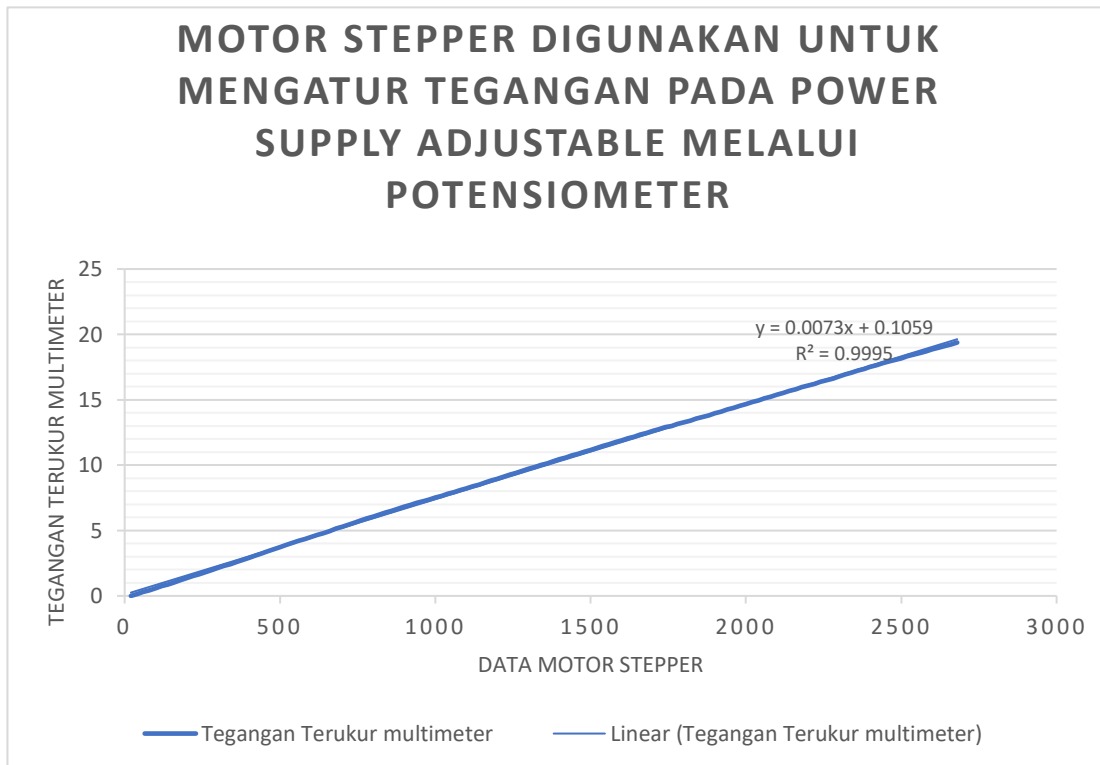


BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Power Supply adjustable Menggunakan Potensiometer dengan Motor Stepper



Gambar 4. 1 Pengujian Power Supply adjustable melalui Potensiometer

Berdasarkan grafik yang ditampilkan, terlihat hubungan antara data input motor stepper dengan tegangan keluaran yang diukur menggunakan multimeter pada sistem power supply adjustable berbasis potensiometer. Grafik menunjukkan tren peningkatan tegangan yang sangat linier seiring dengan bertambahnya nilai input motor stepper. Hal ini diperkuat dengan persamaan regresi linear yang diperoleh, yaitu $y = 0,0073x + 0,1059$, dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9995$. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel memiliki tingkat linearitas yang sangat tinggi dan hampir tanpa penyimpangan.

Kemiringan (slope) sebesar 0,0073 menunjukkan bahwa setiap kenaikan satu satuan input motor stepper akan meningkatkan tegangan sebesar 0,0073 V. Sementara itu, nilai intersep sebesar 0,1059 V mengindikasikan adanya tegangan awal pada sistem meskipun input masih mendekati nol, yang kemungkinan disebabkan oleh offset pada alat ukur atau karakteristik rangkaian elektronik yang digunakan.

