

**ALAT MONITORING ARUS DAN TEGANGAN OTOMATIS PADA
PROSES ELEKTRODEPOSITION DENGAN DETEKSI GAS H₂ DAN
PERHITUNGAN MASSA NIKEL MENGGUNAKAN HUKUM FARADAY**

(SKRIPSI)

Oleh:

**FEBY CRISTI WINARTI
NPM 2117041078**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ALAT MONITORING ARUS DAN TEGANGAN OTOMATIS PADA
PROSES ELEKTRODEPOSITION NIKEL DENGAN DETEKSI GAS H₂ DAN
PERHITUNGAN MASSA NIKEL MENGGUNAKAN HUKUM FARADAY**

Oleh
FEBY CRISTI WINARTI

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada
Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ALAT MONITORING ARUS DAN TEGANGAN OTOMATIS PADA PROSES ELEKTRODEPOSITION NIKEL DENGAN DETEKSI GAS H₂ DAN PERHITUNGAN MASSA NIKEL MENGGUNAKAN HUKUM FARADAY

Oleh

FEBY CRISTI WINARTI

Penelitian ini membahas perancangan sistem pemantauan arus dan tegangan otomatis pada proses elektrodepositi nikel dengan deteksi gas H₂ serta perhitungan massa nikel menggunakan Hukum Faraday. Tujuan penelitian adalah merancang alat monitoring berbasis sensor INA219 dan MQ-8 yang terintegrasi dengan mikrokontroler untuk mencatat data secara real-time, serta menganalisis hubungan antara variasi arus, waktu proses, dan pelepasan gas hidrogen terhadap hasil elektrodepositi. Metode penelitian meliputi pembuatan larutan elektrolit, preparasi elektroda stainless steel, serta integrasi sistem monitoring dengan perangkat mikrokontroler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau arus dan tegangan secara akurat, mendeteksi pelepasan gas H₂ selama proses, serta menghitung massa nikel sesuai perhitungan Hukum Faraday. Dengan demikian, alat ini efektif digunakan sebagai sistem monitoring otomatis untuk meningkatkan kontrol parameter pada proses elektrodepositi nikel.

Kata Kunci: Elektrodepositi, sensor INA219, sensor MQ-8, arus listrik, Hukum Faraday.

ABSTRACT

Automatic Current and Voltage Monitoring Device in Nickel Electrodeposition Process with H₂ Gas Detection and Nickel Mass Calculation Using Faraday's Law

By

FEBY CRISTI WINARTI

This research discusses the design of an automatic current and voltage monitoring system in the nickel electrodeposition process with H₂ gas detection and nickel mass calculation using Faraday's Law. The objective of this study is to develop a monitoring device based on INA219 and MQ-8 sensors integrated with a microcontroller to record data in real-time, as well as to analyze the relationship between current variations, process duration, and hydrogen gas release on the electrodeposition results. The research method includes the preparation of the electrolyte solution, stainless steel electrode treatment, and system integration with a microcontroller. The results show that the system is capable of accurately monitoring current and voltage, detecting H₂ gas release during the process, and calculating nickel mass in accordance with Faraday's Law. Therefore, this device can be effectively used as an automatic monitoring system to improve parameter control in the nickel electrodeposition process.

Keywords: *Electrodeposition, INA219 sensor, MQ-8 sensor, electric current, Faraday's Law.*

Judul Skripsi

: Alat Monitoring Arus dan Tegangan Otomatis pada Proses Elektrodepositi Nikel dengan Deteksi Gas H₂ dan Perhitungan Massa Nikel Menggunakan Hukum Faraday

Nama Mahasiswa

: Feby Cristi Winarti

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2117041078

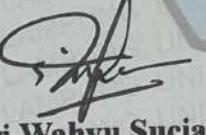
Program Studi

: S1 FISIKA

Fakultas

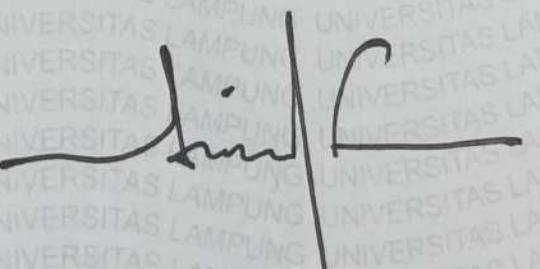
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Sri Wahyu Suciati, S.Si.,M.Si.
NIP. 197108291997032001


Anton Sapto Handoko S.T.,M.T
NIP. 197902142003121005

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng

NIP. 197109092000121001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Sri Wahyu Suciati, S. Si., M. Si.

Sekretaris

: Anton Sapto Handoko S.T.,M.T

Penguji Utama

: Dr. Junaidi, S.Si., M. Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 19711001 200501 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 12 Desember 2025

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Feby Cristi Winarti

NPM : 2117041078

Menyatakan bahwa skripsi berjudul “Alat Monitoring Arus dan Tegangan Otomatis pada Proses Elektrodepositi Nikel dengan Deteksi Gas H₂ dan Perhitungan Massa Nikel Menggunakan Hukum Faraday” merupakan karya tulis saya seutuhnya. Seluruh isi skripsi ini telah disusun dengan mengikuti ketentuan penulisan ilmiah yang berlaku di Universitas Lampung. Saya menegaskan bahwa karya ini bukanlah hasil dari penjiplakan atau karya orang lain. Saya juga bersedia menerima sanksi yang berlaku, termasuk pencabutan gelar, jika di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini tidak sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 12 Desember 2025

Penulis,



Feby Cristi Winarti
NPM. 2117041078

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Feby Cristi Winaarti, lahir pada tanggal 14 Februari 2003 di Natar, Lampung Selatan. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari Ibu Endang Kurniati.

Perjalanan pendidikan penulis dimulai di PAUD Al Azhar 8 dan lulus pada tahun 2007, kemudian dilanjutkan ke TK Al Azhar 8 dan lulus pada tahun 2008. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 5 Merak Batin hingga lulus pada tahun 2015. Masa remaja penulis dihabiskan di SMP Negeri 1 Natar yang diselesaikan pada tahun 2018, kemudian melanjutkan pendidikan menengah ke SMK Negeri 2 Bandar Lampung hingga lulus pada tahun 2021.

Pada tahun yang sama, penulis berhasil melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan diterima di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Di sela-sela kesibukan perkuliahan, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan organisasi, salah satunya menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) Universitas Lampung. Penulis juga telah menyelesaikan Pendidikan Kerja Lapangan (PKL) di UPT PLN Teluk Betung serta melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2024 di Desa Gunung Raya, Lampung Tengah, sebagai wujud pengabdian langsung kepada masyarakat.

Sebagai bentuk akhir dari perjalanan studinya, penulis menyusun skripsi dengan judul: "Alat Monitoring Arus dan Tegangan Otomatis pada Proses Elektrodepositi dengan Deteksi Gas H₂ dan Perhitungan Massa Nikel Menggunakan Hukum Faraday.

MOTTO

تَعْلَمُونَ لَا مَا أَنْتُمْ مِنْ وَأَعْلَمُ اللَّهُ إِلَى وَحْزُنِي بَيْتِي أَشْكُو إِنَّمَا قَالَ

Sesungguhnya hanya kepada Allah aku mengadukan kesusahan dan kesedihanku,
dan aku mengetahui dari Allah apa yang tidak kamu ketahui
~ QS. Yusuf: 86 ~

"Jalanmu kan Sepanjang Niatmu.
Simpan Tegar Dalam Hati."
~ Perunggu~

PERSEMBAHAN

Kepada diri saya sendiri, sebagai bentuk apresiasi atas ketekunan dan kerja keras selama proses penyusunan skripsi ini. Semoga menjadi langkah awal menuju masa depan yang lebih baik.

Untuk Universitas Lampung, tempat saya menimba ilmu dan mengembangkan wawasan. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Bapak Dan Ibu dosen-dosen Fisika Universitas Lampung, terima kasih atas bimbingan, ilmu, dan dedikasi yang telah diberikan selama masa perkuliahan. Semoga segala kebaikan dan pengabdian Bapak/Ibu menjadi amal yang berharga.

Untuk keluarga tercinta, terima kasih atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang tiada henti.

SANWACANA

Puji syukur atas segala rahmat Allah SWT yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi berjudul **“Alat Monitoring Arus dan Tegangan Otomatis pada Proses Elektrodepositi Nikel Berbasis IoT dengan Deteksi Gas H₂ dan Perhitungan Massa Nikel Menggunakan Hukum Faraday”** Tidak lupa shalawat serta salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, suri tauladan yang telah menunjukkan jalan yang benar kepada seluruh umatnya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini, yaitu:

1. Kepada Ibu Penulis Ibu Endang Kurniati yang selalu memberikan cinta kasih, dukungan materi, dukungan moral, pengorbanan serta doa kepada penulis.
2. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciati, S.Si., M.Si selaku Pembimbing Pertama yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, motivasi serta lainnya.
3. Bapak Anton Sapto Handoko S.t., M.T selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan kesempatan, saran, masukan, bantuan secara materi dan arahan kepada penulis skripsi ini.
4. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M. Si. selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan kepada penulis skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung. 6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si selaku Pembimbing Akademik yang memberikan masukan-masukan serta nasehat selama masa studi di Jurusan Fisika.

7. Kepada Om Penulis Bapak Ahmad Sugianto Selaku Ayah Sambung saya selalu memberikan kasih sayang yang menjadikan penulis tidak kekurangan sosok ayah sedikitpun.
8. Kepada Om dan Nenek Penulis Bapak Suselo Aji dan Ibu Warsiah yang selalu menjadi tempat perlindungan, tempat mengadu, dan meminta bantuan secara materi dan non materi sedari kecil penulis.
9. Kakak penulis, Yeri Kriswinarto dan Yana yang telah mendukung dan mencerahkan doa baik kepada penulis.
10. Kepada Anisatul Mahmudah, Ela Amelia Dan Lili Misantari yang telah banyak membantu, memberikan dukungan serta motivasi kepada penulis.
11. Kepada Anisatul Mahmudah, Ela Amelia, Diah Fauzia,Lili Misantari, Nabila Aprili, Zaerah Zahwa Nnila, Devi Maulida, Ayu Febriyanti, Alpin Alphayasa, M. Ridho Setiawan, Nur Margawisa, yang selalu ada disaat masa senang dan susah dan pastinya telah banyak membantu penulis, memberikan motivasi, dukungan, arahan serta lainnya.
12. Serta teman-teman seperjuangan Fisika UNILA 2021. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dengan hal yang lebih baik Aamin
13. Kepada semua yang sudah datang dan pergi dalam hidup, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini baik yang memberi pelajaran, kenangan, maupun luka yang akhirnya membentuk penulis menjadi pribadi yang lebih kuat dan dewasa. Kehadiran kalian, walau singkat atau panjang, memiliki arti dalam cerita hidup ini.

Bandar Lampung, 12 Desember 2025
Penulis

Feby Cristi Winarti
NPM. 2117041078

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	5
2.2 Elektrolisis	7
2.2.1 Hukum Faraday.....	10
2.2.2 Stainless Stell.....	13
2.3 Sensor INA219	14
2.4 Sensor MQ-8.....	16
2.5 Liquid Crystal Display.....	17
2.6 Power Supply.....	18
2.6.1 Modul Step Down.....	20
2.7 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transmitor.....	21
2.8 Servo	24
2.9 Arduino Uno R3	26
III. METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	29
3.2 Alat Dan Bahan	29
3.3 Prosedur Penelitian.....	30
3.3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware).....	32
3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)	35

3.3.3 Proses Elektrodepositi.....	37
3.3.4 Pengambilan Data	38
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMAHASAN	
4.1 Kalibrasi Sensor	40
4.1.1 Kalibrasi Sensor Ina219	40
4.1.2 Kalibrasi Sensor Mq-8	43
4.2 Perancangan Alat Pengukur Arus.....	45
4.3 Hasil Dan Analisis Data Keseluruhan.....	48
4.3.1 Hasil Monitoring Lcd 16x4.....	48
4.3.2 Hasil Otomatisasi	50
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Proses Elektrodepositi atau elektrolisis Yuliana dkk(2023)	8
2. Skema Sederhana INA219 (Arum dkk., 2024).....	15
3. Sensor INA219.....	15
4. Struktur dan konfigurasi sensor MQ-8.....	16
5. Sensor MQ-8.....	17
7. LCD <i>Liquid Crystal Display</i> (pooja,2021).	18
8. Rangkaian <i>power supply</i> 12 volt (umar dkk.,2021)	19
9. Rangkaian Modul Sted Down (Rakhman et al.,20222)	20
10. Rangkaian <i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i> (yuliani.,2020) 23	
11. Rangkaian Servo	25
12. Skema Arduino Uno R3 (Wulandari et al., 2021)	27
13. Arduino Uno.(Samsugi dkk., 2020).	27
14. Diagram alir keseluruhan	31
15. Diagram Perangkat Keras	32
16. Skema rangkaian perangkat keras.....	33
17. Desain keseluruhan perangkat	34
18. Skema rangkaian perangkat lunak	35
19.Skema Proses Elektrodepositi	37
20. Grafik Kalibrasi Sensor INA219	43

21. Grafik Kalibrasi Sensor MQ-8	44
22. Rangkaian Keseluruhan Alat.....	45
23. Alat Tampak Depan.....	46
24 Tampak Alat Keseluruhan Saat Proses Elektrolisis Berlangsung.....	47
25. Grafik Tegangan Dan Arus Selama 30 Menit	51
26. Grafik Pemantauan Gas Hydrogen Selama 30 Menit	52
27. Grafik Tegangan Dan Arus Selama 60 Menit	53
28 Grafik Pemantauan Gas Hydrogen Selama 60 Menit	54
29. Grafik Tegangan Dan Arus selama 90 menit	55
30. Grafik Pemantauan Gas Hydrogen Selama 90 Menit	56

DAFTAR TABEL

Table	Halaman
1. Data Proses Elektrodepositi Secara Otomatis	38
2. Data perbandingan massa teoritis nikel dan massa eksperimen nikel	39
3. Kalibrasi Sensor INA219.....	42
4. Penggunaan Alat Untuk Menampilkan Mode	49
5. Perbandingan Massa Nikel Secara Teoritis Dan Otomatis.....	57

I. PEDAHLUAN

1.1 Latar Belakang

Era Industri 4.0 ditandai dengan perubahan mendasar dalam proses produksi, di mana industri manufaktur menjadi sektor yang paling terdampak oleh penerapan teknologi otomasi dan digitalisasi secara luas (Lu, 2017). Seiring perkembangan tersebut, otomatisasi dalam proses manufaktur terus mengalami peningkatan melalui integrasi sensor, aktuator, dan sistem kendali adaptif, yang memungkinkan efisiensi energi, pengurangan limbah produksi, serta kestabilan mutu produk (Monostori dkk., 2016).

Dalam dunia manufaktur modern, kebutuhan akan sistem pelapisan logam yang presisi dan efisien menjadi sangat penting, khususnya pada industri otomotif, elektronik, dan alat kesehatan (Siregar dkk., 2021). Pelapisan logam seperti nikel melalui metode elektrodepositi merupakan proses penting yang menunjang kualitas dan ketahanan produk, serta dilakukan melalui proses elektrokimia yang memungkinkan distribusi merata pada permukaan substrat (Janetasari dan Djaenudin, 2020). Namun, proses ini sangat sensitif terhadap fluktuasi kuat arus dan tegangan, yang secara langsung memengaruhi ketebalan dan kekerasan lapisan elektroda (Nurdiansah dkk., 2019).

