



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM *ELECTRICAL
IMPEDANCE TOMOGRAPHY* DENGAN MENGGUNAKAN
*MULTI FREKUENSI***

SKRIPSI

SINGKOP MARULITUA MUNTHE

0706262786

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
DESEMBER 2011**

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM *ELECTRICAL
IMPEDANCE TOMOGRAPHY* DENGAN MENGGUNAKAN
*MULTI FREKUENSI***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Fisika**

Oleh:

SINGKOP MARULITUA MUNTHE

0706262786



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : SINGKOP MARULITUA MUNTHE

NPM : 0706262786

Tanda Tangan :



Tanggal : 16 DESEMBER 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Nama Mahasiswa : Singkop Marulitua Munthe
NPM : 0706262786
Departemen : Fisika
Peminatan : Instrumentasi dan Elektronika
Tanggal Sidang : 16 Desember 2011
Judul Skripsi : Rancang Bangun Prototipe Sistem *Electrical Impedance Tomography (EIT)* dengan Menggunakan *Multi* Frekuensi

Telah berhasil dipertahanan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Sastra Kusuma Wijaya ()

Penguji 1 : Dr. Prawito ()

Penguji 2 : Drs. Lingga Hermanto M.Si ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Desember 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Pengasih karena atas segala kasih dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika dengan peminatan Fisika Instrumentasi dan Elektronika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan dan doa yang tulus dari banyak pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Tanpa itu semua sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Papa, Mama, Kakak, dan Abang saya serta keluarga yang memberikan dukungan doa, semangat, dan dukungan moril dan materil yang luar biasa.
2. Dr. Sastra Kusuma Wijaya selaku pembimbing penulis yang dengan sabar meluangkan waktunya untuk memotivasi dan memberikan petunjuk tentang apa yang penulis perlukan untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Dr. Prawito dan Drs. Lingga Hermanto M.Si selaku penguji sidang dan juga dosen yang memberikan pengetahuan kepada penulis.
4. Dr. Santoso, sebagai ketua Departemen Fisika dan Dr. Dwi Seno Kuncoro, sebagai pembimbing akademis.
5. Para Dosen Pengajar Fisika dan seluruh keluarga besar Departemen Fisika atas segala perhatian dan ilmu yang dicurahkan kepada penulis dari awal kuliah hingga saat ini

- 6 Teman-teman seperjuangan peminatan Instrumentasi 2007 Deki, Adi, Zulfikar, Rusyda, Dewi Imas, Radityo, Wahid, Ferdiansyah, Vani, Arif, Yulia, Husni, Jumari dan seluruh teman-teman Fisika angkatan 2007 yang telah melewati bersama-sama masa kuliah yang penuh kenangan.’
- 7 Teman seperjuangan Willem Thunggara atas peminjaman Notebook sehingga penulis dapat dalam melakukan penelitian ini.
- 8 Teman-teman dari Ekstensi La Ode, Lindra, Irfan, Hendra serta teman-temannya.
- 9 Mbak Ratna, mbak Evi, dan mas Heri dan seluruh staf Sekretariat yang telah membantu dalam proses Adm. dsb .
- 10 Pak Buddy, Pak Sukatman, Pak Dwi, Pak Parno, dan Mas Teja yang telah membantu dalam peminjaman alat dan Lab serta perizinan inap di Departemen Fisika.
- 11 Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi dan studi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Tuhan membalas semua kebaikan mereka. **Amien.**

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan juga pembaca, tak lupa penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya atas segala kekurangan yang ada pada skripsi ini.

Jakarta, 16 Desember 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Singkop Marulitua Munthe
NPM : 0706262786
Program Studi : Fisika Instrumentasi dan Elektronika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM ELECTRICAL
IMPEDANCE TOMOGRAPHY MENGGUNAKAN MULTI FREKUENSI**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 16 Desember 2011

Yang menyatakan



(Singkop Marulitua Munthe)

ABSTRAK

Nama : Singkop Marulitua Munthe
Program studi : S1 Fisika
Judul skripsi : Rancang Bangun Prototipe Sistem Electrical Impedance Tomografi dengan Menggunakan Multi Frekuensi.

