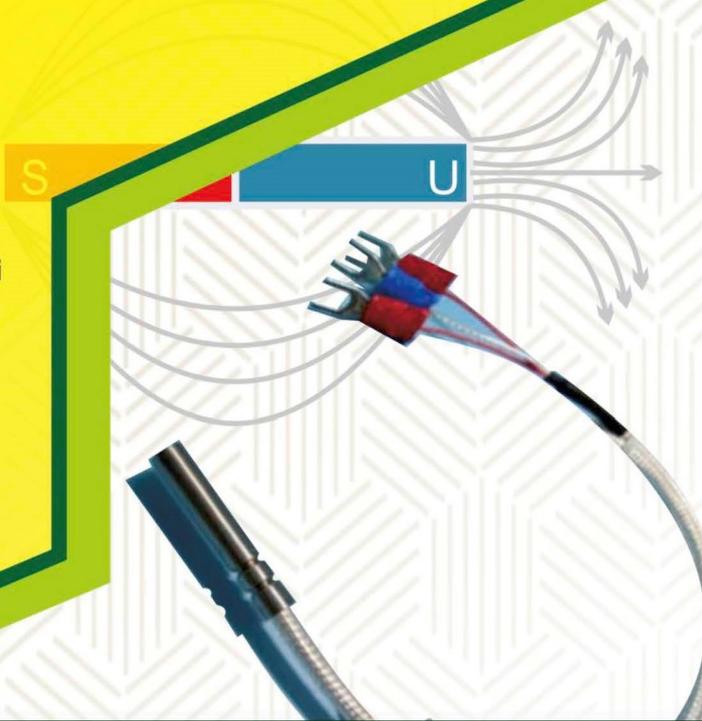


MONOGRAF

SINTESIS LAPISAN TIPIS Cu/Ni
DENGAN METODE ELEKTROPLATING
BERBANTUAN MEDAN MAGNET LUAR SEJAJAR ARUS ION

Winda Noor Santi, S.Si
Dr. Moh. Toifur, M.Si
Dr Widodo, M.Si
Okimustava, M.Pd.Si



PROGRAM STUDI MAGISTER PENDIDIKAN FISIKA
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN
YOGYAKARTA
2019

MONOGRAF

Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan magnet luar Sejajar Arus Ion

Winda Noor Santi, S.Si
Dr. Moh. Toifur, M.Si
Dr. Widodo, M.Si
Okimustava, M.Pd.Si



Penerbit K-Media
Yogyakarta, 2020

**MONOGRAF; SINTESIS LAPISAN TIPIS Cu/Ni DENGAN
METODE ELEKTROPLATING BERBANTUAN MEDAN
MAGNET LUAR SEJAJAR ARUS ION**

x + 48 hlm.; 14 x 20 cm

ISBN: 978-602-451-892-9

Penulis : Winda Noor Santi, S.Si, Dr. Moh Toifur,
M.Si, Dr. Widodo, M.Si, dan Okimustava,
M.Pd.Si.

Content Review :

Design Review :

Tata Letak : Efi Kurniasari

Desain Sampul :

Cetakan : September 2020

Copyright © 2020 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

Segala bentuk puji syukur kita sampaikan kehadirat Allah SWT, yang tiada henti memberikan segala nikmat dan rahmat serta kekuatan untuk menjalani hidup sebagai khalifah di bumi. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada nabi besar Muhammad SAW keluarga, sahabat, dan pengikutnya. Alhamdulillah penyusunan buku monograf yang berjudul, “Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni Dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Luar Sejajar Arus Ion “.

Penyusunan bukumonografini terwujud atas bantuan dan dukungan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Manfaat penyusunan monograf ini diharapkan dapat membantu kelancaran mahasiswa dalam melakukan sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni pada penelian khususnya padafisika material. Tulisan ini merupakan hasil penelitian dari tesis dengan judul Lapisan Tipis Cu/Ni Dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Luar Sejajar Arus Ion.

Pada buku monograf ini akan disajikan cara sintesislapisan tipis CuNidenganmetode electroplating berbantuanmedan magnet Luar sejajar arus ion. Kemudian dari hasil lapisan tipis Cu/Ni tersebut dilakukan beberapa karakterisasi untuk memperoleh hasil yang terbaik..Dari hasil yang terbaik kemudian diuji cobakan sebagai sensor suhurendah.

Saya menyadari penyusunan monograf ini tidak lepas dari kekurangan dan jauh dari kata sempurna, oleh karna itu dengan kerendahan hati, saya meminta kritik, saran, dan masukan yang membangun demi perbaikan penyusunan yang selanjutnya.Akhirnya semoga dengan hadirnya monograf ini dapat membantu untuk dijadikan sebagai rujukan, pedoman,

dan menambah khazanah ilmu, bagi semua pihak yang berkenan membacanya.

Yogyakarta, 1 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
PENDAHULUAN	1
ELEKTROPLATING	3
A. Sensor suhu	3
B. <i>Resistance Temperature Detector</i> (RTD)	3
C. Lapisan tipis (<i>thin film</i>)	3
D. Material tembaga (Cu) dan nikel (Ni)	4
1. Tembaga	4
2. Nikel	4
3. Karakter material dalam suhu rendah (liquid nitrogen)	5
E. Elektroplating	5
F. Magnetohydrodynamics	7
G. Four-point probe (FPP)	7
H. Resisitivitas	8
I. Susunan atom dalam bahan padat	9
1. Kristal	9
2. Bidang kristal	10
3. Difraksi sinar X	11
EKSPERIMEN	13
A. Instrumen Penelitian	14
1. Preparasi sampel	14
2. Proses electroplating berbantuan medan magnet sejajar arus ion	15
3. Karakterisasi lapisan tipis	16
B. Langkah-langkah pengujian	17
1. Preparasi sampel	17
2. Proses elektroplating	18
3. Kinerja sensor	22
C. Analisis data	23

1.	Menentukan Tebal Lapisan	24
2.	Analisis Karakteristik Struktur Mikro	27
3.	Menentukan Resistivitas Lapisan	34
4.	Uji Kinerja Sensor	38
PENUTUP		42
A.	Kesimpulan	42
B.	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sel elektrolit untuk elektrodeposisi logam M dari larutan MA garam logam (Paunivic dan Mordehay, 1998)	6
Gambar 2. Skema alat <i>Four Point Probe</i> (Toifur, 2007)	8
Gambar 3. a) sel satuan dan b) konstanta kisi (a)	9
Gambar 4. Indeks miller pada a) bidang kristal dan b) arah bidang.	10
Gambar 5. Rangkaian alat proses elektroplating	18
Gambar 6. Grafik Intensitas Vs Medan Magnet	19
Gambar 7. Skema <i>Probe</i> empat titik	21
Gambar 8. Rangkaian alat kinerja sensor suhu rendah	22
Gambar 9 .a. Desain penelitian lapisan tipis Cu/Ni dengan a). bagian litografi dan b). bagian <i>square</i> , b. hasil cetak desain dengan <i>cutting sticker</i> dan c. hasil pelapisan deposit Ni.	23
Gambar 10. Grafik hubungan ketebalan lapisan Ni terhadap medan magnet.	27
Gambar 11. Grafik difraktogram untuk material Cu	28
Gambar 12. . Grafik difraktogram untuk material Ni	29
Gambar 13. difraktogram untuk variasi B	30
Gambar 14. Grafik analisis XRD untuk Intensitas dan Medan Magnet	31
Gambar 15. Grafik analisis XRD untuk Jarak antar bidang (d) dan Medan Magnet	32
Gambar 16 Grafik analisis XRD untuk grain size dan Medan Magnet.	33
Gambar 17. Grafik hubungan resistivitas dengan tegangan deposisi	35
Gambar 18. Grafik hubungan antara ΔR_s Cu/Ni dan Cu terhadap variasi B	38
Gambar 19. Grafik hubungan tegangan sensor dengan suhu	40
Gambar 20. Grafik hubungan antara V dan T pada sampel variasi B 150 G	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat fisika tembaga (Cu)	4
Tabel 2. Sifat fisis Nikel (Ni)	5
Tabel 3. Hasil analisis XRD	20
Tabel 4. Tabulasi data penentuan Resistivitas listrik lapisan tipis.	21
Tabel 5. Tabulasi data analisis sensor suhu	23
Tabel 6. Data massa untuk setiap sampel dengan variasi kuat medan magnet	25
Tabel 7. Hasil nilai ketebalan Lapisan Tipis Cu/Ni untuk setiap variasi Medan Magnet	26
Tabel 8. Data crystallography untuk material Cu	29
Tabel 9. Data crystallography untuk material Ni	29
Tabel 10. Nilai resistivitas keping Cu	36
Tabel 11. Nilai resistivitas keping lapisan tipis Cu/Ni	37

PENDAHULUAN

Pengembangan sistem pengontrol suhu belum banyak digunakan untuk menunjang peningkatan kinerja alat pada aktivitas sehari-hari. Sensor suhu dapat membantu mendeteksi temperatur pada suatu benda atau ruang yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang yakni bidang industri, bidang pendidikan, dan pada bidang medis. Salah satu contoh pemanfaatan sensor suhu pada bidang medis yaitu teknologi *cryonic*. *Cryonics* merupakan metode pengawetan pada suhu dingin menggunakan zat *cryoprotectant* dalam nitrogen cair (Pandhi, 2015; Budiayanti, 2016; Thomson, 2016). Pentingnya nitrogen cair pada teknologi *cryonics*, berpengaruh terhadap terjaganya sel-sel tubuh untuk tetap hidup meskipun orangnya telah meninggal (Cron, 2014) sehingga memungkinkan untuk memberikan kehidupan kedua bagi manusia (Gunawan, 2018).

