

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

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 [2].

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) [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.

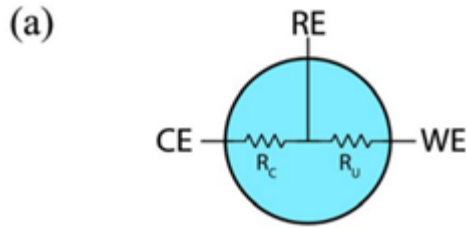
Solusi yang berikan dibagi menjadi tiga tahapan yaitu merancang pembangkit fungsi, merancang Potensiostat, dan merancang aplikasi pengolahan sinyal. Merancang pembangkit fungsi (FG) dengan mengintegrasikan modul berupa komponen rangkaian DAC kemudian modul yang dihubungkan dengan mikrokontroler lalu diprogram melalui komputer, Selanjutnya pada potensistat mengembangkan system potensiostat dengan merancang skematik hingga mencetak PCB menggunakan komponen IC OP-AMP tertentu yang dapat memproses sinyal input dari pembangkit fungsi dengan rentang 100 mHz hingga 100 KHz yang cepat dan memiliki nilai *noise* yang rendah. Disamping itu alat potensiostat yang dirancang juga dapat mengatur rentang arus menggunakan rangkaian *switch* atau *programmable* variabel resistor agar dapat menyesuaikan proses transimpedansi sinyal input secara otomatis. Untuk rangkaian

setara sel elektrokimia digunakan rangkaian Randles Cell sebagai analogi dari sel elektrokimia tersebut. Pada pengolahan sinyal digunakan ADC dengan kecepatan sampling bervariasi. mikrokontroler berfungsi untuk mengontrol input output dan juga memiliki fitur tambahan data logger untuk menyimpan data sehingga proses pengolahan sinyal dapat dilakukan lebih cepat dan otomatis. Hasil pengolahan sinyal ditampilkan sebagai Nyquist plot yang berisi nilai impedansi *real* dan imajiner pada berbagai frekuensi [4]. Jika seluruh komponen sistem terancang, sistem² tersebut akan dijalankan secara otomatis melakukan pengukuran EIS secara sistematis sehingga terintegrasi.

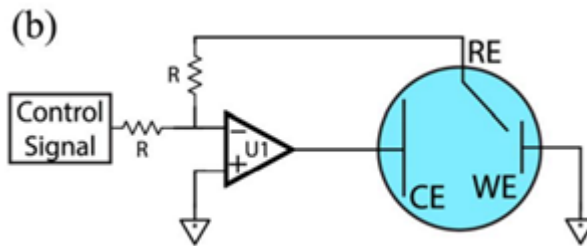
1.2 Informasi Pendukung Masalah

Kemampuan potensiostat sangat bervariasi dalam hal kapasitas pengukuran arus, jangkauan potensial dan resolusi. Beberapa peneliti telah melaporkan perancangan potensiostat. Potensiostat DStat dirancang oleh Michael DM Dryden dkk, dimana fitur tersebut bersifat *open source* pada potensiostat yang bisa mengontrol melalui koneksi USB. DStat mempunyai kemampuan pengukuran arus sampai picoampere dengan desain yang ringkas, dan perangkat lunak lintas platform yang mudah digunakan [5]. Tujuan desain perangkat keras untuk DStat adalah untuk memungkinkan pengukuran amperometri dan voltametri untuk kondisi yang biasa ditemukan di laboratorium penelitian—arus sederhana pada elektroda kecil, tegangan khas sel elektrokimia berair, dan penekanan pada pengukuran arus rendah yang akurat untuk aplikasi penginderaan. Lebih lanjut, DStat dirancang untuk dikontrol dan ditenagai dengan koneksi USB (menyediakan daya dan data), memungkinkan portabilitas untuk penggunaan lapangan bila dikombinasikan dengan komputer bertenaga baterai.

