

MONOGRAF

Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni dengan Elektroplating
Berbantuan Medan Magnet pada Variasi Suhu

Jumratul Wustha,
Dr. Moh Toifur, M.Si.,
Dr. Guntur Maruto, S.U.,
Okimustava, M.Pd.Si., dan
Yudhiakto Pramudya, Ph.D.

MONOGRAF

**Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni
dengan Metode Elektroplating
Berbantuan Medan Magnet Pada
Variasi Suhu**

**Jumratul Wustha, Dr. Moh Toifur, M.Si.,
Dr. Guntur Maruto, S.U., Okimustava, M.Pd.Si.
dan Yudhiakto Pramudya, Ph.D.**



Penerbit K-Media
Yogyakarta, 2019



**MONOGRAF; SINTESIS LAPISAN TIPIS CU/NI DENGAN
METODE ELEKTROPLATING BERBANTUAN MEDAN
MAGNET PADA VARIASI SUHU**

vi + 45 hlm.; 14 x 20 cm

ISBN: 978-602-451-615-4

Penulis : Jumratul Wustha... [et al.]
Content Review : Dr. Arief Hermanto dan Drs. Ishafit, M.Si
Design Review : Dr. Widodo dan Ariati Dina P, M.Pd
Tata Letak : Yuni Latifah
Desain Sampul : Eko Susanto
Cetakan : November 2019

Copyright © 2019 by Penerbit K-Media
All rights reserved

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang No 19 Tahun 2002.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektrik mau pun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis dan Penerbit.

Isi di luar tanggung jawab percetakan

Penerbit K-Media
Anggota IKAPI No.106/DIY/2018
Banguntapan, Bantul, Yogyakarta.
e-mail: kmedia.cv@gmail.com



Kata Pengantar

Alhamdulillahirabbail'allamin, segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat serta inayahNya, sehingga penyusunan monograf ini dapat terselesaikan. Sholawat beserta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia ke zaman yang modern seperti sekarang ini.

Paket pembelajaran berupa monograf ini disusun dengan harapan dapat membantu dan memudahkan mahasiswa pendidikan fisika dalam melaksanakan eksperimen, yang berkaitan dengan proses penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan metode elektroplating berbantuan medan magnet pada variasi suhu. Monograf ini dapat digunakan untuk mendukung mata kuliah Sains dan Teknologi Nano di Universitas Ahmad Dahlan.

Selama penyusunan monograf ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada Dr. Moh Toifur dan M.Si, Dr. Guntur Maruto SU yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penyusunan monograf, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga bantuan dan amal kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan ridho dari Allah SWT. Penulis menyadari monograf ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis butuhkan untuk memperbaiki monograf ini

Yogyakarta, November 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
HALAMAN JUDUL	I
DAFTAR ISI.....	II
DAFTAR GAMBAR	III
DAFTAR TABEL.....	IV
BAB I TEKNOLOGI.....	1
BAB II DESKRIPSI TEORITIS	3
SENSOR SUHU	3
RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR.....	7
LAPISAN TIPIS.....	9
MATERIAL TEMBAGA DAN NIKEL	10
ELEKTROPLATING	12
RESISTIVITAS KEPING	14
X-RAY DIFRAKCTON	15
PENGARUH MEDAN MAGNET	17
SUHU LARUTAN	18
BAB III DESKRIPSI EMPIRIS	19
METODE EKSPERIMEN	19
METODE ANALISIS DATA	28
BAB IV EKSPERIMEN DEPOSITI Ni.....	32
BAB V PENUTUP	40
DAFTAR ISI	

**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 1. Keluaran dari sensor suhu (Kustija, 2012)	4
Gambar 2. Difraksi sinar-X (Anderson, 1990)	15
Gambar 3. Grafik hubungan intensitas terhadap sudut 2θ (Cullity, 1956)	16
Gambar 4. Skema proses <i>electroplating</i>	23
Gambar 5. Skema susunan alat uji kinerja Sensor suhu Rendah	26
<i>Gambar 6.</i> Desain litografi sebagai elemen RTD, dengan (A) bagian yang akan digunakan sebagai penentuan nilai resistivitas keeping dan (B) bagian yang akan digunakan sebagai sensor elemen RTD	32
Gambar 7. (a) Lapisan Cu (b) Lapisan Cu/Ni	33
Gambar 8. Spektrum XRD dari lapisan Cu/Ni dengan variasi suhu larutan pada masing-masing sample	35
Gambar 10. Hubungan antara resistivitas dengan suhu	36
Gambar 11. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada, pelapisan dengan variasi suhu larutan 40°C	36
Gambar 13. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada, pelapisan dengan variasi suhu larutan 60°C	38
Gambar 15. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada, pelapisan dengan variasi suhu larutan 80°C	38
Gambar 16. Grafik perbandingan kinerja sensor	39

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 1. Sifat fisika tembaga (Cu)	10
Tabel 2. Sifat fisis Nikel (Ni)	11
Tabel 3. Tabulasi data penentuan resistivitas keping	23
Tabel 6. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu dan Ni	33
Tabel 7. Difraksi serta intensitas lapisan Cu/Ni	35
Tabel 10. Persamaan polynomial orde 2 antara tegangan (V) dan suhu (T)	39



BAB

I

TEKNOLOGI

Perkembangan teknologi yang semakin pesat pada bidang teknologi yang menggunakan material bahan yang tahan korosi semakin pesat, bukan hanya pada teknologi elektronika, kedokteran maupun pendidikan tetapi juga dalam bidang yang lebih luas. Untuk mendapat memungkinkan kebutuhan dalam penggunaan sensor pada bidang kedokteran, pengawetan makanan, maupun pada bidang yang lainnya. Melihat hal tersebut maka kebutuhan sensor suhu rendah yang relatif murah menjadi nilai keunggulan tersendiri. Salah satu teknologi sensor yang dapat digunakan untuk detektor suhu rendah (Nitrogen cair) adalah RTD-F (*Resistance Temperature Detector-Fil*) (Lebioda & Rymaszewski, 2015). Dalam jurnal penelitian yang dilakukan oleh (Santoso, Martinus and Sugyanto, 2013) menyatakan Sensor merupakan suatu alat yang dapat merubah besaran fisika menjadi besaran listrik.

Pengembangan sensor suhu rendah dengan bahan yang ekonomis telah dibuat dengan material Cu/Ni dengan metode elektroplating (Toifur dkk, 2017); (Toifur dkk 2018). Penelitian tersebut telah memberikan hasil, yaitu analisis struktur mikro menunjukkan Cu/Ni yang dibuat memiliki beberapa fasa yaitu Cu, Ni, dan NiO. Dimana lapisan yang dihasilkan telah memiliki struktur kristal, akan tetapi morfologi deposit Ni yang terbentuk belum homogen. Untuk mengetahui kekurangan ini dapat dilakukan dengan foto SEM permukaan lapisan ataupun dengan uji XRD. Dari uji XRD diperoleh hubungan yang tidak konsisten antara suhu dan waktu terhadap intensitas puncak difraksi. Homogenitas morfologi permukaan lapisan sangat berpengaruh pada kinerja sensor terutama pada sifat listrik dan optik. Oleh karena itu perbaikan terhadap morfologi permukaan menjadi penting.



Dalam pembuatan lapisan tipis dengan metode elektroplating, terdapat beberapa hal yang mempengaruhi prosesnya, salah satunya adalah suhu larutan. Suhu larutan dapat mempengaruhi kecepatan ion dalam larutan elektrolit, dimana energi kinetik molekul-molekul zat yang bereaksi akan bertambah. Hal itu menyebabkan lebih banyak molekul yang memiliki energi yang sama, dan lebih banyak molekul yang dapat mencapai keadaan transisi. Semakin tinggi suhu larutan semakin mudah ion Ni mencapai katoda, karena penghantar elektrolit tahanannya berkurang bila suhu naik (Anonim, 2014). penggunaan medan magnet dalam proses pelapisan Cu/Ni yaitu sebagai penyearah ion-ionnya.



SENSOR SUHU

Sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu (Widiyantoro, 2013).