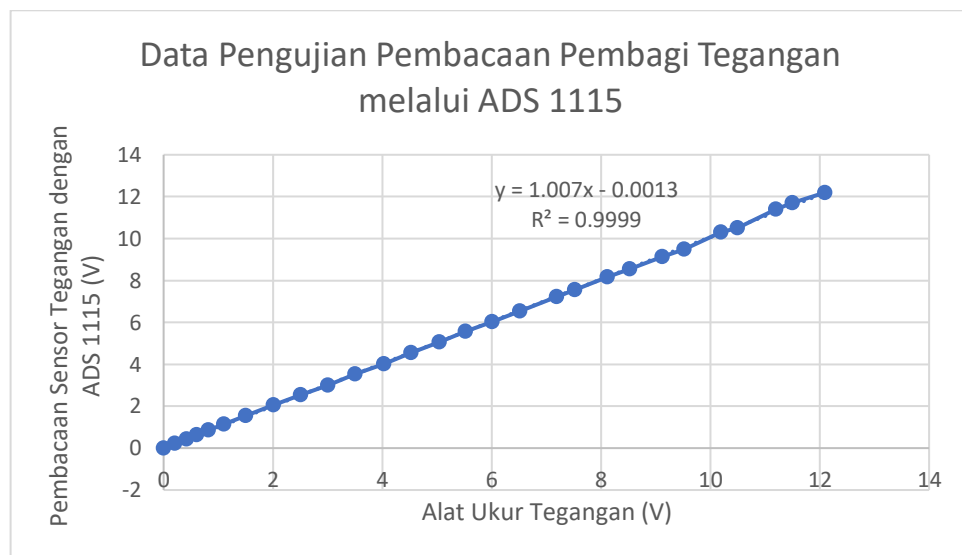
Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa motor stepper mampu mengatur posisi potensiometer secara presisi sehingga menghasilkan perubahan tegangan yang stabil dan terkontrol. Linearitas yang tinggi ini sangat penting dalam aplikasi seperti elektroplating, karena kestabilan tegangan berpengaruh langsung terhadap kualitas pelapisan logam. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat dikategorikan memiliki performa yang baik dalam hal kontrol tegangan, meskipun tetap perlu diperhatikan adanya offset kecil pada tegangan awal sistem.

4.2 Pengujian Sensor Tegangan dan Arus melalui ADC eksternal ADS1115

a. Pengujian Pembagi Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian sensor yang digunakan pada alat elektrolisis tembaga secara otomatis berbasis ESP32 dengan menggunakan jaringan Wifi berfungsi secara maksimal dan akurat dalam membaca tegangan AC. Tegangan yang masuk dari trafo berupa sinyal AC yang tidak dapat langsung dibaca oleh modul ADS1115 karena ADC tersebut hanya menerima sinyal tegangan DC dengan batasan tegangan tertentu. Oleh sebab itu, sebelum masuk ke ADS1115, sinyal AC terlebih dahulu di proses melalui penyearah tegangan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, selanjutnya tegangan tersebut akan melewati rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan ini berfungsi untuk menurunkan level tegangan agar sesuai dengan input maksimum ADS1115, sehingga tidak terjadi overvoltage yang dapat merusak modul ADC. Sinyal yang masuk ke ADS1115 menjadi stabil untuk dikonversi menjadi data digital.

Nilai tegangan yang telah di konversi oleh ADS1115 kemudian dibaca oleh mikrokontroller dan dibandingkan dengan nilai referensi yang diukur menggunakan multimeter untuk mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan sistem sensor. Perbandingan antara pembaca multimeter dan keluaran ADC selanjutnya digunakan dalam proses karakterisasi untuk mengalisis linearitas hubungan keduanya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pembacaan sensor pembagi tegangan yang diterapkan telah bekerja dengan baik dan layak digunakan untuk proses pengujian alat elektrolisis tembaga.



