

# MONOGRAF



## **Pembuatan Sensor Cryonics Cu/Ni dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Sejajar Medan Listrik**

Muhamad Ansarudin  
Dr. Moh. Toifur, M.Si  
Okimustava, M.Pd.Si



## **MONOGRAF**

# **Pembuatan Sensor *Cryonics* Cu/Ni dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Sejajar Medan Listrik**

**Muhamad Ansarudin**

**Dr. Moh. Toifur, M.Si**

**Okimustava, M.Pd.Si**

i



## MONOGRAF

Pembuatan Sensor *Cryonics* Cu/Ni dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Sejajar Medan Listrik

vii + 86 hal ; 14 x 21 cm

---

- Penulis** : Muhamad Ansarudin, Dr. Moh. Toifur,  
M.Si dan Okimustava, M.Pd.Si
- Content Review** : Mujasam, S.Pd., M.Sc,  
Cand. Dr. Moh. Irma Sukarelawan,  
M.Pd.
- Design Review** : Prof. Dr. Ir. Dwi Sulisworo, MT,  
Irfan Yusuf, S.Pd., M.Pd
- Tata Letak** : Efi Kurniasari
- Desain Sampul** : Mentari Eka Wahyuni
- Cetakan** : Oktober 2020



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena atas limpahan nikmat, taufik serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan monograf yang berjudul "Pembuatan Sensor *Cryonics* Cu/Ni dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Sejajar Medan Listrik".

Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan monograf ini masih terdapat berbagai kekurangan, sehingga kritik dan saran membangun dari pihak lain sangat dibutuhkan oleh penulis demi kesempurnaan penulisan monograf ini. Monograf ini diharapkan dapat berguna bagi pembaca dan kebutuhan akademik kedepannya. Penulis pada kesempatan ini mengucapkan banyak terima kasih yang sedalam-dalamnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Dr. Moh. Toifur, M.Si. selaku Ketua Program Studi Magister Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan dan selaku Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktu, tenaga, dan ilmunya guna memberikan bimbingan dan arahan dengan penuh kesabaran kepada penulis dalam penyusunan monograf ini. Semoga bantuan dan amal kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan ridha dari Allah Subhanahu Wa Ta'al



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	III
DAFTAR ISI	IV
DAFTAR GAMBAR	V
DAFTAR TABEL	VII
PENDAHULUAN	1
SENSOR CRYONICS CU/NI	5
A. RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR (RTD)	5
B. LAPISAN TIPIS	7
C. MATERIAL PLATING	8
1. Logam Tembaga	9
2. Nikel (Ni)	10
D. ELECTROPLATING	12
E. RESISTIVITAS	17
F. X-RAY DIFFRACTION (XRD)	22
G. STRUKTUR KRISTAL	28
H. SENSOR SUHU	30
I. PENGARUH MEDAN MAGNET	32
J. PENGARUH TEGANGAN	37
EKSEPERIMEN	39
A. METODE EKSPERIMEN	39
1. Preparasi Sampel	39
2. Pengukuran tebal lapisan	43
3. Uji resistivitas bahan	44
4. Proses elektroplating	46
5. Karakterisasi lapisan Cu/Ni	50
6. Uji kinerja sensor	51
B. ANALISIS DATA	54
1. Menentukan tebal lapisan Cu/Ni	55
2. Penentuan nilai resistivitas keping Cu/Ni	58
3. Analisis struktur mikro	60
PENUTUP	73
DAFTAR PUSTAKA	75
DAFTAR SIMBOL	83
GLOSARIUM	84
BIOGRAFI	85



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. skema rangkaian electroplating	13
Gambar 2. Resistansi logam pada bentuk tiga dimensi (Prasetyo dkk, 2018).	19
Gambar 3. Skema alat probe empat titik (Toifur, 2007)	20
Gambar 4. Model sebaran arus listrik pada lapisan tipis oleh probe empat titik (Toifur, 2014)	21
Gambar 5. Difraksi Bragg (Patterson dan Bailey, 2010).	24
Gambar 6. Grafik hubungan intensitas dengan $2\theta$ (Cullity dan Stock, 1956)	25
Gambar 7. Tampak depan bentuk dan posisi kristal jenis FCC (Callister dan David, 2012).	29
Gambar 8. (a) Kecepatan $q$ searah $B$ dan (b) kecepatan $q$ tegak lurus dengan $B$ (Agung, 2019)	34
Gambar 9. Electroplating dengan medan magnet sejajar medan listrik	36
Gambar 10. Rangkaian elektroplating berbantuan medan magnet sejajar (Toifur, 2019 in press).	48
Gambar 11. Rangkaian uji sensor lapisan tipis Cu/Ni (Khusnani, 2019).	53
Gambar 12. Desain litografi sampel (a) Bagian square (b) Bagian sensor RTD	54
Gambar 13. Sampel tembaga (Cu) sebelum dan sesudah dilapisi dengan nikel (In).	55
Gambar 14. Grafik hubungan ketebalan lapisan Ni terhadap tegangan.	57
Gambar 15. Grafik perbandingan resistivitas Cu dan Cu/Ni.	60
Gambar 16. Spektrum XRD dari lapisan Cu/Ni pada variasi tegangan	62
Gambar 17. Perbandingan d-spacing Cu dan Ni	64
Gambar 18. Intensitas Ni dan Cu	66
Gambar 19. Grain Size Ni dan Cu	67
Gambar 20. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 1,5 V.	68

Gambar 21. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 3 V.	69
Gambar 22. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 4.5 V.	69
Gambar 23. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 6 V	70
Gambar 24. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 6 V	70
Gambar 25. Pengaruh tegangan deposisi terhadap koefisien suhu	72

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi logam tembaga (Cu)	10
Tabel 2. Spesifikasi logam nikel (Ni)	11
Tabel 3. Struktur kristal logam.	30
Tabel 4. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Ni	56
Tabel 5. Resistivitas Cu	58
Tabel 6. Resistivitas Cu/Ni	59
Tabel 7. Parameter refleksi Cu hasil XRD	63
Tabel 8. <i>Parameter refleksi Ni hasil XRD</i>	63
Tabel 9. Persamaan polinomial orde 2 antara tegangan (V) dan suhu medium (T) pada uji kinerja sensor suhu	71





# PENDAHULUAN

**R**ekayasa genetika pada hewan ternak seperti pada sapi potong dan sapi perah sudah biasa dilakukan. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan perbaikan genetik ternak yang berkelanjutan pada hewan ternak dan maningkatkan angka kehamilan pada sapi (Bo dkk, 2013; Bo dan Baruselli, 2014). Yang mempunyai peluang besar untuk direkayasa baik sebelum, menjelang, maupun setelah fertilisasi adalah gamet. Gamet terdiri dari sel kelamin jantan dan betina (Afiati dkk, 2013). Rekayasa genetika ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi *artificial insemination* (AI) atau inseminasi buatan (IB).

IB atau kawin suntik adalah suatu cara untuk memasukan mani (spermatozoa atau semen) ternak jantan ke dalam saluran alat kelamin betina dengan menggunakan metode dan alat khusus yang disebut *insemination gun* (Afiati dkk, 2013). Untuk melakukan IB, terlebih dahulu memproduksi semen beku. Proses semen beku dimulai dari penampungan spermatozoa (semen) dari pejantan unggul, evaluasi kualitas semen,

penghitungan dosis dan pengenceran, pengemasan dalam *straw mini*, ekulibrasi, pembekuan, serta penyimpanan semen pada kontainer yang berisi nitrogen cair pada suhu  $-196^{\circ}\text{C}$  (Susilawati, 2013; Afiati dkk, 2013). Semen sapi dengan kualitas yang baik biasanya diimpor dari luar negeri. Proses pengiriman agar sperma tidak rusak dan dapat bertahan sampai sperma didonorkan dapat menggunakan teknologi *Cryonics*.

*Cryonics* merupakan metode pengawetan pada suhu dingin dengan menggunakan zat *Cryoprotectant* pada nitrogen cair (Bhattacharya dan Bhupendra, 2016), proses pembekuan dengan metode tersebut dinamakan sebagai *cryopreservation* (Budiyanti, 2016; Best, 2015). Faktor keberhasilan metode *cryonics* yang dilakukan dalam pengawetan dipengaruhi oleh suhu pada nitrogen cair sebagai medium pengawet, karena pada suhu nitrogen cair kelestarian sel-sel dan jaringan yang baik dapat diperoleh. Selain itu, pengawetan juga dipengaruhi wadah penyimpanan semen sapi yang didesain khusus dengan adanya lubang uap yang bertujuan agar wadah tidak meledak selama proses penyimpanan berlangsung (Toifur dkk, 2018). Namun yang menjadi masalah adalah dengan adanya lubang uap dan terjadinya penguapan, akan menyebabkan suhu nitrogen cair di dalam wadah menjadi meningkat, dan jika kenaikan suhu ini melampaui suhu kritis ( $-100^{\circ}\text{C}$ ) maka berakibat semua benih yang tersimpan di dalamnya akan mati (Kementan, 2012). Sehingga dibutuhkan suatu teknologi sensor pada suhu rendah

(nitrogen cair). Salah satu teknologi pembuatan sensor suhu rendah adalah RTD (*Resistance Temperature Detector*).

RTD merupakan suatu bahan yang memiliki resistivitas bergantung pada suhu. Sehingga RTD diakui telah dimanfaatkan sebagai sensor suhu (Zaynetdinov dkk, 2015). RTD terbagi menjadi dua jenis yaitu RTD-*Coil* yang menggunakan lilitan sebagai sensor suhu dan RTD-*Film* yang menggunakan lapisan tipis sebagai sensor suhu. Nilai tahanan RTD biasanya sebanding dengan suhu (Chowdhury dan Bulbul, 2010). RTD-*Film* umumnya dibuat dari bahan platina (Maher dkk, 2014) atau paduan antara Cu dan Ni (Fraden, 2003). Namun pembuatan sensor suhu rendah yang dibuat dengan material Cu/Ni dengan metode elektropalting lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan platina (Toifur dkk, 2017; Toifur dkk, 2018). Pembuatan sensor suhu rendah dengan material Cu/Ni dengan metode elektropalting telah memberikan hasil, yaitu analisis struktur mikro menunjukkan Cu/Ni yang dibuat memiliki beberapa fasa yaitu Cu, Ni, dan NiO. Lapisan telah memiliki struktur kristal. Akan tetapi morfologi deposit Ni yang terbentuk belum homogen. Kekurangan ini diketahui dari foto SEM permukaan lapisan. Homogenitas morfologi permukaan lapisan sangat berpengaruh pada kinerja sensor terutama pada sifat listrik dan optik. Oleh karena itu perbaikan terhadap morfologi permukaan menjadi penting.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan kajian dengan judul “Pembuatan Sensor *Cryonics* Cu/Ni dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Sejajar Medan Listrik” guna memperbaiki struktur morfologi lapisan dan membantu penyebaran ion massa logam secara merata.

# SENSOR *CRYONICS* Cu/Ni

## A. Resistance Temperature Detector (RTD)

RTD merupakan salah satu jenis sensor suhu yang banyak digunakan. Sensor RTD memiliki prinsip kerja memanfaatkan hambatan listrik dari logam yang bervariasi secara linier dengan suhu (Wang dkk, 2017). Kemampuan dalam pengukuran suhu oleh RTD tidak terlepas dari adanya suatu elemen yang sensitif terhadap besaran temperatur, yaitu elemen yang berasal dari logam platina, tembaga atau nikel (Raharjo dan Toifur, 2014). Adanya elemen yang sensitif terhadap temperatur menyebabkan RTD memiliki kepekaan sensor yang tinggi dalam waktu respon perubahan suhu. Terbukti dari perubahan tahanan pada keping RTD yang lebih linier dibandingkan dengan temperatur uji, akan tetapi memiliki resistansi yang lebih rendah dari *thermistor* (Raharjo dan Toifur, 2014).

RTD memiliki dua tipe konfigurasi yang secara umum digunakan, yaitu tipe *wire-wound* dan tipe *thin-film*. Tipe

dari *wire-wound* merupakan tipe dimana elemennya terdiri dari lilitan kawat logam platina yang dililitkan pada kaca atau keramik dan ditutup dengan slubung *probe*. Sedangkan *thin-film* merupakan tipe yang elemennya tersusun dari lapisan yang tipis dan resistif yang diletakkan pada substrat keramik serta dilapis dengan kaca atau *epoxy* sebagai pelindungnya. Perolehan nilai temperatur pada RTD dapat diketahui dengan adanya aliran arus listrik yang tetap dan kedua ujung dari RTD diukur beda potensialnya. Suhu yang terukur akan mengakibatkan perubahan tahanan, hal ini ditunjukkan pada persamaan (2.1).

$$R_T = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (2.1)$$

dengan,  $R_T$  = tahanan konduktor pada temperature ( $\Omega$ )

$R_0$  = tahanan konduktor pada suhu awal ( $\Omega$ )

$\alpha$  = koefisien *temperature* (PPM/ $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  = selisih antara suhu awal dan akhir ( $^{\circ}\text{C}$ )

Data keluaran RTD umumnya membentuk grafik linear, namun jika data keluaran RTD yang dihasilkan membentuk grafik yang tidak linier, maka menganalisisnya dapat menggunakan persamaan Callendar-Van Dusen (Fraden, 2015) sebagai berikut.

$$R_T = R_0 (1 + AT + BT^2 + CT^3 (T - 100)) \quad (2.2)$$

dengan A, B dan C adalah koefisien Callendar-van Dusen. Penentuan karakteristik sensor ditentukan oleh tiga parameter yaitu nilai nominal tahanan, toleransi dan TCR. Nilai nominal tahanan pada suhu 0oC adalah 100  $\Omega$  pada bahan dasar platina, nilai toleransi menentukan tingkat akurasi data keluaran sensor dan dapat dilihat dari nilai R saat berada pada suhu 0oC. Sedangkan besar nilai TCR menentukan tingkat kepekaan dari RTD.

