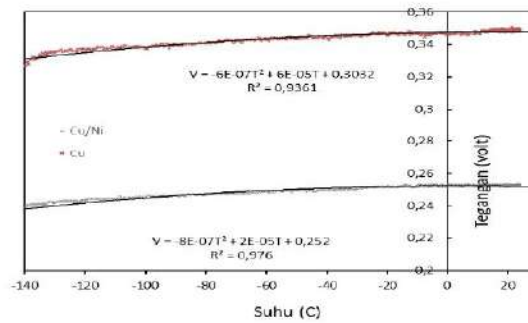


(a)

(b)

GAMBAR 2. Data uji kepekaan (a) Kumparan Cu dan (b) Kumparan Cu/Ni

Pada GAMBAR 2 kumparan Cu menunjukkan bahwa grafik sudah menampakkan karakterisasi dari sensor namun tegangan yang dihasilkan tidak stabil. Suhu terendah yang dicapai oleh Cu dan Cu/Ni adalah -165°C. Respon perubahan suhu hingga -165°C Cu lebih cepat. Waktu yang dibutuhkan Cu untuk mencapai suhu terendah adalah 476 detik sedangkan Cu/Ni adalah 492 detik.



GAMBAR 3. Grafik hubungan antara tegangan dan suhu

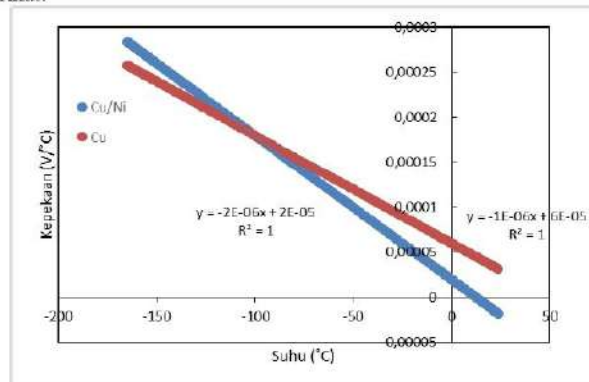
GAMBAR 3 merupakan grafik hubungan antara tegangan dan suhu masing-masing kumparan. Data dari suhu tersebut diambil dari suhu normal hingga suhu pada titik terendah. Kemudian diperoleh persamaan dari fitting data polinomial orde dua yaitu:

$$V_{(Cu)} = -6E - 07T^2 + 6E - 05T + 0,3032 \quad (8)$$

$$V_{(Cu/Ni)} = -8E - 07T^2 + 2E - 05T + 0,252 \quad (9)$$

Pada grafik Cu/Ni diperoleh kurva yang lebih beraturan daripada grafik Cu. Output sinyal dari sensor Cu cenderung mengandung *ripple* sementara untuk Cu/Ni relatif halus dan stabil. Hal ini ditunjukkan dengan nilai indeks determinasi R^2 adalah 0,9361 untuk lapisan Cu dan 0,9760 untuk lapisan Cu/Ni. Hal ini membuktikan bahwa kumparan Cu belum baik menunjukkan karakteristik sebagai sensor suhu rendah dan kumparan Cu/Ni sudah menunjukkan karakteristik sebagai sensor suhu rendah. Semakin rendah suhu semakin kecil juga nilai tegangannya. Karena semakin besar nilai awal tegangan yang dihasilkan, semakin jelas kemiringan kurva yang dihasilkan.

Kepekaan sensor dapat dilihat dari kemiringan kurva yang diperoleh dari grafik hubungan antara kepekaan sensor dengan suhu. Karena kurva non-linier digunakan persamaan data polinomial orde dua. Kemudian persamaan tersebut dihitung menggunakan turunan dari tegangan terhadap suhu yaitu $S=2ax+b$. Grafik hubungan antara tegangan dengan suhu pada kumparan Cu dan Cu/Ni ditunjukkan pada GAMBAR 4 berikut:



