

**MONOGRAF**  
**PENGARUH MEDAN MAGNET**  
**PADA ELEKTROPLATING Cu/Ni**

**Azmi Khusnani, S.Pd**  
**Dr. Moh. Toifur, M.Si**  
**Dr. Guntur Maruto, S.U,**  
**Yudhiakto Pramudya, Ph.D**  
**Okimustava, M.Pd.Si**

**Monograf**

**PENGARUH MEDAN  
MAGNET PADA  
ELEKTROPLATING Cu/Ni**

Azmi Khusnani, S.Pd  
Dr. Moh. Toifur, M.Si  
Dr. Guntur Maruto, S.U  
Yudhiakto Pramudya, Ph.D  
Okimustava, M.Pd.Si



Penerbit K-Media  
Yogyakarta, 2019

---

# **MONOGRAF; PENGARUH MEDAN MAGNET PADA ELEKTROPLATING Cu/Ni**

viii + 68 hlm.; 14 x 20 cm

---

**ISBN: 978-602-451-616-1**

**Penulis** : Azmi Khusnani... [et al.]  
**Content Review** : Dr. Arief Hermanto dan Drs. Ishafit, M.Si  
**Design Review** : Prof. Dr. Ir. Dwi Sulisworo, M.T dan  
Dr. Widodo  
**Tata Letak** : Efi Kurniasari  
**Desain Sampul** : Eko Susanto

**Cetakan** : Oktober 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 elektris 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

*Alhamdulillah* *rabbi'l'alam*, segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat serta inayah-Nya, sehingga penyusunan monograf ini dapat terselesaikan. Sholawat beserta salam semoga selalu tercurah limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia ke zaman yang terang.

Paket pembelajaran berupa monograf ini disusun dengan harapan dapat membantu dan memudahkan mahasiswa pendidikan fisika dalam melaksanakan matakuliah Sains dan Teknologi Nano dan eksperimen yang berkaitan dengan proses penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan metode elektroplating berbantuan medan magnet pada variasi kuat medan magnet

Terimakasih disampaikan kepada Dr. Moh. Toifur, M.Si dan Dr. Guntur Maruto, S.U selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing hingga penyusunan buku monograf ini dapat terselesaikan. Terimakasih kepada validator materi Dr. Arief Hermanto, Drs., S.U., M.Sc, dan Drs Ishafit, M.Si, dan validator media Dr. Ir. Dwi Sulisworo, M.T dan Dr. Widodo, M.Si.

Penulis menyadari bahwa buku monograf 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 monograf ini.

Yogyakarta, Maret 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>I. ELEKTROPLATING</b> .....	1
<b>II. MATERIAL ELEKTROLPLATING</b> .....	3
<b>A. Studi Material</b> .....	3
1. Tembaga .....	3
2. Nikel .....	5
<b>B. Elektroplating</b> .....	6
1. Elektrodeposisi Ni .....	9
<b>C. Pengaruh Medan Magnet pada Elektroplating</b> .....	10
<b>D. Karakterisasi Bahan</b> .....	12
1. Ketebalan .....	12
2. Resistivitas .....	12
3. Resistivitas keping .....	15
4. X-Ray Diffraction .....	17
5. Sensor suhu .....	21
<b>III. EKSPERIMEN ELEKTROPLATING</b> .....	25
<b>A. Metode Eksperimen</b> .....	25
1. Preparasi sampel .....	25
2. Pembuatan Lapisan Tipis Cu/Ni .....	27
3. Pengujian Resistivitas Keping .....	29
4. Pengujian XRD .....	31
5. Pengujian Kinerja Sensor .....	31
<b>B. Analisis data</b> .....	33
1. Menentukan tebal lapisan .....	33
<b>IV. DATA EKSPERIMEN</b> .....	38
<b>A. Uji Ketebalan Lapisan Ni</b> .....	38
<b>B. Uji resistivitas keping</b> .....	39
1. Resistivitas keping Cu .....	40
2. Resistivitas keping (Cu/Ni) .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	61
<b>GLOSARIUM</b> .....	65
<b>Daftar Simbol</b> .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tembaga .....	3
Gambar 2. Nikel .....	5
Gambar 3. a). Kecepatan $q$ searah B dan b) kecepatan $q$ tegak lurus dengan B .....	11
Gambar 4.. Resistivitas listrik vs temperatur untuk bahan tembaga dan tiga paduan tembaga-nikel yang salah satunya mengalami deformasi (Callister and David, 2012). .....	14
Gambar 5. Resistivitas listrik pada temperatur ruang vs komposisi pada paduan tembaga-nikel (Callister and David, 2012). .....	15
<i>Gambar 6. Skema alat Four Point Probe (Toifur, 2007) .....</i>	<i>15</i>
Gambar 7. Model sebaran arus pada permukaan lapisan tipis menggunakan probe empat titik (Toifur, 2014) .....	17
Gambar 8. a). sel satuan dan b). konstanta kisi (a) .....	17
Gambar 9. Indeks miller pada a) bidang kristal dan b) arah bidang .....	19
Gambar 10. a) Difraksi sinar-X dan b) Hubungan intensitas terhadap sudut $2\theta$ .....	21
Gambar 11. Rangkaian alat proses elektroplating .....	29
Gambar 12. Skema Probe empat titik .....	30
Gambar 13. Rangkaian alat kinerja sensor suhu rendah .....	33
Gambar 14. Grafik hubungan ketebalan lapisan Ni terhadap medan magnet .....	39
Gambar 15 . Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel pertama .....	40
Gambar 16. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel kedua .....	40
Gambar 17. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel ketiga .....	41
Gambar 18. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel keempat .....	41

Gambar 19. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel kelima.....	42
Gambar 20. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel kesatu ( $B = 0$ G).....	43
Gambar 21. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel kedua ( $B = 50$ G).....	44
Gambar 22. hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel kesatu ( $B = 100$ G).....	44
Gambar 23. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel kesatu ( $B = 150$ G).....	45
Gambar 24. Grafik hubungan antara $V$ dan $I$ pada sampel kesatu ( $B = 200$ G).....	45
Gambar 25. Grafik hubungan antara $\Delta R_s$ Cu/Ni dan Cu.....	47
Gambar 26. Grafik difraktogram untuk material Cu.....	48
Gambar 27. Grafik difraktogram untuk material Ni.....	49
Gambar 28. Difraktogram untuk variasi $B$ .....	50
Gambar 29. Grafik hubungan antara $V$ dan $T$ pada sampel variasi $B = 0$ G.....	54
Gambar 30. Grafik hubungan antara $V$ dan $T$ pada sampel variasi $B = 50$ G.....	55
Gambar 31. Grafik hubungan antara $V$ dan $T$ pada sampel variasi $B = 100$ G.....	55
Gambar 32. Grafik hubungan antara $V$ dan $T$ pada sampel variasi $B = 150$ G.....	56
Gambar 33. Grafik hubungan antara $V$ dan $T$ pada sampel variasi $B = 200$ G.....	56
Gambar 34. Grafik hubungan antara $V$ dan $T$ pada.....	58
Gambar 35. Pengaruh kuat medan magnet terhadap koefisien temperatur pada uji kinerja sensor.....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sifat fisis tembaga (Cu) .....	3
Tabel 2. Sifat fisis nikel (Ni) .....	5
Tabel 3. Tabulasi data penentuan Resistivitas listrik lapisan tipis. ....	31
Tabel 4. Tabulasi data analisis sensor suhu .....	33
Tabel 5. Data massa untuk setiap sampel dengan variasi kuat medan magnet .....	38
Tabel 6. Persamaan linier hubungan antara tegangan dan kuat arus substrat Cu .....	42
Tabel 7. Nilai resistivitas keping Cu.....	43
Tabel 8. Persamaan linier hubungan antara tegangan dan kuat arus lapisan tipis Cu/Ni .....	46
Tabel 9. Nilai resistivitas keping lapisan tipis Cu/Ni.....	46
Tabel 10. Nilai resistivitas keping Cu dan Cu/Ni untuk setiap variasi kuat medan magnet .....	47
Tabel 11. Data crystallography untuk material Cu .....	49
Tabel 12. Data crystallography untuk material Ni .....	49
Tabel 13. Data puncak Cu .....	51
Tabel 14. Data puncak Ni.....	52
Tabel 15. Nilai regangan untuk setiap variasi B pada sudut $2\theta \pm 44$ .....	53
Tabel 16. Persamaan fitting data polynomial orde dua pada uji kinerja sensor lapisan tipis Cu/Ni.....	57
Tabel 17. Nilai koefisien suhu pada lapisan tipis Cu/Ni untuk setiap variasi B .....	58



# I Elektroplating

**E**lektroplating merupakan metode pembuatan lapisan tipis dengan cara elektrokimia. Kelebihan metode elektroplating dibandingkan metode lain adalah 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.

Salah satu pemanfaatan lapisan tipis adalah penggunaannya dalam Sensor *Resistance Temperature Detector-Film* (RTD-Film). Penerapannya sebagai sensor RTD telah dibuat dengan menggunakan material Cu/Ni (Toifur dkk, 2017; Toifur dkk, 2018). Penelitian tersebut telah memberikan hasil, yaitu analisis struktur mikro menunjukkan Cu/Ni yang dibuat memiliki struktur kristal dan memiliki beberapa fasa yaitu Cu, Ni, dan NiO, akan tetapi berdasarkan foto SEM tampak morfologi permukaan, diketahui bahwa lapisan Ni yang terbentuk belum homogen.

Salah satu cara untuk memperbaiki morfologi lapisan deposit Ni adalah dengan melakukan penambahan medan magnet luar pada proses deposisi (Xia dkk, 2014; Sudibyo dkk, 2017, Ebadi dkk, 2010). Hal ini terjadi karena medan magnet yang bekerja pada ion-ion nikel yang menuju ke katoda Cu akan membangkitkan gaya Lorentz yang dapat memutar lintasan ion nikel sebelum sampai ke katoda serta menimbulkan interaksi antara ion-ion pada elektrolit dengan medan elektromagnetik sehingga membangkitkan efek magnetohidrodinamik (MHD) (Yu, 2014 ; Zielinsky, 2015).

Pengaruh lain yang disebabkan oleh penambahan medan magnet luar adalah meningkatkan transfer massa atom yang dideposit (Monzon & Coey, 2014; Zielinski dkk, 2015; Elias,2017; Mogi, 2018) dan permukaan lapisan lebih halus dan homogen (Zielinsky, 2015; Kołodziejczyk et al, 2017). Oleh karena itu pada penelitian ini akan dibuat sensor suhu rendah Cu/Ni dengan metode elektroplating berbantuan medan magnet dengan melakukan variasi kuat medan magnet pada deposisi Ni, Pengujian karakterisasi dilakukan dengan pengujian terhadap tebal lapisan, resistivitas keping, uji struktur kristal dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan uji kinerja sensor suhu rendah.