Perkembangan Pengawetan bahan dengan menggunakan media nitrogen cair dapat mengalami kerusakan, hal ini dapat diakibatkan oleh nitrogen cair yang berada didalam tabung pengawetan menguap keluar. Oleh karena itu untuk mengatasi kerusakan bahan tersebut, dibutuhkan suatu detektor untuk mengukur suhu yang ada di dalam media nitrogen cair.

Salah satu detektor suhu yang dapat digunakan untuk mengukur nitrogen cair adalah dengan lapisan tipis berbahan dasar Cu dan Ni. Akan tetapi pada penelitian terkait sensor lapisan tipis Cu/Ni masih memiliki kekurangan, yaitu lapisan Ni yang didepositkan tidak memiliki struktur yang homogen, sehingga pada penerapannya sebagai sensor, bahan tersebut memiliki sifat yang belum maksimal.

Permukaan lapisan deposit Ni yang tidak homogen mencoba diperbaiki dengan menggunakan penambahan medan magnet luar pada proses deposisi. Hal ini diharapkan dengan menggunakan medan magnet ion Ni yang berada di dalam larutan elektrolit akan bergerak dengan teratur sesuai dengan prinsip *magnetohydrodynamics* sehingga akan memperoleh lapisan tipis yang homogen. Penelitian ini dilakukan beberapa variasi Medan magnet luar yang sejajar dengan arus iom pada besar medan 0 – 250 G interval 50 G.

ELEKTROPLATING

Bagian kajian teori ini berisikan tentang pemaparan beberapa materi atau teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Teori-teori yang dibahas antara lain

A. **Sensor suhu**

Sensor merupakan sebuah perangkat yang dapat mendeteksi perubahan stimulus/rangsangan (*input*) dan mengubahnya menjadi sinyal (listrik) yang dapat diukur atau direkam (*output*) Fraden (2016).

B. ***Resistance Temperature Detector (RTD)***

Resistance Temperature Detector (RTD) atau dikenal dengan Detektor Temperatur Tahanan adalah sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai temperatur atau suhu suatu sistem dengan menggunakan elemen sensitif berupa kawat platina, tembaga, atau nikel (Raharjo dan Toifur, 2014). RTD dapat dibuat dengan menggunakan coil dan thin film.

C. **Lapisan tipis (*thin film*)**

Lapisan tipis (*thin film*) merupakan lapisan dari bahan logam yang ketebalannya kisaran dari orde angstrom sampai micron. 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 adalah electroplating,

D. Material tembaga (Cu) dan nikel (Ni)

1. Tembaga

Tembaga (Cu) berada pada golongan IB periode ke IV dengan konfigurasi elektronnya adalah $[Ar] 3d^{10} 4s^1$ dan tergolong pada unsur jenis logam transisi. Sifat fisis 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 $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ pada 25°C
Resistivitas listrik	16,78 n $\Omega\cdot\text{m}$ pada 20°C
Elektronegativitas	1,90
Jari-jari atom	128 pm

(sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/tembaga>)

2. Nikel

Nikel (Ni) adalah unsur kimia metalik yang memiliki 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] 3d⁸ 4s² dan tergolong dalam unsur jenis logam transisi. Sifat-sifat fisika nikel tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisis Nikel (Ni)

Kriteria	Spesifikasi
Fase	Solid
Titik lebur	1455oC
Titik didih	2913oC
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 25oC
Resistivitas listrik	69,3 n Ω .m pada 20oC
Elektronegativitas	1.91
Jari-jari atom	124 pm

(sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/nikel>)

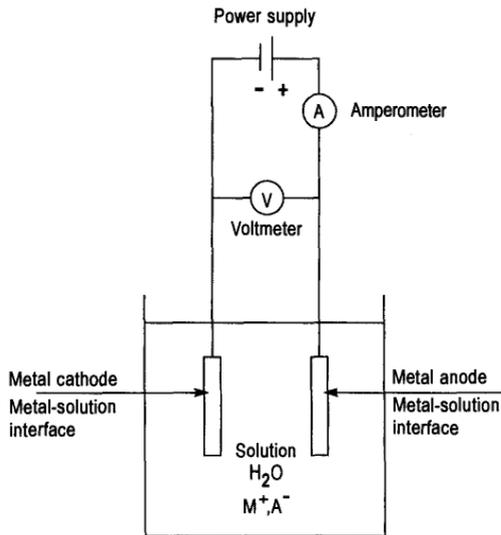
3. Karakter material dalam suhu rendah (liquid nitrogen)

Bahan logam atau material memiliki karakteristik yang berbeda pada setiap perubahan suhu, baik dalam suhu tinggi maupun rendah, dan sangat rendah. Karakter dari bahan material pada suhu yang sangat rendah $\leq -130\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam pembahasan *cryogenics*.

E. Elektroplating

Elektroplating merupakan metode pelapisan logam yang didasarkan pada reaksi reduksi dan oksidasi. Pemberian arus searah ke dalam larutan menyebabkan

terjadi proses reduksi pada katoda dan anoda seperti Gambar 1.



Gambar 1. Sel elektrolit untuk elektrodeposisi logam M dari larutan MA garam logam (Paunivic dan Mordechay, 1998)

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 elektrolit yang digunakan pada elektrolisis dan elektrodeposisi disebut dengan *plating bath*. Ketika proses deposisi berlangsung, arus mengalir dari ion positif pada larutan elektrolit menuju ke katoda dan pada bagian anoda terjadi proses penyeimbangan ionik dengan

cara logam pada anoda melepas ion menuju ke larutan elektrolit. Pada anoda karena menerima elektron akan terjadi reduksi sedangkan pada katoda karena kehilangan elektron terjadi oksidasi.

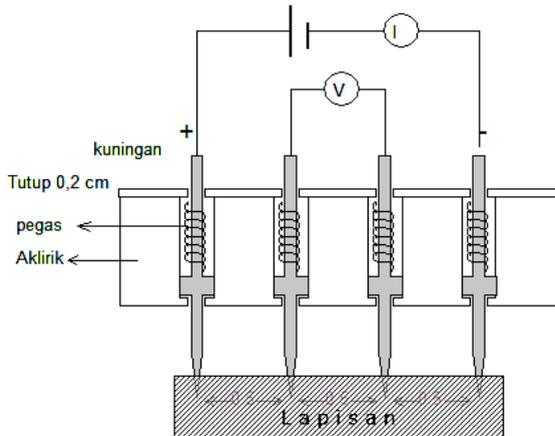
F. *Magnetohydrodynamics*

Dengan memberikan medan magnet luar pada proses elektroplating maka terdapat interaksi antara tiga gaya pada sistem yang bergantung pada interaksi antara ion-ion yang bergerak dengan medan magnet yakni gaya elektrokinetik (\vec{F}_E), dan gaya hambat magnetik (\vec{F}_D), dan gaya Lorentz per satuan volume (\vec{F}_L).

Efek magnetohydrodynamics juga menyebabkan aliran turbulen disekitar katoda yang mendorong peningkatan transfer ion zat pelapis. Butir kristal yang ditumbuhkan juga lebih seragam dan memiliki permukaan yang halus selama arus konveksi mengantarkan cukup ion logam pelapis untuk tiap butir selama proses pertumbuhan kristal.