Stabilitas parameter seperti arus dan tegangan selama proses pelapisan elektroda sangat menentukan kualitas akhir nikel, sehingga dibutuhkan sistem yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian secara otomatis. Penggunaan sistem

pemantauan berbasis sensor menjadi kunci untuk menjaga efisiensi proses dan kualitas pelapisan, sekaligus mendorong penerapan prinsip keberlanjutan dalam industri (Yuan dkk., 2020). Sebagian besar proses pelapisan saat ini masih dilakukan secara manual, dengan keterbatasan dalam hal pencatatan data, respons waktu nyata, dan risiko kesalahan pengukuran (Situmorang dkk., 2022). Berbagai penelitian telah mengembangkan sistem otomatisasi berbasis mikrokontroler yang mampu membaca parameter arus dan tegangan secara digital dan menyajikannya dalam bentuk data grafis (Puspasari dan Satya, 2020).

Kusuma dkk., (2022) melakukan penelitian mengenai sensor yang umum digunakan dalam sistem pengukur arus dan tegangan yaitu INA219, yang mampu mengukur arus dan tegangan secara akurat melalui antarmuka I2C. Dalam penelitian tersebut, sensor ini digunakan pada data logger untuk pemantauan kapasitas baterai dengan akurasi tinggi, menjadikannya relevan pula dalam sistem elektrodepositi.

Selain itu, aspek keselamatan menjadi perhatian utama dalam proses elektrodepositi. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan terbentuknya gas hidrogen (H_2) sebagai hasil samping dari reaksi elektrolisis pada katoda. Gas hidrogen yang dihasilkan bersifat sangat mudah terbakar dan memiliki rentang ledak yang luas di udara. Jika gas ini terakumulasi dalam ruangan tertutup, maka dapat menimbulkan risiko serius berupa kebakaran maupun ledakan. Sensor ini berfungsi untuk memantau kadar hidrogen secara real-time dan memberikan peringatan apabila terjadi peningkatan konsentrasi yang berpotensi membahayakan. Dalam penelitian ini, digunakan sensor MQ-8 sebagai komponen utama sistem deteksi. Dengan penerapan sensor ini, sistem dapat mendeteksi adanya kebocoran atau peningkatan gas secara cepat sehingga tindakan pencegahan dapat segera dilakukan.

Sahara dan Zainul, (2021). menggunakan sensor MQ-8 digunakan dalam penelitiannya untuk mendeteksi gas hidrogen. Sensor ini memiliki rentang pengukuran 100–10.000 ppm. Rentang tersebut memungkinkan pemantauan gas hidrogen dari konsentrasi rendah hingga tinggi. Sensor MQ-8 memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap gas hidrogen. Hal ini membuat sensor MQ-8 mampu mendeteksi perubahan kecil pada konsentrasi gas. Sensor ini juga memiliki waktu

respon yang cepat. Dengan demikian, peningkatan kadar hidrogen dapat diketahui secara dini. Sistem ini dapat memberikan peringatan sebelum kadar gas mencapai tingkat berbahaya. Untuk menjaga akurasi, sensor perlu dikalibrasi secara berkala. Kalibrasi dilakukan agar hasil pengukuran tetap stabil dan valid. Interferensi dari gas lain seperti alkohol dan karbon monoksida perlu diminimalkan. Hal ini dapat dilakukan dengan penggunaan filter atau algoritma kompensasi. Lingkungan sekitar seperti suhu dan kelembapan juga memengaruhi hasil pengukuran.

Dengan menggabungkan sensor INA219 dan MQ-8 ke dalam sistem pemantauan otomatis berbasis mikrokontroler, serta penggunaan servo *voltage stabilizer* untuk menjaga kestabilan tegangan, proses elektrodeposisi nikel dapat dilakukan secara lebih efisien, akurat, dan aman. Sistem ini tidak hanya mampu memantau parameter proses secara *real-time*, tetapi juga menghitung massa nikel yang diendapkan secara otomatis menggunakan Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa massa logam berbanding lurus dengan kuat arus dan waktu proses (Handoko, 2021). Sistem ini diharapkan menjadi solusi inovatif dalam industri manufaktur dan penelitian, serta mengisi celah teknologi yang ada dalam pengendalian proses pelapisan logam.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan otomatis berbasis mikrokontroler dan sensor, guna meningkatkan efisiensi, keamanan, dan akurasi dalam proses elektrodeposisi nikel. Dengan pemanfaatan sensor INA219 untuk pengukuran arus dan tegangan, sensor MQ-8 untuk deteksi gas hidrogen, serta *servo voltage stabilizer* untuk menjaga kestabilan tegangan, sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi komprehensif dalam mendukung proses pelapisan logam nikel yang lebih presisi, aman, dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini ialah

1. Bagaimana merancang sistem pemantauan arus dan mendekripsi gas hydrogen pada proses elektrodeposisi menggunakan sensor INA219 dan MQ-8?

2. Bagaimana mengintegrasikan sensor arus INA219 dan sensor gas MQ-8 dengan mikrokontroler agar dapat melakukan pemantauan dan pencatatan data secara akurat?
3. Bagaimana hubungan antara variasi arus, waktu proses, dan pelepasan gas hidrogen terhadap kualitas serbuk nikel yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah sebagai berikut

1. Merancang sistem pemantauan arus Listrik dan menganalisis pelepasan gas hidrogen selama proses elektrodepositi menggunakan sensor arus INA219 dan MQ-8 untuk meningkatkan kontrol terhadap parameter elektrodepositi nikel.
2. Mengintegrasikan sensor INA219 dan sensor gas MQ-8 dengan mikrokontroler untuk melakukan pemantauan dan pencatatan data secara real-time.
3. Mempelajari hubungan antara variasi arus, waktu proses, dan pelepasan gas hidrogen terhadap efisiensi serta banyaknya hasil serbuk nikel yang diperoleh.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Larutan yang digunakan H_2SO_4 , $NiSO_4 \cdot 6H_2O$
2. Sensor yang digunakan, INA219, MQ-8
3. Hasil yang didapat arus, tegangan, gas hydrogen, massa nikel

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini ialah sebagai berikut

1. Menambah refrensi ilmiah mengenai pemantauan arus listrik dan pelepasan gas hydrogen dalam elektrodepositi nikel.
2. Menghasilkan system pemantauan berbasis sensor yang dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas serbuk nikel yang dihasilkan.
3. Sebagai refrensi penelitian selanjutnya.
4. Sebagai tambahan refrensi dijurusan fisika FMIPA di Universitas Lampung bidang KBK Fisika Instrumentasi

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Kusuma dkk., (2022) melakukan penelitian untuk mengimplementasikan sensor INA219 pada sistem data logger guna memantau arus secara real-time. Sensor INA219 digunakan karena kemampuannya mengukur arus dan tegangan secara akurat melalui antarmuka I2C, serta kemudahannya untuk diintegrasikan dengan mikrokontroler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor INA219 mampu memberikan pembacaan arus dan tegangan dengan tingkat akurasi tinggi dan stabil, sehingga sangat efektif untuk digunakan dalam sistem pemantauan daya berbasis mikrokontroler. Keberhasilan ini menjadikan INA219 relevan pula untuk diaplikasikan dalam sistem lain yang membutuhkan pemantauan arus dan tegangan secara presisi, termasuk proses elektrodepositi nikel.

Ibnu dkk., (2021) melakukan penelitian mengimplementasikan sistem pemantauan konsumsi daya pada proses elektrokimia menggunakan sensor INA219. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor INA219 dapat membaca nilai arus, tegangan, dan daya dengan cukup akurat, meskipun terdapat sedikit perbedaan dibandingkan dengan alat ukur multimeter konvensional. Sistem pemantauan ini berhasil memberikan data secara real-time dengan interval pembaruan setiap satu detik, memungkinkan pengguna untuk memantau proses elektrolisis secara efektif dan mengambil tindakan preventif sebelum terjadi penurunan performa.

Sahara dan Zainul, (2021) melakukan penelitian pada pemanfaatan sensor MQ-8 untuk mendekripsi konsentrasi gas hidrogen (H_2) dalam sistem monitoring berbasis mikrokontroler. Sensor MQ-8 dipilih karena sensitivitasnya yang tinggi terhadap gas hidrogen, dengan rentang deteksi antara 100 hingga 10.000 ppm. Dalam

penelitian ini, sensor dikalibrasi untuk memberikan respons cepat terhadap keberadaan gas H₂, dan data hasil pengukuran ditampilkan secara digital untuk memudahkan pemantauan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MQ-8 mampu memberikan peringatan dini yang akurat terhadap akumulasi gas hidrogen, sehingga sangat efektif digunakan dalam sistem yang memiliki risiko kebocoran atau pembentukan gas H₂, seperti pada proses elektrodepositi. Keandalan MQ-8 dalam mendeteksi gas hidrogen menjadikannya komponen penting dalam meningkatkan keselamatan operasional pada sistem elektroplating.

Yoga Setiawan dkk., (2017) melakukan penelitian untuk meningkatkan ketahanan korosi stainless steel melalui pelapisan nikel (Ni) menggunakan metode elektroplating. Dalam penelitian ini, variasi arus listrik (0,5A, 1A, dan 1,5A) dan waktu pelapisan 60, 120 dan 180 menit digunakan untuk menentukan pengaruhnya terhadap ketebalan lapisan nikel yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan nikel meningkat seiring dengan peningkatan arus listrik dan waktu pelapisan, dengan ketebalan maksimum mencapai 5,32 µm pada arus 1,5 A selama 180 detik. Integrasi sensor seperti INA219 untuk memantau arus dan tegangan secara real-time dapat membantu memastikan parameter proses tetap dalam rentang optimal, sementara penggunaan elektroda stainless steel sebagai substrat pelapisan sesuai dengan praktik yang telah terbukti efektif dalam penelitian ini.

Saputra dan Masugino, (2022) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh tegangan listrik pada proses electroplating nikel pada baja terhadap ketahanan korosi dan kekerasan lapisan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi tegangan listrik mempengaruhi ketahanan korosi dan kekerasan lapisan nikel yang dihasilkan. Peningkatan tegangan dari 4V hingga 8V menghasilkan lapisan dengan ketahanan korosi dan kekerasan yang lebih baik.

Jasron, (2016) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan waktu pelapisan nikel terhadap kekerasan lapisan pada coran aluminium scrap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tegangan dan waktu pelapisan meningkatkan kekerasan lapisan nikel yang dihasilkan. Penelitian ini mendukung pentingnya pemantauan dan pengendalian parameter proses seperti tegangan dan

waktu dalam sistem elektroplating, yang dapat diintegrasikan dengan sensor dan mikrokontroler untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pelapisan.

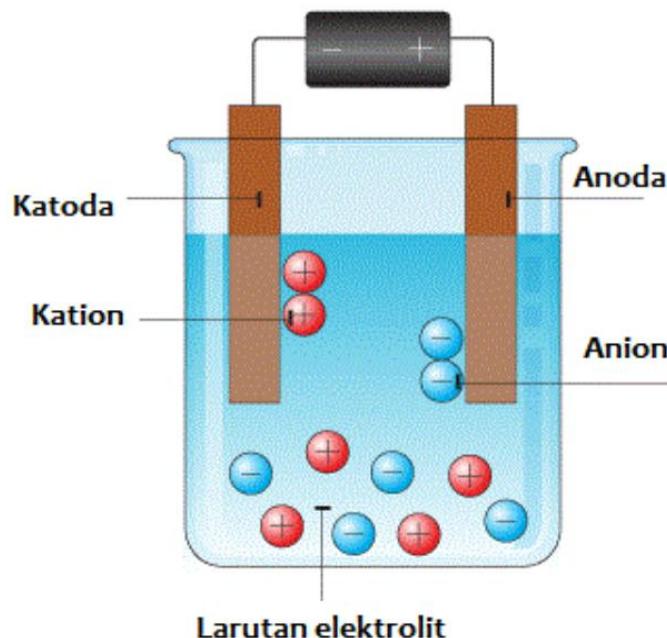
Widiatmoko dan Nurdin, (2018) melakukan penelitian untuk menentukan konsentrasi optimum H_2SO_4 dalam proses elektrodepositi nikel dari larutan tiruan limbah elektroplating. Menggunakan sel elektrodepositi dua ruang (*double chamber electrodeposition cell*) sistem batch, penelitian ini memvariasikan konsentrasi H_2SO_4 (0,2M; 0,6M; dan 1M) serta pH awal katolit. Hasilnya menunjukkan bahwa konsentrasi H_2SO_4 sebesar 0,6M memberikan efisiensi terbaik dalam menurunkan konsentrasi nikel pada katolit, menunjukkan bahwa pengendalian konsentrasi asam sulfat sangat penting untuk efisiensi proses elektrodepositi.

Oliazadeh, (2003) melakukan penelitian untuk mengukur konduktivitas listrik dan densitas larutan elektrolit yang mengandung nikel sulfat dan asam sulfat pada berbagai konsentrasi dan suhu. Penelitian ini menemukan bahwa konduktivitas listrik meningkat secara logaritmik dengan suhu, dan secara linear dengan konsentrasi ion logam. Model empiris yang dikembangkan dari data ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan kondisi proses elektrodepositi nikel, terutama dalam pengaturan suhu dan konsentrasi elektrolit.

2.2 Elektrolisis

Elektrolisis terjadi ketika aliran arus listrik melalui senyawa ionik dan mengalami reaksi kimia. Larutan elektrolit dapat mengantar listrik karena mengandung ion-ion yang dapat bergerak bebas. Hantaran listrik melalui larutan elektrolit terjadi ketika sumber arus searah memberi muatan yang berbeda pada kedua elektroda. Katoda (elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif) bermuatan negatif, Anoda, yaitu elektroda yang dihubungkan dengan kutub positif sumber Listrik yang bermuatan positif. Dalam proses elektrolisis, ion-ion tertentu dalam larutan akan bergerak menuju katoda untuk menerima elektron (tereduksi), sedangkan ion lainnya bergerak menuju anoda untuk melepaskan elektron (teroksidasi) (Ayu Lestari dkk., 2022).

Elektrolisis hanya dapat berlangsung apabila memenuhi beberapa syarat utama, yaitu adanya sumber arus listrik searah, elektroda, dan elektrolit. Sumber arus listrik berfungsi memberikan energi listrik untuk mendorong terjadinya reaksi kimia nonspontan. Elektroda terdiri dari anoda dan katoda yang berperan sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi dan reduksi, sedangkan elektrolit berupa larutan atau lelehan senyawa ionik berfungsi sebagai medium penghantar arus karena mengandung ion-ion yang dapat bergerak bebas. Tanpa salah satu dari ketiga komponen tersebut, proses pemindahan elektron tidak akan terjadi sehingga reaksi elektrolisis tidak dapat berlangsung (Petrucci dkk., 2017). Elektrodepositio dilakukan di dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisis yang berisi larutan elektrolit atau rendaman (*bath*) dan di dalamnya tercelup dua elektroda. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan arus listrik, Kedua anoda dihubungkan dengan kutub positif (+) sumber arus listrik, sementara katoda dihubungkan dengan kutub negatif (-). Skema proses elektrodepositio dapat dilihat pada **Gambar 1**



Gambar 1 Proses Elektrodepositio atau elektrolisis (Yuliana dkk.,2023)

Pada proses elektrodepositio terjadi reaksi oksidasi dan reduksi yang lebih sering disebut reaksi redoks. Reaksi oksidasi terjadi bila senyawa atau unsur kimia melepaskan elektron, molekul, atau ion-ion dan reaksi reduksi terjadi bila senyawa kimia memperoleh elektron dari partikel-partikel tersebut. Reaksi spontan terjadi

saat aliran arus listrik ke elektroda terendam dalam larutan elektrolit. Proses ini disebut sebagai reaksi reduksi karena ion logam yang dilepaskan diikuti dengan melepasnya satu atau dua elektron. Kemudian, baik ion logam dan elektron bereaksi dan disimpan ke elektroda (katoda). Salah satu contoh reaksi redoks dalam proses elektrolisis adalah elektrolisis air laut untuk produksi hidrogen. Dalam proses ini, terjadi tiga reaksi redoks utama Reaksi *Evolusi Oksigen* (OER) di anoda, Reaksi *Evolusi Klorin* (CER) juga di anoda, dan Reaksi *Evolusi Hidrogen* (HER) di katoda. Pada katoda, ion hidrogen (H^+) mengalami reduksi menjadi gas hidrogen (H_2), sedangkan pada anoda, ion klorida (Cl^-) atau molekul air mengalami oksidasi menjadi gas klorin (Cl_2) atau oksigen (O_2), tergantung pada kondisi elektrolit.

