

MONOGRAF

Lapisan Tipis Cu_1 / Ni_1 / Cu_2 / Ni_2

Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Sensor Suhu Rendah
dengan Metode Electroplating pada Variasi Tegangan Deposisi

Rizalul Fiqry, S.Si, M.Pd
Dr. Moh. Toifur, M.Si.,
Dr. Guntur Maruto, SU.,
Yudhiakto Pramudya, Ph.D
Okimustava, M.Pd.Si



MONOGRAF


Lapisan Tipis $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$

Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Sensor Suhu Rendah
dengan Metode Electroplating pada Variasi Tegangan Deposisi

Rizalul Fiqry, S.Si, M.Pd.
Dr. Moh. Toifur, M.Si.
D r. Guntur Maruto, SU.
Yudhiakto Pramudya, Ph.D.
Okimustava, M.Pd.Si.



Penerbit K-Media
Yogyakarta, 2019



MONOGRAF; LAPISAN TIPIS Cu1/Ni1/Cu2/Ni2
Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Sensor Suhu Rendah
dengan Metode Electroplating pada Variasi Tegangan
Deposisi

x + 65 hlm.; 14 x 20 cm

ISBN: 978-602-451-625-3

Penulis : Rizalul Fiqry... [et al.]
Design Review : Okimustava, M.Pd.Si.
Tata Letak : Rr. Devalega Widya Ningrum
Desain Sampul : Eko Susanto, S.Pd.
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

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuhu.

Alhamdulillahirabbil'allamin, segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat serta inayah-Nya, sehingga penyusunan modul bahan ajar eksperimen dapat terlaksana dengan lancar. Sholawat beserta salam tak lupa terhaturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi revolusioner sejati uswatun hasanah yang sempurna.

Paket pembelajaran ini disusun dengan harapan dapat membantu dan memudahkan mahasiswa pendidikan fisika dalam melaksanakan eksperimen, yang berkaitan dengan proses penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan metode *electroplating* . Demi kelancaran dalam pelaksanaan eksperimen diharapkan mahasiswa telah membaca langkah-langkah pengambilan data dan memahami permasalahan dalam eksperimen tersebut.

Penulis menyadari bahwa paket pembelajaran ini masih banyak kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak. Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan paket pembelajaran ini.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuhu

Yogyakarta, Oktober 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DEFINISI OPERASIONAL.....	1
Perkembangan Lapisan Tipis	3
DESKRIPSI, DAN PROSES PEMBUATAN LAPISAN TIPIS $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$	9
A. Lapisan tipis.....	9
B. <i>Electroplating</i>	10
C. Material Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni).....	13
1. Tembaga	13
2. Nikel.....	15
D. Resistivitas listrik.....	16
E. Probe empat titik	20
F. X-Ray Diffraction (XRD).....	21
G. Sensor Suhu	25
1. Lapisan Tipis RTD (<i>Resistance Temperature Detector</i>).....	26
2. RTD dengan <i>transducer</i> jembatan <i>wheatstone 4-WCB</i>	29
PEMBUATAN LAPISAN TIPIS $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$	33

A.	Langkah Percobaan	33
	1. Preparasi Sampel	33
	2. Pembuatan lapisan tipis Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂	35
	3. Pengukuran Ketebalan Lapisan.....	37
	4. Pengukuran Resistivitas Lapisan	38
	5. Analisis Hasil <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	39
	6. Analisis Kerja Sensor <i>RTD</i>	40
B.	Hasil	41
	1. Tampilan sampel hasil preparasi.....	41
	2. Tampilan sampel setiap tahap pelapisan.	41
	3. Ketebalan lapisan sampel	42
	4. Nilai Resistivitas lapisan.....	43
	5. Uji Hasil XRD.....	47
	6. Uji kinerja sensor RTD	52
C.	Kesimpulan.....	55
	DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Resistivitas listrik vs temperatur untuk bahan tembaga dan tiga paduan tembaga-nikel yang salah satunya mengalami deformasi (Callister dan David, 2012).....	17
Gambar 2. Hubungan resistivitas listrik pada temperatur ruang dengan komposisi pada paduan tembaga-nikel (Callister dan David, 2012).....	18
Gambar 3. Resistansi logam dalam bentuk tiga dimensi.	19
Gambar 4. Skema alat Four Point Probe	20
Gambar 5. Difraksi sinar-X (Vlack, 1989).....	23
Gambar 6. Hubungan intensitas terhadap sudut 2θ	24
Gambar 7. Contoh pola difraksi kisi tembaga (Darsono, 2015).	25
Gambar 8. Jenis RTD (a) RTD berbentuk kawat (b) RTD berbentuk film tipis (Wilson, 2005).	28
Gambar 9. Rangkaian jembatan <i>wheatstone</i> (Sukarelawan 2015).....	30
Gambar 10. (a) RTD tipe koneksi kabel 2-WCB; dan (b) RTD tipe koneksi kabel 3-WCB (Sukarelawan, 2015).....	32
Gambar 11. Rangkaian RTD jembatan <i>wheatstone</i> 4-WCB (Sukarelawan, 2015).	32
Gambar 12. Skema alat electroplating.....	36
Gambar 13. Skema alat pada resistivitas keeping	39

Gambar 14. 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	41
Gambar 15. (a) Lapisan Cu/Ni; (b) Lapisan Cu/Ni/Cu; dan (c) Lapisan Cu/Ni/Cu/Ni. 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.	41
Gambar 16. Hubungan antara resistivitas dengan tegangan.	46
Gambar 17. Spektrum XRD dari lapisan Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂ dengan variasi tegangan pada masing-masing sampel.	47
Gambar 18. Keteraturan kristal Ni setiap sampel dengan variasi tegangan.....	49
Gambar 19. Tabel parameter refleksi Ni hasil XRD (Haglund, 1993).	51
Gambar 20. Tabel parameter refleksi Cu hasil XRD (Catherine, 2011).	52
Gambar 21. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂ pada, pelapisan dengan variasi tegangan 1,5 volt.	52
Gambar 22. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂ pada pelapisan dengan variasi tegangan 2,5 volt.	53

- Gambar 23. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂ pada pelapisan dengan variasi tegangan 3,5 volt.54
- Gambar 24. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂ pada pelapisan dengan variasi tegangan 4,5 volt.54
- Gambar 25. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂ pada pelapisan dengan variasi tegangan 5,5 volt.55

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Sifat fisika tembaga (https://id.wikipedia.org/wiki/tembaga)	14
Tabel 2. Sifat fisis Nikel (https://id.wikipedia.org/wiki/nikel)	15
Tabel 6. Tabulasi data penentuan resistivitas keping lapisan tipis.	39
Tabel 7. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu ₁ /Ni ₁ dan Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂	42
Tabel 8. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂	43
Tabel 9. Persamaan linier antara tegangan (V) dan kuat arus (I) berbagai sampel setelah electroplating deposisi dengan variasi tegangan (V).	45
Tabel 10. Nilai resistivitas keping sampel Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂	45
Tabel 11. Sudut difraksi serta intensitas lapisan Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂	48
Tabel 12. Sudut difraksi serta intensitas lapisan Ni ₂	50
Tabel 13. Sudut difraksi serta intensitas lapisan Cu.	51
Tabel 14. Persamaan polynomial orde dua, antara tegangan (V) dan suhu (T).....	55

DEFINISI OPERASIONAL

Batasan masalah memberikan batasan-batasan dalam penelitian ini dengan tujuan agar penelitian ini dapat lebih terarah dan fokus pada hal yang akan diteliti. Berdasarkan batasan-batasan masalah tersebut, diperoleh operasional dalam penelitian ini yang didefinisikan sebagai berikut;

- 1 Sensor suhu rendah : alat yang dapat digunakan untuk mengukur suhu rendah ($T < -150^{\circ}\text{C}$) menjadi besar tegangan atau hambatan sebagai keluarannya.
- 2 Resistance Temperature Detector (RTD) : Sensor suhu yang bekerja dengan prinsip perubahan hambatan (*resistivitas*) dikarenakan perubahan suhu.
- 3 *Electroplating* : Metode pelapisan dengan menggunakan prinsip hukum Faraday.
- 4 Konsentrasi larutan elektrolit : Perbandingan antara massa zat elektrolit dengan banyak pelarut. Konsentrasi larutan berpengaruh pada koefisien pH larutan elektrolit.
- 5 Jarak elektroda : Jarak antara anoda dan katoda.
- 6 Transducer jembatan *wheatstone* 4-WCB (*Wire*) : rangkaian resistor yang dirangkai bersilangan yang memiliki empat sambungan

*Connection
Bridge)*

- 7 $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$: Proses pelapisan secara bertahap dari Ni terhadap Cu, kemudian pelapisan Cu_2 terhadap Cu_1/Ni_1 dan terakhir pelapisan Ni_2 terhadap lapisan $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2$.

01

PERKEMBANGAN LAPISAN TIPIS

Penggunaan sensor di abad 21 sangat tinggi. Hal tersebut menjadikan kebutuhan akan variasi bahan pembuat sensor juga ikut menjadi tinggi. Salah satu sensor yang ada adalah, sensor suhu rendah. Bahan penyusun, berupa lapisan tipis pada sensor suhu rendah terhitung (relatif) mahal. Hal ini menumbuhkan keinginan untuk mencari tahu bahan penumbuh lapisan tipis yang lain untuk membuat sensor suhu rendah.

Sensor merupakan teknologi yang terus dikembangkan dengan sangat pesat untuk pemantauan lingkungan (Haskia, 2007). Dengan teknologi sensor memungkinkan dilakukannya pemantauan, pengukuran secara otomatis dan remote dengan tingkat keakuratan dan kepresisian yang baik. Sensor adalah perangkat yang menerima stimulus dan meresponnya dalam bentuk sinyal listrik (Fraden, 2010). Stimulus/rangsangan yang direspon dapat berupa panas, tekanan, kecepatan maupun cahaya. Dengan demikian, sensor merupakan bagian dari *interface* antara dunia fisik dan dunia perangkat listrik (Wilson, 2005). Dewasa ini berbagai jenis sensor telah dikembangkan dan digunakan di banyak bagian perangkat elektronik (Kim dkk, 2001).

Penggunaan alat deteksi atau sensor bukan lagi hal yang baru. Penelitian demi penelitian untuk menemukan berbagai jenis sensor juga terus dilakukan. Di era modern hampir di semua alat digital sudah menggunakan sensor di dalamnya. Bahkan telah dibuat dalam ukuran sangat kecil hingga berorde nanometer, sehingga penggunaannya lebih efektif dan hemat energi (Budiarso dkk, 2011). Kaitannya dengan sistem elektronis, Sensor dan transduser pada dasarnya dapat dipandang sebagai sebuah perangkat yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga keluarannya dapat diolah dengan rangkaian listrik atau sistem digital (Setiawan dan Iwan, 2009).

Jenis sensor yang dikembangkan dalam penelitian adalah sensor suhu. Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk mengubah panas menjadi besaran listrik. Dewasa ini, sensor suhu dikembangkan dalam berbagai bidang keilmuan, diantaranya Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh (Rahmawati dkk, 2012), Sistem Pendeteksi Suhu dan Asap (Usuman dan Ardhi, 2010), Perancangan dan Pembuatan Alat Pengendali Asap Rokok (Umami, 2010).

Sensor Resistance Temperature Detector (RTD) merupakan detektor temperatur tahanan memanfaatkan sifat dari suatu material alami yang mengalami perubahan tahanan akibat perubahan temperatur lingkungan yang terdeteksi oleh suatu material detektor. Nilai tahanan RTD meningkat seiring meningkatnya temperatur dan menurun ketika temperaturnya menurun (Chowdhury dkk, 2010).

