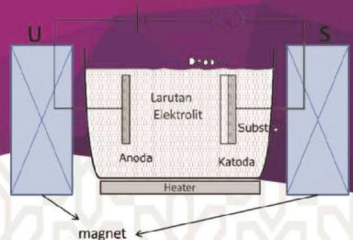
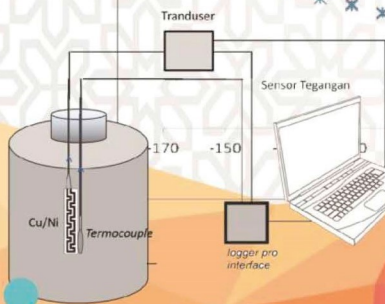
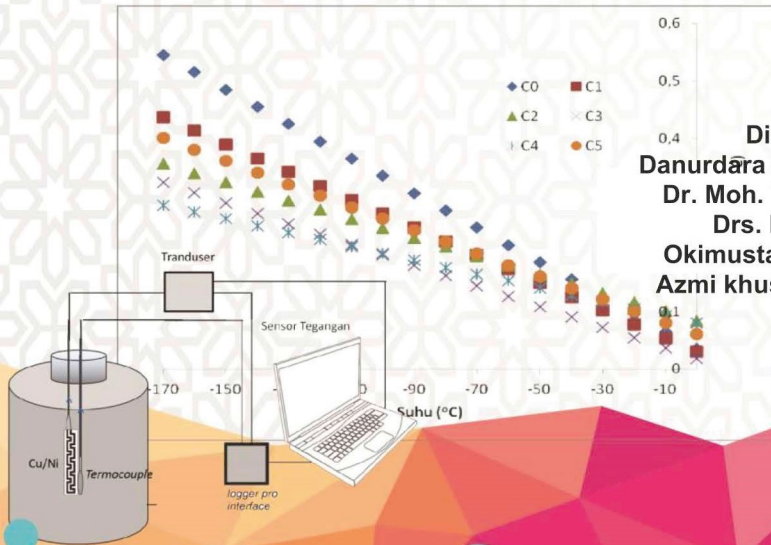


Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektronik Terhadap Fabrikasi dan Uji Sensor Cu/Ni

Disusun Oleh
 Danurdāra Setiamukti
 Dr. Moh. Toifur, M.Si
 Drs. Ishafit, M.Si
 Okimustava, M.Pd.Si
 Azmi khusnani, M.Pd



MONOGRAF

Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektronik Terhadap Fabrikasi dan Uji Sensor Cu/Ni

Danurdara Setiamukti

Dr. Moh. Toifur, M.Si

Drs. Ishafit, M.Si

Okimustava, M.Pd.Si

Azmi khusnani, M.Pd



Penerbit K-Media
Yogyakarta, 2020

**MONOGRAF; PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN
ELEKTRONIK TERHADAP FABRIKASI DAN UJI SENSOR Cu/Ni**
vi + 58 hlm.; 14 x 20 cm

ISBN: 978-602-451-891-2

- Penulis** : Danurdara Setiamukti, Dr. Moh. Toifur,
M.Si, Drs. Ishafit, M.Si, Okimustava,
M.Pd.Si dan Azmi Khusnani, M.Pd,
- Content Review** : Damar Yoga Kusuma, B.Eng., Ph.D
Dwi Sulistyarningsih, M.Pd
- Design Review** : Prof. Dr. Ir. Dwi Sulisworo, M.T
- Tata Letak** : Efi Kurniasari
- Desain Sampul** : Eko Susanto
- Cetakan** : September 2020

Copyright © 2020 by Penerbit K-Media
All rights reserved

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang No 19 Tahun 2002.

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

Isi di luar tanggung jawab percetakan

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

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuhu.

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

Monograf ini disusun dengan harapan dapat membantu dan memudahkan mahasiswa pendidikan fisika dalam melaksanakan eksperimen, yang berkaitan dengan proses penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan metode *electroplating* dan aplikasinya sebagai sensor suhu.

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuhu

Yogyakarta,

2020

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------|-----|
| HALAMAN JUDUL | i |
| KATA PENGANTAR | iii |
| DAFTAR ISI | iv |
| DAFTAR GAMBAR | v |
| DAFTAR TABEL | vi |
| PENDAHULUAN | 1 |
| SENSOR SUHU | 7 |
| 1. Pengertian Sensor suhu | 7 |
| 2. Kriteria sensor | 9 |
| 3. Nitrogen cair | 10 |
| 4. Elektroplating | 11 |
| 5. Konsentrasi elektrolit | 16 |
| 6. Medan magnet sejajar | 18 |
| EKSPERIMEN | 24 |
| 1. Pembuatan lapisan Cu/Ni | 24 |
| 2. Pengujian kinerja sensor | 27 |
| 3. Analisis data | 28 |
| PENUTUP | 46 |
| DAFTAR PUSTAKA | 48 |
| BIOGRAFI PENULIS | 56 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1 (a) Kecepatan q searah B dan (b) kecepatan q tegak lurus dengan B (dokumen pribadi) | 20 |
| Gambar 2. <i>Electroplating</i> dengan medan magnet sejajar medan listrik | 22 |
| Gambar 3. Rangkaian alat proses <i>electroplating</i> | 25 |
| Gambar 4. Rangkaian alat uji kinerja sensor | 27 |
| Gambar 5. Nilai suhu pada termos penyimpanan nitrogen cair (http://www.hawaii.edu) | 28 |
| Gambar 6. (a) plat tembaga sebelum proses <i>electroplating</i> dan (b) lapisan Cu/Ni | 30 |
| Gambar 7. Contoh output data logger Pro untuk waktu, tegangan, dan suhu pada sensor lapisan Cu/Ni variasi konsentrasi larutan ke -1 (C1) | 31 |
| Gambar 8. Nilai jangkau tegangan untuk setiap variasi konsentrasi larutan | 33 |
| Gambar 9. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-0 | 35 |
| Gambar 10. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-1 | 35 |
| Gambar 11. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-2 | 36 |
| Gambar 12. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-3 | 36 |
| Gambar 13. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-4 | 37 |
| Gambar 14. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-5 | 37 |
| Gambar 15. Grafik hubungan antara tegangan ouput dan suhu. | 39 |
| Gambar 16. Waktu respon sensor lapisan Cu/Ni untuk suhu naik | 44 |
| Gambar 17. Waktu respon sensor lapisan Cu/Ni untuk suhu turun | 45 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Kosentrasi larutan tiap pelapisan | 26 |
| Tabel 2. Tebal lapisan untuk setiap variasi kosentrasi larutan | 29 |
| Tabel 3. Persamaan polinomial orde dua antara tegangan <i>output</i> sensor dan suhu | 38 |
| Tabel 4. Nilai koefisien untuk untuk waktu respon naik | 44 |
| Tabel 5. Nilai koefisien untuk untuk waktu respon turun | 45 |

PENDAHULUAN

Rencana Induk Riset Nasional mempunyai 10 bidang setrategis diantaranya Pengawetan makanan yaitu pada Industri Pangan tahun 2015-2019 No 3 yaitu Teknologi Preservasi (pembekuan, pengeringan, pengawetan dengan gula/garam) (RIRN 2017-2045) guna meningkatkan komoditas ekspor makanan segar Indonesia maka dibutuhkan perkembangan metode pengawetan makanan berbasis kriogenik.

Peningkatan aktivitas ekspor-impor pada komoditi makanan segar di pasar internasional mendorong ide berkembangnya teknologi baru berupa kriogenik freezer menggunakan nitrogen cair (LN₂). Cryofreezing merupakan metode terbaik untuk pengawetan makanan. Terdapat banyak sistem kryobiologi yang ada sekarang ini diantaranya cryosurgery, pengawetan embrio dan gamet, pengawetan organ transplantasi, dan pengawetan produk darah (Khadatkar dkk,

2004; Goswami, 2017). Teknik pembekuan pada teknologi kriogenik menggunakan liquid nitrogen (LN2). LN2 memiliki nilai suhu berkisar $-196,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Hirose dkk, 2014), namun pada kajian yang lain mengatakan suhu LN2 $-198\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Toifur dkk, 2018). Dalam tabel periodik nitrogen merupakan suatu unsur kimia yang memiliki lambang N dan nomor atom 7. Nitrogen cair merupakan jenis nitrogen yang berada dalam keadaan cair pada suhu yang rendah dan berbentuk cairan tak berwarna. Saat ini, penggunaan nitrogen cair (LN2) telah banyak digunakan di berbagai bidang diantaranya adalah bidang kesehatan, makanan dan peternakan. Banyaknya pemanfaatan nitrogen cair berbanding lurus dengan kandungan nitrogen yang ada di atmosfer yaitu sebanyak 78% (Yamaguchi dkk, 2017).