Arus listrik searah (*Direct Current*) dialirkan antara kedua elektroda dalam larutan elektrolit dengan waktu proses pelapisan yang telah ditentukan. Katoda *negative* merupakan logam yang akan dilapisi dan tempat terjadinya reduksi sedangkan anoda *positif* merupakan logam untuk melapisi dan terjadi reaksi oksidasi. Pada anoda terbentuk ion – ion positif sehingga pada larutan elektrolit terjadi elektrolisis garam – garam logam. Anoda yang telah mengalami oksidasi meluruh dan larut dalam larutan elektrolit. Anoda yang meluruh mengantikan ion logam dalam larutan elektrolit yang ditarik oleh katoda, dengan kata lain terjadi dispersi partikel-partikel ion di dalam endapab tersebut membentuk lapisan tipis dibagian luar katoda. Pada katoda berupa berat lapisan. Elektrolit dengan penambahan partikel penguat di dalam larutannya ini biasanya merupakan larutan garam anorganik, asam atau basa. Untuk mengetahui hasil dari serangkaian proses elektrodepositi (berat lapisan) yaitu dengan cara menimbang elektroda dari sebelum dan sesudah proses elektrodepositis.

$$w = w_o - w_t \quad 2.1$$

Dengan w adalah = Perubahan berat

w_o adalah = Berat akhir substrat

w_t adalah = Berat awal substrat

Dalam proses elektrodepositi, substrat atau material logam digunakan sebagai katoda dalam larutan elektrolit, yang menjadi tempat lapisan akan diendapkan. Katoda adalah elektroda yang dihubungkan dengan kutub negatif sumber arus dan

tempat terjadinya reaksi reduksi. Setiap bahan logam mempunyai pengaruh yang berbeda dalam menentukan rapat arus. Rapat arus adalah besarnya arus listrik yang mengalir per satuan luas katoda. Besarnya rapat arus yang mengalir dipengaruhi oleh konduktivitas listrik dari larutan. Konduktivitas larutan berbanding terbalik dengan resistansi larutan.

2.2.1 Hukum Faraday

Elektrodepositi merupakan proses pelapisan logam pada permukaan suatu material melalui mekanisme elektrolisis, di mana ion-ion logam dalam larutan elektrolit mengalami reaksi reduksi dan mengendap pada elektroda katoda akibat aliran arus listrik searah. Proses ini banyak dimanfaatkan dalam bidang industri dan penelitian, seperti elektroplating, pelapisan antikarat, serta pembuatan lapisan fungsional pada material logam. Keberhasilan proses elektrodepositi sangat dipengaruhi oleh parameter listrik seperti arus, waktu, dan sifat elektrolit, yang secara teoritis dijelaskan oleh Hukum Faraday tentang elektrolisis (Chang dan Goldsby, 2016; Bard & Faulkner, 2001). Hukum Faraday I menyatakan bahwa massa zat yang diendapkan pada elektroda selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang dialirkkan melalui larutan elektrolit. Prinsip dasar yang mendasari elektrodepositi adalah Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa massa logam (m) yang terdeposisi pada elektroda sebanding dengan jumlah muatan listrik (Q) yang melewati larutan elektrolit (Vionadwiuchti, 2023). Secara matematis, Hukum Faraday dinyatakan sebagai:

$$m \propto Q \quad 2.2$$

Muatan listrik merupakan hasil perkalian antara kuat arus listrik dan waktu proses elektrolisis, sehingga dapat dituliskan sebagai.

$$Q = I \cdot t \quad 2.3$$

Hubungan ini menunjukkan bahwa peningkatan arus listrik atau lamanya waktu elektrodepositi akan meningkatkan jumlah muatan yang mengalir, sehingga massa logam yang terendapkan juga semakin besar (Petrucci et al., 2017). Secara mikroskopis, muatan listrik yang mengalir dalam proses elektrolisis dibawa oleh elektron. Satu mol elektron membawa muatan sebesar konstanta Faraday,

yaitu $F = 96.485 \text{ C/mol}$. Oleh karena itu, jumlah mol elektron yang terlibat dalam proses elektrolisis dapat dinyatakan sebagai.

$$n_e = \frac{Q}{F} \quad 2.4$$

Pada reaksi reduksi ion logam di katoda, setiap ion logam membutuhkan sejumlah elektron tertentu sesuai dengan bilangan oksidasinya. Sebagai contoh, untuk ion logam bermuatan $n+n+n+$, reaksi reduksi dapat dituliskan sebagai.



Artinya, satu mol logam membutuhkan n mol elektron. Dengan demikian, jumlah mol logam yang terendapkan adalah.

$$m = \frac{M \cdot Q}{n \cdot F} \quad 2.6$$

Karena muatan listrik Q dapat dinyatakan sebagai $I \cdot t$ maka persamaan akhir Hukum Faraday I dalam proses elektrodepositi menjadi:

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F} \quad 2.7$$

Dengan:

m = massa logam yang terdeposisi (gram)

M = massa molar logam (g/mol)

I = arus Listrik (amper)

t = waktu elektrodepositi (detik)

n = jumlah electron yang terlibat dalam reaksi reduksi

F = konstanta faraday (96,485 C/mol)

Yang merupakan bentuk langsung dari Hukum Faraday I tentang elektrolisis. Persamaan ini secara matematis setara dengan rumus lain yang sering dituliskan dalam literatur sebagai.

$$W = \frac{Ar \cdot I \cdot t}{n \cdot F} \quad 2.8$$

W = Massa zat yang dihasilkan atau diendapkan (dalam gram).

Ar = Massa atom relatif zat (dalam gram/mol).

I = Kuat arus listrik yang mengalir (dalam Ampere, A).

t = Waktu proses elektrolisis berlangsung (dalam detik, s).

n = Jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi

F = Konstanta Faraday, yaitu sekitar 96.485 Coulomb per mol (C/mol)

Kedua persamaan tersebut memiliki makna fisik yang sama dan berasal dari prinsip dasar bahwa massa zat yang terendapkan berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang dialirkan selama proses elektrolisis. Perbedaan antara kedua bentuk persamaan tersebut terletak pada penggunaan simbol massa molar (M) dan massa atom relatif (Ar). Massa atom relatif (Ar) merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan massa suatu atom terhadap standar 1/12 massa atom karbon-12. Sementara itu, massa molar (M) menyatakan massa satu mol atom atau molekul dan memiliki satuan g/mol. Secara numerik, nilai M dan Ar untuk suatu unsur adalah sama, namun keduanya berbeda secara konsep dan satuan.

Dalam konteks perhitungan elektrodepositi, penggunaan massa molar (M) lebih tepat dan konsisten secara fisika dan kimia, karena penurunan persamaan Hukum Faraday didasarkan pada konsep mol, elektron, dan konstanta Faraday yang memiliki satuan coulomb per mol. Oleh karena itu, penggunaan M memastikan kesesuaian satuan dan memperjelas hubungan antara jumlah mol elektron, jumlah mol logam yang tereduksi, dan massa logam yang terdepositi.

Pengaruh parameter elektrodepositi terhadap massa dan ketebalan lapisan nikel yang terendapkan. Peningkatan rapat arus dan waktu pelapisan meningkatkan jumlah ion nikel yang tereduksi di katoda, sesuai dengan Hukum Faraday. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar arus yang digunakan dalam proses elektrolisis, semakin tebal lapisan nikel yang terbentuk pada substrat logam. Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa ketebalan lapisan nikel dapat dikontrol dengan mengatur durasi elektrodepositi (Bayuseno dan Nugroho 2023).

Dalam proses elektrodepositi, tidak seluruh muatan listrik yang dialirkkan selalu berkontribusi secara ideal terhadap pengendapan logam pada elektroda. Faktor-faktor seperti efisiensi arus, adanya reaksi samping, polarisasi elektroda, serta kondisi larutan elektrolit dapat memengaruhi jumlah ion logam yang benar-benar tereduksi di katoda. Meskipun demikian, Hukum Faraday tetap digunakan sebagai pendekatan teoretis utama karena mampu memberikan hubungan kuantitatif antara parameter listrik, seperti arus dan waktu, dengan massa logam yang terendapkan dalam kondisi ideal. Oleh karena itu, persamaan Faraday digunakan sebagai dasar perhitungan awal dalam penelitian elektrodepositi, sementara perbedaan antara hasil teoritis dan hasil eksperimen dapat dianalisis lebih lanjut sebagai akibat dari kondisi non-ideal selama proses elektrolisis berlangsung.

Rumus yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya berasal dari Hukum Faraday Elektrolisis, khususnya Hukum Faraday I, yang menyatakan bahwa massa zat yang terendapkan pada elektroda berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang dialirkkan. Hukum ini relevan karena proses elektrodepositi melibatkan aliran arus searah dari sumber eksternal yang memicu reaksi elektrokimia pada permukaan elektrodepositi, serta tidak berkaitan dengan Hukum Induksi Faraday yang membahas hubungan perubahan fluks magnetik terhadap gaya gerak listrik (Bayuseno dan Nugroho, 2023).

2.2.2 Stainless Steel

Elektroda yang digunakan pada penelitian elektrodepositi nikel yaitu stainless steel karena salah satu material yang sering digunakan dalam proses elektrodepositi, sifat mekanisnya yang kuat, tahan korosi, dan ketahanannya terhadap suhu tinggi. Dalam proses elektrodepositi, *stainless steel* berfungsi sebagai elektroda, baik sebagai katoda maupun anoda, yang dapat meningkatkan kualitas hasil endapan. Pada saat proses berlangsung, seperti pada reaksi elektrolisis, gas hidrogen (H_2) terbentuk di permukaan katoda akibat reaksi reduksi H_2^+ yang terjadi pada permukaan elektroda. *Stainless steel* memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap korosi dan stabilitasnya dalam larutan elektrolit yang dapat berinteraksi dengan material yang sedang diendapkan. Kelebihan lainnya adalah

kemampuannya untuk menghasilkan endapan yang lebih rata dan tahan lama, yang menjadikannya pilihan yang tepat dalam berbagai aplikasi elektrodepositi, termasuk pelapisan logam, pengolahan permukaan, dan aplikasi dalam industri otomotif, elektronik, serta medis. Namun, penting untuk memperhatikan pengaruh kondisi elektrolit dan parameter proses, seperti arus dan waktu, yang dapat mempengaruhi kualitas dan struktur endapan pada permukaan *stainless steel* (Aulia dkk., 2019). *Stainless steel* ini umumnya terbuat dari campuran besi dengan minimal 10,5% kromium, yang memberikan lapisan pelindung oksida kromium yang membuatnya tahan terhadap oksidasi dan karat (Yanlinastuti dkk., 2016).

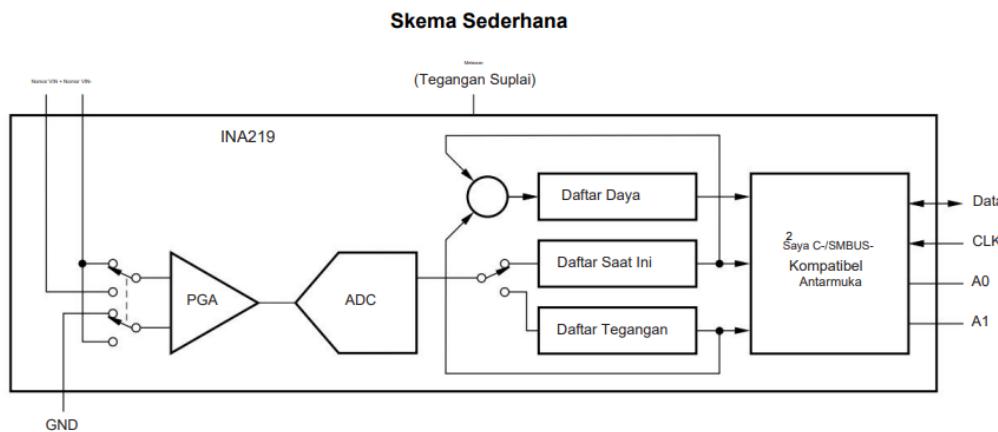
2.3 Sensor INA219

Sensor INA219 digunakan untuk mengukur arus pada alat termoelektrik generator dan tegangan pada baterai. Data ini kemudian dibaca oleh mikrokontroler Wemos D1 R1 untuk mengendalikan relay, sehingga sistem dapat berfungsi dalam mode siap pakai atau siap mengisi daya (Arman & Rahmadewi, 2024). INA219 merupakan sensor arus digital yang menggunakan antarmuka I2C, dan mampu memberikan pembacaan arus, tegangan, serta daya secara real-time dan akurat. Sensor ini memiliki dua input analog, yaitu IN+ dan IN-, yang terhubung ke resistor shunt untuk mendeteksi arus yang mengalir di dalam rangkaian.

Sensor ini dapat dioperasikan dengan tegangan catu daya antara 3 hingga 5,5 volt, sementara tegangan yang terdeteksi pada bus dapat berkisar antara 0 hingga 26 volt. Tidak ada batasan urutan dalam pemberian catu daya dan tegangan bus, sehingga sensor tetap bekerja meskipun salah satu daya dinyalakan lebih dahulu. INA219 mendeteksi penurunan tegangan kecil pada resistor shunt untuk menghitung arus, dan juga mengukur tegangan bus terhadap *ground*.