Fungsi yang paling penting dari potensiostat adalah untuk mengontrol potensial pada *working electrode* (WE) dalam sel elektrokimia sehingga memungkinkan arus diukur pada potensial konstan. Hal ini dicapai dengan menggunakan sel tiga elektroda di mana tegangan diterapkan ke *counter electrode* (CE), yang menyediakan arus yang cukup untuk mengkompensasi reaksi redoks yang terjadi di WE [6]. Tegangan ini diatur oleh umpan balik dari *reference electrode* (RE). Penggunaan sel tiga elektroda memberikan dua keuntungan utama: RE tidak rentan terhadap kesalahan polarisasi (di mana aliran arus menghasilkan perubahan potensial) dan RE dapat cukup kecil untuk ditempatkan sangat dekat dengan permukaan *working electrode*, meminimalkan kesalahan potensial yang disebabkan oleh tahanan larutan [5].



Gambar 1.1 Model sel tiga elektroda yang disederhanakan



Gambar 1.2 Rangkaian potensiostatik dasar

1.3 Analisis Umum

Berdasarkan permasalahan yang ada, dapat dikemukakan analisis umum terutama pada pengukuran impedansi spectral sebagai berikut:

1.3.1 Aspek Ekonomi

Dalam perancangan awal potensiostat memiliki biaya relatif mahal sekitar 100 – 300 Jt. Pembuatan PCB pada rangkaian potentiostat diperlukan alat dan bahan biaya yang tidak sedikit termasuk biaya alat function generator yang berkisar 10 – 20 Jt. maka dari itu, untuk pembelian alat tersebut dibutuhkan dana yang cukup besar.

1.3.2 Aspek Manufakturabilitas

Pembuatan alat ukur EIS dapat dilakukan dengan merancang pembangkit fungsi (FG), potensiostat, dan penganalisis data. Hal ini dapat dilakukan dengan merangkai rangkaian pembangkit fungsi (FG), merangkai piranti- piranti elektronik dalam sebuah PCB untuk potensiostat dan juga merancang aplikasi pada komputer untuk pengolah dan penganalisis data.

Pada pembangkit fungsi (FG) diperlukannya mikrokontroler dan juga modul pembangkit fungsi (FG). Selanjutnya, Perancangan potensiostat dapat dilakukan dengan menggunakan PCB, jenis PCB yang digunakan yaitu *single rigid* PCB. Selain menggunakan PCB, terdapat juga komponen ataupun piranti-piranti elektronik seperti IC OP-AMP, resistor, dan kapasitor

yang dapat dipesan melalui toko elektronika terdekat maupun dipesan dengan cara *online* baik didalam negeri maupun luar negeri.

1.3.3 Aspek Keberlanjutan (sustainability)

Berdasarkan kebutuhan yang merujuk pada permasalahan merancang alat pengukuran impedan mikroskopik dibutuhkannya alat ukur potensiostat yang memiliki harga terjangkau serta fitur user friendly untuk digunakan di laboratorium. Sehingga, kebutuhan ini harus terpenuhi untuk tercapainya aspek keberlanjutan.

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Kebutuhan yang harus terpenuhi yaitu kemampuan elektronika, teknik instrumentasi, teknik digital, rangkaian listrik, teknik pengukuran dan pengolahan sinyal. Kemampuan elektronika juga dibutuhkan untuk merangkai PCB dan menganalisis komponen elektronika dalam pembuatan potensiostat. Disamping itu, diperlukan biaya yang cukup untuk menyediakan komponen yang dibutuhkan guna merangkai alat ukur potensiostat dan memfasilitasi pengerjaan rancangan alat ukur.

1.5 Solusi Sistem yang Diusulkan

1.5.1 Karakteristik Produk

1.5.1.1 Function Generator

1. Function Generator (FG) System On Chip (AD9833)

- Fitur Utama:

Terintegrasi antara komponen seperti Function Signal Generator, Arbitrary Waveform Generator, Pulse Generator, Sweep, Counter dan Frequency Meter.

