RANCANG BANGUN PURWARUPA POTENSIOSTAT TERINTEGRASI DAN TERKALIBRASI

INTEGRATED AND CALIBRATED POTENTIOSTAT PROTOTYPE DESIGN

Satrio Wibowo[1], Novprincess Rannu Gessa Tanggulungan[2], Armando Hasiholan Simbolon[3]
[1,3]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]satriowibowoo@student.telkomuniversity.ac.id
[2]novprincessrannugt@student.telkomuniversity.ac.id
[3] simbozx@student.telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Jurnal ini membahas perancangan dan kalibrasi potensiostat untuk aplikasi analisis elektrokimia menggunakan Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Potensiostat ini terdiri dari komponen seperti summing amplifier, inverting amplifier, differential amplifier, voltage follower, dan transimpedance amplifier. Pengujian pertama mengukur hubungan antara tegangan masukan dan keluaran potensiostat, dengan hasil regresi linear yang kuat dan proporsi variabilitas sebesar 99.43%. Pengujian kedua mengevaluasi hubungan antara arus masukan dan keluaran potensiostat, dengan regresi linear yang kuat dan proporsi variabilitas sebesar 99.54%. Hasil ini menunjukkan bahwa potensiostat yang dirancang dengan IC Op-Amp 275 GPZ mampu melakukan peluruhan dan penguatan secara baik dan terkalibrasi. Potensiostat ini memiliki potensi untuk aplikasi dalam mengukur impedansi elektrokimia dalam berbagai bidang, seperti korosi, sensor, dan elektrokimia lainnya.

Kata kunci : Spektroskopi Impedansi Elektrokimia, Penguat, Potensiostat.

Abstract

This journal discusses the design and calibration of potentiostats for electrochemical analysis applications using Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). This potentiostat consists of components such as a summing amplifier, inverting amplifier, differential amplifier, voltage follower, and trans-impedance amplifier. The first test measured the relationship between the input and output voltages of the potentiostat, with strong linear regression results and a proportion of variability of 99.43%. The second test produces a relationship between the input and output currents of the potentiostat, with a strong linear regression and a proportion of variability of 99.54%. These results show that the potentiostat designed with the IC Op-Amp 275 GPZ is capable of decaying and strengthening properly and calibrated. This potentiostat has the potential for applications in measuring electrochemical impedance in various fields, such as corrosion, sensors, and other electrochemistry.

Keywords: Potensiostat, Electrochemical Impedance Spectroscopym, Amplifier.

1. Pendahuluan

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) merupakan suatu metode analisa sifat kelistrikan yang dapat dimanfaatkan untuk mengukur korosi, kualitas elektroda baterai, dan kapasitansi elektroda [1]. EIS bertujuan untuk mengukur impedansi dari suatu sistem elektrokimia dengan cara memberikan sinyal kecil beramplitudo 10-50 mVpp berupa tegangan bolak-balik (AC) dengan spektrum frekuensi tertentu pada sistem elektrokimia tersebut. Sistem elektrokimia akan memberikan respon berupa pergeseran fasa dan perubahan amplitudo antara tegangan yang diberikan dan arus yang dihasilkan. Respon tersebut akan ditampilkan dalam bentuk komponen real dan imajiner yang pada Nyquist Plot [1].