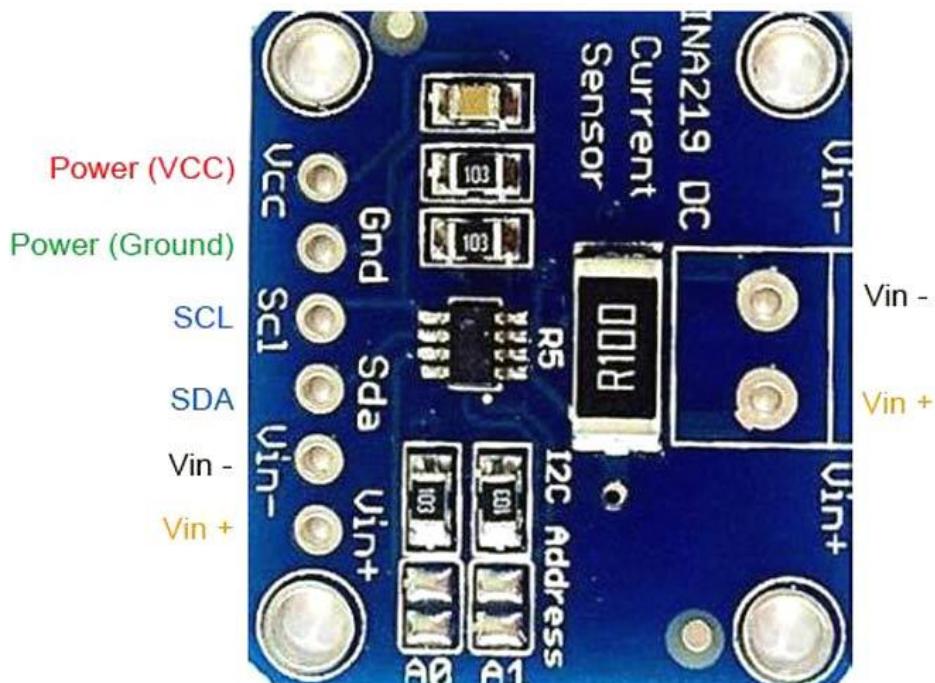
Sensor ini memiliki sistem konfigurasi yang fleksibel melalui register, yang memungkinkan pengguna mengatur resolusi pengukuran dan memilih mode operasi, baik berkelanjutan (*continuous*) maupun dipicu oleh peristiwa tertentu (*triggered*). Dalam mode operasi normal, sensor akan terus-menerus mengukur tegangan shunt dan tegangan bus sesuai dengan pengaturan rata-rata yang telah

ditentukan. Fleksibilitas ini membuat INA219 sangat cocok digunakan dalam sistem monitoring daya yang membutuhkan keakuratan tinggi dan pengambilan keputusan otomatis (Cipta, 2008). Skema sederhana pada sensor INA219 dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Skema Sederhana INA219 (Arum dkk., 2024)

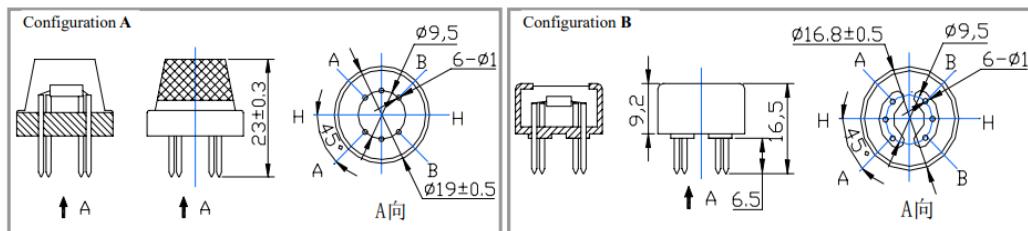
sensor INA 219 berfungsi sebagai input untuk mengambil data arus, tegangan, dan daya. Data yang dihasilkan oleh sensor ini akan diproses secara langsung oleh mikrokontroller ESP (Wardhany dkk., 2024). Gambar sensor INA219 dapat dilihat pada **Gambar 3**



Gambar 3 Sensor INA219

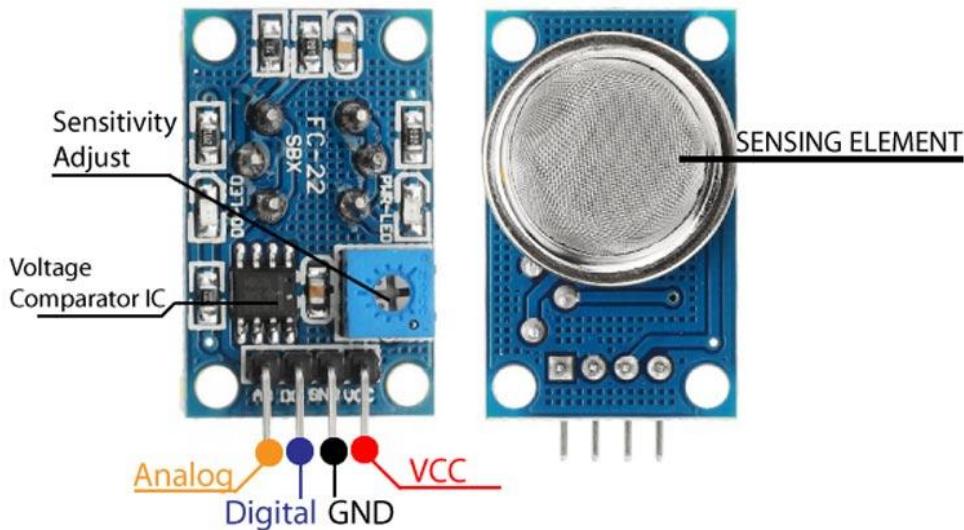
2.4 Sensor MQ-8

Sensor MQ-8 merupakan salah satu jenis sensor gas yang sering digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas hidrogen, metana, dan alkohol. Sensor ini dilengkapi dengan pengkondisi sinyal internal yang memungkinkan konversi sinyal analog menjadi data yang lebih mudah diproses. MQ-8 menggunakan bahan semikonduktor yang sensitif terhadap gas-gas tertentu, sehingga mampu mendeteksi konsentrasi gas yang ada di udara. Dengan kemampuannya untuk mendeteksi gas-gas berbahaya, sensor MQ-8 banyak digunakan dalam aplikasi sistem deteksi kebocoran gas, sistem keamanan, dan pengawasan lingkungan. Sensitivitasnya terhadap berbagai jenis gas membuatnya sangat *fleksibel* untuk diterapkan dalam berbagai jenis sistem pemantauan kualitas udara dan keselamatan, di mana deteksi dini terhadap kebocoran gas dapat mengurangi risiko bahaya (Safitri dkk., 2024). Struktur sensor MQ-8 dapat dilihat pada **Gambar 4**



Gambar 4 Struktur dan konfigurasi sensor MQ-8

Struktur dan konfigurasi sensor gas MQ-8 ditunjukkan pada Gambar 2.7 (Konfigurasi A atau B), sensor tersusun dari tabung keramik lapisan sensitif Timah Dioksida (SnO_2), elektroda pengukur, dan pemanas dipasang ke dalam kerak yang terbuat dari plastik dan jaring baja tahan karat. Pemanas menyediakan kondisi kerja yang diperlukan untuk kerja komponen sensitif. MQ-8 yang terbungkus memiliki 6 pin, 4 di antaranya digunakan untuk mengambil sinyal, dan 2 lainnya digunakan untuk menyediakan arus pemanas. Sensor MQ-8 dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Sensor MQ-8

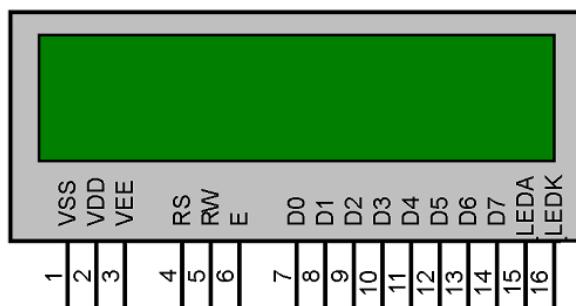
Sensor MQ-8 adalah sensor gas yang sensitif terhadap gas karbon monoksida , serta dapat mendeteksi gas lain seperti hidrogen dan metana. Sensor ini menggunakan bahan semikonduktor yang sensitif terhadap gas-gas tertentu, yang memungkinkan deteksi gas dengan tingkat konsentrasi hingga 29 ppm. MQ-8 dilengkapi dengan pengkondisi sinyal internal yang mempermudah konversi sinyal analog menjadi data yang dapat diproses oleh mikrokontroler, menjadikannya ideal untuk aplikasi deteksi gas pada berbagai sistem keamanan dan pemantauan kualitas udara (Nugraha, 2018).

2.5 Liquid Crystal Display

LCD 16x2 merupakan jenis tampilan visual yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, termasuk dalam sistem mikrokontroler. LCD ini memiliki dua baris dengan masing-masing baris dapat menampilkan 16 karakter alfanumerik. Sebagai penampil pada rancangan alat, LCD 16x2 sangat efektif dalam menampilkan informasi secara langsung, seperti status sistem, hasil pengukuran, atau pesan lainnya yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Penggunaan LCD 16x2 dalam sistem berbasis mikrokontroler memungkinkan interaksi yang mudah antara pengguna dan perangkat, serta memberikan kemudahan dalam monitoring dan

pengendalian sistem secara real-time. Proses pengujian LCD 16x2 bertujuan untuk memastikan bahwa karakter atau data yang dikirimkan oleh mikrokontroler dapat ditampilkan dengan benar sesuai dengan program yang diunduh, yang menjamin keandalan sistem dalam memberikan informasi yang tepat kepada pengguna (Rahmawati.2012).

Layar ini memiliki dua baris dengan kapasitas masing-masing untuk menampilkan 16 karakter alfanumerik, memungkinkan pengguna untuk melihat informasi secara jelas dan terstruktur. Untuk mengendalikan tampilan pada LCD, blok LCDFSM (*LCD Finite State Machine*) berperan penting sebagai pengontrol yang menghasilkan sinyal-sinyal yang diperlukan. Sinyal "enable" digunakan untuk mengaktifkan komunikasi dengan LCD, sementara sinyal "RS" *Register Select* mengontrol apakah data yang dikirim adalah perintah atau karakter yang akan ditampilkan. LCD ini memerlukan pengaturan yang tepat untuk memanipulasi karakter yang muncul di layar, yang dipengaruhi oleh operasi baca dan tulis yang dikelola oleh pengontrol memori. Dengan menggunakan LCD 16x2, sistem dapat menampilkan data secara efisien dan memberikan *feedback visual* kepada pengguna secara *real-time* (Pooja, 2021) Gambar LCD dapat dilihat pada **Gambar 7**



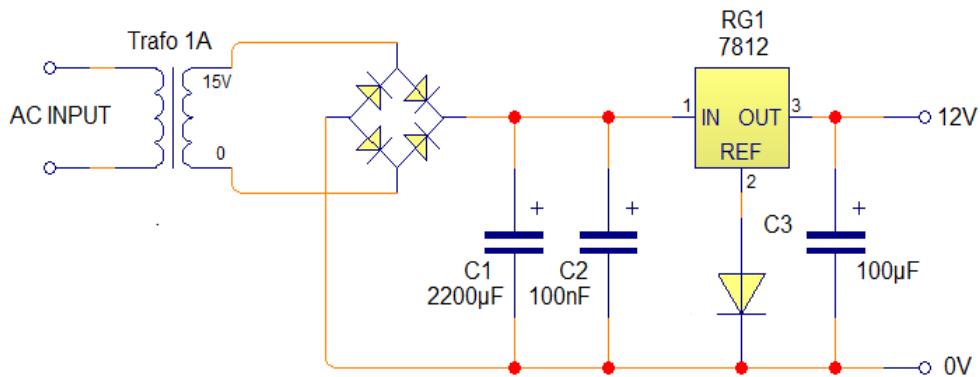
Gambar 7 LCD *Liquid Crystal Display* (pooja,2021).

2.6 Power Supply

Power supply komponen penting dalam sistem elektronika yang berfungsi mengubah tegangan AC *Alternating Current* menjadi DC *Direct Current* untuk menyupplai perangkat elektronik. Dalam penelitian oleh Sander et al. (2022), adaptor 12V digunakan untuk mengubah tegangan AC dari PLN menjadi tegangan DC *Direct Current* yang stabil, yang diperlukan oleh berbagai perangkat elektronik seperti amplifier dan televisi mini. Adaptor ini dirancang untuk memberikan

tegangan output yang sesuai dengan kebutuhan perangkat, memastikan kinerja yang optimal.

Desain power supply 12 volt dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya menggunakan transformator *step-down* untuk menurunkan tegangan AC sebelum diubah menjadi *Direct Current* (Wardani dan Manan., 2016), *power supply inverter* DC-DC dirancang menggunakan *topologi half-bridge converter* dengan input 12V DC *Direct Current* untuk menghasilkan output tegangan yang lebih tinggi, menunjukkan fleksibilitas dalam desain catu daya. Selain itu, penggunaan regulator tegangan seperti IC 7812 juga umum dalam merancang *power supply* 12V untuk memastikan kestabilan tegangan output. Rangkaian pada Powwer supply dapat dilihat pada **Gambar 8**



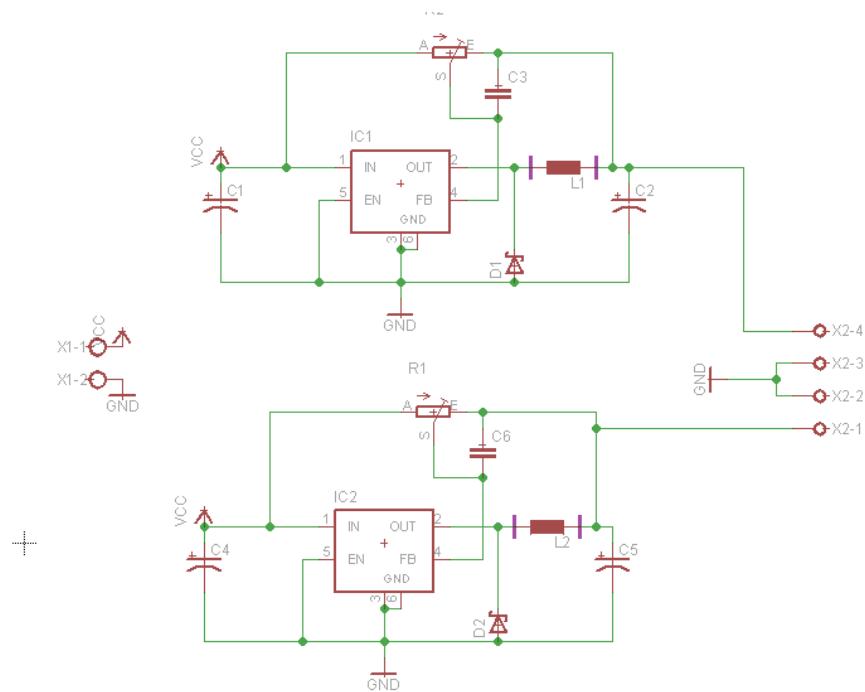
Gambar 8 Rangakaian *power supply* 12 volt (umar dkk.,2021)

Ditunjukkan gambar 8 Rangkaian ini merupakan *power supply* dengan tegangan keluaran 12volt DC menggunakan trafo *step down* 220 volt AC ke 15 volt AC sebagai penurun tegangan. Setelah itu tegangan disearahkan dengan *dioda bridge* kemudian distabilkan pada 12volt DC menggunakan IC regulator 7812. Karena keluaran *IC regulator* tidak lebih dari 1 Ampere sementara kebutuhan arus termoelektrik minimal 2 Ampere maka digunakan transistor TIP 3055 untuk menaikkan arus. Penambahan kapasitor sebelum IC regulator 7812 sebagai filter untuk mengurangi riak tegangan DC dari diode (Umar dkk.,2021).