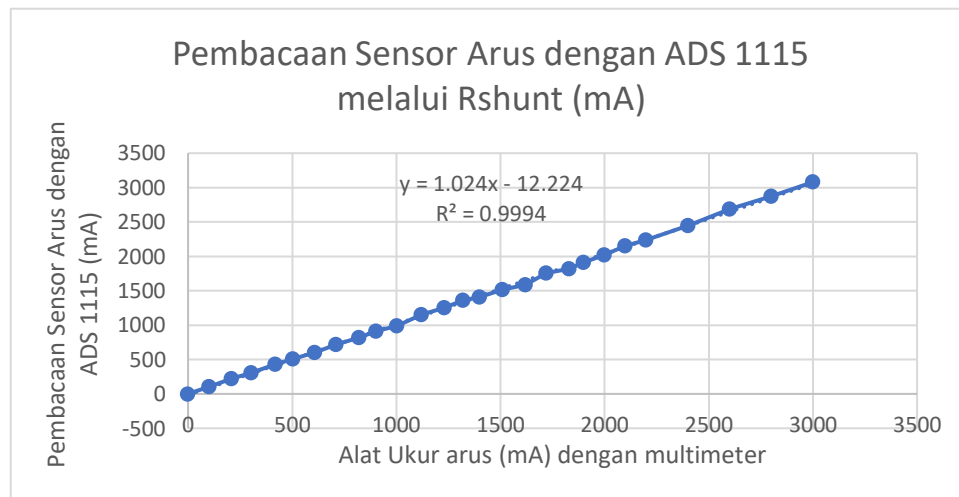
Gambar 4. 2 Grafik Pembagi Tegangan

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa perbandingan Alat ukur tegangan menggunakan multimeter dengan pembacaan sensor tegangan menggunakan ADS1115 melalui rangkaian pembagi tegangan secara umum terlihat bahwa nilai tegangan yang dibaca oleh sensor ADS1115 sangat mendekati dengan nilai alat ukur tegangan multimeter. Ketika tegangan referensi meningkat dari 0 V - 12,1 V, pembacaan sensor tegangan melalui rangkaian pembagi tegangan juga meningkat secara proporsional. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan pembacaan sensor tegangan menggunakan ADS1115 melalui rangkaian pembagi tegangan bekerja dengan baik dan memiliki karakteristik linier. Hubungan tersebut semakin jelas dimana

titik-titik data membentuk garis lurus dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.9999, yang menandakan bahwa tingkat linearitas yang sangat tinggi. Oleh karena itu grafik tersebut menegaskan bahwa perbandingan Alat ukur tegangan menggunakan multimeter dengan pembacaan sensor tegangan menggunakan ADS1115 melalui rangkaian pembagi tegangan dapat diandalkan untuk digunakan pada proses pengujian alat elektrolisis tembaga ke tahap selanjutnya.

b. Pegujian Arus

Pembacaan Sensor arus dengan ADS1115 melalui Rshunt merupakan metode pengukuran arus dengan cara mengukur tegangan jatuh (voltage drop) pada sebuah resistor shunt yang nilainya sangat kecil. Tegangan tersebut kemudian dibaca oleh ADS1115, lalu dikonversi menjadi nilai arus. Pada pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran multimeter dengan pembacaan sensor arus dengan ADS1115 melalui Rshunt.



Gambar 4. 3 Pembacaan Arus

Grafik diatas membuktikan bahwa hubungan antara pengukuran arus menggunakan multimeter dan pembacaan sensor arus dengan ADS1115 melalui Rshunt terdapat selisih pembacaan relatif kecil pada sebagian besar titik-titik. Dimana titik-titik membentuk garis regresi yang hampir linier yang mengakibatkan sensor

bekerja kurang maksimal dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.09994. Nilai ini menunjukkan adanya selisih pembacaan yang relatif kecil pada sebagian besar titik antara pengukuran arus menggunakan multimeter dengan Pembacaan sensor arus dengan ADS1115 melalui Rshunt.

