

Plating Nikel pada Kawat Tembaga untuk Meningkatkan Kepekaan sebagai Sensor Suhu Rendah

Siti Zahra Helmalia Putri, Moh. Toifur*

Universitas Ahmad Dahlan
Jalan Pramuka 42, Sidikan, Umbulharjo, Yogyakarta 55161
* E-mail: toifur@mpfis.uad.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kepekaan sensor sebagai sensor suhu rendah dari koil Cu dilapisi Ni dengan teknik elektroplating. Parameter deposisi ditetapkan yaitu larutan elektrolit dengan melarutkan NiSO₄, NiCl₂, H₃BO₄ dan aquades, tegangan 4,5V, jarak elektroda 4 cm, suhu elektrolit 60°C selama 4 menit. Pada uji kepekaan sensor dilakukan dengan memvariasi suhu dari 0°C sampai -150°C dengan memasukkan sensor pada termos nitrogen cair dan mengangkat sampai posisi semula. Akuisisi data suhu dan tegangan pada setiap saat dilakukan dengan bantuan transduser. Berdasarkan hasil penelitian kurva Tegangan-Suhu menunjukkan bahwa Nilai kepekaan yang diperoleh kumparan Cu adalah $S(T) = -1E-06 T - 5E-05$ dan kumparan Cu/Ni $S(T) = -4E-06 T - 0.0002$. 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 0,00035 sedangkan kumparan Cu/Ni 0,0014. Sehingga Ni berpengaruh untuk meningkatkan kepekaan kumparan Cu sebagai sensor suhu rendah.

Kata kunci: Kumparan Cu/Ni, Elektroplating, Sensor Suhu Rendah.

Abstract

This research aims to determine the sensitivity of the sensor as a low temperature sensor from the Ni-coated Cu coil with electroplating technique. The deposition parameters are set, namely the electrolyte solution by dissolving NiSO₄, NiCl₂, H₃BO₄ and distilled water, voltage 4.5V, electrode distance 4 cm, electrolyte temperature 60 ° C for 4 minutes. The sensor sensitivity test was carried out by varying the temperature from 0 ° C to -150 ° C by inserting the sensor in a liquid nitrogen thermos and lifting it to its original position. Acquisition of temperature and voltage data at any time was carried out with the help of a transducer. Based on the results of the study, the Voltage-Temperature curve shows that the sensitivity value obtained by the Cu coil is $S(T) = -1E-06 T - 5E-05$ and the Cu/Ni coil $S(T) = -4E-06 T - 0.0002$. The results of the $T = -200$ °C projection show that the sensitivity value of the Cu/Ni coil has a greater value than the Cu coil. The Cu coil shows a value of 0.00035 while the Cu/Ni coil is 0.0014. So Ni has an effect on increasing the sensitivity of the Cu coil as a low temperature sensor.

Keywords: Cu/Ni Coil, Electroplating, Low Temperature Sensor

PENDAHULUAN

Sensor suhu rendah memiliki peran krusial dalam berbagai aspek ilmiah, industri, dan teknologi. Khususnya, pengukuran suhu pada tingkat yang sangat rendah memegang peranan kunci dalam berbagai konteks (Asroni, Budiyanto, et al., 2021). Keberadaan sensor ini menjadi sangat esensial dalam beragam

bidang, termasuk eksperimen kriogenik, penelitian fisika, teknologi semikonduktor, dan berbagai aplikasi di mana pemantauan suhu ekstrem dengan tingkat akurasi yang tinggi menjadi suatu keharusan. Sensor suhu rendah dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi dengan mengoptimalkan suhu operasi peralatan dan sistem, sehingga mengurangi konsumsi energi (Fiqry et al., 2018).