Sensor suhu rendah merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu di bawah $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mengukur suhu rendah adalah Resistance Temperature Detector (RTD). RTD merupakan bahan yang memiliki resistivitas bergantung pada suhu (Chowdhury & Bulbul, 2010). Salah satu jenis RTD adalah RTD-Film yang dibuat dengan menggunakan lapisan tipis sebagai sensor suhu (Lebioda & Rymaszewski, 2015). Umumnya bahan sensor RTD terbuat dari logam atau alloy, baik berbentuk koil maupun lapisan tipis atau thin film (Fraden, 2016 ; Chowdury, 2010 ; Blasdel dkk, 2015). Prinsip kerja RTD adalah dengan memanfaatkan perubahan resistansi termal dan hambatan

listrik yang di pengaruhi oleh suhu (Wang dkk, 2017). Sensor RTD dibuat dengan metode electroplating yang bertujuan untuk membentuk sebuah lapisan tipis yang koheren, melekat padat pada permukaan sebuah logam menggunakan elektrolisis kimia berbantuan listrik (Chuang dkk, 2018; Prasad dkk, 2018). Salah satu bahan logam yang paling umum digunakan untuk membuat lapisan tipis pada elemen RTD adalah platina (Pt), karena platina memiliki ketahanan terhadap oksidasi, mempunyai akurasi yang tinggi, memiliki stabilitas yang baik terhadap bahan kimia dan termal (Maher, 2014). Selain itu, platina memiliki koefisien temperatur hambatan yang sangat tinggi atau disebut dengan TCR (Temperature Coeficient Resistance) sehingga platina sering digunakan untuk pengukuran perubahan suhu rendah (S.K. Sen, 2011). Namun platina memiliki kekurangan yaitu platina merupakan bahan logam yang harganya relatif mahal. Agar biaya produksi lebih terjangkau, bahan logam yang digunakan untuk membuat lapisan tipis pada RTD dapat menggunakan bahan alternatif lain, yaitu tembaga dan nikel. Platina (Pt) merupakan logam yang biasa digunakan untuk RTD-film (Maher dkk, 2014; Sen dkk, 2011), selain Platina bahan lain yang lebih ekonomis adalah tembaga (Cu) dan nikel (Ni) (Boylestad, 2010; Toifur, 2017). Electroplating merupakan salah satu cara yang bisa digunakan untuk mengkombinasikan Cu dan Ni. Kedua logam ini telah dibuat menjadi lapisan Cu/Ni sebagai sensor suhu rendah


(Toifur dkk, 2017). Kelemahan dari sensor ini adalah waktu respon terhadap suhu lambat untuk suhu-suhu dibawah -150°C sedangkan untuk suhu diatas -150°C respon suhunya cepat. Hal ini diperkirakan disebabkan oleh morfologi permukaan deposit Ni yang tidak seragam, karena tidak ada pengkondisian terhadap ion-ion Ni pada saat berdifusi ke permukaan Cu. Akibat dari hal ini adalah tingkat keteraturan susunan kristal Ni tidak konsisten mengikuti perubahan setting parameter deposisi.

Pengkondisian ion-ion Ni pada lapisan Ni dapat dilakukan dengan mengatur setting parameter deposisi, misalnya dengan mengatur jumlah konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan. Perubahan jumlah konsentrasi larutan yang digunakan pada proses elektroplating akan berpengaruh pada hasil lapisan deposit yang terbentuk. Penelitian yang telah dilakukan oleh Hasbirijal (2019) menunjukkan bahwa konsentrasi larutan yang digunakan pada proses deposisi menunjukkan adanya perubahan nilai ketebalan pada lapisan Ni yang terbentuk. Hal ini dikarenakan setiap bahan elektrolit memiliki peran yang berbeda-beda. Seperti pada peningkatan jumlah kadar H_3BO_3 yang berfungsi sebagai larutan penyangga, NiSO_4 sebagai garam nikel dan NiCl_2 berperan untuk membantu korosi dan meningkatkan koefisien difusi ion nikel (Birlik and Azem, 2018; Bouhidel and Rumeau, 2000; Budi dkk, 2019). Pada proses pembuatan lapisan Ni setiap bahan memiliki kadar yang

berbeda-beda, syarat pelapisan nikel adalah larutan elektrolit memiliki batas pH 2-4 (Schlesinger and Paunovic, 2011). Penggunaan konsentrasi yang tepat akan membuat lapisan yang terbentuk memiliki kualitas yang baik, sebaliknya jika dalam penggunaannya tidak tepat maka lapisan yang terbentuk akan seperti terbakar.

Parameter lain yang dilakukan untuk memperbaiki morfologi deposit Ni adalah medan magnet luar (Yu, 2014 ; Zielinsky, 2015). Pada prosesnya medan magnet dapat diterapkan dengan cara sejajar dengan arus deposisi, hal ini karena medan magnet sejajar pada proses elektrodposisi berperan untuk membentuk pola penyebaran partikel Ni yang teratur pada substrat (Yamada & Asai, 2005). Dengan demikian medan magnet sejajar juga dapat mempengaruhi efisiensi arus, kandungan partikel pelapis, morfologi permukaan, serta sifat dari Ni pelapis (Zhou dkk, 2013; Fattahi & Bahrololoom, 2015), meningkatkan tranfor masa ion logam signifikan (Liu dkk, 2013).

Penggunaan medan magnet luar secara sejajar dengan medan listrik ($B//E$) pada proses elektroplating menyebabkan larutan elektrolit akan termagnetisasi dan dengan perubahan jumlah konsentrasi larutan elektrolit akan membuat berkurangnya kekentalan larutan elektrolit dan pertumbuhan gas homogeny (Wu dkk, 2014; Kumar dkk, 2015), dan



meningkatkan ketebalan struktur lapisan (Jabbar dkk, 2017).
Dari kedua aspek ini (medan magnet sejajar dan konsentrasi larutan elektrolit) maka akan menghasilkan struktur morfologi lapisan yang padat dan homogeny.

SENSOR SUHU

1. Pengertian Sensor suhu

Sensor merupakan perangkat yang dapat mendeteksi perubahan stimulus/rangsangan (*input*) dan mengubahnya menjadi sinyal (listrik) yang dapat diukur atau direkam (*output*). Fraden (2016) mendefinisikan sensor sebagai perangkat yang menerima dan menanggapi sinyal atau stimulus dengan tujuan untuk menanggapi berbagai macam input besaran fisik dan mengubahnya menjadi besaran listrik yang kompatibel menggunakan rangkaian elektronik. Besaran listrik ini harus dapat disalurkan, diperkuat, dan dimodifikasi oleh rangkaian elektronik.

Suhu merupakan ukuran seberapa panas atau dinginnya sebuah benda. Suhu juga berhubungan dengan energi kinetik molekul bahan. Secara mikroskopis, suhu menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat

berupa getaran. Makin tinggi energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi suhu benda tersebut.

RTD merupakan termometer resistansi, salah satu jenis alat ukur suhu. Termometer resistansi bekerja berdasarkan prinsip perubahan nilai resistansi sebuah logam yang seiring dengan perubahan suhu. RTD atau dikenal dengan detektor temperatur tahanan adalah sebuah alat yang digunakan untuk menentukan nilai atau besaran temperatur dengan menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga atau nikel (Raharjo, 2014).

Ada beberapa cara untuk mengukur suatu suhu, salah satu yang paling akurat adalah menggunakan detektor suhu resistansi yang sering disebut sebagai RTD. Dalam RTD, resistansi dari perangkat sebanding dengan suhu. Bahan resistif paling umum untuk RTD adalah platinum, dengan beberapa RTDs yang dibuat from nikel atau tembaga. RTDs memiliki berbagai suhu. Tergantung pada konstruksi mereka, mereka dapat mengukur suhu di kisaran -270 ke 850 derajat C. RTDs memerlukan stimulus eksternal untuk berfungsi dengan baik, biasanya sumber arus (Cigoy, 2005).

Pengukuran suhu yang memanfaatkan perubahan sifat fisik suatu benda secara kuantitatif tidak dapat dilakukan dengan menggunakan panca indera melainkan

dibutuhkan suatu piranti elektronik untuk mendeteksinya yang dikenal dengan sensor. Sensor suhu merupakan alat yang dapat menanggapi dan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan listrik, gerakan, atau resistansi.

2. Kriteria sensor

Pada pemilihan peralatan sensor dan transduser yang tepat dan sesuai dengan sistem yang akan dideteksi maka perlu diperhatikan kriteria sensor yang dimiliki diantaranya,

a. Jangkau tegangan

Jangkauan. Salah satu kriteria untuk memilih sensor adalah kesanggupan atau jangkauan untuk mengindra sesuai dengan keperluan. Sensor yang memiliki jangkauan yang lebih luas, dapat dikatakan sensor memiliki kinerja yang lebih baik. Sensor suhu yang memiliki jangkauan yang lebih luas, maka sensor tersebut dapat digunakan untuk mengukur besaran suhu dengan rentang yang besar. Nilai output jangkauan pada setiap sensor dapat berbeda-beda, hal ini tergantung pada jenis bahan yang menyusun sensor, untuk jenis sensor RTD umumnya yang dapat diamati adalah nilai hambatannya atau dalam konversi lain adalah tegangannya (Toifur *et al*, 2020).

b. Waktu respon

Waktu Tanggap. Waktu tanggap pada sensor menunjukkan seberapa cepat tanggapannya terhadap perubahan masukan. Misalnya pada sensor suhu, maka seberapa cepat dalam menanggapi perubahan suhu, ketika suhu yang terdeteksi semakin panas atau semakin dingin.

c. Sensitivitas

Sensitivitas. Perbandingan antara sinyal output (respon sensor) terhadap perubahan input (variabel yang diukur). Sensitivitas akan menunjukkan seberapa jauh kepekaan sensor suhu terhadap kuantitas yang diukur. Beberapa sensor suhu dapat memiliki kepekaan yang dinyatakan dengan satuan volt per °C ($V/^{\circ}C$), yang berarti perubahan temperatur satu derajat pada input menghasilkan perubahan tegangan beberapa volt pada output. Jika tanggapannya linier, maka sensitivitasnya juga akan sama untuk jangkauan pengukuran keseluruhan.

3. Nitrogen cair

Nitrogen cair adalah nitrogen yang berada dalam keadaan cair pada suhu yang sangat rendah. Ia berupa cairan jernih tak berwarna dengan massa jenis 0,807 g/mL

pada titik didihnya ($-195,79\text{ }^{\circ}\text{C}$ (77 K ; $-320\text{ }^{\circ}\text{F}$)*) dan tetapan dielektrik 1,43 (Murphy and Morgan, 2012). Nitrogen pertama kali dicairkan di Universitas Jagiellonian pada 15 April 1883 oleh fisikawan Polandia, Zygmunt Wróblewski dan Karol Olszewski (Tilden, 2009). Nitrogen cair diproduksi secara industri melalui distilasi fraksional udara cair. Nitrogen cair is sering disingkat sebagai, LN2 atau "LIN" atau "LN" dan memiliki nomor UN 1977. Nitrogen cair adalah cairan diatomik, yang berarti bahwa karakter diatomik ikatan N kovalen dalam gas N₂ tetap bertahan setelah likuifaksi (Henshaw et al, 1953).