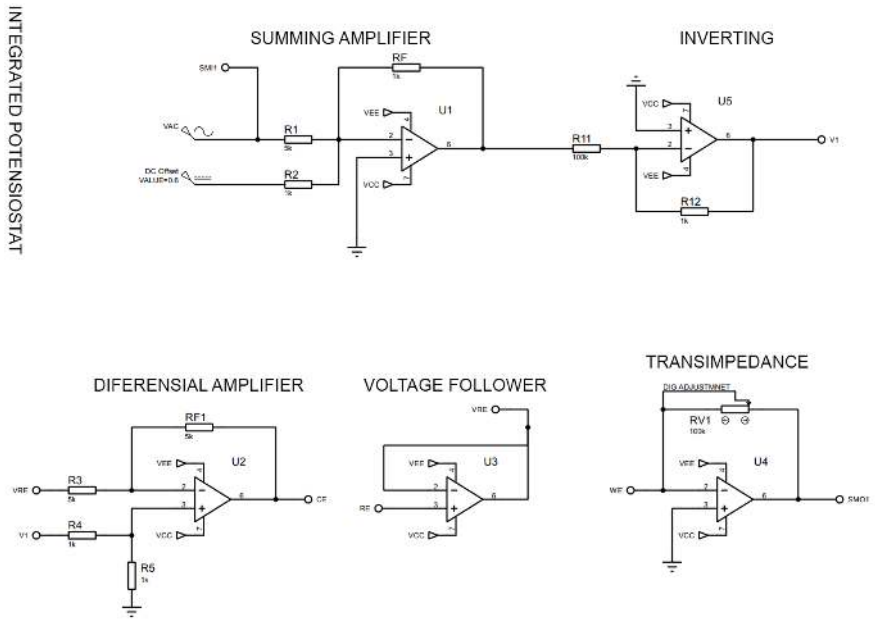
Potensiostat adalah alat elektronik yang digunakan pada pengukuran EIS menggunakan 3 Elektroda dengan cara mengontrol tegangan pada salah satu elektroda lalu melihat respon arus yang terjadi pada elektroda yang diuji. Fungsi potentiostat adalah mengontrol tegangan tertentu pada elektroda kerja (WE) terhadap elektroda referensi (RE) dengan cara mengalirkan arus melalui elektroda pencacah (CE) [2].[3]. Alat Ukur potensiostat sangat dibutuhkan di beberapa bidang seperti, material elektronik, sensor, biosensor, korosi, dan bidang elektrokimia lainnya. Pada dasarnya alat ini

bisa dirangkai dari beberapa komponen seperti function generator (FG), rangkaian penguat dan buffer dari op-amp, dan pengolah data digital. Namun merangkai dari beberapa komponen terpisah menjadikan tidak sederhana dan bisa terjadi kesalahan dalam hal konektivitas dan pengolahan data. Untuk itu diperlukan integrasi dan otomatisasi ketiga komponen tersebut menjadi satu perangkat.

2. Dasar Teori

Rangkaian potensiostat yang dirancang, ditujukan untuk memperkuat tegangan input VAC& VDC) lalu ditenagai dengan tegangan DC. Konfigurasi sirkuit umpan balik eksternal dapat menurunkan gain ke nilai yang dapat dipilih. Amplifier pada potensiostat memiliki 1 kali penguatan er sub blok, dan hanya memberikan perbedaan antara dua potensial input. Pada dasarnya, kinerja potensiostat didasari dengan berbagai proses konfigurasi rangkaian di dalamnya, diantaranya tedapat spesifikasi umum dibawah ini.

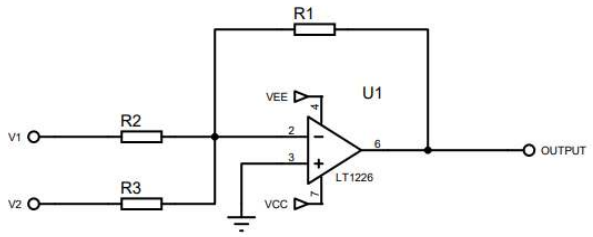
- Summing dapat menjumlahkan dua sinyal input, yaitu VAC dan VDC.
- Inverting mampu menguatkan tegangan dalam konfigurasi tertentu dan memiliki output tegangan bernilai positif.
- *Differential amplifier* memiliki tegangan output yang dihasilkan sebanding dengan "Perbedaan/Difference" antara dua sinyal tegangan input dan sinyal dikuatkan 1 kali.
- Sinyal dapat dikuatkan 1 kali pada buffer (voltage follower).
- Transimpedance berkonfigurasi inverting dapat mengkonversi beberapa rentang arus dari 1µA hingga ratusan mA menjadi tegangan dengan memanfaatkan hukum Ohm, dan mengubah nilai variable resistor dengan program agar nilai penguatan pada setiap rentang arus yang diterima tidak memiliki nilai yang terlalu besar atupun terlalu kecil.
- Filter BPF dengan frekuensi maksimum 110 KHz.
- Dibutuhkannya tegangan offset (0.5-1V).
- Secara intrinsik potensiostat dapat mencuplik bandwidth tinggi, memungkinkan berbagai frekuensi input dan output dengan rentang 100mHz hingga 25MHz.