Kawat tembaga telah lama menjadi

bahan utama dalam pembuatan sensor suhu rendah (Noor Santi et al., 2020). Keuntungan utamanya adalah ketersediaan, biaya yang rendah, dan konduktivitas listrik yang baik. Namun, kawat tembaga memiliki kelemahan dalam hal sensitivitas pada suhu rendah. Pada suhu ekstrem, perubahan resistansi kawat tembaga mungkin tidak cukup responsif untuk memberikan pengukuran yang akurat (Taufiqurrahman dkk, 2020).

Untuk mengatasi keterbatasan ini, penelitian telah berfokus pada pelapisan atau plating kawat tembaga dengan nikel (Taufiqurrahman et al., 2020). Nikel adalah bahan yang memiliki konduktivitas termal yang sangat baik pada suhu rendah, membuatnya menjadi pilihan yang menarik dalam upaya meningkatkan sensitivitas sensor suhu rendah (Aminur et al., 2022). Plating nikel pada kawat tembaga bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas termal dan elektrisitas, yang pada gilirannya akan menghasilkan sensor yang lebih sensitif dan responsif pada suhu rendah (Singgih & Toifur, 2020).

Proses pelapisan nikel pada kumparan tembaga tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan sensitivitas (Bikarregi et al., 2023), tetapi juga untuk memahami dampak berbagai parameter, kumparan dapat dirancang dalam berbagai ukuran fisik dan bentuk, memungkinkan fleksibilitas dalam penempatan dan integrasi ke dalam perangkat elektronik, serta memungkinkan pembentukan medan magnetik yang kuat di sekitar kumparan (Hamidun & Toifur, 2019). Hasil penelitian (Toifur & Zulfana, 2022) menunjukkan bahwa adanya hubungan antara perubahan suhu medium terhadap intensitas cahaya lampu secara signifikan untuk kumparan tembaga dan besi sedangkan kawat nikhrom tidak. Regresi linier pada data suhu dan intensitas cahaya diperoleh kepekaan sensor dari kumparan kawat tembaga dan besi pelapisan nikel pada kawat tembaga dapat menghasilkan sensor suhu yang lebih responsif, tetapi masih ada banyak variabel yang harus dipertimbangkan untuk mencapai hasil yang maksimal. Seperti pada penelitian (Toifur & Islamiyati, 2024) pelapisan nikel pada kumparan tembaga pada suhu elektrolit 30 °C menunjukkan hasil bahwa

kumparan Cu dan Cu/Ni memiliki sifat sebagai suhu rendah. Kumparan Cu menunjukkan nilai sebesar 0,00046 V/°C sedangkan kumparan Cu/Ni sebesar 0,00082 V/°C. Jadi pelapisan nikel pada kumparan tembaga pada suhu elektrolit 30 °C telah berhasil meningkatkan nilai sensitivitas sensor suhu rendah. Penelitian ini memiliki kebaruan dalam penggunaan suhu elektrolit 60 °C pada proses elektroplating nikel, yang belum banyak dijelajahi dalam studi sebelumnya. Sebagian besar penelitian terdahulu masih menggunakan suhu elektrolit 30 °C. Dengan menaikkan suhu hingga 60 °C, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan lapisan nikel yang lebih merata dan meningkatkan kepekaan sensor suhu rendah secara signifikan.

Oleh karena itu dilaksanakan penelitian ini dengan judul "Plating Nikel Pada Kawat Tembaga Untuk Meningkatkan Kepekaan sebagai Sensor Suhu Rendah". penelitian ini menggunakan suhu elektrolit yang lebih tinggi, yaitu 60 °C, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu larutan terhadap hasil pelapisan dan kepekaan sensor. Suhu elektrolit yang lebih tinggi diperkirakan dapat mempercepat proses pelapisan dan menghasilkan lapisan nikel yang lebih merata dan padat (Aroni, Handono, et al., 2021). Hal ini diharapkan dapat meningkatkan stabilitas konduksi listrik pada kawat tembaga yang telah dilapisi nikel, sehingga sensor mampu memberikan respons tegangan yang lebih konsisten terhadap perubahan suhu rendah.