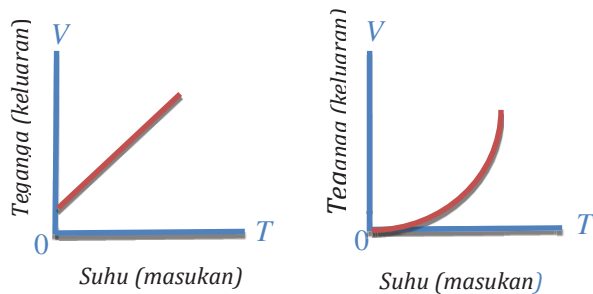
Sensor adalah alat yang merubah dari besaran fisika menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisis dengan rangkaian listrik tertentu. Besaran fisika yang dimaksud dapat berupa suhu, tekanan, kecepatan, suara, cahaya, medan magnet dan lain-lain (Gardner, 1994). Suhu adalah ukuran mengenai panas atau dinginnya suatu benda (Giancoli, 2001). Secara mikroskopis setiap atom dalam suatu benda dapat bergerak, baik itu dengan perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran.

Sensor suhu adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu (Widiyantoro, 2013). Sensor suhu dapat menanggapi dan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan, arus, atau resistansi. Seperti pengukuran suhu dengan detektor suhu tahanan (RTD), dimana tahanan listrik dari logam yang bervariasi sebanding dengan suhu, dan Sensor suhu dengan IC Memiliki konfigurasi output tegangan dan arus (Petruzella, 2001). Dalam memilih bahan sensor yang tepat dan sesuai dengan sistem maka perlu diperhatikan persyaratan umum sensor berikut ini (Kustija, 2012):



Linieritas

Linier dalam hal ini adalah hubungan antara besaran *input* yang dideteksi menghasilkan besaran *output* dengan hubungan linier dan dapat digambarkan secara grafik membentuk garis lurus. Misalnya sensor suhu dapat menghasilkan tegangan sesuai dengan suhu yang dirasakannya.



(a) Tanggapan linier

(b) Tanggapan non-linier

Gambar 1. Keluaran dari sensor suhu (Kustija, 2012)

Gambar 1 menunjukkan hubungan keluaran–masukan dari dua buah sensor suhu yang berbeda. Garis lurus pada gambar 1(a) menunjukkan tanggapan linier, sedangkan pada gambar 1(b) adalah tanggapan non-linier. Pada gambar 1(a) menunjukkan setiap perubahan T diikuti oleh perubahan V dan dapat dinyatakan dalam persamaan garis lurus yang kontinu, sedangkan pada gambar 1(b) menunjukkan perubahan T diikuti dengan perubahan V tetapi tidak membentuk hubungan sebagai persamaan garis lurus.



Sensitivitas

Perbandingan antara perubahan output (respon sensor) terhadap perubahan input (variabel yang diukur) Sensitivitas akan menunjukkan seberapa besar kepekaan sensor suhu terhadap kuantitas yang diukur. Beberapa sensor suhu dapat memiliki kepekaan yang dinyatakan dengan satuan volt per $^{\circ}\text{C}$ ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$), yang berarti perubahan temperatur satu derajat pada input menghasilkan perubahan tegangan beberapa volt pada output.

Jangkauan

Kriteria untuk memilih sensor adalah kesanggupan atau jangkauan untuk mengindera sesuai dengan keperluan. Sensor yang memiliki jangkauan yang lebih luas, dapat dikatakan sensor memiliki kinerja yang lebih baik. Sensor suhu dengan jangkauan yang lebih luas, berarti dapat digunakan untuk mengukur suhu dengan rentang yang besar.

Ada empat jenis sensor suhu yang umum digunakan, yaitu termistor, termokopel, sensor IC, dan RTD (*Resistance Temperature Detector*). Dari keempat jenis sensor suhu tersebut mempunyai spesifikasi dan kelebihan masing-masing.

Prinsip kerja dari sensor suhu RTD menggunakan prinsip perubahan resistansi terhadap perubahan suhu. Semakin tinggi suhu suatu penghantar, semakin tinggi pula getaran elektron-elektron bebas dalam penghantar tersebut. Getaran elektron-elektron bebas tersebut yang menghambat muatan listrik dalam penghantar. Sehingga nilai hambatan listrik semakin besar apabila suhu pada penghantar semakin besar, begitu juga sebaliknya (Julianto, 2013). Dengan prinsip tersebut, elektron-



elektron yang melewati lapisan tipis pada medium bersuhu rendah mengakibatkan mengecilnya getaran pada elektron-elektron tersebut, sehingga muatan listrik lebih kecil hambatannya saat melalui penghantar tersebut.



RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR (RTD)

termometer resistansi, salah satu jenis alat ukur suhu. Termometer resistansi bekerja berdasarkan prinsip perubahan nilai resistansi sebuah logam yang seiring dengan perubahan suhu (Raharjo, 2014).

Pembuatan RTD yang digunakan biasanya menggunakan bahan dasar platina yang relatif sangat mahal (Maher et al., 2014), sehingga pencarian bahan yang relatif murah gencar dilakukan untuk mendapatkan bahan pembuatan sensor RTD yang ekonomis, seperti pembuatan sensor RTD berbahan Cu/Ni dengan metode electroplating (Toifur dkk, 2017; Prasetyo, Toifur and Khusnani, 2018), juga dapat dibuat dengan menggunakan coil dan thin film. Pasokan arus listrik yang konstan pada RTD dan mengukur beda potensial antara kedua ujung RTD maka dapat diperoleh nilai tahanan sehingga temperatur dapat ditentukan. Hubungan antara tahanan dan suhu dinyatakan dengan:

$$R_T = R_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (1)$$

dengan, R_0 = tahanan pada suhu 0 °C (Ω), R_T = tahanan pada suhu T (°C), α = koefisien suhu tahanan TCR (Temperature Coefficient of Resistance), ΔT = selisih suhu (°C). Apabila modelnya non linier maka digunakan persamaan Callendar-Van Dusen:

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



dengan A, B, dan C, merupakan koefisien Callender-Van Dusen. Karakteristik sensor ditentukan melalui 3 parameter yaitu TCR, nilai nominal tahanan, dan toleransi. TCR menentukan hubungan antara tahanan dengan suhu. Makin besar nilai TCR makin sensitif bahan tersebut. Nilai tahanan nominal merupakan tahanan pada suhu 0 °C, biasanya digunakan platina dengan tahanan 100 Ω , sedangkan toleransi dapat dilihat pada fluktuasi nilai R



LAPISAN TIPIS (THIN FILM)

lapisan dari bahan logam yang ketebalannya kisaran dari orde angstrom sampai mikron.

Elemen RTD umumnya terbuat dari bahan logam atau alloy, baik berbentuk koil maupun lapisan tipis atau disebut thin film (Fraden, 2003). Lapisan tipis (*thin film*) merupakan lapisan dari bahan logam yang ketebalannya kisaran dari orde angstrom sampai mikron. Ada dua macam metode dalam membuat lapisan tipis, yaitu metode kimia (termasuk metode elektrokimia) dan metode fisika (Eckertova, 1986).

Pembuatan lapisan tipis metode kimia dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya electroplating, evaporation, sputtering, plating, ion plating, *physical vapour deposition* (PVD) dan chemical vapor deposition (CVD). Proses pembuatan lapisan tipis dengan cara electroplating menerapkan tiga tahapan utama, yaitu: (1) pembentukan ion, atom, atau molekul, (2) pemindahan ion, atom, atau molekul ke substrat melalui medium, (3) kondensasi lapisan tipis pada substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia dan reaksi elektrokimia untuk membuat endapan padat.

RTD terbagi menjadi dua jenis yaitu RTD-Coil yang menggunakan lilitan sebagai sensor suhu dan RTD-Film yang menggunakan lapisan tipis sebagai sensor suhu. Nilai tahanan RTD biasanya sebanding dengan suhu (Chowdhury & Bulbul, 2010). RTD-Film umumnya dibuat dari bahan platina (Maher, et al, 2014) atau paduan antara Cu dan Ni (Fraden, 2003).