# Material II

## Elektroplating

### A. Studi Material

#### 1. Tembaga



**Gambar 1.** Tembaga  
(sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/tembaga>)

**Tabel 1** Sifat fisis 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 <sup>3</sup>
Struktur kristal	FCC
Kalor peleburan	13,26 kJ/mol
Kalor penguapan	300,4 kJ/mol
Koefisien ekspansi linier	1,65 $\mu\text{m.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ pada 25 °C
Resistivitas listrik	16,78 n $\Omega$ .m pada 20 °C
Elektronegativitas	1,90
Jari-jari atom	128 pm

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

Tembaga (Cu) berada pada golongan IB periode ke IV dengan konfigurasi elektronnya adalah [Ar] 3d<sup>10</sup> 4s<sup>1</sup> dan tergolong dalam unsur jenis logam transisi. Sifat fisis tembaga ditunjukkan pada Tabel 1. Tembaga memiliki warna kuning kecoklatan seperti Gambar 1. Sifat kimia tembaga adalah tahan terhadap korosi pada beberapa substan. Pada bentuk alloy dapat memperbaiki sifat fisika dan kimia logam lain, misalnya kuningan (tembaga + seng), perunggu (tembaga + timah), dan monel (tembaga + nikel + besi + mangan).

## 2. Nikel



**Gambar 2.** Nikel

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

**Tabel 2.** Sifat fisis nikel (Ni)

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

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

Nikel (Ni) adalah suatu unsur kimia metalik dalam tabel periodik dan memiliki warna putih pada Gambar 2. Nikel memiliki sifat tahan terhadap karat.

Pada keadaan murni. Nikel bersifat lembek, namun jika dikombinasikan dengan besi, krom, dan logam lain, nikel dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Nikel mempunyai konfigurasi elektron  $[Ar] 4s^2 3d^8$  dan tergolong dalam unsur jenis logam transisi. Sifat fisis pada nikel ditunjukkan pada Tabel 2. Salah satu bahan material yang dapat digunakan sebagai pengotor tembaga adalah nikel (Ni). Selain harga yang lebih terjangkau dan dapat diperoleh dengan mudah, kelebihan dari nikel adalah dapat meningkatkan ketahanan tembaga terhadap korosi.

## B. Elektroplating

Elektroplating merupakan metode pelapisan logam secara kimia dengan cara memberikan arus searah ke dalam larutan, sehingga menyebabkan terjadi proses reduksi pada katoda dan anoda. Elektrodeposisi merupakan bagian dari metode elektroplating, yaitu metode lapis dengan sumber arus DC. Pada elektrodeposisi bahan yang akan dideposisikan ditempatkan pada anoda sedangkan substrat yang akan dilapisi ditempatkan pada katoda dan bahan larutan yang digunakan sama dengan yang akan dilapisi. Larutan yang digunakan disebut dengan *plating bath*. Pada saat proses elektrodeposisi berlangsung, arus mengalirkan ion positif 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.

Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi pelapisan logam di antaranya:

- a. Konsentrasi elektrolit  
Elektrolit merupakan zat-zat yang dapat menghantarkan arus listrik. Pada dasarnya elektrolit yang dipergunakan dalam bentuk larutan asam/basa dicampur dengan air murni. Larutan elektrolit yaitu zat-zat yang dilarutkan dalam air murni yang dapat menjembatani partikel partikel bermigrasi dari anoda ke katoda. Konsentrasi elektrolit selama proses elektroplating berlangsung akan mengalami perubahan, dapat disebabkan oleh pengendapan ion logam dari larutan menuju katoda maupun karena penguapan. Pada umumnya kelebihan kadar logam akan menyebabkan menurunnya kekilapan, kerataan lapisan, dan pemborosan bahan. Apabila kadar logam rendah akan terjadi penurunan konduktivitas sehingga proses menjadi lambat (Rasyad dan Budiarto, 2012).
- b. Keasaman (pH)  
Keasaman (pH) lebih berpengaruh terhadap sifat fisik deposit dibanding komposisinya. Semakin asam larutan, konsentrasi ion hidrogennya semakin tinggi dan hantaran arus dari anoda dan katoda semakin besar sehingga semakin banyak ion-ion pelapis yang didistribusikan ke katoda.
- c. Rapat arus  
Rapat arus adalah besaran yang menyatakan jumlah arus listrik yang mengalir persatuan luas permukaan elektroda. Rapat arus terbagi dalam dua macam yaitu rapat arus anoda dan rapat arus katoda. Pada proses lapis listrik rapat arus yang diperhitungkan adalah rapat arus katoda,

yaitu banyaknya arus listrik yang diperlukan untuk mendapatkan atom-atom logam pada tiap satuan luas permukaan benda kerja yang akan dilapis. Untuk proses elektroplating ini faktor rapat arus memegang peranan sangat penting, karena akan mempengaruhi efisiensi pelapisan, reaksi reduksi oksidasi dan difusi dari hasil pelapisan pada permukaan benda yang dilapisi.

- d. Temperatur  
Temperatur terlalu rendah dan rapat arus yang cukup optimum akan mengakibatkan hasil pelapisan menjadi kasar dan kusam, tetapi jika temperatur tinggi dengan rapat arus yang optimum maka hasil pelapisan menjadi tidak merata. Kenaikan temperatur akan menyebabkan naiknya konduktifitas dan difusitas larutan elektrolit, berarti tahanan elektrolit akan mengecil sehingga potensial dibutuhkan untuk mereduksi ion-ion logam berkurang.
- e. Agitasi  
Agitasi atau pengadukan larutan elektrolit saat proses elektrodposisi akan mengurangi terbentuknya gelembung-gelembung gas hidrogen. Gelembung-gelembung gas hidrogen ini akan menempel pada katoda dan anoda, sehingga menghalangi proses pelepasan ion dari anoda dan pengakapan ion pada katoda. Hal ini mengakibatkan lapisan yang terbentuk menjadi tidak merata dan berkurangnya ion yang dideposisikan.
- f. Waktu deposisi  
Waktu pelapisan akan mempengaruhi kuantitas hasil pelapisan yang terjadi dipermukaan

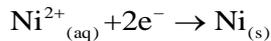
produk yang dilapis. Semakin lama waktu pelapisan maka rata-rata hasil lapisan yang terjadi pada permukaan produk semakin tebal. Endapan hanya terbentuk jika ion-ion yang dideposisikan dalam larutan masih ada. Jika kandungan ion telah habis maka tidak terbentuk lagi endapan atau lapisan.

#### 1. Elektrodeposisi Ni

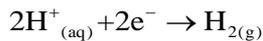
Pada proses pelapisan nikel, batas pH larutan elektrolit yang diijinkan agar proses berlangsung baik yaitu berkisar 2-4,5 (Sugiyarta, dkk 2012). Agar nilai pH dalam proses elektroplating dapat dipertahankan, maka perlu ditambahkan asam borak ( $H_3BO_3$ ). Afriany dkk (2012) menyampaikan bahwa garam nikel yang digunakan sebagai sumber logam pelapis dalam larutan adalah *nickel sulfate* dan *nickel chloride*. Reaksi kimia yang terjadi saat berlangsungnya proses elektroplating dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Pada katoda terjadi:

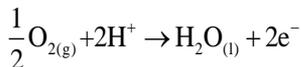
1) Pembentukan lapisan nikel



2) Pembentukan gas Hidrogen

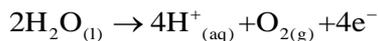


3) Reduksi Oksigen terlarut



b. Pada anoda terjadi:

1) Pembentukan gas Oksigen



2) Oksidasi gas Hidrogen



## C. Pengaruh Medan Magnet pada

### Elektroplating

*Magnetohydrodynamics* adalah ilmu yang mempelajari tentang interaksi antara aliran fluida dan medan magnet (Davidson, 2001). Apabila pada suatu medium tertentu (larutan elektrolit) terjadi arus listrik (ada arus listrik), berarti di dalamnya terdapat muatan-muatan yang bergerak, yang disebabkan oleh gaya coulomb. Arah gerakannya sesuai arah gerak muatan pada ion logam yang dimiliki, yaitu dari anoda ke katoda. Apabila pada medium tersebut dikenakan medan magnet luar maka pada sistem tersebut bekerja gaya yang dapat dinyatakan sebagai,

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) - \vec{\nabla}E_m \quad (1)$$

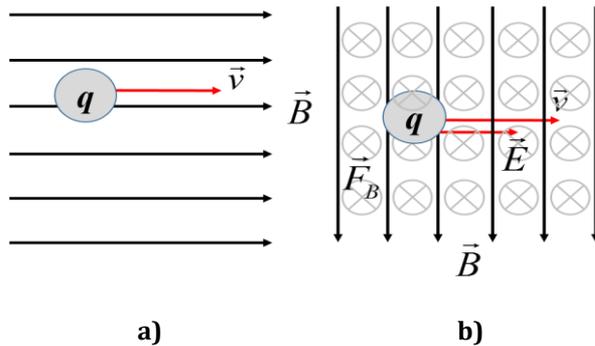
Dengan

$$\vec{\nabla}E_m = \vec{F}_{\nabla B} + \vec{F}_{\nabla c} \quad (2)$$

Sebagai gaya konservatif.  $\vec{F}$  adalah gaya total.  $E_m$  merupakan energi potensial magnetik.  $\vec{F}_{\nabla c}$  adalah gaya gradien konsentrasi dan  $\vec{F}_{\nabla B}$  adalah gaya gradien magnet (Coey *et al*, 2007). Pada keadaan konsentrasi dan medan magnet yang homogen maka  $\vec{F}_{\nabla c} = 0$ ;  $\vec{F}_{\nabla B} = 0$ , sehingga pada persamaan (1) pada suku terakhir bernilai nol, sehingga persamaan (1) dapat dituliskan sebagai,

$$\vec{F}_B = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (3)$$

$\vec{F}_B$  merupakan gaya yang bekerja pada muatan ( $q$ ) yang bergerak dengan kecepatan  $\vec{v}$  di dalam medan magnet  $\vec{B}$  seperti pada Gambar 3, yang dituliskan pada persamaan (3), biasa disebut sebagai gaya Lorentz. Pada Gambar 3a kecepatan searah dengan medan magnet, sehingga mengakibatkan  $\vec{F}_B = 0$ . Hal ini berbeda pada Gambar 3b, yaitu kecepatan muatan tegak lurus dengan  $\vec{B}$  maka  $\vec{F}_B \neq 0$ , sehingga muatan bergerak masuk bidang.



**Gambar 3.** a). Kecepatan  $q$  searah  $B$  dan b) kecepatan  $q$  tegak lurus dengan  $B$

$q$  dan  $\vec{v}$  adalah muatan dan kecepatan pada partikel yang bergerak. pada proses elektrodeposisi berlangsung kation dan anion bergerak saling berlawanan, sehingga  $q$  dan  $\vec{v}$  dapat disimbolkan dengan  $q_+ \vec{v}_+$  dan  $q_- \vec{v}_-$  (Leventis and Gao, 2001). Berdasarkan hal tersebut maka persamaan (3) dapat

dituliskan sebagai persamaan (4) dengan  $n_+$  dan  $n_-$  adalah rapat muatan dari kation dan anion. Kuantitas dari  $(n_+q_+\vec{v}_+ + n_-q_-\vec{v}_-)$  disebut sebagai rapat arus  $\vec{j}$  yang paralel dengan kecepatan pada kation  $\vec{v}_+$ , sehingga persamaan (4) dapat dituliskan menjadi persamaan (5) (Grant *et al*, 2001).

$$\vec{F}_B = (n_+q_+\vec{v}_+ + n_-q_-\vec{v}_-) \times \vec{B} \quad (4)$$

$$\vec{F}_L = \vec{j} \times \vec{B} \quad (5)$$

## D. Karakterisasi Bahan

### 1. Ketebalan

Pertambahan massa atau perubahan massa setelah deposisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

$$\delta = \frac{w}{\rho A} \quad (6)$$

Dengan  $\delta$  tebal lapisan yang terbentuk (cm),  $w = m_{\text{setelah}} - m_{\text{sebelum}}$  massa lapisan yang terbentuk (g) dan  $A$  luas permukaan yang dilapisi (cm<sup>2</sup>). Banyak zat yang terdeposit pada arus listrik yang dialirkan melalui sel elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang diberikan dikalikan dengan lamanya operasi berlangsung sesuai dengan hukum Faraday.

