

Integrasi Potensiostat Dalam Pengukuran Impedansi Spektral Menggunakan Mikrokontroler Teensy 4.1

1st Armando Hasiholan Simbolon
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
simbozx@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Indra Wahyudhin Fathona
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
indrafathonah@telkomuniversity.a
c.id

3rd Casmika Saputra
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
casmika@telkomuniversity.ac.id

Abstrak - Penelitian ini menjelaskan tentang integrasi antara Funtion Generator (AD9833), Potensiostat dan Teensy 4.1 dalam satu alat untuk mengukur impedansi spectral dalam eksperimen elektrokimia untuk menganalisis sifat sifat material seperti resistansi dan konduktasi. Teensy 4.1 berperan membuat perintah mengatur frekuensi ke AD9833, membaca analog dari dua saluran ADC secara paralel dengan interrupt dan menyimpan data array dari pengukuran tersebut yang dapat dilihat di file Excel. EIS memanfaatkan sinyal AC untuk mengukur impedansi sistem elektrokimia dan menampilkan data dalam bentuk Nyquist Plot dengan analisis FFT untuk mendapatkan informasi kompleks tentang impedansi. Pengujian yang dilakukan terhadap ADC Teensy menunjukkan bahwa nilai R-square mencapai sekitar 99%, menunjukkan kemampuan yang baik dalam pencuplikan data. Namun, kecepatan sampling ADC mengalami penurunan dari 1 msp menjadi 40 KHz karena jumlah perintah yang banyak dalam program Teensy, sehingga waktu sampling yang dihasilkan adalah sekitar 8 mikrosekond.

Kata kunci: ADC, Function Generator, Integrasi, Potensiostat, Teensy, Waktu Sampling

I. PENDAHULUAN

Potensiostat adalah alat yang digunakan dalam elektrokimia untuk mengontrol potensial (tegangan) elektrode secara konstan dalam rangka untuk melakukan eksperimen elektrokimia, seperti voltametri atau pengukuran impedansi. Menggabungkan antara Function generator (AD9833), Potensiostat dan Teensy 4.1 dalam satu box maka dapat disebut terintegrasi menjadi satu alat dalam pengukuran impedansi spektral. Integrasi potensiostat dengan sistem pengukuran impedansi memungkinkan kontrol yang presisi terhadap potensial elektrode, pemantauan arus elektrokimia, dan kemampuan untuk memeriksa sifat material, baik itu resistansi atau konduktansi.

Teensy merupakan mikrokontroler berbasis ARM yang dapat deprogram dengan bahasa c dan juga

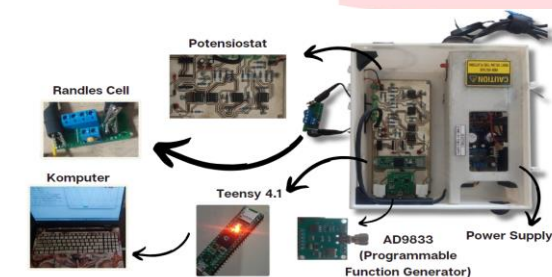
menggunakan Arduino IDE sebagai Compilernya.[1]. Teensy berfungsi sebagai pencuplik sinyal dari function generator (AD9833) dan potensiostat hasil dari data akan disimpan dalam Array.Data yang ada di Array dapat dilihat melalui excel untuk mengamati hasil tegangan yang dicuplik dari AD9833 dan potensiostat. Tugas Teesny 4.1 disini yaitu mengatur mengirim frekuensi ke AD9833, Membaca nilai-nilai analog dari dua saluran yaitu ADC0 (pin 14) dan ADC1 (pin15) menggunakan *interrupt*, menampung data di dua array dan setelah mencapai batas data (4000 data) yang diinginkan maka program akan berhenti. *Interrupt* merupakan program yang akan terus menurun mencuplik data dari 2 saluran ADC secara paralel tanpa harus menunggu pengukuran selesai.