4.3 Pengujian Komunikasi Data ke Aplikasi menggunakan jaringan Wifi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah peralatan dapat mengirimkan data dengan menggunakan jaringan Wifi. Pada peralatan ini mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai akses point jaringan Wifi dengan nama jaringan SSID ESP_BC2C49 dan tanpa password. Kemudian komputer dapat melakukan komunikasi dengan jaringan tersebut dan melakukan tes jaringan melalui jendela “Command Prompt” pada komputer dengan melakukan tes “ping 192.168.4.1” seperti pada gambar 4.3

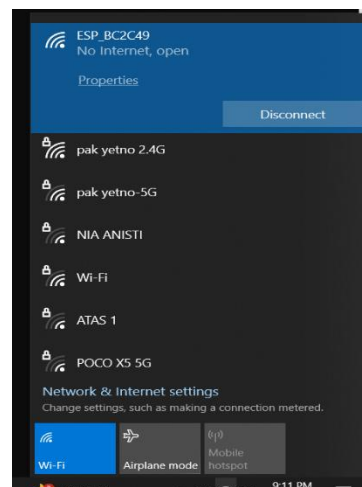
```
Ping statistics for 192.168.4.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),

C:\Users\LENOVO>ping 192.168.4.1

Pinging 192.168.4.1 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=3ms TTL=64
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=3ms TTL=64
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=2ms TTL=64
Reply from 192.168.4.1: bytes=32 time=3ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.4.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 2ms, Maximum = 3ms, Average = 2ms
```

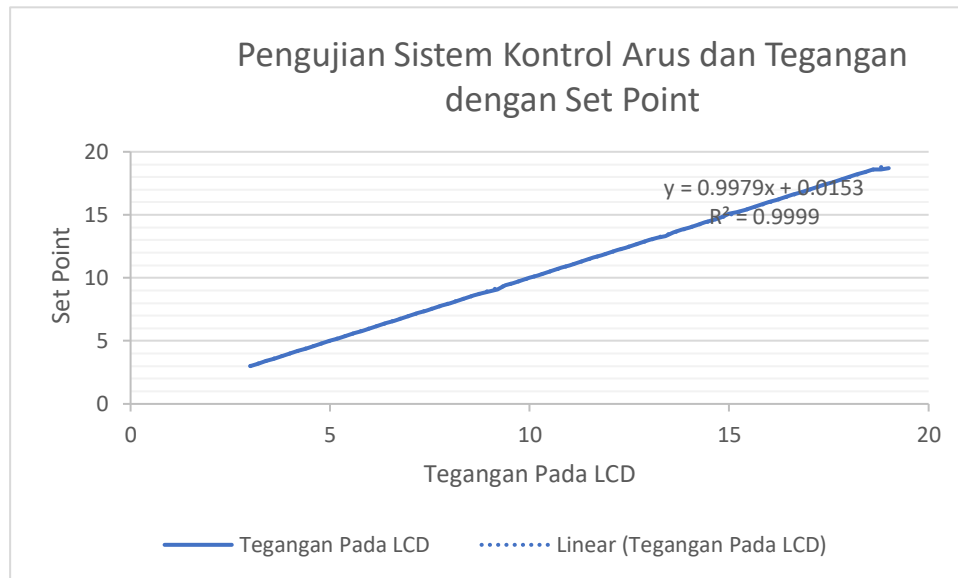
Gambar 4. 4 Tes Uji Koneksi



Gambar 4. 5 Nama Jaringan Wifi

Pada gambar 4.4 diatas menunjukkan bahwa perangkat telah berhasil berkomunikasi dengan komputer karena telah memberikan balasan hasil ping sesuai alamat yang telah ditentukan yaitu 192.168.4.1. Sehingga berkomunikasi dengan menggunakan jaringan wifi antara mikrokontroler ESP32 dan komputer telah berhasil dilakukan.