## **B. Lapisan Tipis**

Lapisan tipis adalah lapisan yang sangat tipis dengan orde untuk ketebalannya yaitu mikro hingga nanometer. Lapisan tipis dapat berasal dari bahan yang sifatnya organik, inorganik, metal atau campuran metal organik yang sifatnya bahan konduktor, isolator, semikonduktor atau superkonduktor (Astuti, 2011). Bahan-bahan dari lapisan tipis akan menunjukkan sifat-sifat khusus, yaitu sifat-sifat bahan unik sebagai akibat dari proses penumbuhan lapisan tipis.

Proses penumbuhan lapisan tipis yang umum dilakukan adalah dengan cara elektroplating yaitu dengan mendefusikan suatu bahan pada bahan lainnya (Fiqry, 2018). Terdapat empat proses yang dibutuhkan dalam pembentukannya yaitu, sumber, transportasi masa logam ke substrat, deposisi lapisan pada substrat, dan analisis

(Sutanto dan Nurhasanah, 2012). Sumber material lapisan tipis dapat berupa padatan, cair, ataupun gas yang dideposisikan pada substrat. Proses transportasi ion masa logam dalam pembentukan lapisan tipis dapat mempengaruhi sifat-sifat lapisan tipis yang berubah terhadap laju deposisi serta terhadap elemen yang dideposisi pada lapisan tipis.

Lapisan tipis memiliki karakteristik yang sangat unik yakni memiliki nilai tranparansi otik yang tinggi dengan nilai resistivitas yang rendah. Sifat tranparansi optik yang tinggi pada lapisan tipis mempengaruhi resistivitas listrik suatu bahan material yang disebabkan oleh perbandingan elemen logam dan oksigen sebagai bahan dasar penyusun lapisan (Saragih dkk, 2010). Lapisan yang mengandung banyak partikel juga akan memiliki nilai resitivitas yang rendah serta transparansi optik yang juga rendah.

### **C. Material Plating**

Material dalam proses elektroplating terdiri dari dua bahan logam yang berbeda yang ditempatkan sebagai elektroda. Masing-masing logam tersebut memiliki peran yang berbeda yaitu salah satu jenis logam berperan sebagai substrat dan logam yang lainnya berperan sebagai bahan pelapis dengan satu tujuan tertentu. Material yang digunakan sebagai substrat dalam penelitian ini adalah

logam tembaga dan material yang digunakan sebagai pelapis adalah logam nikel.

## 1. Logam Tembaga

Logam tembaga adalah logam yang memiliki sifat lunak, menarik warnanya, tahan akan korosi, memiliki konduktivitas yang tinggi, memiliki daya hantar panas yang baik, dan tahan oksidasi pada larutan yang sifatnya non asam. Tembaga pada sistem periodik unsur tergolong dalam unsur logam transisi yang terletak pada golongan IB period ke IV dengan lambang Cu dan memiliki nomor masa 63,55 dengan konfigurasi  $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ . Tembaga banyak dimanfaatkan oleh manusia karena jumlah tembaga yang melimpah di alam dan memiliki banyak kegunaan. Tembaga sendiri merupakan bahan dasar yang sangat layak digunakan sebagai sensor suhu rendah karena tembaga mampu merespon perubahan suhu sampai pada  $-234,5^{\circ}\text{C}$  (Boylestad, 2014). Berikut pada Tabel 1 merupakan spesifikasi dari logam tembaga.

Tabel 1. Spesifikasi logam tembaga (Cu)

Kriteria	Spesifikasi
Nomor massa	63,55
Nomor atom	29
Massa atom	63,546 g/mol
Massa jenis	8,96 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	1084 °C
Titik didih	2562 °C
Fase	Solid
Struktur Kristal	FCC
Jari-jari atom	128 pm
Resistivitas	16,78 nΩ.m pada suhu 20 °C
Kalor peleburan	13,26 kJ/mol
Kalor penguapan	300,4 kJ/mol
Elektronegativitas	1,90
Koefisien ekspansi linier	1,65 μm.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> pada suhu 25 °C

Sumber: Callister dan David, (2015)

## 2. Nikel (Ni)

Logam nikel merupakan logam yang memiliki warna putih perak yang mengkilat, sifatnya yang keras namun dapat dibentuk karena memiliki sifat yang fleksibel dan tidak berubah sifatnya apabila terkena udara. Logam nikel juga memiliki sifat yang tahan akan oksidasi dan apabila berada pada suhu yang ekstrim, logam nikel tetap mempertahankan sifat-sifat aslinya. Sama halnya dengan tembaga pada sistem priodik unsur, nikel juga tergolong dalam unsur logam transisi yang terletak pada priode ke IV. Lambang nikel dalam sistem priodik unsur adalah Ni dan mempunyai konfigurasi elektron [Ar] 4s<sup>2</sup> 3d<sup>8</sup>. Nikel juga banyak dimanfaatkan oleh manusia karena jumlah nikel yang melimpah di alam dan memiliki banyak kegunaan.

Salahsatunya adalah digunakan sebagai pelapis substrat pada sensor suhu rendah.

Nikel digunakan sebagai pelapis substrat pada proses pembuatan sensor suhu rendah karena nikel memiliki hambatan logam yang lebih besar dibandingkan dengan tembaga yaitu  $7,3 \mu\Omega\text{cm}$  dan  $\mu\Omega\text{cm}$  (Toifur dkk, 2017). Pelapisan menggunakan nikel bertujuan untuk memberikan perlindungan pada bahan dari korosi (Fu dkk, 2014), meningkatkan kekerasan bahan (An dkk, 2015), serta meningkatkan nilai resistivitas bahan. Selain itu pelapisan tembaga dan nikel yang menggunakan metode elektroplating memiliki gaya adhesi yang kuat (Okamoto dan Watanabe, 2004). Berikut pada Tabel 2 merupakan spesifikasi dari logam nikel.

Tabel 2. Spesifikasi logam nikel (Ni)

Kriteria	Spesifikasi
Nomor massa	58,69
Nomor atom	28
Massa atom	58,6934 g/mol
Massa jenis	8,908 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	1455 °C
Titik didih	2913 °C
Fase	Solid
Struktur Kristal	FCC
Jari-jari atom	124 pm
Resistivitas	69,3 n $\Omega$ .m pada suhu 20 °C
Kalor peleburan	17,48 kJ/mol
Kalor penguapan	300,4377,5 kJ/mol
Elektronegativitas	1,91
Koefesien ekspansi linier	13,4 $\mu\text{m.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ pada suhu 25 °C

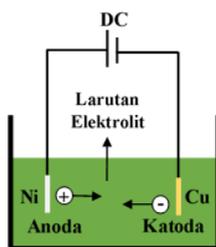
Sumber: (Callister dan David, 2015)

#### D. Electroplating

Proses *electroplating* pertama kali dilakukan oleh penemu berkebangsaan Italia yaitu Luigi V. Brugnatelli pada tahun 1805. Luigi berhasil menghubungkan kawat dengan baterai, emas dan dengan benda logam. Saat arus mengalir, emas melekat pada permukaan benda logam tersebut sehingga menjadi permukaan yang halus dan mengkilap. *Electroplating* adalah proses pengendapan ion logam pada elektroda negatif melalui proses elektrolit dengan aliran arus listrik sehingga membentuk lapisan struktur logam pada substrat (Le dkk, 2015). Terdapat dua teknik yang digunakan dalam proses *electroplating*, yaitu secara elektrodeposisi dan elektrolisis. Prinsip kerja secara elektrodeposisi yaitu larutan digunakan sebagai pelapis atau yang akan diendapkan pada substrat. Sedangkan secara elektrolisis yaitu logam untuk melapisi berada pada bagian anoda dan logam yang dilapisi berada pada bagian katoda serta larutan elektrolisis yang digunakan berbeda dengan logam yang akan dilapisi.

Teknologi pelapisan logam dengan metode *electroplating* dapat mengubah sifat suatu bahan, baik sifat fisik, sifat mekanik, elektrik maupun optik suatu bahan. *Electroplating* pada prinsipnya merupakan proses yang rangkaiannya terdiri arus listrik, larutan elektrolit,

elektroda (anoda dan katoda), dan benda/sampel yang akan dilapisi serta logam pelapis. Anoda akan dihubungkan dengan kutub positif dari sumber listrik sedangkan katoda dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber arus listrik. Arus listrik yang dialirkan pada elektroda yang berada dalam larutan elektrolit, akan mengakibatkan ion-ion positif akan bergerak dari anoda menuju katoda, dan ion-ion negatif akan menuju anoda. Ion-ion muatan listrik akan dinetralkan oleh kedua elektroda dan larutan elektrolit yang akan menimbulkan endapan pada katoda. Hasil yang akan dibentuk merupakan terdiri dari lapisan logam pelapis dan gas hidrogen. Skema rangkaian *electroplating* ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 1. skema rangkaian electroplating

Selama proses electroplating akan terjadi pengendapan Ni pada katoda yang akan mengakibatkan perbedaan massa sampel sebelum dan sesudah plating. Adanya perbedaan ketebalan lapisan Ni yang terdeposisi pada substrat dalam

bentuk lapisan tipis dapat dihitung dengan persamaan berikut (Toifur dkk, 2018).

$$\delta = \frac{W}{\rho A} \quad (2.3)$$

dengan,  $\delta$  = tebal lapisan terbentuk (cm)

$\rho$  = masa jenis bahan pelapis (g/cm<sup>3</sup>)

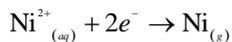
$W$  = selisi masa pelapisan (g)

$A$  = luas lapisan sampel (cm<sup>2</sup>)

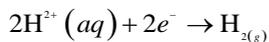
Saat proses electroplating, maka akan terjadi proses reaksi kimia pada katoda dan anoda (Khusnani, 2015).

### 1. Pada katoda terjadi:

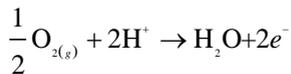
a. Pembentukan lapisan nikel



b. Pembentukan gas hidrogen



c. Reduksi oksigen terlarut



### 2. Pada anoda terjadi:

a. Pembentukan gas oksigen



b. Oksidasi gas hidrogen



Selain reaksi kimia dalam proses elektroplating juga terjadi fenomena fisika salah satunya adalah hukum Faraday. Hukum Faraday menyatakan jumlah reaksi elektrokimia yang terjadi pada elektroda sebanding dengan jumlah kuantitas muatan listrik  $Q$  yang melewati seluruh sel elektrokimia (Mordechay dan Milan, 2010). Jika diasumsikan berat suatu partikel adalah  $w$  maka hukum Faraday menyatakan.

$$w = ZQ \quad (2.4)$$

dengan,  $w$  = massa atom yang tedeposit (g)

$Z$  = equivalen elektrokimia ( $\text{gC}^{-1}$ )

$Q$  = muatan listrik (C)

Nilai  $Q$  sendiri merupakan produk yang dihasilkan dari  $I$  dalam bentuk ampere yang berlalu dalam waktu  $t$  berupa detik.

$$Q = It \quad (2.5)$$

dengan,  $Q$  = muatan listrik (C)

$I$  = arus listrik (A)

$t$  = waktu (s)

Sehingga jika persamaan (2.5) disubstitusikan kedalam persamaan (2.4) maka menjadi.

$$w = Zit \quad (2.6)$$

dengan, w	= massa atom yang terdeposit (g)
Z	= equivalent elektrokimia (gC-1)
I	= arus listrik (A)
t	= waktu (s)

Berdasarkan hukum Faraday, produksi satu gram sebanding dengan produk yang terdeposit di elektroda Weq, di dalam sel membutuhkan 96,487 C. Nilai 96,487 C disebut sebagai konstanta Faraday (F). Jumlah tersebut adalah jumlah listrik yang diangkut oleh aliran listrik satu ampere yang dialirkan selama satu detik. Jadi satu dapat disimpulkan bahwa satu ekuivalen Weq adalah fraksi molar yang sesuai dengan transfer molar satu elektron.

Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kualitas hasil pelapisan logam dalam proses electroplating diantaranya:

### 1. Konsentrasi larutan

Konsentrasi larutan elektrolit yang bertujuan untuk perataan penyebaran ion masa logam, penyempurnaan

butir ion masa logam yang terdeposisi, sebagai pembawa ion masa logam untuk terdeposisi pada substrat, dan memfasilitasi ion partikel masa logam untuk terdeposit secara istimewa pada goresan di permukaan substart (Schmitz dkk, 2016)

## **2. pH larutan**

pH larutan elektrolit mempengaruhi ukuran ion masa logam yang terdeposisi dan tekanan pada deposit meningkat (Poroch-Seritan dkk, 2015).

## **3. Suhu larutan**

Suhu larutan mempengaruhi penurunan pH larutan elektrolit (Poroch-Seritan dkk, 2015).

## **4. Waktu deposisi**

Waktu deposisi yang mempengaruhi perbedaan ketebalan lapisan yang terbentuk serta jumlah ion masa logam yang terdeposisi (Schmitz dkk, 2016).

## **E. Resistivitas**

Resistivitas merupakan parameter yang digunakan untuk mengkarakterisasi dan menyelidiki sifat fisis dan struktur bawah suatu bahan konduktor (Ningsih dkk, 2019).

Sifat resistivitas pada logam tergantung dari sifat logam tersebut. Secara matematis (Callister dan David, 2012), bahwa jumlah dari resistivitas sebuah logam merupakan jumlah dari getaran termal, pengotoran dan deformasi plastik yang dituliskan dalam persamaan (2.7).

$$\rho_{Total} = \rho_t + \rho_d + \rho_i \quad (2.7)$$

dengan,  $\rho_{Total}$  = resistivitas total ( $\Omega.cm$ )

$\rho_t$  = resistivitas dari getaran termal ( $\Omega.cm$ )

$\rho_d$  = resistivitas dari pengotoran  
(ketakmurnian logam) ( $\Omega.cm$ )

$\rho_i$  = resistivitas dari deformasi plastik ( $\Omega.cm$ )

Resistivitas termasuk dalam besaran yang memberikan sumbangan pada parameter seperti resistansi, kapasitansi, tegangan ambang dan lain-lain. Pada suatu material, nilai dari resistivitas akan mempengaruhi nilai resistansi pada suatu material tersebut. Hal ini dapat ditunjukkan pada persamaan (2.8).