G. *Four-point probe (FPP)*

Four-Point Probe (FPP) adalah alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistivitas lapisan tipis. Model probe empat titik ditunjukkan Gambar 2. Arus listrik yang konstan dialirkan sepanjang permukaan sampel melalui dua probe terluar



Gambar 2. Skema alat *Four Point Probe* (Toifur, 2007)

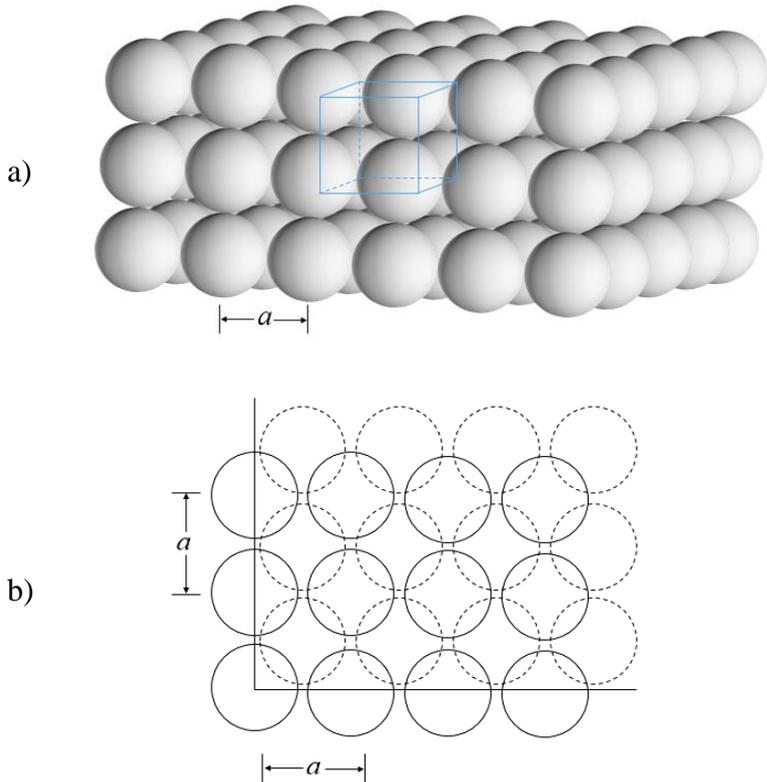
Prinsip kerja alat ini didasarkan pada arus listrik yang dialirkan melalui *probe* yang memancar dari ujung *probe* ke lapisan tipis sehingga beda potensial dapat terukur pada kaki dua dan tiga *probe*.

H. Resistivitas

Resistivitas merupakan kan elemen dasar untuk mengklasifikasikan suatu bahan, apakah berada dalam bentuk konduktor, semikonduktor atau isolator. Sifat resistivitas listrik pada logam disebabkan oleh sifat yang dimiliki logam.

I. Susunan atom dalam bahan padat

1. Kristal

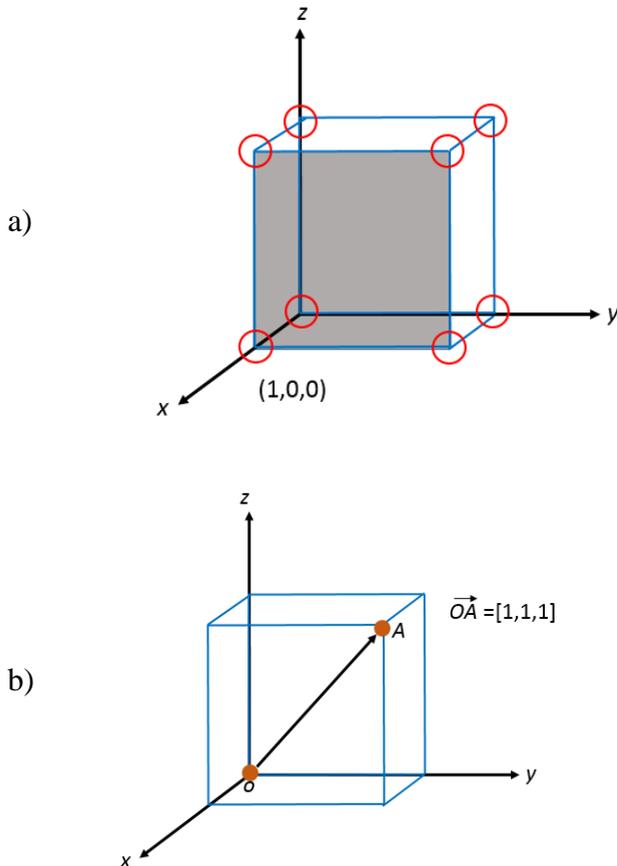


Gambar 3. a) sel satuan dan b) konstanta kisi (a)

Bahan logam dapat berbentuk kristal ketika bahan tersebut membeku atau membentuk zat padat. Atom-atom pada zat padat yang tersusun secara teratur dan berulang dalam pola 3-Dimensi disebut sebagai kristal (Vlack, 1985). Karena pola atom kristal tersusun secara berulang maka dapat dibagi menjadi sel satuan

(Smart & Moore, 2005) dalam kisi kristal dengan jarak yang disebut dengan konstanta kisi (a) (Gambar 4) dalam ketiga arah koordinat.

2. Bidang kristal



Gambar 4. Indeks miller pada a) bidang kristal dan b) arah bidang.

Bidang kristal adalah bidang-bidang atom dalam suatu kisi kristal. Arahnya tegak lurus terhadap bidang kristal yang disebut sebagai arah kristal. Bidang-bidang dalam atom berpengaruh terhadap sifat dan karakter dari suatu bahan. Bidang dan arah bidang dinyatakan dalam 3 angka yang disebut sebagai indeks miller, dimana pada arah bidang menggunakan simbol $[h,k,l]$ dan pada bidang kristal memiliki lambang (h,k,l) (Kittel, 2005) yang ditampilkan pada Gambar 4.

3. Difraksi sinar X

Sinar-X adalah radiasi elektromagnet dengan panjang gelombang yang ordenya sebesar 0,1 nm (atau 1\AA). Apabila pada suatu bahan ditembakkan 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 persamaan hukum Bragg. Dimana perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang ($n\lambda$) seperti pada persamaan (2.16) (Patterson & Bailey, 2010).

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.21)$$

dengan n adalah bilangan butat 1, 2, 3, ...,
sedangkan λ adalah panjang gelombang sinar-X, d
adalah jarak antar bidang kristal, dan θ adalah sudut
difraksi.

EKSPERIMEN

Pada bab ini akan diuraikan eksperimen Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni Dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Luar Sejajar Arus Ion. Saat penelitian pengambilan data dilakukan di dua tempat yang berbeda yaitu:

1. Proses pembuatan sampel lapisan tipis Cu/Ni berbantuan medan magnet luar, karakterisasi resistivitas keping, dan uji kinerja sensor suhu dilakukan di Laboratorium Pascasarjana Pendidikan Fisika Kampus 2 Universitas Ahmad Dahlan Jalan Pramuka No. 42, Sidikan, Umbulharjo, Yogyakarta.
2. Karakterisasi struktur mikro XRD untuk lapisan tipis Cu/Ni berbantuan medan magnet luar dilakukan di Laboratorium Kimia Dasar Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta.

A. Instrumen Penelitian

1. Preparasi sampel

a. Alat penelitian

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

b. Bahan Penelitian

- 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 papan tembaga 0,3 mm
- 5) Papan tembaga 0,3 mm
- 6) Pelat nikel untuk bahan pengotor atau bahan yang dilapiskan
- 7) Plastik klip untuk menyimpan sampel
- 8) Pasta gigi untuk membersihkan sampel

- 9) Spidol permanen untuk memberikan label pada sampel
- 10) Tisu sebagai pengering sampel
- 11) Aceton untuk membersihkan bekas Cutting sticker
- 12) Feriklorit sebagai pelarut
- 13) Double tip sebagai perekat sampel pada baki
- 14) Autosol untuk mengkilapkan sampel

2. Proses electroplating berbantuan medan magnet sejajar arus ion

a. Alat penelitian

- 1) Bak plating sebagai penampung larutan elektrolit.
- 2) Rectifier sebagai sumber tegangan *DC*.
- 3) Pemanas (*heater*) sebagai pemanas larutan elektrolit.
- 4) pH-meter untuk mengukur pH larutan yang digunakan.
- 5) Termometer untuk mengukur suhu larutan elektrolit.
- 6) *Current probe* untuk mengukur arus yang digunakan pada proses deposisi.
- 7) Neraca ohaus untuk menimbang lapisan tembaga sebelum dan sesudah proses plating.
- 8) *Magnetic stirrer* untuk mengaduk larutan.
- 9) Medan magnet untuk memberikan pengaruh ketika proses deposisi.
- 10) Kabel penghubung sebagai penghubung aliran arus listrik.
- 11) *Stopwatch* untuk mengukur waktu pada proses deposisi.

b. Bahan Penelitian

- 1) Papan *tembaga* 0,3 mm
- 2) Anoda nikel sebagai pelapis tembaga.
- 3) Asam borak (H_3BO_3) sebanyak 40 g l^{-1} sebagai pengontrol pH larutan elektrolit.
- 4) Nikel Sulfat (NiSO_4) sebanyak 260 g l^{-1} sebagai campuran larutan untuk pembuatan larutan elektrolit.
- 5) Nikel klorida (NiCl_2) sebanyak 60 g l^{-1} sebagai campuran larutan untuk pembuatan larutan elektrolit.
- 6) *Aquadest* sebagai pengencer larutan elektrolit.
- 7) Tisu untuk membungkus sampel.