MATERIAL TEMBAGA (Cu) DAN NIKEL (Ni)

TEMBAGA

Tembaga merupakan unsur kima dalam sistem periodik yang memiliki lambang Cu. Tembaga merupakan suatu unsur logam golongan IB period ke IV. Konfigurasi elektronnya adalah [Ar] 3d¹⁰ 4s¹ dan tergolong dalam unsur jenis unsur logam transisi (Chang, 2003).

Tembaga memilki sifat-sifat secara fisika maupun kimia, secara fisika tembaga, ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisika tembaga (Cu)

Kriteria	Spesifikasi
Fase	Solid
Titik lebur	1084 °C
Titik didih	2562 °C
Massa atom	63,546 gr/mol
Massa jenis	8,96 gr/cm ³
Struktur kristal	FCC
Kalor peleburan	13,26 kJ/mol
Kalor penguapan	300,4 kJ/mol
Koefisien ekspansi linier	1,65 $\mu\text{m.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ pada 25 °C
Resistivitas listrik	16,78 n Ω .m pada 20 °C
Elektronegativitas	1,90
Jari-jari atom	128 pm



NIKEL

Nikel (Ni) adalah suatu unsur kimia metalik dalam tabel periodik. Nikel memiliki sifat tahan terhadap karat. Pada keadaan murni. Nikel bersifat lembek, namun jika dikombinasikan dengan besi, krom, dan logam lain, nikel dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Nikel mempunyai konfigurasi elektron $[\text{Ar}] 4s^2 3d^8$ dan tergolong dalam unsur jenis logam transisi (Suarsana, 2008). Sifat-sifat fisika nikel tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisis Nikel (Ni)

Kriteria	Spesifikasi
Fase	Solid
Titik lebur	1455°C
Titik didih	2913°C
Massa atom	58,6934 gr/mol
Massa jenis	8,908 gr/cm ³
Struktur kristal	FCC
Kalor peleburan	17,48 kJ/mol
Kalor penguapan	377,5 kJ/mol
Koefisien ekspansi linier	13,4 $\mu\text{m.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ pada 25°C
Resistivitas listrik	69,3 n Ω .m pada 20°C
Elektronegativitas	1,91
Jari-jari atom	124 pm

(Sumber: en.wikipedia.org/wiki/Tembaga, 2015)



ELEKTROPLATING

proses deposisi atau pengendapan suatu logam pelindung yang diinginkan di atas logam lain menggunakan cara elektrolisis (Rasyad, 2011).

Pemberian arus searah pada larutan menyebabkan terjadi proses reduksi di katoda dan anoda. Terdapat selisih antara massa sampel sesudah dan sebelum electroplating sehingga ketebalan lapisan Cu/Ni yang terbentuk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Lutfiati, 2013),

$$\delta = \frac{W}{\rho A} \quad (3)$$

dengan satuannya δ = tebal lapisan yang terbentuk (cm), ρ = massa jenis pelapis (g/cm^3), $W = m_2 - m_1$ = massa lapisan yang terbentuk (g), dan A = luas permukaan lapisan (cm^2). Agar nilai pH pada proses electroplating dapat dipertahankan maka perlu ditambahkan asam borak (H_3BO_3). Garam nikel yang digunakan sebagai sumber logam pelapis dalam larutan adalah nikel sulfat dan nikel chloride. Reaksi kimia yang terjadi ketika proses electroplating berlangsung dapat dijabarkan sebagai berikut (Khusnani, 2015):

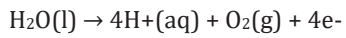
a. Pada katoda terjadi:

- 1) Pembentukan lapisan nikel
 $\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$
- 2) Pembentukan gas hidrogen
 $2\text{H}^+(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$
- 3) Reduksi oksigen terlarut

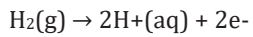


b. Pada anoda terjadi:

- 1) Pembentukan gas oksigen



- 2) Oksidasi gas hidrogen





RESISTIVITAS KEPING

elemen dasar untuk mengklasifikasikan bahan, apakah termasuk dalam jenis konduktor, semikonduktor, atau isolator.

Resistivitas adalah elemen dasar untuk mengklasifikasikan bahan, apakah termasuk dalam jenis konduktor, semikonduktor, atau isolator. Sifat resistivitas listrik pada logam ditimbulkan oleh sifat logam yang memiliki beberapa elektron terdislokalisasi dan dapat meninggalkan elektron valensi serta dapat meninggalkan atom induknya, khususnya elektron valensi yang bergerak bebas ketika diberi beda potensial.

Secara eksperimen total resistivitas logam adalah jumlah kontribusi dari getaran termal, pengotoran, dan deformasi plastis, yaitu mekanisme hamburan yang bertindak independen satu sama lain. Dengan memplot nilai resistivitas terhadap suhu pada tembaga dan beberapa kombinasi tembaga-nikel. Resistivitas meningkat secara linier dengan suhu kira-kira diatas $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\rho_T = \rho_0 + aT \quad (4)$$

dengan ρ_0 =resistivitas awal, a =konstanta suhu tahanan, dan T =suhu. Resistansi suatu material dapat dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (5)$$

dengan A =luas penampang (cm^2), l =panjang penampang(cm), dan ρ = resistivitas atau hambatan jenis ($\Omega\text{ cm}$).



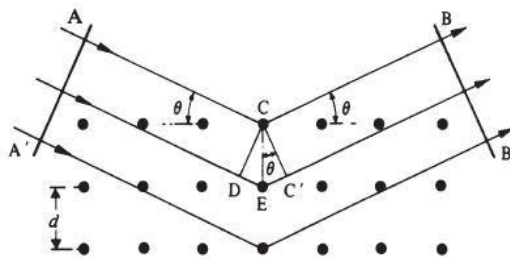
X-RAY DIFFRACTION (XRD)

radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang ordonya sebesar 0,1 nm atau 1 Å

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang ordonya sebesar 0,1 nm atau 1 Å. Jika suatu bahan ditembakkan sinar-X, maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal tersebut disebabkan dengan adanya penyerapan sinar oleh bahan dan penghamburan oleh atom-atom pada material sasaran. Perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus suatu kelipatan dari panjang gelombang, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut (Vlack, 1985).

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (6)$$

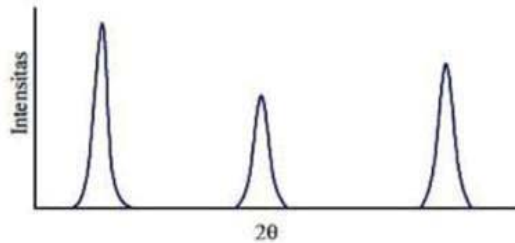
dengan d = jarak antar bidang, θ = sudut difraksi, n = bilangan bulat 1, 2, 3, ..., dan λ = panjang gelombang sinar-X



Gambar 2. Difraksi sinar-X (Anderson, 1990)



Persamaan (6) dapat memberi pengertian bahwa jika pada proses pelapisan dilakukan dengan mengubah parameter tertentu dan terjadi perubahan posisi sudut puncak difraksi, maka jarak antar bidang d akan berubah. Sehingga semakin besar sudut θ , maka akan semakin rapat bidang d .



Gambar 3. Grafik hubungan intensitas terhadap sudut 2θ (Cullity, 1956)

Hubungan antara jarak bidang terhadap indeks bidang khusus untuk kristal kubik dinyatakan sebagai berikut.

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (7)$$

dengan d = jarak antar bidang, hkl = indeks Miller, dan a = konstanta kisi.



PENGARUH MEDAN MAGNET

Konsep pembuatan bahan elektrokimia yang sesuai telah diterima secara luas, bahkan pada bidang industri mikroelektronika. Proses elektrokimia dapat melakukan pengontrolan mikrostruktur film dalam skala besar dengan mudah dibanding metode *microvapor sputtering*. Sehingga memiliki produktivitas yang lebih tinggi (Saboungi, 2005; Plieth, 2004; Ito, 2003).