Telah didesign sistem *Electrical Impedance Tomography (EIT)* yang merupakan suatu metode pencitraan distribusi resistivitas listrik suatu objek berdasarkan pengukuran potensial pada bidang batas. Pengukuran Beda Potensial menggunakan 16 elektroda lempengan tembaga dengan ketebalan 0.1 mm dan luas 4.5 x 1.2 cm yang mengelilingi sistem objek yang diamati yaitu dalam bentuk phantom lingkaran. Salah satu elektroda yang dipasang pada bidang batas akan diinjeksikan dengan arus listrik dari tiga generator XR2206 yang dijumlahkan dengan Penguat LF356 menghasilkan gelombang superposisi, lalu dilakukan pengukuran beda potensial pada elektroda lainnya. Dari hasil pengukuran tersebut, citra objek direkonstruksi berdasarkan distribusi resistivitasnya. Sistem EIT ini menggunakan 16 elektroda dan pengontrol mikro Atmega128 untuk mengontrol injeksi arus dan pengukuran tegangan di elektroda. Dari hasil percobaan, dapat ditunjukkan bahwa perangkat EIT yang dikembangkan dapat merekonstruksi citra 2-dimensi distribusi resistivitas objek uji dengan menggunakan program EIDORS .

Kata kunci : EIT, EIDORS, Impedance, Rekonstruksi Citra.

xv + 58 hal : 40 gambar , 6 tabel

Bibliografi : 14 (1978-2011)

ABSTRACT

Name : Singkop Marulitua Munthe
Program Study : S1 Fisika
Title : Design System Prototype of Electrical Impedance Tomography by using Multi Frequency

Has been Design of system Electrical Impedance Tomography (EIT) which is a method of imaging the distribution of electrical resistivity measurements of an object based on the potential at the boundary phantom. Potential difference measurements using 16 copper electrode plates with a thickness of 0.1 mm and 4.5 x 1.2 cm area surrounding the object system being observed is in the form of phantom circle. One electrode attached to the boundary will be injected with an electric current using sinus wave of the three generators with 200,300,500 kHz from 3 XR2206 are summed by LF356 which is instrumentasi amplifier produces a wave superposition, then the potential difference measurements were taken at other elektorda. From the results of these measurements, the object image is reconstructed based on the distribution resistivity. This EIT system using 16 elektorda and micro controller Atmega128 to control the injection current and voltage measurements at electrodes. From the experimental results, it can be shown that the EIT device developed to reconstruct 2-dimensional image of the resistivity distribution of the test object by using EIDORS.

Keywords : EIT, EIDORS, Impedance, Tomography.

ixv + 58 pages : 40 pictures , 6 tables

Bibliography : 14 (1978-2011)

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TEORI DASAR.....	5
2.1 <i>Electrical Impedance Tomography (EIT)</i>	5
2.1.1 Konfigurasi Umum EIT	5
2.1.2 Pendahuluan EIT	7
2.1.3 Aplikasi EIT	7
2.1.4 Kelebihan EIT	8
2.1.5 Metode Koleksi Data	9
2.2 Instrumen Akuisi Data	10
2.2.1 <i>Power Supply</i>	10
2.2.2 <i>Voltage Controlled Oscillator</i>	10
2.2.2.1 Generator fungsi Monolitik XR-2206.....	11
2.2.2.2 Blok Diagram XR-2206	11
2.2.2.3 Frekuensi Operasi	13
2.2.2.4 Amplitudo Keluaran <i>Perceptron</i>	14
2.2.3 <i>Summing Amplifier</i>	14
2.2.4 <i>Voltage Control current Source (VCCS)</i>	15
2.2.5 Mikorkontroler ATmega 128.....	16
2.2.6 <i>Multiplexer</i>	17
2.2.7 <i>Demultiplexer</i>	18
2.2.8 <i>Digital Storage Oscilloscop TDS 1002B</i>	19
2.3 Elektroda dan Phantom.....	20
2.4 Resistiviti	21