### 2. Resistivitas

Resistivitas merupakan elemen dasar untuk mengklasifikasikan suatu bahan, apakah berada

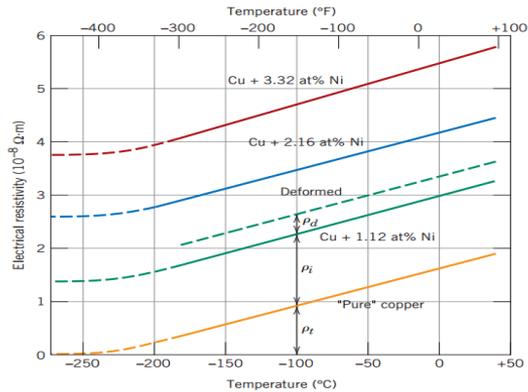
dalam bentuk konduktor, semikonduktor atau isolator. Sifat resistivitas listrik pada logam disebabkan oleh sifat logam yang memiliki beberapa elektron terdislokalisir dan dapat meninggalkan elektron valensi dan dapat meninggalkan atom “induknya”, khususnya elektron valensi yang bergerak bebas jika diberi 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 and David, 2012) ditulis sebagai berikut:

$$\rho_{total} = \rho_t + \rho_i + \rho_d \quad (7)$$

dengan  $\rho_t$  = resistivitas kontribusi dari vibrasi termal,  $\rho_i$  = resistivitas kontribusi dari impuritas (ketakmurnian bahan) dan  $\rho_d$  = resistivitas kontribusi dari deformasi.

Persamaan (7) dikenal sebagai Matthiessen's rule. Pengaruh dari setiap variabel  $\rho$  pada resistivitas total ditunjukkan pada Gambar 4 dengan memplot nilai resistivitas vs suhu untuk tembaga dan beberapa paduan tembaga-nikel.



**Gambar 4.** Resistivitas listrik vs temperatur untuk bahan tembaga dan tiga paduan tembaga-nikel yang salah satunya mengalami deformasi (Callister and David, 2012).

Untuk logam murni dan semua paduan tembaga-nikel yang ditunjukkan pada Gambar 4, resistivitas meningkat secara linear dengan suhu sekitar -200 °C, sehingga,

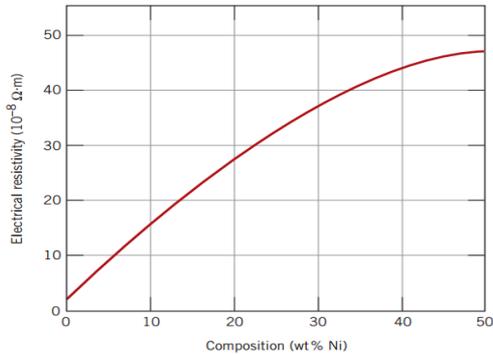
$$\rho_i = \rho_0 + aT \tag{8}$$

dengan  $\rho_0$  adalah resistivitas awal dan  $a$  adalah konstanta suhu tahanan. Resistivitas karena impuritas dirumuskan dengan :

$$\rho_i = A.C_i(1 - C_i) \tag{9}$$

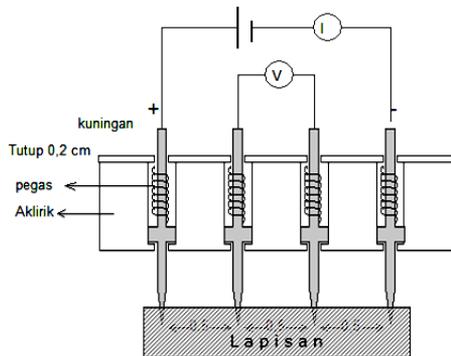
$C_i$  = konsentrasi impuritas dan  $A$  = konstanta tidak bergantung komposisi. Deformasi plastik akan menaikkan resistivitas karena kenaikan jumlah dislokasi oleh penyebaran elektron. Efek deformasi terhadap resistivitas diperlihatkan oleh Gambar 5.

Sedangkan Gambar 5 memperlihatkan pengaruh komposisi terhadap resistivitas listrik.



**Gambar 5.** Resistivitas listrik pada temperatur ruang vs komposisi pada paduan tembaga-nikel (Callister and David, 2012).

### 3. Resistivitas keping



**Gambar 6.** Skema alat Four Point Probe (Toifur, 2007)

*Four-Point Probe* (FPP) adalah salah satu jenis alat yang dapat digunakan untuk mengukur nilai resistivitas lapisan tipis. Model *probe* empat titik ditunjukkan Gambar 6. Arus listrik yang konstan dialirkan sepanjang permukaan sampel melalui dua *probe* terluar. Jika sampel mempunyai resistivitas, maka akan ada penurunan tegangan ketika arus mengalir sepanjang sampel tersebut yang diukur melalui dua *probe* bagian dalam.

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*. Apabila sebaran arus seperti pada Gambar 7, maka berlaku persamaan (10) (Toifur, 2014).

$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V_{BC}}{I} \quad (10)$$

Persamaan (2.8) memberikan hubungan fungsional antara  $V_{BC}$  dan  $I$  yang sesuai dengan persamaan regresi linier,

$$y = ax + b \quad (11)$$

sehingga hubungan antara persamaan (10) dan persamaan (11) dapat dituliskan dengan,

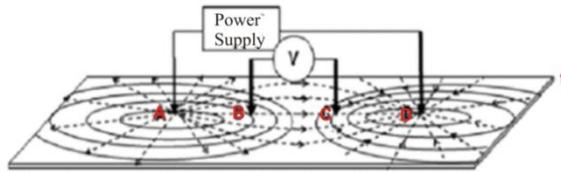
$$V_{BC} = \frac{\ln 2 R_s}{\pi} I \quad (12)$$

dengan,

$R_s$  = Resistivitas keping ( $\Omega/\text{sq}$ )

$V_{BC}$  = Beda potensial pada titik BC (Volt)

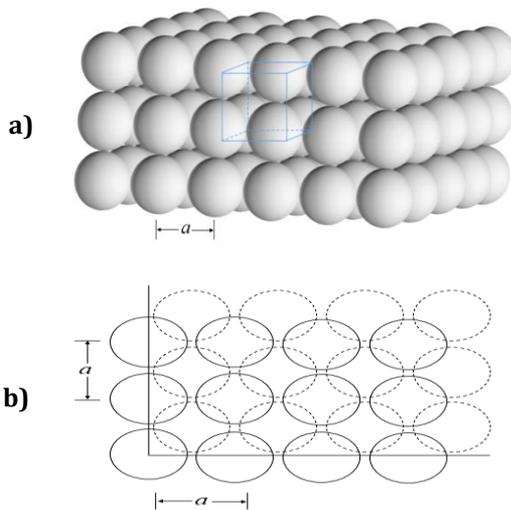
$I$  = Kuat arus (A)



**Gambar 7.** Model sebaran arus pada permukaan lapisan tipis menggunakan probe empat titik (Toifur, 2014)

4. X-Ray Diffraction

a. Kristal

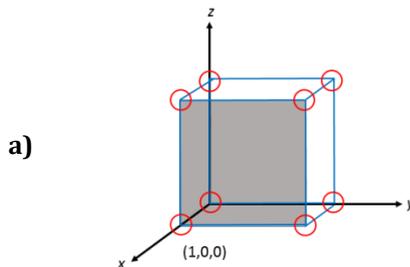


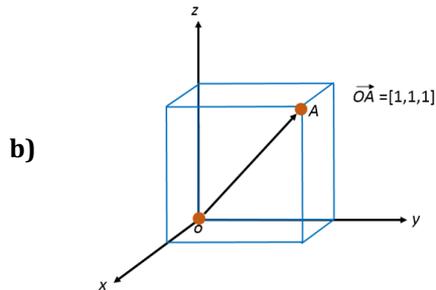
**Gambar 8.** a). sel satuan dan b). konstanta kisi ( $a$ )

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 8) dalam ketiga arah koordinat.

b. Bidang kristal

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 bidang kristal memiliki lambang  $(h,k,l)$  (Gambar 9a) dan pada arah bidang menggunakan simbol  $[h,k,l]$  (Gambar 9b) (Kittel, 2005).





**Gambar 9.** Indeks miller pada a) bidang kristal dan b) arah bidang.

c. Difraksi sinar X

Sinar-X adalah radiasi elektromagnet dengan panjang gelombang yang ordenya sebesar 0,1 nm (atau  $1\text{\AA}$ ). 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 persamaan hukum Bragg yang diilustrasikan pada Gambar 10a. Dimana perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang

$(n\lambda)$  seperti pada persamaan (13) (Patterson & Bailey, 2010).

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (13)$$

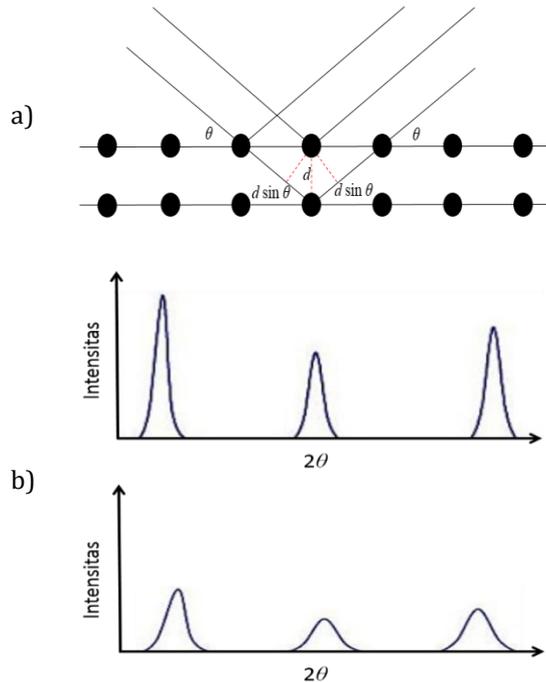
dengan  $n$  adalah bilangan bulat 1, 2, 3, ..., sedangkan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X,  $d$  adalah jarak antar bidang kristal, dan  $\theta$  adalah sudut difraksi.

Persamaan (13) juga menginformasikan jika pada proses pelapisan dilakukan pengubahan parameter tertentu dan terjadi perubahan posisi sudut puncak difraksi, maka jarak antar bidang ( $d$ ) berubah. Makin besar sudut  $\theta$  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  $2\theta$  tercantum pada Gambar 10b.

Berdasarkan gambar 10b dapat ditentukan struktur mikro lapisan apakah amorf atau kristal serta arah pertumbuhan atomnya. Arah pertumbuhan atom dinyatakan dengan arah bidang yang disebut dengan indek bidang atau indek Miller. Hubungan antara jarak bidang dengan indek bidang khusus untuk kristal kubik diungkapkan sebagai,

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (14)$$

dengan  $d_{hkl}$  adalah indeks bidang-bidang  $hkl$  dan  $hkl$  adalah indeks miller.