METODE/EKSPERIMEN

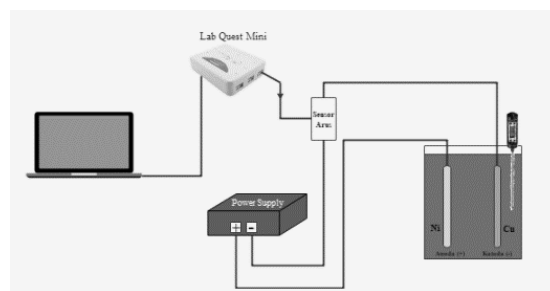
Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan alat-alat yang digunakan neraca ohaus P214 untuk mengukur massa bahan larutan elektrolit, gelas ukur untuk mengukur volume larutan elektrolit, magnetic stirrer untuk mengaduk larutan elektrolit, ultrasonic cleaner untuk mencuci substrat dan sampel sebelum di plating, power supply sebagai sumber tegangan yang akan digunakan selama proses electroplating, thermocouple sensor suhu rendah yang digunakan sebagai kalibrasi sensor Cu/Ni, Laptop sebagai media visualisasi data dan untuk mengolah data eksperimen (Toifur et al.,

2018). Beberapa bahan lainnya adalah Kawat tembaga 0,5 mm dari kabel tunggal sebagai katoda, Pelat nikel untuk bahan pengotor, Autosol untuk membersihkan pelat nikel saat proses preparasi substrat, Alkohol untuk membersihkan sampel agar steril dan tidak mudah korosi, Aquades untuk melarutkan bahan kimia yang digunakan sebagai larutan elektrolit dan membersihkan kumparan Cu/Ni, Larutan elektrolit yang terdiri dari Nikel Sulfat (NiSO_4) 260 g, Nikel Klorida (NiCl_2) 60 g, Asam boraks (H_3BO_3) 40 g dan Aquades 1000 mL (Wustha et al., 2019).

Tahap preparasi substrat, pembuatan lapisan tipis Cu/Ni, dan uji kepekaan sensor. Tahap preparasi substrat, membuat sampel dari kawat tembaga 0,5 mm dan untuk bahan plating menggunakan plat nikel. Sebelum dilakukan proses plating, sampel terlebih dahulu dibersihkan. Adapun langkah-langkah pembersihan sampel yaitu, mengelupaskan lapisan email pada kawat tembaga menggunakan paint remover, bilas sampel dengan air sabun berbantuan sikat lembut, setelah dengan air sabun sampel dibilas menggunakan aquades, melilitkan sampel pada tangkai balon sebanyak 300 lilitan sehingga berbentuk kumparan Cu, selanjutnya diseterilkan menggunakan alkohol 90% dengan ultrasonic cleaner selama 3 menit. Langkah-langkah pembuatan bahan plating yaitu mengukur plat nikel 10cm x 5cm, dibersihkan dengan menggosok permukaan menggunakan autosol dan pasta gigi, setelah dibersihkan dicuci menggunakan air sabun berbantuan sikat lembut dibilas dengan aquades, selanjutnya disterilkan menggunakan alkohol 90% bertujuan untuk menghilangkan minyak atau lemak yang menempel pada sampel. Masing-masing sampel diukur menggunakan neraca ohaus.

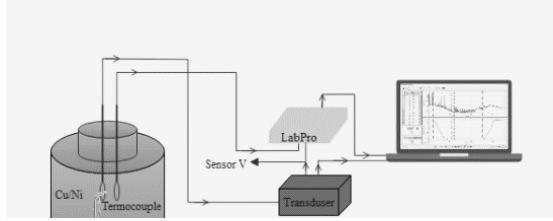
Tahap pembuatan lapisan tipis Cu/Ni, menyiapkan bahan yang diperlukan seperti kumparan tembaga, pelat nikel, dan larutan elektrolit yang terdiri dari NiSO_4 260 g, NiCl_2 60 g, H_3BO_3 40 g dan Aquades 1000 mL, Mengaduk bahan larutan dengan menggunakan magnetic stirrer selama 3 jam, Merangkai alat eksperimen seperti pada, Meletakkan Cu pada katoda dan Ni pada anoda, Memanaskan larutan dengan kompor listrik sampai suhu 60°C . Mengatur parameter