4. Elektroplating

Ada beberapa teknik pelapisan yang memanfaatkan listrik, salah satunya adalah elektroplating. Elektroplating merupakan proses deposisi atau pengendapan suatu logam pelindung yang diinginkan di atas logam lain menggunakan cara elektrolisis (Rasyad, 2011). Pemberian arus searah pada larutan menyebabkan terjadi proses reduksi di katoda dan anoda.

Teknik elektroplating mempunyai dua metode, yaitu elektrodeposisi dan elektrolisis. Prinsip kerja proses elektrolisis adalah bahan yang dideposisikan ditempatkan di anoda sedangkan substrat yang dilapisi ditempatkan di katoda. Bahan larutan yang digunakan berbeda dengan

yang akan dilapisi. Sedangkan pada proses elektrodeposisi menggunakan larutan yang akan dilapiskan pada substrat. Saat arus mengalir, ion dari larutan menuju ke katoda, sedangkan logam pada anoda terlarut menuju ke larutan untuk menyeimbangkan potensial ionik seperti keadaan semula. Anoda akan mengalami reduksi karena menerima elektron, sedangkan pada katoda mengalami oksidasi karena kehilangan elektron.

Saat proses pelapisan nikel, batas pH larutan elektrolit yang direkomendasikan agar proses pelapisan berlangsung baik yaitu berkisar 2-4, 5 (Sugiyarta dkk, 2012). Agar nilai pH pada proses elektroplating dapat dipertahankan maka perlu ditambahkan asam borak (H_3BO_3). Garam nikel yang digunakan sebagai sumber logam pelapis dalam larutan adalah nickel sulfat dan nickel chloride.

Beberapa parameter yang dapat mempengaruhi pelapisan logam di antaranya:

a. Konsentrasi elektrolit

Elektrolit merupakan zat-zat yang dapat menghantarkan arus listrik. Pada dasarnya elektrolit yang dipergunakan dalam bentuk larutan asam/basa dicampur dengan air murni. Larutan elektrolit yaitu zat-zat yang dilarutkan dalam air murni yang dapat

menjembatani partikel partikel bermigrasi dari anoda ke katoda. Konsentrasi elektrolit selama proses *electroplating* berlangsung akan mengalami perubahan, dapat disebabkan oleh pengendapan ion logam dari larutan menuju katoda maupun karena penguapan. Pada umumnya kelebihan kadar logam akan menyebabkan menurunnya kekilapan, kerataan lapisan, dan pemborosan bahan. Apabila kadar logam rendah akan terjadi penurunan konduktivitas sehingga proses menjadi lambat (Rasyad dan Budiarto, 2011).

b. Keasaman (pH)

Keasaman (pH) lebih berpengaruh terhadap sifat fisik deposit dibanding komposisinya. Semakin asam larutan, konsentrasi ion hidrogennya semakin tinggi dan hantaran arus dari anoda dan katoda semakin besar sehingga semakin banyak ion-ion pelapis yang didistribusikan ke katoda. Tujuan dalam penentuan derajat keasaman ini untuk mengecek kemampuan dari larutan dalam upaya menghasilkan lapisan yang baik.

Proses *electroplating* dengan menggunakan logam nikel sebagai pelapis, maka rekomendasi untuk tingkat keasamannya adalah berkisar dari 2 – 4,5 (Sugiyarta dkk, 2012). Agar memperoleh nilai pH

tersebut, maka perlu penambahan asam borak (H_3BO_3). Adapun untuk garam nikel yang digunakan sebagai sumber logam pelapis dilarutkan adalah *nickel sulfat* dan *nickel chlorida* (Afriany dkk, 2012).

c. Rapat arus listrik

Rapat arus listrik adalah besaran yang menyatakan jumlah arus listrik yang mengalir persatuan luas permukaan elektroda. Rapat arus terbagi dalam dua macam yaitu rapat arus anoda dan rapat arus katoda. Pada proses lapis listrik rapat arus yang diperhitungkan adalah rapat arus katoda, yaitu banyaknya arus listrik yang diperlukan untuk mendapatkan atom-atom logam pada tiap satuan luas permukaan benda kerja yang akan dilapis. Untuk proses *electroplating* ini faktor rapat arus memegang peranan sangat penting, karena akan mempengaruhi efisiensi pelapisan, reaksi reduksi oksidasi dan difusi dari hasil pelapisan pada permukaan benda yang dilapisi.

Rapat arus dapat diatur dengan melakukan penambahan bahan elektrolit atau dengan menggunakan amper meter, makin tinggi rapat arus yang digunakan maka kecepatan pelapisan akan meningkat dan ukuran/butir kristal akan mengecil. Namun dengan kondisi rapat arus yang terlalu tinggi

akan mengakibatkan lapisan menjadi kasar dan bisa terbakar/hitam.

d. Tegangan

Proses pelapisan dalam proses *electroplating* memerlukan tegangan yang konstan. Peningkatan tegangan akan mempengaruhi ketebalan lapisan yang terbentuk. Tegangan akan mempengaruhi penguraian ion-ion logam menjadi logam yang akan menempel pada benda kerja yang dilapisi.

e. Temperatur

Temperatur terlalu rendah dan rapat arus yang cukup optimum akan mengakibatkan hasil pelapisan menjadi kasar dan kusam, tetapi jika temperatur tinggi dengan rapat arus yang tinggi maka hasil pelapisan menjadi tidak merata. Kenaikan temperatur akan menyebabkan naiknya konduktifitas dan difusitas larutan elektrolit, berarti tahanan elektrolit akan mengecil sehingga potensial dibutuhkan untuk mereduksi ion-ion logam berkurang. Daya larut akan bertambah besar sehingga konduktivitas menjadi tinggi dan menambah mobilitas ion logam tetapi viskositas jadi berkurang sehingga endapan ion logam pada katoda akan lebih cepat sirkulasinya.

f. Agitasi

Agitasi atau pengadukan larutan elektrolit saat proses elektrodeposisi akan mengurangi terbentuknya gelembung-gelembung gas hidrogen. Gelembung-gelembung gas hidrogen ini akan menempel pada katoda, sehingga menghalangi proses pelepasan ion dari anoda dan pengakapan ion pada katoda. Hal ini mengakibatkan lapisan yang terbentuk menjadi tidak merata dan berkurangnya ion yang dideposisikan.

g. Waktu deposisi

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

5. Konsentrasi elektrolit

Elektrolit didefinisikan sebagai media penghantar untuk sebagian besar proses pelapisan listrik. elektrolit yang paling umum adalah larutan air dengan bahan kimia yang larut dalam air. ketika arus dibiarkan mengalir melalui

larutan melalui anoda dan katoda, pengendapan logam terjadi di katoda. elektrolit bervariasi dalam pH dan dapat berupa larutan asam, netral, dan basa. Elektrolit harus mengandung garam logam yang terlarut untuk disimpan. garam larut dalam air dan membentuk ion. misalnya, tembaga sulfat yang dilarutkan dalam air membentuk Cu.

Umumnya, semakin kompleks ion, semakin efisien, dan terjadi deposit logam yang jauh lebih halus. kebanyakan elektrolit profesional adalah ion sianida, yang kompleks, berbeda dari ion tembaga sulfat sederhana. alasan utama mengapa elektrolit sianida yang umum digunakan adalah bahwa dengan ion kompleks, kandungan aktual logam dalam ion relatif rendah dibandingkan dengan ion sederhana, dan ini menghambat pembentukan endapan perendaman ketika katoda ditempatkan di dalam elektrolit, yang dapat menyebabkan masalah dengan adhesi (Poyner, 1998).

Pelapisan nikel mirip dengan proses-proses elektrodeposisi lain yang menggunakan anoda logam terlarut; yaitu, arus searah dibuat mengalir antara dua elektroda yang direndam dalam larutan garam nikel yang konduktif dan berair. Aliran arus searah menyebabkan salah satu elektroda (anoda) larut dan elektroda lainnya (katoda) menjadi tertutup dengan nikel. Larutan nikel

dalam hadir dalam bentuk divalen, ion bermuatan positif (Ni^{2+}). Saat mengalir, ion-ion positif bereaksi dengan dua elektron ($2e^-$) dan dikonversi menjadi nikel logam (Ni^0) pada permukaan katoda. Kebalikannya terjadi pada anoda di mana metallic nickel dilarutkan untuk membentuk divalen, ion bermuatan positif yang memasukkan larutan. Dengan demikian ion-ion nikel yang dikeluarkan di katoda diisi kembali oleh ion-ion yang terbentuk di anoda (Schlesinger and Paunovic, 2011).

6. Medan magnet sejajar

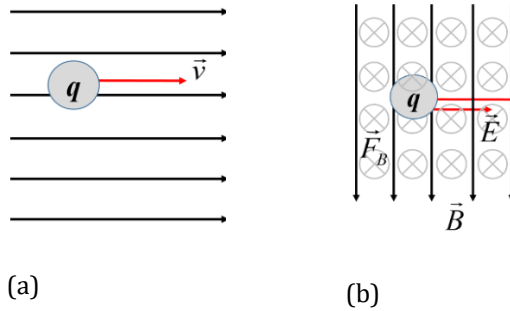
Pengaruh medan magnet pada proses electroplating logam telah banyak diselidiki sejak dekade terakhir. Adanya medan magnet akan mempengaruhi proses elektrokimia melalui magnetohydrodynamics (MHD), ilmu yang mempelajari tentang interaksi antara aliran fluida (bersifat elektrolit) yang sifatnya adalah elektrolit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

Apabila dalam suatu medium tertentu (larutan elektrolit) terjadi arus listrik (ada arus 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. Apabila pada medium tersebut dikenakan medan magnet luar maka pada sistem tersebut bekerja gaya yang dapat dinyatakan sebagai.

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

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 1, yang dituliskan pada persamaan (1) suku kedua, biasa disebut sebagai gaya Lorentz. Pada Gambar 1(a) kecepatan searah dengan medan magnet, sehingga mengakibatkan $\vec{F}_B = 0$. Hal ini berbeda pada Gambar 1(b), yaitu kecepatan muatan tegak lurus dengan \vec{B} maka $\vec{F}_B \neq 0$, sehingga muatan bergerak masuk bidang.