- Fitur Dasar:

Teknologi Digital untuk menghasilkan bentuk gelombangnya (DDS)

- Fitur Tambahan:

Perangkat ini bisa menghasilkan enam macam gelombang yaitu Sine, Square, Triangle, Sawtooth, ECG dan Noise Wave

- Solusi:

Menggunakan Sistem on chip AD9833

2. Function Generator (FG) dengan Rangkaian DAC (IC)

- Fitur Utama:

Menggunakan rangkaian DAC

- Fitur Dasar:

Rangkaian sinyal generator dapat digunakan untuk menguji respons frekuensi komponen elektronika seperti op amp dan sensor

- Fitur Tambahan:

Menghasilkan empat waveshapes: sinus, segitiga, pulse, dan saw

- Solusi:

Menggunakan Arduino UNO, Arduino Mega 2560 dan beberapa jenis DAC

3. Function Generator (FG) dengan Rangkaian *Analog*

- Fitur Utama:

Menampilkan gelombang sinyal tegangan

- Fitur Dasar:

Frekuensi yang dihasilkan dapat dipilih dengan memutar-mutar tombol batas ukur frekuensi (frequency range)

- Fitur Tambahan:

Gelombang output sinus, kotak, atau gelombang segitiga

- Solusi:

Menggunakan generator fungsi dengan rangkaian op amp.

1.5.1.2 Potensiostat

1. Potensiostat I (OP-AMP MAX4475)

- Fitur Utama:

Komponen dapat digunakan untuk mengukur berbagai proses impedansi pada potensiostat.

- Fitur Dasar:

Memperkuat sinyal arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC).

- Fitur Tambahan:

Noise arus rendah, Noise tegangan rendah, distorsi rendah, dan mampu mencuplik frekuensi sinyal dari rentang frekuensi bandwidth dengan parameter yang ditentukan.

- Solusi:

Merangkai rangkaian ADC Buffers, Summing amplifier, dan Penguat Inverting.

2. Potensiostat II (OP-AMP LT 1226)

- Fitur Utama:

Komponen dapat digunakan untuk mengukur berbagai proses impedansi pada potensiostat.

- Fitur Dasar:
 - Memperkuat sinyal arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC).
 - Fitur Tambahan:
 - Noise arus rendah dan Noise tegangan rendah.
 - Solusi:
 - Merangkai rangkaian summing amplifier, buffer, diferensial amplifier, dan penguat inverting.
3. Potensiostat III (OP-AMP LMP 7721)
- Fitur Utama:
 - Komponen dapat digunakan untuk mengukur berbagai proses impedansi pada potensiostat.
 - Fitur Dasar:
 - Memperkuat sinyal arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC).
 - Fitur Tambahan:
 - Noise arus rendah dan Noise tegangan rendah , dan distorsi rendah.
 - Solusi:
 - Merangkai rangkaian transimpedansi amplifier.
4. Pengaplikasian Konfigurasi Rangkaian Buffer
- Fitur Utama:
 - Komponen dapat digunakan untuk mengaplikasikan konfigurasi rangkaian buffer.
 - Fitur Dasar:
 - Meminimalisir nilai noise pada sinyal yang di proses pada potensiostat.
 - Fitur Tambahan:
 - Buffer dapat mengkondisikan noise pada rentang tertentu.
 - Solusi:
 - Merangkai rangkaian konfigurasi Buffer.
5. Konfigurasi Rentang Nilai Variabel Resistor menggunakan Arduino
- Fitur Utama:
 - Komponen dapat digunakan untuk mengatur rentang nilai variabel resistor pada rangkaian konfigurasi transimpedansi.
 - Fitur Dasar:
 - Mampu diprogram sesuai parameter pengukuran rentang arus.

- Fitur Tambahan:

Rentang arus dapat diprogram dengan nilai variabel tertentu.

- Solusi:

Merangkai komponen menggunakan program dan hardware arduino dan potensiometer.