3. Karakterisasi lapisan tipis

Karakterisasi merupakan pengujian terhadap lapisan yang dibuat, hal ini bertujuan untuk mengetahui karakter atau sifat pada hasil lapisan deposit yang terbentuk. Karakterisasi lapisan tipis Cu/Ni dilakukan dengan menggunakan uji struktur mikro dengan XRD, uji resistivitas keping dan dengan uji sensor. Alat pendukung yang dibutuhkan untuk karakterisasi lapisan tipis antara lain:

- a) Substrat Cu dan sampel Cu/Ni
- b) XRD
- c) Sumber tegangan DC
- d) *Probe* empat titik
- e) Amperemeter
- f) Voltmeter

- g) Kabel penghubung
- h) Tabung nitrogen cair
- i) Labquest dari vernier
- j) *Termocouple* sebagai pendeteksi perubahan suhu
- k) Laptop dengan software logger pro

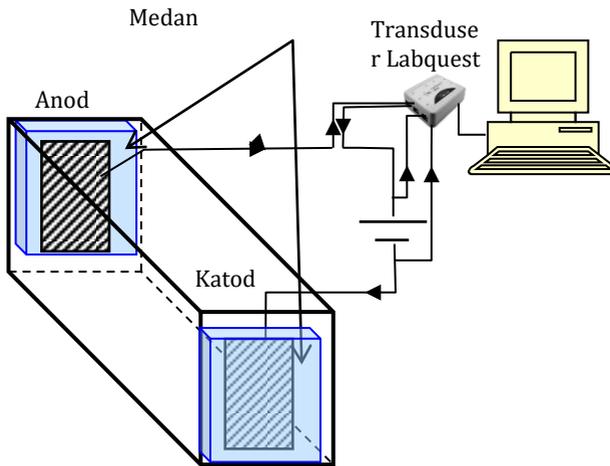
B. Langkah-langkah pengujian

1. Preparasi sampel

- a. Menyiapkan papan tembaga 0,3 mm
- b. Menyiapkan desain sampel yang dibuat pada *cutting sticker*.
- c. Menempelkan *cutting sticker* di atas papan tembaga.
- d. Melarutkan hasil desain yang telah dicetak ke dalam larutan feriklorit (FeCl_3), kemudian dibersihkan dengan air.
- e. Mengupas *cutting sicker* dan membersihkan sisa-sisa *cutting sticker* dengan *acetone*.
- f. Memotong plat tembaga 0,3 mm dengan menyesuaikan hasil cetakan yaitu $10 \times 1,3$ cm.
- g. Menghaluskan bagian pinggir potongan pada plat tembaga 0,3 mm dengan menggunakan kikir.
- h. Mengamplas permukaan sampel dimulai dari nomor 180 cw, 1000 cw, dan 2000 cw.
- i. Membersihkan permukaan sampel menggunakan autosol sampai bersih.
- j. Mencuci sampel menggunakan pasta gigi dengan cara menyikat bagian permukaan seluruh sampel menggunakan sikat gigi.
- k. Membilas sampel dengan aquades.
- l. Mencuci sampel dengan alkohol menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 6 menit.

- m. Memberikan tanda atau label pada sampel dengan cara menuliskan nama di bagian *fiber*.
- n. Mengeringkan sampel menggunakan *hair dryer*.
- o. Membungkus sampel dengan tisu, kemudian menyimpan sampel ke dalam plastik klip.

2. Proses elektroplating



Gambar 5. Rangkaian alat proses elektroplating

- a. Merangkai alat seperti pada Gambar 5.
- b. Memanaskan larutan menggunakan kompor listrik (*Heater*) sampai pada suhu 60 °C.
- c. Mengatur medan magnet dalam keadaan 0 G.
- d. Menghubungkan sensor arus pada rangkaian.
- e. Mengubungkan sensor arus pada labpro dan laptop.
- f. Meletakkan Cu pada katoda dan Ni pada anoda.
- g. Memulai pelapisan Ni dengan waktu pelapisan dengan waktu 60 s.

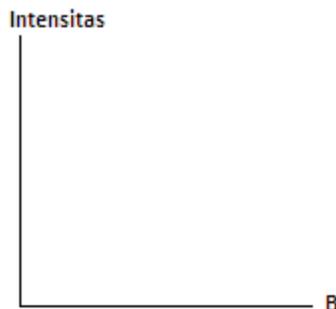
- h. proses deposisi untuk perubahan medan magnet dari 50 G sampai 250 G dengan kenaikan 50 G dengan arah magnet dan arus sejajar ($B // E$)

2. Karakterisasi lapisan tipis

a. Uji struktur mikro dengan XRD

- 1) Memasang sampel pada alat diffractometer dengan sudut θ terhadap sinar datang.
- 2) Memasang catu daya hingga terjadi pancaran sinar-X
- 3) Mengamati intensitas sinar-X yang terpantul dari sampel melalui alat diffractometer.
- 4) Memutar sampel beserta alat pendeteksi di sudut-sudut yang lain.

Dari hasil dari uji struktur Kristal dari XRD dibuat grafik difaktogram untus Intensitas Vs Medan magnet seperti pada Gambar 6 kemudian dicocokkan dengan data material Cu dan Ni.



Gambar 6. Grafik Intensitas Vs Medan Magnet

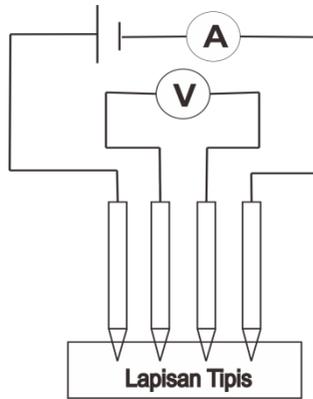
Kemudian dari hasil XRD dianalisis untuk menentukan Intensitas, jarak antar bidang, dan grain size dengan membuat tabel seperti pada Tabel. 3

Tabel 3. Hasil analisis XRD

Sampel	B (G)	2 θ (°)	d(hkl)	FWHM (°)	I (cps)	GS
A	0					
B	50					
C	100					
D	150					
E	200					
F	250					

b. resistivitas keping

- 1) Merangkai dan menyusun alat seperti gambar 7.
- 2) Lapisan Cu atau Cu/Ni diletakkan pada tempat bahan pada alat probe empat titik.
- 3) Menghidupkan Sumber tegangan DC.
- 4) Mengubah tegangan secara perlahan-lahan dengan cara memutar knop tegangan.
- 5) Mencatat nilai tegangan dan arus yang terukur selama pengukuran dan mentabulasinya ke dalam tabel 4.

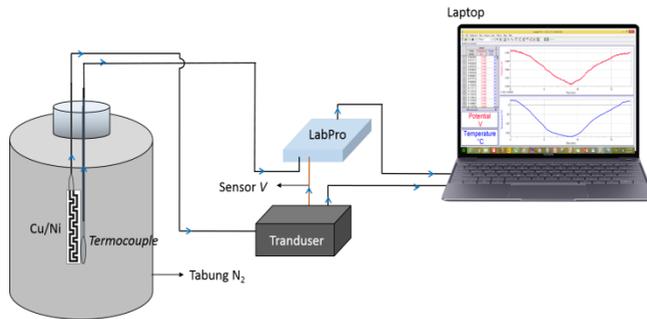


Gambar 7. Skema *Probe* empat titik

Tabel 4. Tabulasi data penentuan Resistivitas listrik lapisan tipis.

No	Kuat Arus (A)	Tegangan (Volt)
1		
2		
3		
4		
5		

3. Kinerja sensor



Gambar 8. Rangkaian alat kinerja sensor suhu rendah

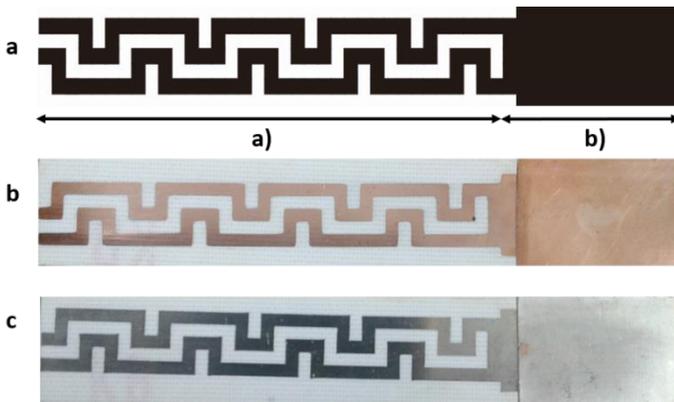
Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan yaitu:

- Merangkai alat seperti pada gambar 8,
- Membuka aplikasi logger pro,
- Mengatur waktu pengambilan data dan jenis pengukuran suhu rendah pada logger pro,
- Mengambil data kinerja sensor dengan cara memasukkan dan mengeluarkan sensor Cu/Ni bersama dengan *termocouple* secara perlahan,
- Mengamati perubahan tegangan untuk setiap perubahan suhu yang terukur oleh termocouple yang ditabulasikan seperti pada tabel 5,
- Mengulangi langkah c sampai d untuk sampel Cu/Ni dengan variasi medan magnet yang lain.

Tabel 5. Tabulasi data analisis sensor suhu

	t (waktu)	T ($^{\circ}\text{C}$)	V_{output} (volt)
1			
2			
3			

C. Analisis data



Gambar 9 .a. Desain penelitian lapisan tipis Cu/Ni dengan a). bagian litografi dan b). bagian *square*, b. hasil cetak desain dengan *cutting sticker* dan c. hasil pelapisan deposit Ni.