Gambar Keseluruhan Blok Komponen Potensiostat

2.1. Summing Amplifier

Pada pengkalibrasian summing amplifier dapat dibuktikan dengan parameter tertentu yaitu dengan menghitung persamaan Vout yang dijadikan sebagai tolak ukur penjumlahan antara dua sinyal input [3].



Gambar Blok Komponen *Summing Amplifier* Potensiostat

Berdasarkan gambar telah disertakan skematik dapat disertakan rumurs ebagai berikut untuk mengkalkulasikan tegangan keluaran dengan langkah pertama yaitu mengkondisikan variable kedua tegangan.

$$A1 = (R1 / R2)$$
$$A2 = (R1 / R3)$$

Dilanjutkan dengan menjumlahkan kedua tegangan dengan Vout.

$$Vout = (A1 \times V1) + (A2 \times V2)$$

Pengukuran CMRR (Common Mode Rejection Ratio) pada konfigurasi rangkaian summing juga harus diperhatikan, dengan demikian pengukuran kemampuan penguat penjumlahan untuk menolak sinyal dalam mode umum dan biasanya dinyatakan dalam desibel (dB).

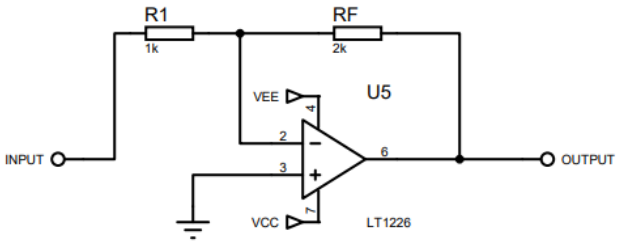
Output CMRR tinggi menunjukkan bahwa penguat penjumlahan mampu menolak sinyal mode umum secara efektif, sedangkan output CMRR rendah menunjukkan bahwa itu kurang efektif dalam menolak sinyal mode umum. CMRR amplifier diferensial dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$CMRR\ (dB) = 20 * \log10\ (Diferensial / Common\ mode)$$

Di mana nilai diferensial adalah penguatan mode diferensial amplifier (penguatan amplifier ketika sinyal input berbeda), dan common mode adalah penguatan common mode amplifier (penguatan amplifier ketika sinyal input sama).

2.2. Inverting

Pada pengkalibrasian konfigurasi rangkaian inverting dapat dibuktikan dengan menganalisis nilai tegangan output bernilai negatif ataupun positif, disamping itu rangkaian konfigurasi ini dapat diberikan penguatan tertentu dengan membandingkan nilai resistor sehingga memiliki output tegangan yang dibutuhkan, dengan menentukan penguatan sirkuit [3].



Gambar Blok Komponen *Inverting* Potensiostat

Untuk menghitung penguatan sirkuit penguat pembalik, perlunya mengukur sinyal output dan sinyal input dengan multimeter. Gain dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Gain\ (dB) = 20 * \log10\ (Vout / Vin)$$

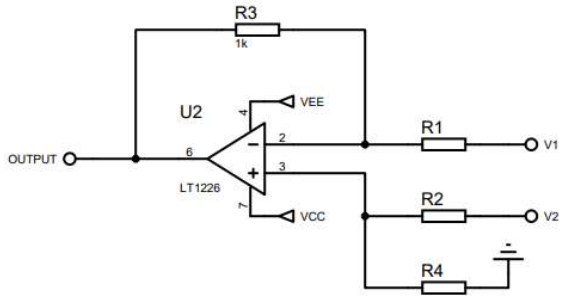
Penguat Penguat Dimana Vout adalah sinyal output yang diukur dan Vin adalah sinyal input yang diukur. Berdasarkan nilai gain yang didapat, tegangan output dapat dikalkulasikan dengan rumus sebagai berikut.

$$Vout = -(Gain) \times Vin$$

Penting untuk memastikan op-amp bias dengan benar dan sinyal input dan output berada dalam jangkauan operasi op-amp berdasarkan *datasheet*. Jika sinyal input atau output berada di luar jangkauan operasi, op-amp dapat tidak dapat bekerja dan penguatan sirkuit akan terdistorsi.