Mikrokontroler Teensy 4.1 terintegrasi dengan perangkat keras lainnya yaitu Function generator (AD9833) dan potensiostat. Function generator (AD9833) bertugas untuk menghasilkan sinyal tegangan yang terukur sedangkan potensiostat mengatur kondisi potensial elektroda yang terhubung dengan randles cell. Integrasi ini memungkinkan membuat struktur yang tepat antara ketiga komponen, memastikan pencuplik data berjalan dengan baik.

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) merupakan suatu metode analisa sifat kelistrikan yang dapat dimanfaatkan untuk mengukur korosi, kualitas baterai, dan kapasitor [2]. EIS bertujuan untuk mengukur impedansi dari suatu sistem elektrokimia dengan cara mengaplikasikan frekuensi tunggal tegangan bolak-balik (AC) pada sistem elektrokimia tersebut. Sistem elektrokimia akan memberikan respon berupa pergeseran fasa dan amplitudo antara tegangan yang diberikan dan arus yang dihasilkan. Respon tersebut akan ditampilkan dalam bentuk komponen real dan imajiner yang disajikan pada Nyquist Plot [3]. Impedansi didapatkan membagi tegangan dengan arus menggunakan Fast Fourier Transform (FFT). FFT digunakan untuk mengetahui sifat-sifat yang kompleks dari sinyal tersebut dengan perhitungan impedansi yang rumit menggunakan data tegangan dan arus.

II. DASAR TEORI DAN METODOLOGI PERANCANGAN

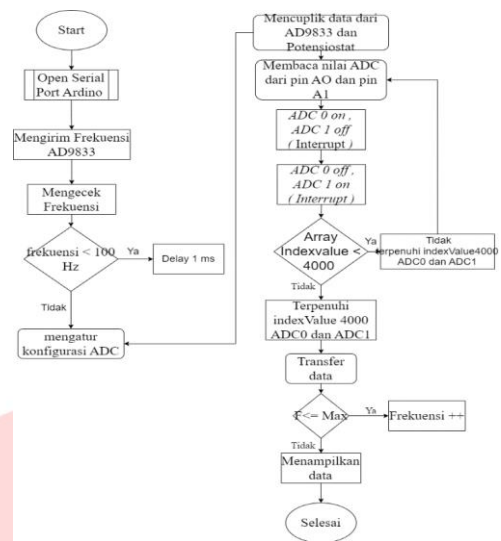
Mengabungkan 3 perangkat yaitu Function Generator (AD9833), Potensiostat dan Teensy menjadi satu dalam satu box merupakan potensiostat yang sudah terintegrasi dimana semua perangkat dijadikan satu kesatuan dilihat dari gambar dibawah ini, Function Generator (AD9833) yang dihungkan dengan dengan Teensy 4.1 dengan 5 serial komunikasi dihubungkan ke Teensy dan dibaca oleh ADC1 sedangkan potensiostat yang dihubungkan Randles cell terhubung dengan ADC0, Perintah untuk memprogram Teensy dapat diberikan dari komputer menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C. Dengan integrasi ini, semua perangkat dapat berfungsi sebagai satu kesatuan yang efisien untuk pengukuran dan pengendalian dalam eksperimen elektrokimia.



GAMBAR 2.
Integrasi Potensiostat

Teensy 4.1 merupakan pencuplik data yang dilengkapi berbagai fitur dan kemampuan kuat untuk memenuhi konsep dari integrasi sistem yang dibuat, dengan kemampuan pengolahan data dan serial komunikasi yang mudah dan cangih membuat Teensy 4.1 dapat digunakan dalam pengambilan data yang cukup baik. Teensy 4.1 memiliki 2 ADC (*Digital Analog Converter*). ADC (*Analog to Digital Converter*) adalah sebuah rangkaian elektronika yang dapat mengubah besaran analog menjadi besaran digital. Pada setiap sensor yang berbasis mikrokontroler (sebagai pusat pengolahan data) diperlukan adanya rangkaian ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk mengubah sinyal yang diterima oleh sensor untuk menjadi besaran digital supaya sinyal tersebut bisa diterjemahkan atau dibaca mikrokontroler [4].