4.4 Pengujian Sistem kontrol Arus dan Tegangan menggunakan set point pada aplikasi antarmuka dengan jaringan Wifi



Gambar 4. 6 Pengujian Kontrol Arus dan tegangan menggunakan Set point

Berdasarkan grafik hasil pengujian sistem kontrol arus dan tegangan dengan metode set point, terlihat hubungan antara tegangan yang ditampilkan pada LCD dengan nilai set point yang diberikan. Grafik menunjukkan pola hubungan yang sangat linier, yang dibuktikan dengan persamaan regresi linear $y = 0,9979x + 0,0153$ serta nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9999$. Nilai R^2 yang sangat mendekati 1 mengindikasikan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi dan konsistensi yang sangat tinggi dalam mengikuti nilai set point yang ditentukan.

Kemiringan (slope) sebesar 0,9999 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 satuan tegangan pada LCD menghasilkan kenaikan set point sebesar hampir 1 satuan, yang berarti sistem memiliki tingkat kesesuaian yang sangat baik (mendekati ideal). Sementara itu, nilai intersep sebesar 0,0153 menunjukkan adanya error atau offset yang sangat kecil pada sistem, yang kemungkinan disebabkan oleh faktor kalibrasi sensor, resolusi ADC, atau toleransi komponen elektronik.

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa sistem kontrol yang dirancang mampu bekerja dengan sangat presisi dalam mempertahankan kesesuaian antara nilai set point dan tegangan aktual. Hal ini sangat penting dalam aplikasi seperti elektroplating, di mana kestabilan dan ketepatan pengaturan arus maupun tegangan sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil pelapisan. Dengan demikian, sistem dapat dikatakan memiliki performa yang sangat baik dan layak digunakan untuk pengendalian proses secara otomatis

4.5 Pengujian Sistem kontrol arus dan tegangan pada Elektrolis Tembaga

Tabel 4. 1 Percobaan Sampel I

		Sebelum	Setelah	Tegangan	Timer
Sample I	Kutub (-)	120 mg	125 mg	5 V	20 menit
	Kutub (+)	115 mg	113 mg		

Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan prinsip dasar elektroplating, di mana pada katoda terjadi reaksi reduksi berupa pengendapan ion logam dari larutan elektrolit ke permukaan elektroda sehingga menyebabkan penambahan massa. Sebaliknya, pada anoda terjadi reaksi oksidasi yang menyebabkan logam larut ke dalam larutan dalam bentuk ion, sehingga massa elektroda berkurang.

Meskipun demikian, terdapat perbedaan nilai perubahan massa antara katoda dan anoda, di mana penambahan massa pada katoda (+5 mg) tidak sama dengan pengurangan massa pada anoda (-2 mg). Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti adanya efisiensi arus yang tidak sempurna, terjadinya reaksi samping dalam larutan elektrolit, atau kehilangan material selama proses (misalnya pengendapan yang tidak menempel sempurna pada katoda). Selain itu, faktor ketelitian alat ukur, kondisi permukaan elektroda, serta homogenitas larutan elektrolit juga dapat memengaruhi hasil yang diperoleh.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses elektroplating pada kondisi ini telah berjalan sesuai dengan teori elektrokimia, meskipun masih terdapat beberapa

faktor yang menyebabkan ketidaksempurnaan dalam kesetimbangan massa. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian parameter proses yang lebih baik untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi hasil elektroplating.