elektroplating dengan jarak elektroda 4 cm (Zeng et al., 2023), tegangan 4,5 volt dan waktu pelapisan selama 4 menit (Wijanarko et al., 2021). Menyiapkan laptop untuk menampilkan arus pada logger pro. Men-setting waktu pada logger pro selama 240 detik dan 1 data/detik. Menempatkan Ni sebagai anoda dan Cu sebagai katoda. Mencelupkan Ni dan Cu pada larutan elektrolit. Mengidupkan sumber tegangan agar meluruhkan partikel Ni. Menghidupkan sumber tegangan bersama dengan meng-collect data pada logger pro. Mencuci kumparan Cu/Ni setelah proses elektroplating dengan aquadest menggunakan Ultrasonic Cleaner selama 3 menit. Mencuci kumparan Cu/Ni dengan alkohol menggunakan Ultrasonic Cleaner selama 3 menit. Mengeringkan kumparan Cu/Ni dengan hair dryer. Membungkus dengan tissue dan simpan dalam plastik klip. Proses pelapisan Cu/Ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian proses pelapisan Cu/Ni

Tahap uji kinerja sensor, Menyiapkan alat pengujian seperti laptop, transduser, Lab Quest Mini, sensor tegangan, sensor arus, container LN₂, dan thermocouple. Merangkai alat eksperimen seperti pada. Menyiapkan LN₂ sebagai medium pengujian. Membuka aplikasi logger pro dan mengatur waktu pengambilan data serta jenis pengukuran suhu rendah pada logger pro. Mengambil data kinerja sensor dengan cara memasukkan dan mengeluarkan sensor Cu/Ni bersama dengan thermocouple secara perlahan. Mengamati perubahan tegangan pada setiap perubahan suhu yang terukur oleh thermocouple (Jiwatami, 2022). Mengulangi langkah d sampai f untuk sampel sebelum dan sesudah plating. Proses uji kinerja sensor ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian proses uji kinerja sensor

Menentukan kepekaan sensor dengan melihat hubungan antara tegangan dengan suhu uap nitrogen cair dapat ditentukan dengan menggunakan metode fitting data polinomial orde dua ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$y = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

y sebagai perubahan tegangan (V) dan x sebagai perubahan suhu (T) Persamaan 1 disubstitusikan ke Persamaan 2.

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

metode ini digunakan untuk menguji kepekaan sensor yang terdapat data diperoleh dari software Logger pro membentuk grafik non-linier. Hal ini dapat dihasilkan nilai kepekaan sensor dengan menurunkan Persamaan 1.

$$\frac{dy}{dx} = 2ax + b \quad (3)$$

atau, seperti halnya pada Persamaan 2 di atas, Persamaan 3 disubstitusikan ke Persamaan 4.

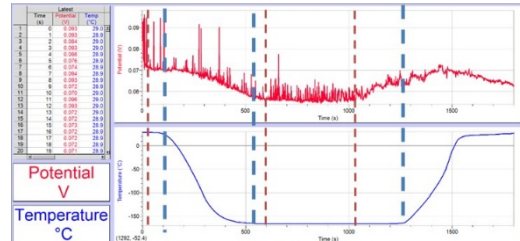
$$\frac{dV}{dT} = 2aT + b \quad (4)$$

didapatkan hasil turunan dengan, koefisien a menunjukkan kepekaan variabel yaitu kepekaan temperatur. Koefisien b menunjukkan kepekaan variabel yaitu kepekaan. Semakin besar nilai koefisien a, maka kepekaan sensor akan semakin baik. Tingkat kepekaan sensor dapat mempengaruhi kinerja lapisan tipis Cu/Ni kawat tembaga sebagai elemen RTD menjadi semakin baik