2.6.1 Modul Step Down

Modul *step-down*, atau dikenal sebagai *buck converter*, adalah rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC dari nilai yang lebih tinggi ke nilai yang lebih rendah, seperti 5 volt, dengan efisiensi tinggi. Salah satu modul yang umum digunakan adalah LM2596, yang mampu menurunkan tegangan input antara 4V hingga 40V menjadi output tetap sebesar 5V dengan arus maksimum hingga 3A. Modul ini memiliki efisiensi konversi yang tinggi dan dilengkapi dengan proteksi arus lebih serta *frekuensi switching* sebesar 150 kHz, memungkinkan penggunaan komponen filter yang lebih kecil (Ilham.,2016)

Dalam aplikasi praktis, modul LM2596 sering digunakan untuk menyediakan catu daya 5V yang stabil bagi mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32. Misalnya, dalam sistem komunikasi berbasis LoRa, modul step-down ini digunakan untuk menurunkan tegangan dari 12V ke 5V guna menyuplai daya ke Arduino Uno, memastikan kestabilan operasi perangkat. Keunggulan modul ini dibandingkan dengan metode penurun tegangan konvensional adalah kemampuannya menjaga tegangan output tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi pada tegangan input (Mika dkk.,2022).



Gambar 9. Rangkaian Modul Step Down (Rakhman dkk.,2022)

Rangkaian pertama terdiri dari IC1, yang merupakan IC *step-down switching* regulator 5-pin, dilengkapi dengan kapasitor *input* (C1), kapasitor *output* (C2), induktor (L1), dioda Schottky (D1), dan kapasitor *bypass/filter* (C3). IC switching ini menerima tegangan VCC, kemudian melalui proses *switching* dikombinasikan dengan L1 dan D1 menghasilkan tegangan output DC yang stabil, dengan C2 sebagai filter akhir untuk menghaluskan ripple (Rakhman dkk., 2022).

Dioda D1 berperan untuk mengarahkan arus selama siklus off transistor internal IC, sedangkan L1 berfungsi menyimpan energi dalam bentuk medan magnet saat IC mengalirkan arus, lalu melepaskannya saat off — prinsip utama kerja konverter buck (Rahmat, 2021). Kapasitor C3 di sisi output regulator digunakan untuk memfilter noise switching dan membantu kestabilan rangkaian. Bagian kedua dari gambar menunjukkan konfigurasi serupa, dengan komponen IC2, L2, D2, C4, C5, dan C6, serta satu resistor (R1) yang terhubung pada jalur umpan balik (feedback). Rangkaian ini kemungkinan digunakan untuk menghasilkan tegangan output berbeda pada kanal lain atau sebagai catu daya ganda (dual output) (Widodo dan Anshori, 2020). Rangkaian seperti ini umum digunakan pada sistem mikrokontroler dan embedded system karena efisiensi tinggi dan kemampuannya mempertahankan tegangan stabil meskipun beban bervariasi (Haryanto dan Putra, 2021).

Selain LM2596, terdapat modul *step-down lain* seperti XL4016 yang mampu menangani arus beban hingga 8A, cocok untuk aplikasi yang memerlukan daya lebih besar. Modul ini juga memiliki efisiensi tinggi dan dilengkapi dengan fitur proteksi arus lebih serta frekuensi switching sebesar 180 kHz. Pemilihan modul step-down yang tepat, seperti LM2596 atau XL4016, tergantung pada kebutuhan arus dan tegangan output yang diinginkan dalam suatu aplikasi (Fatimah dkk., 2020).

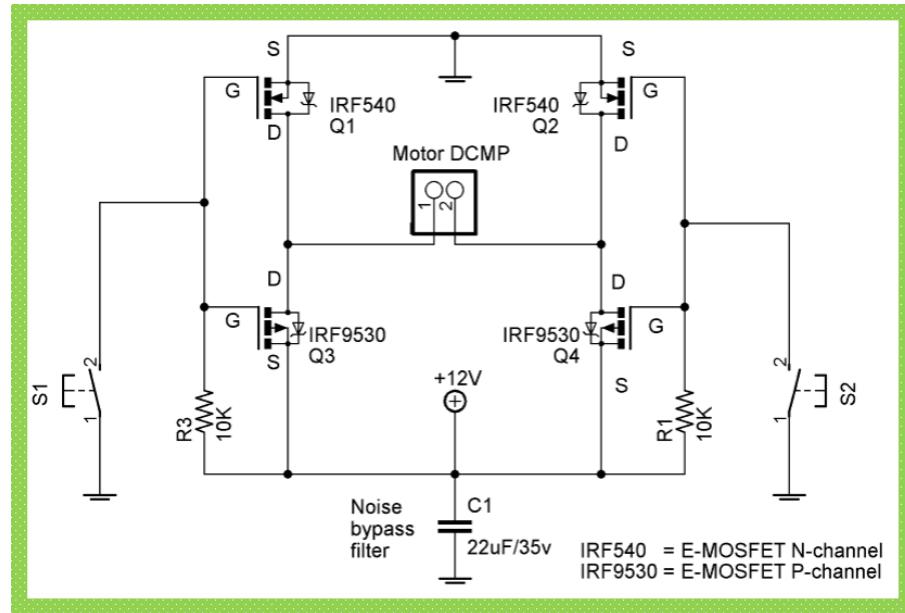
2.7 Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

Modul MOSFET *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* komponen penting dalam sistem elektronika daya karena kemampuannya sebagai saklar elektronik berkecepatan tinggi dan efisiensi tinggi. MOSFET memiliki tiga

terminal utama: *gate*, *drain*, dan *source*, dengan *gate* yang diisolasi oleh lapisan oksida, memungkinkan pengendalian arus tanpa kontak langsung antara gerbang dan kanal konduksi. Keunggulan utama MOSFET dibandingkan transistor biasa adalah kebutuhan arus yang sangat kecil untuk mengaktifkannya (kurang dari 1 mA), sementara mampu menghantarkan arus beban yang jauh lebih tinggi (10 hingga 50 A atau lebih).

Dalam aplikasi praktis, MOSFET sering digunakan dalam rangkaian inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Sebagai contoh, penelitian oleh Ramadhan (2022) merancang inverter satu fasa menggunakan driver EGS002 dan MOSFET sebagai saklar, yang mampu menghasilkan output 220VAC dengan gelombang sinus murni. Selain itu, MOSFET juga digunakan dalam sistem transfer daya nirkabel, seperti yang ditunjukkan oleh Adli dkk (2023) dalam pengembangan programmable frequency generator berbasis H-bridge MOSFET IRF3205 untuk aplikasi wireless power transfer.

Dalam pengendalian motor DC, MOSFET digunakan sebagai saklar dalam metode Pulse Width Modulation (PWM) untuk mengatur kecepatan motor. Suhendra et al. (2018) merancang rangkaian pengendali kecepatan motor DC menggunakan transistor IR630 (n-channel MOSFET), di mana potensiometer digunakan sebagai masukan analog yang diubah menjadi sinyal PWM untuk menggerakkan motor. Penggunaan MOSFET dalam aplikasi ini memungkinkan kontrol kecepatan motor yang lebih presisi dan efisien dapat dilihat pada **Gambar 10**



Gambar 10 Rangkaian Mosfet Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (yuliani.,2020)

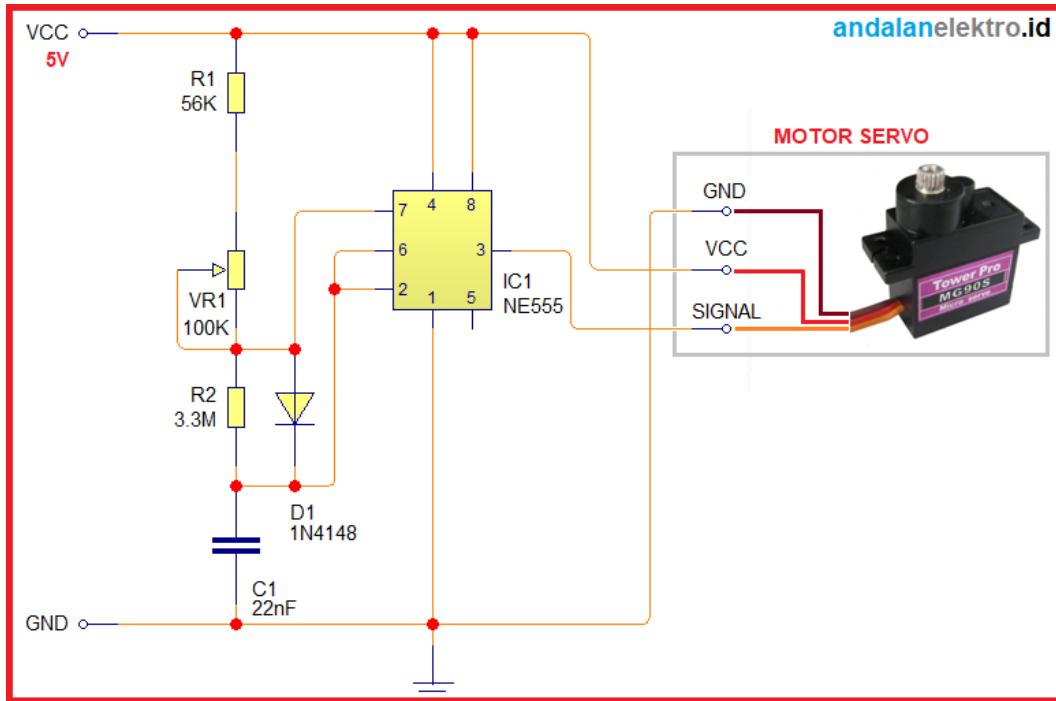
Rangkaian pada gambar 10 menunjukkan konfigurasi H-Bridge menggunakan empat buah MOSFET, yaitu dua IRF540 (N-Channel) sebagai saklar sisi bawah dan dua IRF9530 (P-Channel) sebagai saklar sisi atas, yang digunakan untuk mengatur arah putaran motor DC magnet permanen (DCMP) dengan sumber tegangan 12V. MOSFET IRF540 (Q1 dan Q2) bekerja optimal untuk mengalirkan arus ke ground saat gate-nya diberi tegangan tinggi, karena karakteristik yang rendah dan switching yang cepat (Arifin, 2018). Sementara itu, IRF9530 (Q3 dan Q4) sebagai P-Channel MOSFET aktif saat gate bernilai lebih rendah dari source-nya, digunakan untuk mengalirkan arus dari +12V ke motor (Yuliani dan Prasetyo, 2020). Motor DCMP diposisikan di tengah H-Bridge dan arah putarannya ditentukan oleh kombinasi aktifasi diagonal dari pasangan MOSFET, seperti Q1-Q4 atau Q2-Q3 (Saputra dkk., 2021). Dua buah saklar manual (S1 dan S2) digunakan sebagai input kontrol yang memungkinkan pengguna memilih arah putaran motor secara manual melalui logika sederhana (Rahman & Widodo, 2020). Resistor 10KΩ (R1 dan R3) berfungsi sebagai pull-down resistor untuk memastikan gate MOSFET tidak mengambang saat tidak diberi sinyal, mencegah aktifasi tidak sengaja akibat gangguan tegangan (Setyawan, 2019). Selain itu, kapasitor C1 dengan nilai 22μF/35V dipasang sebagai bypass filter untuk mengurangi noise tegangan pada jalur catu daya, sehingga

rangkaian tetap stabil saat switching MOSFET berlangsung (Surya dan Hadi, 2020).

2.8 Servo

Motor servo merupakan komponen aktuator yang banyak digunakan dalam sistem otomasi dan robotika karena kemampuannya mengatur posisi, kecepatan, dan torsi secara presisi. Dalam penelitian oleh Hadi (2022), diterapkan kontroler proporsional modifikasi pada motor servo untuk meningkatkan akurasi posisi, yang menunjukkan penurunan error steady state dan nilai RMSE yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional. Selain itu, Yufrida dkk (2021). Mengimplementasikan metode kontrol PI pada motor servo dalam sistem Automatic Pallet Dispenser, yang berhasil mengatur kecepatan dan torsi motor secara optimal melalui proses auto-tuning. Ma'arif dkk. (2021) juga menerapkan kontrol PID pada motor servo dalam sistem sortir berat adonan, yang menghasilkan tingkat akurasi tinggi dalam pemilahan berat adonan.

Penggunaan motor servo juga meluas dalam berbagai aplikasi praktis lainnya. Hayubi dkk. (2024) mengembangkan sistem penggerak servo SG90 berbasis Arduino Uno dengan kontrol sudut dinamis, yang memungkinkan pengaturan sudut secara real-time menggunakan input dari potensiometer. Muhida dkk. (2023) merancang robot ikan yang digerakkan oleh motor servo dan dikendalikan dari jarak jauh menggunakan ESP32, yang mampu meniru gerakan alami ikan dengan efisiensi tinggi di dalam air. Rusdiyanto dkk. (2021) menggunakan motor servo MG996R sebagai aktuator dalam robot pemegang batang nosel pada sprayer elektrik berbasis Arduino Mega2560, yang berhasil meningkatkan konsistensi jarak semprot pada tanaman padi. Ma'arif dkk. (2022) memodifikasi cutter carrier pada mesin Bias Cutter dengan mengganti motor induksi menjadi motor servo yang dikendalikan oleh PLC, yang berhasil menurunkan cycle time dari 3,8 detik menjadi 3,0 detik dan meningkatkan produktivitas harian. Dapat dilihat pada **Gambar 11**



Gambar 11 Contoh Skematik Rangkaian Aplikasi Motor Servo

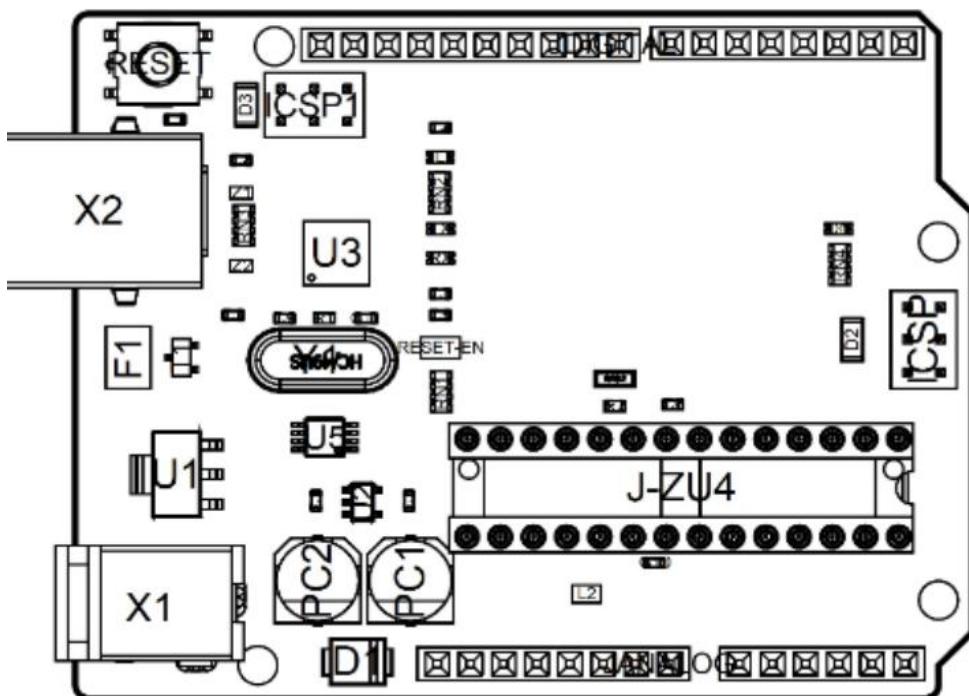
menggunakan IC NE555 dalam konfigurasi *astable* multivibrator untuk mengontrol posisi servo motor Tower Pro MG90S. Tegangan catu sebesar 5V diberikan ke rangkaian, di mana resistor R1 ($56\text{ k}\Omega$), VR1 ($100\text{ k}\Omega$) sebagai variabel resistor (potensiometer), dan R2 ($3.3\text{ M}\Omega$) membentuk rangkaian pembagi tegangan dan kontrol waktu pengisian dan pengosongan kapasitor C1 (22 nF), yang menentukan periode sinyal output dari IC NE555 (Haryanto dan Lestari, 2019). Dioda D1 (1N4148) berfungsi sebagai penyearah arus untuk memisahkan jalur pengisian dan pengosongan C1, sehingga memungkinkan pengaturan duty cycle secara lebih fleksibel (Ramadhan dan Siregar, 2020).