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.8)$$

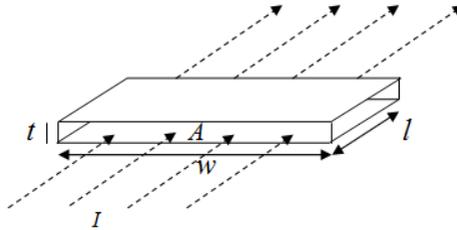
dengan,  $R$  = suatu resistansi ( $\Omega$ )

$\rho$  = resistivitas atau hambatan jenis ( $\Omega.cm$ )

$l$  = panjang material (cm)

$A$  = luas penampangnya ( $\text{cm}^2$ )

Jika benda yang digunakan adalah bentuk tiga dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 2, Nilai resistansinya akan sama sesuai dengan persamaan (2.8).



Gambar 2. Resistansi logam pada bentuk tiga dimensi (Prasetyo dkk, 2018).

Gambar 3 menunjukkan luas penampang ( $A$ ) yang merupakan hasil kali lebar material ( $w$ ) dengan tebal material ( $t$ ). Apabila material itu memiliki bentuk persegi dengan lebar ( $w$ ) dan panjangnya ( $l$ ) sama, maka persamaan (2.8) dapat diubah menjadi persamaan (2.9).

$$R_s = \frac{\rho}{t} \quad (2.9)$$

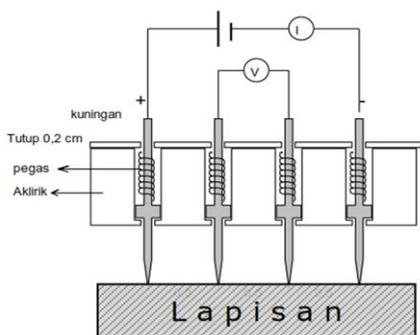
dengan,  $R_s$  = resistivitas keping ( $\Omega/\text{sq}$ )

$\rho$  = hambatan jenis bahan ( $\Omega\text{cm}$ )

$t$  = tebal lapisan ( $\text{cm}$ )

untuk nilai  $t$  (ketebalan logam) yang sangat kecil sekali ( $t \ll w$ ). Satuan  $\Omega/\text{sq}$  dikarenakan oleh medium yang diukur adalah berbentuk persegi atau square.

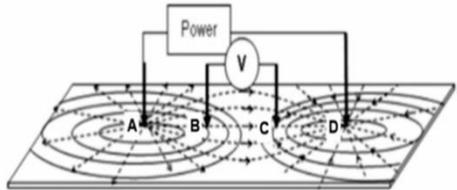
Nilai resistivitas keping pada lapisan tipis dapat diukur menggunakan alat probe empat titik yang skema alatnya ditunjukkan pada Gambar 2.3. Probe empat titik adalah alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistivitas suatu bahan dalam bentuk lapisan tipis yang terdentuk pada substrat atau pada suatu logam (Toifur dan Asmiarto, 2017).



Gambar 3. Skema alat probe empat titik (Toifur, 2007)

Penggunaan probe empat titik sangat akurat dalam mengukur tahanan suatu bahan karena konsep dasar kerja alat ini pada keempat kaki probe empat titik memiliki fungsi yang berbeda, yang mana titik A dan D untuk mengalirkan arus pada permukaan bahan dan titik B dan C untuk

mengukur tegangan listrik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model sebaran arus listrik pada lapisan tipis oleh probe empat titik (Toifur, 2014)

Dengan konsep dasar kerja alat seperti ini, sehingga tahanan yang terukur pada multi master adalah murni tahanan bahan itu sendiri dikarenakan tidak terkontaminasinya bahan dengan tahanan dari probe luar. Probe luar pada proses pengukuran resistivitas mengakibatkan munculnya tahanan pada bahan dikarenakan aliran listrik yang mengalir pada bahan sehingga bahan menjadi panas dan menyumbang tahanan pada bahan (Toifur, 2014). Saat bahan memiliki resistivitas atau hambatan jenis logam, maka akan menyebabkan penurunan pada tegangan. Dari prinsip tersebut maka terbentuk persamaan berikut (Toifur dan Asmiarto, 2017; Dinç dkk, 2017)

$$R_s = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V_{BC}}{I} \quad (2.10)$$

Sehingga pada pengolahan data resistivitas menggunakan regresi linier antara  $V$  dan  $I$  saat pengukuran maka diperoleh.

$$y = ax + b \quad (2.11)$$

Sehingga persamaan (2.14) menjadi.

$$V_{BC} = \frac{R_s I}{\pi} \ln 2 \quad (2.12)$$

dengan,  $R_s$  = resistivitas keping ( $\Omega/\text{sq}$ )

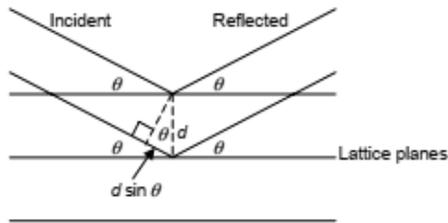
$V_{BC}$  = beda potensial (Volt)

$I$  = kuat arus (A)

#### F. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD digunakan untuk mengetahui kisi, parameter dan struktur kristal yang terbentuk dalam suatu bahan. XRD juga dapat digunakan dalam mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal, cacat kristal, ukuran sub butir dan butir (Smallman, 2000). Metode XRD menggunakan sinar-X yang akan terdifraksi oleh atom-atom kristal dari sampel yang di uji, sehingga sudut-sudut yang ditimbulkan adalah pola difraksi unsur yang menyatakan karakteristik dari sampel dan dapat diketahui kandungannya (Susanti, 2013).

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang pada orde  $10^{-9}$  m atau sama dengan  $1 \text{ \AA}$  yang memiliki sifat yang persis mirip dengan cahaya (Cullty dan Stock, 2014). Difraksi sinar-X memberikan informasi secara terperinci perihal struktur kristal pada sampel karena berkas elektron dapat difokuskan pada satu area kecil sehingga karakteristik distribusi unsur kimia tertentu pada bahan dapat dilihat (Aliofkhazraei, 2015). Suatu bahan yang ditembak dengan sinar-X maka akan ada sebagian yang terserap dan sebagian lagi akan dihamburkan. Intensitas sinar-X hasil transmisi akan lebih kecil dibandingkan dengan intensitas sinar datang. Mengecilnya intensitas dikarenakan adanya penyerapan sinar oleh sampel dan adanya penghamburan oleh atom-atom pada sampel yang menjadi sasaran sinar-X. Fase yang terbentuk dari hamburan sinar jika memiliki kesamaan maka akan saling menguatkan dan fase dari hamburan sinar yang berbeda akan saling menghilangkan. Saat proses sinar saling menguatkan disebut difraksi. Proses XRD harus memenuhi prinsip difraksi Bragg dikarenakan prinsip ini merupakan prinsip sederhana yang diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Difraksi Bragg (Patterson dan Bailey, 2010).

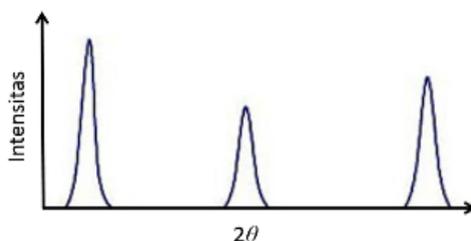
Pada difraksi sinar-X yang menggunakan prinsip Bragg berasumsi bahwa sudut sinar datang yang ditembakkan sama dengan sudut pantul sinar. Saat proses transmisi sinar-X pada bahan secara konstan radiasi akan tersebar secara elastis pada material bahan sehingga gelombang pantul memiliki panjang gelombang yang sama. Untuk perpaduan antara dua gelombang cahaya membutuhkan perbedaan jalur antara sinar yang dipantulkan dengan jumlah panjang gelombang ( $\lambda$ ). Dengan mengacu pada gambar 2.6 maka persamaan untuk kondisi puncak difraksi adalah (Patterson dan Bailey, 2010).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.13)$$

- dengan,
- $n$  = bilangan bulat (1, 2, 3, ...)
  - $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X ( $\text{\AA}$ )
  - $d$  = jarak bidang kristal ( $\text{\AA}$ )
  - $\theta$  = sudut penembakan sinar-X terhadap permukaan bahan.

Berdasarkan persamaan (2.17), dapat diketahui bahwa pada proses deposisi lapisan dengan melakukan variasi pada satu parameter tertentu dan perubahan posisi sudut difraksi, dapat menyebabkan terjadinya perubahan jarak antar bidang partikel ( $d$ ). Perubahan besar kecilnya jarak antar bidang ditandai dengan besar sudut  $\theta$ , yaitu semakin besar sudut  $\theta$  maka semakin kecil rapat bidang ( $d$ ) begitu pun sebaliknya. Berkas sinar-X yang terpantulkan oleh bahan tidaklah hanya dipantulkan oleh permukaan bahan itu saja, melainkan dipantulkan juga oleh material bidang dibawanya.

Pola pemantulan yang dihasilkan oleh bidang ini berupa pola defraktograf sinar-X yang berupa grafik hubungan intensitas dengan  $2\theta$  yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan intensitas dengan  $2\theta$  (Cullity dan Stock, 1956)

Dari data defragtograf sinar-X yang berupa grafik struktur lapisan yang terbentuk dapat ditentukan apakah struktur mikro partikel yang terdeposisi tersebut amorf atau kristal serta arah pertumbuhan atomnya. Sehingga arah pertumbuhan atomnya dapat dinyatakan pada bidang dengan indeks miller. Bidang yang terbentuk akan memiliki space atau jarak antara satu dengan lainnya yang dikenal dengan jarak bidang kristal. Untuk sel kubus atau kubik, jarak antar bidang ( $d_{hkl}$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (2.14)$$

dengan,  $d_{hkl}$  = jarak bidang

$hkl$  = indek miller

$a$  = konstanta kisi

Sehingga dari pers (2.13) dan (2.14) nilai kostanta visi dapat diketahui sebagai berikut.

$$a = \frac{\lambda \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}{2 \sin \theta} \quad (2.15)$$

Selain intensitas dan jarak bidang kristal, terdapat parameter lain yang digunakan dalam analisis struktur mikro dari data XRD berkaitan dengan nilai resistivitas keping lapisan tipis, yaitu intensitas grain size. Grain size

atau besar butiran-butiran kristal dapat menunjukkan struktur mikro lapisan tipis yang terbentuk. Rata-rata ukuran kristal ( $D$ ) yang diperoleh dari data XRD dapat ditentukan menggunakan persamaan Scherrer (Aryanto dkk, 2017).

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.16)$$

dengan,  $D$  = rata-rata ukuran kristal ( $\text{\AA}$ )

$\lambda$  = Panjang gelombang sinar-X ( $\text{\AA}$ )

$\beta$  = FWHM (*full width at half maximum*) dari puncak (hkl) yang sudah tercantum pada hasil XRD (deg)

$\theta$  = sudut difraksi (deg)

Nilai  $\theta$  dapat diperoleh dengan nilai  $2\theta$  pada data XRD dibagi 2). Nilai FWHM dapat juga ditentukan dengan mencari dua titik setengah pada intensitas puncak difraktogram XRD. Grain size dipengaruhi nilai FWHM pada puncak difraktogram XRD, semakin kecil nilai FWHM maka ukuran butiran kristalnya ( $D$ ) akan menjadi lebih besar. Ukuran butiran kristal yang lebih besar akan memudahkan arus listrik yang mengalir dalam lapisan tipis menjadi lebih mudah dan memiliki hambatan yang rendah (Zhou dkk, 2004). Pengaruh dari grain size juga berpengaruh pada nilai

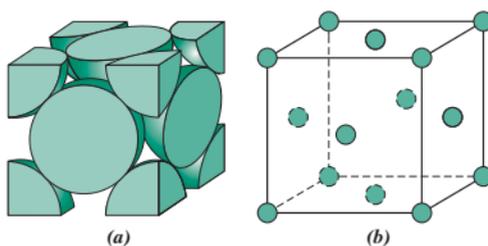
resistivitas, semakin berkurangnya ukuran butirnya (grain size) maka resistivitasnya akan makin meningkat dan saluran konduktif berkurang (Zang, 1997).

## G. Struktur kristal

Struktur kristal didefinisikan sebagai bentuk susunan khas atom-atom dalam kristal yang memiliki sel satuan atau unit cell yaitu gabungan berulang dalam kisi kristal tiga dimensi (Wardani dkk, 2014). Ruang tiga dimensi memiliki geometri kristal yang merupakan karakteristik kristal dengan pola yang tidak sama. Kristal yang memiliki susunan jutaan atom dinyatakan dengan bentuk, ukuran dan susunan sel satuan dengan pola yang tidak sama dan menjadi ciri khas dari sebuah kristal. Salah satu contoh pada bahan keramik maupun polimer. Urutan atom pada bahan yang berupa padatan menunjukkan struktur atomnya berkelompok kecil dengan pola susunan yang teratur ataupun berulang (Callister dkk, 2015). Jadi akan sangat mudah bila menggambarkan struktur kristal bila membaginya dalam sel satuan atau membaginya menjadi entitas kecil secara berulang.

Pada bagian struktur kristal logam yang sederhana, maka ada tiga jenis struktur kristalnya yaitu FCC (Face-Centered Cubic), BCC (Body-Centered Cubic) dan HCP (Hexagonal Close-Packed) (Callister dan David, 2012).

Logam tembaga, nikel, emas, perak, aluminium, dan emas merupakan logam yang memiliki struktur yang sama yaitu jenis FCC. FCC merupakan struktur kristal yang bentuk sel satuannya berbentuk geometrik kubik, dimana atomnya terletak pada setiap sudutnya dan permukaan kubusnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampak depan bentuk dan posisi kristal jenis FCC (Callister dan David, 2012).