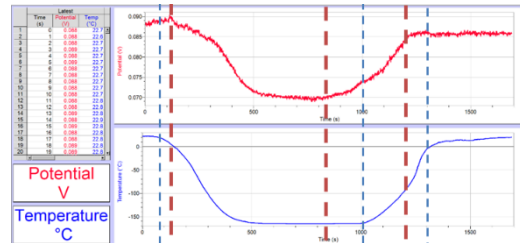
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sampel kumparan Cu secara fisik terlihat berwarna kuning keemasan. Setelah

pelapisan Nikel sampel tampak berwarna keperakan, perubahan secara fisik ini menunjukkan adanya deposisi Ni pada permukaan kumparan Cu. Didapatkan hasil data uji kepekaan sensor sebelum dan sesudah dilakukan elektroplating masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Data uji sebelum plating

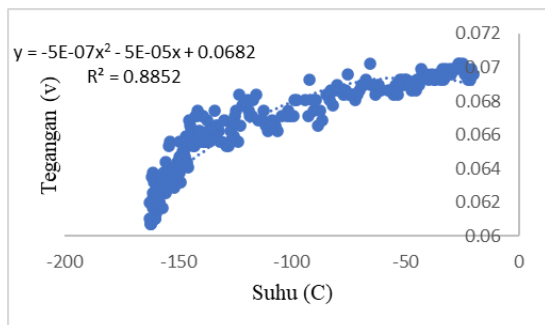


Gambar 4. Data uji sesudah plating

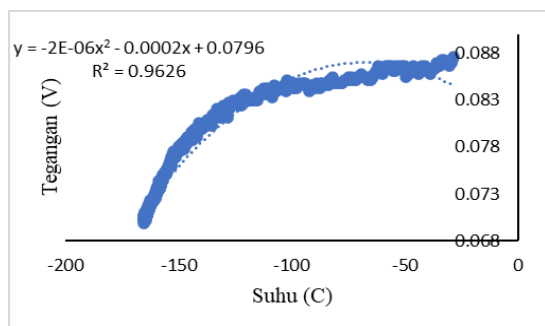
Terlihat perbedaan yang signifikan antara data yang diperoleh sebelum dan sesudah proses elektroplating nikel pada kawat tembaga. Pada kawat tembaga tanpa pelapisan nikel, grafik menunjukkan bahwa karakteristik sensor koil sudah mulai terbentuk. Namun, tegangan yang dihasilkan tidak stabil, mengalami fluktuasi besar yang tidak sebanding dengan perubahan suhu yang terjadi. Hal ini mengindikasikan bahwa sensitivitas sensor masih rendah dan belum mampu merespons perubahan suhu secara konsisten.

Sebaliknya, pada kawat tembaga yang telah dilapisi nikel, grafik menunjukkan karakteristik sensor koil yang lebih baik. Meskipun masih terdapat sedikit fluktuasi, tegangan yang dihasilkan jauh lebih stabil dan konsisten terhadap perubahan suhu. Terlihat bahwa semakin rendah suhu, semakin kecil pula tegangan yang dihasilkan, menunjukkan bahwa sensor mampu merespons penurunan suhu dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tegangan yang dihasilkan berkaitan langsung dengan sensitivitas sensor terhadap suhu rendah.

. Sehingga dari data sebelum dan sesudah plating masing-masing memiliki data yang berbeda diperoleh grafik hubungan antara tegangan dengan suhu pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut hasil dari analisis menggunakan excel:



Gambar 5. Analisis data sebelum plating



Gambar 6. Analisis data sesudah plating

Karena kurva non-linier, digunakan persamaan data polinomial orde dua. Kemudian persamaan tersebut dihitung menggunakan turunan dari tegangan terhadap suhu yaitu, data yang dianalisis dari grafik diperoleh persamaan dari fitting data polinomial orde dua yaitu