Gambar 1 (a) Kecepatan q searah B dan (b) kecepatan q tegak lurus dengan B (dokumen pribadi)

Berdasarkan Gambar 1 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 (1) bagian suku kedua dapat dituliskan menjadi persamaan (2) 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) dapat dituliskan menjadi persamaan (3) (Grant dkk, 2001).

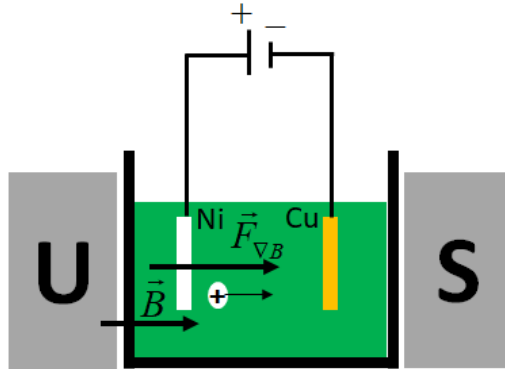
$$\vec{F}_B = (n_+ q_+ \vec{v}_+ + n_- q_- \vec{v}_-) \times \vec{B} \quad (2)$$

$$\vec{F}_L = \vec{j} \times \vec{B} \quad (3)$$

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).

$$\vec{F}_{\nabla B} = \frac{\chi V \vec{B} \cdot \nabla \vec{B}}{\mu_0} \quad (4)$$

dimana μ_0 yaitu $4\pi \times 10^{-7}$ V.s/(A.m) merupakan permeabilitas vakum, χ merupakan suseptibilitas magnetik partikel bahannya, B adalah medan magnet (T), V adalah volume partikel yang di terdeposisi (m^3) dan $\nabla \vec{B}$ adalah gradien medan magnetnya (Tm^{-1}).



Gambar 2. *Electroplating* dengan medan magnet sejajar medan listrik

Berdasarkan Gambar 2, 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 suseptibilitas magnetik atau gradien medan magnetnya. Partikel-partikel magnetik yang tersuspensi dalam larutan elektrolit akan mengalami \vec{F}_{VB}

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.

EKSPERIMEN

1. Pembuatan lapisan Cu/Ni

a. Alat Penelitian

- 1) Gelas ukur sebagai penampung larutan elektrolit.
- 2) Rak sebagai tempat untuk menggantung benda kerja dan penghantar arus listrik pada benda kerja.
- 3) DC Power sebagai sumber tegangan DC.
- 4) Kompur listrik sebagai pemanas larutan elektrolit.
- 5) Termokopel untuk mengukur suhu larutan elektrolit.
- 6) termometer untuk untuk mengukur suhu yang digunakan pada proses plating.
- 7) Neraca Ohaus P214 untuk menimbang lapisan tembaga sebelum dan sesudah proses plating.
- 8) Magnetic stirrer untuk mengaduk larutan.
- 9) Pinset untuk memegang sampel.
- 10) Stopwatch untuk mengukur waktu pelapisan.

11) Hair dryer untuk mengeringkan sampel.

12) Kabel penghubung untuk merangkai alat.

b. Bahan Penelitian

1) Pelat tembaga sebagai substrat untuk bagian katoda.

2) Anoda nikel sebagai pelapis tembaga.

3) Asam borak (H_3BO_3)

4) Nickel Sulfate ($NiSO_4$)

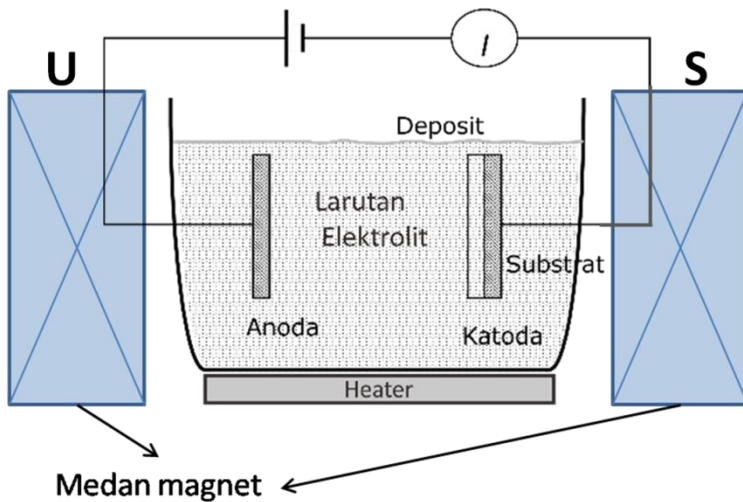
5) Nickel chloride ($NiCl_2$)

6) Aquadest sebagai pengencer larutan elektrolit.

7) Tisu untuk membungkus sampel

Skema kerja proses *electroplating* ditunjukkan oleh

Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian alat proses *electroplating*

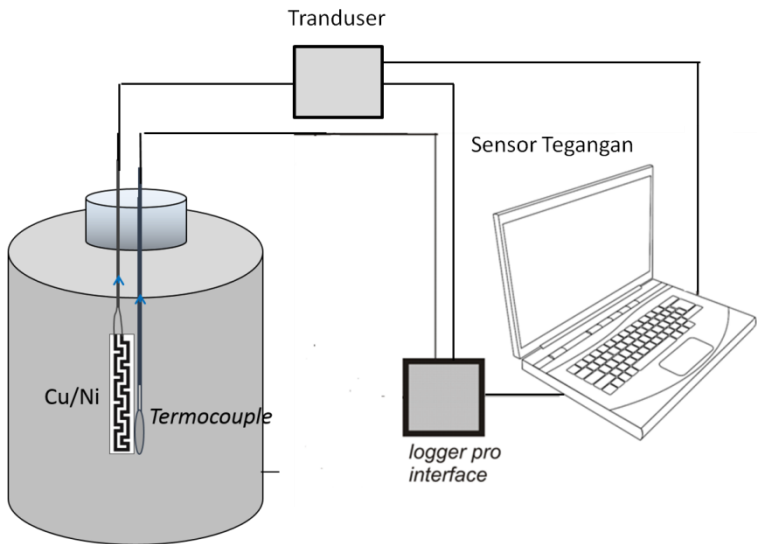
- a. Larutan elektrolit dengan komposisi yang tercantum pada Tabel 1 disiapkan.
- b. Alat dirangkai seperti pada Gambar 3.
- c. Larutan dipanaskan sampai pada suhu 60 °C.
- d. Substrat Cu ditempatkan pada katoda dan nikel pada anoda.
- e. Proses plating dilakukan dengan waktu 120 detik.
- f. Sampel dikeringkan menggunakan tisu dan hair dryer
- g. Dilakukan penimbangan untuk mengukur ketebalan lapisan
- h. Sampel dibungkus dengan tisu.

Tabel 1. Kosentrasi larutan tiap pelapisan

| Kode | H ₃ BO ₃ (g) | M (mol/L) | NiSO ₄ (g) | M (mol/L) | NiCl ₂ (g) | M (mol/L) |
|------|---------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| C0 | 40 | 0,645 | 260 | 1,688 | 60 | 0,469 |
| C1 | 30 | 0,484 | 225 | 1,461 | 40 | 0,313 |
| C2 | 33 | 0,532 | 255 | 1,656 | 45 | 0,352 |
| C3 | 36 | 0,581 | 285 | 1,851 | 50 | 0,391 |
| C4 | 39 | 0,629 | 315 | 2,045 | 55 | 0,430 |
| C5 | 42 | 0,677 | 345 | 2,240 | 60 | 0,469 |

2. Pengujian kinerja sensor

- a. merangkai alat sesuai pada Gambar 4.
- b. Menghubungkan perangkat laptop dengan menggunakan kabel USB pada port tegangan input sebagai sumber tegangan pada rangkaian, sehingga diperoleh besar tegangan input sebesar 5 volt.
- c. Menyiapkan software *Logger Pro* sebagai alat pencatat data.
- d. Memasukkan sampel RTD dengan variasi N1 dan termokopel secara bersamaan ke dalam wadah nitrogen cair.

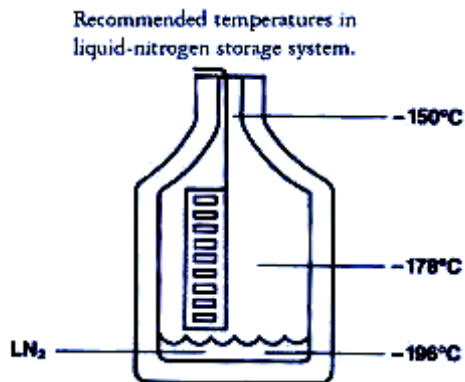


Gambar 4. Rangkaian alat uji kinerja sensor

- e. Memulai pencatatan data dengan mengklik icon start pada software Logger Pro.
- f. Mengulang percobaan (d) sampai dengan (e) dengan sampel hasil deposisi variasi konsentrasi larutan elektrolit yang lain (N2 sampai N5).

3. Analisis data

Kualitas sensor suhu rendah yang dihasilkan dapat diukur melalui pengukuran perubahan suhu LN2 dengan menggunakan sensor. Termos penyimpanan LN2 dalam termos menunjukkan nilai suhu yang berbeda-beda hal ini bergantung pada jarak dengan nitrogen cair, seperti pada gambar 5.



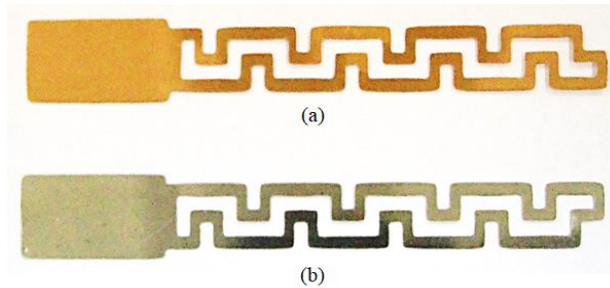
Gambar 5. Nilai suhu pada termos penyimpanan nitrogen cair (<http://www.hawaii.edu>)

Oleh sebab itu, pada proses pengambilan data dilakukan dengan cara mempertimbangkan kecepatan proses pengambilan data. Metode analisis Data yang diperoleh dari eksperimen kinerja sensor adalah perubahan nilai tegangan output (V) terhadap perubahan suhu (T). dimana nilai data yang diperoleh dapat di analisis untuk mengetahui nilai jangkauan tegangan, waktu respon dan sensitivitas.