2.3. Differential Amplifier

Differential amplifier memperkuat perbedaan antara dua tegangan membuat jenis rangkaian Op-amp ini menjadi Subtractor/Pengurang tidak seperti Penguat Penjumlah (Summing Amplifier) yang menambah atau menjumlahkan bersama tegangan input [3].



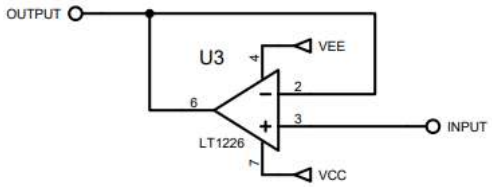
Gambar Blok Komponen *Differential Amplifier* Potensiostat

Tegangan keluaran dari konfigurasi rangkaian *differential amplifier* juga dapat dianalisis dengan membandingkan kedua tegangan input, berdasarkan gambar rumus dapat terdefinisikan sebagai berikut.

$$Vout = -V1(R3 \times R1) + V2((R4 \times R2) + R4) \times (R1 + (R3 \times R1))$$

2.4. Voltage Follower

Rangkaian voltage follower dapat diterapkan dengan menstabilkan tegangan masukan dengan tegangan keluaran, dapat dibuktikan penguatan yang bernilai satu menandakan tegangan keluaran sama dengan tegangan masukan [4].



Gambar Blok Komponen Voltage Follower Potensiostat

2.5. Transimpedance

Pada konfigurasi rangkaian transimpedance dapat dibuktikan dengan menggunakan hukum Ohm.

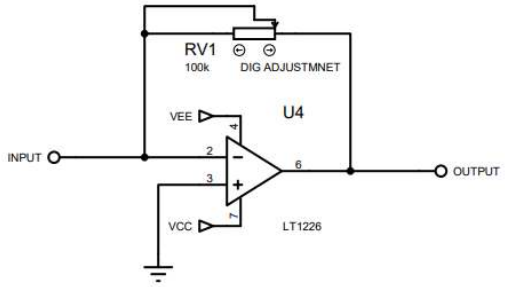
$$V = I \times R$$

Dimana :

- V = Tegangan

- I = Arus
- R = Nilai Hambatan

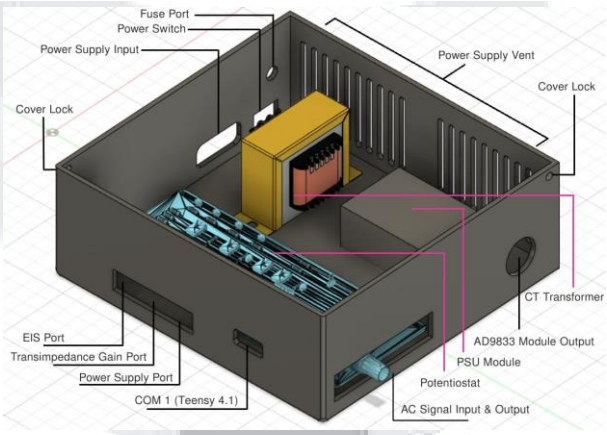
Nilai tegangan negatif yang dihasilkan output inverting mempengaruhi nilai tegangan *input transimpedance*.



Gambar Blok Komponen *Transimpedance* Potensiostat

Berpacu pada gambar, dengan permisalan nilai arus input yaitu 1mA, dengan nilai R=100k. Hasil kalkulasi berdasarkan persamaan hukum Ohm yaitu tegangan sebesar 0.1V. Perlu diperhatikan bahwa nilai tersebut memiliki nilai noise dan diperlukan buffer agar sinyal output yang dihasilkan tidak memiliki nilai noise yang besar maka dari itu dibutuhkannya konfigurasi variabel rentang arus.

2.6. Implementasi Potensiostat Terintegrasi



Gambar Skema Implementasi Potensiostat Terintegrasi

Dalam implementasi ini, kita menggunakan modul function generator AD9833 yang dikendalikan oleh mikrokontroler Teensy 4.1 untuk memberikan tegangan AC dengan berbagai frekuensi ke sistem. Tujuannya adalah untuk mengukur perbedaan potensial dalam sistem yang sedang diuji menggunakan Randles Cell selama pengukuran Elektrokimia Impedansi Spektroskopi (EIS). EIS memungkinkan kita untuk menganalisis respons elektrokimia sistem dengan melihat resistansi, kapasitansi, dan impedansi kompleks pada berbagai frekuensi gelombang AC sinusoidal.