Sensor suhu RTD memiliki kelebihan dibandingkan sensor suhu lain karena tidak memerlukan suhu referensi, memiliki sensitivitas cukup tinggi, *output* yang dihasilkan 500 kali lebih besar dibandingkan termo kopel, dan tegangan keluaran yang tinggi, maka bagian elektronik pengolah sinyal menjadi sederhana yang dapat mempermudah pembuatan sistem (Rahmawan, 2013). Fraden(2003) menyatakan bahwa elemen RTD umumnya dibuat dari bahan logam ataupun *alloy*, baik dalam bentuk *coil* maupun lapisan tipis (*thin film*). Material yang biasa digunakan adalah platina (Pt) (Maher dkk, 2014), karena memiliki kemampuan pengukuran suhu yang sangat luas dan memiliki koefisien tahanan terhadap suhu yang besar (Sari, 2010), namun platina memiliki harga yang relative mahal (Riswanto, 2015). Bahan lain adalah nikel (Anonim, 2011), nikel *alloys* (Wijaya, 2012), dan tembaga.

Elemen RTD dapat dibuat menggunakan material tembaga (Cu) dan nikel (Ni). Tembaga merupakan bahan yang mudah diperoleh dan murah (Riswanto, 2015). Menurut Sukarelawan(2015) tembaga juga memiliki koefisien temperatur yang tinggi, dimana koefisien ini menentukan sensitivitas, namun masih lebih rendah dari platina. Untuk mengukur suhu yang sangat rendah, tembaga merupakan bahan terbaik sebagai elemen RTD pengganti platina karena memiliki sifat linier yang baik dalam merespon perubahan suhu yang relatif rendah yaitu hingga mencapai suhu-234,5°C (Boylestad, 2003).

Young dan Freedman (2001) mengungkapkan bahwa resistivitas sebuah konduktor logam hampir selalu bertambah dengan suhu yang semakin bertambah, karena resistivitas sebuah material berubah terhadap suhu, maka hambatan sebuah konduktor spesifik juga berubah terhadap suhu. Adanya pengotor dalam tembaga menyebabkan nilai resistivitasnya meningkat sehingga dengan meningkatnya nilai resistivitas maka sensitivitas juga ikut meningkat. Besarnya peningkatan resistivitas Cu bergantung pada jenis pengotor dan kadarnya. Ni merupakan salah satu material yang dapat dimanfaatkan sebagai pengotor Cu, sifatnya yang dapat menurunkan kemurnian Cu akan dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai resistivitas Cu itu sendiri. Selain dengan melakukan pengotoran pada Cu, cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai resistivitas adalah dengan membuatnya dalam bentuk lapisan tipis (Sudjatmoko, 2005).

Lapisan tipis merupakan lapisan dengan ketebalan mulai dari orde *angstrom* hingga beberapa *mikrometer*. Ditinjau dari lapisannya, secara umum lapisan tipis terbagi menjadi tiga, *onelayer*, *twolayer* dan *multilayer* (multilapisan). Semakin tebal lapisan maka nilai relativitas semakin rendah. Metode persiapan lapisan tipis dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu metode kimia (termasuk metode elektrokimia) dan metode fisika (Eckertová, 1986). Salah satu bagian dari metode kimia adalah *electroplating*. *Electroplating* adalah deposisi pada katoda ion logam dari elektrolit pada selektrolisis (Mattox, 1998). Pemilihan *electroplating* sebagai proses pelapisan karena bahan dasar (logam) yang dilapisi tidak perlu menggunakan bahan yang mahal,

temperatur proses cukup rendah, kondisi proses pada atmosfer biasa, peralatan relatif murah, laju endapan cepat, porositas pada pelapisan relatif rendah dan dapat menghasilkan beberapa lapisan.

Pada metode *electroplating* ada beberapa parameter yang berpengaruh dan perlu diperhatikan agar diperoleh hasil pelapisan yang baik diantaranya; kuat arus, jarak elektrode, distribusi arus, waktu pelapisan, agitasi, tingkat kepekatan larutan elektrolit, tegangan dan lain-lain (Adnyani dan Triadi, 2009). Salah satu cara yang harus dilakukan untuk meningkatkan transportasi massa adalah dengan meningkatkan tegangan saat dilakukan pelapisan dengan menggunakan metode *electroplating*.

Pelapisan Ni terhadap Cu maupun sebaliknya, menurut studi elektrokimia memungkinkan keduanya untuk dilapisi secara bolak balik. Hasil penelitian Ni/Cu dapat meningkatkan kekerasan (Tokarz dkk, 2007). Begitu juga penelitian yang dilakukan Jikan (2013), mampu menghasilkan kekerasan yang tinggi. Penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan sensor suhu rendah berbahan Cu/Ni sebagai bahan dasar sensor suhu rendah dengan sejumlah variasi menunjukkan nilai resistivitas yang relatif rendah. Hal memberikan ruang untuk diteliti lebih jauh terkait kepekaannya terhadap suhu rendah. Perlu dilakukan penelitian untuk menghasilkan lapisan tipis multilayer berbahan Cu dan Ni. Pada penelitian ini, akan dilakukan pembuatan multilapisan (multilayer) $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ dengan menggunakan metode *electroplating*. Saat dilakukan electroplating tahap akhir, variabel yang divariasi adalah tegangan sehingga dapat diketahui besarnya transformasi

massa (ketebalan, rapat atom dan kekerasan) Ni_2 terhadap lapisan $Cu_1/Ni_1/Cu_2$.

Beberapa kelebihan penumbuhan multi lapisan dari hasil riset yang telah dilakukan adalah, berpotensi mampu memberikan nilai kekerasan yang tinggi (Budi, 2016), meningkatkan rasio *magneto-impedansi* dan sensitifitas medan meningkat secara signifikan (Ismail dkk, 2015), mengalami peningkatan Nisbah *magneto-impedansi* dengan dilakukan pelapisan secara berulang (Amiruddin dkk, 2014) dan peningkatan nilai resistivitas. Beberapa masalah yang coba dirumuskan dalam riset yang akan dilakukan yaitu:

1. Bagaimanakah rancang bangun eksperimen pembuatan sensor suhu rendah berbasis RTD dengan metode *electroplating* $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ pada variasi tegangan (V)?
2. Bagaimanakah kinerja sensor suhu rendah berbasis RTD dengan metode *electroplating* $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ dengan variasi tegangan (V)?
3. Apakah variasi hasil yang dihasilkan dari pembuatan lapisan tipis dengan dengan metode *electroplating* dengan variasi tegangan (V)?

02

DESKRIPSI, DAN PROSES PEMBUATAN LAPISAN TIPIS $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$

A. Lapisan Tipis

Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang mempunyai ketebalan dalam orde angstrom hingga mikro. Lapisan tipis dapat dibuat dari bahan organik, anorganik, logam, maupun campuran logam organik (*organometalic*) yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun insulator. Lapisan tipis banyak digunakan sebagai bahan sensor karena murah proses produksinya dan sifat elektrisnya dapat diatur melalui parameter-parameter saat proses pembuatannya (Wisnu W, 2005).

Pembentukan lapisan tipis dapat dilakukan dengan beberapa teknik diantaranya *electrodeposition*, *evaporaton*, *sputtering*, *plating*, *ion plating*, *physical vapour deposition* (PVD) dan *chemical vapor depostion* (CVD) (Maisel dan Glang, 1970). Proses pembentukan lapisan tipis dengan cara deposisi melibatkan 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 membentuk endapan padat.

B. *Electroplating*

Salah satu metode pelapisan yang memanfaatkan listrik adalah *electroplating*. *Electroplating* atau lapis listrik adalah suatu proses pengendapan/deposisi suatu logam pelindung yang dikehendaki di atas logam lain dengan cara elektrolisis (Rasyad dan Budiarto, 2011). Pemberian arus searah ke dalam larutan menyebabkan terjadi proses reduksi pada katoda dan anoda.

Electroplating ada dua macam yaitu *elektrolisis* dan *elektrodeposisi*. Pada elektrolisis bahan yang akan dideposisikan ditempatkan pada anoda sedangkan substrat yang akan dilapisi ditempatkan pada katoda dan bahan larutan yang digunakan tidak sama dengan yang akan dilapisi, sedangkan pada elektrodeposisi digunakan larutan yang akan dilapiskan pada substrat. Larutan ini juga biasa disebut dengan *plating bath*. Ketika arus mengalir ion dari larutan menuju ke katoda dan logam pada anoda terlarut menuju ke larutan untuk menyeimbangkan potensial ionik seperti keadaan semula. Pada anoda karena menerima elektron akan terjadi reduksi sedangkan pada katoda karena kehilangan elektron terjadi oksidasi.

Prinsip proses *electroplating* didasarkan pada Hukum Faraday tentang elektrolisis, dengan adanya selisih antara massa sampel sesudah dan

sebelum *electroplating* , maka ketebalan lapisan nikel yang terbentuk dapat dihitung melalui persamaan berikut (Lutfiati dkk, 2013):

$$\delta = \frac{W}{\rho A} \quad (1)$$

dengan, δ = tebal lapisan yang terbentuk (cm), W = $m_2 - m_1$ = massa lapisan yang terbentuk (g), ρ = massa jenis pelapis (g/cm^3), A = luas permukaan lapisan (cm^2)

Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi pelapisan logam (Aminah, 2011) diantaranya:

1. Rapat arus.

Pada rapat arus yang kecil reduksi ion-ion logam berlangsung lambat sehingga deposit berbentuk kristal kuarsa. Peningkatan rapat arus mendorong pembentukan inti lebih cepat dan deposit menjadi berbutir lebih halus.

2. Konsentrasi elektrolit.

Elektrolit berfungsi untuk memperkecil tahanan larutan. Perubahan konsentrasi elektrolit dapat menimbulkan perubahan rapat arus yang sangat berpengaruh terhadap kualitas deposit.

3. Suhu.

Peningkatan suhu memudahkan proses difusi, meningkatkan pertumbuhan kristal dan menurunkan potensial lebih gas H_2 , untuk suhu yang sangat tinggi menyebabkan deposit kurang baik.

4. Waktu pelapisan.

Waktu pelapisan sangat berpengaruh terhadap ketebalan lapisan yang diharapkan, makin lama waktu pelapisan makin tebal lapisan yang diperoleh.

Selain dari yang disebutkan di atas, menurut Suhendro dkk (2011) terdapat faktor lain yang mempengaruhi proses *electroplating* antara lain:

- a. *Agitasi*, adalah proses pengadukan yang dimaksudkan untuk menghindari bentuk struktur dan ketebalan lapisan yang tidak seragam.
- b. Nilai pH diperlukan untuk mengontrol larutan *electroplating* agar kemampuan larutan elektrolit dalam menghasilkan lapisan lebih baik.
- c. *Pasivitas* merupakan lapisan pasif pengotor pada logam seperti korosi dan minyak yang menempel pada logam dan bila terdapat pada anoda, ion-ion logam pelapis terus menurun sehingga akan mengganggu proses pelapisan.

Pada proses pelapisan nikel, batas pH larutan elektrolit yang diizinkan agar proses berlangsung baik yaitu berkisar 2-4,5 (Sugiyarta, dkk 2012). Agar nilai pH dalam proses *electroplating* dapat dipertahankan, maka perlu ditambahkan *asam borak* (H_3BO_3). Menurut Afriany dkk (2012) garam nikel yang digunakan sebagai sumber logam pelapis

dalam larutan adalah *nickel sulfate* dan *nickel chloride*.