Bidang Magnetohydrodynamic (MHD) konveksi telah dianggap sebagai salahsatu fenomena karakteristik dalam proses magnet-elektrokimia . yang konveksi diinduksi oleh interaksi elektromagnetik (gaya Lorentz), , di mana J adalah kerapatan arus Faraday dan B adalah flux magnetik. Dan diketahui bahwa konveksi meningkatkan massa ion satu transfer librium untuk meningkatkan arus deposisi (Uhlemann, 2005; Motoyama, 2005; Bund A, 2003; Aogaki, 1975).

Reaksi kimia dapat ditingkatkan menggunakan aliran MHD yang diinduksi dengan memberikan efek medan magnet, dimana proses terjadinya akibat gangguan dari peningkatan lapisan hidrodinamik dan aliran MHD yang bergantung pada arah gaya MHD (gaya Lorentz), yaitu pada arah fluks magnetic yang diterapkan(Iwakura; 1984).

Efek pada reaksi kimia yang menerapkan bidang magnetik telah di teliti sejak tahun 1930-an. Pada perkembangan awalnya telah ditinjau oleh Steiner dan Ulrich, dan Tanimoto (Steiner dan Ulrich 1989; Tanimoto, 1989) dikatakan medan magnet sangat mempengaruhi sifat mikrostruktur (Tabakovic, 2005; Krause, 2005; Bund A, 2005; Coey, 2001; Fahidy, 2001).



SUHU LARUTAN

Pada proses elektroplating suhu merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi selain faktor waktu, dan medan magnet. Suhu larutan mempunyai pengaruh terhadap laju reaksi. Semakin tinggi suhu maka laju reaksi semakin cepat dan waktunya semakin sedikit (Chang,2005). Pada kenaikan suhu terjadi kenaikan laju reaksi yang cukup besar, karena kenaikan suhu menyebabkan terjadinya kenaikan energi kinetik molekul, sehingga gerakan partikel makin cepat. Menurut teori kinetik, dalam setiap sistem terdapat sebaran energi kinetik. Semua molekul memiliki energi kinetik yang cukup, sehingga mampu mengadakan reaksi. Sehingga suhu dinaikkan, jumlah molekul yang memiliki energi kinetik tinggi meningkat (Supardi,2012).

Menurut Faraday: Jumlah berat (massa) zat yang dihasilkan (diendapkan) pada elektroda sebanding dengan jumlah muatan listrik (Coulomb) yang dialirkan melalui larutan elektrolit tersebut. Massa zat yang dibebaskan atau diendapkan oleh arus listrik sebanding dengan bobot ekivalen zat-zat tersebut. Dari dua pernyataan diatas, disederhanakan menjadi persamaan (Brown, 2015):

$$M = \frac{e.it}{F} \quad (8)$$

Dimana, M =massa zat dalam gram, e =berat ekivalen dalam gram=berat atom : valensi, i =kuat arus dalam Ampere, t =waktu dalam detik, dan F =Konstanta Faraday.



BAB III

DESKRIPSI EMPIRIS

METODE EKSPERIMEN

Sebelum melakukan percobaan beberapa hal yang harus dilakukan diantaranya:

Preparasi Sampel

a). Alat penelitian

- 1) Gelas ukur untuk mengukur *volume*
- 2) Gergaji untuk memotong papan PCB
- 3) Gerinda untuk menghaluskan sampel
- 4) *Hair dryer* untuk mengeringkan sampel
- 5) Kikir untuk menghaluskan pinggir sampel
- 6) *Magnetic stirrer* untuk mengaduk larutan
- 7) Penggaris untuk mengukur panjang sampel
- 8) *Ultrasonic cleaner* untuk mencuci sampel
- 9) Neraca ohaus P214 untuk mengukur massa sampel
- 10) Pinset untuk menjepit sampel
- 11) Baki untuk tempat sampel
- 12) Gelas ukur untuk mengukur *volume*
- 13) Kain lap untuk alas penggosokan dan untuk membersihkan sampel



b). Bahan penelitian

Bahan percobaan yang digunakan untuk paparasi sample antara lain :

- 1) Aquades untuk mengencerkan larutan
- 2) Alkohol untuk membersihkan sampel
- 3) Amplas (ukuran 180 cw, 1000 cw, dan 2000 cw) sebagai penghalus permukaan sampel
- 4) *Cutting sticker* untuk mencetak desain di atas PCB
- 5) PCB untuk lapisan tembaga
- 6) Pelat nikel untuk bahan pengotor atau bahan yang dilapiskan
- 7) Plastik klip untuk menyimpan sampel
- 8) Spidol permanen untuk memberikan *label* pada sampel
- 9) Tisu sebagai pengering sampel
- 10) Penghapus karet
- 11) Feriklorit sebagai pelarut PCB
- 12) *Double tip* sebagai perekat sampel pada baki
- 13) Autosol untuk mengkilapkan sampel
- 14) Lilitan untuk menghasilkan medan magnet

c). Langkah-langkah penelitian

Setelah alat dan bahan disiapkan tahap selanjutnya yang harus dilakukan adalah :

- 1) Papan PCB di siapkan.
- 2) Desain sampel yang dibuat pada *cutting sticker* di siapkan .
- 3) *Cutting sticker* di tempelkan pada PCB.
- 4) Hasil desain yang telah dicetak di larutkan dalam larutan feriklorit (FeCl_3), dan dibersihkan dengan air.



- 5) *Cutting sicker* di kupas dan sisa-sisa *cutting sticker* di bersihkan dengan penghapus karet.
- 6) PCB dipotong sesuai hasil cetakan 10×1,3 cm.
- 7) Bagian pinggir potongan pada papan PCB di haluskan dengan menggunakan kikir.
- 8) Permukaan sampel diampelas dimulai dari nomor 180 cw, 1000 cw, dan 2000 cw.
- 9) Permukaan sampel dibersihkan menggunakan autosol sampai bersih.
- 10) Sampel dicuci menggunakan larutan rinso dengan menyikat bagian permukaan seluruh sampel menggunakan sikat gigi.
- 11) Sampel dibilas dengan aquades.
- 12) sampel dicuci dengan alkohol menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 6 menit.
- 13) Sampel diberikan tanda atau label dengan menuliskan nama di bagian *fiber*.
- 14) Sampel dikeringkan menggunakan *hair dryer*.
- 15) Sampel dibungkus dengan tisu, dan disimpan ke dalam plastik klip.



Proses Elektroplating

Pada proses elektroplating ada beberapa tahap yang harus dilalui diantaranya:

a). Alat percobaan

- 1) Gelas pirex berbentuk kotak sebagai penampung larutan elektrolit
- 2) Rak sebagai tempat untuk menggantung benda kerja dan sebagai penghantar arus listrik pada benda kerja
- 3) DC *power* sebagai sumber tegangan DC
- 4) Tembaga pemanas untuk pemanas larutan
- 5) Multimeter sebagai pengukur suhu yang digunakan proses plating
- 6) Neraca Ohaus P214 untuk menimbang lapisan tembaga
- 7) *Magnetic stirrer* untuk mengaduk larutan
- 8) *Breadboard* untuk memasang resistor
- 9) Resistor untuk memberikan arus
- 10) Pinset untuk memegang sampel
- 11) *Stopwatch* untuk mengukur waktu pelapisan
- 12) *Hair dryer* untuk mengeringkan sampel
- 13) Kabel penghubung untuk merangkai alat
- 14) Lilitan untuk menghasilkan medan magnet
- 15) Regulator sebagai pengatur tegangan yang digunakan

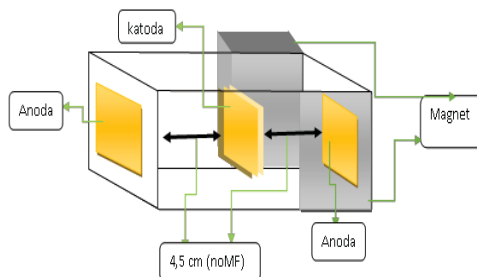


b). Bahan percobaan

- 1) Papan PCB untuk lapisan tembaga
- 2) Anoda nikel sebagai pelapis tembaga
- 3) Asam borak (H_3BO_3) sebanyak 30 gram untuk mengontrol pH larutan elektrolit.
- 4) *Nickel sulfate* ($NiSO_4$) sebanyak 195 gram sebagai campuran larutan untuk pembuatan larutan elektrolit
- 5) *Nickel chloride* ($NiCl_2$) sebanyak 40 gram sebagai campuran larutan untuk pembuatan larutan elektrolit
- 6) Aquades (H_2O) sebanyak 750 ml untuk mengencerkan larutan elektrolit
- 7) Tisu sebagai pembungkus sampel

c). Langkah-langkah percobaan

- 1) larutan elektrolit disiapkan sesuai komposisi bahan.
- 2) alat dirangkai seperti pada gambar 4



Gambar 4. Skema proses *electroplating*

- 1) Larutan dipanaskan pada suhu $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 2) Tembaga tempatkan pada katoda dan nikel pada anoda.