IC NE555 (IC1) diatur sebagai timer yang menghasilkan sinyal PWM di pin 3 (output), di mana lebar pulsa PWM dapat disesuaikan dengan memutar VR1. Output PWM ini kemudian dikirimkan ke pin sinyal servo motor, sementara VCC dan GND servo terhubung langsung ke sumber daya 5V. Sinyal PWM yang diberikan ke motor servo berfungsi untuk mengatur sudut putar motor, yang pada umumnya membutuhkan pulsa dengan lebar 1 ms hingga 2 ms dalam periode 20 ms untuk menghasilkan sudut 0° hingga 180° (Siregar dkk., 2021). Rangkaian ini banyak digunakan dalam proyek-proyek mikrokontroler yang memerlukan kontrol

motor presisi tanpa menggunakan mikrokontroler secara langsung, karena mampu menghasilkan sinyal PWM mandiri secara stabil (Yulianingsih dan Wicaksono, 2022).

2.9 Arduino Uno R3

Pada sistem pengukuran berbasis mikrokontroler, sinyal yang diterima dari sensor biasanya berupa sinyal analog yang perlu dikonversi menjadi bentuk digital agar *Analog-to-Digital Converter* (ADC), yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital berupa bit. Pada Arduino Uno R3, ADC berperan penting dalam mengonversi tegangan analog yang diterima dari sensor menjadi nilai digital, sehingga data tersebut dapat digunakan oleh mikrokontroler untuk berbagai pengolahan lebih lanjut. Proses ini memungkinkan mikrokontroler untuk membaca dan memanipulasi data yang sebelumnya berupa sinyal kontinu, menjadi format diskrit yang sesuai dengan kebutuhan pemrosesan digital.(Tampubolon dan 2019) Setelah sinyal analog dari sensor diterima dan dikonversi menjadi data digital oleh ADC pada Arduino, mikrokontroler akan memproses informasi tersebut untuk menentukan apakah terdapat objek yang terdeteksi. Proses ini biasanya melibatkan algoritma pemrograman yang disesuaikan dengan jenis sensor yang digunakan, seperti sensor ultrasonik, inframerah, atau sensor jarak lainnya. Ketika sensor mendeteksi objek, sinyal yang diterima akan mengindikasikan perubahan pada nilai sensor, seperti jarak atau intensitas cahaya, yang kemudian diteruskan ke mikrokontroler. Mikrokontroler kemudian akan melakukan evaluasi terhadap data yang diterima, dan memberikan respons sesuai dengan logika yang telah diprogram, seperti mengaktifkan output atau mengirimkan peringatan. Dengan cara ini, sistem dapat merespons perubahan lingkungan secara real-time berdasarkan hasil pengolahan data dari sensor (Wulandari dkk., 2021)



Gambar 12 Skema Arduino Uno R3 (Wulandari dkk., 2021)

Arduino UNO R3, yang berbasis mikrokontroler ATmega328, platform mikrokontroler yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi sistem otomasi dan kontrol, termasuk dalam sistem pengairan atau irigasi. Mikrokontroler ini memiliki kemampuan untuk mengendalikan berbagai perangkat keras melalui *input* dan *output* digital maupun analog, serta dilengkapi dengan berbagai pin I/O yang memungkinkan komunikasi dengan sensor, aktuator, dan perangkat lainnya dapat dilihat pada **Gambar 13.**(Samsugi dkk., 2020).



Gambar 13 Arduino Uno (Samsugi dkk., 2020).

Jenis Arduino yang paling sering digunakan. Terutama untuk pemula atau media pembelajaran sangat disarankan menggunakan Arduino Uno. Selain banyaknya referensi yang membahas jenis arduino yang satu ini, juga karena chip mikrokontroller yang digunakan memakai jenis DIL / DIP (*Dual In-Line Package*). Sangat memudahkan pengguna mengganti chip mikrokontroller, jika terjadi kerusakan, dan juga kompatible dengan banyak *Shield* tambahan seperti, Ethernet, SD-CARD, GSM,dll. Versi yang terakhir adalah Arduino uno R3, menggunakan chip mikrokontroller Atmel AVR ATMEGA328, memiliki 14 pin I/O digital (6 diantaranya pin PWM), 6 pin input analog, Komunikasi USB A to USB B (USB Printer) memudahkan komunikasi hardware dengan perangkat komputer / laptop(Dani Sasmoko, 2019).

III.METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 10 oktober 2024 sampai dengan 1 april 2025 di Laboratorium Hidro Elektro Metalurgi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Lampung di Jalan Ir. Sutami Km. 15, Tanjung Bintang, Sindang Sari, Lampung Selatan, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35361.

3.2 Alat Dan Bahan Penelitian

Alat alat yang digunakan untuk rancang bangun alat pengukur arus Elektrodepositi berbasis hukum faraday dengan pemantauan gas hidrogen menggunakan sensor MQ 8 ini sebagai berikut.

1. Modul step down LM2596 digunakan sebagai penurun tegangan dari 12 volt power supply ke 5 volt.
2. Sensor Tegangan INA219 digunakan untuk Pengukur arus dengan membaca tegangan.
3. Sensor Gas Hidrogen MQ-8 digunakan sebagai pembaca gas hidrogen pada proses elektrodepositi
4. Modul Mosfet IRF520 digunakan sebagai pembaca gas hidrogen pada proses elektrodepositi
5. Elektroda *stainless steel* digunakan sebagai material tempat nikel mengendap
6. Gelas beaker digunakan sebagai wadah larutan elektrolit
7. Motor Servo HITEC HS422 mengontrol posisi sudut dengan sinyal masukan berupa PWM *Pulse Width Modulation*

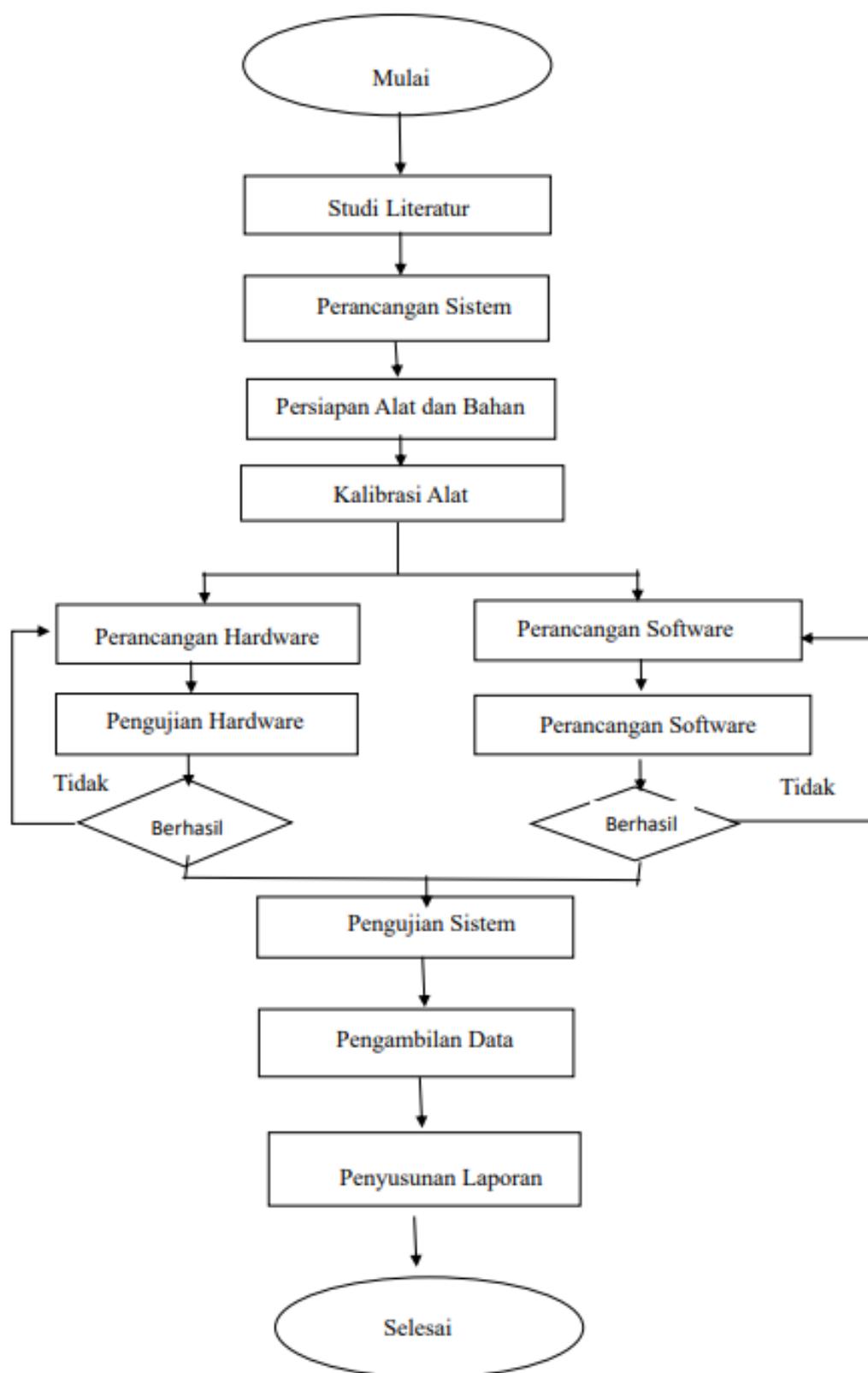
8. Potensio meter 5 ohm berfungsi untuk mengubah tegangan.
9. Power supply 12 Volt digunakan sebagai pemberi tegangan listrik pada elektroda
10. LCD *Liquid Crystal Display*16X4 digunakan sebagai pembaca arus, tegangan, dan gas hidrogen.
11. Laptop/PC digunakan sebagai memprogram mikrokontroler.
12. Kabel digunakan sebagai penyambung rangkaian
13. Multimeter digunakan sebagai alat kalibrasi

Bahan bahan yang digunakan untuk rancang bangun alat pengukur arus Elektrodepositi berbasis hukum faraday dengan pemantauan gas hidrogen menggunakan sensor mq 8 sebagai berikut.

1. Larutan elektrolit (H_2SO_4) digunakan sebagai proses elektrodepositi.
2. Nikel sulfat ($NiSO_4$) digunakan sebagai Sebagai sumber ion nikel untuk mengendap katode.
3. Aquades digunakan sebagai Melarutkan bahan kimia dan mencuci alat setelah proses.
4. Mikrokontroler (arduino uno) yaitu alat untuk mengendalikan pengukuran arus, tegangan, waktu, dan membaca sensor.

3.3 Prosedur Penelitian

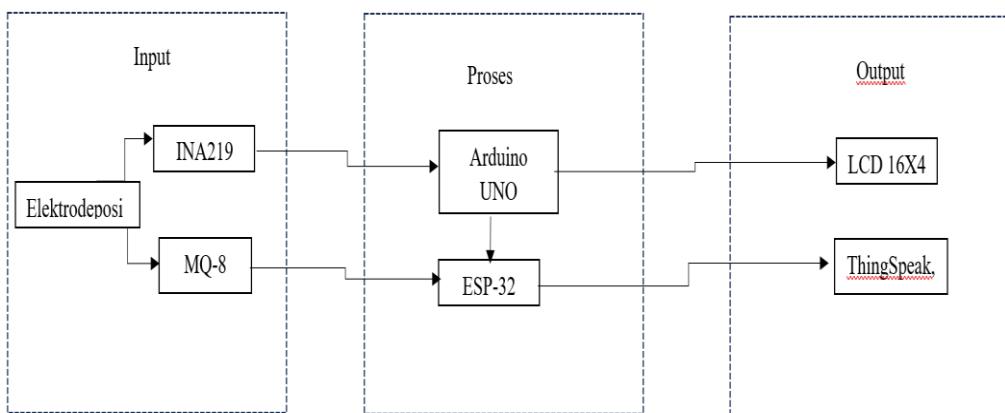
Secara garis besar, perancangan alat pengukur arus elektrodepositi berbasis hukum faraday dengan pemantauan gas hidrogen ini menjadi beberapa bagian yaitu perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, dan analisis data. Diagram alir keseluruhan proses dapat dilihat pada **Gambar 14**



Gambar 14 Diagram alir keseluruhan

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras merupakan tahap penyusunan komponen-komponen elektronika menjadi satu kesatuan sistem agar bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari Arduino Uno, ESP32, AC712, modul Step down, sensor gas MQ-8, LCD 16X2, *Mosfet*, *power supply*, motor servo, potensio meter, elektroda *stainless steel*, larutan H₂SO₄, gelas beaker. Diagram blok perancangan perangkat keras pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar15**

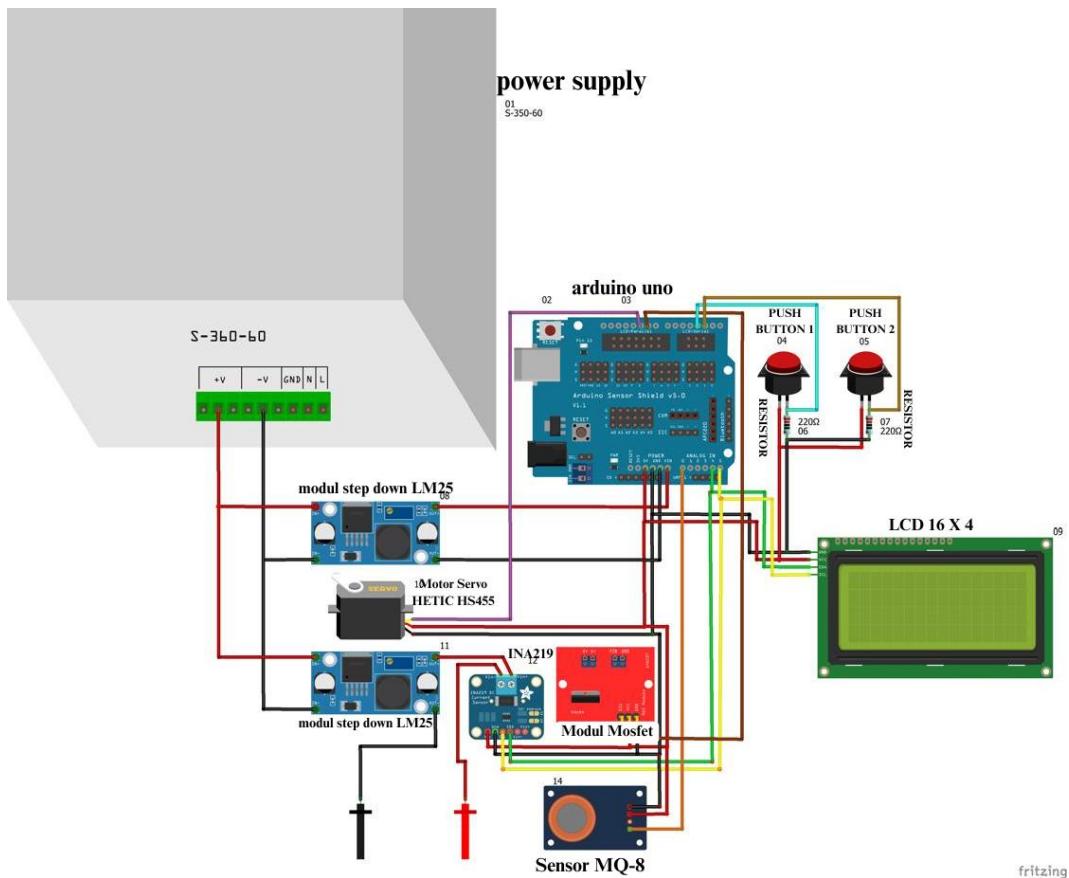


Gambar 15 Diagram Perangkat Keras

Dalam sistem alat pengukur arus pada proses elektrodepositi ini, komponen-komponen penting dapat dibagi ke dalam tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, terdapat beberapa komponen kunci yang berfungsi sebagai sumber data utama sistem. Sensor INA219 bertugas untuk mengukur arus dan tegangan listrik yang digunakan dalam proses elektrodepositi, di mana nilai-nilai ini sangat penting untuk menghitung massa logam (dalam hal ini nikel) yang terdepositi menggunakan hukum Faraday. Selain itu, sensor MQ-8 digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas hidrogen di sekitar sel elektrolisis, yang merupakan produk samping dari reaksi elektrokimia.