A. Sistem kerja Teensy



GAMBAR 2.1
Flowchart kerja Teensy

Pada awal program, dilakukan inisialisasi perangkat keras termasuk pin FSYNC, SPI, dan ADC. ADC diatur dengan resolusi, averaging, serta kecepatan konversi dan sampling yang sesuai. Function generator AD9833 dikonfigurasi dengan frekuensi yang diinginkan, dan mode continuous pada ADC diaktifkan. Pengambilan data dilakukan dengan mengulangi proses sebanyak *NumofADC* (4000 data). setiap pengambilan data, nilai tegangan dari potensiostat (ADC0) dan AD9833 (ADC1) diambil dan disimpan dalam array terpisah. Setelah semua data berhasil diambil lalu dicetak dalam format berupa dua kolom yang memisahkan nilai tegangan dari kedua saluran ADC. Saat pengambilan data berlangsung, program memeriksa frekuensi yang digunakan. Jika frekuensi kurang dari 100 Hz maka delay 1 ms (milisekon), interrupt ADC memberikan waktu bagi ADC untuk menyelesaikan proses konversi (ADC0 on interrupt ADC1 off dan di switch setelah selesai ADC 0 off interrupt ADC 1 on interrupt). Setelah itu akan mentransfer data dan dicek lagi apakah frekuensi sudah sesuai jika belum sesuai maka frekuensi akan diganti atau penambahan frekuensi (kembali ke proses mengirim frekuensi) dan jika frekuensi sudah terpenuhi maka akan menampilkan data dan program selesai.

B. Rumus Konversi Nilai bit

Setelah semua data dicuplik oleh ADC Teensy maka akan disimpan kedalam file excel dengan nilai bit ke-dua saluran yaitu AD9833 dan Potensiostat. ADC0(Saluran pertama) yaitu nilai bit dari Potensiostat, potensiostat yang terhubung Randles cell lalu dihubungkan ke ADC0 dicuplik berupa tegangan maka harus dikonversikan ke arus.

$$ADC0 = I = \frac{\text{nilai bit}}{4095} \times 3.3 V \times \frac{1}{200 \Omega} \quad (1)$$

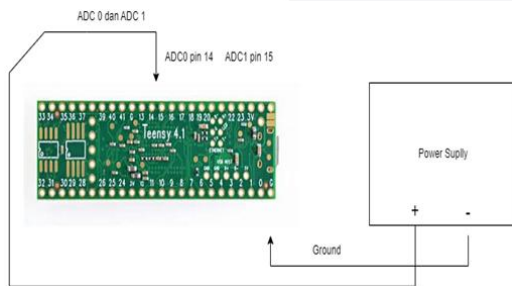
Rumus diatas didapatkan dengan nilai yang dicuplik (nilai bit) dibagi dengan resolusi 12bit (4095) dikali dengan batas maksimum dari adc yaitu 3.3V dan dikali dengan R transimpedance sebesar 200Ω maka akan dapat nilai arus dari potensiostat.

Kedua, data yang dicuplik oleh ADC Teensy disimpan kedalam file excel dengan nilai bit dari Function Generator (AD9833). Setelah Teensy mengirim perintah mengirim frekuensi setelah itu ADC akan mencuplik nilai dari frekuensi yang telah diatur dengan rumus mengkonversi tegangan yaitu:

$$ADC1 = V = \frac{\text{nilai bit}}{4095} \times 3.3 V \times 0.021 \quad (2)$$

Rumus diatas didapatkan dengan nilai yang dicuplik (nilai bit) dibagi dengan resolusi 1bit (4095) dikali dengan batas maksimum ADC sebesar 3.3 v dan dikali dengan nilai penyaluran yang didapatkan dari slope pengujian arus di potensiostat.