1.5.1.3 Pengolahan Sinyal

1. Menggunakan bahasa Python

- Fitur Utama:

Dapat mengukur tegangan dari potensiostat dan sampling rate

- Fitur Dasar:

Mengukur tegangan dengan sampling rate cepat, mengkonversi data, menyimpan data dengan cepat dan pengolahan sinyal dengan FFT

- Fitur Tambahan:

Menggunakan software open source, dan *user friendly software*

- Solusi:

Menggunakan ADC, memori ultra SD dan software python dengan bahasa program Python.

2. Menggunakan Bahasa C++

- Fitur utama: Dapat menyimpan data dengan cepat dari potensiostat dan konversi data dengan cepat

- Fitur dasar: Transfer data yang mengukur tegangan dan menyimpan data dari potensiostat

- Fitur Tambahan: Menyimpan data sementara dari proses tegangan dengan sampling rate dan *user friendly*

- Solusi: Menggunakan ADC, memori ultra SD dan software Scilab dengan bahasa program C++

3. Menggunakan bahasa C#

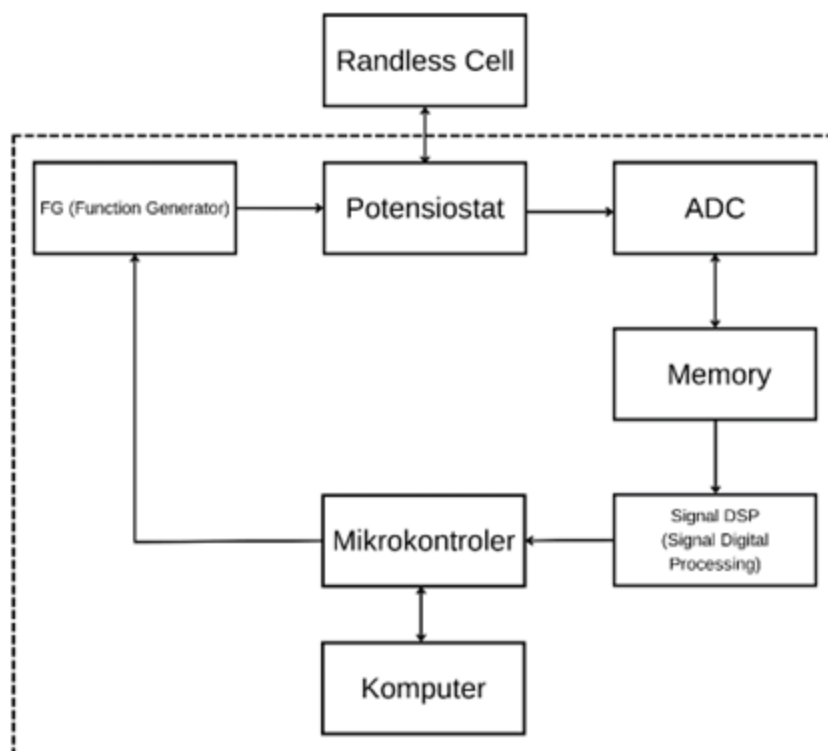
- Fitur Utama: Dapat Menampilkan data menggunakan FFT

- Fitur dasar: Menghitung FFT dari tegangan yang diperoleh dari potensiostat

- Fitur Tambahan: Menggunakan open source dengan *user friendly*

- Solusi: Menggunakan ADC, memori ultra SD dan software MATLAB dengan bahasa program C#