Pada bagian proses, Arduino Uno berperan sebagai pusat pengolahan data. Arduino akan membaca data dari sensor INA219 dan sensor MQ-8, lalu melakukan

pengolahan data tersebut untuk menghitung tegangan, arus, serta konsentrasi gas hidrogen dalam satuan ppm. Berdasarkan nilai arus dan waktu proses, Arduino juga akan menghitung massa nikel yang terendapkan menggunakan hukum Faraday, selain itu Arduino juga menangani logika tombol input, misalnya hanya menghitung waktu jika tombol "start" ditekan dan menghentikan proses saat tombol "stop" ditekan. Dan untuk data real timenya akan ada dalam thingsspeak. Skema untuk perangkat keras dapat dilihat pada **Gambar 16**



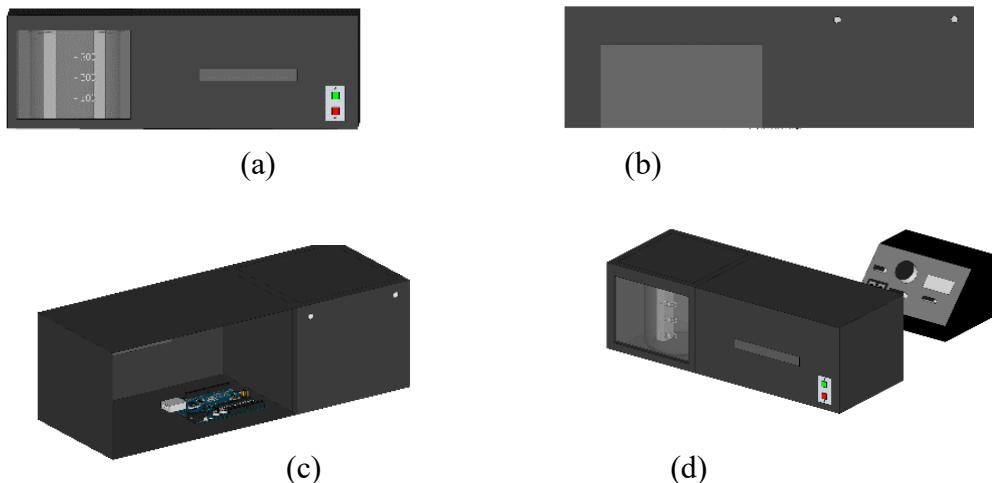
Gambar 16 Skema Rangkaian Perangkat Keras

Rangkaian ini menggunakan power supply S-350-60 sebagai sumber tegangan utama yang kemudian didistribusikan ke modul *step-down* LM2596 untuk menurunkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan komponen, seperti Arduino Uno, sensor MQ-8, sensor INA219, dan motor servo. Output tegangan yang telah distabilkan masuk ke Arduino melalui jalur *VIN/GND* sehingga mikrokontroler dapat berfungsi sekaligus bertindak sebagai pusat kendali seluruh sistem. Aliran

tegangan *positif* dan *ground* ditata paralel sehingga semua komponen bekerja pada referensi tegangan yang sama.

Arduino Uno dihubungkan dengan beberapa perangkat input dan output. Dua push button terhubung ke pin digital melalui konfigurasi pull-down resistor $220\ \Omega$ sehingga Arduino dapat mendeteksi logika *HIGH/LOW* saat tombol ditekan atau dilepas. LCD 16x4 terhubung melalui jalur data digital untuk menampilkan informasi sistem secara real-time. Sensor INA219 terhubung melalui jalur komunikasi I2C (SDA dan SCL) karena bertugas mengukur arus dan tegangan dari sistem elektrolisis, sementara sensor MQ-8 terhubung ke pin analog untuk mendeteksi gas hidrogen hasil proses elektrokimia.

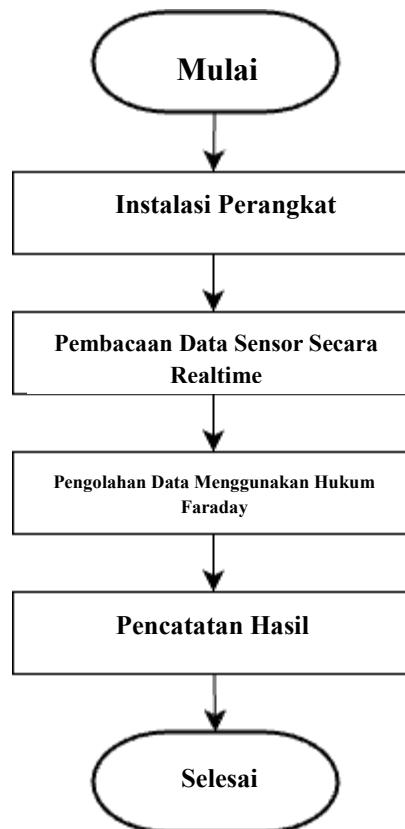
Motor servo dikendalikan melalui salah satu pin PWM Arduino untuk mengatur gerakan mekanik berdasarkan kondisi yang terukur oleh sensor. Sensor INA219 dan MQ-8 mengirimkan data ke Arduino untuk dianalisis secara simultan, dan hasilnya ditampilkan pada LCD serta menjadi dasar aktivitas servo. Dengan struktur sambungan yang terorganisir antara sumber daya, sensor, aktuator, dan display, rangkaian ini membentuk sebuah sistem elektrokimia otomatis yang mampu memantau kondisi, menampilkan informasi, dan melakukan aksi mekanik secara terintegrasi.



Gambar 17 Desain keseluruhan perangkat keras (a) tampak depan
(b) tampak belakang (c) tampak samping (d) tampak dalam

3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

perancangan perangkat lunak merupakan tahap memasukan kode program dan rumus hukum faraday pada *software arduino ide* menjadi satu kesatuan sistem agar dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari Arduino ide, pc/laptop. Diagram blok perancangan perangkat lunak pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 18**



Gambar 18 Skema rangkaian perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini bertujuan untuk mengotomatiskan pengukuran arus, tegangan, dan kadar gas hidrogen dalam proses elektrodepositi, serta menghitung massa nikel yang terdeposit menggunakan hukum Faraday. Proses dimulai dengan instalasi sistem, di mana mikrokontroler (Arduino Uno) mengaktifkan komunikasi dengan sensor dan modul yang terhubung. Pada tahap ini, memasukan kode program kedalam arduino ide untuk tampilan LCD, dan menggunakan sensor gas MQ-8 sensor arus ACS712 sensor tegangan INA219 dimuat agar sistem dapat membaca data dengan optimal. Parameter awal seperti batas arus, tegangan maksimum, serta ambang deteksi kadar

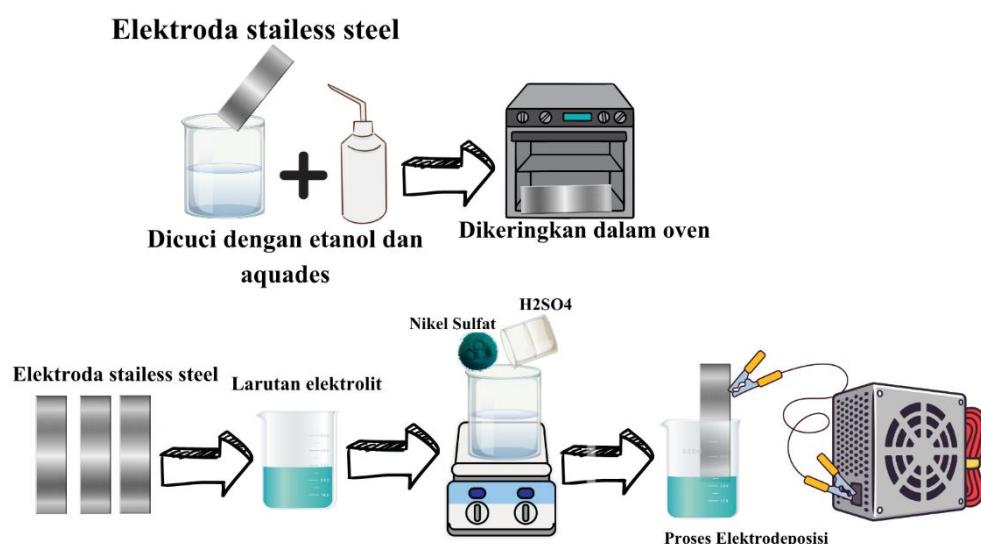
gas hidrogen juga ditentukan dalam kode agar sistem dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Setelah sistem siap, perangkat lunak memasuki tahap pembacaan data sensor. Mikrokontroler mulai membaca nilai dari sensor tegangan INA219, dan sensor gas MQ-8 secara berkala dalam interval waktu tertentu untuk memastikan stabilitas dan keakuratan data. Sensor arus mendeteksi besarnya arus yang mengalir dalam sistem elektrodepositi, sedangkan sensor tegangan mengukur tegangan yang diberikan pada elektroda. Sementara itu, sensor MQ-8 berfungsi untuk mendeteksi kadar gas hidrogen yang terbentuk akibat reaksi elektrokimia. Semua data yang diperoleh kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk diproses lebih lanjut.

Setelah pembacaan data, sistem melanjutkan ke tahap pengolahan data dan perhitungan. Data arus dan tegangan yang diperoleh digunakan untuk menghitung massa nikel yang terdeposit pada elektroda menggunakan hukum Faraday. di mana adalah arus listrik dalam ampere, adalah waktu elektrodepositi dalam detik, adalah massa molar nikel (58.69 g/mol), adalah jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi, dan adalah konstanta Faraday (96485 C/mol). Dengan menggunakan perhitungan ini, perangkat lunak dapat menentukan jumlah nikel yang terdeposit pada elektroda selama periode tertentu.

Setelah proses perhitungan selesai, data hasil pengolahan kemudian dikirim ke tampilan LCD 16x4, yang menampilkan nilai arus, tegangan, massa nikel yang telah terdeposit, serta kadar gas hidrogen yang terdeteksi. Jika parameter yang diukur melebihi atau berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sistem dapat memberikan peringatan atau bahkan mengaktifkan modul relay untuk mengontrol proses elektrodepositi secara otomatis. Selain itu, data yang diperoleh juga dapat dikirim ke komputer melalui Serial Monitor Arduino untuk pencatatan dan analisis lebih lanjut menggunakan perangkat lunak Secara keseluruhan, perangkat lunak ini memungkinkan sistem untuk bekerja secara otomatis, mulai dari pengukuran sensor, perhitungan massa nikel, hingga pengendalian proses elektrodepositi. Dengan adanya sistem ini, proses elektrodepositi dapat dipantau dengan lebih akurat dan efisien, serta memberikan data yang lebih sistematis untuk analisis hasil eksperimen

3.3.3. Proses Elektrodepositi

Proses elektrodepositi pada penelitian ini diawali dengan pembuatan larutan elektrolit. Bahan utama yang digunakan adalah nikel sulfat heksahidrat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), H_2SO_4 , dan aquades. Nikel sulfat dilarutkan dengan H_2SO_4 kemudian ditambahkan aquades hingga diperoleh larutan dengan konsentrasi 0,1 M, pH 3, dan volume total 1 liter. Larutan elektrolit yang telah terbentuk kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan bantuan *hotplate* pada suhu 80 °C dan kecepatan 200 rpm selama 1 jam untuk memastikan homogenitas larutan. Setelah selesai, larutan didinginkan dan masing-masing sebanyak 100 mL dipindahkan ke dalam gelas beaker berukuran 100 mL untuk tiap sampel percobaan. Elektroda yang digunakan adalah *stainless steel* sebagai katoda dan anoda. Sebelum digunakan, elektroda terlebih dahulu dipreparasi dengan cara dihaluskan menggunakan amplas, dicuci menggunakan larutan NH_3 dan sabun, lalu dibilas dengan aquades hingga benar-benar bersih. Elektroda yang sudah bersih kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 1 jam. Setelah elektroda siap, kedua elektroda stainless steel tersebut dimasukkan ke dalam gelas beaker yang berisi larutan elektrolit. Selanjutnya, elektroda dihubungkan dengan *power supply*, di mana dua stainless steel dihubungkan ke katoda dan anoda. Ion nikel dalam larutan akan mengalami proses reduksi dan mengendap pada permukaan katoda sehingga terbentuk lapisan hasil elektrodepositi.



Gambar19 Proses Elektrodepositi

3.3.4 Pengambilan Data

Pada proses elektrodepositi otomatis, pengamatan dilakukan dalam rentang waktu 30, 60, dan 90 menit dengan parameter utama yang diamati meliputi tegangan, arus, jumlah gas hidrogen yang terbentuk, serta massa nikel yang berhasil terdeposit. Selama proses berlangsung, sensor INA219 digunakan untuk memantau nilai arus secara real time, sementara sensor MQ-8 mendekripsi kadar gas hidrogen yang dihasilkan selama reaksi elektrolisis berlangsung.

Tabel 1 Data Proses Elektrodepositi Secara Otomatis

No	Waktu (S)	Tegangan (v)	Arus (A)	Gas (ppm)	Massa Nikel
1	30				
2	60				
3	90				

Pada proses elektrodepositi otomatasi, eksperimen dilakukan dengan tiga variasi waktu, yaitu 30, 60, dan 90 menit. Tegangan diatur secara manual menggunakan potensiometer atau pengatur tegangan eksternal, dengan masing-masing nilai sebesar 5volt, 4,5 volt, dan 4 volt. Selama proses berlangsung, arus listrik diamati secara manual menggunakan sensor INA219, dan konsentrasi gas hidrogen yang terbentuk dipantau menggunakan sensor MQ-8. Berdasarkan data, semakin lama waktu elektrodepositi dan semakin besar arus yang mengalir, semakin banyak pula gas hidrogen yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas reaksi elektrolisis meningkat dengan waktu dan tegangan yang lebih tinggi. Selain itu, massa nikel yang terdeposit juga menunjukkan tren peningkatan seiring waktu, meskipun terdapat perbedaan efisiensi pada tiap variasi tegangan.