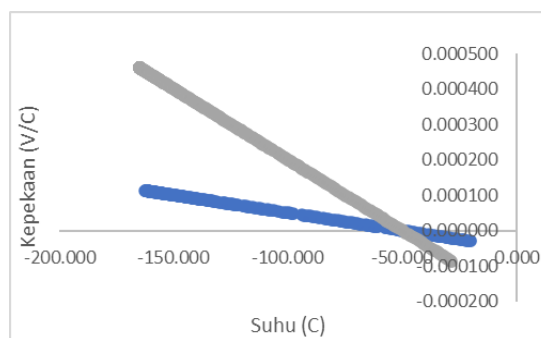
$$V = -5E-07 T^2 - 5E-05 T + 0,0682$$

pada grafik kurva yang diperoleh sangat tidak beraturan, hal ini membuktikan bahwa koil sebelum diplating belum baik menunjukkan sebagai sensor suhu. Pada grafik diperoleh persamaan dari fitting data polinomial orde dua yaitu

$$V = -2E-06 T^2 - 0.0002 T + 0,0796$$

pada grafik naik kurva yang diperoleh lebih beraturan daripada sebelum diplating, hal ini membuktikan bahwa koil sebelum diplating belum baik menunjukkan karakteristik sebagai sensor suhu dan koil sesudah plating sudah menunjukkan karakteristik sebagai sensor suhu

rendah. Kurva yang dihasilkan terlihat stabil dengan perubahan suhu terlihat kemiringan dari kurva yang didapatkan. Semakin rendah suhu semakin kecil juga nilai tegangannya. Karena semakin besar nilai awal tegangan yang dihasilkan, semakin terlihat kemiringan kurva yang dihasilkan. Berikut data gabungan dari grafik hubungan antara kepekaan dengan suhu ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan antara kepekaan dan suhu

Dari grafik menunjukkan bahwa koil sesudah plating sebagai sensor suhu menunjukkan karakteristik sebagai sensor suhu rendah, angka yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan data sebelum plating. Pada sebelum plating kepekaan sensor pada rentang -0,0001 hingga 0,0001 (V/°C) dan pada sesudah plating kepekaan sensor pada rentang -0,0001 hingga 0,0005 (V/°C). Perbedaan yang signifikan menunjukkan bahwa koil sesudah plating lebih baik digunakan sebagai sensor suhu rendah dan grafik yang dihasilkan lebih terlihat stabil antara perubahan suhu dan perubahan tegangan. Kepekaan sensor Cu/Ni kawat tembaga sebagai sensor suhu rendah dapat ditentukan dengan melihat karakterisasi dan uji kinerja dengan masukkan ke dalam kontainer yang berisikan nitrogen cair. Kepekaan sensor dapat dianalisis dengan menggunakan diagram hubungan antara perubahan tegangan dan perubahan suhu. Dari grafik diatas, setelah diplot menggunakan persamaan polinomial orde dua didapatkan hasil kepekaan sensor Cu/Ni dari kawat tembaga dari penurunan rumus polinomial orde dua sebagai berikut:

Tabel 1. Analisis uji kepekaan ensor

Kondisi substrat	Kepekaan Sensor (V/°C)	Kepekaan pada suhu - 200°C (V/°C)
Sebelum plating	$S(T) = -1E-06 T - 5E-05$	0,0006
Sesudah plating	$S(T) = -4E-06 T - 0,0002$	0,0014

Berdasarkan data pada tabel yang diperoleh merupakan hasil dari uji kepekaan sensor Cu/Ni koil kawat tembaga dengan T merupakan suhu ekstrapolasi. Dalam hal ini T tersebut diproyeksi menjadi -200°C, karena sensor masih dapat menjangkau suhu lebih rendah lagi, tetapi thermocouple hanya dapat menjangkau suhu ±167°C sehingga diperoleh nilai yang berbeda setiap prosesnya.