Pada Gambar 7a menunjukkan gambar pola model struktur kristal FCC pada bola pejal, yang apabila dalam satu sel dimana masing-masing sudut atom dijumlahkan maka akan didapatkan satu atom utuh. Bagian atom yang berpusat pada permukaan, jika dijumlahkan akan membentuk tiga atom utuh. Sehingga totalnya akan terdapat empat atom utuh. Sedangkan pada gambar 2.7b adalah gambar perpektif yang menunjukkan pusat atom dan posisi atom yang lebih baik. Inti-tinti atom penyusun suatu bahan ini pada dasarnya saling bersentuhan satu dengan lainnya dengan melintasi permukaan diagonal. yang mana panjang tepi kubus  $a$  dan jari-jari atom  $R$  saling

berhubungan, sehingga dapat dinyatakan pada persamaan berikut.

$$a = 2R\sqrt{2} \quad (2.17)$$

Tabel 3. Struktur kristal logam.

Logam	Struktur kristal	Radius antar atom (nm)
Aluminium	FCC	0,1431
Tembaga	FCC	0,1278
Emas	FCC	0,1442
Nikel	FCC	0,1246
Perak	FCC	0,1445

Sumber: (Callister dkk, 2015)

## H. Sensor Suhu

Sensor adalah sesuatu yang digunakan sebagai pendeteksi adanya perubahan fisik atau kimia dalam suatu lingkungan. Sensor juga dikenal dengan perangkat yang dapat menerima suatu sinyal atau respon dan diubah menjadi besaran listrik. Sinyal atau respon yang dimaksud dapat berupa kuantitas, properti atau keadaan yang dapat dideteksi lalu dikonversi ke sinyal listrik (Fraden, 2003). Sinyal listrik yang berawal dari suatu variabel keluaran alat sensor ini dikenal dengan istilah transduser.

Suhu merupakan standar ukuran pihal panas atau dinginnya sesuatu alat yang digunakan untuk mengukur suhu adalah termometer (Giancoli, 2001). Pengukuran suhu

secara umum hanya sadar akan panas dinginnya sesuatu berdasarkan pada fenomena fisik saja. Namun pada dasarnya pengukuran suhu sendiri membutuhkan suatu perangkat elektronik guna mendeteksi perubahan parameter suhu menggunakan sensor suhu.

Sensor suhu adalah detektor untuk mendeteksi perubahan suhu atau temperatur pada dimensi zat atau ruang tertentu (Widiyanto, 2013). Parameter fisik yang dideteksi oleh sebuah sensor suhu berupa besaran resistansi atau tegangan keluaran sesuai perubahan suhu (Wilson, 2005). Penggunaan sensor suhu pada umumnya yang digunakan adalah RTD, thermistor dan IC sensor. Tentunya dalam penggunaan jenis-jenis sensor suhu tersebut perlu diperhatikan kesesuaian dan ketepatan dalam pengukuran, adapun persyaratan secara umum dalam pemilihan jenis sensor tersebut adalah (Kustija, 2012):

### **1. Linieritas**

Linieritas adalah kesesuaian antara besaran input yang diterima sensor yang menghasilkan suatu besaran output yang dikonfersi sensor membentuk hubungan grafik yang linier atau menggambarkan hubungan yang linier. Sebagai contoh, sebuah sensor suhu panas yang menghasilkan tegangan sesuai dengan panas yang

diterima, maka akan menghasilkan sinyal keluaran yang berubah secara *continue*.

## 2. Sensitivitas

Sensitivitas adalah perbandingan besaran output dengan besaran input. Sensitivitas suatu sensor ditunjukkan oleh seberapa cepatnya sensor mendeteksi perubahan suhu dalam rentang waktu yang terbilang singkat. Seperti halnya RTD yang menyatakan suhu dalam bentuk volt per °C ( $V/^\circ\text{C}$ ). Tingkat sensitivitas sensor juga dipengaruhi oleh bentuk linearitasnya, apabila tanggapan yang diperoleh membentuk linier maka jangkauan pengukuran keseluruhan akan memiliki sensitivitas yang sama (Robby, 2012).

## 3. Jangkauan

Jangkauan atau kesanggupan menjadi salah satu kriteria dalam memilih sebuah sensor. Apabila sensor tersebut memiliki suatu jangkauan yang luas, maka bisa dikatakan bahwa kinerja sensor tersebut baik.

### I. Pengaruh Medan Magnet

Penerapan medan magnet luar pada proses elektroplating telah banyak dilakukan. Adanya medan

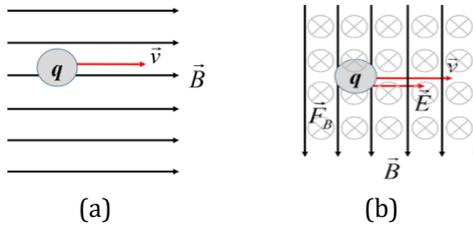
magnet akan mempengaruhi proses elektrokimia melalui magnetohydrodynamics (MHD). MHD adalah ilmu yang mempelajari tentang interaksi antara aliran fluida (bersifat elektrolit) yang sifatnya adalah elektrolit dengan medan magnet (Davidson, 2001). MHD dapat menyebabkan berpengaruhnya transportasi elektron menuju katoda dan akan meningkatkan massa endapan yang dihasilkan serta mengubah struktur morfologi pelapisan menjadi lebih homogen dan teratur (Aguilera dkk, 2019).

Proses elektroplating yang menggunakan medan magnet memiliki dua gaya pendorong pada peristiwa transfer massa ion logam yaitu medan magnet dan tegangan listrik. Karena apabila pada medium tersebut (larutan elektrolit) dikenakan medan magnet luar maka pada sistem tersebut bekerja gaya yang dapat dinyatakan sebagai.

$$\vec{F} = q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.18)$$

dengan  $q(\vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_B$  merupakan gaya pada muatan ( $q$ ) yang bergerak dengan kecepatan  $\vec{v}$  di dalam medan magnet  $\vec{B}$  seperti pada Gambar 2.9, yang dituliskan pada persamaan (2.18) suku kedua, biasa disebut sebagai gaya Lorentz. Pada Gambar 2.9(a) kecepatan searah dengan medan magnet, sehingga mengakibatkan  $\vec{F}_B = 0$ . Hal ini berbeda pada

Gambar 2.9(b), yaitu kecepatan muatan tegak lurus dengan  $\vec{B}$  maka  $\vec{F}_B \neq 0$ , sehingga muatan bergerak masuk bidang.



Gambar 8. (a) Kecepatan  $q$  searah  $B$  dan (b) kecepatan  $q$  tegak lurus dengan  $B$  (Agung, 2019)

Berdasarkan Gambar 2.8 bahwa  $q$  dan  $\vec{v}$  adalah muatan dan kecepatan pada partikel yang bergerak. Pada proses elektrodposisi berlangsung kation dan anion bergerak saling berlawanan, sehingga  $q$  dan  $\vec{v}$  dapat disimbolkan dengan  $q_+ \vec{v}_+$  dan  $q_- \vec{v}_-$  (Leventis & Gao, 2001). Berdasarkan hal ini maka persamaan (2.18) bagian suku kedua dapat dituliskan menjadi persamaan (2.19) 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 (2.19) dapat dituliskan menjadi persamaan (2.20) (Grant dkk, 2001).

$$\vec{F}_B = (n_+ q_+ \vec{v}_+ + n_- q_- \vec{v}_-) \times \vec{B} \quad (2.19)$$

$$\vec{F}_L = \vec{j} \times \vec{B} \quad (2.20)$$

Ketika medan magnet yang diterapkan dalam proses electroplating dipasang tegak lurus dengan medan listrik maka gaya Lorentz akan maksimal. Namun ketika medan magnet dipasang sejajar dengan medan listrik, gaya Lorentz harus diabaikan dan dominan akan gaya pendorong berupa gaya gradien magnetik ( $\vec{F}_{\nabla B}$ ) (Long dkk, 2014).

$$\vec{F}_{\nabla B} = \frac{\chi V \vec{B} \cdot \nabla \vec{B}}{\mu_0} \quad (2.21)$$

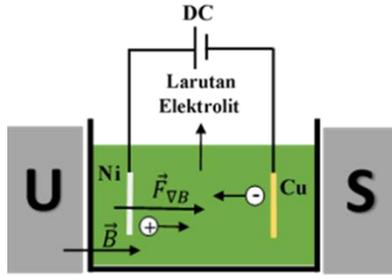
dengan,  $\mu_0$  = merupakan permeabilitas vakum ( $4\pi \times 10^{-7}$  V.s/(A.m))

$\chi$  = suseptibilitas (kerentanan) magnetik partikel bahan

$B$  = medan magnet (T)

$V$  = volume partikel yang terdeposisi ( $m^3$ )

$\nabla \vec{B}$  = gradien medan magnetnya ( $Tm^{-1}$ ).



Gambar 9. Electroplating dengan medan magnet sejajar medan listrik

Berdasarkan Gambar 9, bahwa medan magnet yang sejajar dengan medan listrik dalam proses electroplating akan menimbulkan gaya gradien sebagai pendorong ion positif menuju katoda. Munculnya gaya gradien dikarenakan medan magnet sepanjang lintasan tidak homogen, yang mana semakin jauh dari magnet maka medan magnetnya akan berkurang. Adanya garis medan magnet akan memunculkan gradien magnet disekitar elektroda, sehingga dengan adanya gradien magnet akan memperkuat proses penggabungan dalam pelapisan.

Gaya gradien magnet akan meningkat secara linier dengan meningkatnya susceptibilitas magnetik atau gradien medan magnetnya. Partikel-partikel magnetik yang tersuspensi dalam larutan elektrolit akan mengalami  $\vec{F}_{\nabla B}$  yang kuat, yang mendorong partikel-partikel magnetik tersebut ke arah permukaan elektroda yaitu katoda dan akan

meningkatkan kandungan partikel pelapis (Long dkk, 2014). Besarnya gaya gradien akan membantu dalam meningkatkan volume partikel dari ion positif menuju katoda sehingga meningkatkan transportasi massa pada katoda.

Selain dapat menimbulkan gaya gradien, penggunaan medan magnet sejajar dengan elektrode juga dapat menyebabkan lapisan yang diendapkan homogen dengan struktur lapisan yang sangat pada (Koza dkk, 2010), membentuk struktur lapisan sampai pada orde nano namun membentuk struktur lapisan yang lebih solid (Fattahi dan Bahrololoom, 2015), dan dapat meningkatkan rapat arus sehingga menyebabkan tranfor massa ion logam meningkat (Tschulik dkk, 2009).

## **J. Pengaruh Tegangan**

Proses pelapisan dengan metode electroplating memerlukan tegangan yang konstan. Peningkatan tegangan akan mempengaruhi ketebalan lapisan yang terbentuk. Tegangan pada proses electroplating dapat menjadi gaya pendorong pada proses massa ion logam. Apabila dalam suatu medium tertentu (larutan elektrolit) memiliki tegangan listrik, maka akan terdapat muatan listrik yang bergerak sebagai akibat dari gaya Coulomb. Arah gerakannya

sesuai arah gerak muatan pada ion logam yang dimiliki, yaitu dari anoda ke katoda (Agung, 2019).



# EKSPERIMEN

## A. Metode Eksperimen

### 1. Preparasi Sampel

#### a. Alat preparasi sampel

- 1) Gelas ukur 250 mL dan 1000 mL untuk mengukur volume, menampung *aquades*.
- 2) Kompor listrik untuk memanaskan *aquades*.
- 3) Termometer raksa untuk mengukur suhu *aquades*.
- 4) Baki sebagai tempat untuk proses *deep etching*.
- 5) Kain berbahan halus untuk menggosok permukaan plat tembaga.
- 6) Sikat gigi dengan bulu yang paling halus untuk membersihkan sampel.
- 7) Pinset digunakan sebagai penjepit sampel agar sampel tidak kontak langsung dengan tangan.
- 8) *Ultrasonic cleaner* CD 2800 digunakan untuk mencuci sampel pada tahap preparasi sampel.

b. Bahan preparasi sampel

- 1) Plat tembaga dengan ketebalan 0,5 mm dengan ukuran 1,3 x 10 mm 5 buah sampel.
- 2) Autosol untuk membersihkan kotoran dan menghaluskan permukaan sampel.
- 3) *Cutting sticker* untuk mencetak desain di atas plat tembaga.
- 4) Lakban hitam untuk menutup bagian plat tembaga yang tidak ditempel dengan *cutting sticker*.
- 5) *Double tip* digunakan untuk menempelkan sampel ke dalam baki.
- 6) Air untuk melarutkan *Ferri klorida*.
- 7) *Ferri klorida* digunakan untuk proses *deep etching*.
- 8) Aseton digunakan untuk memudahkan dalam melepaskan *cutting sticker* pada sampel.
- 9) *Aquades* sebagai pengencer larutan elektrolit dan membilas sampel.
- 10) Pasta gigi sebagai bahan pembersih sampel.
- 11) Alkohol dengan kadar 95% sebagai pembersih sampel (plat tembaga).
- 12) Tisu untuk mengeringkan dan membungkus sampel.
- 13) Plastik klip untuk menyimpan sampel.

c. Langkah-langkah preparasi sampel

- 1) Menyiapkan plat tembaga yang ukurannya disesuaikan dengan ukuran baki atau sesuai kebutuhan.
- 2) Membersihkan plat tembaga dengan kain berbahan halus menggunakan autosol sampai permukaannya terlihat mengkilap.
- 3) Menempelkan *cutting sticker* di atas plat tembaga yang telah dibersihkan
- 4) Menempelkan lakban hitam pada bagian belakang plat tembaga.
- 5) Melepaskan plastik penutup *cutting sticker*.
- 6) Menempel sampel dalam baki menggunakan *double tip*.
- 7) Memanaskan air dengan menggunakan kompor listrik sampai suhu 80 °C.
- 8) Menaburkan *ferri klorida* secukupnya ke dalam baki.
- 9) Menuangkan air secukupnya yang telah dipanaskan ke dalam baki.
- 10) Menggoyang baki dengan perlahan-lahan agar proses *deep etching* cepat berlangsung.
- 11) Setelah sampel yang diinginkan sudah terbentuk, maka sampel dibersihkan dengan air yang mengalir.