2.5 EIDORS	22
BAB III RANCANG BANGUN SISTEM	23
3.1 <i>Hardware</i>	23
3.1.1 <i>Symetric Power Supply</i>	25
3.1.2 Rangkaian VCO XR2206	25
3.1.3 Rangkaian <i>Summing Amplifier</i> LF356	26
3.1.4 <i>Voltage Control Current Source</i>	26
3.2 Perancangan Kontrol Akusisi Data	27
3.2.1 <i>Multiplexer</i> 4051B	27
3.2.2 Perancangan Mikrkontroller Atmega 128	28
3.2.3 <i>EIT-Phantom</i>	29
3.2.4 Rangkaian Demultiplekser	31
3.3 Software	32
3.3.1 Perancangan Program	33
3.3.2 Program, Lab VIEW dan EIDORS	35
3.3.3 Sistem EIT secara Umum	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 DATA	39
4.1.1 Data VCO (XR2206)	39
4.1.2 Data <i>Summing Amplifier</i>	40
4.1.3 Data VCCS	41
4.2 Hasil Percobaan	45
4.3 Rekonstruksi Citra	50
4.4 Pembahasan dan Analisa	52
4.5 Hipotesa	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR ACUAN	
LAMPIRAN	

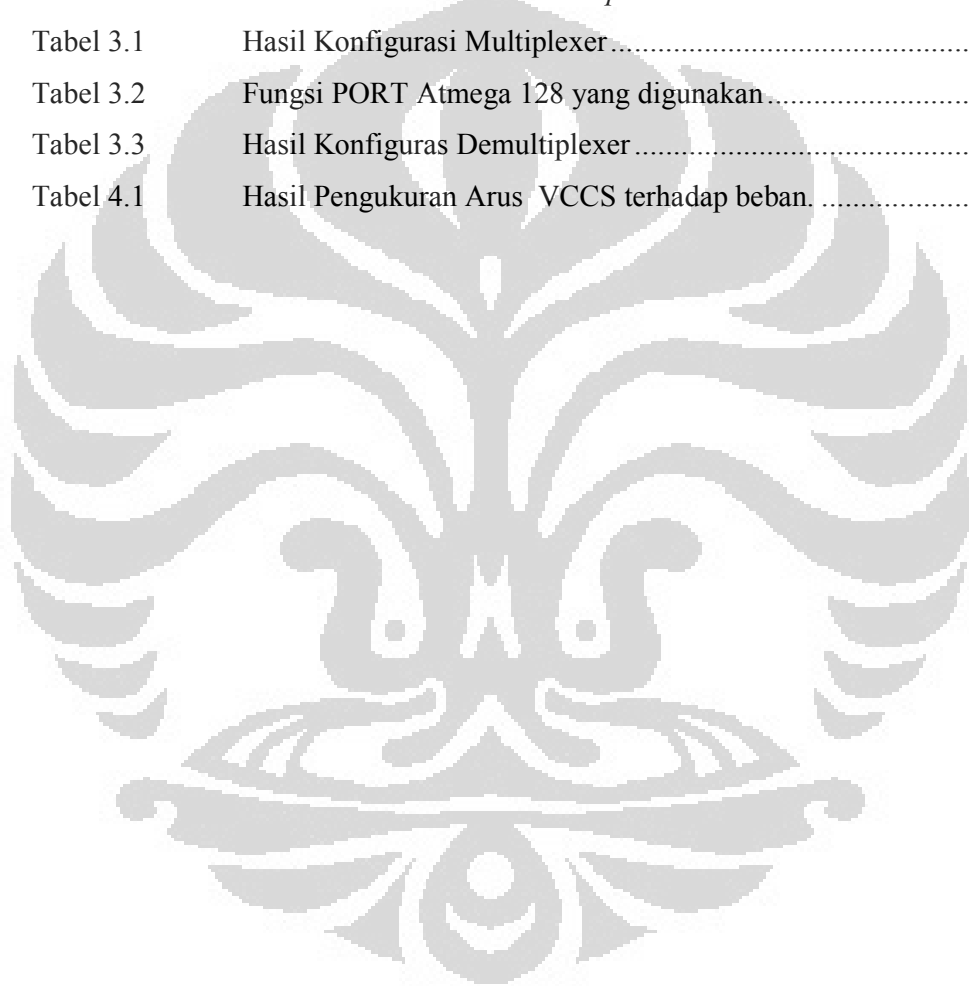
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Eksperimen EIT dengan 16 elektroda	6
Gambar 2.2 Konfigurasi Umum EIT	6
Gambar 2.3 Metode Koleksi Data	9
Gambar 2.4 Blok Diagram dari VCO XR 2206	9
Gambar 2.5 Resistor Pewaktuan vs Frekuensi Osilasi	13
Gambar 2.6 Amplitudo keluaran sebagai fungsi dari R pada pin3	14
Gambar 2.7 Rangkaian Summing Amplifier	15
Gambar 2.8 Blok Diagram <i>Multiplexer</i>	16
Gambar 2.9 Blok Diagram <i>Demultiplexer</i>	17
Gambar 2.10 <i>Digital Storage Oscilloscop</i>	18
Gambar 2.11 Aliran arus di dalam medium	21
Gambar 3.1 Blok Diagram Rancang Bangun Sistem EIT	24
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Symetric Power Supply</i> $\pm 12 V$	25
Gambar 3.3 Rangkaian VCO menggunakan XR 2206	25
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Summing Amplifier</i>	26
Gambar 3.5 Rangkaian VCCS	27
Gambar 3.6 Rangkaian Multiplekser	27
Gambar 3.7 Skematik Koneksi Port ATmega128	29
Gambar 3.8 EIT <i>Phantom</i>	30
Gambar 3.9 Desain phantom yang dihubungkan dengan Multiplekser dan Demultiplekser	30
Gambar 3.10 Rangkaian Demultiplekser	31
Gambar 3.11 Pemrograman Mikrokontroler (a) LabVIEW(b)	34
Gambar 3.12 Blok Diagram Desain LabVIEW	35
Gambar 3.13 Front Panel Desain LabVIEW	35
Gambar 4.1 Gelombang sinus dengan rentang frekuensi min max	39
Gambar 4.2 Gelombang sinus dengan Amplitudo 1 Vpp	40