Reaksi kimia yang terjadi saat berlangsungnya proses *electroplating* (Khusnani, 2015) dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pada katoda terjadi:
 - a. Pembentukan lapisan nikel
$$\text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow \text{Ni}_{(s)}$$
 - b. Pembentukan gas hidrogen
$$2\text{H}^{+}_{(aq)} + 2e^{-} \rightarrow \text{H}_{2(g)}$$
 - c. Reduksi Oksigen terlarut
$$\frac{1}{2}\text{O}_{2(g)} + 2\text{H}^{+} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)}$$
2. Pada anoda terjadi:
 - a. Pembentukan gas Oksigen
$$\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow 4\text{H}^{+}_{(aq)} + \text{O}_{2(g)} + 4e^{-}$$
 - b. Oksidasi gas Hidrogen
$$\text{H}_{2(g)} \rightarrow 2\text{H}^{+}_{(aq)} + 2e^{-}$$

C. Material Tembaga (Cu) dan Nikel (Ni)

1. Tembaga

Tembaga merupakan suatu unsur kima dalam sistem periodik yang memiliki lambang Cu, (Chang, 2003) dapat dituliskan sebagai berikut:



dengan, X = nama unsur = Cu, A= nomor massa = 63,55, dan Z = nomor atom = 29.

Tembaga (Cu) merupakan unsur logam golongan IB periode ke IV. Konfigurasi elektronnya adalah [Ar] 3d¹⁰ 4s¹ dan tergolong dalam unsur jenis logam transisi.

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

Tabel 1. Sifat fisika tembaga
(<https://id.wikipedia.org/wiki/tembaga>)

Kriteria	Spesifikasi
Fase	Solid
Titik lebur	1084°C
Titik didih	2562 °C
Massa atom	63,546 g/mol
Massa jenis	8,96 g/cm ³
Struktur kristal	FCC
Kalor peleburan	13,26 kJ/mol
Kalor penguapan	300,4 kJ/mol
Koefisien ekspansi linier	1,65 μm.m ⁻¹ .K ⁻¹ ada 25 °C
Resistivitas listrik	16,78 nΩ.m pada 0 °C
Elektronegativitas	1,90
Jari-jari atom	128 pm

Beberapa sifat kimia yang dimiliki oleh tembaga adalah tahan korosi terhadap beberapa substansi, dalam bentuk *alloy* dapat

memperbaiki sifat fisika dan kimia logam lain, misalnya kuningan (tembaga + seng), perunggu (tembaga + timah), dan monel (tembaga + nikel + besi + mangan). Sifat kimia lainnya adalah lebih efisien sebagai katalis untuk beberapa jenis reaksi kimia dan dapat membentuk senyawa kompleks (Aminah, 2011).

2. Nikel

Nikel (Ni) adalah unsur kimia metalik dalam tabel periodik yang memiliki nomor massa (A) 58,69 dan nomor atom (Z) 28. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Pada keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lain, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Nikel memiliki konfigurasi elektron [Ar] $4s^2 3d^8$ dan tergolong dalam unsur jenis logam transisi. Sifat-sifat fisika nikel tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisis Nikel
(<https://id.wikipedia.org/wiki/nikel>)

Kriteria	Spesifikasi
Fase	Solid
Titik lebur	1455 °C
Titik didih	2913 °C
Massa atom	58,6934 g/mol
Massa jenis	8,908 g/cm ³
Struktur kristal	FCC
Kalor peleburan	17,48 kJ/mol
Kalor penguapan	377,5 kJ/mol

Kriteria	Spesifikasi
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

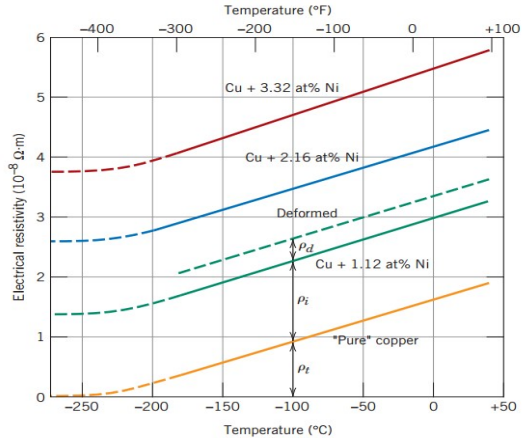
D. Resistivitas listrik

Resistivitas merupakan elemen dasar untuk mengklasifikasikan suatu bahan, apakah berada dalam bentuk konduktor, semikonduktor atau isolator. Sifat resistivitas listrik pada logam disebabkan oleh sifat logam yang memiliki beberapa elektron terdislokalisasi dan dapat meninggalkan elektron valensi dan dapat meninggalkan atom "induknya", khususnya elektron valensi yang bergerak bebas jika diberi beda potensial. Berdasarkan pita energi, logam memiliki pita valensi terisi penuh dan celah energi yang mendekati nol. sehingga dengan energi tertentu elektron-elektron pada pita valensi mudah memasuki pita konduksi.

Secara eksperimental total resistivitas logam adalah jumlah dari kontribusi dari getaran termal, pengotoran, dan deformasi plastis, yaitu, mekanisme hamburan bertindak independen satu sama lain. Secara matematis (Callister dan David, 2012) ditulis sebagai berikut:

$$\rho_{total} = \rho_t + \rho_i + \rho_d \quad (3)$$

Dengan $\rho_t =$ vibrasi termal, $\rho_i =$ impuritas dan $\rho_d =$ deformasi. Persamaan (1) dikenal sebagai matthiessen's rule.



Gambar 1. Resistivitas listrik vs temperatur untuk bahan tembaga dan tiga paduan tembaga-nikel yang salah satunya mengalami deformasi (Callister dan David, 2012).

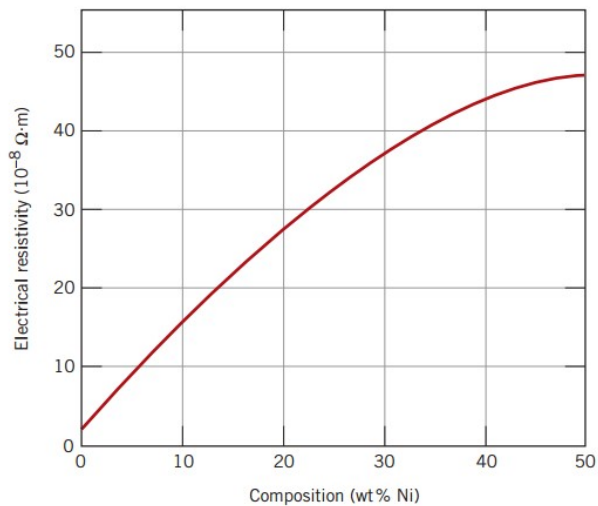
Pengaruh dari setiap variabel ρ pada resistivitas total ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan memplot nilai resistivitas vs suhu untuk tembaga dan beberapa paduan tembaga-nikel. Untuk logam murni dan semua paduan tembaga-nikel yang ditunjukkan pada Gambar 1, resistivitas meningkat secara linear dengan suhu di atas sekitar $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$, sehingga

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

Dengan ρ_0 , a adalah konstanta. Resistivitas karena impuritas dirumuskan dengan :

$$\rho_i = A.C_i(1-C_i) \quad (5)$$

Dengan, C_i = konsentrasi impuritas dan A = konstanta tidak bergantung komposisi. Deformasi plastik akan menaikkan resistivitas karena kenaikan jumlah dislokasi oleh penyebaran elektron. Efek deformasi terhadap resistivitas diperlihatkan oleh gambar 1. Sedangkan Gambar 2 memperlihatkan pengaruh komposisi terhadap resistivitas listrik.



Gambar 2. Hubungan resistivitas listrik pada temperatur ruang dengan komposisi pada paduan tembaga-nikel (Callister dan David, 2012).

Resistansi lapisan tipis sebagai entitas dari lapisan dua dimensi yang merupakan penyederhanaan dan resistansi yang digunakan dalam bentuk tiga dimensi. Gambar 3 menunjukkan resistansi logam tiga dimensi.

Resistansi suatu material dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (6)$$



Gambar 3. Resistansi logam dalam bentuk tiga dimensi.

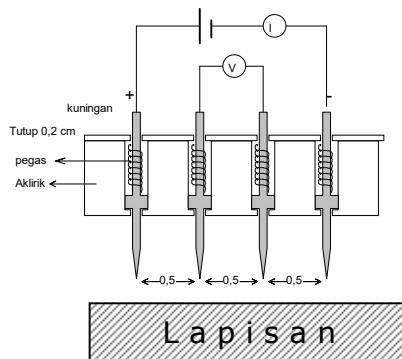
Dengan A merupakan luas penampang yang sama dengan $w \times t$ dengan w dan t adalah lebar dan tebal batang. sedangkan merupakan panjang batang dan ρ adalah resistivitas atau hambatan jenis. Apabila panjang batang l sama dengan lebar w , atau sampel bentuk persegi maka persamaan (4) menjadi:

$$R_s = \frac{\rho}{t} \quad (7)$$

Untuk l yang sangat kecil ($t < w$) maka persamaan (7) dikenal dengan *sheet resistivity* (R_s resistivitas keping) dan resistivitas keping lapisan tipis dapat diukur menggunakan alat deteksi probe empat titik.

E. Probe Empat Titik

Four-Point Probe (Probe empat titik disingkat FPP) adalah salah satu jenis alat yang dapat digunakan untuk mengukur nilai resistansi lapisan tipis. Model probe empat titik ditunjukkan Gambar 4. Arus listrik yang konstan dialirkan sepanjang permukaan sampel melalui dua probe terluar. Jika sampel mempunyai resistansi, maka akan ada penurunan tegangan ketika arus mengalir sepanjang sampel tersebut yang diukur melalui dua probe bagian dalam.



Gambar 4. Skema alat *Four Point Probe*

Prinsip kerja alat ini didasarkan pada adanya 4 buah probe yang digunakan, dengan 2 probe berfungsi mengalirkan arus listrik dan 2 probe lain digunakan untuk mengukur tegangan listrik saat probe tersebut disentuhkan pada bahan (sampel). Jika tebal lapisan sangat kecil dibanding jarak antar probe maka berlaku :

$$R = \left(\frac{V}{I} \right) \frac{\pi}{\ln 2} t \quad (8)$$

dengan, V = tegangan (volt), dan I = arus (A). Mengingat bahwa resistivitas keping merupakan resistivitas pertebal lapisan maka persamaan (6) menjadi:

$$R_s = \left(\frac{V}{I} \right) \frac{\pi}{\ln 2} \quad (9)$$

Dengannilairalat,

$$s_\delta = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta}{\partial W} S_w \right)^2} = \frac{1}{\rho A} S_w \quad (10)$$

F. X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X adalah radiasi elektromagnet dengan panjang gelombang yang ordenya sebesar 0,1 nm (atau 1Å) (Halliday, 1994). Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material sasaran. Berkas sinar yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas

difraksi mengikuti Hukum Bragg yaitu perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang, secara matematis dirumuskan (Vlack, 1989):

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (11)$$

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

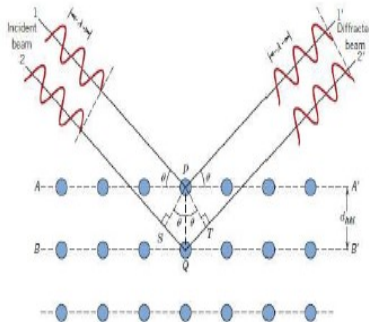
Mekanisme kerja XRD adalah dengan menembakkan elektron yang berasal dari sinar-X pada logam dalam tabung hampa akibat perbedaan potensial yang besar diantara kedua elektroda. Elektron yang mengenai sampel tiap sudut akan direfleksikan melalui *diffractrometer* menghasilkan pola difraksi yang berbeda. Pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel yang diuji (Zakaria, 2003).

Persamaan (10) juga menginformasikan jika pada proses pelapisan dilakukan perubahan parameter tertentu dan terjadi perubahan posisi sudut puncak difraksi, maka jarak antar bidang (d) berubah. Makin besar sudut θ makin rapat bidangnya.