GAMBAR 4. Grafik hubungan kepekaan sensor dengan suhu pada Cu dan Cu/Ni

Data yang diperoleh kumparan Cu/Ni lebih tinggi dibandingkan dengan data kumparan Cu. Hal ini dapat dilihat bahwa pada kumparan Cu kepekaan sensor ada pada rentang 0 hingga 0,00025 (V/°C). Sedangkan pada kumparan Cu/Ni kepekaans sensor ada pada rentang-0,00005 hingga 0,00030 (V/°C). Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kumparan Cu/Ni yaitu kumparan sesudah plating lebih baik digunakan sebagai sensor suhu rendah serta grafik yang dihasilkan terlihat lebih halus dan stabil antara perubahan suhu dan perubahan tegangan. Dari grafik di atas, setelah di plot menggunakan persamaan polinomial orde dua didapatkan hasil kepekaan sensor dari penurunan rumus polinomial orde dua berikut:

TABEL 2. Hasil uji kepekaan sensor

Kepekaan Sensor (V/°C)	
Cu	$S(T) = -1E-06T + 6E-05$
Cu/Ni	$S(T) = -2E-06T + 2E-05$

Penurunan persamaan polinomial orde dua yang merupakan nilai kepekaan dari kumparan Cu dan Cu/Ni tersaji pada TABEL 2. Dengan T merupakan suhu ekstrapolasi yang diproyeksikan menjadi -200 °C. Hal tersebut dilakukan karena sensor masih dapat menjangkau suhu lebih rendah lagi, tetapi *thermocouple* hanya dapat menjangkau suhu ± 165 °C. Sehingga dapat diperoleh nilai kepekaan seperti pada TABEL 3 berikut:

TABEL 3. Hasil proyeksi T pada kepekaan sensor

Kepekaan Sensor (V/C)		Proyeksi T= -200°C
Cu	$S(T) = -1E-06T + 6E-05$	0,00046
Cu/Ni	$S(T) = -2E-06T + 2E-05$	0,00082

Hasil dari proyeksi $T=-200$ °C diperoleh bahwa nilai kepekaan kumparan Cu/Ni memiliki nilai yang lebih besar daripada kumparan Cu. Kumparan Cu menunjukkan nilai 0,00046 V/ °C sedangkan kumparan Cu/Ni 0,00082 V/ °C. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai kepekaan setelah plating lebih besar dari pada nilai kepekaan sebelum plating.

PENUTUP

Dari hasil penelitian plating nikel pada kumparan tembaga pada suhu 30°C untuk meningkatkan kepekaan sebagai sensor suhu rendah, diperoleh Nilai resistansi kumparan Cu diperoleh hasil $R_{Cu}=(1,44\pm 0,00)$ ohm dan kumparan Cu/Ni diperoleh hasil $R_{CuNi}=(1,50\pm 0,00)$ ohm. Nilai resistansi pada kumparan Cu/Ni (setelah plating) lebih besar dari pada kumparan Cu (sebelum plating). Sehingga plating nikel pada kumparan tembaga telah berhasil meningkatkan nilai resistansi dari sensor suhu rendah.

Hasil pengujian kepekaan sensor menunjukkan bahwa kumparan Cu dan Cu/Ni telah memiliki sifat sebagai sensor suhu rendah. Kepekaan sensor meningkat setelah dilakukan plating. Nilai kepekaan yang diperoleh kumparan Cu adalah $S(T) = -1E-06T + 6E-05$ dan kumparan Cu/Ni $S(T) = -2E-06T + 2E-05$. Hasil dari proyeksi $T=-200$ °C diperoleh bahwa nilai kepekaan kumparan Cu/Ni memiliki nilai yang lebih besar daripada kumparan Cu. Kumparan Cu menunjukkan nilai 0,00046 V/ °C sedangkan kumparan Cu/Ni 0,00082 V/ °C. Sehingga plating nikel pada kumparan tembaga pada suhu elektrolit 30°C telah berhasil meningkatkan nilai kepekaan dari sensor suhu rendah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan sebagian hasil dari penelitian utama dengan judul Kumparan Cu/Ni sebagai sensor suhu rendah hasil deposisi pada variasi suhu elektrolit. Peneliti mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Kemdikbud yang telah memberi dana hibah DRPTM Kemedikbud ristek tahun 2023.