Dalam rangkaian ini, Randles Cell terhubung ke port CE, RE, dan WE pada potensiostat. Elektroda kontra (CE) berfungsi sebagai jalur bagi arus yang berlawanan dengan arus yang dihasilkan oleh elektroda kerja (WE). Biasanya, elektroda kontra terbuat dari logam inert seperti platinum atau emas dan tidak berpartisipasi dalam reaksi elektrokimia utama. Perannya adalah memungkinkan aliran arus balik ke dalam larutan, menjaga keseimbangan dalam sel elektrokimia, dan mencegah terjadinya polarisasi elektroda.

Elektroda referensi (RE) digunakan sebagai referensi untuk mengukur potensial elektroda kerja (WE). Elektroda referensi (RE) tidak mengalami perubahan signifikan selama eksperimen dan membantu menjaga agar potensial elektroda kerja tetap dalam rentang yang diinginkan.

Sementara itu, elektroda kerja (WE) adalah tempat terjadinya reaksi elektrokimia yang ingin diamati atau dikendalikan potensialnya. Reaksi kimia di elektroda kerja menghasilkan arus yang diukur oleh potensiostat.

2.7. Pengujian Pertama Kalibrasi Potensiostat

Potensiostat diuji pada pengujian pertama dengan menginputkan tegangan pada rangkaian potensiostat yaitu pada konfigurasi rangkaian *summing* dan *inverting* dari powersupply external pada rentang supply tegangan input dari 0.3V hingga 1V dan dipasang rangkaian jalur yang disusun satu jalur berisikan 1 resistor 1K Ohm untuk menmenstabilkan rangkaian seperti mengukur *Randles Cell,* didapatkan rumus untuk menghitung konfigurasi rangkaian pada summing yang diluruhkan yaitu pada rumus dibawah ini, secara teoritis.

$$Vout = - RF/Rin \times Vin$$

Dilanjutkan dengan perhitungan yang sama dan dilakukan secara berulang. Didapatkan data berupa tegangan output yang diukur menggunakan multimeter dan dihitung secara regresi linear dengan membandingkan tegangan input dan output, data ini diuji dan ditujukan untuk memperoleh kalibrasi dan akurasi data peluruhan tegangan yang dihasilkan oleh Op-Amp (OP275-GPZ).

2.8. Pengujian Kedua Kalibrasi Potensiostat

Pengujian kedua dilakukan dengan cara yang sama seperti sebelumnya, dengan menginputkan tegangan dari *powersupply* DC pada rentang 0,1V hingga 4,7V dan dipasang rangkaian jalur yang disusun satu jalur berisikan 1 resistor 1K Ohm untuk menmenstabilkan rangkaian seperti mengukur *Randles Cell,* didapatkan rumus untuk menghitung konfigurasi rangkaian pad*a Transimpedance* atau bisa disebut rangkaian *I to V* yang difungsikan sebagai penguatan tegangan disamping itu diberikan rangkaian *inverting* yang berkonfigurasi penguatan sebanyak 1 kali, dan diukur pada jalur output rangkaian *inverting sebagai output* potensiostat. yaitu pada rumus dibawah ini, secara teoritis.

$$Vout = -RF / Rin \times Vin$$

Dengan perhitungan yang sama seperti sebelumnya, perhitungan ini dilakukan secara berulang dan dilanjutkan dengan perhitungan regresi linear.Dibawah ini adalah data yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran secara langsung dengan multimeter pada output rangkaian *transimpedance* dan *inverting,* namun data yang diperlukan berupa data arus sebagai acuan dari data yang diukur. Diperlukannya konversi nilai tegangan ke arus menggunakan rumus dari hukum Ohm seperti dibawah ini.