Sampel lapisan Cu/Ni yang telah terbentuk dari hasil deposisi menggunakan metode elektroplating berbantuan medan magnet luar telah diperoleh yang ditunjukkan pada gambar 6. Nilai ketebalan untuk setiap deposisi pada variasi konsentrasi larutan elektrolit ditampilkan

Tabel 2. Tebal lapisan untuk setiap variasi kosentrasi larutan

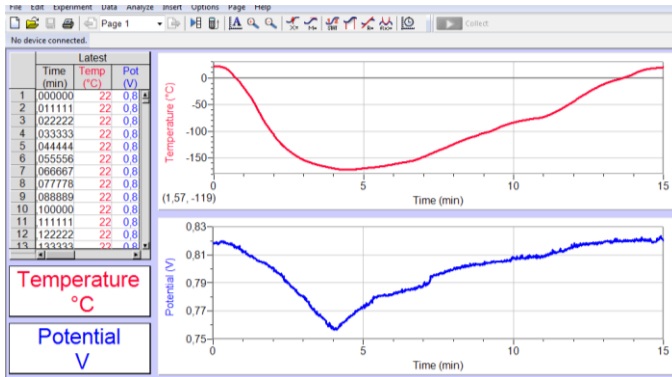
| Konsentrasi | Tebal lapisan μm |
|-------------|-----------------------------|
| C0 | 1,4161 |
| C1 | 1,5784 |
| C2 | 1,5784 |
| C3 | 1,1506 |
| C4 | 1,6669 |
| C5 | 1,5784 |



Gambar 6. (a) plat tembaga sebelum proses *electroplating* dan (b) lapisan Cu/Ni

Berdasarkan gambar 6 telah diketahui perbedaan dari dua gambar 6a dan 6b, dimana gambar 6a adalah pelat Cu yang masih berwarna kuning keemasan, dan setelah dilakukan deposisi berubah menjadi berwarna perak putih perak seperti pada gambar 6b.

Pada gambar 7 ditampilkan Contoh output data logger Pro untuk waktu, tegangan, dan suhu pada sensor lapisan Cu/Ni variasi konsentrasi larutan ke -1 (C1). Berdasarkan hasil penelitian telah diketahui bahwa setiap sampel lapisan Cu/Ni telah berperilaku sebagai sensor. Dimana ketika termokopel mendeteksi perubahan suhu yang lebih rendah sensor lapisan Cu/Ni mendeteksi perubahan yang sama. Hal tersebut juga berlaku ketika mengambil data untuk suhu rendah ke suhu naik.



Gambar 7. Contoh output data logger Pro untuk waktu, tegangan, dan suhu pada sensor lapisan Cu/Ni variasi konsentrasi larutan ke -1 (C1)

Selanjutnya pada pengujian kinerja lapisan Cu/Ni sebagai sensor suhu rendah diperoleh hasil bahwa dari setiap sampel telah menunjukkan karakternya sebagai sensor suhu rendah dan diperoleh hasil analisis kerjanya sebagai berikut:

a. Pengukuran jangkauan tegangan

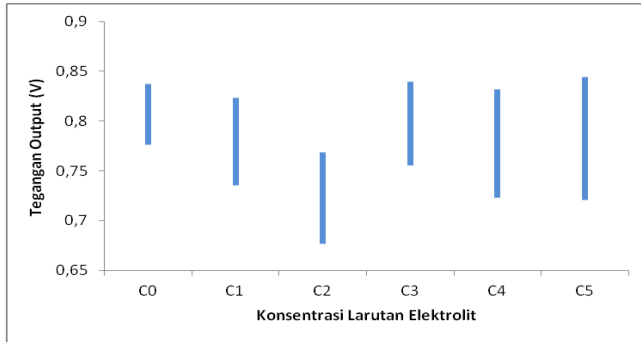
Jangkauan tegangan merupakan ukuran nilai tegangan output ketika mengukur perubahan suhu pada medium nitrogen cair. Nilai jangkauan tegangan dari sensor lapisan Cu/Ni dapat diketahui dari nilai tertinggi dan terendah, dari kedua nilai tersebut dapat diketahui berapa selisihnya dan diketahui nilai jangkauan tegangannya seperti pada gambar 6. Suhu

diukur memiliki kisaran $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ke $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Suhu diukur dinyatakan dalam jumlah tegangan. Bahkan besarnya tegangan *output* dari setiap sensor di kisaran suhu antara $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ bervariasi. Rentang pengukuran masing-masing sensor diperoleh dari selisih antara tertinggi dan tegangan terendah. pengukuran rentang adalah parameter yang berkontribusi terhadap resolusi sensor. besar ukuran tegangan berkisar semakin besar resolusi.

Jangkauan tegangan output terbesar dimiliki oleh sampel dengan deposisi pada konsentrasi 5 atau C5 yaitu sebesar 0,1239 Volt dan jangkauan tegangan terendah dimiliki oleh sampel dengan deposisi pada konsentrasi 0 atau C0 sebesar 0,0613 Volt. Tinggi rendahnya rentang tegangan output menunjukkan bahwa semakin besar rentang tegangan maka sensor lapisan Cu/Ni dapat merespon rentang suhu yang lebih luas sehingga memiliki tingkat akurat dalam mengukur suhu dengan rentang yang lebih kecil.

Hasil output dari pengambilan data sensor untuk lapisan Cu/Ni berupa nilai tegangan, dimana nilai tegangan pada proses pengambilan data berubah seiring dengan perubahan suhu nitrogen cair. Untuk

nilai jangkau tegangan sensor lapisan Cu/Ni ditampilkan pada gambar 8.



Gambar 8. Nilai jangkau tegangan untuk setiap variasi konsentrasi larutan

b. Sensitivitas

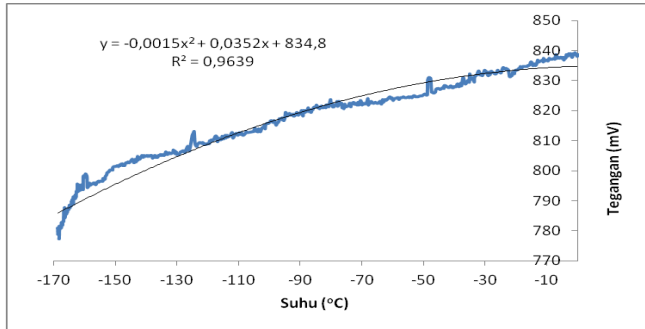
Sensitivitas adalah salah satu parameter untuk mengetahui kualitas sensor. Hal tersebut dikarenakan esensi dari penelitian tentang sensor yaitu untuk menemukan bahan-bahan yang sensitif terhadap perubahan dalam hal ini adalah perubahan suhu. Data tegangan, suhu dan waktu yang telah diperoleh, selanjutnya dianalisis untuk mengetahui hubungan antara kurva tegangan terhadap suhu dari sensor yang dihasilkan. Deskripsi tingkat sensitivitas sensor dilakukan dengan mencocokkan data tegangan sensor (V) dengan suhu (T) dalam kisaran suhu -140 °C untuk 0 °C. Variasi tegangan dari sensor

menggambarkan variasi dalam perlawanan sensor karena suhu medium perubahan ketika listrik. Dari kurva $V-T$, paling sensor sensitif memiliki kemiringan terbesar. Selanjutnya, stabilitas sensor ditunjukkan oleh tingkat presisi dari sensor dalam mengukur suhu. Tingkat presisi dapat dilihat dari besarnya penyimpangan data (V_i, T_i) dengan kurva VT . Secara keseluruhan ini dapat diwakili oleh standar deviasi. Maka sensor yang memiliki standar deviasi terkecil menunjukkan bahwa sensor adalah yang paling akurat atau paling stabil.

Hubungan kurva diperoleh dengan cara mengambil data dari rentang -170 C sampai 0 C , seperti yang ditampilkan pada gambar 9 sampai gambar 13. Hasil fitting dilakukan dengan fitting secara polinomial orde dua yang ditampilkan pada tabel 9, sehingga diperoleh nilai koefisien dari a, b, c dan indeks determinasi dari grafik hubungan antara tegangan dan suhu.

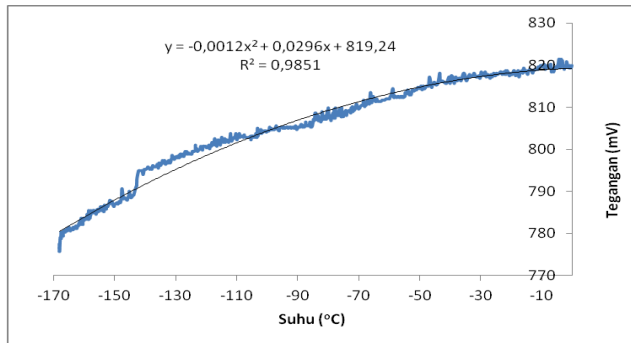
Nilai sensitivitas diperoleh dengan mengambil nilai data dari $0\text{ }^\circ\text{C}$ sampai $-170\text{ }^\circ\text{C}$, untuk nilai sensitivitas masing-masing variasi konsentrasi larutan adalah:

1. C0



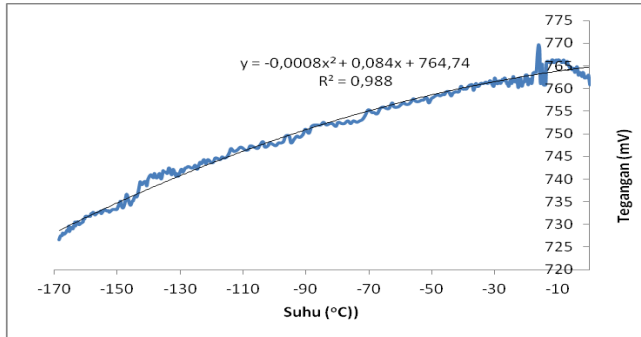
Gambar 9. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-0