C. Pengujian ADC di Teensy



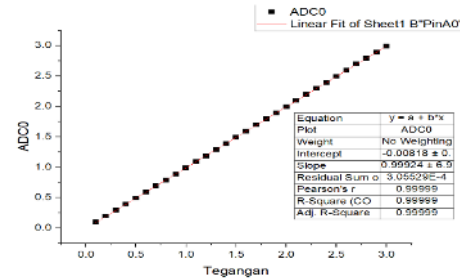
GAMBAR 2.3.
Skema Pengujian ADC Teensy

Pengujiann ADC Teensy 4.1 dilakukan dengan mencuplikkan tegangan dari power supply dengan kabel jumper yang dihubungkan ke ADC0 (Pin14), ADC1(Pin15) dan ground ke Teensy 4.1 dengan rentang tegangan 0.1V-3V setelah dicuplik oleh Tenssy 4.1 maka dapat nilai asli (Nilai bit) dari power suplly. Nilai bit ini kita konversikan ke nilai analog dengan rumus nilai Analog

$$V = \frac{\text{nilai bit}}{4095} \times 3.3 V \quad (3)$$

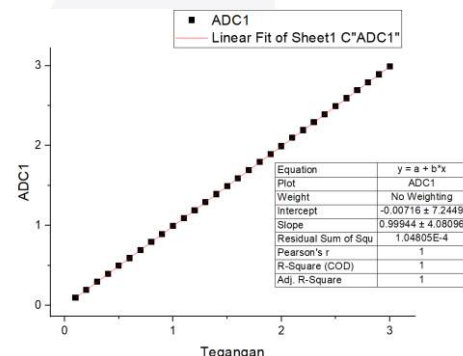
Setelah dapat nilai analog dari tegangan 0.1V-3V maka kita rata ratakan setiap tegangan (setiap tegangan datanya ada 20 data) lalu didapatkan hasil nilai

analog dari setiap tegangan dan diplot hasil tersebut. Maka didapatkan seperti gambar dibawah ini:



GAMBAR 2.3.1
Regresi linear ADC 0

Gambar diatas adalah hasil dari pengujian ADC0 di Teensy 4.1, ADC0 adalah jalur untuk mencuplik dari potensiostat. Data dari pengujian adalah hasil nilai rata-rata dari rentang 0.1V - 3V lalu di regresi linear dan diplot dengan aplikasi origin, gambar diatas menunjukkan bahwa adanya hubungan linier antara kedua variabel yaitu tegangan dan ADC0, dengan Kemiringan (Slope) sekitar 99%. Dengan nilai R-square mengukur sekitar 99% maka dapat dikatakan bahwa ADC0 mampu menjelaskan lebih banyak variasi dalam data yang diamati dan ADC0 dapat mencuplik dengan baik.



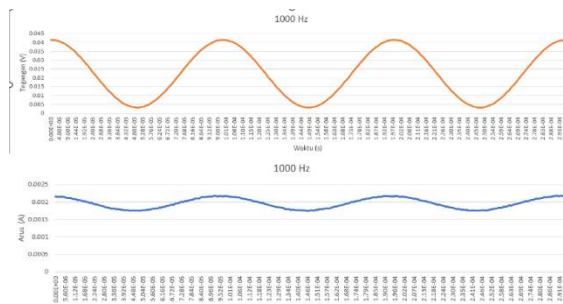
GAMBAR 2.3.2
Regresi Linear ADC1

Gambar diatas adalah hasil dari pengujian ADC1 di Teensy 4.1, ADC1 adalah jalur untuk mencuplik dari potensiostat. Data dari pengujian adalah hasil nilai rata-rata dari rentang 0.1V - 3V lalu di regresi linear dan diplot dengan aplikasi origin, gambar diatas menunjukkan bahwa adanya hubungan linier antara kedua variabel yaitu tegangan dan ADC1, dengan Kemiringan (Slope) sekitar 99%. Dengan nilai R-square mengukur sekitar 100% maka dapat dikatakan bahwa ADC1 mampu menjelaskan lebih banyak variasi dalam data yang diamati dan ADC1 dapat mencuplik dengan baik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

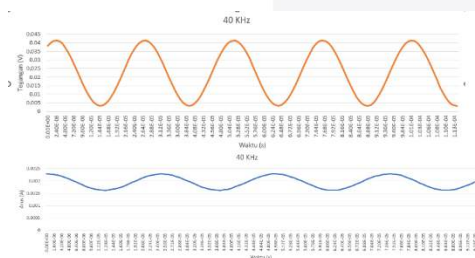
Data yang dicuplik oleh ADC Teensy akan ditampung ke array dan disimpan dalam bentuk file

excel. Di excel kita dapat melihat data dan memplot data sehingga dapat divisualisasikan apa yang dicuplik oleh adc. Setelah di cuplik maka kita konversikan nilai bit dengan rumus nilai tegangan dan arus yang ada diatas lalu kita plot hasil dari konversi tersebut. Gambar di bawah ini menunjukkan perbandingan antara tegangan, arus, dan waktu yang diambil oleh Teensy. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa Teensy mampu melakukan pengambilan data dengan baik pada frekuensi 1000Hz.