Pada Gambar 9 ditampilkan foto desain substrat Cu, Substrat Cu sebelum dan setelah dilapisi Ni. Pada Gambar. 9.a merupakan desain substrat Cu menggunakan *cutting sticker* yang terdiri dari bagian litografi dan *square*. Pada gambar 9.b substrat Cu terlihat berwarna coklat kemerahan, sedangkan pada Gambar 9. c warna permukaan substrat menjadi putih keperak-perakan setelah dilakukan proses electroplating berbentuk medan magnet luar sejajar arus ion dengan

prosesnya mengikuti tahap preparasi sampel dengan jumlah 6 sampel.

1. Menentukan Tebal Lapisan

Tebal lapisan Ni dihitung melalui langkah berikut:

- menimbang massa sebelum deposisi Ni sebagai m_1 dan setelah deposisi Ni sebagai m_2 sehingga diperoleh $m_1 = (m \pm \Delta m)$ dan $m_2 = (m \pm \Delta m)$.
- Menentukan selisih dari massa (W) dengan mengurangi m_2 dengan m_1 .
- Menentukan ketebalan lapisan yang terbentuk (δ) melalui persamaan:

$$\delta = \frac{W}{\rho A} \quad (3.1)$$

dengan ralatnya (s_δ) memenuhi:

$$s_\delta = \sqrt{\left(\frac{\partial \delta}{\partial W} S_w\right)^2} = \frac{1}{\rho A} S_w \quad (3.2)$$

Penimbangan massa substrat tembaga sebelum dideposisi dan setelah dideposisi Ni dilakukan dengan menggunakan pengukuran tunggal. Oleh karena itu S_w adalah $\frac{1}{2}$ skala terkecil pada alat ukur yang digunakan.

Tebal lapisan Ni yang terbentuk di atas substrat Cu, dapat diketahui dengan menggunakan persamaan

(3.1). Nilai W merupakan selisih massa sesudah dan sebelum deposisi Ni, seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Data massa untuk setiap sampel dengan variasi kuat medan magnet

B (G)	m_1 (gr)	m_2 (gr)	Δm (gr)
0	1.77596	1.7913	0.0153
50	1.82268	1.83812	0.0154
100	1.81828	1.83388	0.0156
150	1.84382	1.85882	0.0150
200	2.04272	2.05846	0.0157
250	2.02674	2.04214	0.0154

Keterangan: m_1 adalah massa sebelum deposisi Ni, m_2 adalah massa setelah deposisi Ni dan Δm adalah selisih massa.

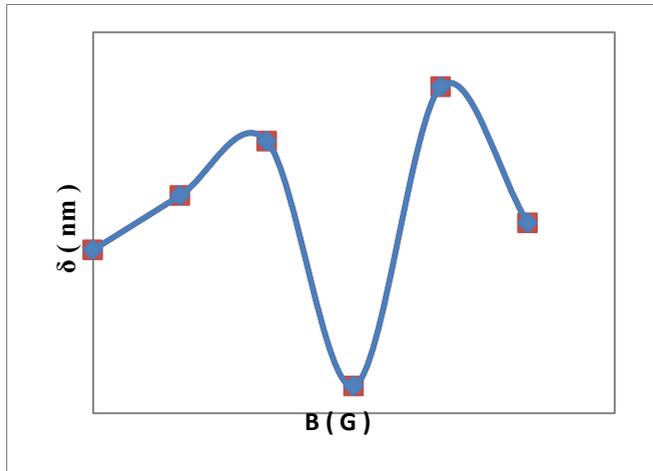
Berdasarkan Tabel. 6 diketahui bahwa terdapat penambahan massa pada variasi medan magnet 0 G hingga 250 G sehingga persamaan (2.3) dapat digunakan. Hasil deposisi Ni pada substrat Cu telah terbentuk dan dapat dilihat secara fisik yang ditandai perubahan warna di atas substrat Cu serta adanya penambahan massa seperti pada Tabel 7.

Dari nilai perubahan massa maka dapat diperoleh nilai ketebalan untuk setiap sampel. Berdasarkan hasil penelitian ini nilai ketebalan sebanding dengan variasi medan magnet luar sejajar arus ion yang ditampilkan pada Tabel 7 dan Gambar 10.

Tabel 7. Hasil nilai ketebalan Lapisan Tipis Cu/Ni untuk setiap variasi Medan Magnet

No.	Sampel	B (G)	δ (nm)
1	A	0	226
2	B	50	228
3	C	100	230
4	D	150	221
5	E	200	232
6	F	250	227

Pada Tabel 7 terlihat bahwa diperoleh nilai tebal lapisan yang terbentuk untuk setiap sampel berada pada orde nano sehingga dapat dikatakan sebagai lapisan tipis Cu/Ni. Lapisan Ni yang terbentuk merupakan ion Ni dari ion Ni yang letaknya dekat dengan katoda (Cu) sehingga menyebabkan penumpukan ion Ni pada tembaga. Dengan melakukan proses electroplating hal ini juga memungkinkan terjadinya penumbuhan lapisan Ni pada Cu dimulai dari reaksi ion-ion Ni dengan permukaan Cu sehingga terbentuk struktur tegang (Strained structur) dilanjutkan pembentukan kluster kemudian lapisan. Kejadian ini berulang sehingga terbentuk lapisan yang lebih tebal (Toifur, 2017).



Gambar 10. Grafik hubungan ketebalan lapisan Ni terhadap medan magnet.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa nilai ketebalan sampel bertambah dengan bertambahnya kuat medan magnet tetapi tidak untuk sampel D dan F. Penurunan ketebalan pada sampel D dan F dapat disebabkan karena lintasan ion Ni mengalami gerakan helik yang melebar ketika menuju anoda dan menyebabkan lapisan semakin tipis (Khusnani, 2019). Penyebab lain adalah medan magnet yang digunakan merupakan medan magnet lemah dan besarnya tidak sebanding dengan medan listrik, sehingga proses tranfer massa tidak dapat terjadi dengan baik (Fahidy, 1983).

2. Analisis Karakteristik Struktur Mikro

Uji struktur mikro yang akan dilakukan adalah dengan melihat data puncak (peak list) yang dihasilkan. Dengan melakukan analisis terhadap tampilan puncak

difraktograf dapat diketahui teratur atau tidaknya lapisan Ni yang terbentuk. Kemudian untuk ukuran kristal (D) ditentukan melalui formula Scherrer:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \vartheta} \quad (3.3)$$

Dengan:

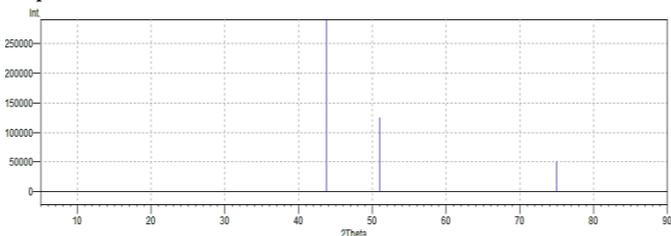
K = konstanta Scherrer yang besarnya 0,94.

λ = panjang gelombang sinar X yang digunakan yakni sebesar 0,15406 nm.

β = lebar dari setengah puncak pola difraksi (FWHM) dalam radian.

ϑ = posisi puncak dalam radian.

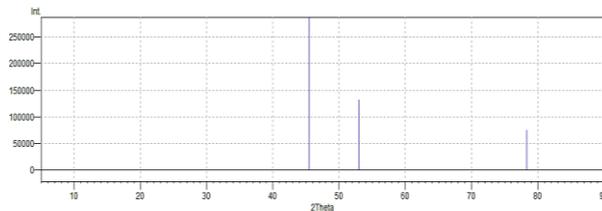
Uji struktur mikro pada lapisan tipis Cu/Ni dilakukan menggunakan XRD (X-Ray Diffraction) dengan hasil berupa difraktogram dari lapisan tipis Cu/Ni. sebagai data acuan atau pembanding diambil data dari sampel crystallography dari bahan Cu dan Ni yang ditampilkan pada Gambar 11 dan Gambar 12, sedangkan sudut pada puncak difraksi ditampilkan pada Tabel 8 dan Tabel 9.