**Gambar 10.** a) Difraksi sinar-X dan b) Hubungan intensitas terhadap sudut  $2\theta$

#### 5. 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) mendefinisikan sensor sebagai perangkat yang menerima dan menanggapi sinyal atau stimulus dengan tujuan untuk menanggapi berbagai macam input besaran fisik dan mengubahnya menjadi besaran listrik yang kompatibel menggunakan rangkaian elektronik. Besaran listrik ini harus dapat disalurkan, diperkuat, dan dimodifikasi oleh rangkaian elektronik.

Suhu merupakan ukuran seberapa panas atau dinginnya sebuah benda (Serway dan Jewett, 2010). Suhu juga berhubungan dengan energi kinetik molekul bahan. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran. Makin tinggi energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi suhu benda tersebut.

Pengukuran suhu yang memanfaatkan perubahan sifat fisik suatu benda secara kuantitatif tidak dapat dilakukan dengan menggunakan panca indera melainkan dibutuhkan suatu piranti elektronik untuk mendeteksinya yang dikenal dengan sensor suhu. Sensor suhu merupakan alat yang dapat menanggapi dan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan listrik, gerakan, atau resistansi. Dalam memilih peralatan sensor yang tepat dan sesuai, perlu diperhatikan persyaratan umum sensor berikut ini:

a. Linieritas

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

b. Sensitivitas

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

c. Jangkauan

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

*Resistance Temperature Detector* (RTD) atau dikenal dengan Detektor Temperatur Tahanan adalah sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai atau besaran suatu temperatur atau suhu dengan menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, atau nikel (Raharjo dan Toifur, 2014). RTD dapat dibuat dengan menggunakan coil dan thin film. Pasokan arus listrik yang konstan pada RTD dan mengukur beda potensial antara kedua ujung RTD maka dapat diperoleh nilai tahanan sehingga temperature dapat ditentukan. Hubungan antara tahanan dan suhu dinyatakan dengan persamaan (15).

$$R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (15)$$

dengan  $R_0$  adalah tahanan pada suhu  $T_0$ ,  $R_0$  adalah tahanan pada suhu  $T$ ,  $\alpha$  adalah koefisien suhu tahanan TCR (*Temperature Coefficient of Resistance*), dan  $\Delta T$  adalah selisih suhu antara  $T_0$  dan  $T$ . Apabila modelnya non linier maka digunakan persamaan Callendar-Van Dusen pada persamaan (23).

$$R_T = R_0 (1 + AT + BT^2 + CT^3 (T - 100)) \quad (16)$$

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

# Eksperimen III

## Elektroplating

### A. Metode Eksperimen

1. Preparasi sampel
  - a. Alat
    - 1) Gelas ukur untuk mengukur volume
    - 2) Gergaji untuk memotong papan PCB
    - 3) Gerinda untuk menghaluskan sampel
    - 4) Hair dryer sebagai pengering sampel
    - 5) Kikir sebagai penghalus pinggir sampel
    - 6) Magnetic stirrer sebagai pengaduk larutan
    - 7) Penggaris baja sebagai pengukur panjang sampel
    - 8) Ultrasonic cleaner sebagai pencuci sampel
    - 9) Neraca ohaus P214 sebagai pengukur massa sampel.
    - 10) Pinset sebagai penjepit sampel
    - 11) Baki sebagai tempat sampel
    - 12) Gelas ukur untuk mengukur volume

13) Sikat gigi dengan bulu yang paling halus untuk membersihkan sampel.

b. Bahan

- 1) Aquades sebagai pengencer larutan.
- 2) Alkohol sebagai pembersih sampel.
- 3) *Cutting sticker* untuk mencetak desain di atas PCB.
- 4) PCB sebagai lapisan tembaga.
- 5) Plastik klip sebagai tempat penyimpanan sampel.
- 6) Pasta gigi sebagai bahan pembersih sampel.
- 7) Label untuk memberi nama pada plastik klip.
- 8) *Tissue* untuk mengeringkan dan membungkus.
- 9) Penghapus karet.
- 10) Feriklorit sebagai pelarut PCB.
- 11) *Double tip* untuk merekatkan sampel pada baki
- 12) Autosol untuk membersihkan kotoran dan menghaluskan permukaan.

c. Langkah-langkah preparasi sampel

- 1) Papan (*Printed Circuit Board*) PCB disiapkan.
- 2) Desain sampel disiapkan dengan jenis *cutting sticker*.
- 3) PCB dipotong sesuai dengan hasil cetak desain yaitu  $10\text{ cm} \times 1.3\text{ cm}$ .
- 4) Sampel diberi tanda dengan cara menuliskan nama dibagian *fiber*.
- 5) *Cutting sticker* ditempelkan di atas PCB.

- 6) Hasil cetak desain dilarutkan di dalam larutan feriklorit ( $\text{FeCl}_3$ ), setelah tercetak selanjutnya dibersihkan di air mengalir.
- 7) *Cutting sticker* dikelupas dan dibersihkan dengan penghapus karet.
- 8) Permukaan sampel digosok dengan autosol hingga bersih.
- 9) Permukaan Cu dibersihkan dengan pasta gigi.
- 10) Sampel dicuci menggunakan aquadest dengan cara disikat bagian permukaan seluruh sampel menggunakan sikat gigi.
- 11) Sampel dibilas menggunakan aquadest.
- 12) Sampel dicuci dengan alkohol menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 3 menit.
- 13) Sampel yang telah dicuci dikeringkan menggunakan *hair dryer*.
- 14) Sampel dibungkus menggunakan tisu, selanjutnya sampel disimpan di dalam plastik klip.

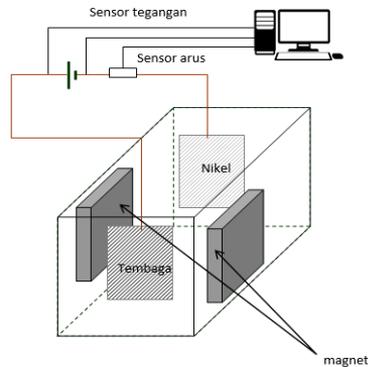
## 2. Pembuatan Lapisan Tipis Cu/Ni

### 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 PCB sebagai lapisan tembaga.
  - 2) Anoda nikel sebagai pelapis tembaga.
  - 3) Asam borak ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) sebanyak  $40\text{gl}^{-1}$  sebagai pengontrol pH larutan elektrolit.
  - 4) Nikel Sulfat ( $\text{NiSO}_4$ ) sebanyak  $260\text{gl}^{-1}$  sebagai campuran larutan untuk pembuatan larutan elektrolit.
  - 5) Nikel klorida ( $\text{NiCl}_2$ ) sebanyak  $60\text{gl}^{-1}$  sebagai campuran larutan untuk pembuatan larutan elektrolit.
  - 6) *Aquadest* sebagai pengencer larutan elektrolit.
  - 7) Tisu untuk membungkus sampel.
- c. Langkah-langkah
- 1) Alat dirangkai seperti pada gambar 11.
  - 2) Larutan dipanaskan menggunakan kompor listrik (*Heater*) sampai pada suhu  $60^\circ\text{C}$ .

- 3) Medan magnet diatur dalam keadaan 0 G.
- 4) Waktu diatur menggunakan stopwatch dengan waktu 5 s.
- 5) Massa Cu diukur dengan neraca ohaus
- 6) Pelat Cu diletakkan pada katoda dan pelat Ni pada anoda.
- 7) Setelah elektroplating, sampel dikeringkan dan diukur untuk mengetahui massa Ni dengan neraca ohaus
- 8) Proses deposisi diulangi untuk perubahan medan magnet dari 50 G sampai 200 G dengan kenaikan 50 G.



**Gambar 11.** Rangkaian alat proses elektroplating

### 3. Pengujian Resistivitas Keping

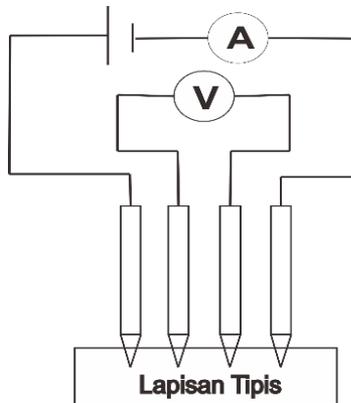
Untuk melakukan karakterisasi resistivitas akan digunakan *probe* empat titik. Alat pendukung yang dibutuhkan untuk karakterisasi lapisan tipis antara lain:

- a. Lapisan tipis
- b. Sumber tegangan DC
- c. *Probe* empat titik

- d. Amperemeter
- e. Voltmeter
- f. Resistor 5 buah  $4.7 \Omega$
- g. Breadboard
- h. Kabel penghubung
- i. Substrat Cu dan sampel Cu/Ni

Langkah-langkah pengujian resistivitas keping adalah:

- a. Alat dirangkai seperti gambar 12.
- b. Lapisan Cu atau Cu/Ni diletakkan pada tempat bahan pada alat probe empat titik.
- c. Sumber tegangan DC dihidupkan.
- d. Tegangan dirubah secara perlahan-lahan dengan cara memutar knop tegangan.
- e. Nilai tegangan dan arus yang terukur selama pengukuran dicatat dan ditabulasikan ke dalam tabel 3.



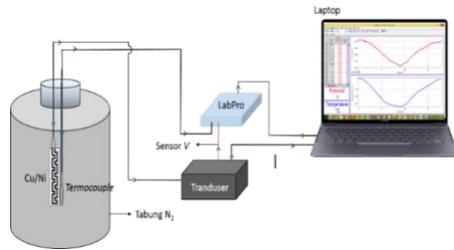
**Gambar 12.** Skema Probe empat titik

**Tabel 3.** Tabulasi data penentuan Resistivitas listrik lapisan tipis.

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

4. Pengujian XRD
  - a. Alat penelitian adalah XRD (X-ray diffractometer) tipe Rigaku Miniflex 600 dan bahan penelitian adalah sampel lapisan tipis Cu/Ni.
  - b. Langkah-langkah penelitian
    - 1) Sampel diletakkan pada alat *diffractometer* dengan sudut  $\theta$  terhadap sinar datang.
    - 2) Catu daya disambungkan hingga terjadi pancaran sinar-X
    - 3) Intensitas sinar-X yang terpantul dari sampel diamati melalui alat *diffractometer*.
    - 4) Sampel beserta alat pendeteksi diputar untuk sudut-sudut yang lain.
5. Pengujian Kinerja Sensor
  - a. Alat penelitian
    - 1) Tabung nitrogen cair
    - 2) Transduser sebagai pengubah data analog ke digital
    - 3) Labquest dari vernier

- 4) *Voltage probe* untuk mengukur tegangan sebagai data keluaran dari sensor Cu/Ni
  - 5) *Thermocouple* sebagai pendeteksi perubahan suhu
  - 6) Laptop dengan *software logger pro* sebagai penampil data kinerja sensor.
- b. Bahan penelitian
- Bahan yang digunakan dalam uji kinerja sensor adalah nitrogen cair sebagai media suhu rendah.
- c. Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan yaitu:
- 1) Alat dirangkai seperti pada Gambar 13,
  - 2) Aplikasi logger prodibuka pada laptop,
  - 3) Waktu pengambilan data dan jenis pengukuran suhu rendah diatur pada pada logger pro,
  - 4) Data kinerja sensor diambil dengan cara memasukkan dan mengeluarkan sensor Cu/Ni bersama dengan *termocouple* secara perlahan,
  - 5) Langkah c sampai d diulang untuk sampel Cu/Ni dengan variasi medan magnet yang lain.