- 12) Memasukkan sampel yang telah dibersihkan ke dalam larutan aseton untuk mempermudah melepaskan *cutting sticker* dan lakban hitam yang menempel sampel.
- 13) Menggosok sampel dengan kain atau tisu menggunakan autosol sampai bersih (untuk pengangkatan dan pemindahan sampel menggunakan pinset).
- 14) Selanjutnya memasukkan sampel ke dalam baki atau wadah yang berisi *aquades* untuk proses pembersihan menggunakan pasta gigi dan menggosoknya dengan sikat gigi.
- 15) Memasukkan sampel ke dalam *aquades* yang telah dipanaskan pada gelas ukur yang berukuran 250 mL sebanyak 2 buah untuk proses pembilasan sampel.
- 16) Selanjutnya memasukkan sampel ke dalam *ultrasonic cleaner* selama 3 menit.
- 17) Kemudian sampel di angkat dan dikeringkan sampai benar-benar kering menggunakan *hair dryer*.
- 18) Menyimpan sampel dalam tisu dan selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik klip.

## 2. Pengukuran tebal lapisan

### a. Alat pengukuran tebal lapisan

- 1) Neraca *Ohaus* P214 digunakan untuk mengukur massa sampel sebelum dan setelah proses elektroplating untuk mengetahui tebal lapisan yang terbentuk disetiap variasi yang dilakukan.
- 2) Pinset digunakan sebagai penjepit sampel agar sampel tidak kontak langsung dengan tangan.
- 3) Laptop sebagai media visualisasi data dan untuk mengelolah data eksperimen.

### b. Bahan pengukuran tebal lapisan

Sampel berupa plat tembaga (sebelum proses elektroplating) dan lapisan tipis Cu/Ni (setelah proses elektroplating)

### c. Langkah-langkah pengukuran tebal lapisan

- 1) Menyiapkan sampel yang telah melalui proses preparasi sampel dan telah tersimpan minimal satu hari.
- 2) Mengkalibrasi neraca ohaus P214 setiap akan menimbang massa sampel.

- 3) Membuka penutup kaca neraca ohaus P214 dan meletakkan sampel pada neraca ohaus P214 menggunakan pinset agar sampel tidak kontak langsung dengan tangan dan menutup kembali penutup kaca neraca ohaus P214 agar sistem tidak terpengaruh dengan lingkungan..
- 4) Penimbangan dilakukan sebanyak lima kali di tiap sampelnya baik sebelum maupun sesudah plating.
- 5) Setelah keseluruhan data massa setiap sampel diperoleh, kemudian dihitung selisih antara massa sesudah dan sebelum plating dengan cara mengurangi berat sesudah dan sebelum plating.

### 3. Uji resistivitas bahan

#### a. Alat uji resistivitas bahan

- 1) Multimeter digital EXTECH MM560A sejumlah dua unit sebagai ampermeter dan voltmeter.
- 2) Kabel penghubung sesuai kebutuhan.
- 3) DC *Power supply* CELLKIT 1502DDU digunakan sebagai sumber tegangan.
- 4) Resistor yang nilainya 100  $\Omega$ .
- 5) *Breadboard* untuk tempat pemasangan resistor.

- 6) Obeng berfungsi untuk membuka dan mengunci baut pada probe 4 titik.
- 7) *Probe* empat titik yang digunakan untuk mengukur resistivitas keping bahan pada setiap sampel sebelum dan setelah proses elektroplating

b. Bahan uji resistivitas bahan

Sampel berupa plat tembaga (sebelum proses elektroplating) dan lapisan tipis Cu/Ni (setelah proses elektroplating)

c. Langkah-langkah uji resistivitas bahan

- 1) *Probe* 4 titik dihubungkan dengan *power supply* dengan tegangan sebesar 6 V.
- 2) Menempatkan ke-4 kaki *probe* dipermukaan sampel bagian *square*.
- 3) Saat *probe* telah diberi tegangan dan posisi kaki *probe* 4 titik ditempatkan dipermukaan sampel kemudian amati dan catat arus serta tegangan listrik yang ditampilkan oleh layar multimaster.
- 4) Melakukan pengukuran uji resistivitas sebanyak lima kali untuk tiap sampel mulai dari sisi tepi sampel sampai bergeser ke sisi tepi lainnya atau pada posisi yang berbeda-beda.

#### 4. Proses elektroplating

##### a. Alat proses elektroplating

- 1) Gelas ukur 1000 mL untuk pengadukan larutan elektrolit.
- 2) Gelas ukur 250 mL untuk menampung aquades.
- 3) *Magnetic stirrer* jenis MS400 untuk mengaduk larutan elektrolit.
- 4) Neraca ohaus PA214 untuk menimbang massa bahan-bahan pembuatan larutan elektrolit.
- 5) Kompor listrik untuk memanaskan larutan elektrolit.
- 6) Botol air mineral ukuran 1,5 L untuk penampungan dan penyimpanan larutan elektrolit.
- 7) Termometer raksa sebanyak 2 buah untuk mengukur suhu larutan elektrolit saat pemanasan dan proses *electroplating*.
- 8) *Current probe* untuk mengukur arus yang digunakan pada proses *electroplating*.
- 9) *Voltage probe* untuk mengukur tegangan listrik yang digunakan pada proses *electroplating*.
- 10) *LabQuest* mini vernier sebagai penghubung *current probe*, *voltage probe* dengan *software logger Pro 3.15* pada laptop.

- 11) Bak *plating* sebagai penampungan larutan elektrolit.
- 12) Kabel penghubung sesuai kebutuhan.
- 13) Magnet untuk memberikan pengaruh ketika proses elektroplating.
- 14) Sensor medan magnet untuk mengetahui kutub-kutub magnet.
- 15) *Regulator* berfungsi untuk menaikkan tegangan listrik.
- 16) DC *power supply* EXTECH 382213 sebagai catu daya.
- 17) Pinset digunakan sebagai penjepit sampel agar sampel tidak kontak langsung dengan tangan.
- 18) *Hair dryer* digunakan untuk mengeringkan sampel setelah sampel dilapisi nikel. Proses pengeringan dilakukan agar sampel tetap dalam keadaan kering sehingga sampel tidak mudah korosi.

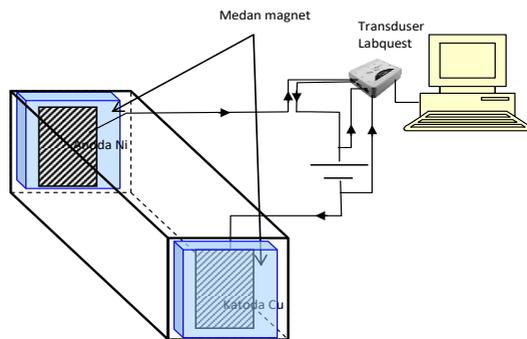
b. Bahan proses elektroplating

- 1) Asam borak ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) sebanyak 40 g/l sebagai pengontrol pH larutan elektrolit.
- 2) Nikel sulfat ( $\text{NiSO}_4$ ) sebanyak 260 g/l sebagai campuran larutan untuk pembuatan larutan elektrolit.

- 3) Nikel klorida ( $\text{NiCl}_2$ ) sebanyak 60 g/l sebagai campuran untuk pembuatan larutan elektrolit.
- 4) *Aquades* sebagai pengencer larutan elektrolit.
- 5) Tisu untuk mengeringkan dan membungkus sampel.

c. Langkah-langkah proses elektroplating

- 1) Membuat larutan elektrolit dengan melarutkan  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang diaduk menggunakan *magnetic stirel* selama 180 menit.
- 2) Menyimpan larutan ke dalam botol mineral ukuran 1,5 L.
- 3) Menyusun rangkaian untuk proses elektroplating yang ditunjukkan pada Gambar 10



Gambar 10. Rangkaian elektroplating berbantuan medan magnet sejajar (Toifur, 2019 in press).

- 4) Melakukan pengecekan kutub magnet menggunakan sensor medan magnet yang

- dihubungkan dengan *lab quest*, dimana akan ditampilkan pada layer *Logger Pro* yaitu nilai positif akan menandakan bagian kutub utara dan nilai negatif menandakan kutub selatan.
- 5) Memutar knop *regulator* tegangan listrik agar menghasilkan nilai medan magnet sebesar 150 G.
  - 6) Mengatur waktu pada tampilan *Logger Pro* yaitu selama 60 sekon.
  - 7) Mengatur tegangan sebesar 1,5 V.
  - 8) Memanaskan larutan elektrolit menggunakan kompor listrik sampai suhu kurang lebih 65 °C.
  - 9) Memasang plat Ni pada anoda dan sampel plat Cu pada katoda.
  - 10) Mengatur jarak anoda dan katoda sejauh 4 cm.
  - 11) Menuangkan larutan elektrolit ke dalam wadah dan tunggu suhu larutan menjadi 60 °C.
  - 12) Menghidupkan secara bersamaan tombol on pada *DC power supply*, sumber tegangan regulator dan tombol *collect* pada *logger pro*.
  - 13) Matikan secara bersamaan jika *electroplating* sudah berjalan 60 detik.
  - 14) Pindahkan lapisan tipis Cu/Ni ke dalam gelas ukur 250 mL yang berisi *aquades*.
  - 15) Melakukan tindakan yang sama untuk sampel-sampel lainnya dan hanya mengubah langkah

huruf g mengikuti variasi tegangan untuk sampel selanjutnya yaitu 3 V; 4,5 V; 6 V dan 7,5 V.

- 16) Lapisan tipis Cu/Ni kemudian dikeringkan hingga benar-benar kering dengan tisu dan *hair dryer*, lalu menyimpan dalam tisu serta dimasukkan ke dalam plastik klip

## 5. Karakterisasi lapisan Cu/Ni

- a. Alat karakterisasi lapisan Cu/Ni
  - 1) Gunting untuk memotong sampel.
  - 2) Spidol untuk memberi tanda pada bagian belakang sampel.
- b. Bahan karakterisasi lapisan Cu/Ni
  - 1) Potongan dari sampel yang telah melalui proses elektroplating.
  - 2) Tisu untuk membungkus sampel.
  - 3) Plastik klip untuk menyimpan sampel.
- c. Langkah-langkah karakterisasi lapisan Cu/Ni
  - 1) Memberi tanda pada bagian belakang sampel menggunakan spidol

- 2) Memotong sampel menggunakan gunting untuk memisahkan bagian sensor dengan bagian yang akan dilakukan uji XRD.
- 3) Menjepit sampel dengan pinset, membungkus dengan tisu dan memasukkan kedalam plastik klip.
- 4) Memberi kode atau identitas pada sampel yang akan dilakukan uji XRD.
- 5) Melakukan tindakan yang sama untuk sampel-sampel lainnya.
- 6) Mengirim sampel ke laboraterium MIPA Universitas Islam Indonesia untuk dilakukan uji XRD.

## 6. Uji kinerja sensor

### a. Alat uji kinerja sensor

- 1) *Lab Quest* sebagai media penghubung sensor *termocople* dan sensor arus agar dapat membaca data yang dibutuhkan.
- 2) Tabung *container* nitrogen cair ( $LN_2$ ) sebagai wadah penampung nitrogen saat melakukan uji kepekaan sensor.
- 3) Laptop sebagai media visualisasi data dan untuk mengelolah data eksperimen.

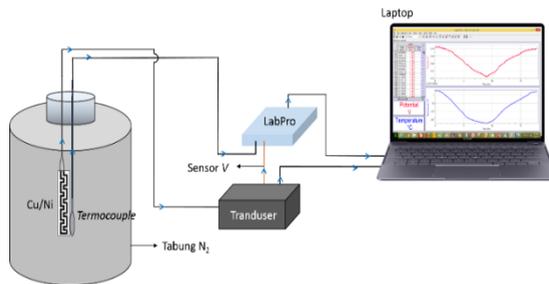
- 4) Transduser sebagai pengubah data analog menjadi digital.
- 5) *Thermocouple* sebagai sensor suhu yang disambungkan ke *Lab Quest* mini.
- 6) Kabel sepanjang 1 m digunakan untuk penghubung lapisan tipis Cu/Ni bagian sensor dengan *transduser*.
- 7) Solder untuk memasang kabel penghubung lapisan tipis Cu/Ni.

b. Bahan uji kinerja sensor

- 1) Kawat tembaga untuk menyambungkan sensor dengan kabel penghubung.
- 2) Sampel lapisan tipis Cu/Ni.
- 3) Nitrogen cair untuk media suhu rendah.

c. Langkah-langkah uji kinerja sensor

- 1) Kabel dihubungkan dengan sensor lapisan tipis Cu/Ni.
- 2) Merangkai peralatan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11

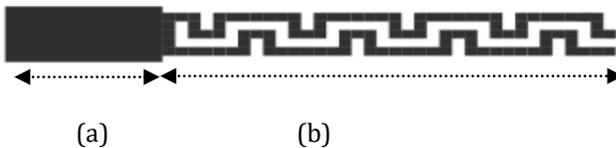


Gambar 11. Rangkaian uji sensor lapisan tipis Cu/Ni (Khusnani, 2019).

- 3) Menempelkan kabel yang telah dihubungkan dengan sensor lapisan tipis Cu/Ni dengan termokopel.
- 4) Mengatur waktu pada *data collection* tampilan logger pro yaitu selama 60 menit dan *sampling rate* yaitu 90.
- 5) Mengkalibrasi termokopel dengan memilih input temperatur yaitu *temperature low*.
- 6) Klik tombol *collcet* pada menu *bar Logger Pro*.
- 7) Memasukkan sensor lapisan tipis Cu/Ni dan termokopel sampai suhu  $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan mengangkat sensor serta termokopel sampai suhu  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 8) Melakukan tindakan yang sama untuk sensor-sensor lainnya.