PEMBAHASAN

Perbedaan suhu elektrolit dalam proses elektroplating memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap hasil pelapisan nikel pada kawat tembaga. Dalam penelitian sebelumnya, proses pelapisan dilakukan pada suhu elektrolit 30 °C dan menghasilkan peningkatan sensitivitas sensor suhu dari 0,00046 V/°C pada kawat tembaga murni menjadi nilai yang lebih tinggi setelah pelapisan. Namun, pada penelitian ini, suhu elektrolit dinaikkan menjadi 60 °C dengan tujuan untuk mempercepat laju reaksi kimia dan memperbaiki kualitas lapisan nikel yang terbentuk di permukaan kawat.

Suhu larutan yang lebih tinggi menyebabkan ion-ion nikel dalam larutan bergerak lebih cepat menuju permukaan katoda (kawat tembaga), sehingga pelapisan berlangsung lebih cepat dan menghasilkan lapisan yang lebih halus dan rapat. Lapisan yang lebih baik ini akan mendukung aliran arus listrik yang lebih stabil, serta mengurangi resistansi kontak dan gangguan lain yang dapat memengaruhi sinyal tegangan pada sensor. Oleh karena itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa kawat tembaga yang dilapisi nikel pada suhu 60 °C mampu memberikan tegangan yang lebih stabil dan konsisten seiring penurunan suhu.

Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan

nilai sensitivitas sensor menjadi 0,00082 V/°C. Tegangan yang dihasilkan memiliki pola yang lebih teratur, menurun secara bertahap mengikuti penurunan suhu, yang merupakan karakteristik ideal dari sensor suhu rendah. Dengan kata lain, hubungan antara perubahan suhu dan perubahan tegangan menjadi lebih linier, yang menandakan kepekaan sensor meningkat.

Selain itu, dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan suhu elektrolit lebih rendah, pelapisan pada suhu 60 °C dapat dianggap lebih efektif meskipun waktu pelapisan hanya 4 menit. Hal ini menunjukkan bahwa suhu larutan memainkan peran penting dalam menentukan keberhasilan proses elektroplating, tidak hanya dari segi kecepatan pelapisan, tetapi juga dari segi kualitas lapisan yang terbentuk dan dampaknya terhadap kinerja sensor.

PENUTUP

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan suhu elektrolit dalam proses pelapisan nikel memberikan pengaruh positif terhadap kepekaan sensor suhu rendah. Pelapisan yang lebih optimal menghasilkan sinyal tegangan yang lebih responsif dan stabil terhadap perubahan suhu, sehingga sensor menjadi lebih andal dalam mendeteksi suhu rendah secara akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari hasil penelitian utama dengan judul Kumparan Cu/Ni sebagai Sensor Suhu Rendah Hasil Deposisi pada Variasi Suhu Elektrolit. Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Ahmad Dahlan yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENSI

Aminur, Sudarsono, Hasanudin, L., Salimin, Kadir, A., Sudia, B., & Saputra, J. S. D. (2022). Aplikasi Pelapisan Nikel Pada Aluminium Dengan Proses Elektroplating. *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 7(4), 255–259.