**Gambar 13.** Rangkaian alat kinerja sensor suhu rendah

**Tabel 4.** Tabulasi data analisis sensor suhu

No	$T$ (s)	$T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$V_{\text{output}}$ (volt)
1			
2			
3			
4			

## B. Analisis data

### 1. Menentukan tebal lapisan

Ketebalan lapisan Ni dapat ditentukan menggunakan selisih massa pada deposit Ni dan substrat Cu. Pengukuran massa dilakukan dengan menimbang sampel sebelum dan setelah deposisi Ni dengan menggunakan neraca ohaus PA214. Tebal lapisan Ni dihitung melalui persamaan Lowenheim,

$$\delta = \frac{W}{\rho A_{Ni}} = \frac{(m_{Cu/Ni} - m_{Cu})}{\rho A_{Ni}} \quad (17)$$

Sedangkan untuk nilai ralat dari tebal lapisan Ni dapat diperoleh dari perambatan ralat dari  $m_{Cu/Ni}$ ,  $m_{Cu}$ , dan  $A$  sehingga menjadi:

$$S_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{1}{\rho A} S_{m_{Cu/Ni}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\rho A} S_{m_{Cu}}\right)^2 + \left(\frac{m_{Cu/Ni} - m_{Cu}}{\rho A^2} S_A\right)^2} \quad (18)$$

### 1. Menentukan resistivitas lapisan

Penentuan nilai resistivitas lapisan tipis menggunakan persamaan,

$$V = R_s \frac{\ln 2}{\pi} I \quad (19)$$

Persamaan ini dapat didekati dengan persamaan regresi linier

$$y = ax + b \quad (20)$$

dengan  $x = I$  dan  $y = V$ ,  $a$  merupakan gradien dari garis yang merupakan representasi dari nilai resistivitas. Besar dari nilai  $a$  dan  $b$  dapat diperoleh dari

$$a = \frac{N \sum (x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (21)$$

Sedangkan ralat baku estimasi dan ralat kumulatifnya adalah

$$S_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{N-2}} \quad (22)$$

$$S_a = S_{\hat{y}} \sqrt{\frac{N}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}} \quad (23)$$

Sehingga nilai resistivitas dan ralatnya dapat ditentukan berdasarkan:

$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} a \quad (24)$$

$$S_{R_s} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_s}{\partial a} S_a\right)^2} = \frac{\pi}{\ln 2} S_a \quad (25)$$

#### 1. XRD

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

#### 2. Kinerja Sensor

Untuk menentukan hubungan antara tegangan output terhadap suhu dari uap LN<sub>2</sub> akan digunakan metode *fitting* data polinomial orde dua, menurut persamaan (Bevington, 2003):

$$y = a^2x + bx + c \quad (26)$$

Penerapan *fitting* data polinomial orde dua disebabkan oleh sebaran data yang tidak membentuk kurva linier, sehingga *fitting* yang paling cocok untuk menganalisis kurva yang dihasilkan adalah menggunakan polinomial orde dua.

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

$$a = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} \sum x_i^2 y_i & \sum x_i^3 \\ \sum x_i y_i & \sum x_i^2 \\ \sum y_i & \sum x_i \end{pmatrix} \quad (27)$$

$$b = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} \sum x_i^4 & \sum x_i^2 y_i \\ \sum x_i^3 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum y_i \end{pmatrix} \quad (28)$$

$$c = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} \sum x_i^4 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^3 & \sum x_i^2 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i \end{pmatrix} \quad (29)$$

dengan,

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Sigma x_i^4 & \Sigma x_i^3 & \Sigma x_i^2 \\ \Sigma x_i^3 & \Sigma x_i^2 & \Sigma x_i \\ \Sigma x_i^2 & \Sigma x_i & N \end{pmatrix} \quad (29)$$

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

# Data IV

## Eksperimen

### A. Uji Ketebalan Lapisan Ni

Tebal lapisan Ni yang terbentuk di atas substrat Cu, dapat diketahui dengan selisih massa sebelum dan sesudah deposisi Ni, seperti pada Tabel 5.

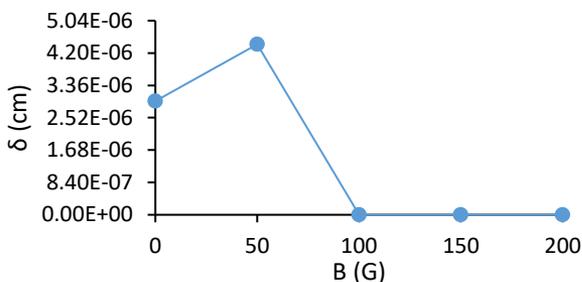
**Tabel 5.** Data massa untuk setiap sampel dengan variasi kuat medan magnet

$B(G)$	$m_1(g)$	$m_2(g)$	$\Delta m(g)$
0	1.0943	1.0945	0.0002
50	1.1110	1.1113	0.0003
100	1.0318	1.0318	0
150	1.1415	1.1415	0
200	1.0096	1.0096	0

Keterangan:  $m_1$  adalah massa sebelum deposisi Ni,  $m_2$  adalah massa setelah deposisi Ni dan  $\Delta m$  adalah selisih massa.

Berdasarkan tabel 4 diketahui bahwa terdapat penambahan massa pada medan magnet 0 G dan 50 G, sedangkan pada rentang 100 G sampai 200 G tidak

terdapat perubahan massa. Hal ini dikarenakan perubahan massa ketika deposisi Ni sangat kecil, sehingga diperlukan alat ukur massa dengan ketelitian ( $< 0.0001$ )g. Hasil deposisi Ni pada substrat Cu telah terbentuk, hasil tersebut dapat dilihat secara fisik yang ditandai perubahan warna di atas substrat Cu. Nilai ketebalan yang diperoleh dari hasil deposisi ditampilkan pada gambar 14.



**Gambar 14.** Grafik hubungan ketebalan lapisan Ni terhadap medan magnet.

Pada deposisi Ni dengan medan magnet 0 G dan 50 G memiliki perubahan massa, sehingga persamaan (6) dapat digunakan. Kedua variasi medan magnet tersebut memiliki tebal lapisan sebesar 29.50 nm dan 44.25 nm.

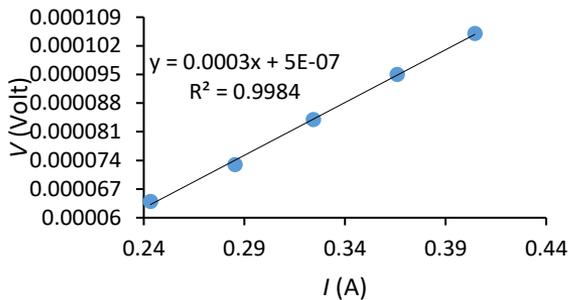
## B. Uji resistivitas keping

Uji resistivitas keping dilakukan sebanyak dua kali, tujuannya untuk mengetahui perubahan nilai resistivitas keping sebelum dan setelah deposisi Ni. Nilai keduanya yaitu nilai resistivitas keping pada substrat Cu ( $R_{s_1}$ ) dan pada lapisan tipis Cu/Ni ( $R_{s_2}$ ) hasil deposisi Ni pada substrat Cu dapat diketahui dengan menggunakan alat

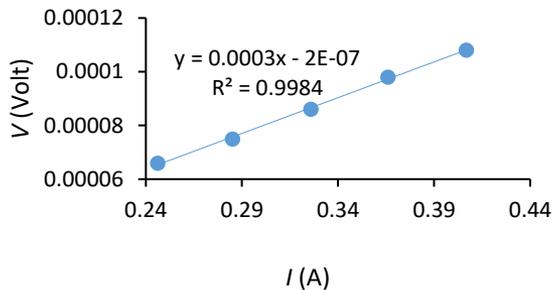
probe empat titik, dengan menggunakan rangkaian pada Gambar 12.

1. Resistivitas keping Cu

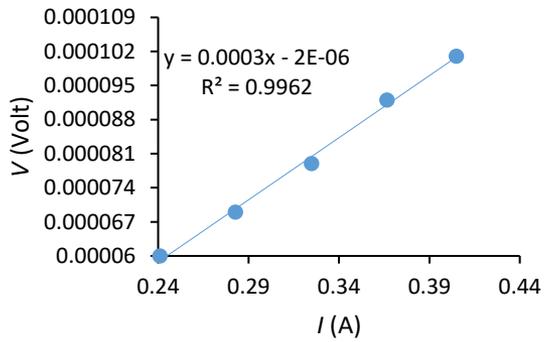
Hasil pengukuran resistivitas keping pada setiap sampel pada kondisi awal (berupa substrat Cu), dianalisis dengan menggunakan regresi linier yang ditampilkan pada grafik hubungan  $V$  dan  $I$  pada Gambar 15 sampai Gambar 19..



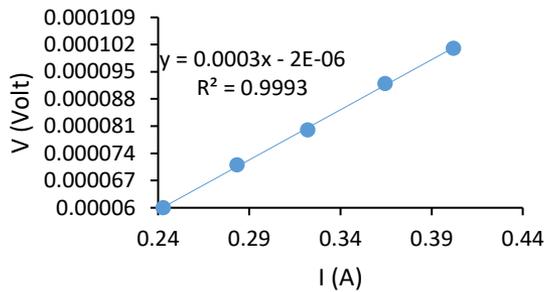
**Gambar 15.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel pertama



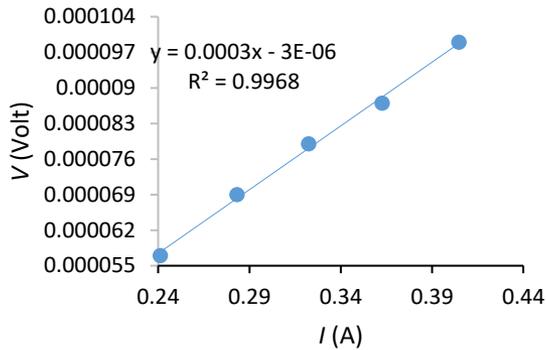
**Gambar 16.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel kedua



**Gambar 17.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel ketiga



**Gambar 18.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel keempat



**Gambar 19.** Grafik hubungan antara V dan I pada sampel kelima

Nilai fitting data pada setiap sampel ditampilkan pada tabel 6, sedangkan pada tabel 7 menampilkan nilai resistivitas keping yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (24).