Berkas sinar-X tidak hanya dipantulkan oleh bidang di bagian permukaan tetapi juga dipantulkan bidang-bidang yang lain dibawahnya. Keadaan ini menghasilkan pola interferensi yang saling menguatkan untuk sudut-sudut yang memenuhi hukum *Bragg*. Hasil *defraktograf* sinar-X berupa grafik hubungan antara intensitas

spektrum karakteristik terhadap sudut 2θ tercantum pada Gambar 5.

Gambar 6 mengindikasikan bahwa makin lebar puncak difraksi sinar X maka semakin kecil ukuran kristallites. Ukuran *kristallites* yang menghasilkan pola difraksi pada gambar bawah lebih kecil dari pada ukuran kristallites yang menghasilkan pola difraksi atas. Puncak difraksi dihasilkan oleh interferensi secara konstruktif cahaya yang dipantulkan oleh bidang-bidang kristal. Struktur kristal dapat ditentukan dengan grafik hubungan intensitas terhadap sudut 2θ seperti pada Gambar 5.



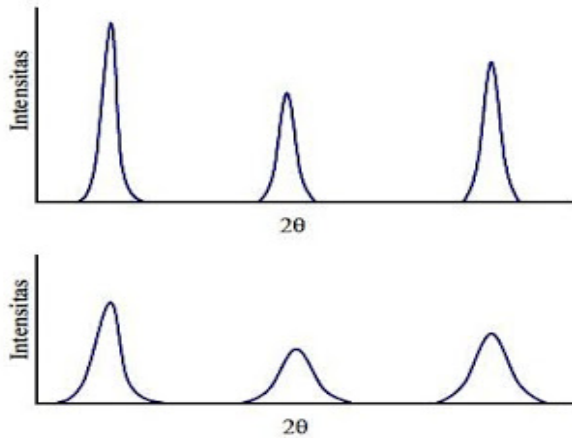
Gambar 5. Difraksi sinar-X (Vlack, 1989).

Dari grafik pada gambar 10 dapat ditentukan struktur mikro lapisan apakah *amorf* atau kristal serta arah pertumbuhan atomnya. Arah pertumbuhan atom dinyatakan dengan arah bidang yang disebut dengan indeks bidang atau indeks Miller.

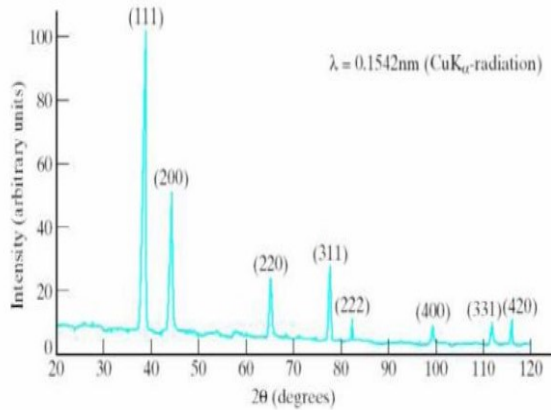
Hubungan antara jarak bidang dengan indeks bidang khusus untuk kristal kubik diungkapkan sebagai:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (12)$$

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



Gambar 6. Hubungan intensitas terhadap sudut 2θ (Sukarelawan, 2015).



Gambar 7. Contoh pola difraksi kisi tembaga (Darsono, 2015).

G. Sensor Suhu

Sensor didefinisikan sebagai alat yang berfungsi menerima dan menanggapi sinyal berupa besaran fisik ataupun kimia untuk diubah menjadi besaran listrik menggunakan rangkaian elektronik. Besaran listrik ini harus dapat disalurkan, diperkuat dan dimodifikasi oleh rangkaian listrik (Fraden, 2004). Sensor suhu merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi gejala perubahan panas/temperatur/suhu pada suatu dimensi benda atau dimensi ruang tertentu (Widiyantoro, 2013).

Temperatur atau suhu sering dianggap sebagai ukuran panas atau dinginnya benda, terutama saat kita sentuh. Suhu merupakan ukuran seberapa panas atau dinginnya sebuah benda (Serway dan Jewett, 2010). Panas didefinisikan

sebagai perpindahan energi dari sebuah benda ke benda lain sebagai hasil dari perbedaan suhu atau temperatur kedua benda tersebut (Haliday, 1993). Energi panas secara langsung berhubungan dengan energi molekul (getaran, gesekan dan osilasi partikel dalam sebuah molekul): semakin tinggi energi panas, semakin besar energi molekul (Wilson, 2005).

Sensor suhu mendeteksi parameter fisik seperti resistansi atau tegangan *output* sesuai dengan perubahan suhu (Wilson, 2005). Terdapat berbagai jenis sensor suhu, yaitu *thermokopel*, *thermistor* (*thermal resistor* atau *thermal sensitive resistor*), dan RTD (*Resistance Temperature Detector*).

1. Lapisan Tipis RTD (*Resistance Temperature Detector*)

RTD adalah sensor suhu yang bekerja berdasarkan perubahan hambatan listrik atau resistansi dalam unsur logam karena pengaruh perubahan suhu. Saat ini RTD dibuat dengan bahan logam atau *alloy*. Logam yang digunakan dalam pembuatan RTD antara lain yaitu platina, nikel, tembaga, dan emas.

RTD dibuat dalam bentuk kawat (*wirewound*) ataupun film tipis (*thin film*). Dalam perkembangannya, bahan semikonduktor dengan sensitivitas suhu tinggi juga digunakan, misalnya germanium. Platina dianggap bahan paling baik sebagai bahan dasar pembuatan RTD karena respons,

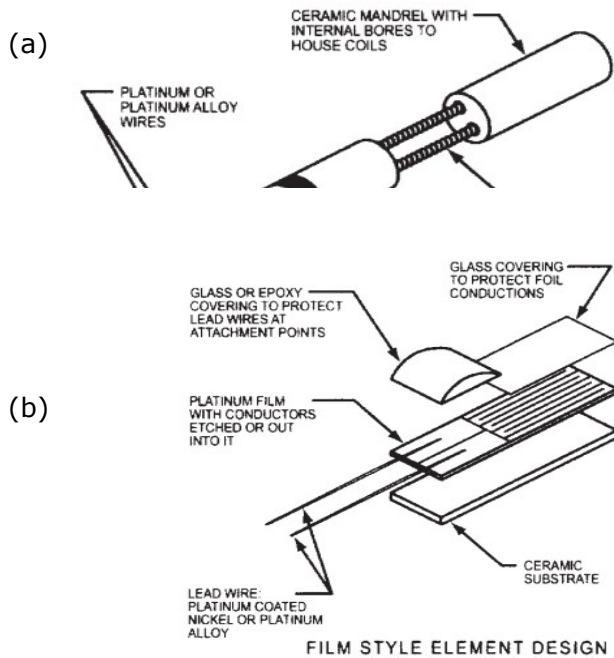
ketahanan dalam jangka panjang dan daya tahannya yang baik.

RTD dengan bahan dasar *tungsten* biasa digunakan untuk membuat RTD yang sensitif hingga suhu 600°C (Fraden, 2010). Dalam dunia industri, RTD dibuat dalam bentuk film tipis dengan bahan platina atau *alloy* RTD ini dibuat dengan *litografi* menyerupai ular untuk memastikan panjang atau lebar penampang lapisan tipis RTD yang cukup besar (Fraden, 2010).

Tingkat sensitivitas RTD dalam mengukur perubahan suhu didasarkan pada nilai TCR dari RTD. TCR (*Temperature Coefficient of Resistance*) merupakan koefisien hambatan-suhu, yang menyatakan, semakin tinggi nilai koefisien hambatan sebuah logam, maka semakin besar sensitivitasnya terhadap perubahan suhu. TCR dinyatakan dalam persamaan berikut (Hermida dan Retnaningsih, 2009):

$$TCR = \left(\frac{(R_H - R_C)10^6}{R_C(T_H - T_C)} \right), \quad (13)$$

Dengan, $TCR = \text{Temperature Coefficient of Resistance}$ (ppm/°C), $R_H = \text{hambatan pada suhu kerja}$ (Ω), $R_C = \text{hambatan acuan}$ (Ω), $T_H = \text{suhu kerja}$ (°C), dan $T_C = \text{suhu acuan}$ (°C).



Gambar 8. Jenis RTD (a) RTD berbentuk kawat (b) RTD berbentuk film tipis (Wilson, 2005).

Satuan $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ dijelaskan dengan contoh berikut, jika sebuah RTD memiliki nilai TCR sebesar $20 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$, hal ini berarti resistansi tidak akan berubah lebih dari $0,000020 \Omega$ per Ω per $^{\circ}\text{C}$ perubahan suhu. Jika RTD tersebut dibandingkan dengan RTD lain yang memiliki nilai TCR sebesar $200 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$, maka RTD dengan TCR sebesar $200 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ dikatakan lebih sensitif karena lebih baik

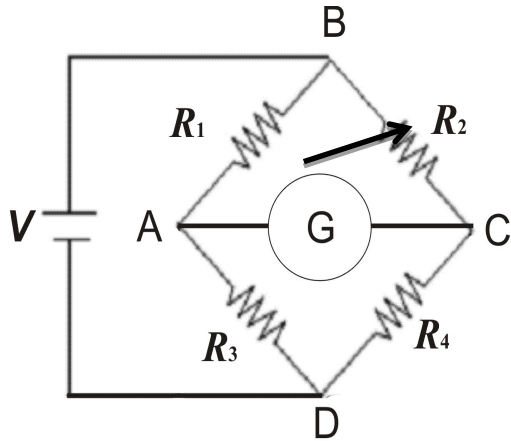
dalam merespon perubahan suhu yang terjadi.

RTD selanjutnya dihubungkan dengan rangkaian jembatan *wheatstone* yang berfungsi sebagai pengubah hambatan bahan pembuatan RTD menjadi tegangan sebagai *output*. Jembatan *wheatstone* yang dihubungkan dengan RTD biasanya jembatan *wheatstone* 2-WCB, 3-WCB dan 4-WCB (*Wire Connection Bridge*).

2. RTD dengan *tranducer* jembatan *wheatstone* 4-WCB

Fungsi jembatan *wheatstone* adalah untuk mengukur besar hambatan pada sebuah rangkaian listrik yang tidak diketahui nilainya. Jembatan *wheatstone* dimanfaatkan pada beberapa alat ukur seperti *ohm-meter*, *volt-meter* dan *amper-meter*.

Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 9, rangkaian jembatan *wheatstone* terdiri atas tegangan *input*(V), *galvanometer* dan empat buah hambatan (R_1, R_2, R_3 dan R_4). R_1 adalah hambatan yang dapat diubah nilainya (Potensiometer), R_3 dan R_4 adalah hambatan yang ditetapkan nilainya dan R_2 adalah hambatan yang akan dicari nilainya.



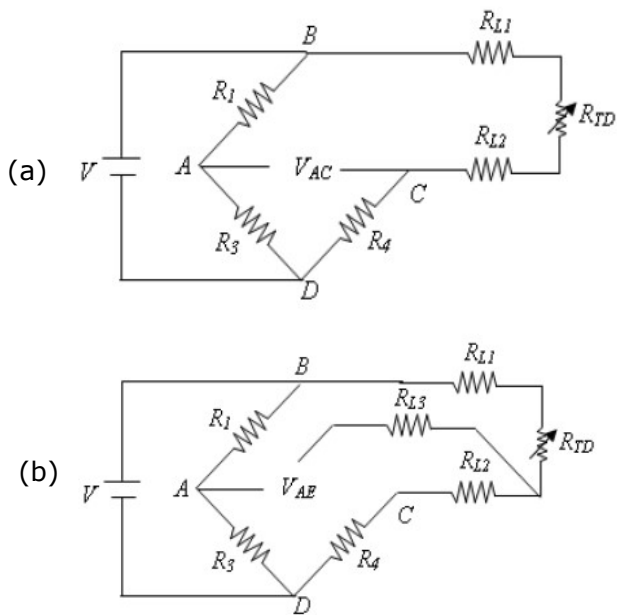
Gambar 9. Rangkaian jembatan wheatstone (Sukarelawan 2015).