- 3) Proses *electroplating* dilakukan selama 5 detik dengan tegangan 1,5 volt dan kuat arus 0,4 A.
- 4) Proses yang sama dilakukan pada masing-masing sampel, untuk suhu larutan 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C.

Karakteristik Struktur Mikro Menggunakan (X-Ray Diffracto meter)

1. Alat dan bahan percobaan

1. Alat penelitian adalah XRD (*X-ray diffractometer*) tipe Rigaku Miniflex 600
2. Bahan penelitian adalah sampel lapisan tipis
3. Langkah-langkah penelitian

Ada beberapa tahapan analisis struktur kristal menggunakan XR antarlain:

- a) Memasang sampel pada alat *diffractometer* dengan sudut θ terhadap sinar datang.
- b) Memasang catu daya hingga terjadi pancaran sinar-X
- c) Mengamati intensitas sinar-X yang terpantul dari sampel melalui alat *diffractometer*.
- d) Memutar sampel beserta alat pendeteksi di sudut-sudut yang lain.



Karakteristik Resistivitas Keping

2. Alat dan bahan percobaan

- a) Lapisan tipis
- b) Sumber tegangan DC
- c) *Probe* empat titik
- d) Amperemeter
- e) Voltmeter
- f) Resistor sebanyak 5 buah 4,7 ohm
- g) *Breadboard*
- h) Kabel

2. Langkah percobaan

- a) Menyusun dan merangkai alat seperti gambar 9.
- b) Lapisan Cu/Ni diletakkan pada tempat bahan alat *probe* empat titik.
- c) Sumber tegangan DC dihidupkan.
- d) Tegangan diubah dengan cara memutar knop tegangan
- e) nilai tegangan dicatat dan arus yang terukur

Tabel 3. Tabulasi data penentuan resistivitas keeping

No	I (A)	V (V)
1		
2		
3		
4		
5		



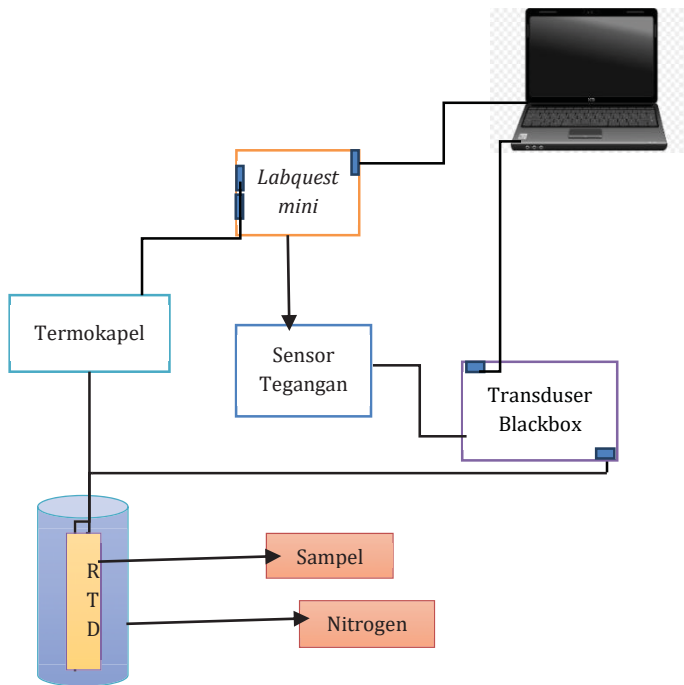
Kinerja Sensor Suhu Rendah

1). Alat dan bahan percobaan

- 1) Laptop
- 2) Labquest
- 3) Kabel penghubung
- 4) Sensor tegangan
- 5) Termokopel
- 6) Transduser
- 7) Lilitan z
- 8) Lapisan tipis Cu/Ni
- 9) Nitrogen cair

2). Langkah percobaan

- 1) Merangkai alat seperti gambar 5
- 2) *Setting* disesuaikan pada aplikasi *logger pro* pada laptop.
- 3) Lapisan tipis dicelupkan dan termokopel secara perlahan ke dalam termos berisi nitrogen cair bersama-sama.
- 4) Setelah selang waktu tertentu, lapisan tipis dan termokopel diangkat/dikeluarkan dari termos nitrogen cair secara perlahan.
- 5) Mengamati perbandingan perubahan suhu pada termokopel dan lapisan tipis yang terlihat pada aplikasi *logger pro*.
- 6) Langkah 2) sampai 5) diulangi untuk sampel yang berbeda



Gambar 5. Skema susunan alat uji kinerja Sensor suhu rendah



METODE ANALISIS DATA

1. Analisis karakteristik struktur mikro

Uji struktur mikro yang akan dilakukan menggunakan XRD yaitu dengan cara melihat data puncak (*peak list*) yang dihasilkan. Dari analisis yang dilakukan terhadap tampilan puncak difraktograf dapat diketahui munculnya bentuk lapisan Cu dan Ni. Semakin tinggi intensitas, maka struktur mikronya semakin teratur. Untuk mengetahui jenis bahan dapat dianalisis menggunakan tabel hkl.

2. Menentukan tebal lapisan

Tebal lapisan Ni dapat dihitung dengan cara menimbang massa sebelum deposisi Ni sebagai m_1 dan setelah deposisi Ni sebagai m_2 sehingga didapatkan $m_1 = (m_1 \pm Sm_1)$ dan $m_2 = (m_2 \pm Sm_2)$. Sehingga selisih massa antara massa sesudah deposisi Ni dengan massa sebelum deposisi (Δm) adalah:

$$\Delta m = m_1 - m_2 \quad (9)$$

Kemudian nilai standar deviasi dapat ditentukan dengan,

$$S_{\Delta m} = \sqrt{Sm_2^2 + Sm_1^2} \quad (10)$$

Sehingga didapatkan persamaan massa Ni seperti berikut,

$$m = \Delta m \pm S_{\Delta m} \quad (11)$$



Tebal lapisan dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$m = \rho V$$

dengan, m = massa lapisan (gram), ρ = hambatan jenis lapisan (g/cm^3), dan V = volume (cm^3). Besar volume dapat dihasilkan dari luas penampang lapisan (A) dikali tebal lapisan (δ), sehingga persamaannya menjadi,

$$m = \rho A \delta$$

$$\delta = \frac{m}{\rho A}$$

dengan, m = massa lapisan (gram), ρ = massa jenis lapisan (g/cm^3), δ = tebal lapisan (cm), dan A = luas (cm^2). Dari hasil tersebut, maka deviasi standar tebal lapisan didapatkan sebagai berikut,

$$S_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{1}{\rho A} S_m\right)^2 + \left(\frac{m}{\rho^2 A} S_{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m}{\rho A^2} S_A\right)^2}$$