**Tabel 6.** Persamaan linier hubungan antara tegangan dan kuat arus substrat Cu

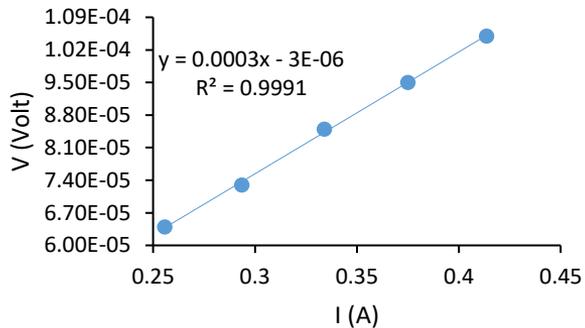
B (G)	Persamaan linier	Indeks determinasi ( $R^2$ )
0	$V = 0.0003 I + 0.0005$	0.9983
50	$V = 0.0003 I - 0.0002$	0.9984
100	$V = 0.0003 I - 0.0024$	0.9962
150	$V = 0.0003 I - 0.0024$	0.9993
200	$V = 0.0003 I - 0.0028$	0.9968

**Tabel 7.** Nilai resistivitas keping Cu

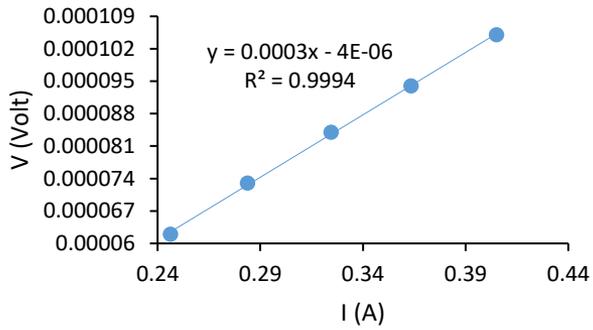
No.	$R_s \times 10^{-3} (\Omega/\text{Sq})$
1	$1.168 \pm 0.027$
2	$1.206 \pm 0.028$
3	$1.156 \pm 0.041$
4	$1.169 \pm 0.018$
5	$1.137 \pm 0.037$

2. Resistivitas keping (Cu/Ni)

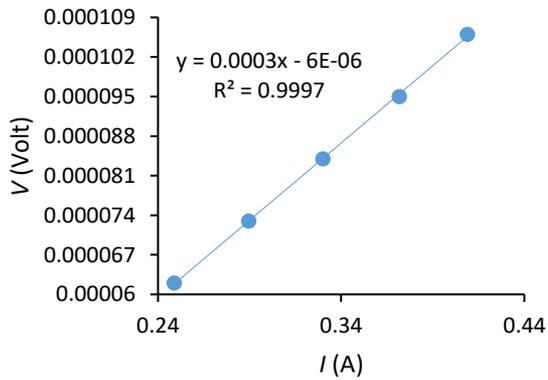
Analisis pengukuran resistivitas keping Cu/Ni pada setiap sampel menggunakan regresi linier yang ditampilkan pada grafik hubungan  $V$  dan  $I$  yang ditampilkan pada Gambar 20 sampai Gambar 24.



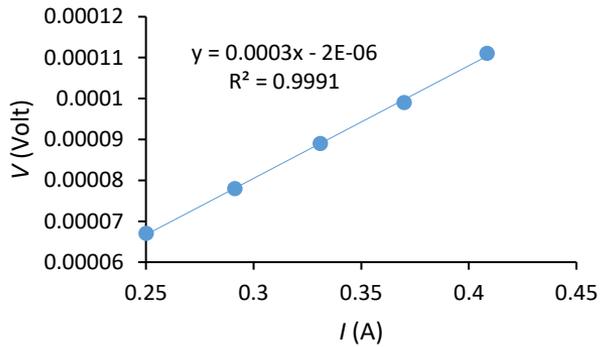
**Gambar 20.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel kesatu ( $B = 0$  G)



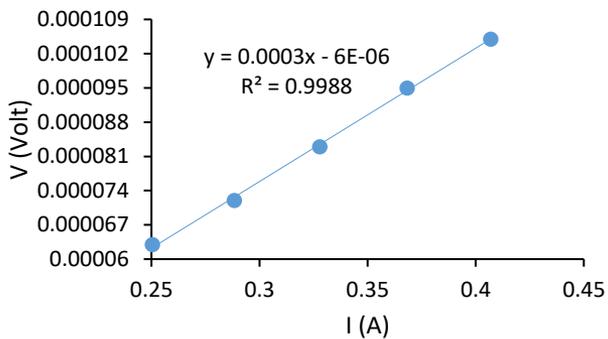
**Gambar 21.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel kedua ( $B = 50$  G)



**Gambar 22.** hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel kesatu ( $B = 100$  G)



**Gambar 23.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel kesatu ( $B = 150$  G)



**Gambar 24.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $I$  pada sampel kesatu ( $B = 200$  G)

Tabel 8 menampilkan persamaan linier hasil pengukuran resistivitas keping hasil deposisi Ni. Sedangkan pada tabel 9 ditampilkan nilai resistivitas keping lapisan Cu/Ni.

**Tabel 8.** Persamaan linier hubungan antara tegangan dan kuat arus lapisan tipis Cu/Ni

B (G)	Persamaan linier	Indeks determinasi ( $R^2$ )
0	$V = 0.0003I - 0.0031$	0.9991
50	$V = 0.0003I - 0.0039$	0.9994
100	$V = 0.0003I - 0.0062$	0.9997
150	$V = 0.0003I - 0.0022$	0.9991
200	$V = 0.0003I - 0.0059$	0.9988

**Tabel 9.** Nilai resistivitas keping lapisan tipis Cu/Ni

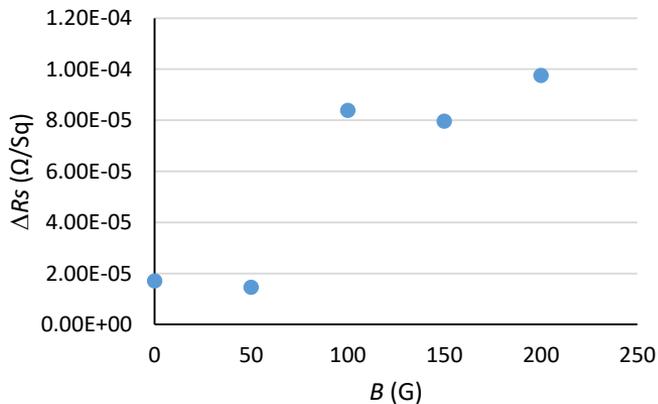
No.	$R_s \times 10^{-3} (\Omega/Sq)$
1	$1.186 \pm 0.021$
2	$1.221 \pm 0.017$
3	$1.240 \pm 0.013$
4	$1.249 \pm 0.021$
5	$1.235 \pm 0.025$

Data resistivitas keping Cu dan Cu/Ni ditampilkan pada tabel 9. Pada tabel tersebut diperoleh informasi bahwa nilai  $R_{s2}$  lebih besar dari pada  $R_{s1}$ , hal ini dikarenakan nilai resistivitas Ni  $7.3 \mu\Omega\text{cm}$  lebih besar dari nilai resistivitas Cu  $1.7 \mu\Omega\text{cm}$ . Besarnya nilai resistivitas Ni menjadikan nilai  $R_{s2}$  lebih besar dari  $R_{s1}$ .  $\Delta R_s$  merupakan selisih  $R_{s2}$  dan  $R_{s1}$ . Berdasarkan tabel 10 diketahui bahwa  $\Delta R_s$  pada setiap deposisi dengan medan magnet yang bervariasi mengalami kenaikan seperti pada Gambar 25. Kenaikan pada  $\Delta R_s$  menunjukkan

bahwa nilai resistivitas keping yang semakin tinggi maka tebal lapisan Ni mengalami penurunan.

**Tabel 10.** Nilai resistivitas keping Cu dan Cu/Ni untuk setiap variasi kuat medan magnet

B (G)	$Rs_1 \times 10^{-3}$ ( $\Omega/\text{Sq}$ )	$Rs_2 \times 10^{-3}$ <sup>1</sup> ( $\Omega/\text{Sq}$ )	$\Delta Rs \times 10^{-5}$ ( $\Omega/\text{Sq}$ )
0	$1.168 \pm 0.027$	$1.186 \pm 0.021$	$1.712 \pm 0.646$
50	$1.206 \pm 0.028$	$1.221 \pm 0.017$	$1.461 \pm 1.069$
100	$1.156 \pm 0.041$	$1.240 \pm 0.013$	$8.388 \pm 2.888$
150	$1.169 \pm 0.018$	$1.249 \pm 0.021$	$7.972 \pm 0.313$
200	$1.137 \pm 0.037$	$1.235 \pm 0.025$	$9.755 \pm 1.275$



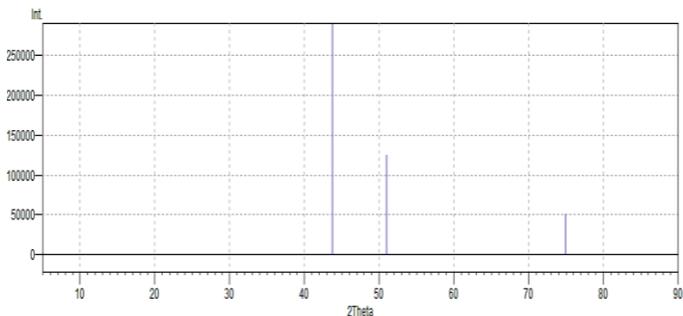
**Gambar 25.** Grafik hubungan antara  $\Delta Rs$  Cu/Ni dan Cu terhadap variasi  $B$

Besarnya nilai resistivitas keping berbanding terbalik terhadap nilai tebal lapisan yang terbentuk, sehingga semakin tebal lapisan Ni yang terdeposisikan ke Cu maka nilai resistivitas keping

akan semakin menurun. Sedangkan pada Gambar 25 dapat diketahui bahwa perubahan nilai resistivitas keping antara  $R_{s_2}$  dan  $R_{s_1}$  mengalami kenaikan, akan tetapi pada medan magnet 50 G terdapat penurunan dibanding 0 G, hal ini juga terjadi pada 150 G yang turun dibandingkan pada 100 G. Pada medan magnet 100 G penurunan tersebut tidak terjadi jika dibandingkan dengan 50 G, akan tetapi mengalami kenaikan yang cukup besar yaitu  $6.927 \times 10^{-5} \Omega / \text{sq}$ .

### C. Uji XRD

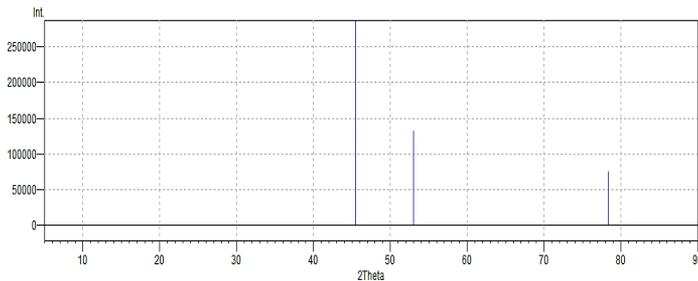
Uji struktur mikro pada lapisan tipis Cu/Ni dilakukan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan hasil berupa difraktogram dari lapisan tipis Cu/Ni, sebagai data acuan atau pembanding diambil data *crystallography* dari bahan Cu dan Ni yang ditampilkan pada Gambar 26 dan Gambar 27, sedangkan sudut pada puncak difraksi ditampilkan pada Tabel 11 dan Tabel 12.



**Gambar 26.** Grafik difraktogram untuk material Cu

**Tabel 11.** 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



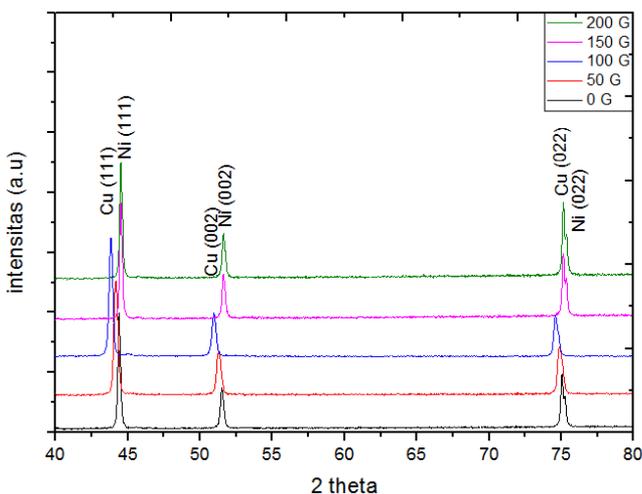
**Gambar 27.** Grafik difraktogram untuk material Ni

**Tabel 12.** 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 sedikit, dengan indeks miller menunjukkan bahwa keduanya adalah kristal FCC (*Face-Center-Cubic*).