Gambar 11. Grafik difraktogram untuk material Cu

Tabel 8. Data crystallography untuk material Cu

No.	2θ	D	Intensitas (cps)	h	k	L
1	43.738	2.068	290592.6	1	1	1
2	50.949	1.791	125628.8	0	0	2
3	74.928	1.2664	52402.94	0	2	2



Gambar 12. . Grafik difraktogram untuk material Ni

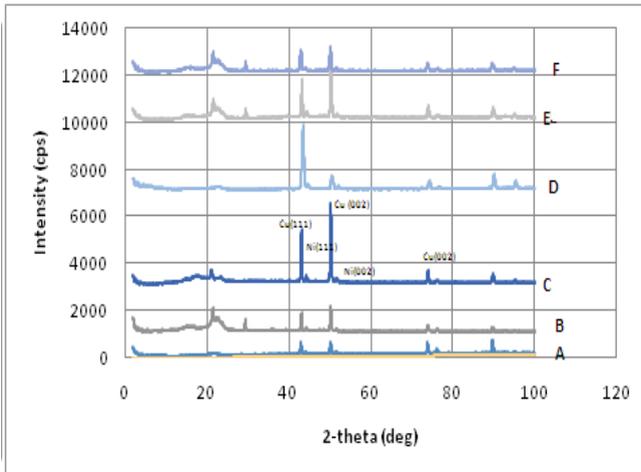
Tabel 9. Data *crystallography* untuk material Ni

No.	2θ	D	Intensitas (cps)	h	k	L
1	45.502	1.9919	286935.6	1	1	1
2	53.045	1.725	132844.2	0	0	2
3	78.324	1.2198	75484.48	0	2	2

Berdasarkan data *crystallography* diketahui bahwa kedua material Cu dan Ni memiliki selisih sudut yang kecil. Menurut Schleich secara atomik Cu dan Ni memiliki radius dan parameter kisi yang hamper sama dan memiliki struktur Kristal fcc (*face-center-cubic*).

Hasil pengujian struktur mikro pada sampel penelitian dengan alat XRD Rigaku Muniflex 600 menggunakan Cu K-α dengan panjang gelombang 1.

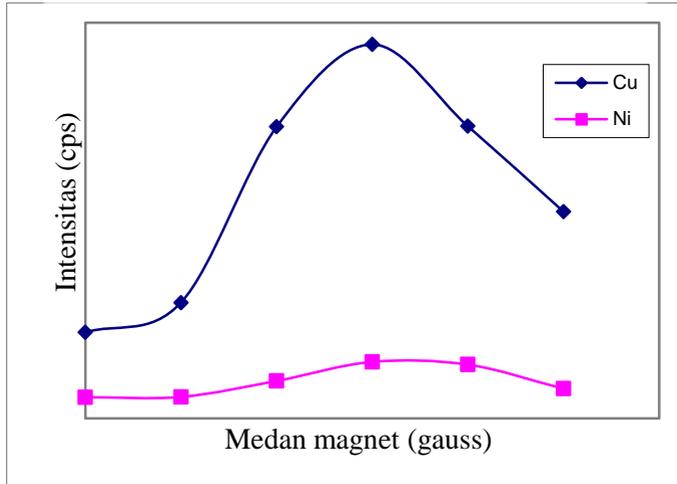
5406 Å, 40 KW dan 15 mA, dengan energi yang digunakan adalah 8.04 keV seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. difraktogram untuk variasi B

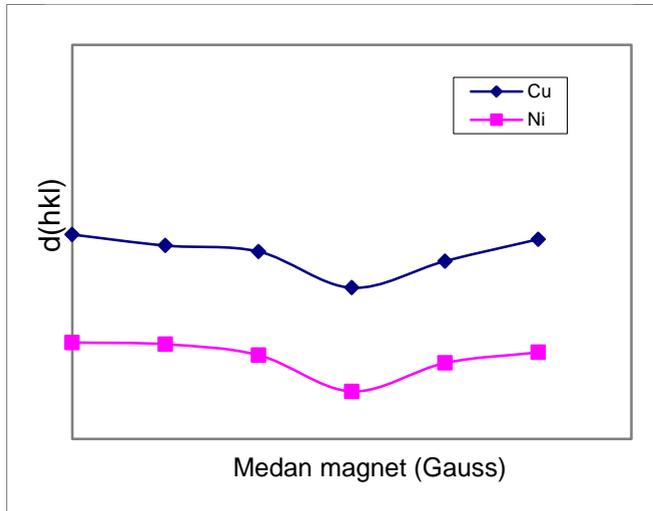
Dari Gambar 13 ditampilkan pola difraksi sinar-X sampel lapisan tipis Cu/Ni hasil elektroplating variasi medan magnet. Dari pola tersebut dapat diidentifikasi adanya beberapa fasa berstruktur Kristal Cu dan Ni. Puncak Cu berada pada sudut 2θ sekitar 43° , 50° , dan 74° dengan orientasi hkl (111), (002), dan (022) serta puncak dominannya ada pada sudut 43° . Puncak Ni berada pada sudut 2θ sekitar 45° dan 53° dengan orientasi hkl (111) dan (002) dengan puncak dominan pada sudut 43° . Selain untuk mengetahui fasa struktur Kristal, hasil difraktogram XRD juga dapat digunakan

untuk menganalisis intensitas, grain size, dan juga parameter kisi pada suatu bahan



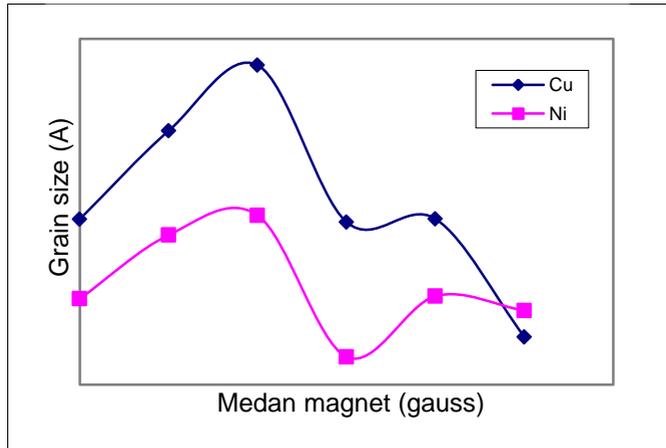
Gambar 14. Grafik analisis XRD untuk Intensitas dan Medan Magnet

Pada Gambar 14 ditampilkan hasil analisis XRD untuk lapisan Tipis Cu/Ni pada puncak dominan sekitar 43° . Hasil analisis menunjukkan bahwa intensitas tertinggi dimiliki oleh sampel D yaitu sebesar 713 cps. Menurut Afosma 2017, semakin tinggi nilai intensitas yang dihasilkan, maka semakin baik keteraturan atom-atom pada lapisan tipis. Sehingga sampel D memiliki struktur atom yang lebih baik dibandingkan sampel yang lainnya.



Gambar 15. Grafik analisis XRD untuk Jarak antar bidang (d) dan Medan Magnet

Pada Gambar 15 ditampilkan hasil analisis XRD untuk jarak antar bidang dengan medan magnet pada lapisan Tipis Cu/Ni pada puncak dominan sekitar 43° . Hasil analisis menunjukkan bahwa jarak antar bidang yang paling kecil dimiliki oleh sampel D yaitu sebesar 2,0767 Å. Karakteristik kristal semakin baik jika struktur kristalnya mendekati tidak cacat (parameter kisiinya semakin kecil atau rapat). Menurut Van Vlack, 2004, struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. Jarak antarbidang dapat dihitung hingga empat atau lebih angka signifikan dengan mengukur sudut difraksi. Sehingga sampel D memiliki struktur atom yang lebih baik dibandingkan sampel yang lainnya.



Gambar 16 Grafik analisis XRD untuk grain size dan Medan Magnet.

Pada Gambar 16. terlihat bahwa grain size yang paling kecil dimiliki oleh sampel D dengan besar medan sebesar 150 G yaitu 132.1659 A. Menurut E. Sahara pada penelitian distribusi Pb dan Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen memperoleh hasil dimana Grain size dengan ukuran partikel semakin kecil, kandungan Pb dan Cu semakin besar. Ini disebabkan karena partikel sedimen yang halus memiliki luas permukaan yang besar dengan kerapatan ion yang lebih stabil untuk mengikat Pb dari pada partikel sedimen yang lebih besar. Pada sampel D dengan ukuran grain size yang paling kecil permukaan lapisan tipis lebih homogen dan rata sehingga dapat dijadikan sensor suhu dengan hasil kinerja yang lebih baik.

Keteraturan struktur Kristal berhubungan dengan karakteristik bahan tersebut baik fisis maupun elektrik. Berdasarkan hasil dari pengujian XRD maka sampel-sampel tersebut selanjutnya akan diuji dengan uji resistivitas. Pada lapisan yang memiliki susunan Kristal teratur akan memberikan kemudahan aliran arus listrik untuk mengalir dibandingkan lapisan dengan susunan Kristal yang kurang teratur.

3. Menentukan Resistivitas Lapisan

Penentuan nilai resistivitas lapisan tipis, dengan menggunakan modifikasi persamaan (18) menjadi:

$$V = R_s \frac{\ln 2}{\pi} I \quad (3.4)$$

Persamaan ini dapat didekati dengan persamaan regresi linier

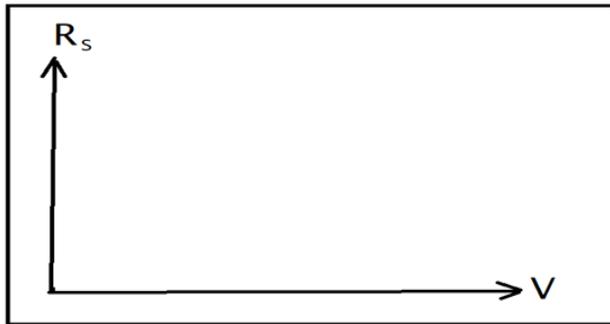
$$y = ax + b \quad (3.5)$$

dengan $x = I$ dan $y = V$, a merupakan gradien dari garis yang merupakan representasi dari nilai resistivitas. Nilai resistivitas dan ralatnya dapat ditentukan berdasarkan:

$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} a \quad (3.6)$$

$$S_{R_s} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_s}{\partial a} S_a\right)^2} = \frac{\pi}{\ln 2} S_a \quad (3.7)$$

Hasil analisis resistivitas disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 17.