## B. Analisis Data

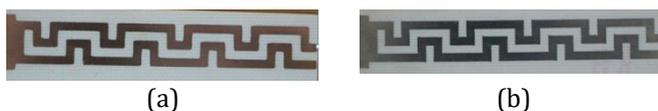
Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 5 buah sampel. Sampel penelitian berupa lapisan tembaga (Cu yang terdapat pada PCB Fiber dengan ukuran  $(10 \times 1,3)$  cm<sup>2</sup>. Desain lapisan terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian *square* untuk karakterisasi dan bagian litografi untuk menguji kinerja sampel sebagai sensor suhu rendah. Karakterisasi yang dilakukan yaitu uji XRD dan uji resistivitas. Pembuatan desain dilakukan dengan *software CorelDraw X7* sesuai Gambar 12



Gambar 12. Desain litografi sampel (a) Bagian square (b) Bagian sensor RTD

Luas bagian square adalah  $(3 \times 1,3)$  cm<sup>2</sup> sedangkan luas bagian litografi adalah  $(2 \times 2)$  mm<sup>2</sup>. Bagian litografi disusun pada luasan substrat Cu (PCB) dengan alur yang berliku-liku agar memperpanjang jalur litografi untuk digunakan pada uji lapisan Cu/Ni sebagai sensor suhu rendah.

Desain kemudian dicetak pada cutting sticker. Sampel direndam dalam larutan feriklorit sehingga terbentuk jalur litografi sesuai desain. Sampel yang sudah dipreparasi kemudian dilapisi dengan Nikel. Pada Gambar 13a adalah sampel tembaga (Cu) yang secara fisik terlihat berwarna kuning keemasan. Sedangkan Gambar 13b adalah sampel tembaga (Cu) setelah dilakukan pelapisan dengan Nikel sehingga tampak berwarna keperakan. Perubahan secara fisik ini menandakan adanya deposisi Ni pada permukaan substrat tembaga.



Gambar 13. Sampel tembaga (Cu) sebelum dan sesudah dilapisi dengan nikel (Ni).

### 1. Menentukan tebal lapisan Cu/Ni

Penentuan tebal lapisan yang terbentuk selama proses electroplating dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.3). Karena persamaan (2.3) memerlukan selisih tebal lapisan sebelum dan sesudah proses electroplating, maka setiap sampel harus ditimbang terlebih dahulu baik sebelum dan sesudah dilakukannya proses electroplating.

Sedangkan perhitungan ralat tebal lapisan yang terbentuk selama proses deposisi dengan penambahan mCu/Ni, mCu dan A sehingga menjadi.

$$S_{\delta} = \sqrt{\left(\frac{1}{\rho A} S_{m_{Cu/Ni}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\rho A} S_{m_{Cu}}\right)^2 + \left(\frac{m_{Cu/Ni} - m_{Cu}}{\rho A^2} S_A\right)^2} \quad (3.1)$$

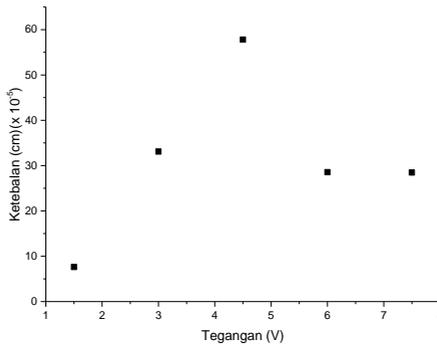
Elektroplating merupakan salah satu metode pembuatan lapisan tipis dengan memanfaatkan arus searah (DC). Proses pelapisan dilakukan dengan cara mendeposisikan Ni pada substrat Cu di dalam larutan elektrolit sebagai tempat berpindahannya elektron dari pelat Ni ke substrat Cu.

Penentuan ketebalan lapisan Ni yang terbentuk di atas substrat Cu dilakukan dengan teknik pengukuran tidak langsung yaitu dengan mengukur selisih antara massa sebelum dan sesudah pada lapisan tipis. Hasil pengukuran tebal lapisan yang diperoleh dari persamaan (2.3) dan ralatnya diperoleh dari persamaan (3.1) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran massa dan tebal lapisan Ni

Tegangan (V)	mCu (gr)	mCu/Ni (gr)	$\Delta m$ (gr)	$\delta \pm S\delta$ (cm) (x 10 <sup>-5</sup> )
.1.5	2.49912	2.5043	0.00518	7.641 $\pm$ 0.819
3	2.53786	2.5603	0.02244	33.102 $\pm$ 0.886
4.5	2.51652	2.5557	0.03918	57.796 $\pm$ 1.002
6	2.48962	2.50898	0.01936	28.558 $\pm$ 0.237

Dari Tabel 4 terlihat bahwa terdapat perubahan massa sebelum dan sesudah proses elektroplating. Hal ini menandakan bahwa lapisan Cu telah terlapisi oleh Ni sesuai dengan tegangannya. Secara fisik hasil deposisi Ni pada substrat Cu ditandai perubahan warna di atas substrat Cu. Nilai ketebalan yang diperoleh dari hasil deposisi sesuai waktu deposisinya ditampilkan pada Gambar 14



Gambar 14. Grafik hubungan ketebalan lapisan Ni terhadap tegangan.

Dari Gambar 14 diketahui bahwa ketebalan lapisan yang paling tinggi adalah pada variasi tegangan 4,5 V dan ketebalan lapisan yang paling rendah adalah pada variasi tegangan 1,5 V.

## 2. Penentuan nilai resistivitas keping Cu/Ni

Menentukan nilai resistivitas keping sampel yang dilakukan dengan dua kali pengukuran yaitu sebelum proses electroplating dan setelah proses electroplating yang dapat ditentukan menggunakan persamaan (2.10). Setiap sampel dilakukan pengukuran menggunakan probe empat titik dengan titik posisi yang berbeda-beda.

Uji resistivitas keping dilakukan sebanyak dua kali. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai resistivitas keping Cu sebelum dan setelah deposisi Ni. Nilai keduanya yaitu nilai resistivitas keping pada substrat Cu dan pada lapisan tipis Cu/Ni hasil deposisi Ni pada substrat Cu dapat diketahui dengan menggunakan alat *probe* empat titik.

### a. Resistivitas Cu

Resistivitas Cu adalah resistivitas bahan sebelum dilakukan proses elektroplating atau sebelum Cu disintesis dengan Ni. Hasil olah data resistivitas Cu dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Resistivitas Cu

Tegangan (V)	$R_s$ ( $\Omega$ /sq)	$S_{R_s}$ ( $\Omega$ /sq)	$\frac{(R_s \pm S_{R_s})}{(x10^{-5})(\Omega/sq)}$
-----------------	-----------------------	---------------------------	---------------------------------------------------

1.5	4.243E-05	7.072E-06	4.24 ± 70.72
3	3.535E-05	6.479E-08	3.53 ± 6479.15
4.5	5.078E-05	8.886E-06	5.07 ± 88.86
6	5.755E-05	8.815E-06	5.75 ± 88.15
7.5	5.040E-05	8.819E-06	5.04 ± 88.19

b. Resistivitas Cu/Ni

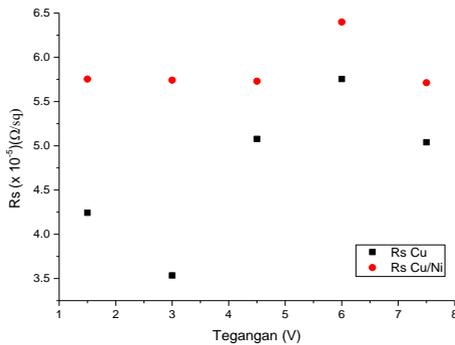
Resistivitas Cu/Ni adalah resistivitas bahan sesudah dilakukan proses elektroplating atau setelah Cu disintesis dengan Ni. Hasil olah data resistivitas Cu dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6. Resistivitas Cu/Ni

Tegangan (V)	$R_s$ ( $\Omega$ /sq)	$S_{R_s}$ ( $\Omega$ /sq)	$(R_s \pm S_{R_s})$ ( $\times 10^{-5}$ )( $\Omega$ /sq)
1.5	5.754E-05	8.811E-06	5.75 ± 88.11
3	5.742E-05	8.792E-06	5.74 ± 87.92
4.5	5.730E-05	8.773E-06	5.73 ± 87.73
6	6.399E-05	7.110E-06	6.39 ± 71.1
7.5	5.713E-05	8.749E-06	5.71 ± 87.49

Pada Tabel 6 diperoleh informasi bahwa nilai resistivitas Cu/Ni lebih besar dari nilai resistivitas Cu. Peningkatan resistivitas Cu/Ni tampak bergantung pada kadar Ni pada struktur lapisan. Selain itu, untuk meningkatkan resistivitas Cu harus mengkombinasikannya dengan bahan yang lain agar membentuk suatu perpaduan (Fraden,

2016). Perpaduan yang baik secara teori baiknya memenuhi beberapa syarat seperti adanya kesamaan ukuran atom dan kesamaan kristal (Toifur dkk, 2017). Perbandingan resistivitas Cu dan resistivitas Cu/Ni dapat dilihat pada gambar 15.



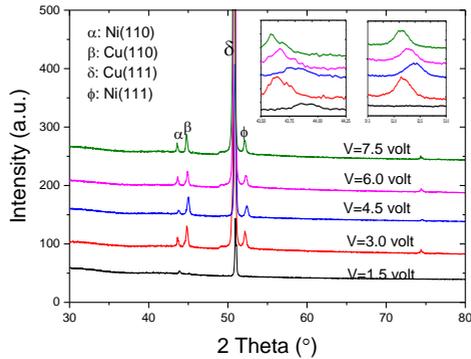
Gambar 15. Grafik perbandingan resistivitas Cu dan Cu/Ni.

### 3. Analisis struktur mikro

Setelah dilakukan proses elektroplating setiap sampel memiliki struktur lapisan yang berbeda. Untuk mengetahui dan menganalisis struktur mikro lapisan yang terbentuk adalah dengan menggunakan uji XRD yang ditembakkan dari sudut  $2\theta$ . Data dari uji XRD berupa data dengan tampilan puncak (peak list). Tampilan data berupa difraktograf yang menyatakan suatu hubungan intensitas dengan sudut difraksi.

Analisis lainnya dari data difraktografi ada parameter yang menjadi penentuan untuk menentukan resistivitas keping sampel, yaitu mencari jarak bidang kristal (dhkl) dengan menggunakan persamaan (2.14) dan grain size yang dapat dicari dengan persamaan (2.16).

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari lapisan Cu/Ni yang terbentuk. Karakterisasi menggunakan bahan Cu/Ni dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) adalah 1,54060 Å serta range sudut yang digunakan yaitu  $2^{\circ}$ - $100^{\circ}$ . Hasil uji XRD berupa kuantisasi intensitas (I) difraksi sinar-X dan sudut hamburan ( $2\theta$ ) dari bahan. Pola yang muncul pada XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu. Pengolahan data struktur kristal bahan Cu dan Ni dilakukan dengan cara mencocokkan data dengan database crystallography untuk struktur kristal yang paling sesuai dengan data sampel, sehingga diperoleh pola difraksi sampel Cu/Ni seperti pada Gambar 16.



Gambar 16. Spektrum XRD dari lapisan Cu/Ni pada variasi tegangan

Semakin teratur dan panjang susunan suatu atom yang membentuk kristal, maka jumlah cacahan dari intensitas yang mengenai atom-atom akan semakin banyak sehingga semakin banyak pula cacahan difraksi yang diterima oleh detektor yang menyebabkan intensitas terbentuk runcing dan tajam. Puncak yang terlihat pada grafik spektrum XRD dari lapisan Cu/Ni dalam Gambar 4.5 menandakan telah terbentuknya kristal pada proses pelapisan.

Puncak tertinggi difraksi muncul pada sudut tertentu, dengan bidang refleksi Cu dan Ni adalah (002) dan (111). Bidang refleksi (002) dan (111) masuk dalam kategori Face Center Cubic (FCC) (Rao dkk. 2013). Dari puncak grafik, dapat dilakukan perhitungan

untuk memperoleh nilai  $hkl$  yang nantinya akan menunjukkan kategori kristal yang terbentuk.

Data hasil penelitian dibandingkan dengan tabel parameter refleksi standar Cu dan Ni pada Tabel 4.4 dan 4.5 yang diperoleh dari analisis dengan menggunakan aplikasi Diamonds diperoleh data yang hampir identik. Pola difraksi yang diamati hanya pola difraksi tertinggi yang dimiliki Cu dan Ni. Puncak tertinggi Cu adalah pada sudut 2-Theta sekitar 50.93 dan puncak tertinggi Ni adalah pada sudut 2-Theta sekitar 44.84.