Prinsip kerja jembatan *wheatstone* diterapkan sebagai *transducer* pada rangkaian RTD. Secara umum, prinsip kerja rangkaian RTD dengan *transducer* jembatan *wheatstone* dapat dijelaskan sebagai berikut, pada suhu tertentu jembatan *wheatstone* dalam keadaan seimbang. Bila suhu berubah maka resistansi RTD juga akan berubah sehingga jembatan tidak dalam kondisi seimbang. Hal ini menyebabkan terjadi beda potensial antara titik keluaran jembatan. Jika nilai tegangan listrik diketahui, maka nilai resistansi RTD dapat diperoleh.

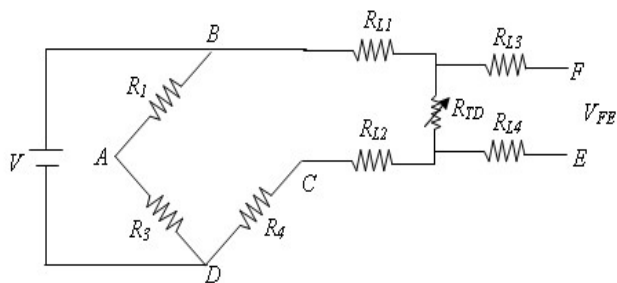
RTD umumnya dihubungkan dengan rangkaian jembatan *wheatstone* 2-WCB, 3-WCB dan 4-WCB. Rangkaian 2-WCB merupakan rangkaian paling sederhana. Rangkaian ini rentan kesalahan akibat

pengaruh temperatur rangkaian karena kabel ekstensi. Rangkaian 3-WCB merupakan rangkaian paling banyak digunakan. Rangkaian ini lebih baik daripada rangkaian 2-WCB karena adanya tambahan satu kabel sebagai hambatan kompensasi untuk mengurangi kesalahan pengukuran. Rangkaian 4-WCB merupakan rangkaian dengan akurasi paling baik. Tambahan satu kabel lagi dibandingkan rangkaian 3-WCB yang fungsi mentransmisikan *selfheating* rangkaian menjadi tegangan *output* (O'Gady, 2000).

RTD yang dihubungkan dengan jembatan *wheatstone* 4-WCB (gambar 11) merupakan rangkaian sensor suhu rendah dengan tingkat akurasi paling baik jika dibandingkan dengan RTD tipe 2-WCB dan tipe 3-WCB. Penambahan dua kabel penghubung sebagai kabel ekstensi yang mentransmisikan panas menjadi tegangan *output*.



Gambar 10. (a) RTD tipe koneksi kabel 2-WCB; dan (b) RTD tipe koneksi kabel 3-WCB (Sukarelawan, 2015)



Gambar 11. Rangkaian RTD jembatan wheatstone 4-WCB (Sukarelawan, 2015).

03

PEMBUATAN LAPISAN TIPIS

$Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$

A. Langkah Percobaan

1. Preparasi sampel

a. Alat dan Bahan

1) Alat

Alat yang digunakan dalam preparasi sampel adalah; gelas ukur untuk mengukur volume, gergaji untuk memotong papan PCB, gerinder untuk menghaluskan sampel, *hair dryer* sebagai pengering sampel, kikir sebagai penghalus pinggir sampel, magnetic stirrer sebagai pengaduk larutan, penggaris baja sebagai pengukur panjang sampel, *ultrasonic cleaner* sebagai pencuci sampel, *neraca ohaus P214* sebagai pengukur massa sampel, pinset sebagai penjepit sampel, baki sebagai tempat sampel, gelas ukur untuk mengukur volume, kain lap sebagai alas penggosokan dan membersihkan sampel, sikat gigi dengan bulu yang paling halus untuk membersihkan sampel.

2) Bahan

Bahan yang digunakan adalah; aquades sebagai pengencer larutan, alkohol sebagai

pembersih sampel, amplas (5000 cw) untuk menghaluskan permukaan sampel, *cutting sticker* untuk mencetak desain di atas PCB, PCB sebagai lapisan tembaga, pelat nikel sebagai bahan yang akan dilapiskan, plastik klip sebagai tempat penyimpanan sampel, detergen sebagai bahan pembersih sampel, spidol permanen untuk menandai sampel, *tissue* untuk mengeringkan sampel, penghapus karet, *feriklorit* sebagai pelarut PCB, *double tip* untuk merekatkan sampel pada baki, autosol untuk mengkilapkan sampel.

b. Langkah Preparasi

Langkah yang dilakukan pada tahap persiapan sampel adalah:

- 1) Papan PCB disiapkan.
- 2) Desain sampel pada *cutting sticker* disiapkan.
- 3) *Cutting sticker* ditempel di atas PCB.
- 4) Hasil cetak desain direndam dalam larutan feriklorit (FeCl_3), setelah tercetak selanjutnya dibersihkan di air mengalir.
- 5) *Cutting sticker* dikupas dan dibersihkan dengan penghapus karet.
- 6) PCB dipotong sesuai dengan hasil cetak desain yaitu 10 cm × 1,3 cm
- 7) Bagian pinggir potongan papan PCB dihaluskan menggunakan kikir.
- 8) Permukaan sampel diampelas dengan amplas berukuran 5000 cw.
- 9) Permukaan sampel diautosol hingga bersih
- 10) Sampel direndam dengan larutan FeCl_3 .
- 11) Larutan detergen dibuat dengan komposisi aquadest 125 ml dan rinso 5 ml menggunakan *magnetic stirrer*.

- 12) Sampel dicuci menggunakan larutan detergen dengan cara disikat bagian permukaan seluruh sampel menggunakan sikat gigi.
- 13) Sampel dibilas menggunakan aquadest.
- 14) Sampel dicuci dengan alkohol menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 6 menit.
- 15) Diberikan tanda pada sampel dengan menuliskan nama dibagian fiber.
- 16) Sampel yang dicuci dikeringkan menggunakan *hair dryer*.
- 17) Sampel dibungkus menggunakan tisu, selanjutnya disimpan dalam plastik klip

2. Pembuatan lapisan tipis $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$

a. Alat dan Bahan

1) Alat

Alat yang digunakan untuk pembuatan lapisan tipis $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ yaitu; gelas kimia 1000 ml, power supply, *magnetic stirrer*, *stopwatch*, *power supply*, pembakar bunsen, kaki tiga, termokopel, *neraca ohaus tipe PA214*, *hair dryer*, pinset, *ultrasonic cleaner*, dan kabel penghubung,

2) Bahan

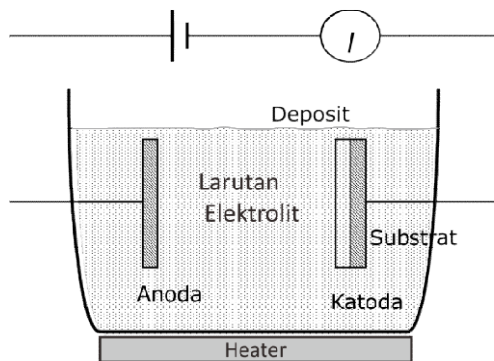
Bahan yang digunakan adalah; substrat tembaga, nikel (Ni), *asam borak* (H_3BO_3) 7.5 g, *asam sulfat* (NiSO_4) 100 g, *nikel klorida* (NiCl_2) 15 g, CuSO_4 , H_2SO_4 , *Aquadest* (H_2O), tisu dan plastik klip.

b. Langkah Percobaan

Percobaan dilakukan dengan empat tahap dan dilakukan mengikuti prosedur sebagai berikut:

- 1) Pelapisan tahap pertama, Cu_1/Ni_1

Pelapisan tahap pertama dilakukan dengan urutan sebagai berikut; timbang pelat tembaga sebelum dilapisi sebagai m_1 , larutan elektrolit dengan komposisi H_3BO_3 seberat 7,5 g, $NiSO_4$ seberat 175 g, $NiCl_2$ seberat 30 g dan H_2O sebanyak 250 ml, alat dirangkai seperti pada Gambar 12, larutan dipanaskan sampai pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$, tembaga ditempatkan pada katoda dan nikel pada anoda, proses plating dilakukan dengan waktu 60 detik, sampel dikeringkan menggunakan tisu dan *hairdye*, dilakukan penimbangan untuk mengukur ketebalan lapisan, sampel dibungkus dengan tisu.



Gambar 12. Skema alat *electroplating*.

2) Pelapisan tahan kedua, $Cu_1/Ni_1/Cu_2$

Pelapisan tahap kedua dilakukan dengan urutan sebagai berikut; larutan elektrolit pelapisan $Cu_1/Ni_1/Cu_2$ disiapkan dengan $CuSO_4$ seberat 62,5 g, H_2SO_4 sebanyak 13 ml dan H_2O sebanyak 250 ml, alat dirangkai seperti

Gambar 11, larutan elektrolit dipanaskan sampai ada suhu 60 °C, lapisan Cu₁/Ni₁ ditempatkan pada katoda dan Cu₂ pada anoda, Proses plating dilakukan selama 30 detik, sampel dikeringkan menggunakan tisu dan *hairdye*, dilakukan penimbangan untuk mengukur ketebalan lapisan, sampel dibungkus dengan tisu

3) Pelapisan tahap akhir, Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂

Pelapisan tahap ketiga dilakukan dengan urutan sebagai berikut; larutan elektrolit disipkan dengancampuran H₃BO₃ seberat 7,5 g, NiSO₄ seberat 100 g, NiCl₂ seberat 15 g dan H₂O sebanyak 250 ml, alat dirangkai seperti Gambar 11, larutan elektrolit dipanaskan sampai ada suhu 60 °C, lapisan Cu₁/Ni₁/Cu₂ ditemptkan pada katoda dan Ni pada anoda, proses plating dilakukan selama 60 detik dengan variasi tegangan ke masing masing sampel yaitu 1,5, 2,5, 3,5, 4,5 dan 5,5 volt, sampel dikeringkan menggunakan tisu dan *hairdye*

3. Pengukuran Ketebalan Lapisan

a. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah *neraca ohaus tipe PA214* dan sampel yang akan diukur

b. Langkah Pengukuran

Langkah pengukuran dilakukan dengan; menimbang sampel sebelum dilapisi sebagai massa awal, menimbang sampel setelah dilakukan pelapisan sebagai massa kedua, mencari selisih massa setelah dan sebelum

pelapisan sebagai W , menghitung nilai ketebalan dengan menggunakan persamaan (1)

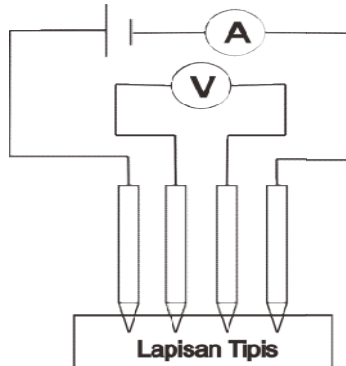
4. Pengukuran Resistivitas Lapisan

a. Alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah Power supply, probe empat titik, *multimaster Extech 560 True RMS* sebagai voltmeter, *multimaster Extech 570A True RMS* sebagai amperemeter, dan kabel penghubung

b. Langkah Pengukuran

Pengukuran pada resistivitas keping dilakukan sebelum sampel dilapisi Ni dan setelah dilapisi Ni, langkah-langkah pengambilan data sebagai berikut; rangkai alat resistivitas keping seperti pada Gambar 13, mengatur multimaster pada posisi sebagai amperemeter dan voltmeter, memutar tegangan pada *power supply* hingga maksimal Letakkan pelat di bawah kaki probe empat titik, ubahlah knop pada bagian *power supply* sebagai variasi tegangan pada pengambilan data sebanyak 5 kali, mencatat setiap perubahan pada arus dan tegangan dalam Tabel 6.