3). Menentukan resistivitas lapisan

Penentuan nilai resistivitas lapisan tipis dapat diketahui dengan memodifikasi persamaan

$$R_s = \frac{\rho}{t} \quad (16)$$

menjadi,

$$V_{BC} = R_s \frac{\ln 2}{\pi} I \quad (17)$$

Persamaan (16) dapat dibentuk dengan persamaan regresi linier berikut,



$$y = ax + b$$

dengan,

$$a = R_s \frac{\ln 2}{\pi} I$$

Jadi, nilai resistivitas dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} a$$

dimana,

$$S_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{N-2}}$$

dengan N adalah banyaknya data yang diambil

Ralatnya,

$$S_{R_s} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_s}{\partial a} S_a\right)^2} = \frac{\pi}{\ln 2} S_a$$

dengan,

$$S_a = S_{\hat{y}} \sqrt{\frac{N}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}$$

dengan N adalah banyaknya data yang diambil

4). Menganalisis kinerja sensor suhu rendah

Untuk menentukan kurva hubungan antara tegangan (V) dengan suhu medium (T) karena pengaruh uap dari nitrogen cair, maka dapat digunakan metode *fitting* data polinomial yang paling dekat dengan sebaran data (x_i, y_i). Dalam penelitian ini digunakan *fitting* data polinomial orde tiga (Bevington, 2003). Penerapan *fitting* data polinomial orde tiga disebabkan oleh sebaran data yang tidak membentuk kurva linier, sehingga *fitting* yang paling



cocok untuk menganalisis kurva yang dihasilkan adalah menggunakan polinomial orde tiga, dengan persamaan (23).

$$y = ax^2 + bx + c$$

Nilai koefisien a , dan b mengandung variabel x disebut *slope*, artinya menunjukkan tingkat kemiringan kurva dan juga dapat digunakan untuk menentukan nilai suatu fungsi. Sedangkan koefisien c disebut *intercept*, artinya menunjukkan titik perpotongan antara garis dengan sumbu y . Perhitungan secara manual untuk mengetahui nilai a , b , dan c dapat disajikan

$$a = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \sum x_i^2 y_i & \sum x_i^3 \\ \sum x_i y_i & \sum x_i^2 \\ \sum y_i & \sum x_i \end{vmatrix} \quad (25)$$

$$b = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \sum x_i^4 & \sum x_i^2 y_i \\ \sum x_i^3 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum y_i \end{vmatrix} \quad (26)$$

$$c = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \sum x_i^4 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i \end{vmatrix} \quad (27)$$

dengan,

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sum x_i^4 & \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^2 & \sum x_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i & N \end{vmatrix} \quad (28)$$



BAB

IV

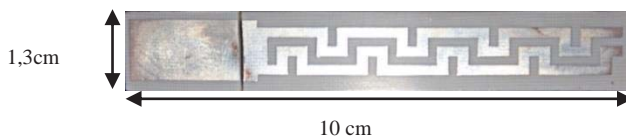
EKSPERIMEN DEPOSISI

Ni

Analisis dapat juga dilakukan dengan aplikasi *microsoft excel* menggunakan *add trendline* pada grafik yang dibuat. Kinerja sensor RTD dapat dianalisis dengan melihat nilai koefisien c pada persamaan kurva. Koefisien c menunjukkan kepekaan variabel, dalam hal ini adalah kepekaan temperatur. Apabila nilai koefisien yang dihasilkan semakin besar, maka kepekaan akan semakin baik, sehingga kinerja dari lapisan tipis sebagai elemen RTD akan semakin baik.

DESAIN PENELITIAN

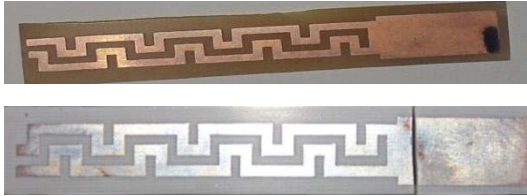
Sebagai sampel awal penelitian, menggunakan lapisan Cu yang ada pada PCB polos. Permulaan preparasi sampel, dengan memotong PCB sesuai dengan desain lapisan tipis, $(10 \times 1,3)$ cm². Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian adalah 5 buah. Desain lapisan terdiri dari dua bagian, *square* untuk menguji resistivitas sampel dan *litografi* untuk menguji sensor suhu sampel. Luas bagian *square* adalah $(3 \times 1,3)$ cm² sedangkan lebar bagian *litograsi* adalah 2 mm. Pola desain berupa *cutting sticker* yang akan ditempelkan pada sampel dibuat dengan menggunakan *Corel Draw X7*. Desain bagian sampel setelah dilakukan preparasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Desain litografi sebagai elemen RTD, dengan (A) bagian yang akan digunakan sebagai penentuan nilai resistivitas keeping dan (B) bagian yang akan digunakan sebagai sensor elemen RTD.



Usai dilakukan preparasi hingga terbentuk pola seperti gambar 12, kemudian sampel dilapisi sebanyak satu tahap. Sampel yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Lapisan Cu (b) Lapisan Cu/Ni

Sampel Gambar 13 (a) merupakan sampel substrat Cu yang akan dilapisi Ni, Gambar 13 (b) merupakan hasil plating Cu dan Ni. Dari gambar masing masing tahap, terlihat bahwa proses pelapisan dengan teknik electroplating telah berhasil dilakukan. Hal tersebut terlihat dengan perubahan warna lapisan sesuai dengan warna logam pelapisannya.

1). Uji ketebalan lapisan

Penentuan ketebalan lapisan bahan pelapis yang terbentuk di atas, sebelumnya dilakukan dengan teknik pengukuran tidak langsung yaitu dengan mengukur selisih antara massa sebelum dilapisi Ni dan sesudah dilapisi Ni. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan pada lapisan Cu dan Ni dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu dan Ni.

V (volt)	Waktu (s)	Suhu larutan	Massa Cu	Massa Cu/Ni	Δm (g)	δ (cm) $\times 10^{-4}$
1,5	5	40	4,3531	4,3591	6,00E-03	0,886 \pm 0.43
1,5	5	50	4,1126	4,1292	1,66E-02	2,45 \pm 0.43
1,5	5	60	4,111	4,1323	2,13E-02	3,14 \pm 0.43
1,5	5	70	3,5062	3,5322	2,60E-02	3,84 \pm 0.43



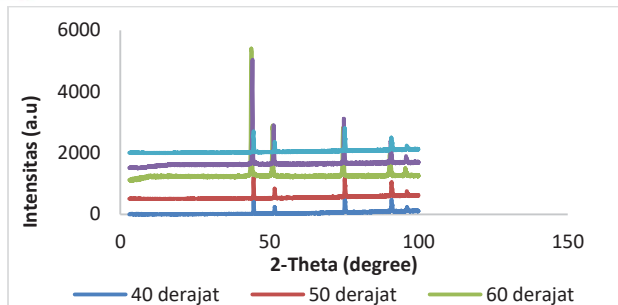
V (volt)	Waktu (s)	Suhu larutan	Massa Cu	Massa Cu/Ni	Δm (g)	δ (cm) $\times 10^{-4}$
1,5	5	80	4,0827	4,1144	3,17E-02	4,68 \pm 0.43

Hasil ketebalan lapisan Ni yang dilapisi pada CU yang ditunjukkan oleh Tabel 6, menunjukkan kenaikan nilai ketebalan pada setiap kenaikan suhu larutan . Hal ini menunjukkan adanya peningkatan transportasi massa yang memiliki hubungan linier dengan peningkatan suhu larutan saat dilakukan proses *electroplating*.

2). Uji Struktur Mikro (XRD)

XRD berfungsi untuk melihat struktur mikro pada logam melalui intensitas logam tersebut. Hasil *difraktometer sinar-x* dari lapisan Cu/Ni yang di-*electroplating* deposisi variasi suhu , terlihat pada Gambar 8.

Pada Gambar 14 ditampilkan difraktometer sinar-X dari lapisan Cu/Ni yang di-*electroplating* dengan variasi suhu larutan pada tegangan, medan magnet, waktu dan konsentrasi elektrolit yang sama. Secara kuantitatif posisi sudut puncak-puncak tertinggi difraksi serta intensitas dari lapisan Cu/Ni terdapat pada tiga sudut seperti yang tercantum pada Tabel 7, dan spektrum XRD dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Spektrum XRD dari lapisan Cu/Ni dengan variasi suhu larutan pada masing-masing sample.