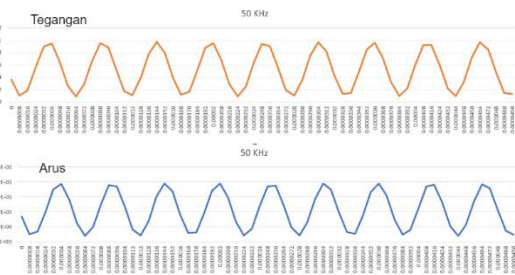
GAMBAR 3.1
Gelombang Frekuensi 1000Hz

Frekuensi 40 KHz dapat dicuplik dengan baik, seperti yang terlihat dari gambar di bawah. Gambar tersebut menampilkan gelombang sinusoidal yang telah dicuplik oleh Teensy. Nilai-nilai dalam gambar tersebut telah dikonversi menggunakan rumus konversi yang sesuai untuk mengubah nilai tegangan dan arus yang terukur menjadi format yang dapat direpresentasikan dengan baik. Pada frekuensi 40 KHz dapat mencuplik dengan akurat sehingga dapat menganalisis seberapa akurat ADC yang ada di Teensy.



GAMBAR 3.2
Gelombang Frekuensi 40 KHz

Frekuensi 50 KHz dapat dicuplik, tetapi tidak sempurna. Gelombang sinusoidal yang dicuplik patah-patah atau tidak benar-benar berbentuk gelombang sinusoidal *ideal*. Hal ini disebabkan oleh batasan pada kecepatan sampling ADC yang digunakan oleh Teensy. Saat frekuensi mencapai 50 KHz atau lebih, ADC mulai kesulitan untuk mencuplik dengan akurat pada setiap titik pada gelombang sinusoidal karena kecepatan sampelnya sudah mendekati batas atasnya

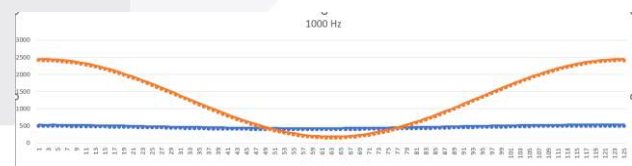


GAMBAR 3.3
Gelombang Frekuensi 50 KHz

Frekuensi Maksimal yang dapat dicuplik oleh ADC Teensy 4.1 sebesar 40khz padahal kecepatan sampling ADC sebesar 1 Msps, penurunan kecepatan sampling ini dikarenakan ada beberapa faktor yaitu di dalam program yang terdapat di teensy banyak perintah seperti register AD9833, *Write register MSB*, *Write register LSB*, Memasukan ke data ke Array (4000 data) dan menunggu interrupt ADC (*ADC 0 on interrupt ADC 1 off* dan di *switch* setelah selesai *ADC 0 off interrupt ADC 1 on interrupt*), Saat menjalankan berbagai perintah tersebut, waktu eksekusi yang diperlukan untuk masing-masing perintah dan waktu yang dibutuhkan untuk menunggu interrupt ADC mempengaruhi waktu yang tersedia untuk setiap pengukuran. Sebagai akibatnya, kecepatan sampling turun menjadi 40 kHz.