Gambar 4.3 Hasil Gelombang Superposisi dari frekuensi 200 dan 300 kHz.....	41
Gambar 4.4 Gelombang Superposisi dari <i>Summing Amplifier</i>	41
Gambar 4.5 Gelombang Superposisi pada Simulasi Multisim.....	42
Gambar 4.6 FFT dari Gelombang Superposisi	43
Gambar 4.7 Grafik Fitting Arus VCCS Terhadap Hambatan	44
Gambar 4.8 Rangkaian Sumber Arus dan persamaan fittingnya.....	45
Gambar 4.9 Grafik Phantom dalam keadaan kosong.....	46
Gambar 4.10 Grafik dari Phantom yang berisi air	47
Gambar 4.11 Grafik dari Phantom yang berisi air dan Gelas Kaca.....	47
Gambar 4.12 Data dari Phantom yang berisi air dan Plastik Padat (PP)	48
Gambar 4.13 Grafik dari Phantom yang berisi medium air, Kaca dan Plastik.....	49
Gambar 4.14 Hasil Rekonstruksi Objek Uji model 1,2,3.....	50
Gambar 4.15 Hasil Rekonstruksi Objek Uji model 4,5,6	51
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Multifrekuensi & Single Frekuensi.....	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Tabel Kebenaran dari <i>Multiplexer</i> 18
Tabel 2.2	Tabel Kebenaran dari <i>Demultiplexer</i> 19
Tabel 3.1	Hasil Konfigurasi Multiplexer 28
Tabel 3.2	Fungsi PORT Atmega 128 yang digunakan 28
Tabel 3.3	Hasil Konfigurasi Demultiplexer 29
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Arus VCCS terhadap beban 43



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi tomografi atau pencitraan pada suatu objek telah berkembang pesat hingga saat ini. Dengan Teknik Tomografi dapat melihat karakteristik objek yang akan dianalisa dengan mengetahui resistifiti atau konduktivitas dari object tersebut. Parameter Resistifiti yang dihasilkan dapat mengilustrasikan gambar atau pencitraan di dalam materi atau objek yang diamati. Salah satu apilkasinya dalam bidang geofisika untuk mengetahui potensi minyak dan gas alam di dalam tanah dapat menggunakan teknik tomografi tersebut sehingga dapat diketahui bentuk dan faktor geometri dari pencitraan resistifitinya.