2. C1



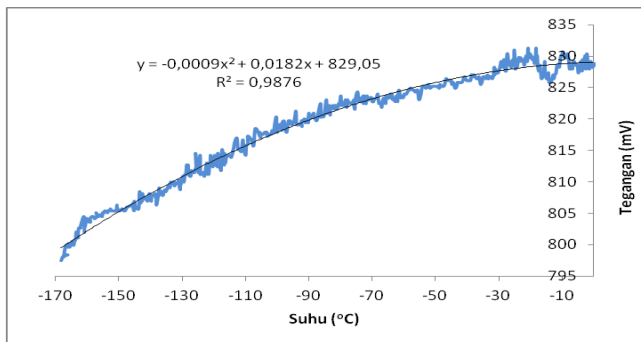
Gambar 10. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-1

3. C2



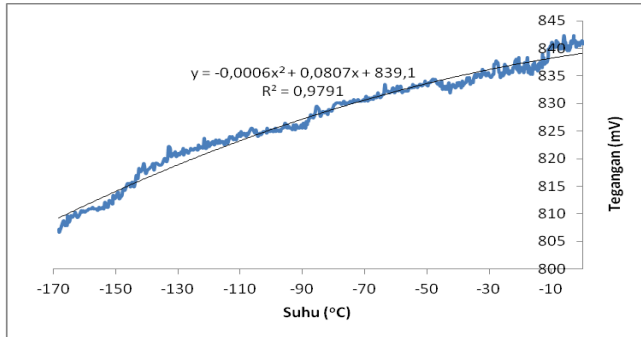
Gambar 11. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-2

4. C3



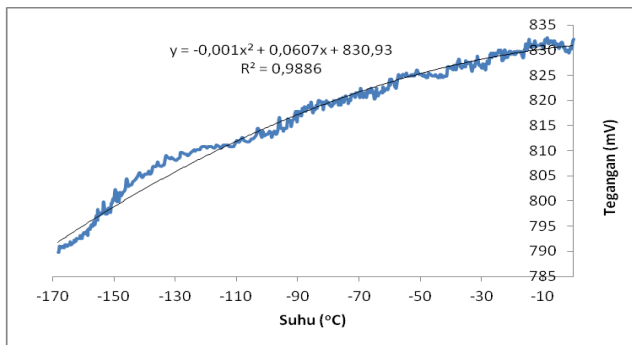
Gambar 12. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-3

5. C4



Gambar 13. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-4

6. C5



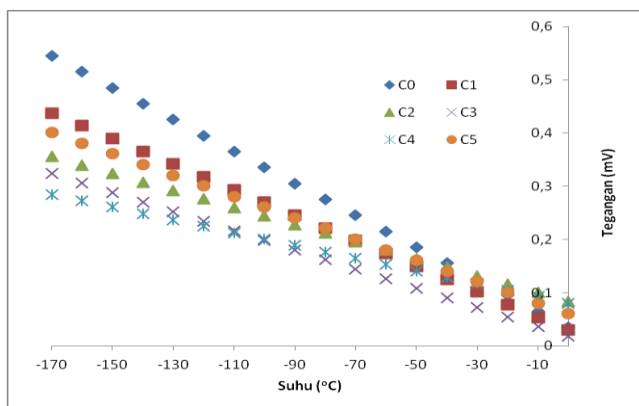
Gambar 14. Grafik hubungan antara tegangan terhadap suhu pada konsentrasi ke-5

Berdasarkan hasil fitting polinomial orde-2 dapat diperoleh informasi yaitu, hubungan antara kurva

tegangan terhadap suhu untuk nilai indeks determinasi secara keseluruhan menunjukkan nilai melebihi 0,95. Berdasarkan hal tersebut maka keduanya antara tegangan dan suhu memiliki hubungan yang kuat atau saling berpengaruh (Rao dkk, 2016; Rao dkk, 2016). Nilai indeks determinasi dari keenam sampel diketahui bahwa pada C5 memiliki nilai yang tertinggi dibandingkan yang lain dengan nilai sebesar 0,989. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan memberikan pengaruh jumlah konsentrasi dengan kadar C5, memberikan hubungan antara tegangan dan suhu yang lebih baik dibandingkan yang lain.

Tabel 3. Persamaan polinomial orde dua antara tegangan *output* sensor dan suhu

| Konsentrasi | Hubungan antara tegangan dan suhu $V = aT^2 + bT + c$ | Indek determinasi, R^2 |
|-------------|--|-----------------------------|
| C0 | $V = -0,0015T^2 + 0,0352T + 834,8$ | 0,964 |
| C1 | $V = -0,0012T^2 + 0,0296T + 819,24$ | 0,985 |
| C2 | $V = -0,0008T^2 + 0,084T + 764,74$ | 0,988 |
| C3 | $V = -0,0009T^2 + 0,0182T + 829,05$ | 0,988 |
| C4 | $V = -0,0006T^2 + 0,0807T + 839,1$ | 0,979 |
| C5 | $V = -0,0010T^2 + 0,0607T + 830,93$ | 0,989 |



Gambar 15. Grafik hubungan antara tegangan output dan suhu.

Untuk menjelaskan sensitivitas sensor, analisis grafik data (V_i , T_i) dilakukan penurunan terhadap T pada tabel 3. Hasil fitting data secara linier ditampilkan pada gambar 15.

Keterbaikan dari sensor dapat dilihat dari linieritas dan sensitivitas (Toifur dkk, 2020). Gambar 15 ditampilkan grafik linieritas antara tegangan dan suhu atau slope kurva V-T. Kemiringan dari grafik linieritas atau slope kurva hanya menunjukkan bahwa sensitivitas sensor dalam menanggapi perubahan suhu masih berupa fungsi suhu sehingga untuk nilai kepekaan pada suhu tinggi dan suhu rendah berbeda. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh maka nilai kepekaan tertinggi diperoleh oleh sampel dengan nilai

slope yang tinggi, hal ini dikarenakan nilai slope yang tinggi menunjukkan suatu sensor dalam menanggapi perubahan suhu lebih sensitif (Rao dkk, 2016; Rao dkk, 2016). Berdasarkan hal tersebut maka dapat diketahui bahwa slope tertinggi diperoleh oleh C2 dengan nilai 0.084 mV/C dan terendah diperoleh oleh sensor lapisan Cu/Ni untuk C3 dengan nilai 0.018 V/C. Berdasarkan hal tersebut maka slope kurva antara V dan T menunjukkan bahwa sensitivitasnya masih bervariasi terhadap suhu LN2.

c. Waktu respon sensor

Waktu respon merupakan waktu respon yang dimiliki sensor lapisan Cu/Ni untuk merespon perubahan suhu dari nitrogen cair. Untuk mengetahui waktu respon dari sensor yang dihasilkan maka dilakukan analisis menjadi dua bagian, yaitu untuk rentang suhu 20 °C– -177 °C dan rentang -177 °C – 20 °C yang ditampilkan pada gambar 17 dan gambar 18. Berdasarkan gambar 14 dan gambar 15 dapat diketahui bahwa setiap data telah menunjukkan perubahan suhu untuk waktu respon naik dan turun dari pengukuran nitrogen cair.

Hasil fitting data dengan persamaan eksponensial diperoleh nilai waktu respon yang ditampilkan pada

tabel 4 dan tabel 5, dengan menggunakan persamaan 5. Untuk menentukan waktu respon dari sensor, pengukuran dibagi menjadi 2 bagian, yang pertama adalah ketika suhu menurun dari 0 °C ke -200 °C dan yang kedua adalah saat suhu naik dari -200 °C ke 20 °C. Hal ini penting dengan mempertimbangkan bahwa waktu respon dari sensor suhu menurun berbeda dengan waktu respon untuk meningkatkan satu sehingga perlu penjelasan secara terpisah. Batas atas suhu terbatas pada -20 °C karena pertimbangan bahwa di masa depan penerapan sensor akan didedikasikan lebih khusus untuk sensor kriogenik. Sebagai contoh dalam peternakan, suhu atas untuk storing semen sapi adalah -100 °C. Sehingga suhu di atas -40 °C kurang relevan. Kemudian, waktu respon dari sensor diperoleh dengan menggambar grafik tegangan (V_i) terhadap waktu (t_i). Persamaan yang paling cocok untuk mengungkapkan hubungan antara data V_i dan t_i adalah eksponensial, yaitu:

$$V = Ae^{-Ct} + B \quad (5)$$

di mana V tegangan, A , C dan B adalah konstanta. Nilai C adalah waktu yang konstan yang merupakan ukuran waktu respon dari sensor suhu. Meningkatnya

C akan membuat sensor lebih cepat dalam menanggapi suhu menengah.

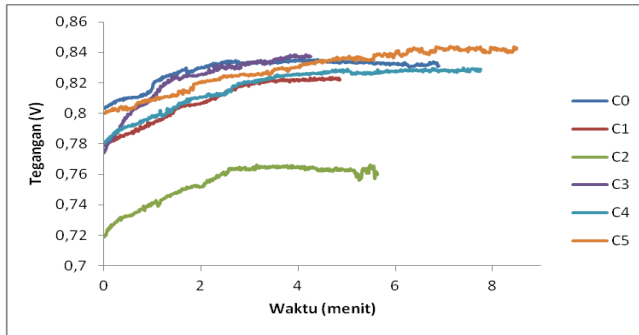
Berdasarkan hasil tersebut juga diketahui bahwa hampir secara menyeluruh grafik hubungan antara tegangan dan waktu memiliki hubungan yang kuat yaitu $> 0,95$. Secara keseluruhan indeks determinasi memiliki nilai 0.99 kecuali pada konsentrasi ke 0 atau C0 yaitu sebesar 0.96, sehingga dapat diperoleh kesimpulan bahwa hubungan antara tegangan *output* dan waktu pada proses pengambilan data memiliki hubungan yang kuat. pada waktu respon sensor terhadap perubahan suhu untuk suhu naik antara $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada bagian koefisien C diketahui bahwa sampel dengan perlakuan konsentrasi ke-0 atau C0 merupakan nilai waktu repon yang tertinggi dengan nilai sebesar $0,9454 \pm 0,0200$. Sedangkan untuk suhu turun pada rentang $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa sampel dengan perlakuan konsentrasi ke-1 atau C1 memiliki nilai yang tertinggi dengan nilai sebesar $0,0481 \pm 0,0067$.