$$V = I \times R$$

Dengan begitu, perumusan dapat disesuaikan pada kondisi pengukuran dengan menghitung arus yang keluar dari *port* Elektroda kontra (CE) sebagai acuan arus *input* dari pengukuran, tegangan yang sudah diluruhkan sebesar 0.02176 kali. Perhitungan selanjutnya untuk mendapatkan nilai arus dapat dilakukan dengan rumus secara teoritis sebagai berikut.

$$Iin = 0.02176 \times Vin / Rim$$

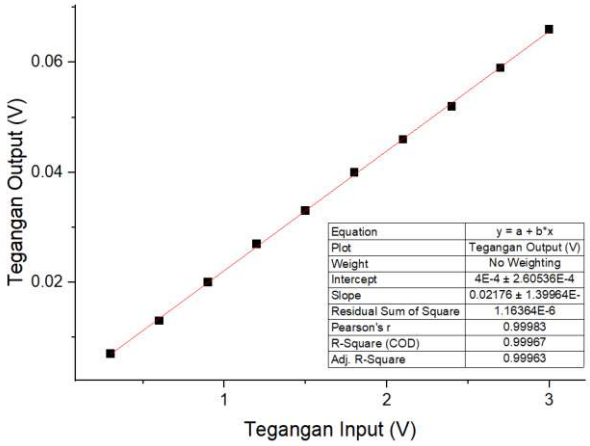
Perhitungan dilanjutkan dengan mengubah tegangan output menjadi arus pada kondisi tegangan keluaran dibagi dengan nilai resistor Rim, seperti perhitungan dibawah ini.

$$Iout = Vout / Rim$$

tegangan output yang diukur menggunakan multimeter dan dihitung secara regresi linear dengan membandingkan tegangan yang sudah dikonversi mejadi nilai arus dengan acuan arus input dan output, data ini diuji dan ditujukan untuk memperoleh kalibrasi dan akurasi data peluruhan tegangan yang dihasilkan oleh Op-Amp (OP275-GPZ).

3. Pembahasan

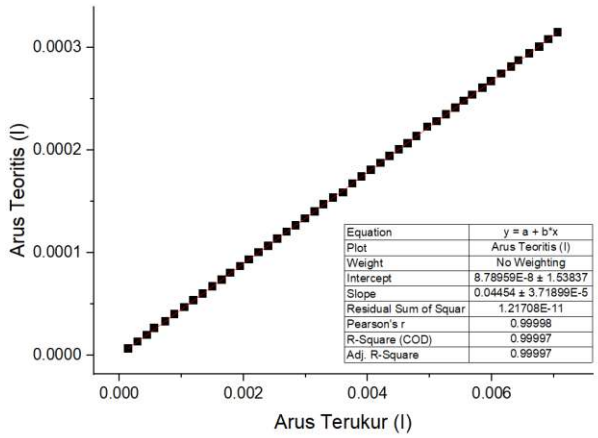
3.1. Pengujian Pertama Potensiostat



Gambar 4.1 Tabel Hasil Kalibrasi dan Grafik Potensiostat Pengujian Pertama

Berdasarkan data diatas didapatkan hasil regresi linear yang sudah dikalkulasikan melalui aplikasi *Origin.* Model regresi linear yang didapat menjelaskan hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran. Terdapat hubungan linier yang kuat dan positif antara kedua variabel tersebut, dengan peluruhan tegangan yang dapat direferensikan dari nilai *slope* sebesar 0.02176 kali pada setiap variabel tegagan input yang berbeda. Proporsi variabilitas dalam variabel dependen (tegangan keluaran) yang dapat dijelaskan oleh model regresi. Nilai R-Square (0.99967) menunjukkan bahwa 99.43% variasi dalam tegangan masukan yang dijelaskan oleh model regresi ini.

3.2. Pengujian Kedua Potensiostat



Gambar 4.2 Tabel Hasil Kalibrasi dan Grafik Potensiostat Pengujian Kedua

Berdasarkan data diatas didapatkan hasil regresi linear yang sudah dikalkulasikan melalui aplikasi *Origin.* Model regresi linear yang didapat menjelaskan hubungan antara arus masukan dan arus keluaran. Terdapat hubungan linier yang kuat dan positif antara kedua variabel tersebut, dengan peluruhan tegangan yang dapat direferensikan dari nilai *slope* sebesar 0.04454 kali pada setiap variabel tegagan input yang berbeda. Proporsi variabilitas dalam variabel dependen (tegangan keluaran) yang dapat dijelaskan oleh model regresi. Nilai R-Square (0.99997) menunjukkan bahwa 99.54% variasi dalam tegangan masukan yang dijelaskan oleh model regresi ini.