REFERENSI

- [1] I. S. Jawahir *et al.*, "Cryogenic Manufacturing Processes," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 2, pp. 713–736, 2016, doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.007.
- [2] A. Biglia, L. Comba, E. Fabrizio, P. Gay, and D. Ricauda Aimonino, "Case Studies in Food Freezing at Very Low Temperature," *Energy Procedia*, vol. 101, no. September, pp. 305–312, 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.039.
- [3] K. Fikim *et al.*, "Refrigerated Warehouses as Intelligent Hubs to Integrate Renewable Energy in Industrial Food Refrigeration and to Enhance Power Grid Sustainability," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 60, no. February, pp. 96–103, 2017, doi: 10.1016/j.tifs.2016.11.011.
- [4] T. K. Goswami, "Recent Trends of Application of Cryogenics in Food Processing and Preservation," *iMedPub Journals*, vol. 1, no. 3:27, pp. 1–4, 2017.
- [5] M. Toifur, N. Agustin, A. Khusnani, and Okimustava, "Investigation on Performance of Cu/Ni Film as Low Temperature Sensor," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 924, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/924/1/012024.
- [6] V. de Miguel-Soto *et al.*, "Study of Optical Fiber Sensors for Cryogenic Temperature Measurements," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 12, pp. 1–12, 2017, doi: 10.3390/s17122773.
- [7] M. Lebioda and J. Rymaszewski, "Dynamic Properties of Cryogenic Temperature Sensors," *Prz. Elektrotechniczny*, vol. 91, no. 2, pp. 225–227, 2015, doi: 10.15199/48.2015.02.51.
- [8] Y. Wang, C. Zhang, J. Li, G. Ding, and L. Duan, "Fabrication and Characterization of ITO Thin Film Resistance Temperature Detector," *Vacuum*, vol. 140, pp. 121–125, 2017, doi: 10.1016/j.vacuum.2016.07.028.
- [9] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors*. 2020.
- [10] S. Singgih and M. Toifur, "Pengukuran Nilai Resistivitas Plat Tipis Cu-Ni Hasil Elektroplating Variasi Konsentrasi Larutan dan Jarak Katoda sebagai Sensor Suhu Rendah Berbasis Resistance Temperature Detector (RTD)," no. June, 2020.
- [11] R. Riswanto, "Analisis Resistansi Coil Kawat Tembaga Terhadap Perubahan Suhu Sangat Rendah Sebagai Rancang Dasar Pengukuran Suhu Rendah," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 3, no. 1, pp. 73–83, 2015, doi: 10.24127/jpf.v3i1.23.
- [12] H. C. Chuang, H. M. Yang, G. L. Wu, J. Sánchez, and J. H. Shyu, "The Effects of Ultrasonic Agitation on Supercritical CO₂ Copper Electroplating," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 40, no. June 2017, pp. 147–156, 2018, doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.06.029.
- [13] S. Prasad, D. S. Ebenezer, Nitla, C. Shoba, and S. Rao, Pujari, "Effect of Nickel Electroplating on the Mechanical Damping and Storage Modulus of Metal Matrix Composites," 2018.
- [14] A. Hankhantod, E. Kantarak, W. Sroila, T. Kumpika, P. Singjai, and W. Thongsuwan, " α -Fe₂O₃ Modified TiO₂ Nanoparticulate Films Prepared by Sparking Off Fe Electroplated Ti Tips," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 477, pp. 116–120, 2019, doi: 10.1016/j.apsusc.2017.11.224.
- [15] B. Yang and X. He, "Experimental Investigation of Surface Color Changes in Vacuum Evaporation Process for Gold-like Stainless Steel," *MATEC Web Conf.*, vol. 43, pp. 3–7, 2016, doi: 10.1051/matecont/20164303004.
- [16] Y. H. Ahmad and A. M. A. Mohamed, "Electrodeposition of Nanostructured Nickel-Ceramic Composite Coatings: A Review," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 1942–1963, 2014.
- [17] R. Figry, M. Toifur, and A. Khusnani, "Ketebalan dan Nilai Resistivitas Lapisan Tipis Cu/Ni/Cu/Ni Hasil Penumbuhan dengan Metode Elektroplating pada Variasi Tegangan