Perbedaan hasil pada setiap konsentrasi dapat dimungkinkan karena kadar larutan elektrolit yang berbeda. Pada dasarnya setiap bahan pada larutan

elektrolit memiliki manfaat yang berbeda-beda, dimana NiSO_4 berperan sebagai sumber utama ion nikel, NiCl_2 berperan untuk membantu korosi dan meningkatkan koefisien difusi ion nikel, sedangkan H_3BO_3 sebagai zat penyangga (Birlik and Azem, 2018; Bouhidel and Rumeau, 2000; Budi dkk, 2019). Pada penelitian ini jumlah kadar dari setiap bahan dibuat meningkat dari C0 sampai C5 (sesuai tabel 1), akan tetapi H_2O dibuat tetap, sehingga yang paling membedakan dari ketiganya adalah kekentalan dari campuran bahan-bahan tersebut. Tingginya Jumlah kadar atau pekatnya campuran bahan tersebut menunjukkan bahwa jumlah ketersediaan ion nikel yang besar (Schlesinger and Paunovic, 2011), dengan memberikan pengaruh medan magnet luar sejajar terhadap arus deposisi dengan besar nilai medan magnet yang tetap memberikan pengaruh pada laju ion Ni ke katoda yang berbeda-beda, hal ini karena pengaruh dominan terletak pada jumlah kadar ion.

Waktu respon sensor untuk lapisan Cu/Ni diperoleh dari hubungan kurva antara tegangan *output* dan waktu. Analisis sensor dibagi menjadi dua, yaitu waktu respon sensor untuk suhu turun yaitu anantara rentang $20\text{ }^\circ\text{C}$ sampai $-170\text{ }^\circ\text{C}$ dan suhu naik dari rentang $-170\text{ }^\circ\text{C}$ sampai $20\text{ }^\circ\text{C}$.

1. Waktu respon untuk suhu naik



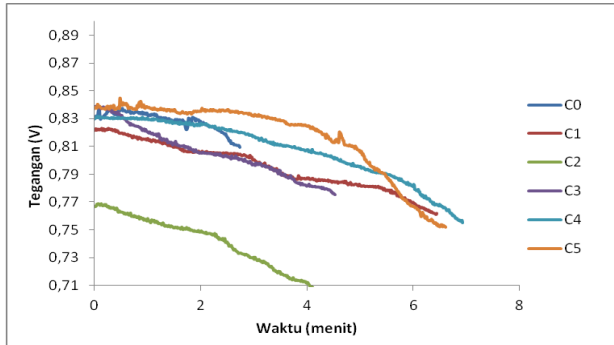
Gambar 16. Waktu respon sensor lapisan Cu/Ni untuk suhu naik

Analisis data untuk waktu respon sensor diperoleh dengan menggunakan persamaan (5). Nilai koefisien-koefisien untuk A, B, C ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai koefisien untuk waktu respon naik

| Konsentrasi | Koefisien | | | R^2 | RMSE |
|-------------|------------------|-----------------|------------------|--------|--------|
| | A | B | C | | |
| C0 | -0,0354 ± 0,0004 | 0,8343 ± 0,0001 | 0,9454 ± 0,0200 | 0,9718 | 0,0019 |
| C1 | -0,0561 ± 0,0005 | 0,8327 ± 0,0006 | 0,4132 ± 0,0103 | 0,9925 | 0,0017 |
| C2 | -0,0472 ± 0,0005 | 0,7659 ± 0,0003 | 0,7190 ± 0,0176 | 0,9785 | 0,0025 |
| C3 | -0,0619 ± 0,0003 | 0,8376 ± 0,0002 | 0,8768 ± 0,0107 | 0,9962 | 0,0014 |
| C4 | -0,0519 ± 0,0002 | 0,8311 ± 0,0002 | 0,4875 ± 0,0060 | 0,9928 | 0,0016 |
| C5 | -0,0511 ± 0,0003 | 0,8490 ± 0,0003 | 0,2616 ± 0,00405 | 0,9940 | 0,0014 |

2. Waktu respon untuk suhu turun



Gambar 17. Waktu respon sensor lapisan Cu/Ni untuk suhu turun

Analisis data untuk waktu respon sensor diperoleh dengan menggunakan persamaan 4.1. Nilai koefisien-koefisien untuk A, B, C ditampilkan pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai koefisien untuk waktu respon turun

| Konsentrasi | Koefisien | | | R^2 | RMSE |
|-------------|-----------------------|---------------------|----------------------|--------|--------|
| | A | B | C | | |
| C0 | $-0,0004 \pm 0,00006$ | $0,8344 \pm 0,0003$ | $-1,553 \pm 0,0707$ | 0,9631 | 0,0018 |
| C1 | $-0,1580 \pm 0,0257$ | $0,9808 \pm 0,0259$ | $-0,0481 \pm 0,0067$ | 0,9911 | 0,0022 |
| C2 | $-0,1534 \pm 0,0749$ | $0,1533 \pm 0,0749$ | $-0,9695 \pm 0,0863$ | 0,9850 | 0,0033 |
| C3 | $0,1269 \pm 0,0064$ | $0,7120 \pm 0,0067$ | $-0,1414 \pm 0,0101$ | 0,9932 | 0,0020 |
| C4 | $-0,0099 \pm 0,0002$ | $0,8428 \pm 0,0004$ | $-0,3106 \pm 0,0033$ | 0,9978 | 0,0014 |
| C5 | $-0,0017 \pm 0,00008$ | $0,8416 \pm 0,0003$ | $-0,6214 \pm 0,0075$ | 0,9937 | 0,0029 |

PENUTUP

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

1. Jangkau tegangan output terbesar dimiliki oleh sampel dengan deposisi pada konsentrasi 5 atau C5 yaitu sebesar 0,1239 Volt dan jangkau tegangan terendah dimiliki oleh sampel dengan deposisi pada konsentrasi 0 atau C0 sebesar 0,0613 Volt. Tinggi rendahnya rentang tegangan output menunjukkan bahwa semakin besar rentang tegangan maka sensor lapisan Cu/Ni dapat merespon rentang suhu yang lebih luas sehingga memiliki tingkat akurat dalam mengukur suhu dengan rentang yang lebih kecil.
2. Nilai sensitivitas diperoleh dengan mengambil nilai data dari 0 °C sampai -170 °C. Berdasarkan hal tersebut maka dapat diketahui bahwa slope tertinggi diperoleh oleh C2 dengan nilai 0.084 mV/C dan terendah diperoleh oleh sensor lapisan Cu/Ni untuk C3 dengan nilai 0.018 V/C. Berdasarkan hal tersebut maka slope kurva antara V dan T menunjukkan bahwa sensitivitasnya masih bervariasi terhadap suhu LN2.

3. Waktu respon merupakan waktu respon yang dimiliki sensor lapisan Cu/Ni untuk merespon perubahan suhu dari nitrogen cair. hubungan antara tegangan *output* dan waktu pada proses pengambilan data memiliki hubungan yang kuat. pada waktu respon sensor terhadap perubahan suhu untuk suhu naik antara $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada bagian koefisien C diketahui bahwa sampel dengan perlakuan konsentrasi ke-0 atau C0 merupakan nilai waktu repon yang tertinggi dengan nilai sebesar $0,9454 \pm 0,0200$. Sedangkan untuk suhu turun pada rentang $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa sampel dengan perlakuan konsentrasi ke-1 atau C1 memiliki nilai yang tertinggi dengan nilai sebesar $-0,0481 \pm 0,0067$. Perbedaan hasil pada setiap konsentrasi dapat dimungkinkan karena kadar larutan elektrolit yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- Afriany, R., Kusmono., Soekrisno, R. 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Waktu Pelapisan Nikel pada Aluminium Terhadap Kekerasan. *SNAST*, Yogyakarta.
- 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)₂: An experimental and theoretical study. *Thin Solid Films*, 670, pp. 24-33.
- Aminah. 2011. Penggunaan Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid (EDTA) dalam Lapisan Elektroplating Campuran Zn-Ni-Fe Pada Substrat Cu. *Skripsi: UNS Surakarta*.
- Boylestad, 2003. *Introductory Circuit Analysis*, Tenth Edition. Parential Hall Pearson Education International.
- Birlik, I., Azem, N. F. A., 2018. Influence of Bath Composition on The Structure and Properties of Nickel Coatings Produced by Electrodeposition Technique. *Journal Of Science And Engineering*, 20(59), 689-697
- Bouhidel, K. E., Rumeau, M., 2000. Comparison of The Electrolytic Properties on NiSO₄ And NiCl₂:

Influence Of The Salt Nature In Electrodialysis.
Desalination, 132, 195-197.

Budi, E., Theresia, R., Sugihartono, I., Indrasari, W., Ermadiana, Y., Syafindra, D., 2019.. Electrodeposition of Nickel-Nitride Composite Coating: Effects of Boric Acid on Structure and Mechanical Properties. AIP Conference Proceedings, 2169(1), 060005-1 - 060005-7

Blasdel, N. J., Wujcik, E. K., Carletta, J. E., Lee, K. S., & Monty, C. N. 2015. Fabric Nanocomposite Resistance Temperature Detector. *IEEE Sensors Journal*, 15(1), pp. 300–306.

Chang, R. 2003. *Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1*. Alih Bahasa Departemen Kimia ITB. Erlangga: Jakarta.

Chowdhury, T., and Bulbul, H. 2010. Design of a Temperature Sensitive Voltage Regulator for AC Load Using RTD. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 12 (2) pp. 7896-7903.