Puncak-puncak difraktogram lapisan tipis pada berbagai variasi  $B$  ditampilkan pada Gambar 28. Pada tabel 13 dan 14 ditampilkan informasi tentang sudut material Cu dan Ni pada setiap puncak yang dimiliki dengan hasil pencocokan dengan *software match*. Perbandingan data eksperimen dengan data pada *crystallography* untuk setiap sudut dapat diketahui pada tabel 13 dan tabel 14.



**Gambar 28.** Difraktogram untuk variasi  $B$

**Tabel 13.** Data puncak Cu

$B$ (G)	$\theta$	$I$ (cps)	$d$ (Å)	$a$ (Å)	$\Delta\theta$
0	21.84	114	1.115	3.586	0.029
	25.4	118	0.994	3.592	0.075
	37.33	180	0.799	3.593	0.134
50	21.81	207	1.117	3.591	0.059
	25.44	119	0.993	3.586	0.034
	37.52	1107	0.797	3.577	0.056
100	21.73	605	1.119	3.604	0.139
	25.34	116	0.996	3.599	0.134
	37.29	2331	0.799	3.596	0.174
150	21.99	70	1.109	3.563	0.121
	25.46	114	0.992	3.584	0.014
	37.52	505	0.797	3.577	0.056
200	21.87	61	1.114	3.582	0.001
	25.48	110	0.992	3.581	0.006
	37.56	1025	0.797	3.574	0.096

Keterangan :  $\Delta\theta$  adalah selisih sudut antara sudut Cu dan Cu pada data *crystallography*

**Tabel 14.** Data puncak Ni

$B$ (G)	$\theta$	$I$ (cps)	$d$ (Å)	$a$ (Å)	$\Delta\theta$
0	22.14	1038	1.103	3.54	0.611
	25.79	759	0.983	3.541	0.733
	37.98	151	0.794	3.54	1.182
50	22.17	1834	1.102	3.536	0.581
	25.73	933	0.985	3.549	0.793
	37.89	181	0.795	3.548	1.272
100	21.92	6263	1.112	3.574	0.831
	25.49	126	0.991	3.579	1.033
	37.48	568	0.798	3.581	1.682
150	22.23	1396	1.099	3.527	0.521
	25.82	566	0.982	3.537	0.703
	38.05	114	0.794	3.535	1.112
200	22.24	1493	1.099	3.525	0.511
	25.78	848	0.983	3.542	0.743
	37.97	118	0.794	3.541	1.192

Keterangan :  $\Delta\theta$  adalah selisih sudut antara sudut Ni dan Ni pada data *crystallography*

Berdasarkan tabel 13 dan 14 dapat diperoleh informasi bahwa Cu memiliki nilai selisih sudut yang lebih kecil dibandingkan Ni. hal ini dapat dikarenakan material pada data *crystallography* dibuat dengan fabrikasi yang berbeda sehingga jarak antar atom lebih rapat dan Cu yang digunakan merupakan PCB bahan untuk elektronika yang memiliki kepadatan tertentu. Sedangkan pada proses deposisi Ni dalam eksperimen, penambahan medan magnet menyebabkan Ni tumbuh dengan jarak antar atom yang lebih besar dibandingkan Cu.

Pada Gambar 30 dapat dilihat bahwa telah terbentuk fasa kristal dan puncak-puncak tertinggi terjadi pada sudut  $2\theta \pm 44$ . Pergeseran puncak-puncak yang dominan terjadi pada sampel dengan perlakuan 0 G, 50 G dan 100 G. pergeseran tersebut dapat dikarenakan terjadinya *strain* (regangan) pada  $d$ , sehingga menyebabkan bidang-bidang bragg pada sampel 0 G dan sampel lain berbeda. nilai strain dapat dianalisis dengan persamaan,

$$\varepsilon = \frac{d_n - d_0}{d_0} \quad (30)$$

dengan  $\varepsilon$  adalah *strain* (regangan),  $d_n$  adalah bidang-bidang bragg ke-  $n$  dan  $d_0$  adalah bidang bragg pertama. Nilai strain pada setiap sampel ditampilkan pada tabel 15.

**Tabel 15.** Nilai regangan untuk setiap variasi  $B$  pada sudut  $2\theta \pm 44$

$B$ (G)	$d_{Cu}$ (Å)	$\varepsilon_{Cu}$	$d_{Ni}$ (Å)	$\varepsilon_{Ni}$
0	1.115	0.000	1.103	0.000
50	1.117	0.002	1.102	0.001
100	1.119	0.004	1.112	0.008
150	1.109	0.005	1.099	0.004
200	1.114	0.001	1.099	0.004

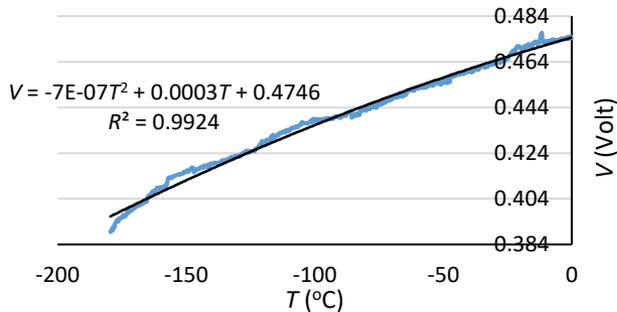
Berdasarkan tabel 15 diketahui bahwa pada sampel dengan perlakuan perlakuan 0 G, 50 G dan 100 G memiliki nilai pergeseran yang berbeda. Pada Cu mengalami pergeseran yang semakin naik dan turun pada sampel dengan perlakuan 200 G. sedangkan pada Ni sampel dengan perlakuan 0 G mengalami kenaikan dan pada sampel 150 G mengalami penurunan.

#### D. Uji kinerja sensor

Uji kinerja sensor suhu rendah dilakukan dengan mengukur perubahan nilai tegangan output (keluaran) terhadap perubahan suhu pada LN<sub>2</sub>.

1. Variasi B pada 0 G

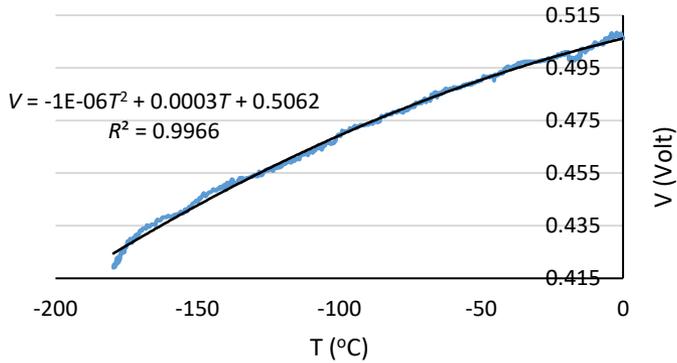
Grafik hubungan perubahan  $T$  dan  $V$  pada sampe Cu/Ni dengan proses deposisi Ni tanpa medan magnet ditampilkan pada Gambarr 29.



**Gambar 29.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $T$  pada sampel variasi  $B = 0$  G

2. 50 G

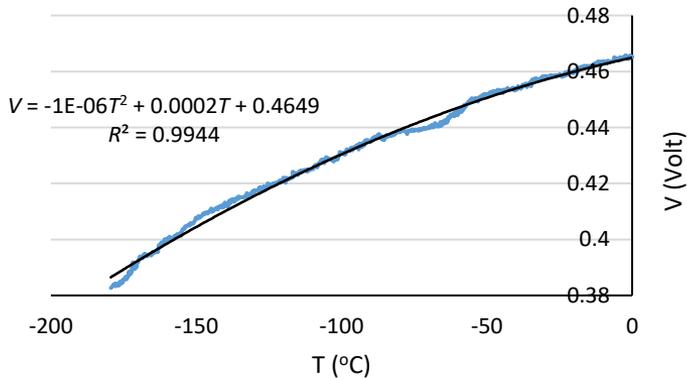
Grafik hubungan perubahan  $T$  dan  $V$  pada sampe Cu/Ni dengan proses deposisi Ni dengan  $B$  50 G ditampilkan pada Gambar 30.



**Gambar 30.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $T$  pada sampel variasi  $B = 50$  G

### 3. 100 G

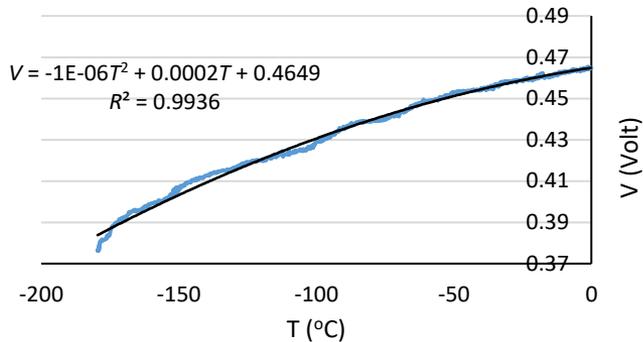
Grafik hubungan perubahan  $T$  dan  $V$  pada sampe Cu/Ni dengan proses deposisi Ni dengan  $B$  100 G ditampilkan pada Gambar 31.



**Gambar 31.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $T$  pada sampel variasi  $B = 100$  G

4. 150 G

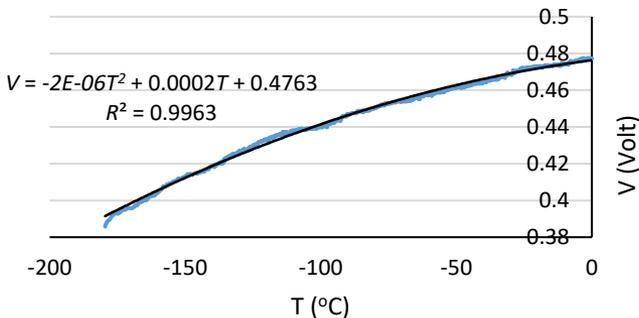
Grafik hubungan perubahan  $T$  dan  $V$  pada sampe Cu/Ni dengan proses deposisi Ni dengan  $B$  150 G ditampilkan pada Gambar 32.



**Gambar 32.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $T$  pada sampel variasi  $B = 150$  G

5. 200 G

Grafik hubungan perubahan  $T$  dan  $V$  pada sampe Cu/Ni dengan proses deposisi Ni dengan  $B$  200 G ditampilkan pada Gambar 33.