- Depositi (V)," *Semin. Nas. Edusainstek*, pp. 46–54, 2018.
- [18] E. Hamidun and M. Toifur, "Pembuatan Lapisan Cu / Ni pada Variasi Waktu Deposisi Berbantuan Medan Magnet," pp. 1–5, 2019.
- [19] M. Toifur, N. A. Okimustava, and I. Sukarelawan, "Pengaruh Waktu Deposisi pada Tebal Lapisan, Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi dengan Teknik Elektroplating," vol. 07, no. 02, pp. 33–43, 2017.
- [20] J. Wustha, M. Toifur, and A. Khusnani, "Thickness and Resistivities of Cu/Ni Film Resulted by Electroplating on the Various Electrolyte Temperature," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1373, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1373/1/012029.
- [21] R. Agung, M. Toifur, and A. Khusnani, "Pengaruh Suhu Anil Terhadap Ketebalan dan Resistivitas Lapisan Tipis Cu / Ni Hasil Elektroplating Berbantuan Medan Magnet," *Pros. Semin. Nas. Mhs. Unimus*, vol. 2, pp. 436–443, 2019.
- [22] X. Qiao, H. Li, W. Zhao, and D. Li, "Effects of Deposition Temperature on Electrodeposition of Zinc-Nickel Alloy Coatings," *Electrochim. Acta*, vol. 89, pp. 771–777, 2013, doi: 10.1016/j.electacta.2012.11.006.
- [23] M. Toifur, Y. Yuningsih, and A. Khusnani, "Microstructure, Thickness and Sheet Resistivity of Cu/Ni Thin Film Produced by Electroplating Technique on the Variation of Electrolyte Temperature," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 997, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/997/1/012053.



UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
PROGRAM MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
Jl. Pramuka 42 Sidikan Yogyakarta 55161
Website: <http://www.pasca-pfisika.uad.ac.id>

Nomor : KP041/024/D.31/XI/2023 Yogyakarta, 9 September 2023
Lampiran : -
Hal : Undangan Ujian Tesis

Kepada Yth:

1. Dr. Moh. Toifur, M.Si (Ketua Penguji)
2. Prof. Dr. Dwi Sulisworo, MT (Penguji)
3. Dr. Dian Artha K, M.Pd.Si (Penguji)
4. Dr. Irma Sukarelawan, M.Pd.Si (Penguji)

Assalamu'alaikum wr. wb

Mengharap kehadiran Bapak sebagai penguji pada ujian Tesis Mahasiswa Program Magister Pendidikan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan, atas nama:

Nama	NIM	Hari	Waktu	Judul
Rizka Nuzul Islamiyati	2108041016	Sabtu, 9 September 2023	09.00 – Selesai	Pengaruh Plating Nikel pada Kumparan Tembaga pada Suhu Elektrolit 30°C untuk Meningkatkan Kepekaan Sebagai Sensor Suhu Rendah

Ujian dilaksanakan secara online.

Atas perhatian dan kehadirannya kami ucapkan terimakasih.
Wassalamu'alaikum, wr, wb

Ketua Program Studi

Dr. Moh. Toifur, M.Si

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

PENGARUH PLATING NIKEL PADA KUMPARAN TEMBAGA PADA SUHU ELEKTROLIT 30°C UNTUK MENINGKATKAN KEPEKAAN SEBAGAI SENSOR SUHU RENDAH

dipersiapkan dan disusun oleh

Rizka Nuzul Islamiyati
2108041016

telah dipertahankan di depan
Panitia Ujian Tesis Program Studi Magister Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Ahmad Dahlan di Yogyakarta
pada tanggal bulan tahun
dan dinyatakan telah memenuhi syarat guna memperoleh
gelar Magister Pendidikan

SUSUNAN PANITIA UJIAN TESIS

Ketua : Dr. Moh. Toifur, M.Si
Sekretaris : Dr. Dian Artha Kusumaningtyas, M.Pd.Si
Penguji I : Prof. Dr. Dwi Sulisworo, MT
Penguji II : Dr. Moh. Irma Sukarelawan, M.Pd.