Chuang, H., Yang, H., Wu, G., Sánchez, J., and Shyu, J. 2018. Ultrasonics - Sonochemistry The Effects of Ultrasonic Agitation on Supercritical CO₂ Copp.er

- Electroplating. *Ultrasonics – Sonochemistry*. 40. pp. 147–156.
- Davidson, P. A. 2001. *An Introduction to Magnetohydrodynamics*. New York: Cambridge University Press.
- Eckertová, L. 1986. *Physics of Thin Film*, 2nd. London: Plenum Press.
- Fattahi, A., and 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.
- Fraden, Jacob. 2016. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer.
- Goswami, T. K. 2017. iMedPub. *Journals Recent Trends of Application of Kriogeniks in Food Processing and Preservation*, pp. 1–4.
- Henshaw, D. G., Hurst, D. G., Pope, N. K. 1953. Structure of Liquid Nitrogen, Oxygen, and Argon by Neutron Diffraction". *Physical Review*. 92: 1229.
- Hirose, E., Sakakibara, Y., Igarashi, Y., and Ishii, T. 2014. Sapp.hire Screws and Strength Test on Them at Liquid Nitrogen Temperature. *Review of Scientific Instruments*, 85(10), pp. 1–6.
- Jabbar, A., Yasin, G., Khan, W. Q., Anwar, M. Y., Korai, R. M., Nizam, M. N., and Muhyodin, G. 2017. Electrochemical Deposition of Nickel Graphene

- Composite Coatings Effect of Deposition Temperature on Its Surface Morphology and Corrosion Resistance. *RSC Advances*, 7(49), pp. 31100–31109.
- Khadatkar, R. M., Kumar, S., and Pattanayak, S. C. 2004. Cryofreezing and cryofreezer. *Kriogeniks*. 44(9), pp. 661–678.
- Kumar, R. A. K. E. S. H., and Sahoo, N. I. R. A. N. J. A. N. 2012. Design, Fabrication and Sensitivity Analysis of the Resistance Temperature Detector Thin Film Sensors. *Int. J. Mech. Ind. Eng.*, 2(4), pp. 20-25.
- Lebioda, M. and Rymaszewski, J. 2015. Dynamic Properties of Cryonics Temperature Sensors. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2 (1), pp. 225.
- Leventis, N. And Gao, X. 2001. Magneto hydrodynamics Electrochemistry in The Field of Nd-Fe-B Magnets. Theory, Experiment, and Application in Self-Powered Flow Delivery Systems. *Analytical Chemistry*, 73 (16), pp. 3981-3992.
- Long, O., Zhong, Y.-b., Wang, H., Zheng, T.-X., Zhou, J.-F., and Ren, Z.-M. 2014. Effects of Magnetic Fields on Fe-Si Composite Electrodeposition. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 21 (12), pp. 1175-1186.
- Liu, C., Tian, A., Yang, H., Xu, Q. and Xue, X. 2013. Electrodeposited Hydroxyapatite Coatings on The TiO₂ Nanotube in Static Magnetic Field. *Applied Surface Science*. 287, pp. 218–222.
- Maher, A., Velusamy, V., Riordan, D., and Walsh, J. (2014). Modelling of Temperature Coefficient of Resistance of A Thin Film RTD Towards Exhaust Gas Measurement Applications. *Proceedings of the 8th*

- International Conference on Sensing Technology*, pp. 19–22.
- Murphy, E. J., Morgan, S. O. 2012. *The Dielectric Properties of Insulating Materials (PDF)*. Diakses tanggal October 2, 2012.
- Poyner, J. 1998. *Electroplating*. United Kingdom: Argus Book In Workshop Practice Serie.
- Prasad, Dora, S., Ebenezer, Nitla, S., Shoba, C., and Rao, Pujari, S. 2018. The dissipated energy in a material in the form of heat under repeated loads is referred to d M us.
- Raharjo, P. W. dan Toifur, M. 2014. Kawat Solenoida sebagai Sensor Suhu Berbasis Resistor Temperature Detector Coils (RTD-C). *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng dan DIY Yogyakarta*. 26 April 2014 ISSN : 0853-0823. pp. 166-169.
- Rao, S., Pangallo, G., Della Corte, F.G., 2016. Integrated Amorphous Silicon p-i-n Temperature Sensor for CMOS Photonics. *Sensors*, 16(67), 1-8
- Rao, S., Pangallo, G., Della Corte, F.G., 2016. An Experimental Study on The Performance of Two Temperature Sensors Based on 4H-SiC Diodes. *Procedia Engineering*, 168, 729-732
- Rasyad, A., and Budiarto, B. 2011. Analisis Pengaruh Temperatur, Waktu, dan Kuat Arus Proses Elektroplating terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah. *Rekayasa Mesin*, 9(3), pp. 173-182.

- Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045. 2017. Kementrian Riset dan Teknologi.
- Schlesinger, M., and Paunovic, M. 2011. *Modern electroplating*. USA: John Wiley & Sons.
- Sen, S. K., Pan, T. K., and Ghosal, P. 2011. An Improved Lead Wire Compensation Technique for Conventional Four Wire Resistance Temperature Detectors (RTDs). *Measurement*, 44 (2011), pp. 842-846.
- Sugiyarta, A.P, Bayuseno, dan Nugroho, S. 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan Dan Kuat Arus Terhadap Ketebalan Pada Proses Pelapisan Nikel Untuk Baja Karbon Rendah. *ROTASI*, 14 (4), pp. 23–27.
- Toifur, M., Haryadi, B., and Riswanto, R. 2014. Cow Cement Sensor Based On Coil-Resistance Temperature Detector (C-RTD) Coupled With Four Wire Configuration Bridge (4-WCB). In *2014 International Conference on Physics and its Applications (ICOPIA-14)*. Atlantis Press.
- Toifur, M., Haryadi, B., and Rahmadani, W. 2015. Prototype of Low Temperature Sensor Based on Coils-Resistance Temperature Detector Enhanced with Three-Wire Configurations Bridge. *Contemporary Engineering Sciences*, HIKARI Ltd. 8 (29), pp. 1351 -1359.
- Toifur, M., A., N., Okimustava, dan Sukarelawan, I. 2017. Pengaruh Waktu Deposisi pada Tebal Lapisan, Struktur Mikro, Resistivitas Keping Lapisan Tipis Cu/Ni Hasil Deposisi dengan Teknik Elektroplating . *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, pp. 34-40.
- Toifur, M., Yuningsih, Y., Khusnani, A. 2018. Microstructure , Thickness and Sheet Resistivity of Cu/Ni Thin Film Produced by Elektroplating Technique on The

Variation of Electrolyte Temperature Microstructure, Thickness and Sheet Resistivity of Cu/Ni Thin Film Produced by Elektroplating Technique on The Variation of Electrolyte Temperature. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, 997 (2018) pp. 012053.

Toifur, M. , Khusnani, A., Okimustava. 2019. Effect of Mass Fraction of Ni in Solution on the Microstructure and Sensitivity of Cu/Ni Film as Low-Temperature Sensor. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*. 6.5B, pp. 76 - 83.

Toifur, M., Saputra, J., Khusnani, A., Okimustava. 2020. The Effect Of Magnetic Field On The Performance Of Cu/Ni As Low-Temperature Sensor. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 9 (1). pp. 3526-3532.

Tilden, William. 2009. A Short History of the Progress of Scientific Chemistry in Our Own Times. *BiblioBazaar, LLC*. pp. 249. ISBN 1-103-35842-1.

Wu, W., Eliaz, N., & Gileadi, E. 2014. The Effects of pH and Temperature on Electrodeposition of Re-Ir-Ni Coatings from Aqueous Solutions. *Journal of The Electrochemical Society*, 162(1), pp. D20–D26.

Yamada, T., and Asai, S. 2005. Distribution Control of Dispersed Particles in A Film Fabricated by Composite Plating Method Using A High Magnetic Field. *Nipp.on Kinzoku Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Metals*, 69(2), pp. 257–262.

Yu, Y. D., Song, Z. L., Ge, H. L., and Wei, G. Y. 2014. Influence of Magnetic Fields on Cobalt Electrodeposition. *Surface Engineering*, 30(2), pp. 83–86.

Zhou, P., Zhong, Y., Wang, H., Fan, L., Dong, L., Li, F., ... Zheng, T. 2013. Behavior of Fe/nano-Si Particles Composite Electrodeposition with Avertical Electrode System in A Static Parallel Magnetic Field. *Electrochimica Acta*, 111, pp. 126–135.

Zielinsky, M., Miękoś, E., Szczukocki, D., Dałkowski, R., Leniart, A., Krawczyk, B., and Juszcak, R. 2015. Effects of Constant Magnetic Field on Electrodeposition of Co-W-Cu Alloy, *International Journal of Electrochemical Science* 10, pp.4146–4154

BIOGRAFI PENULIS



Danurdara Setiamukti lahir di Wonosobo 31 Agustus 1991, menempuh studi fisika FMIPA Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta. memiliki keyakinan bahwa ketika keindahan sunia ini didapat dibuktikan secara ilmiah maka keyakinan akan kebesaran Allah SWT akan semakin kuat dan bertambah. saat ini sedang menempuh pendidikan fisika di Program Pascasarjana 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 bekerja sebagai Dosen PNS di Universitas Ahmad Dahlan dengan bidang keahlian Fisika Material (Lapisan Tipis)



Ishafit is currently Associate Professor at Physics Education Department, Universitas Ahmad Dahlan. He received M.Sc. degree in Physics at Universitas Gadjah Mada in 2000 and has been teaching physics for more than 25 years. His current research interests is laboratory-based physics instruction and ICT-based physics experiment



Okimustava lahir di Banyumas, 27 Oktober 1985. menempuh pendidikan S1, S2, di Universitas Ahmad Dahlan pada Jurusan Fisika. saat ini bekerja sebagai Dosen di Universitas Ahmad Dahlan



Azmi khusnani lahir di lampung, 7 juli 1993, menempuh pendidikan S1 dan S2 di pendidikan Fisika Universitas Ahmad dahlan. Saat ini bidang penelitian yang sedang ditekuni adalah fisika material.



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