Terlihatnya puncak pada grafik spektrum *XRD* dari lapisan Cu/Ni menandakan telah terbentuknya kristal pada proses pelapisan. Cu di enam puncak pertama kemudian Ni dipucak kedua. Dengan peningkatan suhu, terlihat kenaikan puncak grafik Ni, hingga pada suhu 60 °C, terlihat puncak tertinggi justru ditunjukkan oleh Ni. Dari puncak grafik, dapat dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai *hkl* yang nantinya akan menunjukkan kategori kristal yang terbentuk.

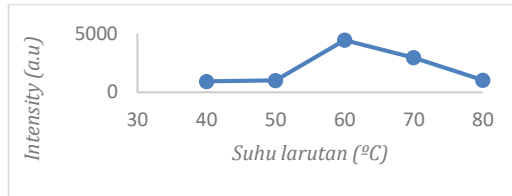
Ini menunjukkan para proses *electroplating*, sampel tersusun dari lapisan Cu dan Ni dan telah mengalami pembentukan kristal. Untuk sudut difraksi dari logam Ni dan nilai *hkl* yang terlihat dari puncak grafik hasil XRD terlihat pada Tabel 7, dan grafik keteraturan kristal pada gambar 9.

Tabel 7. Difraksi serta intensitas lapisan Cu/Ni

Suhu larutan	Cu		Ni		Hkl	
	Sudut	Intensitas	Sudut	Intensitas	Cu	Ni
40	44,650	728	51,728	393	111	111
	75,249	1137	90,909	938	200	200
50	44,639	942	51,749	490	111	111
	75,240	1206	90,902	1016	200	200
60	10,200	1594	43,916	10400	111	111



	51,021	4439	74,641	4448	202	200
70	44,283	5365	45,470	108	111	111
	51,379	2321	74,940	2953	202	200
80	44,642	945	51,737	515	111	111
	75,239	1294	90,888	1046	200	200

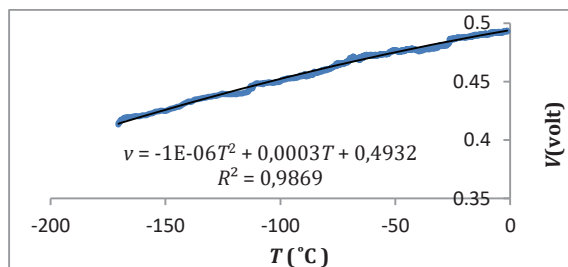


Gambar 10. Hubungan antara resistivitas dengan suhu

4). Uji Kinerja Sensor

a) $T = 40^{\circ}\text{C}$

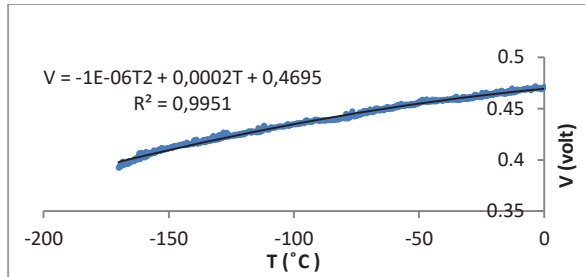
Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang di-*electrolating* pada variasi suhu larutan (T) pada gambar 11.



Gambar 11. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada, pelapisan dengan variasi suhu larutan 40°C .

**b) $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$**

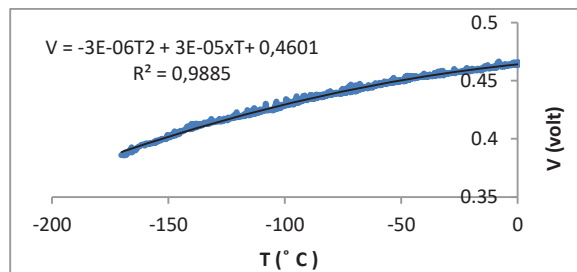
Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang di-electrolating pada variasi suhu larutan $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat dilihat pada gambar 12



Gambar 12. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada, pelapisan dengan variasi suhu larutan $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

c) $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

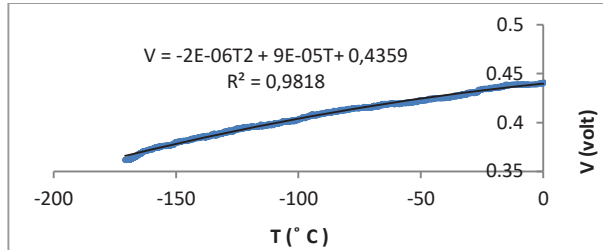
Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang dielectrolating pada variasi suhu larutan $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat dilihat pada gambar 13.





d) $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

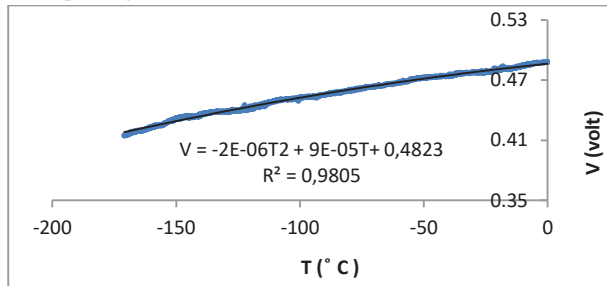
Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang dielectrolating pada variasi suhu larutan $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 13. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada, pelapisan dengan variasi suhu larutan $70\text{ }^{\circ}\text{C}$

e) $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang di-electrolating pada variasi suhu larutan $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat dilihat pada gambar 15.

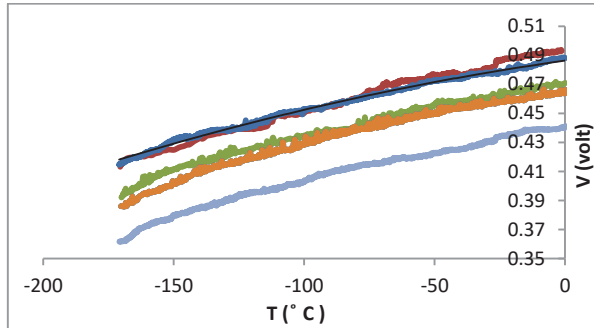


Gambar 15. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada, pelapisan dengan variasi suhu larutan $80\text{ }^{\circ}\text{C}$

Secara umum, karakteristik dari kinerja sampel terlihat dari grafik pada gambar. Keterbaikan kinerja *RTD* terlihat dari koefisien T pada persamaan orde dua grafik. Nilai koefisien T



menunjukkan kepekaan sensor suhu rendah. Jika koefisien T semakin besar, maka dapat dikatakan lapisan Cu/Ni semakin sensitive dengan suhu rendah. Perbandingan grafik kinerja sensor ditunjukkan Gambar 16.



Gambar 16. Grafik perbandingan kinerja sensor

Persamaan yang dihasilkan dari grafik ditunjukkan pada Tabel 10

Tabel 10. Persamaan polynomial orde 2 antara tegangan (V) dan suhu (T)

Tegangan (volt)	Suhu larutan (T)	Persamaan $y=ax^2+bx+c$
1,5	40	$V = -0,001T^2 + 0,3157T + 493,64$
1,5	50	$V = -0,0011T^2 + 0,2383T + 469,49$
1,5	60	$V = -0,0014T^2 + 0,2057T + 464,15$
1,5	70	$V = -0,0011T^2 + 0,2517T + 439,82$
1,5	80	$V = -0,0008T^2 + 0,2545T + 486,32$

Dilihat dari nilai T pada persamaan polynomial orde 2 yang ditunjukkan tabel, sampel dengan tingkat kesensitivan terhadap suhu rendah yang bagus adalah sampel yang diplating pada suhu larutan 40°C .



Dari hasil penelitian dan analisis data, diperoleh kesimpulan:

1. Telah dibuat desain sensor suhu rendah berbantuan medan magnet dengan variasi suhu larutan dalam bentuk Cu/Ni dengan metode *electroplating* dengan variasi suhu larutan 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, dan 80 °C.
2. Dari hasil penelitian, suhu larutan dan medan magnet dapat mempercepat laju transport massa Ni pada lapisan tipis Cu, dan dapat meningkatkan sensitivitas lapisan tipis Cu sebagai bahan pembutan RTD.
3. Sampel yang memiliki sensitivitas yang optimal yaitu sampel yang di-plating dengan suhu larutan 40° C , 1,5 volt, medan magnet 200 gauss, dengan nilai 0,3157 V/ ° C.