Gambar 13. Skema alat pada resistivitas keeping

Tabel 3. Tabulasi data penentuan resistivitas keeping lapisan tipis.

No.	Kuat arus (A)	Tegangan (V)
1		
2		
3		
4		
5		

5. Analisis Hasil *X-Ray Diffraction* (XRD)

a. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah; hasil uji XRD dari sampel, software excel, software *Match!*, software *diamond 3.2*.

b. Langkah Analisis

Langkah analisis data XRD adalah; menyiapkan data hasil XRD sampel, menganalisa kandungan Ni dan Cu pada grafik hubungan

intensitas dan sudut 2-Theta dari hasil XRD dengan menggunakan aplikasi *Macht!*, melihat data Ni dan Cu dengan intensitas tertinggi, menghitung nilai *hkl*, membuat grafik keteraturan kristal dari sampel.

6. Analisis Kerja Sensor RTD

a. Alat dan Bahan

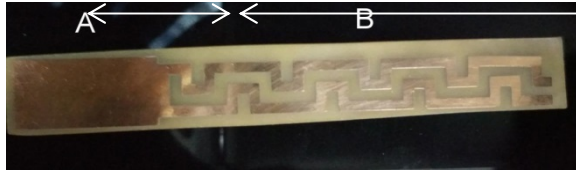
Alat dan bahan yang digunakan adalah; laptop dengan program *logger pro*, kabel USB, sumber tegangan, termokopel

b. Langkah Analisis

Langkah analisis uji sensor suhu adalah; memasukkan sampel RTD bersamaan dengan termokopel ke nitrogen cair dalam tabung dan merekam datanya dalam program *logger pro*.

B. Hasil

1. Tampilan sampel hasil preparasi



Gambar 14. 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

2. Tampilan sampel setiap tahap pelapisan

Hasil dari *electropalting* ditunjukkan pada gambar.



Gambar 15. (a) Lapisan Cu/Ni; (b) Lapisan Cu/Ni/Cu; dan (c) Lapisan Cu/Ni/Cu/Ni. 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.

3. Ketebalan lapisan sampel

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

Penentuan ketebalan lapisan bahan pelapis yang terbentuk di atas sebelumnya dilakukan dengan teknik pengukuran tidak langsung yaitu dengan mengukur selisih antara massa sebelum dan sesudah pada lapisan tipis. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu_1/Ni_1 dan $Cu_1/Ni_1/Cu_2$ dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 4. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Cu_1/Ni_1 dan $Cu_1/Ni_1/Cu_2$

Lapisan	waktu (s)	Suhu (T)(°C)	Tegangan (V)(volt)	Rata-rata δ (cm) $\times 10^{-4}$
Cu_1/Ni_1	60	60	$1,15 \times 10^{-2}$	$1,29 \pm 0,43$
$Cu_1/Ni_1/Cu_2$	30	60	$8,10 \times 10^{-3}$	$1,00 \pm 0,43$

Sampel $Cu_1/Ni_1/Cu_2$ kemudian *dielectroplating* lagi dengan Ni_2 dengan menggunakan variasi tegangan. Sehingga membentuk lima sampel $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ seperti yang terlihat pada Tabel 8. Hasil ketebalan lapisan Ni_2 yang dilapisi pada $Cu_1/Ni_1/Cu_2$ yang ditunjukkan oleh Tabel 8 mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan transportasi massa yang memiliki hubungan linier dengan peningkatan tegangan saat dilakukan proses *electroplating*.

Tabel 5. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$

Sam- pel	V	t (s)	Massa $Cu_1/Ni_1/Cu_2$	Massa $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$	Δm (g)	δ (cm) $\times 10^{-4}$
10	1,5	60	4,3531	4,3591	$6,00 \times 10^{-3}$	$0,886 \pm 0,43$
5	2,5	60	4,1126	4,1292	$1,66 \times 10^{-2}$	$2,45 \pm 0,43$
2	3,5	60	4,111	4,1323	$2,13 \times 10^{-2}$	$3,14 \pm 0,43$
9	4,5	60	3,5062	3,5322	$2,60 \times 10^{-2}$	$3,84 \pm 0,43$
1	5,5	60	4,0827	4,1144	$3,17 \times 10^{-2}$	$4,68 \pm 0,43$

4. Nilai Resistivitas lapisan

Resistivitas listrik merupakan parameter dasar untuk mengelompokkan suatu jenis logam yang bersifat isolator, konduktor atau semikonduktor.

Logam Cu yang digunakan sebagai elemen RTD sebagai suhu rendah diharapkan mempunyai sensitivitas yang lebih baik, sehingga harus dipadukan dengan Ni. Untuk meningkatkan sensitivitas, adalah membuat multilapisan sehingga nilai resistivitas meningkat.

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

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

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

$$\text{Cu (lapisan dasar)} = (1,12 \pm 0,04) \times 10^{-3}$$

$$\text{Ni terhadap Cu} = (1,26 \pm 0,04) \times 10^{-3}$$

$$\text{Cu terhadap Cu/Ni} = (1,09 \pm 0,03) \times 10^{-3}$$

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

Persamaan hasil regresi data antara beda potensial (V) dan kuat arus (I) untuk menentukan nilai resistivitas keping $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ setelah *dielectroplating* dengan variasi tegangan ditampilkan pada Tabel 9.

Dari hasil persamaan regresi linier diperoleh nilai a yang selanjutnya menentukan nilai resistivitas keping menggunakan persamaan (9) dan ralatnya diperoleh dengan menggunakan persamaan (10).

Tabel 6. Persamaan linier antara tegangan (V) dan kuat arus (I) berbagai sampel setelah *electroplating* deposisi dengan variasi tegangan (V).

Sampel	Persamaan $y=ax+b$	R^2
10	$V=0,0002I - 0,0035$	0,9968
5	$V=0,0002I - 0,00006$	0,9970
2	$V=0,0003I-0,0055$	0,9989
9	$V=0,0003I - 0,0030$	0,9987
1	$V=0,0003I-0,0019$	0,9986

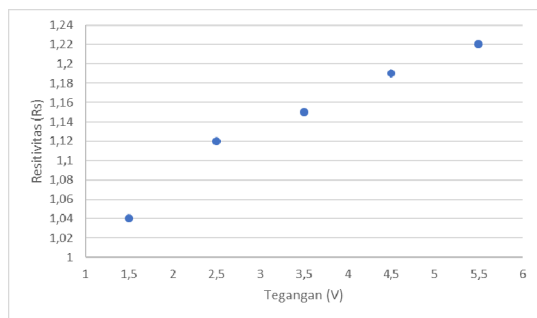
Hasil perhitungan nilai resistivitas keping dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 7. Nilai resistivitas keping sampel $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$.

V	Sampel	$R_s \pm S_{R_s} (\Omega/sq) \cdot 10^{-3}$
1,5	10	(1,04±0,03)
2,5	2	(1,12±0,04)
3,5	5	(1,15±0,02)
4,5	9	(1,19±0,03)

V	Sampel	$R_s \pm S_{R_s} (\Omega/\text{sq})$ 10^{-3}
5,5	1	(1,22±0,03)

Berdasarkan analisis data, didapatkan bahwa persamaan hasil regresi data antara beda potensial (V) dan kuat arus (I) untuk menentukan nilai resistivitas keping $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ terlihat pada Tabel 12. Dari hasil tersebut, maka didapatkan nilai resistivitas dan ralatnya yang terlihat pada Tabel 13. Pada data tabel menunjukkan ada peningkatan nilai resistivitas yang linier dengan peningkatan tegangan. Hubungan antara tegangan dengan resistivitas pada lapisan $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ ditunjukkan oleh grafik. Dibandingkan dengan nilai resistivitas pada lapisan Cu_1/Ni_1 terlihat penurunan nilai R_s . Hal ini menunjukkan meningkatkan kepekaan lapisan terhadap suhu.

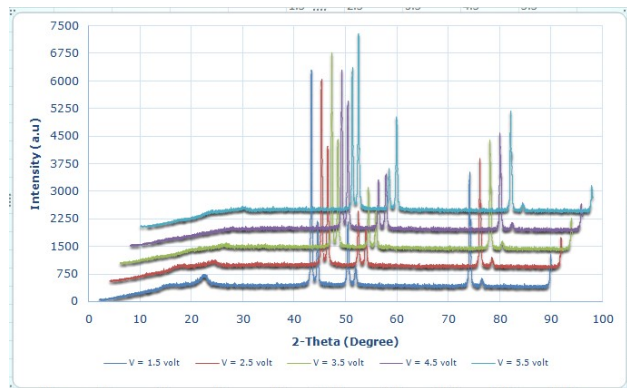


Gambar 16. Hubungan antara resistivitas dengan tegangan.

5. Uji Hasil XRD

XRD berfungsi untuk melihat struktur mikro pada logam melalui intensitas logam tersebut. Hasil *difraktometer sinar-x* dari lapisan $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ yang di-*electroplating deposisi* variasi tegangan, terlihat pada Gambar 17.

Pada gambar 15 ditampilkan difraktometer sinar-X dari lapisan $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ yang di-*electroplating* dengan variasi tegangan pada suhu dan konsentrasi elektrolit yang sama. Secara kuantitatif posisi sudut puncak-puncak tertinggi difraksi serta intensitas dari lapisan $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ terdapat pada tiga sudut seperti yang tercantum pada Tabel 11.



Gambar 17. Spektrum XRD dari lapisan $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ dengan variasi tegangan pada masing-masing sampel.

Terlihatnya puncak pada grafik spektrum *XRD* dari lapisan $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ memandakan telah terbentuknya kristal pada proses pelapisan.

Menggunakan aplikasi *Match!* terlihat *Ni* di enam puncak tertinggi. Dari puncak grafik, dapat dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai *hkl* yang nantinya akan menunjukkan kategori kristal yang terbentuk.

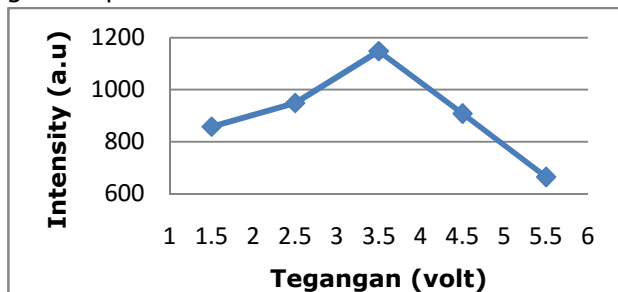
Puncak tertinggi *difraksi* muncul pada sudut tertentu, dengan bidang refleksi Cu dan Ni adalah (111), (200) dan (220). Bidang refleksi (111), (200) dan (220) masuk dalam kategori *face center cubic (fcc)*.

Tabel 8. Sudut difraksi serta intensitas lapisan Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂.

			<i>Hkl</i>
	Variasi Tegangan (volt)	Cu ₁ /Ni ₁ /Cu ₂ /Ni ₂	
1,5	43,215	1188	111
	44,403	431	111
	50,333	463	200
	51,830	135	200
	73,991	773	220
	76,270	54	220
2,5	43,190	988	111
	44,387	744	111
	50,326	370	200
	51,816	273	200
	73,981	719	220
	76,310	70	220
3,5	43,189	1026	111
	44,372	698	111
	50,316	403	200
	51,774	271	200
	73,975	691	220

			<i>Hkl</i>
	Variasi Tegangan (volt)	$Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$	
	76,250	51	220
4,5	43,127	886	111
	44,302	856	111
	50,255	339	200
	51,716	423	200
	73,920	681	220
	76,230	82	220
5,5	43,191	762	111
	44,391	1093	111
	50,301	282	200
	51,779	642	200
	73,985	663	220
	76,260	67	220

Ini menunjukkan para proses *electroplating*, sampel tersusun dari lapisan *Cu* dan *Ni* dan telah mengalami pembentukan kristal.