1.5.2 Skenario Penggunaan



Gambar 1.3 Diagram blok skenario penggunaan

Sistem kerja alat ukur *electrochemical impedance* bermula dari function generator sebagai input tegangan menuju potensiostat dengan bantuan mikrokontroler yang bisa diprogram. Ada 2 aliran tegangan yaitu tegangan AC sebagai sinyal utama dan tegangan DC sebagai sinyal pertubasi atau sinyal gangguan, dengan output sinyal dalam bentuk sinusoidal dengan tegangan AC dan DC, sinyal dijadikan sebagai input pada potensiostat, yang dimana sinyal tersebut akan dihubungkan juga dengan referensi objek ukur atau sel uji yaitu pada konfigurasi rangkaian randless cell yang didalamnya terdapat tiga buah elektroda working electrode (WE) dalam sehingga memungkinkan arus diukur pada potensial konstan. Hal ini dicapai dengan menggunakan sel tiga elektroda di mana tegangan diterapkan ke counter electrode (CE), dengan menyediakan arus yang cukup untuk mengkompensasi reaksi redoks yang terjadi di WE [6]. disamping itu tegangan juga diatur oleh umpan balik dari reference elektrode (RE). pada sistem ini yaitu nilai potensial suatu cairan elektrokimia diukur. DSP berguna sebagai menjalankan pemrosesan data dengan mencuplik (sampling) dalam memproses data DSP awanyan akan bekerja dengan mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital setelah itu akan melakukan proses pengambilan sinyal masukan yang berupa sinyal kontinu. sinyal kontinu akan diubah menjadi sinyal diskrit yang memerlukan ADC (Analog to Digital Converter).

Setelah diproses ADC maka akan dibaca dan disimpan kedalam Memori dengan proses DMA agar CPU dapat melakukan instruksi atau perintah yang berbeda ketika melakukan penyimpanan data dan tidak akan melakukan pekerjaan yang lain. Menampilkan data tersebut akan menggunakan FFT (fast fourier Transform) dengan menggunakan FFT maka spektrum komponen dari sinyal tersebut bisa diketahui dengan mudah sehingga pengolahan sinyal yang dilakukan akan dihasilkan dengan baik, untuk menampilkan FFT maka diperlukan software yang dapat menganalisis visual grafik maupun gambar serta menampilkan data numerik dan statistik.

1.5.2.1 *Function Generator*

Sistem alat *function generator* (FG) yang dirangkai menggunakan modul berbasis komponen on chip dengan Osiloskop sebagai alat kalibrasi komponen yang digunakan. *function generator* menggunakan kabel jumper atur pada generator fungsi menggunakan sinus, segitiga atau kotak agar dapat mengkonfigurasi semua frekuensi amplitudo yang terdapat pada tiap – tiap bagian, jangan lupa juga untuk mengatur frekuensi.

1.5.2.2 Potensiostat

Dua sinyal input dari *function generator* berupa sinyal sinusoidal akan diproses melalui potensiostat dengan Sel uji yang digunakan yaitu randless cell. Pada potentiostat sinyal akan melalui beberapa proses dimulai dari summing, buffer, inverting amplifier, dan *transimpedance*.

1.5.2.3 Komputer

Mengolah data dan menampilkan data.

1.5.2.4 DSP

Menghasilkan frekuensi output nyquist plot yang berisi nilai impedansi real dan imajiner pada berbagai frekuensi

1.6 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

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. Untuk menyelesaikan perancangan potensiostat ini diberikan beberapa solusi yaitu merancang pembangkit fungsi, merancang Potensiostat, dan merancang aplikasi pengolahan sinyal. Merancang pembangkit fungsi (FG) menggunakan rangkaian DAC dan Mikrokontroler, ataupun modul AD 9833 yang dihubungkan dengan

mikrokontroler lalu diprogram melalui komputer. pada potentiostat digunakan jenis komponen IC OP-AMP tertentu yang dapat memproses sinyal input dari pembangkit fungsi dengan rentang 10 mHz hingga 100 KHz yang cepat dan memiliki nilai *noise* yang rendah. dan pengolahan sinyal digunakan ADC dengan kecepatan sampling bervariasi. mikrokontroler berfungsi untuk mengontrol input output dan juga memiliki fitur tambahan data logger untuk menyimpan data sehingga proses pengolahan sinyal dapat dilakukan lebih cepat dan otomatis.