Gambar 17. Grafik hubungan resistivitas dengan tegangan deposisi

Uji resistivitas keping dilakukan menggunakan probe empat titik. Pengujian resistivitas dilakukan sebanyak dua kali dengan tujuan untuk mengetahui perubahan nilai resistivitas keping sebelum dan setelah deposisi Ni. Nilai keduanya yaitu nilai resistivitas keping pada substrat Cu (R_{s1}) dan pada lapisan tipis Cu/Ni (R_{s2}) serta dapat dihitung selisih R_{s1} dengan R_{s2} sebagai ΔR_s .

a. Resistivitas keping Cu

Hasil pengukuran resistivitas keping pada setiap sampel pada kondisi awal (berupa substrat Cu), dianalisis dengan menggunakan hubungan V dan I seperti pada persamaan 3.8 sehingga diperoleh nilai resistivitas keping tembaga (R_{s1} Cu) seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai resistivitas keping Cu

No	Sampel	$R_{s1} \pm \Delta R_s (10^{-5} \Omega / Sq)$
1	A	1.884 ± 0.017
2	B	1.874 ± 0.012
3	C	1.878 ± 0.046
4	D	1.883 ± 0.031
5	E	1.873 ± 0.014
6	F	1.880 ± 0.028

b. Resistivitas keping (Cu/Ni)

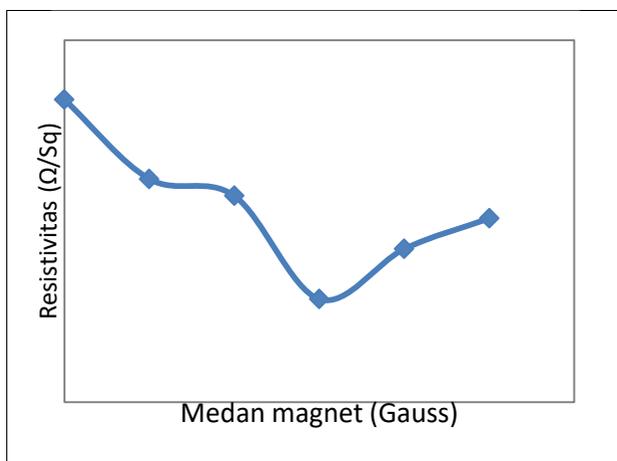
Analisis pengukuran resistivitas lapisan tipis Cu/Ni pada setiap sampel menggunakan persamaan 3.8 dengan hasil yang diperoleh seperti pada tabel 9 dengan R_{s2} merupakan nilai resistivitas setelah deposisi Ni.

Tabel 11. Nilai resistivitas keping lapisan tipis Cu/Ni

No	Sampel	$R_{s_2} \pm \Delta R_{s_2}$ ($10^{-5} \Omega/ Sq$)	$\Delta R_s \pm \Delta R_s$ ($10^{-5} \Omega/ Sq$)
1	A	4.534 ± 0.614	2.651 ± 0.614
2	B	4.458 ± 0.204	2.584 ± 0.204
3	C	4.449 ± 0.533	2.571 ± 0.533
4	D	4.368 ± 0.287	2.485 ± 0.287
5	E	4.400 ± 0.115	2.527 ± 0.115
6	F	4.432 ± 0.342	2.552 ± 0.342

Keterangan: R_{s_2} adalah nilai Resistivitas setelah deposisi Ni dan ΔR_s adalah selisih resistivitas sebelum dan setelah deposisi Ni.

Data resistivitas kepingCu dan lapisan tipis Cu/Ni ditampilkan pada Tabel 8 dan Tabel 9 diperoleh informasi bahwa nilai R_{s_2} lebih besar dari pada R_{s_1} , hal ini dikarenakan nilai resistivitas Ni lebih besar dari nilai resistivitas Cu. Besarnya nilai resistivitas Ni menjadikan nilai R_{s_2} lebih besar dari R_{s_1} . ΔR_s merupakan selisih R_{s_2} dan R_{s_1} . Berdasarkan tabel 9 juga diketahui bahwa ΔR_s mengalami hasil yang bervariasi untuk setiap perubahan medan magnet. Nilai ΔR_s yang paling rendah yaitu $2.485 \pm 0.287 \Omega/ Sq$ dimiliki oleh sampel D dengan besar medan magnet 150 G. Pada penelitian ini diperoleh bahwa nilai resistivitas keping yang semakin tinggi maka tebal lapisan Ni juga mengalami peningkatan.



Gambar 18. Grafik hubungan antara ΔR_s Cu/Ni dan Cu terhadap variasi B

4. Uji Kinerja Sensor

Data yang diperoleh dari eksperimen kinerja sensor adalah perubahan nilai tegangan output (V) terhadap perubahan suhu (T). Dari nilai tegangan output (V) dapat ditentukan besar nilai perubahan resistansi RTD dengan menggunakan persamaan (14).

Berdasarkan hubungan antara nilai resistansi RTD dengan suhu yang ditampilkan pada persamaan (14) dengan mengabaikan variabel berpangkat tiga dan koefisiennya, hubungan antara perubahan nilai resistansi RTD terhadap perubahan suhu diperoleh dengan fitting data polinomial orde dua melalui pendekatan persamaan 36. (Bevington dkk, 2003)

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3.8)$$

$$y = c\left(\frac{ax^2}{c} + \frac{bx}{c} + 1\right) \quad (3.9)$$

dengan y = resistansi RTD (R_{RTD}) dan x = perubahan suhu (T).

Hasil dari fitting data dengan polinomial orde dua adalah diperoleh nilai koefisien korelasi (R^2). Nilai koefisien $\frac{b}{c}$ pada persamaan (3. 9) merupakan slope grafik yang menyatakan nilai TCR dari RTD (α). Dapat dituliskan besar nilai TCR dalam persamaan (3.10).

$$\alpha = \frac{b}{c} \quad (3.10)$$

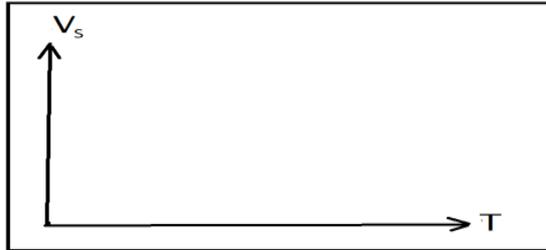
dengan:

α = koefisien TCR

b = koefisien x hasil dari fitting data.

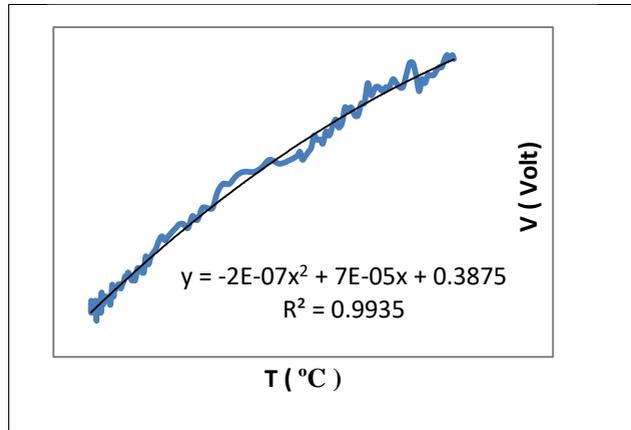
c = konstanta hasil dari fitting data.

Hasil analisis sensor disajikan dalam grafik seperti Gambar 19.