Gambar 18. Keteraturan kristal Ni setiap sampel dengan variasi tegangan.

Untuk sudut difraksi dari logam Ni_2 dan nilai *hkl* yang terlihat dari puncak grafik hasil XRD terlihat pada Tabel 12.

Mengamati grafik pada gambar, terlihat kenaikan keteraturan kristal pada suhu 1,5 volt ke 2,5 volt. Dari tegangan 2,5 volt ke 3,5 volt terlihat adanya penurunan keteraturan, kemudian naik dari 3,5 volt ke 5,5 volt. Melihat perubahan grafik, menunjukkan adanya pengaruh keteraturan kristal dengan tegangan saat dilakukan proses *electroplating*.

Dibandingkan dengan tabel parameter refleksi standar Ni dengan analisis menggunakan aplikasi *Diamonds*, diperoleh data yang hampir sama. Tiga puncak tertinggi berada pada sudut 2-Theta, 43, 50 dan 73.

Sedangkan untuk sudut difraksi dari logam Cu dan nilai *hkl* yang terlihat dari puncak grafik hasil XRD terlihat pada Tabel 13

Tabel 9. Sudut difraksi serta intensitas lapisan Ni₂.

Variasi Tegangan (volt)	Ni		Hkl
	Sudut (2θ)	Intensitas (a.u)	
1,5	44,13	857,0	111
	50,25	301,9	200
	73,89	448,0	220
2,5	43,21	1000,0	111
	50,34	291,3	200
	73,93	566,4	220
3,5	43,40	1148,0	111
	50,54	422,7	200
	74,18	467,2	220
4,5	43,40	1148,0	111
	50,54	422,7	200
	74,18	467,2	220
5,5	43,29	796,8	111

Variasi Tegangan (volt)	Ni		Hkl
	Sudut (2θ)	Intensitas (a.u)	
	50,41	229,6	200
	70,04	544,4	220

Table of reflection parameters									
No.	2Theta...	d-spacing ...	Int.	F	h	k	l	Mult.	
1	45.502	1.9919	286936.44	81.45	1	1	1	8	
2	53.045	1.7250	132844.65	76.18	0	0	2	6	
3	78.324	1.2198	75484.68	61.13	0	2	2	12	

Gambar 19. Tabel parameter refleksi Ni hasil XRD (Haglund, 1993).

Tabel 10. Sudut difraksi serta intensitas lapisan Cu.

Variasi Tegangan (volt)	Cu		Hkl
	Sudut (2θ)	Intensitas (a.u)	
1,5	43,13	857,0	111
	50,52	301,9	200
	73,89	448,0	220
2,5	43,21	948,1	111
	50,38	315,9	200
	74,18	247,2	220
3,5	43,4	1148	111
	50,54	422,7	200
	74,18	467,2	220
4,5	43,03	907,2	111
	51,60	417,9	200
	73,81	378,9	220
5,5	43,21	663,5	111
	50,91	203,9	200

Variasi Tegangan (volt)	Cu		Hkl
	Sudut (2θ)	Intensitas (a.u)	
	74,07	325,3	220

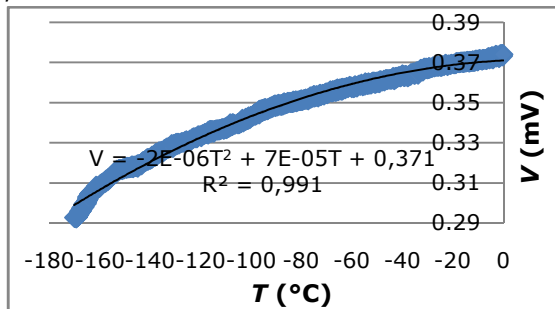
Hasil perhitungan nilai *hkl* dari sampel yang telah diXRD menunjukkan keidentikan dengan lapisan Cu pada paten, pada sudut 2-Theta 43, 50 dan 74.

Table of reflection parameters								
No.	2Theta...	d-spacing ...	Int.	F	h	k	l	Mult.
1	43.312	2.0873	361632.99	86.50	1	1	1	8
2	50.444	1.8077	166908.42	80.64	0	0	2	6
3	74.117	1.2782	89794.61	63.52	0	2	2	12
4	89.925	1.0901	101991.58	54.80	1	1	3	24

Gambar 20. Tabel parameter refleksi Cu hasil XRD (Catherine, 2011).

6. Uji kinerja sensor RTD

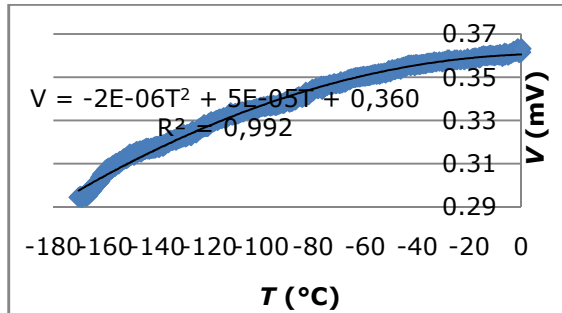
a. $V = 1,5$ volt



Gambar 21. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ pada, pelapisan dengan variasi tegangan 1,5 volt.

Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang di-electrolating pada variasi tegangan 1,5 volt.

b. $V = 2,5$ volt

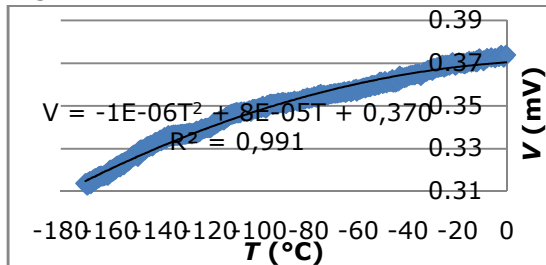


Gambar 22. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis $Cu_1/Ni_1/Cu_2/Ni_2$ pada pelapisan dengan variasi tegangan 2,5 volt.

Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang dielectrolating pada variasi tegangan 2,5 volt.

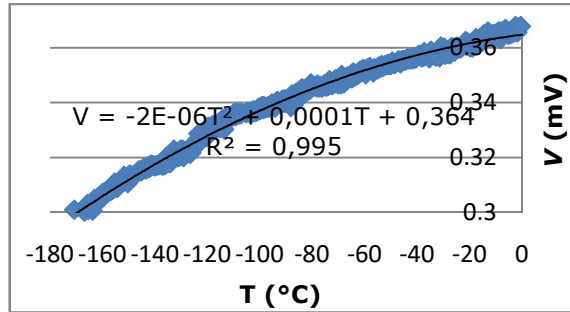
c. $V = 3,5$ volt

Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang dielectrolating pada variasi tegangan 3,5 volt.



Gambar 23. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂ pada pelapisan dengan variasi tegangan 3,5 volt.

d. $V = 4,5$ volt

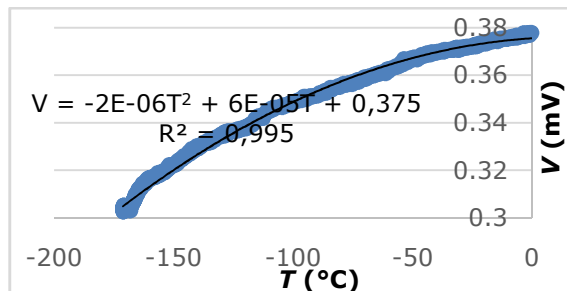


Gambar 24. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu₁/Ni₁/Cu₂/Ni₂ pada pelapisan dengan variasi tegangan 4,5 volt.

Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang dielectrolating pada variasi tegangan 4,5 volt.

e. $V = 5,5$ volt

Profil kerja RTD sebagai sensor suhu rendah pada sampel yang di-electrolating pada variasi tegangan 5,5 volt.



Gambar 25. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ pada pelapisan dengan variasi tegangan 5,5 volt.

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 $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ semakin sensitif dengan suhu rendah. Persamaan yang dihasilkan dari grafik ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 11. Persamaan polynomial orde dua, antara tegangan (V) dan suhu (T).

Tegangan (volt)	Persamaany= ax^2+bx+c
1,5	$V = -2 \times 10^{-6} T^2 + 7 \times 10^{-5} T + 0,371$
2,5	$V = -2 \times 10^{-6} T^2 + 5 \times 10^{-5} T + 0,360$
3,5	$V = -1 \times 10^{-6} T^2 + 8 \times 10^{-5} T + 0,370$
4,5	$V = -2 \times 10^{-6} T^2 + 0,0001 T + 0,364$
5,5	$V = -2 \times 10^{-6} T^2 + 6 \times 10^{-5} T + 0,375$

C. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pembuatan lapisan tipis $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$ dengan menggunakan metode *electroplating* dengan variasi tegangan deposisi (V), diperoleh kesimpulan:

1. Ketebalan lapisan pada setiap variasi tegangan mengalami peningkatan

2. Nilai resistivitas meningkat linier dengan peningkatan tegangan
3. Hasil analisis uji XRD sampel menunjukkan telah terbentuknya kristal pada lapisan Ni₂ dan Cu₂ yang tumbuhkan dengan nilai *hkl* (111), (200), dan (220).
4. Hasil uji sensor multilapisan menunjukkan kepekaan sampel RTD hingga suhu 170 °C.
5. Sampel dengan kepekaan terbaik adalah sampel dengan variasi 3,5 volt, dengan kemiringan terbaik yaitu;
 $V = -1 \times 10^{-6} T^2 + 8 \times 10^{-5} T + 0,370$

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyani, S.I.A. dan Triadi.A.A.A., 2009. Pengaruh Kuat Dan Distribusi Arus Terhadap Ketebalan dan Kekerasan Lapisan Krom Pada Stoneware dan Earthenware. *Jurnal Teknologi Elektro 2 (8)*.
- Afriany, Reny, Kusmono dan Soekrisno R., 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan Dan Waktu Pelapisan Nikel Pada Alumunium Terhadap Kekerasan. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*.
- AmiruddinM., Purnama B., 2014. Fenomena Magneto-impedansi untuk Frekuensi Rendah pada Multilayer [Ni80Fe20/Cu]N Hasil Elektrodeposisi. *JFA: 2 (10)*.
- Anonim. 2011. *Criteria For Temperature Sensor Selection Of T/C and RTD Sensor Types*. Acromag, Inc.,30765 South Wixom Road.
- Anonim. 2015. *Nikel*.
10.37.<http://en.wikipedia.org/wiki/Nikel>.
- Anonim. 2015. *Tembaga*.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Tembaga>.
- Anthony M., Velusamy V., Riordan D., and 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*.
- Basmal, Bayuseno dan Nugoho S., 2012. Pengaruh Suhu dan Waktu Pelapisan Tembaga-Nikel

pada Baja Karbon Rendah Secara Electroplating Terhadap Nilai Ketebalan dan Kekasaran. *Jurnal ROTASI 2 (14)*.