Tabel 4. 2 Percobaan Sample II

		Sebelum	Setelah	Tegangan	Timer
Sample II	Kutub (-)	213 mg	225 mg	7 V	20 menit
	Kutub (+)	187 mg	179 mg		

Berdasarkan hasil percobaan elektroplating pada Sample II dengan tegangan 7 V dan waktu proses selama 20 menit, diperoleh perubahan massa pada masing-masing elektroda. Pada kutub negatif (katoda), massa meningkat dari 213 mg menjadi 225 mg atau bertambah sebesar 12 mg. Sementara itu, pada kutub positif (anoda), massa mengalami penurunan dari 187 mg menjadi 179 mg atau berkurang sebesar 8 mg.

Hasil ini menunjukkan bahwa proses elektroplating telah berlangsung sesuai dengan prinsip dasar elektrokimia, di mana pada katoda terjadi reaksi reduksi yang menyebabkan pengendapan ion logam ke permukaan elektroda sehingga massa bertambah. Sebaliknya, pada anoda terjadi reaksi oksidasi yang menyebabkan logam larut ke dalam larutan elektrolit, sehingga massa elektroda berkurang.

Namun demikian, terdapat perbedaan antara jumlah massa yang bertambah pada katoda (+12 mg) dan massa yang berkurang pada anoda (-8 mg). Ketidakseimbangan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti efisiensi arus yang tidak mencapai 100%, adanya reaksi samping dalam larutan elektrolit, atau sebagian logam yang terlepas tidak sepenuhnya mengendap pada katoda. Selain itu, kemungkinan adanya kesalahan pengukuran, kondisi permukaan elektroda yang kurang bersih, serta distribusi arus yang tidak merata juga dapat memengaruhi hasil yang diperoleh.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses elektroplating pada kondisi ini telah berjalan dengan baik dan sesuai teori, meskipun masih terdapat

ketidaktepatan dalam kesetimbangan massa yang menunjukkan perlunya optimasi parameter proses untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan efisien.

Tabel 4. 3 Percobaan Sample III

		Sebelum	Setelah	Tegangan	Timer
Sample III	Kutub (-)	210 mg	235 mg	10 V	20 menit
	Kutub (+)	195 mg	172 mg		

Berdasarkan hasil percobaan elektroplating pada Sample I dengan tegangan 10 V dan waktu proses selama 20 menit, diperoleh perubahan massa yang signifikan pada kedua elektroda. Pada kutub positif (anoda), massa meningkat dari 210 mg menjadi 235 mg atau bertambah sebesar 25 mg. Sementara itu, pada kutub negatif (katoda), massa mengalami penurunan dari 195 mg menjadi 172 mg atau berkurang sebesar 23 mg.

Secara teoritis, dalam proses elektroplating, anoda seharusnya mengalami reaksi oksidasi yang menyebabkan massa berkurang, sedangkan katoda mengalami reaksi reduksi yang menyebabkan pengendapan logam dan peningkatan massa. Namun, hasil percobaan ini menunjukkan fenomena yang berlawanan, di mana anoda justru mengalami penambahan massa dan katoda mengalami penurunan massa. Hal ini mengindikasikan adanya ketidaksesuaian antara hasil eksperimen dengan teori elektrokimia yang berlaku.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan penyimpangan ini antara lain kemungkinan terjadinya kesalahan dalam pemasangan polaritas elektroda sehingga terjadi pertukaran fungsi antara anoda dan katoda. Selain itu, nilai tegangan yang relatif tinggi (10 V) juga berpotensi memicu reaksi samping, seperti pembentukan gelembung gas atau reaksi elektrolisis lain yang dapat mengganggu proses deposisi logam. Faktor lain yang mungkin memengaruhi adalah kondisi larutan elektrolit yang tidak stabil, kontaminasi, serta ketidakakuratan dalam pengukuran massa akibat keterbatasan alat ukur.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil percobaan pada kondisi ini belum mencerminkan prinsip dasar elektroplating yang seharusnya. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi terhadap rangkaian sistem, khususnya pada polaritas sumber tegangan dan pengendalian parameter proses, agar diperoleh hasil yang lebih sesuai dengan teori dan lebih akurat untuk analisis ilmiah.