4. Kesimpulan

Berdasarkan Analisa data pengujian potensiostat didapatkan hasil regresi linear yang cukup baik. Model regresi linear yang didapat menjelaskan hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran. Terdapat hubungan linier cukup baik antara kedua variabel tersebut, didapatkan Nilai R-Square (0.99967) menunjukkan bahwa 99.43% variasi dalam tegangan masukan paada pengujian potensiostat pertama yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1** Disamping itu didapatkan Nilai R-Square (0.99997) menunjukkan bahwa 99.54% variasi dalam tegangan masukan paada pengujian potensiostat pertama yang dapat dilihat pada **Gambar 4.2** dapat disimpulkan dari hasil analisa menunjukan bahwa IC Op-Amp 275 GPZ mampu melakukan peluruhan maupun penguatan dengan baik dan terkalibrasi.

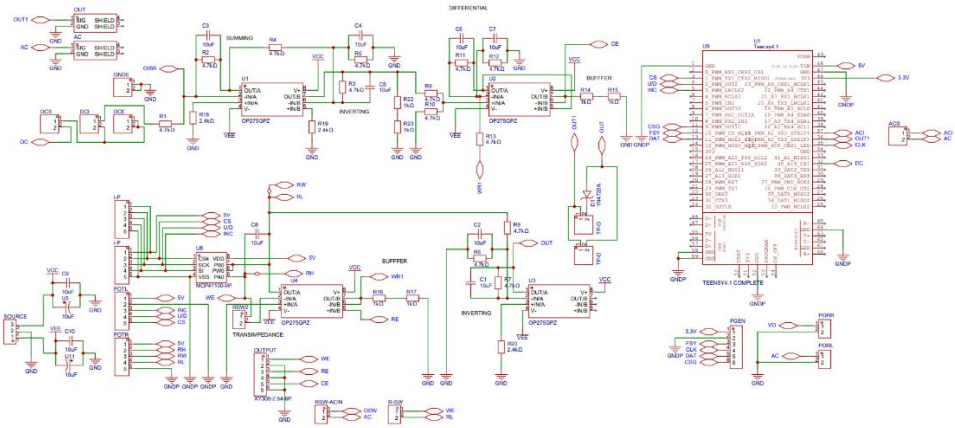
Daftar Pustaka:

[1] Z. He dan F. Mansfeld, "Exploring The Use Of Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) In Microbial Fuel Cell Studies," *Energy Environ,* no. 2, pp. 215-219, 2009.

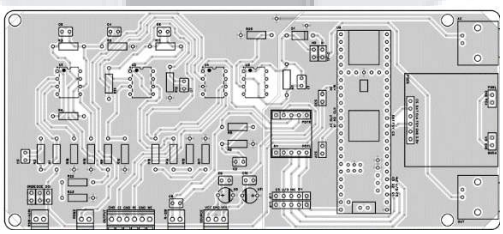
[2] D. D.Macdonald, "Reflections on the history of electrochemical impedance spectroscopy," Electrochimica Acta, vol. LI, no. 8-9, pp. 1376-1388, 2006.

[3] A. L. Rahman, I. W. Fathonah dan R. A. Salam, "RANCANG BANGUN POTENSIOSTAT DENGAN FREKUENSI KERJA 1Hz – 40kHz," 2021.

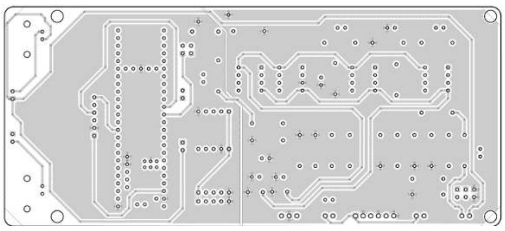
Lampiran



Gambar Skematik aplikasi PCB Potensiostat



Gambar Desain PCB Potensiostat Bagian Atas



Gambar Desain PCB Potensiostat Bagian Atas