- Budi P., Nurosyid F., Abraha K., dan Sudjatmoko. 2004. Analisis Sifat Listrik dan Magnetik Lapisan Tipis Ni₈₀Fe₂₀ Hasil Deposisi Sputtering Sebagai Bahan Dasar Sensor Magnet. *Majalah Iptek 2 (15)*.
- Budiarso, N.Z., Arianto E.T. 2011. *Rancang Bangun Sistem Monitoring Tingkat Ketinggian Air Bendungan Bebas Mikrokotroller*. unisbank
- Boylestad, 2003. *Introductory Circuit Analysis, Tenth Edition*. Parential Hall Pearson Education International.
- Widodo C.S., dan Jasmadi. 2008. *Panduan Menyusun Bahan Ajar Berbasis Kompetensi*. Jakarta: PT Alex Media Komputindo.
- Chowdhury, T dan Bulbul,H. 2010. Design of a temperature sensitive voltage Regulator for AC Load Using RTD. *International Journal of Engineering Science and Technology 12 (2)*.
- Chen S., Brown L., Levendorf M., Cai W., Ju S.Y., Edgeworth J., Li X., Magnuson C., Velamakanni A., Piner R.R., Park J., Ruoff R. S. 2011. Oxidation resistance of gaphene-coated Cu and Cu/Ni alloy. *ACS Nano5 (2)*.
- Depdiknas. 2008. *Pengembangan Bahan Ajar. Sosialisasi KTSP 2008*. Jakarta: Depdiknas.
- Eckertová, L. 1986. *Physics of Thin Film*, 2nd. London: Plenum Press.

- Fraden, J. 2003. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer
- . 2010. *Handbook of Modern Sensor*. San Diego: Advanced Monitors Cooperation
- Haryadi dan Toifur, M. dan Bagus. 2014. Cow Cement Sensor Based On Coil-Resistance Temperature Detector (C-RTD) Coupled With Four Wire Configuration Bridge (4-WCB). *Jurnal 7th International Conference on Physics and Its Applications*.
- Haglund J., Korling M., Fernandez G.F., Gimvall G., 1993. Theory of bonding in transition-metal carbides and nitrides. *Journal Physical Review*.
- Halliday, D dan Resnick R., 1994. *Fisika Jilid 2*. Edisi ketiga Alih Bahasa oleh Pantur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, R. 1993. *Fundamentals of Physics*. Jakarta: Erlangga
- Hermida D.P dan Retnaningsih L. 2009. Rancang Bangun Sistem Pemanas Sensor Gas CO Berbasis Bahan SnO₂ dengan Menggunakan Teknologi Film Tebal. *Jurnal Elektronika 9 (1)*.
- Hiskia. 2007. Perkembangan Teknologi Sensor dan Aplikasinya untuk Diteksi Radiasi Nuklir. *Prosiding PPI - PDIPN 2007 Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN*.
- Ismail, I, Wicaksono B.A., Nuryani N., Purnama B., 2015. Pengaruh Jumlah Multilapisan [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]N Terhadap Efek Magnetoimpedansi Pada Kawat Cu Hasil

Elektrodeposisi. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPPF)*2 (5).

- Jikan, S.S., Abdullah S.S., Ismail M.H., Ismail N.A., Badarulzaman N.A., 2013. Multilayer of Ni/Cu Coating Produced Via Electroplating Process. *Applied Mechanics and Material*.
- Kim, J. 2001. A Study on the Fabrication of an RTD (Resistance Temperature Detector) by Using Pt Thin Film. *Korean J. Chem. Eng.*, 18 (1).
- Kim B-J., Shin H-A-S., Choi I-S., and Joo Y-C. 2011. Electrical Failure and Damage Analysis of Multi-layer Metal Films on Flexible Substrate during Cyclic Bending Deformation. *Proceedings from the 37th International Symposium for Testing and Failure Analysis, San Jose, CA, USA*.
- Mattox, D.M. 1986. *Handbook Of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing Film Formation, Adhesion, Surface Preparation And Contamination Control*. New Jersey: Noyes Publications.
- O'GadyA., 2000. Transducer/Sensor Excitation and Measurement Technique. *Analog Dialogue* 34 (5).
- Poroch M., Seritan, Cretescu I., Cojocar C., Amariei S., Suci C., 2015. Experimental Design for Modelling and Multi-response Optimization of Fe-Ni Electroplating Process. *Chemical Engineering Research and Design*.
- Rahmawati A., Winardi S., Tristiano D., 2012. Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh Dengan Tampilan Digital Dan Keluaran

Suara Berbasis Mikrokontroler AVR AT MEGA 8535. *Jurnal Monitor1* (1).

Sadeghi H., and Zolanvari A., 2009. Characterization of Annealed Ni/Cu Multilayers On SI (100). *Armenian Journal of Physics*4 (2).

Schiavone G., Murray J., Perry R., Mount A.R., Desmulliez M.P.Y., and Walton A.J., 2017. Integation of Electrodeposited Ni-Fe in MEMS with Low-Temperature Deposition and Etch Processes. *Materials*10 (3).

Smura C.F., Parker D.R., Zbiri M., Johnson M.R., Gál Z.A., Clarke S.J., 2011. High-Spin Cobalt(II) Ions in Square Planar Coordination: Structures and Magnetism of the Oxysulfides $Sr_2CoO_2Cu_2S_2$ and $Ba_2CoO_2Cu_2S_2$ and Their Solid Solution. *Journal of the American Chemical Society* 9 (4).

Supriadi H., 2010. *Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Variasi Rapat Arus Pada Hard Chrome Electroplating Terhadap Karakteristik Permukaan Baja Karbon Rendah*. *Mechanical Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 1 (1).

Toifur M., 2007. Deposition of Cu/Ag At The Various Deposition Time For Resulting The High Quality Decorative Silver. *Proceeding of The International Seminar on Natural Sciences and Applied Natural Sciences, Yogyakarta*.

Toifur M., Nuramalia A., Okimustava, Sukarelawan M.I., 2017. Pengaruh Waktu Deposisi Pada Tebal Lapisan Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi Dengan Teknik Electroplating. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*2 (7).

- Usuman I., Aardhi H., 2010. Sistem Pendeteksi Suhu dan Asap Pada Ruangan Tertutup Memanfaatkan Sensor LM35 Dan Sensor AF30. *Berkala Fisika 2 (13)*.
- Pasetyo. 2017. *Pengaruh Suhu Annealing Terhadap Sensor Suhu Rendah Lapisan Tipis Cu/Ni*. Tesis: Universitas Ahmad Dahlan.
- Prastowo, A. 2015. *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif Menciptakan Metode Pembelajaran yang Menarik dan Menyenangkan*. Yogyakarta: DIVA Press.
- Purwanto. 2006. *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Yogyakarta: Pustaka Belajar.
- Rahmawan, A.M. 2013. Rancang Bangun Sistem Telemetry Suhu Menggunakan Jaringan Wi-Fi Terakses Komputer. <http://eprints.undip.ac.id/44437/1/REPOSITORY.pdf>
- Rasyad, A dan Budiarto. 2011. Pengaruh Waktu Electroplating dan Powdercoating NiCr Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Baja Karbon SPCC-SD. *Jurnal. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Nuklir IV. Pusat Pengembangan Energi Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional*.
- Riswanto. 2015. *Analisis Resistansi Coil Kawat Tembaga Terhadap Perubahan Suhu Sangat Rendah Sebagai Rancang Dasar Pengukuran Suhu Rendah*. Tesis: Universitas Ahmad Dahlan
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Gaha Ilmu
- Shen L., Zhao K., Qiu M., Wang X., Fan M., 2018. Preparation and Properties of Nano-multilayer

Films by Rotating Jet Electrodeposition. *nt. J. Electrochem Sci.*, 1 (13).

- Sukarelawan M.I., 2015. *Rancang Bangun Eksperimen Sensor Suhu Rendah Cu/Ni Berbasis Film Tipis RTD (Resistance Temperature Detector) Dengan Metode Electroplating Menggunakan Rangkaian 4-WCB (Four Wire Configuration Bridge)*. Tesis Program Pascasarjana: UAD Yogyakarta.
- Safitri, J, dkk. 2014. Rancang Bangun Alat Ukur Resistivitas Pada Lapisan Tipis Menggunakan Metode 4 Probe Berbasis ATmega 8535 Dengan Tampilan LCD Berkarakter 2x16. *Jurnal Fisika Unand 2* (3).
- Setiawan, I. 2009. *Buku Ajar Sensor dan Transduser*. In: Sensor dan Transduser. Faculty of Engineering, Diponegoro University.
- Serway, R.A dan Jewett, J.W. 2010. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Edisi 6 Alih Bahasa Chriswan Sungkono. Jakarta: Salemba Teknika.
- Setyowati, I.Y,. dan Ramelan A.H., 2012. Pengaruh Rapat Arus Terhadap Ketebalan dan Struktur Kristal Lapisan Nikel pada Tembaga. *Indonesian Journal of Applied Physics 1* (2).
- Singgih S., 2016. *Rancang Bangun Eksperimen Pembuatan Sensor Suhu Rendah Berbasis Resistance Temperature Detector (RTD) dengan Metode Electroplating pada Variasi Konsentrasi Larutan Elektrolit dan Jarak Elektroda*. Tesis: Universitas Ahmad Dahlan.

- Sudjatmoko. 2005. Kajian Sifat Bahan Lapisan Tipis Feromagnetik Ni_xFe_{1-x} Hasil Deposisi dengan Teknik Evaporasi Hampa. *Prosiding PPI-PDIPTN*.
- Tryono, J. 2013. *Pengaruh Waktu Tahan Celup roses Electroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Pelapisan Pada Plat Baja Karbon Tinggi Dengan Variasi Tahan 10, 12 dan 14 Detik. Skripsi Tesis: Universitas Muhammadiyah Surakarta.*
- Umami,R.M.,2010. *Perancangan dan Pembuatan Alat Pengendali Asap Rokok Berbasis Mikrokontroler AT89S9252. Jurnal Neutrino2 (2).*
- Vlack, V.L.H., 1989. *Ilmu Dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam Dan Bukan Logam)*. Edisi ke lima Alih bahasa Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Widiyantoro, H. 2013. *Media Pembelajaran Sensor dan Transduser pada Progam Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Skripsi: Universitas Negeri Semarang.*
- Wijaya, A. 2012. Diakses pada tanggal 11 Februari 2017 Pukul 16:01. <http://digilib.unila.ac.id/6962/9/9.BAB%20II.%20TINJAUAN%20PUSTAKA.pdf>
- Wilson, J.S. 2005. *Sensor Technology Handbook*. Elsevier, Burlington.
- Widoyoko,E. P. 2011. *Evaluasi Progam Pembelajaran*. Jakarta: Pustaka Belajar
- . 2013. *Teknik Penyusunan Instrumen Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Belajar

Young, H.D., dan Freedman R.A., 2002. *Fisika Universitas Edisi Sepuluh Jilid 2*, Alih bahasa Endang Juliastuti. Jakarta: Erlangga.

Zhang Y. P., Yang Y. Q., Yi J. L., and Hu H. C., 2013. Diffusion Bonding of Cu-Cu with Al-Ni Nano Multilayers. *Materials Transactions*, 6 (54).

Lapisan Tipis $\text{Cu}_1/\text{Ni}_1/\text{Cu}_2/\text{Ni}_2$

**Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Sensor Suhu Rendah
dengan Metode Electroplating pada Variasi Tegangan Deposisi**

Banyak teknik dan metode yang bisa digunakan untuk menumbuhkan lapisan tipis. Satu diantaranya adalah metode elektroplating.

Penelitian yang kami lakukan adalah pembuatan lapisan tipis $\text{Cu}(1)/\text{Ni}(1)/\text{Cu}(2)/\text{Ni}(2)$ dengan menggunakan teknik elektroplating pada variasi tegangan deposisi. Sampel yang telah ditumbuhkan, kemudian dilakukan beberapa uji sampel. Yaitu, ketebalan lapisan, resistivitas, dan struktur mikro dan kepekaan suhu. Khusus uji struktur mikro, teknik yang digunakan adalah XRD, SEM dan EDX.

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

ISBN 978-602-451-625-3