- <https://doi.org/10.33772/jfe.v7i4.35>
 Asroni, A., Budiyanto, E., Wahyudi, T. C., & Suarca, I. W. (2021). Pengaruh temperatur elektrolit terhadap ketebalan dan kuat lekat baja karbon rendah pada proses elektroplating. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(2), 272–278.
- <https://doi.org/10.24127/trb.v10i2.1755>
 Asroni, A., Handono, S. D., Wahyudi, T. C., & Saputra, Y. (2021). Pengaruh pH larutan elektrolit terhadap kuat lekat dan ketebalan hasil elektroplating bahan baja karbon rendah. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 10(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v10i1.1593>
- Bikarregi, A., Dominguez, S., Brizuela, M., Alejandra, L., Suarez-vega, A., Agust, C., Presa, M., & Gabriel, A. L. (2023). Direct Fabrication of a Copper RTD over a Ceramic-Coated Stainless-Steel Tube by Combination of Magnetron Sputtering and Sol – Gel Techniques. *Sensors*, 23(12), 5442. <https://doi.org/10.3390/s23125442>
- Fiqry, R., Toifur, M., Khusnani, D. A., Program, M., Pendidikan, S. M., Program, F., & Uad, P. (2018). Ketebalan Dan Nilai Resistivitas Lapisan Tipis Cu/Ni/Cu/Ni Hasil Penumbuhan Dengan Metode Elektroplating Pada Variasi Tegangan Deposisi (V). In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL & INTERNASIONAL* (Vol. 1, No. 1).
- Hamidun, E., & Toifur, M. (2019). Pembuatan Lapisan Cu / Ni pada Variasi Waktu Deposisi Berbantuan Medan Magnet. 1–5.
- Jiwatami, A. M. A. (2022). Aplikasi Termokopel untuk Pengukuran Suhu Autoklaf. *Lontar Physics Today*, 1(1), 38–44. <https://doi.org/10.26877/lpt.v1i1.10695>
- Noor Santi, W., Moh Toifur, Ss., Widodo, Ms., & Okimustava, Ms. (2020). *Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan magnet luar Sejajar Arus Ion*. Penerbit K-Media: Yogyakarta
- Singgih, S., & Toifur, M. (2020). Pengukuran Nilai Resistivitas Plat Tipis Cu-Ni Hasil Elektroplating Variasi Konsentrasi Suhu Rendah Berbasis Resistance Temperature Detector (RTD). In *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika..*
- Taufiqurrahman, M., Toifur, M., Ishafit, I., & Khusnani, A. (2020). Investigation on Effect of Solution Temperature on The Structure of Cu/Ni Layer in The Electroplating Assisted with Parallel Magnetic Field. *Journal of Aceh Physics Society*, 9(3), 59–64. <https://doi.org/10.24815/jacps.v9i3.16351>
- Taufiqurrahman, M., Toifur, M., Ishafit, Okimustava, & Khusnani, A. (2020). Effect of Solution Temperature on Voltage Range and Sensitivity of Low-Temperature Sensor Cu/Ni Results From Electroplating Assisted By Parallel Magnetic Fields. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*. 11(10), 333–341. <https://doi.org/10.34218/IJARET.11.10.2020.035>
- Toifur, M., & Islamiyati, R. N. (2024). Effect of 30°C Electrolyte Temperature on The Sensitivity Cu/Ni. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.21009/spektra.091.01>
- Toifur, M., Yuningsih, Y., & Khusnani, A. (2018). Microstructure, thickness and sheet resistivity of Cu/Ni thin film produced by electroplating technique on the variation of electrolyte temperature. *Journal of Physics: Conference Series*, 997(1), 0–10. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012053>
- Toifur, M., & Zulfana, D. (2022). Pembuatan Sensor Suhu Berbahan Kawat Kumbaran dengan Indikator Intensitas Cahaya. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah)*, 6(2), 72-78. <https://doi.org/10.30599/jipfri.v6i2.1707>
- Wijanarko, N., Asroni, A., & Budiyanto, E. (2021). Pengaruh waktu pelapisan terhadap ketebalan dan kuat lekat pada baja karbon rendah dengan proses elektroplating. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 2(2), 67–75. <https://doi.org/10.24127/armatur.v2i2.1445>
- Wustha, J., Toifur, M., & Khusnani, A. (2019). Thickness and Resistivities of Cu/Ni Film Resulted by Electroplating on the Various Electrolyte Temperature. *Journal of Physics: Conference Series*, 1373(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1373/1/012029>
- Zeng, Y. Z., Zhou, F., & Gao, Y. (2023). Bi2O3 modified TiO2 nanotube arrays and their application towards unsymmetrical dimethylhydrazine degradation in wastewater by electroassisted photocatalysis. *RSC Advances*, 13(5), 2993–3003. <https://doi.org/10.1039/d2ra05953c>