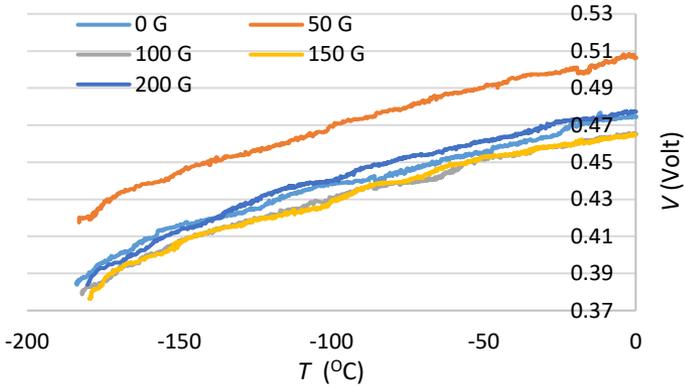


**Gambar 33.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $T$  pada sampel variasi  $B = 200$  G

Data uji sensor suhu LN<sub>2</sub> untuk setiap variasi kuat medan magnet yang digunakan ditampilkan pada Gambar 34. Pada hubungan besar tegangan yang dimiliki setiap sampel menunjukkan nilai koefisien temperatur yang dimiliki oleh setiap sampel, dengan menggunakan fitting polynomial orde dua, maka diperoleh pendekatan pada data perubahan tegangan keluaran dengan suhu LN<sub>2</sub>. Hasil fitting data pada setiap sampel ditampilkan pada tabel 16.

**Tabel 16.** Persamaan fitting data polynomial orde dua pada uji kinerja sensor lapisan tipis Cu/Ni

$B$ (G)	$V = aT^2 + bT + c$	Indek determinasi ( $R^2$ )
0	$V = -7E-7T^2 + 0.0003T + 0.4746$	0.9924
50	$V = -1E-6T^2 + 0.0003T + 0.5062$	0.9966
100	$V = -1E-6T^2 + 0.0002T + 0.4649$	0.9944
150	$V = -1E-6T^2 + 0.0002T + 0.4649$	0.9936
200	$V = -2E-6T^2 + 0.0002T + 0.4763$	0.9963



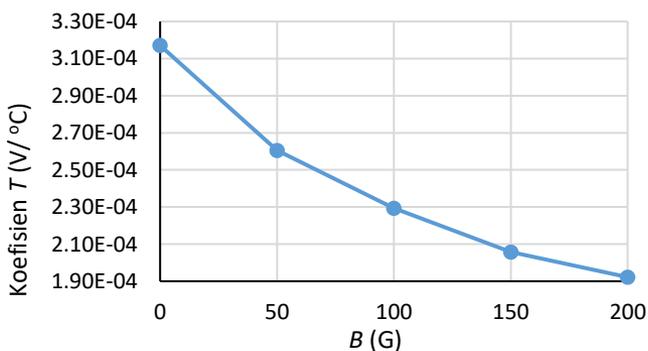
**Gambar 34.** Grafik hubungan antara  $V$  dan  $T$  pada variasi  $B$

Berdasarkan tabel 16, dapat diketahui nilai koefisien  $b$  yang ditampilkan pada tabel 17. 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 LN<sub>2</sub>.

**Tabel 17.** Nilai koefisien suhu pada lapisan tipis Cu/Ni untuk setiap variasi  $B$

$B$ (G)	Koefisien suhu $(V/^\circ C) \times 10^{-4}$
0	3.171
50	2.605
100	2.294
150	2.058
200	1.922

Nilai koefisien suhu pada tabel 14 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara  $B$  dan nilai koefisien suhu pada setiap variasi  $B$  pada Gambar 35. Berdasarkan Gambar 35 dan tabel 14, dapat diketahui bahwa nilai koefisien suhu pada setiap variasi mengalami penurunan. Nilai koefisien suhu tertinggi di miliki oleh sampel dengan variasi  $B$  sebesar 0 G atau tanpa medan magnet, sedangkan nilai terkecil dimiliki oleh  $B$  dengan 200 G. berdasarkan hal tersebut maka perlakuan  $B$  pada proses deposisi Ni memiliki pengaruh terhadap nilai koefisien suhu, hal ini dapat dikarenakan besarnya nilai medan magnet dari rentang 0 G sampai 200 G merupakan nilai  $B$  yang rendah atau kecil, sehingga pada proses elektroplating dilakukan penambahan  $B$  lebih bersifat mengganggu proses deposit Ni.



**Gambar 35.** Pengaruh kuat medan magnet terhadap koefisien temperatur pada uji kinerja sensor.

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

1. Lapisan Ni yang terbentuk memiliki tebal yang semakin tipis, yaitu lebih kecil dari 44,25 nm dan untuk ketebalan yang lebih kecil tidak dapat dihitung dengan persamaan Lowenheim.
2. Pada nilai resistivitas keping, untuk setiap variasi  $B$  mengalami kenaikan dibandingkan sebelum dilakukan deposit Ni. Kenaikan nilai resistivitas keping yang paling besar dimiliki oleh sampel dengan perlakuan  $B = 200$  G.
3. Intensitas puncak spektrum pada Ni memiliki nilai yang kecil dibandingkan dengan Cu, hal ini menunjukkan bahwa telah terbentuk lapisan Ni yang sangat tipis dibandingkan substratnya.
4. Uji kinerja sensor menunjukkan bahwa, grafik hubungan antara tegangan keluaran dengan suhu nitrogen cair cenderung memiliki hubungan yang linier, dengan nilai koefisien suhu terbesar dimiliki oleh sampel dengan perlakuan  $B = 0$  G.

# DAFTAR PUSTAKA

- Afriany, R., Kusmono dan Soekrisno, R. 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan Dan Waktu Pelapisan Nikel Pada Alumunium Terhadap Kekerasan. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains and Teknologi (SNAST)* Periode III. Yogyakarta, 3 November 2012. ISSN: 1979-911X.
- Anonim. 2015. Nikel. [10.37.http://en.wikipedia.org/wiki/Nikel](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.
- Callister, W. D. and David, G. R.. 2012. *Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach*. 4<sup>th</sup> edition. Wiley: USA.
- 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.
- 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.
- Grant, K.M., Hemmert, J.W., and White, H.S. 2001. Magnetic Field-Controlled Microfluidic Transport. *JACS Articles*. 124 (3) p. 462-467.
- 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. *Przełqd Elektrotechniczny*, 2 (1), 225.
- Kołodziejczyk, K., Miękoś, E., Zieliński, M., Jaksender, M., Szczukocki, D., Czarny, K., & Krawczyk, B. (2018). Influence of constant magnetic field on electrodeposition of metals, alloys, conductive polymers, and organic reactions. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 1629–1647.
- Leventis, N. and Gao, X. 2001. Magneto hydrodynamics 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.
- Mogi, I., Morimoto, R., and Aogaki, R. 2017. Surface Chirality Effects Induced by Magnetic Fields. *Current Opinion in Electrochemistry*, 4-6.
- Monzon, L. M., and Coey, J. M. 2014. Magnetic fields 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 Jewett, J. W.. 2010. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Edisi 6 Alih Bahasa Chriswan Sungkono. Jakarta: Salemba Teknik.

- Smart, L. E. and Moore, E. A. Solid State Chemistry An Introduction. Third Edition. New York: Taylor and Francis Group
- Sudibyo, How, M. B., and Aziz, N. 2017. Influences of Magnetic Field on The Fractal Morphology in Copper Electrodeposition. *Mineral Processing and Technology International Conference* (p. 4-6). IOP Conference Series.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., Krawczyk, B., and Juszcak, R. 2015. Effects of Constant Magnetic Field on Electrodeposition of Co W-Cu Alloy. *International Journal Electrochemical Science*, (10) 4146-4147.

# GLOSARIUM

I

- RTD (*Resistance Temperature Detector*) : Jenis sensor suhu yang memanfaatkan sifat tahanan dari suatu bahan
- Cu/Ni : Logam Cu yang dilapisi oleh Ni
- Magnetohydrodynamics* : Interaksi antara aliran fluida dengan medan magnet
- SEM (*Scanning Electron Microscope*) : Alat scanning untuk melihat tampang permukaan atau tampang lintang dari suatu bahan dengan perbesaran sampai ribuan kali
- XRD (*X-Ray Diffraction*) : Alat yang digunakan untuk melihat struktur kristal, dan fasa dengan cara mendifraksikan seberkas sinar-X.
- Logam transisi : Unsur yang memiliki subkulit d yang tidak terisi penuh.
- Alloy : Bahan campuran menjadi suatu senyawa
- Plating bath* : Disebut sebagai bak plating atau tempat meletakkan larutan elektrolit
- Elektroplating : Metode pelapisan logam dengan sumber daya DC
- Resistivitas : Kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik, dan menggolongkan untuk bahan yang bersifat konduktor, semikonduktor dan isolator.

- Nitrogen cair (LN<sub>2</sub>) : Nitrogen dalam bentuk keadaan cair dan memiliki suhu rendah -198 °C
- Kristal : Bahan zat padat yang memiliki keteraturan dalam penyusunannya
- Preparasi : Tahapan penyiapan dari bahan material

|

# DAFTAR SIMBOL

$T$	Suhu	$^{\circ}\text{C}$
$R_T$	Tahanan pada suhu $T$	$\Omega$
$R_0$	Tahanan pada suhu $T_0$	$\Omega$
$\alpha$	Koefisien suhu tahanan TCR	
$\Delta T$	Selisih suhu antara $T_0$ dan $T$	$^{\circ}\text{C}$
$\delta$	Tebal lapisan	m
$w$	Massa yang terbentuk	Kg
$\rho_{\text{Ni}}$	Massa jenis Ni	$\text{kg}/\text{m}^3$
$A$	Luas permukaan	$\text{m}^2$
$\nu$	Viskositas	$\text{Ns}/\text{m}^2$
$v$	Kecepatan	$\text{m}/\text{s}$
$\vec{F}_{\text{mag}}$	Gaya densitas magnet	N
$\vec{F}_B$	Gaya magnet	N
$\vec{F}_{\nabla C}$	Gaya gradien konsentrasi	N
$\vec{F}_{\nabla B}$	Gaya gradien magnet	N
$\vec{F}_L$	Gaya lorentz	N

$\vec{B}$	Medan magnet	Tesla
$\vec{J}$	Rapat arus	A/m <sup>2</sup>
$q$	Muatan listrik	Coulomb
$S$	Jarak antar probe	M
$T$	waktu	S
$V$	Tegangan	Volt
$I$	Arus listrik	Ampere
$\rho$	Resistivitas	$\Omega\text{cm}$
$R_s$	Resistivitas keping	$\Omega/\text{Sq}$
$C$	Konsentrasi	Mol/m <sup>3</sup>
$d$	Jarak antar bidang	Å
$d_{hkl}$	Indek bidang $hkl$	Å
$hkl$	Indeks miller	

# MONOGRAF PENGARUH MEDAN MAGNET PADA ELEKTROPLATING Cu/Ni

Elektroplating merupakan metode pembuatan lapisan tipis dengan menggunakan arus listrik DC.

Penambahan medan magnet pada proses elektroplating memungkinkan terjadinya fenomena magnetohydrodynamics, di mana didalamnya timbul Gaya Lorentz yang saling tegak lurus dengan kecepatan massa transport.

pemanfaatan besar medan magnet yang tepat pada proses elektroplating, akan membuat lapisan yang terbentuk memiliki karakter dengan ketebalan tertentu dan bentuk permukaan lapisan lebih homogen dibandingkan tanpa medan magnet.

Tahap selanjutnya, untuk mengetahui karakter dari lapisan tipis yang dibuat dapat dilakukan dengan menggunakan uji ketebalan lapisan yang terbentuk, uji resistivitas keping, uji struktur mikro dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD).

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

ISBN 978-602-451-616-1



9 786024 516161