Yogyakarta, 12 September 2023
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Ahmad Dahlan

Muhammad Sayuti, S.Pd., M.Pd., M.Ed., Ph.D.
NIPM. 19710317 201601 111 0763 796

FM-UAD-PMB-05-05/RO

BERITA ACARA PENDADARAN

Penyelenggaraan Pendadaran Tugas Akhir Mahasiswa

A. Waktu, tempat dan status pendadaran :

1. Hari dan Tanggal : Sabtu, 9 September 2023
2. Pukul : 09.00 - Selesai
3. Tempat : Ruang 303 Kampus 2 UAD Jl. Pramuka 42 Yogyakarta
4. Status : ke-1

B. Susunan TIM Pendadaran

No	Jabatan	Nama	Tanda Tangan
1	Ketua Sidang	Dr. Moh. Toifur, M.Si	
2	Penguji I	Prof. Dr. Dwi Sulisworo, MT	
3	Penguji II	Dr. Dian Artha K, M.Pd.Si	
4	Penguji III	Dr. Irma Sukarelawan, M.Pd.Si	

C. Identitas mahasiswa yang diuji :

1. Nama : Rizka Nuzul Islamiyati
2. NIM : 2108041016
3. Program Studi : Magister Pendidikan Fisika
4. Semester : 3
5. Tanda Tangan : 

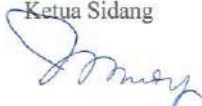
D. Judul Tugas Akhir :


Pengaruh Plating Nikel pada Kumparan Tembaga pada Suhu Elektrolit 30°C untuk Meningkatkan Kepekaan Sebagai Sensor Suhu Rendah

E. Keputusan Sidang :

1. Lulus/Tidak Lulus/Lulus dengan perbaikan : Lulus dengan perbaikan
2. Nilai Tesis : 85 (A)
3. Konsultasi perbaikan (Pembimbing/Penguji) : 2 minggu

Yogyakarta, 9 September 2023

Ketua Sidang

(Dr. Moh. Toifur, M.Si)

Kaprodi

(Dr. Moh. Toifur, M.Si)

Lampiran 7. Monograf dengan judul “Sensor suhu rendah kumparan tembaga/Nikel (Cu/Ni) yang telah ber ISBN”



ISBN

 REPUBLIK INDONESIA KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA	
SURAT PENCATATAN CIPTAAN	
Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:	
Nomor dan tanggal permohonan	: EC00202378565, 8 September 2023
Pencipta	
Nama	: Rizka Nuzul Islamiyati, S.Pd, Dr. Moh. Toifur, M.Si dkk
Alamat	: Jl. H. Ibrahim No. 12 Salebu, Majenang, Cilacap, Jawa Tengah, Majenang, Cilacap, Jawa Tengah, 53257
Kewarganegaraan	: Indonesia
Pemegang Hak Cipta	
Nama	: Rizka Nuzul Islamiyati, S.Pd, Dr. Moh. Toifur, M.Si dkk
Alamat	: Jl. H. Ibrahim No. 12 Salebu, Majenang, Cilacap, Jawa Tengah, Majenang, Cilacap, Jawa Tengah, 53257
Kewarganegaraan	: Indonesia
Jenis Ciptaan	: Buku
Judul Ciptaan	: Sensor Suhu Rendah Kumparan Tembaga/Nikel (Cu/Ni)
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia	: 8 September 2023, di Yogyakarta
Jangka waktu perlindungan	: Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.
Nomor pencatatan	: 000511518
adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon. Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.	
a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA Direktur Hak Cipta dan Desain Industri	
 Anggoro Dasananto NIP. 196412081991031002	
	
Disclaimer: Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.	

Lampiran 9. Submit 2(dua) paper ke Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya Sinta 3

10.56 4G 1.00 KB/S

Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya Tasks 0

English View Site rizkanuzulislamiyati

My Assigned

New Submission

Search

39648	Rizka Nuzul Islamiyati Rizka, ... Pengukuran Ketebalan dan Kep...	Submission	▼
39569	Rizka Nuzul Islamiyati Rizka, Pengaruh Plating Nikel pada K...	Submission	▼

2 of 2 submissions