Setelah dapat semua nilai tegangan dan arus maka kita menemukan waktu sampling dari setiap data kepada selanjutnya. Dapatkan satu gelombang maka kita akan menghitungnya dengan rumus waktu sampling, Menghitung waktu sampling maka kita ambil frekuensi yang akan dicuplik setelah itu ambil satu gelombang dari setiap frekuensi yang kita ubah ubah lalu cari ada berapa titik dalam satu gelombang sehingga kita mengetahui berapa waktu sampling atau perpindahan titik ketitik tersebut. Berikut Rumus waktu sampling:

$$T = \frac{\text{Waktu sampling}}{\text{Banyak titik dal satu gelombang}} \quad (4)$$



GAMBAR 3.4
Banyaknya titik dalam satu gelombang frekuensi 1000Hz

Setelah dapat satu gelombang maka kita akan menghitungnya dengan rumus waktu sampling, Menghitung waktu sampling maka kita ambil frekuensi yang akan dicuplik setelah itu ambil satu gelombang dari setiap frekuensi yang kita ubah ubah lalu cari ada berapa titik dalam satu gelombang sehingga kita mengetahui berapa waktu sampling atau perpindahan titik ketitik

terserbet. frekuensi $1\text{KHz} = \frac{1}{125} \times 10^{-3} = 8 - 6 \text{ s}$ atau 8 mikro sekon dan $2\text{KHz} = \frac{1}{125} \times 10^{-3} = 8.06451\text{E} - 6 \text{ s}$. Waktu sampling adalah interval waktu antara dua pengukuran atau sampel dalam pengumpulan data, maka dari hasil perhitungan diatas diketahui bahwa perpindahan titik atau data tersebut sebesar 8 mikrosekon. Untuk frekuensi $< 100 \text{ Hz}$ dilakukan down sampling dengan memberikan waktu delay 1ms (milisekon) agar sampling ratenya melambat sehingga waktu samplingnya adalah 0.0018 second setiap time data pengukuran frekuensi yang dicuplik

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analis dan pengujian penelitian diatas, integrasi dari 3 sub-sitem yaitu function generator, potensiostat dan Teensy 4.1 sudah dikatakan berhasil diliat dari hasil gambar diatas bahwa semua disatukan dalam box dan bekerja dengan baik. ADC bekerja dengan baik diliat dari nilai *R-square* mengukur sekitar 99% maka dapat dikatakan bahwa ADC Teensy mampu menjelaskan lebih banyak variasi dalam data yang diamati dan ADC dapat mencuplik dengan baik. Kecepatan sampling Teensy berkurang dari 1 Msps turun ke 40 KHz penurunan kecepatan sampling ini dikarenakan ada beberapa faktor yaitu di dalam program yang terdapat di teensy banyak perintah seperti register AD9833, *Write register* MSB, *Write register* LSB, Memasukan ke data ke Array (4000 data) dan menunggu interrupt, Saat menjalankan berbagai perintah tersebut, ADC kemampuan mencupliknya akan berkurang.

[5]

Menghitung waktu sampling dengan cara ambil frekuensi yang akan dicuplik setelah itu ambil satu gelombang dari setiap frekuensi yang kita ubah ubah lalu cari ada berapa titik dalam satu gelombang sehingga kita mengetahui berapa waktu sampling atau perpindahan titik ketitik terserbet dari penelitian ini waktu sampling sebesar 8 us (mikrosekon) dan untuk frekuensi $< 100 \text{ Hz}$ waktu sampling sebesar 0.0018 sekon.

REFERENSI

- [1] L. Riadhi, M. Rivai, and F. Budiman, "Sistem Pengaturan Oksigen Terlarut Menggunakan Metode Logika Fuzzy Berbasis MikrokontrolerTeensy Board," J. Tek. ITS, vol. 6, no. 2, Sep. 2017.
- [2] Zhen he dan Florian Mansfeld, "Exploring The Use Of Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) In Microbial Fuel Cell Studies". Royal Society of Chemistry, 2008.
- [3] Ametek *Scientific Instruments*, "Application Note AC-1 Subject: Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy". Princeton Applied Research, 2015.
- [4] Sagita, et.al. "FAKTOR EXACTA 6(2)," PENGKONVERSIAN DATA ANALOG MENJADI DATA DIGITAL MENGGUNAKAN *INTERFACE* PPI 8255 DENGAN BAHASA PEMOGRAMAN BORLAND DELPHI 5.0, p. 1, 2013.