Selain itu, massa nikel yang terdeposit dihitung menggunakan hukum Faraday berdasarkan data arus yang telah diperoleh. Perhitungan ini dilakukan dengan memasukkan nilai arus, waktu proses, dan konstanta Faraday ke dalam rumus elektrodepositi. Data ini dibandingkan dengan hasil eksperimen yang diperoleh melalui penimbangan elektroda setelah proses selesai. Dengan membandingkan

perhitungan teoritis dan hasil aktual, efisiensi elektrodepositi dapat dievaluasi. Data yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 2**

Tabel 2 Data perbandingan massa teoritis nikel dan massa eksperimen nikel

No	Waktu (s)	Arus (I)	Massa(g)	Massa-exp (g)	Efisiensi (%)
1		30			
2		60			
3		90			

Selanjutnya, kadar gas hidrogen (H_2) yang terbentuk selama proses elektrodepositi juga dipantau menggunakan sensor MQ-8. Sensor ini mendekksi jumlah gas yang dilepaskan sebagai efek samping dari reaksi elektrokimia dan mengirimkan data ke LCD atau komputer dalam interval waktu tertentu, yaitu 30, 60, dan 90 menit. Pengukuran ini penting untuk memahami hubungan antara intensitas arus dan pelepasan gas hidrogen yang dapat mempengaruhi efisiensi serta keamanan proses elektrodepositi. Desain percobaan kadar gas Hidrogen yg terbentuk pada proses elektrodepositi dapat dilihat pada Tabel 3

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari alat otmatisasi, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Sistem pemantauan arus listrik dan deteksi gas hidrogen pada proses elektrodepositi nikel berhasil dirancang menggunakan sensor INA219 dan MQ-8.
2. Integrasi sensor INA219 dan MQ-8 dengan mikrokontroler memungkinkan pemantauan dan pencatatan data secara real-time.
3. Variasi arus, waktu proses, dan intensitas pelepasan gas hidrogen berpengaruh terhadap efisiensi elektrodepositi serta massa nikel yang dihasilkan.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan penerapan sistem kedepannya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem monitoring dengan menambahkan sensor lain, seperti sensor pH atau suhu, agar kontrol proses elektrodepositi menjadi lebih komprehensif.
2. Sistem monitoring berbasis IoT ini dapat dioptimalkan dengan aplikasi antarmuka berbasis web atau mobile, sehingga data pemantauan dapat diakses secara lebih praktis dan real-time dari jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Agni Nurhidayat, M., dan Nana (2025)., *Generator Mini Sebagai Pembangkit Energi Listrik Sederhana*. Padang.
- Ana Amelia, Cecep E Husada, & Hadi Nasbey. (2015). *Pengembangan Set Praktikum Faraday Pada Materi Induksi Elektromagnetik*. Semarang.
- Anita Rahmawati, Slamet Winardi, & Didik Tristianto. (2012). Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh Dengan Tampilan Digital Dan Keluaran Suara Berbasis Mikrokontroller Avr At Mega 8535. *Jurnal Monitor*, 1, 1, 32–43.
- Arman Dwika Farlentinus Hasudungan Sihaloho, & Reni Rahmadewi. (2024). Implementasi Voltage Sensor Dan Sensor Ina219 Sebagai Pengukur Tegangan Dan Arus Pada Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator (Petrikor). *Jurnal Teknik*, 6, 20-23
- Arum Kusuma Wardhany, Dezetty Monika, Rafi Ariansyah3 M, Muhammad Arifin, & Muhammad Rasyid Lubis. (2024). Perancangan Panel Dan Kalibrasi Sensor INA219 Pada Sistem Monitoring PLTPh Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah*, 10-15
- Aulia, S. N., Mulyani, R. H., & Prajitno, D. H. (2019). Electrodeposition of Composite Hydroxyapatite-Chitosan from Local Materials on Stainless Steel 304. *Jurnal Kartika Kimia*, 10-13.
- Ayu Lestari1, Yeti Kurniasih, & Dahlia Rosma Indah3. (2022). Pengaruh Variasi Jumlah Elektroda Dan Jenis Katalis Terhadap Produksi Gas Hidrogen Pada Elektrolisis Air Laut . *JPIn: Jurnal Pendidik Indonesia*, 2(2620).
- Atkins, P. & de Paula, J. (2010). *Physical Chemistry* (9th ed.). Oxford
- Bange, J., Zhang, T., & Chen, H. (2022). Recent advances in metal coatings for corrosion protection: A review. *Surface and Coatings Technology*, 4(3), 12-17.

Bow,Y., Permata Sari A, A., Dwi Harliyanti, A., Saputra, B., Budiman, R.,(2022) *Kimia,T.,Terhadap Variasi Konsentrasi Katalis Dan Jenis Air Yang Dilengkapi Arrestor*. Gramedia, Sumatera Selatan.

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization and decentralization change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International Journal of Information and Communication Engineering*, 8(1), 37–44.

Butzer, B., dkk. (2017). Judul artikel terkait praktik elektronika di pendidikan. GUIDENA: *Jurnal Ilmu Pendidikan*.3(2) 301-302

Bayu Suseno dan Nugroho .A.B (2019) Penyelesaian Hukum Faraday Pada Proses elektrokimia. *Jurnal Ilmiah* 2,3 30-35.

Dani Sasmoko, S. T. , M. E. (2019). *Arduino dan Sensor Pada Project Arduino* Penerbit Andi, Yogyakarta

Daniel Alexander, & oktavianus turang. (2015). Pengembangan Sistem Relay Pengendalian Dan Penghematan Pemakaian Lampu Berbasis Mobile. *Seminar Nasional Informatika* ,3(2), 1979–1980.

Deloitte. (2020). *The Future of Manufacturing: Industry 4.0 and Smart Factory Transformation*. Deloitte Insights.

Chang, R., & Goldsby, K. A. (2016). *Chemistry* (12th ed.). McGraw-Hill Higher Education. Buku teks klasik yang banyak dipakai untuk dasar kimia umum.

Faraday, M. (1834). Experimental researches in electricity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 124, 77–122.

Fiqry, R., Kurniawan, A. R., & Saputra, D. (2020). *Lapisan Tipis pada logam*.Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan.

Fitriyanti (2019). Pemantauan Zat Kimia Menggunakan Sensor MQ-8, *Jurnal Kimia* 2,3. 201-204

Fatimah, F. (2020). Mikrokontroler Pada alat otomatisasi, *jurnal Teknik*, 3 (2) 70-103

Handoko, F. A. (2021). *Perhitungan massa nikel dengan hukum Faraday pada proses elektrodepositi*. Yogyakarta

Hernandez, J., & Rivas, D. (2018). Analysis of hydrogen gas production using water electrolysis with different electrode materials. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(12), 6205–6212.

- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The art of electronics*. Cambridge
- Ilham, L. I., Triana, D. D., & Madani, F. (2024). Enhancing student learning outcomes through formative assessment: A systematic literature review. *Jurnal Riview*, 29(3), 529–536
- Jasron. (2016). Perancangan sistem catu daya DC terkontrol berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(1), 45–52.
- Janetasari, S. A. & Djaenudin, D. (2020). Pengaruh komposisi elektrolit pada penyisihan nikel menggunakan elektrodepositi dua ruang. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23(3), 45–53
- Kurniawan, E., Putra, A., & Santoso, F. (2021). Implementasi PID pada sistem pengendali proses industri berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(3), 382–389.
- Kusuma, A., Putra A., Wahyu d. (2022). Pengaruh variasi arus listrik terhadap laju pembentukan gas hidrogen pada proses elektrolisis. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(3), 201–209
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10.
- Monostori, L., Kádár, B., Bauernhansl, T., Kondoh, S., Kumara, S. R. T., Reinhart, G., Sauer, O., Schuh, G., & Sihn, W. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 65(2), 621–641.
- Möller, H., Mohrbacher, H., & Scharnweber, T. (2021). *Advanced Surface Engineering and Coating Technologies*. Cham: Springer.
- Mutmainnah, M., Rahmawati, I., & Nasruddin, R. (2017). Sistem monitoring tegangan otomatis dalam proses elektrokimia. *Jurnal Al-Kimia*, 5(1), 28.
- Muhammad Taif, M. Yunus Hi Abbas, & Moh.Jamil3. (2019). Penggunaan Sensor ACS712 dan Sensor Tegangan untuk Pengukuran Jatuh Tegangan Tiga Fasa berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM shield. *Jurnal Protek*, 3, 20-24.
- Nurdiansyah, E., Dhita, A. N., & Dewi, P. (2019). Analisis pemanfaatan jurnal elektronik oleh mahasiswa menggunakan Technology Acceptance Model (TAM). Harmoni Sosial: *Jurnal Pendidikan IPS*, 6(2), 27515.
- Nurdiansyah, F., Kusuma Wijaya, A., & Murdani, E. (2018). *MiskONSEPSI Buku Ajar Fisika SMA Kelas X pada Pokok Bahasan Dinamika Gerak*. JIPF (*Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika*), 3(1).2067-2078

- Nugraha, A. T. (2018). Dirty Air Filter System Using Boxed Equalizer Mq-8 And Mq-9 Wheeled Robot. *Jeemecs (Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science)*, 1(1).301-305
- Oliazadeh, A. (2003). Electrochemical processes and energy efficiency in water electrolysis. *Electrochimica Acta*, 48(24), 3781–3788
- Prasetya, A. D. (2020). Sistem monitoring IoT untuk arus dan tegangan berbasis mikrokontroler. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Pooja Soni, & Kapil Suchdeo. (2021). exploring the serial capabilitie for inter *International Journal of Emerging Technology and enegering* 3,3 40-50
- Rahman, R., Mawaddah, N., & Fatmawati, F. (2024). Analysis of Islamic counselling and learning motivation: Keys to student academic achievement. *Journal of Education Research*, 5(2).231-235.
- Sukarjo, H dan Soelarso Pani (2018) Perancangan Sistem Instrumentasi Pada IOT *Jurnal ENGINE*, 2(1), 18–25.
- Petrucci, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson Canada Inc.
- Safitri, D. A., Wardoyo, A. Y. P., Istiroyah, & Adi, E. T. P. (2024). Measurement Of Ethanol Concentration in Liquid Organic Fertilizer Fermentation Emissions Using The MQ-8 Sensor. *Journal of Applied Science and Advanced Engineering*, 2(1), 37–40.
- Samsugi, S., Mardiyansyah, Z., & Nurkholis, A. (2020). Sistem Pengontrol Irigasi Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 1(1), 17.
- Saputra, H., Saragih, J. R., Vitriano, O., & Salma, N. (2022). Health System Resilience in the Contex of COVID-19 Vaccination Management in Indonesia. *JMMR (Jurnal Medicoeticolegal Dan Manajemen Rumah Sakit)*, 11(2), 81–92.
- Saputra, H., & Magino. (2022). Implementasi sistem monitoring arus dan tegangan berbasis Arduino pada proses elektrolisis. *Jurnal Instrumentasi dan Pengukuran*, 4(1), 33–41.
- Santosa, B., Martijanti, D., Jurusan, S., Mesin, T., Jenderal, U., & Yani, A. (2007) Pengaruh Parameter Proses Pelapisan Nikel Terhadap Ketebalan Lapisan. *Jurnal Kimia* 3,2 301-305
- Susilo, S., Yusuf, Y., Ula, S., Hermawan, B. A., & Ghifari, M. R. (2021). Pengaruh Variasi Diameter dan Jumlah Lilitan Tembaga terhadap

- Tegangan Listrik yang Dihasilkan pada Alat Peredam Kejut Regeneratif Skala Laboratorium. *J- Proteksion*, 5(2), 25–31.
- Simanullang, R. H. (2023). Monitoring arus dan deteksi gas H₂ menggunakan sensor MQ-8 pada proses elektrokimia. *Skripsi*. Medan: Universitas WBI.
- Sahara, Z., & Zainul, R. (2021). Kajian elektrolisis air sebagai metode produksi gas hidrogen ramah lingkungan. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 23(2), 112–120.
- Setiawan, Y., (2017). Sistem pengukuran arus dan tegangan DC menggunakan sensor INA219. *Jurnal Teknik Fisika*, 5(1), 15–22.
- Sugiyarta, S., Bayuseno, A. P., & Nugroho, S. (2012). Pengaruh konsentrasi larutan dan kuat arus terhadap ketebalan pada proses pelapisan nikel untuk baja karbon rendah. *jurnal ilmiah*, 14(4), 23–27
- Suryanto S, (2019) Pemantauan Gas Hydrogen Menggunakan MQ-8, *Jurnal Ilmiah* , 1 (1) 203-207.
- Sander, A. (2022). Title of Article Related to Sander's research. *Journal penelitian*, 3(2) 401-405
- Tampubolon, C., & S, A. H. (2019). Rancang Bangun Instrumentasi Alat Ukur Tegangan Listrik Pada Larutan Elektrolit Menggunakan Elektroda Berbasis Personal Computer (Pc) Dengan Arduino Uno R3, *Jurnal Teknik* 3,1 21-25
- Toni Kusuma Wijaya, S. T. , M. SI., & steven sitohang. (2019). Perancangan Panel Automatic Transfer Switch Dan Automatic Main Failure Dengan Kontroler Berbasis Arduino. *Jurnal Teknika*, 4,2 20–25.
- Umar, A. T., dkk. (2021). Judul kompetensi digital pembelajaran hybrid ,*Jurnal Kajian Ilmu Pendidikan (JKIP)*, 6(4), 1566–1575.
- Vionadwiuchtia Idrat. (2023). Detail Desain Saluran Irigasi Di Daerah Kumbung Kecamatan Lunang Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(1), 97–108.
- Wayan Arsa Suteja, & Adi Surya Antara. (2021). Analisis Sensor Arus Invasive ACS712 dan Sensor Arus Non Invasive SCT013 Berbasis Arduino. *Jurnal Ilmiah*. 3,2 34-35
- Wulandari, A., Yus'iran, dan Suswati, L. (2021). Rancangan Alat Desinfektan Otomatis Berbasis Mikrokontroler dalam Pencegahan Penyebaran Covid-19. *Jurnal Penelitian* 2,1 50-55

- Widiatmoko, A., & Nurdy, M. (2018). Monitoring daya listrik berbasis mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Elektronika dan Instrumentasi*, 10(2), 65–72.
- Wijaya, T., & Rahmadhar, Y. (2022). Model Contextual Teaching and Learning untuk meningkatkan hasil belajar IPA di sekolah dasar. *Jurnal Educatio FKIP UNMA*, 8(4), 1677–1682
- Yanlinastuti, Boybul, & Aslina Br.Ginting. (2016). *Pengaruh Parameter Proses Elektrodepositi Terhadap Penentuan Berat Isotop 235u Dalam Peb U3si2/Al Jurnal Ilmiah*. 2, 65–132.
- Yuliana,dan Hermiansyah. (2023). Studi penggunaan beda potensial pada elektrodepositi ion tembaga. Bohr: *Jurnal Cendekia Kimia*, 1(2), 81– 86
- Yuan, Z.,Li, Y., &Zhang, Q. (2020). Environmentally friendly electrodeposition techniques for metal coating applications. *Jurnal Coatings*, 10(9), 34-37.
- Zainul, R. (2024). *Elektrokimia dalam Pemurnian Logam dan Pemulihan Sumber Daya*, Penerbit Gagasan Media
- Zhou, X., Wang, D., & Zhan, G. (2015). Highly sensitive H₂ sensors using metal oxide semiconductors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 206, 577–583.