DAFTAR PUSTAKA

- Aminah. 2011. *Penggunaan Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid (EDTA) dalam Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe pada Substrat Cu.*: UNS Surakarta.
- Anderson, J.C., Leaver, K.D., Rawlings, R.D., dan Alexander J.M. 1990. *Material Science Fourth Edition*. Singapore: Colset Private Limited
- Anonim. 2014. *NICKEL PLATING*. North America: Nickel Institute
- Bevington, Philip R., dan Robinson, D. Keith. 2003. *Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences Third Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Boylestad. 2007. *Introductory circuit analysis, Eleventh edition*. Parential Hall Pearson Education International.
- Brown, Theodore L. Et al. 2015. *Chemistry: The Central Education Science (13th Edition)*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Callister, W. D. Dan Rethwisch, D. G. 2012. *Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach, 4th Edition*. USA: Wiley.
- Chang, R. 2003. *Kimia Dasar Konsep-konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1*. Alih Bahasa Departemen Kimia ITB. Jakarta: Erlangga.
- Cigoy, D. 2005. *Basics of Temperature Measurements: RTDs*. USA: Keithley Instruments, Inc.
- Cullity, B. D. 1956. *Elements of X-Rat Diffraction*. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Eckertova, L. 1986. *Physics of Thin Film, 2nd*. London: Plenum Press.
- Experiment Guide for Superconductor Demonstration, Colorado Superconductor Inc., Colorado, alih bahasa oleh Drs. Engkir Sukirman, M.Sc., dan Wisnu Ari Adi, S.Si., P3IB BATAN (1999)



- Fahimah. 2015. Pengembangan Teknik Pengukuran Permittivitas Listrik Gliserin Berbantuan Perangkat lunak Logger Pro. *Tesis*. Program Pascasarjana: UAD Yogyakarta.
- Fraden, J. 2003. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer.
- Franczak, A. et al. (2015) 'Growth and magnetic properties dependence of the Co-Cu/Cu films electrodeposited under high magnetic fields', *Materials Chemistry and Physics*, 162, pp. 222–228. doi: 10.1016/j.matchemphys.2015.05.061.
- Gardner, J. W. 1994. *Microsensors: Principles and Applications*. John Wiley & Son.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Halliday, D. dan Resnick, R. 1994. *Fisika Jilid 2 Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Indarwati, Si. H. N., Gunadi, I. and Suryono (2017) 'Rancang bangun sistem pengontrol temperatur menggunakan mikrokontroler ATSAM3X8E pada peralatan ultrasonic assisted extraction (UEA)', 6(4), pp. 339–347.
- James C, EEC 143 *Processing and Design of Integrated Circuits, Four Point Probe Manual, University of California* (1994)
- Jikwang, K., Jongsung, K., Younghwa, S., dan Youngsoo, Y. 2001. A study on the Fabrication of an RTD (Resistance Temperature Detector) by Using Pt Thin Film. *Korean J. Chem. Eng.*, 18(1), p.61-66
- Julianto, Bangun dan Supriyadi. 2013. Pengaruh Suhu terhadap Hambatan Rangkaian Listrik. *Jurnal Fisika Vol 3 No.2, Nopember 2013*



- Khusnani, A. 2015. *Laporan Praktikum Mata Kuliah Sains dan Teknologi Nano*. Yogyakarta: UAD.
- Kustija, Jaja. 2012. *Modul Sensor dan Transduser*. Dosen dan Peneliti Bidang Elektro
- Lutfiati, L., Munasir, Sugiarti, E., dan Zaini T, K. A. 2013. Pengaruh Suhu Pack Cementation pada Proses Pelapisan NiCoCrAl Terhadap ketahanan Oksidasi Baja Karbon. *Jurnal Fisika*. Vol. 02 No. 1.
- Maher, A., Velusamy, V., Riordan, D., dan Walsh, J. 2014. Modelling of Temperature Coefficient of Resistance of A Thin Film RTD Towards Exhaust Gas Measurement Applications. *Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology*, p.19-22.
- Peng, M. et al. (2018) '6.5 wt% Si high silicon steel sheets prepared by composite electrodeposition in magnetic field', *Journal of Materials Science and Technology*. The editorial office of *Journal of Materials Science & Technology*. doi: 10.1016/j.jmst.2018.06.004.
- prytherch, R. 2005. *Harrod's Librarians Glossary and Reference Book*. Burlington: Ashgate Publishing Company.
- Raharjo, P. W. dan Toifur, M. 2014. Kawat Solenoida sebagai Sensor Suhu Berbasis Resistor Temperature Detector Coils (RTD-C). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng dan DIY Yogyakarta*. 26 April 2014 ISSN : 0853-0823. P. 166-169.
- Rasyad, A., dan Budiarto. 2011. Pengaruh Waktu Elektroplating Dan Powdercoating NiCr terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon SPCC-SD. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV, 2011*



(p.425). Jakarta: Pusat pengembangan Energi Nuklir badan tenaga nasional.

- Santoso, A. B., Martinus, dan Sugiyanto. 2013. Pembuatan Otomasi Pengaturan Kereta Api, Pengereman, dan Palang Pintu pada Rel Kereta Api Mainan Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal FEMA*. Volume 1, Nomor 1, Januari 2013.
- Suarsana, I Ketut. 2008. Pengaruh Waktu Pelapisan Nikel Pada Tembaga dalam Pelapisan Khrom Dekoratif terhadap Tingkat Kecerahan dan Ketebalan Lapisan. *Cakram* Vol. 2 No. 1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, p.48-60
- Sukarelawan, M. I. 2015. Rancang Bangun Eksperimen Sensor Suhu Rendah Cu/Ni Berbasis Film Tipis RTD (Resistance Temperature Detector) dengan Metode Elektroplating Menggunakan Rangkaian 4-WCB (Four Wire Configuration Bridge). *Tesis*. Program Pascasarjana: UAD Yogyakarta.
- Toifur, M. 2004. Potensi Multilapisan Tipe Superkekisi NiFe/Ag/NiFe dan Ag/NiFe/Ag/NiFe Sebagai Bahan Sensor Medan Magnet Lemah Berbasis Gejala Magnetoresistansi Raksasa (GMT). *Disertasi* Program Pascasarjana: UGM Yogyakarta.
- _____. 2017. Deposition of Cu/Ag At The Various Deposition Time For Resulting The High Quality Decorative Silver, *Proceeding of The International Seminar on Natural Science and Applied Natural Science*, Yogyakarta 2007, ISBN: 978-979-3812-09-0.
- _____. 2014. Memahami Resistivitas Berbagai Jenis Probe Arus-Tegangan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY*. ISSN: 0853-0823. P. 1-7.



- Tabakovic, I. et al. 2003. *Effect of Magnetic Field on Electrode Reactions and Properties of Electrodeposited NiFe Films*, pp. 635–640. doi: 10.1149/1.1598964.
- Vlack, L. H. V. 1985 *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Edisi Kelima Alih Bahasa Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Widiyantoro, H. 2013. Media Pembelajaran Sensor dan Transduser pada Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. *Skripsi: Universitas Negeri Semarang*.
- Waskaas, M. 1999 'Magnetoconvection Phenomena : A Mechanism for Influence of Magnetic Fields on Electrochemical Processes', pp. 4876–4883.
- Newby, T.J., Stepich, D.A., Lehman, J.D., & Russel, J. 2000. *Instructional Technology for Teaching and Learning Second Edition*. New Jersey: Prentice Hall, In

UAD Universitas
Ahmad Dahlan

**MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN**

Penerbit K-Media
Bantul, Yogyakarta
kmediacorp
kmedia.cv@gmail.com
www.kmedia.co.id

ISBN 978-602-451-615-4