Tabel 7. Parameter refleksi Cu hasil XRD

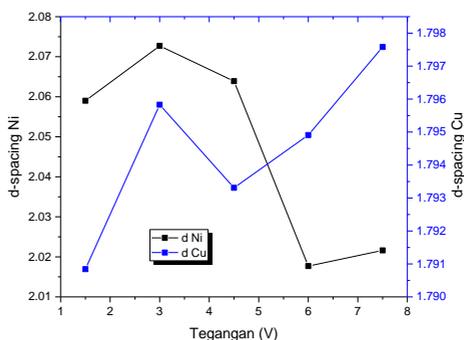
No.	2 Theta	d- spacing	Int	F	h	k	l	Mult
1	43.312	2.0873	361632.99	86.50	1	1	1	8
2	50.444	1.8077	166908.42	80.64	0	0	2	6
3	74.117	1.2782	89794.61	63.52	0	2	2	12
4	89.925	1.0901	101991.58	54.80	1	1	3	24

Tabel 8. *Parameter refleksi Ni hasil XRD*

No.	2 Theta	d-spacing	Int	F	h	k	l	Mult
1	45.502	1.9919	286936.44	86.5	1	1	1	8
2	53.045	1.7250	132844.65	80.64	0	0	2	6
3	78.324	1.2198	75484.68	63.52	0	2	2	12

Pola difraksi Cu/Ni juga mengalami pergeseran fasa kristal. Pergeseran fasa kristal menandakan adanya perubahan topografi dan morfologi lapisan. Pada

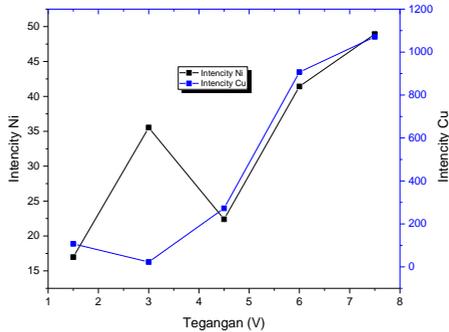
penelitian lain (Khansa dkk, 2020) juga disampaikan bahwa pergeseran fasa menyebabkan terbentuknya perubahan jarak antar bidang (d-spacing) kristal lapisan. Semakin kecil d-spacing semakin kecil resistivitas bahan, dan sebaliknya. Pada awalnya d-spacing Cu dan Ni sama-sama rendah yaitu 2.06 Å dan 1.79 Å sejalan dengan penambahan tegangan deposisi sampai 3 volt maka kedua d-spacing semakin meningkat. Namun d-spacing keduanya kembali turun untuk tegangan deposisi 4.5 volt. ketika tegangan dinaikkan hingga 7.5 volt d-spacing Ni semakin turun sementara d-spacing Cu semakin meningkat. Perbandingan jarak antar bidang partikel dapat dilihat pada Gambar 17



Gambar 17. Perbandingan d-spacing Cu dan Ni

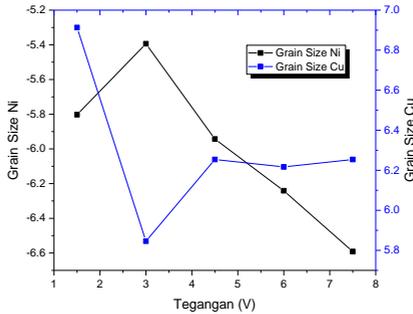
Perbedaan struktur susunan ion massa Ni pada permukaan Cu mengakibatkan meningkatnya intensitas difraksi XRD untuk mengkarakterisasi bahan. Semakin teratur susunan atom pada struktur lapisan yang membentuk kristal, maka jumlah cacahan dari intensitas yang mengenai atom-atom akan semakin banyak sehingga semakin banyak pula cacahan difraksi yang diterima oleh detektor yang menyebabkan meningkatnya intensitas terbentuk tajam dan tinggi. Intensitas puncak difraksi mencerminkan tingkat keteraturan struktur kristal. Semakin besar intensitas semakin teratur susunan kristal. Dari Gambar 4.6, tegangan deposisi berpengaruh pada intensitas puncak difraksi. Dari tegangan 1,5 – 3 V intensitas Ni naik, kemudian turun sampai tegangan 4,5 kemudian naik lagi. Untuk Cu, tegangan 1,5 – 3 V intensitasnya turun, kemudian naik lagi. Ada dua arah bidang kristal yang ditinjau yaitu arah Ni dan Cu. Pada mulanya untuk Cu lebih tinggi dari Ni namun setelah tegangan deposisi dinaikkan maka Ni menjadi lebih tinggi dari Cu. Hal ini bahwa tegangan dapat menggeser arah bidang kristal yang semula lebih teratur menjadi kurang teratur dan sebaliknya. Intensitas Cu melebihi intensitas Ni dipertahankan hingga tegangan deposisi 6V. Namun pada tegangan deposisi 7V intensitas Ni kembali

melebihi dari intensitas Cu. Perbandingan intensitas Ni dan Cu dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Intensitas Ni dan Cu

Parameter struktur mikro yang selanjutnya adalah grain size. Penentuan grain size dapat dihitung menggunakan persamaan Scherrer (Xia dkk, 2018). Grain size maksimum Cu adalah 6,91 nm dan grain size minimum Cu adalah 35,84 nm. Sedangkan Grain size maksimum Ni adalah 5,39 nm dan grain size minimum Ni adalah 6,59 nm.



Gambar 19. Grain Size Ni dan Cu

#### 4. Analisis uji kinerja sensor

Perubahan suhu ( $T$ ) dalam container LN2 (medium cryonic) menyebabkan adanya pengaruh pada tegangan keluaran dari sensor RTD. Sehingga menentukan sebab akibat antara tegangan ( $V$ ) dan suhu ( $T$ ) dapat dilakukan dengan proses fitting data menggunakan persamaan polinomial orde dua sebagai berikut (Bevington, 2003).

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3.2)$$

dengan,  $y$  = tegangan ( $V$ )

$x$  = suhu ( $T$ )

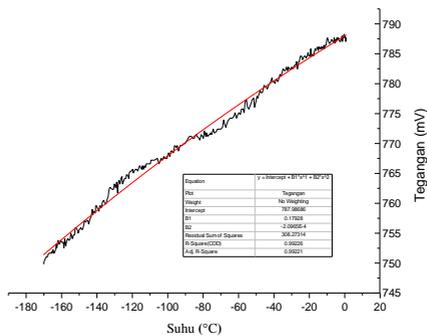
$a$  = kelengkungan data kinerja sensor

$b$  = kemiringan

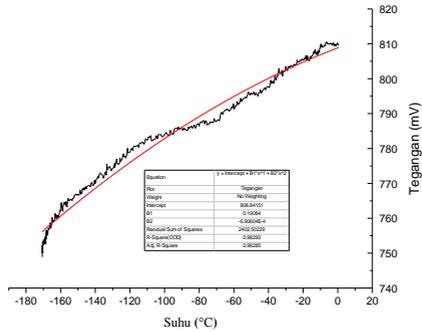
$c$  = koefesiesn *fitting*

Dari persamaan ini kualitas sensor dianalisis pada kepekaan dan linieritas hubungan V-T. Semakin kecil nilai  $a$  semakin linier kurva tersebut.

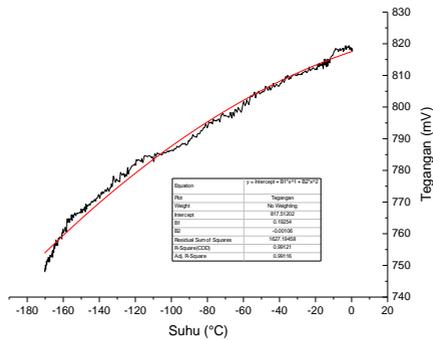
Penentuan karakteristik dari kinerja RTD sebagai sensor suhu rendah dilakukan dengan fitting data polinomial orde dua dari output data. Output data elemen RTD Cu/Ni berupa tegangan (V) dan termokopel Vernier berupa suhu (°C). Profil kinerja elemen RTD sebagai sensor suhu rendah pada variasi waktu deposisi disajikan pada gambar 20-24



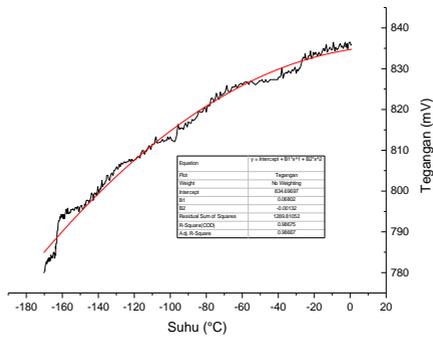
Gambar 20. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 1,5 V.



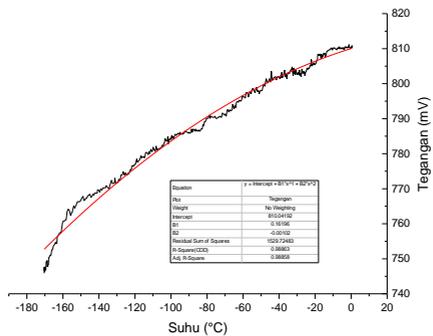
Gambar 21. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 3 V.



Gambar 22. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 4.5 V.



Gambar 23. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 6 V



Gambar 24. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu untuk lapisan tipis Cu/Ni pada tegangan deposisi 6 V

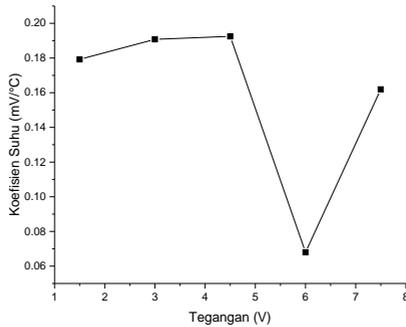
Secara umum, karakteristik dari kinerja beberapa sampel RTD dapat dilihat dari Gambar 4.9 – 4.13. Kinerja elemen RTD sebagai sensor suhu rendah diperoleh dari nilai koefisien T pada persamaan

polinomial orde dua pada grafik. Nilai koefisien T menunjukkan kepekaan sensor suhu rendah. Jika nilai koefisien T semakin besar, maka dapat dikatakan bahwa lapisan Cu/Ni memiliki kepekaan yang lebih baik, sehingga kinerja dari sensor suhu rendah akan lebih baik. Persamaan yang dihasilkan dari grafik masing-masing sampel dirangkum pada Tabel 9.

Tabel 9. Persamaan polinomial orde 2 antara tegangan (V) dan suhu medium (T) pada uji kinerja sensor suhu

Tegangan (V)	Persamaan $y = ax^2+bx+c$	Koefisien Suhu (mV/ °C)
1,5	$V = -0.0002 T^2 + 0.1792 T + 787.98$	0.1792
3	$V = -0.0006 T^2 + 0.1908 T + 808.84$	0.1908
4,5	$V = -0.0010 T^2 + 0.1925 T + 817.51$	0.1925
6	$V = -0.0013 T^2 + 0.0680 T + 834.69$	0.0680
7,5	$V = -0.0010 T^2 + 0.1619 T + 810.04$	0.1619

Dari Tabel 9 terlihat bahwa sensor dengan tingkat koefisien suhu paling tinggi adalah sensor yang dideposisi pada tegangan 4,5 V. Kemudian sensor yang paling rendah koefisiem suhunya adalah sensor dengan tegangan deposisi 6 V. Pola tingkat kepekaan sensor suhu rendah terhadap variasi tegangan deposisi dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Pengaruh tegangan deposisi terhadap koefisien suhu

Semakin baik kepekaan pada lapisan Cu/Ni, maka kinerja lapisan Cu/Ni sebagai sensor suhu rendah juga akan lebih baik. Kinerja lapisan sebagai elemen RTD yang paling baik ditunjukkan pada sampel pada tegangan deposisi 4,5 V yang mempunyai nilai koefisien suhu sebesar 0,1925 mV/°C dengan persamaan  $V = -0.0010 T^2 + 0.1925 T + 817.51$ .

# PENUTUP

Berdasarkan penelitian mengenai pembuatan sensor *cryonics* Cu/Ni dengan metode elektroplating variasi tegangan berbantuan medan magnet sejajar medan listrik maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Tegangan deposisi yang memiliki nilai ketebalan tertinggi adalah tegangan deposisi 4,5 V dan ketebalan lapisan yang paling rendah adalah pada variasi tegangan 1,5 V.
2. Resistivitas Cu/Ni lebih besar dari nilai resistivitas Cu. Peningkatan resistivitas Cu/Ni tampak bergantung pada kadar Ni pada struktur lapisan. Tegangan deposisi yang memiliki nilai resistivitas Cu/Ni tertinggi adalah tegangan deposisi 6 V. Sedangkan tegangan deposisi yang memiliki nilai resistivitas Cu/Ni terendah adalah tegangan deposisi 3 V.
3. Hasil analisis *X Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa pada tegangan deposisi 1,5 V sudah terdapat puncak Ni dengan sudut  $43.939^\circ$  dengan hkl (111). Semakin lama

tegangan deposisi maka semakin meningkat keteraturan susunan struktur mikro lapisan Ni hasil deposisi.

Kinerja lapisan sebagai elemen RTD yang paling baik ditunjukkan pada sampel dengan tegangan deposisi 4,5 V yang mempunyai nilai koefisien suhu sebesar 0,1925 mV/°C dengan persamaan  $V = -0.0010 T^2 + 0.1925 T + 817.51$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Afiati, Fifi., Herdias., dan Syahrudin, Said. 2013. *Pembibitan Ternak dengan Inseminasi Buatan*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Aguilera, L., Leyet, Y., Romaguera-Barcelay, Y., Thaines, E. H., Terezo, A. J., Souza, G. L., & Pocrifka, L. A. 2019. Influence of electrodeposition temperature in the electrochemical properties of Ni(OH)<sub>2</sub>: An experimental and theoretical study. *Thin Solid Films*, 670, 24-33.
- Agung, Rizki. 2019. Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni Sebagai Sensor Suhu Rendah dengan Metode *Electroplating* Berbantuan Medan Magnet Sejajar Medan Listrik pada Variasi Suhu *Annealing*. Tesis. Program Pascasarjana UAD. Yogyakarta
- Aliofkhazraei, M. 2015. *Electroplating of Nanostructures*. Moscow: Published by Av4E4EvA MuViMix Records.
- An, Z., He, L., Toda, M., Yamamoto, G., Hashida, T., dan Ono, T. 2015. Microstructuring of Carbon Nano Tubes Nickel Nano Composite. *Nanotechnology*, 26 (19), 195601.
- Aryanto, D., Husniya, N., Sudiro, T., dan Hastuti, E. 2017. Perlakuan Panas Ganda Pada Fabrikasi Film Tipis AZO Nanokristal dengan Teknik Spray: Studi XRD. *Metalurgi*, 32 (2), 45-52.
- Astuti, S. Y. 2011. *Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis*. Semarang: FMIPA UNNES.
- Bhattacharya, S., dan Prajapati, B. G. 2016. A Review on Cryoprotectant and its Modern Implication in *Cryonics*. *Asian Journal of Pharmaceutics*, 10 (3) 154-155.