Gambar 19. Grafik hubungan tegangan sensor dengan suhu

Untuk mengetahui hasil kinerja sebagai sensor suhu rendah maka dilakukan uji kinerja sensor suhu rendah dengan mengukur perubahan nilai tegangan output (keluaran) terhadap perubahan suhu pada LN_2 seperti pada bab 3. Dari keenam sampel yang telah dibuat dengan mengambil sampel yang terbaik maka dilakukan uji sensor untuk sampel D yaitu pada variasi B pada 150 G. Grafik hubungan perubahan V dan T pada sampe Cu/Ni dengan proses deposisi Ni dengan medan magnet 150 G ditampilkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Grafik hubungan antara V dan T pada sampel variasi B 150 G

Berdasarkan Gambar 20. dapat diperoleh nilai koefisien temperature dengan metode *fitting* polynomial orde dua, maka diperoleh pendekatan pada data perubahan tegangan keluaran dengan suhu LN₂. Dengan hasil seperti pada persamaan 4.1

$$V = 0.0000002T^2 + 0.00007T + 0.387 \quad (4.1)$$

Berdasarkan hasil *fitting* polynomial orde dua sampel D, dapat diketahui nilai koefisien *a* untuk memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan koefisien *b* dan *c*. Nilai *b* merupakan nilai koefisien suhu untuk melihat tingkat kesensitivitas (kepekaan) dari bahan sensor lapisan tipis Cu/Ni dalam mendeteksi perubahan suhu ketika diujikan pada LN₂ yang ditampilkan pada persamaan (4. 1) diperoleh koefisien suhu untuk B 150 G sebesar 0.00007 V/ °C.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terkait pengaruh medan magnet luar sejajar arus ion pada lapisan tipis Cu/Ni dengan metode elektroplating diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur Kristal lapisan tipis Cu/Ni pada variasi B telah diperoleh dengan melakukan uji struktur mikro menunjukkan bahwa telah terdapat puncak-puncak untuk Cu dan Ni dan pada $B= 150\text{ G}$ yaitu sampel D diperoleh struktur Kristal yang paling baik.
2. nilai resistivitas keping, untuk setiap variasi B mengalami kenaikan dibandingkan sebelum dilakukan deposit Ni dan pada $B= 150\text{ G}$ yaitu sampel D diperoleh nilai Resistivitas yang paling baik.
3. Pada sampel D dilakukan Uji kinerja sensor suhu rendah dan memperoleh nilai koefisien suhu sebesar $0.00007\text{ V/ }^\circ\text{C}$.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Untuk memperkuat hasil struktur Kristal bisa ditambah dengan Uji SEM supaya struktur Kristal setiap sampel bisa terlihat.
2. Untuk meningkatkan pengaruh penggunaan medan magnet luar pada proses electroplating dapat dilakukan dengan menggunakan medan magnet yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyani, I. A. S. dan Triadi, A. A. A. 2009. Pengaruh Kuat dan Distribusi Arus Terhadap Ketebalan dan Kekerasan Lapisan Krom Pada Stoneware Dan Earthenware. *Jurnal Teknik Elektro* Vol. 8 No. 2 Juli – Desember 2009.
- Afriany, R., Kusmono dan Soekrisno, R. 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan Dan Waktu Pelapisan Nikel Pada Aluminium Terhadap Kekerasan. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains and Teknologi (SNAST)* Periode III. Yogyakarta, 3 November 2012. ISSN: 1979-911X.
- Alatas, M. (2017, Desember Rabu). *Perbedaan Buku Referensi dan Buku Monograf*.
<http://civitas.uns.ac.id/masruralatas/2017/12/05/hyperlink-penulis-pemula/>
- Aminah. 2011. Penggunaan Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid (EDTA) dalam Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe Pada Substrat Cu. *Skripsi*: UNS Surakarta.
- Anonim. 2015. Nikel. *10.37*.<http://en.wikipedia.org/wiki/Nikel>.
- Anonim. 2015. Tembaga. <http://en.wikipedia.org/wiki/Tembaga>.
- 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
- Callister, W. D. and David, G. R.. 2012. *Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach*. 4th edition. Wiley: USA.

- Coey, J.M.D., Rhen, F.M.F., Dunne, P., and McMurry, S. 2007. The Magnetic Concentration Gradient Force-Is it Real?. *J. Solid Electrochem.* 11, p. 711-717.
- Davidson, P.A. 2001. *An Introduction to Magnetohydrodynamics*. New York: Cambridge University Press.
- Ebadi, M., Basirun, W. J., and Alias, Y. 2010. Influence of Magnetic Field on The Electrodeposition of Ni-Co Alloy. *J. Chem. Sci.* 2 (122),p. 279-280.
- Eckertová, Ludmila. 1986. *Physics of Thin Film*, 2nd. London: Plenum Press.
- Elias, L., and Hegde, A. C. 2017. Effect of Magnetic Field on Corrosion Protection Efficacy of Ni-W Alloy Coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, p. 618.
- Fraden, Jacob. 2016. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer.
- Giyatmi. (2016, Maret Rabu). *Menyusun Buku Ajar*. http://www.usahid.ac.id/wp-content/uploads/2016/03/MENYUSUN_BUKU_AJAR_.pdf
- Kittel, Charles. 2005. *Introduction to Solid State Physics*. Eighth Edition. US: John Wiley and Sons, Inc. Lebioda, M., and Rymaszewski, J. 2015. Dynamic Properties of Cryonics Temperature Sensors. *Przeegląd Elektrotechniczny*, 2 (1), 225.
- Khusnani, A. 2019. Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni Dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Pada Variasi Kuat Medan Magnet. *Tesis*: UAD Yogyakarta.
- Leventis, N. and Gao, X. 2001. Magnetohydrodynamics Electrochemistry in The Field of Nd-Fe-B Magnets.

Theory, Experiment, and Application in Self-Powered Flow Delivery Systems. *Analytical Chemistry*. 73 (16), p. 3981-3992.

- 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 Internasional Conference on Sensing Technology*, p.19-22.
- Monzon, L. M., and Coey, J. M. 2014. Magneticfields in Electrochemistry: The Kelvin force. A Mini-Review. *Electrochemistry Communications*, 42-43
- Patterson, J. and Bailey, B. 2010. Solid State Physics Introduction to The Theory. Second Edition. New York: Springer. Serway, R. A dan Jeweet, J. W.. 2010. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Edisi 6 Alih Bahasa Chriswan Sungkono. Jakarta: Salemba Teknika.
- Rasyad, Abdul dan Budiarto. 2011. Pengaruh Waktu Electroplating Dan Powdercoating NiCr Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon SPCC- SD. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*. (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.
- Sen, S. K., Pan, T. K., dan Ghosal, P. 2011. An Improved Lead Wire Compensation Technique for Conventional Four Wire Resistance Temperature Detectors (RTDs). *Measurement* 44 (2011) 842-846.

- 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
- Sudibyo, How, M. B., & Aziz, N. (2017). Influences of Magnetic Field on The Fractal Morphology in Copper Electrodeposition. *Mineral Processing and Technology International Conference* (pp. 4-6). IOP Conference Series.
- Sugiyarta, A.P, Bayuseno, dan Nugroho, S. 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan Dan Kuat Arus Terhadap Ketebalan Pada Proses Pelapisan Nikel Untuk Baja Karbon Rendah. *ROTASI*, 14 (4), Oktober 2012: 23-27.
- Suhendro, B., laela DS, T., dan Suyamto. 2011. Rancang Bangun dan Analisis Alat Pelapisan Tembaga Menggunakan Teknik Elektroplating. *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII* (p.612). Yogyakarta, 16 November 2011.
- 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.
- Sutikno. (2017). *Monograf dari Hasil Penelitian*. http://lp2m.unnes.ac.id/wp-content/uploads/materi_sutikno.pdf
- 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.

- Riswanto. 2015. Analisis Resistansi Coil Kawat Tembaga terhadap Perubahan Suhu Sangat Rendah Sebagai Rancang Dasar Pengukuran Suhu Rendah. *Jurnal Pendidikan Fisika*.
- Toifur, M., A., N., Okimustava, and Sukarelawan, I. 2017. Pengaruh Waktu Deposisi pada Tebal Lapisan, Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi dengan Teknik Elektroplating . *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 34-40.
- Toifur, M., Yuningsih, Y., and Khusnani, A. 2018. Microstructure, Thickness and Sheet Resistivity of Cu/Ni Thin Film Produced by Electroplating Technique on The Variation of Electrolyte Temperature. *Journal of Physics: Conference Series*, 2-6.
- Toifur, M. 2014. Memahami Resistivitas Berbagai Jenis Probe Arus-Tegangan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng and DIY*. ISSN: 0853-0823. p. 1-7.
- Vlack, Lawrence H. Van. 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 Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. *Skripsi*: Universitas Negeri Semarang.
- Xia, L. T., Wei, G. Y., Li, M. G., Guo, H. F., Fu, Y., and Dettinger, H. 2014. Preparation of Co-Pt-P Thin Films by Magnetic Electrodeposition. *Material Research Innovations*, 5 (18) 386-389.
- Young, H. D. Dan Freedman, R. A. 2001. *Fisika Universitas Edisi Sepuluh Jilid 2*, Alih Bahasa Endang Juliastuti. Jakarta: Erlangga.

- Yu, Y. D., Cao, Y., Li, M. G., Wei, G. Y., and Dettinger, H. 2014. Magnetic Electrodeposition of ZnNi Alloy Films. *Material Research Innovations*, 4 (18) 314-317.
- Yu, Y. D., Song, Z. L., Ge, H. L., and Wei, G. Y. 2014. Influence of Magnetic Fields on Cobalt Electrodeposition. *Surface Engineering*, 2 (30) 83-85.
- Zielinski, M., Miekons, E., Szczukocki, D., Dalkowski, R., Leniart, A., Krawcczyk, B., and Juszcak, R. 2015. Effects of Constant Magnetic Field on Electrodeposition of Co W-Cu Alloy. *International Journal Electrochemical Science*, (10) 4146-4147.

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