- Bo, G, A., Baruselli, P, S., dan Mapletoft, R, J., 2013. Synchronization Techniques to Increase the Utilization of Artificial Insemination in Beef and Dairy Cattle. *Anim. Reprod.* 10 (3) 137–142.
- Bo, G, A., dan Baruselli, P, S. 2014. Synchronization of Ovulation and Fixed-Time Artificial Insemination in Beef Cattle. *Animal.* 144–150.
- Boylestad, R. L. 2014. *Introductory Circuit Analysis, Twelfth Edition.* United States of America: Parential Hall Pearson.
- Budiyanti, R. T. 2016. Teknologi *Cryonics* dalam Perspektif Etika dan Hukum. *Cermin Dunia Kedokteran*, 8 (43) 626–628. Callister and David, 2012
- Callister W. D., dan David G. Rethwisch. 2015. *Fundamentals Materials Science and Engineering: An Integrated Approach.* New Jersey: Jhon Wiley & Sons.
- Callister, W. D., dan David G. Rethwisch. 2012. *Fundamentals of Materials Science and Engineering An Integrated Approach, 4<sup>th</sup> Edition.* USA: Wiley
- Cullity, B. D., dan Stock, S. R. 1956. *Elements of X-Ray Diffraction.* England: Pearson Education Limited.
- Cullity, B. D., dan Stock, S. 2014. *Elements of X-Ray Diffraction. Third Edition.* England: Pearson Education Limited.
- Davidson, P. A. 2001. *An Introduction to Magnetohydrodynamics.* New York: Cambridge University Press.
- Dinç, F., Akalin, H., Özakin, C., Sinirtaş, M., Kebabçi, N., Işçimen, R., Schimmel, T. 2017.
- Fattahi, A., & Bahrololoom, M. E. 2015. Investigating the Effect of Magnetic Field on Pulse Electrodeposition of Magnetic and

Non-Magnetic Nanostructured Metals. *Surface and Coatings Technology*, 261, 426–435.

Fiqry, R. 2018. *Pembuatan Lapisan Tipis Cu<sub>1</sub>/Ni<sub>1</sub>/Cu<sub>2</sub>/Ni<sub>2</sub> sebagai Bahan Dasar Sensor Suhu Rendah dengan Metode Electroplating pada Variasi Tegangan Deposisi*. Tesis. Program Pascasarjana UAD. Yogyakarta.

Fiqry, R., Toifur, M., dan Azmi, K. 2018. Ketebalan Dan Nilai Resitivitas Lapisan Tipis Cu / Ni / Cu / Ni Hasil Penumbuhan Dengan Metode *Electroplating* pada Variasi Tegangan Deposisi (V). *Seminar Nasional Edusainstek*. 46–54.

Fraden, Jacob. 2003. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer.

Fraden, Jacob. 2015. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer.

Fraden, Jacob. 2016. *Handbook of Modern Sensors: Fifth Edition*. In *Handbook of Modern Sensors*.

Fu, T., Wang, M., Cai, W., Cui, Y., Gao, F., Peng, L., dan Ding, W. 2014. Acid-Resistant Catalysis Without Use of Noble Metals: Carbon Nitride with Underlying Nickel. *ACS Catalysis*, 4 (8), 2536–2543.

Giancoli, Douglas. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga

Grant, K. M., Hemmert, J. W., dan White, H. S. 2001. Magnetic Field-Controlled Microfluidic Transport. *JACS Articles*. 124 (3) p. 462-467.

Kementan. 2012. *Pedoman Optimalisasi Inseminasi Buatan (IB) Tahun 2012*. Jakarta: Direktorat Jenderal Peternakan Dan Kesehatan Hewan Direktorat Budidaya Ternak.

- Khansa, M. L., Toifur, M., Maruto, G., Pramudya, Y., & Khusnani, A. (2020). The effect of deposition time on the microstructure and resistivity of cu/ni thin film prepared by magnetized electroplating. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(1), 63–67.
- Khusnani, A. 2015. *Laporan Praktikum Mata Kuliah Sains dan Teknologi Nano*. Yogyakarta: UAD.
- Khusnani, A. 2019. *Sintesis Lapisan Tipis Cu/Ni Dengan Metode Elektroplating Berbantuan Medan Magnet Pada Variasi Kuat Medan Magnet*. Tesis. Program Pascasarjana UAD. Yogyakarta.
- Koza, J. A., Karnbach, F., Uhlemann, M., McCord, J., Mickel, C., Gebert, A., Schultz, L. 2010. Electrocrystallisation Of CoFe Alloys Under the Influence of External Homogeneous Magnetic Fields-Properties of Deposited Thin Films. *Electrochimica Acta*, 55 (3), 819–831.
- Kustija, Jaja. 2012. *Modul Sensor dan Transduser*. Dosen dan Peneliti Bidang Elektro.
- Le, N. N., Cam, T., Phan, H., Le, A. D., My, T., Dang, D., dan Dang, M. C. 2015. Optimization of Copper Electroplating Process Applied for Microfabrication on Fl Exible Polyethylene Terephthalate Substrate. *Proceedings of the International Conference on Nanoscience and Nanotechnology*, 5, 0–6.
- Leventis, N., & 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), 3981-3992.
- Long, O., Zhong, Y.-b., Wang, H., Zheng, T.-X., Zhou, J.-F., & Ren, Z.-M. 2014. Effects of Magnetic Fields on Fe-Si Composite Electrodeposition. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 21 (12), 1175-1186.

- Long, Q., Zhong, Y., Wu, Y., Li, Y., dan Li, J. 2019. Behavior of Electrodeposited Fe/FeSi Composite in a Static Parallel Magnetic Field. *Int. J. Elektrochem. Sci*, 14, 10002-10014.
- Maher, A., Velusamy, V., Riordan, D., dan Walsh, J. 2014. Modelling of Temperature Coefficient of Resistance of a Thin Film RTD Towards Exhaust Gas Measurement Applications. *Proceedings of the 8th International Conference on Sensing Technology* (pp. 19-22). Liverpool: Macquarie University.
- Mordechay, S., dan Milan, P. 2010. *Modern electroplating*. New Jersey: In A John Wiley & Sons, Inc Publication.
- Okamoto, N., dan Watanabe, T. 2004. The Adhesion of Electrodeposited Copper, Nickel and Silver Films on Copper, Nickel and Silver Substrates. *Nippon Kinzoku Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Metals*, 68 (2), 110-113.
- Poroch-Seritan, M., Cretescu, I., Cojocaru, C., Amariei, S., dan Suci, C. 2015. Experimental Design for Modelling and Multi-Response Optimization of Fe-Ni Electroplating Process. *Chemical Engineering Research and Design*, 96, 138-149.
- Prasetyo, R. D. 2018. *Pengaruh Suhu Annealing Terhadap Kinerja Sensor Suhu Rendah Lapisan Tipis Cu/Ni*. Tesis. Program Pascasarjana UAD. Yogyakarta.
- Prasetyo, R. D., Toifur, M., dan Khusnani, A. 2018. Hubungan Suhu Anil dengan Perubahan Nilai Resistivitas Lapisan Tipis Cu / Ni Hasil Deposisi Menggunakan Teknik Elektroplating. *Seminar Nasional Quantum*, Pendidikan Fisika UAD, Yogyakarta, 25, 597-604.
- 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-DIY Yogyakarta*, (pp. 166-169).

Rao, S. I., Dimiduk, D. M., Parthasarathy, T. A., Uchic, M. D., & Woodward, C. (2013). Atomistic simulations of surface cross-slip nucleation in face-centered cubic nickel and copper. *Acta Materialia*, 61(7), 2500–2508.

Robby, Candra. 2012. *Modul Sensor dan Transduser*. Jakarta: Universitas Gunadarma

Saragih, H., Aliah, H., Sustini, E., Limbong, A., dan Hutapea, M. 2010. Sifat Optik Lapisan Tipis  $\text{In}_2\text{O}_3$  yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD. *Jurnal Matematika dan Sains*, 15 (2), 85–92.

Schmitz, E. P. S., Quinaia, S. P., Garcia, J. R., De Andrade, C. K., dan Lopes, M. C. 2016. Influence of Commercial Organic Additives on the Nickel Electroplating. *International Journal of Electrochemical Science*, 11 (2), 983–997.

Smallman, R.E., dan Bishop, R.J. 2000. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering (Science, Process, and Application)*. 6<sup>th</sup>. ed. New York: Butterworth-Heinemann.

Susanti, Lilik. 2013. *Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor  $\text{Sn}(\text{SO}_4\text{SeO}_6)$  Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Susilawati, Trinil. 2013. *Pedoman Inseminasi Buatan pada Ternak*. Malang: Universitas Brawijaya Press.

Sutanto, H., dan Nurhasanah, I. 2012. *Teknologi lapisan tipis & aplikasinya*. Semarang: Penerbit & Percetakan UPT UNDIP Press Semarang.

Toifur, M. 2007. Deposition of Cu/Ag At The Various Deposition Time For Resulting The High Quality Decorative Silver,

*Proceeding of The International Seminar on Natural Science and Applied Natural Science. Yogyakarta 2007*, ISBN: 978-979-3812-09-0.

- Toifur, M. 2014. Memahami Resistivitas Berbagai Jenis Probe Arus-Tegangan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng dan DIY*, 1-7.
- Toifur, M. 2019. Pengaruh Medan Deposisi pada Struktur Mikro, Resistansi dan Nisbah Mr Lapisan Tipis NiFe yang Disiapkan dengan Dc Magnetron Sputtering. *Indonesian Journal of Materials Science*. 15 (1), 18-23.
- Toifur, M., Nurmalia, A., Okimustava, dan Sukarelawan, M. I. 2017. Pengaruh Waktu Deposisi Pada Tebal Lapisan, Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi Dengan Teknik Elektroplating. *Junal Material dan Energi Indonesia*, pp. 33-43.
- Toifur, M., Yuningsih, Y., dan Khusnani, A. 2017. Microstructure, Thickness and Sheet Resistivity of Cu/Ni Thin Film Produced by Electroplating Technique on The Variation of Electrolyte Temperature. *Seminar Nasional Fisika* (pp. 1-10). Semarang: IOP Publishing.
- Toifur, M., Yuningsih, Y., dan 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, Moh, dan Asmiarto, D. 2017. Perbaikan Kinerja Probe 4 Titik Melalui Pelapisan Perak. *The 5 Th Urecol Proceeding*, UAD, Yogyakarta 1280-1286.
- Wang, Y., Zhang, C., Li, J., Ding, G., dan Duan, L. 2017. Fabrication and Characterization of ITO Thin Film Resistance Temperature Detector. *Vacuum*, 140, 121-125.

- Wardani, L., Machdie, F., dan Hadi, Y. S. 2014. Structure and Dimensions Fiber of Oil Plam Frond. *Jurnal Hutan Tropis*. 3 (1), 7-16.
- Widiyanto, H. 2013. Media Pembelajaran Sensor dan Transduser pada Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. *Skripsi*, Universitas Negeri Semarang.
- Wilson, J. S. 2005. *Sensor Technology Handbook*. Elsevier, Burlington.
- Xia, L. T., Wei, G. Y., Li, M. G., Guo, H. F., Fu, Y., dan Dettinger, H. 2014. Preparation of Co-Pt-P Thin Films by Magnetic Electrodeposition. *Research Innovations*, 18 (5), 386-389.
- Zang, Ning. 1997. Tunnel-type Giant Magnetoresistance in The Granular Perovskite  $\text{La}_{0,85}\text{Si}_{0,15}\text{MnO}_3$ . *Phys. Rev B*, 56 (13),
- Zaynetdinov, M., M. E. See., B. Geist., G. Ciovati., H. D. Robinson., dan V. Kochergin. 2015. "fiber Bragg grating temperature sensor for 2–400 K," *IEEE Sens. J.* 15 (3) 1908-12.
- Zhou, Y., Matsubara, I., Shin, W., Izu, N., dan Murayama, N. 2004. Effect of Grain Size on Electric Resistivity and Thermopower of  $(\text{Ca}_{2,6}\text{Bi}_{0,4})\text{Co}_4\text{O}_9$  Thin Films. *Journal of Applied Physics*, 95 (2), 625-628.

## 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	$\text{m}^2$
$v$	Kecepatan	m/s
$q$	Muatan listrik	Coulomb
$S$	Jarak antar probe	M
$t$	Waktu	S
$V$	Tegangan	volt
$I$	Arus listrik	Ampere
$\rho$	Resistivitas	$\Omega\cdot\text{cm}$
$R_s$	Resistivitas keping	$\Omega/\text{Sq}$
$d$	Jarak antar bidang	$\text{Å}$
$d_{hkl}$	Indek bidang $hkl$	$\text{Å}$
$hkl$	Indeks miller	

## GLOSARIUM

- Sensor suhu : Sebuah alat yang dapat mengubah input besaran fisika berupa suhu menjadi besaran tegangan maupun arus sebagai outputnya.
- Elektroplating : Proses pelapisan suatu bahan logam pada logam lain.
- Larutan elektrolit : Larutan yang dapat menghantarkan arus listrik.
- RTD : Material yang bekerja berdasarkan perubahan hambatan yang disebabkan oleh perubahan suhu.
- Lapisan Cu/Ni : Pelapisan nikel dengan teknik elektroplating di atas permukaan tembaga pada papan PCB
- PCB : Sebuah papan yang digunakan untuk mendukung semua komponen-komponen dalam elektronika.
- X-Ray Diffraction* : Alat karakterisasi struktur mikro untuk mengetahui struktur kristal yang telah dibentuk dari proses pelapisan.
- SEM-EDX : Alat karakterisasi struktur mikro untuk mengetahui gambar permukaan dan komposisi dari lapisan yang terbentuk.

## BIOGRAFI



Muhamad Ansarudin lahir di desa Makbalim Kec. Mayamuk Kab. Sorong Provinsi Papua Barat pada 1 Maret 1995. Penulis menempuh pendidikan strata 1 di jurusan pendidikan fisika FKIP Universitas Papua (UNIPA) Manokwari pada tahun 2013-2018. Penulis memiliki keyakinan bahwasanya seorang manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan magister di jurusan pendidikan fisika Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.



Moh. Toifur lahir di Blitar, 18 Juli 1964. Menempuh pendidikan S1, S2, S3 di Universitas Gadjah Mada pada jurusan Fisika. saat ini sedang bekerja sebagai dosen PNS di Universitas Ahmad Dahlan dengan bidang keahlian fisika material (Lapisan Tipis).



Okimustava lahir di Bayumas, 27 Oktober 1985. Menempuh pendidikan S1 dan S2 di Universitas Ahmad Dahlan pada jurusan pendidikan fisika. saat ini bekerja sebagai dosen di Universitas Ahmad Dahlan.