Dalam bidang medis dengan teknik tomografi benda yang akan dilihat pencitraannya tidak perlu merusak objeknya. Saat ingin melihat organ dalam tubuh, tidak perlu merobek bagian tubuh. Dengan teknik pencitraan kita dapat melihat bagian dalam tubuh bahkan dapat mendeteksi penyakit yang berada di dalam tubuh seperti kanker atau penyumbatan pada saraf atau jaringan. Ada berbagai teknik tomografi yang terus dikembangkan pada alat kesehatan di bidang medis seperti tomografi listrik, tomografi sinar-X, tomografi ultrasonic, Computed Tomography (CT) Scan dan Magnetic Resonance Imaging

Dalam penelitian ini adalah pembuatan prototype system Tomografi elektrikal impedansi terhadap suatu object. Pada Sistem ini sumber arus konstan adalah parameter penting dalam proses injeksi arus terhadap objek yang akan diamati. Proses injeksi arus bertujuan untuk mengetahui sifat range konduktivitas dari objek tersebut.

Teknik pengukuran dalam pengambilan data adalah dengan mencatat tegangan yang terukur pada setiap probe ketika salah satu probe diinjeksi arus listrik dengan mikrokontroler sebagai pengatur. Kemudian data yang diperoleh dimasukan

dalam memori card dan diproses dalam PC untuk dimasukkan ke dalam software agar pencitraan dapat dihasilkan atau tomografinya dari objek dapat kita lihat. Selain itu dapat kita analisa dengan mencari factor geometri dari objek tersebut dan bagaimana karakteristik resistifiti dari objek tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

- a. Bagaimana Proses Distribusi Resistiviti pada Sistem *Electrical Impedance Tomography* dengan multi frekuensi?
- b. Bagaimana Pembuatan Rekonstruksi Gambar dari Sistem EIT dengan menggunakan program EIDORS (matlab script)?

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penulisan skripsi ini, penulis merancang sebuah system yang dikenal dengan Elektrikal Impedansi Tomografi dengan degenerate arus konstan dengan menggunakan gabungan multifrekuensi. Adapun Peneliti hanya membatasi pada system Elektrikal Impedansi itu bekerja dan belum menggunakannya pada aplikasi. Tujuan utama dari system EIT ini hanya untuk mengetahui posisi dari objek yang diamati lewat hasil pencitraan tomografi 2D.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Membuat prototipe sistem tomografi elektrikal impedansi menggunakan *multi* frekuensi.
2. Mempelajari proses kerja sistem EIT dan menganalisa respon dari materi yang diamati.
3. Menampilkan Bentuk Tomografi materi dari sistem EIT menggunakan software EIDORS.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahap antara lain:

1. Studi Literatur

Metode ini digunakan untuk memperoleh informasi tentang teori-teori dasar, paper dan literature dari berbagai sumber sebagai sumber penulisan skripsi.

2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Semua literatur, dan terori – teori yang telah dipelajari diimplementasikan ke dalam Perancangan dan Pembuatan Alat. Karena Perancangan disesuaikan dengan Studi Literatur, maka perancangan dan pembuatan alat akan menjadi efisien.

3. Pengujian Alat

Alat yang telah dibuat diuji dengan pengambilan data. Apakah data yang dihasilkan akan sesuai dengan yang diinginkan atau tidak.

4. Pengolahan data Analisis

Data yang dihasilkan akan akan diolah sesuai dengan teori yang telah dipelajari. Segala macam ketidaksesuaian akan menjadi analisa.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan ini dibagi menjadi 5 bab, yang masing-masing terdiri dari beberapa sub-bab untuk mempermudah penjelasan. Penulisan bab-bab dilakukan sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang penjelasan secara umum latar belakang permasalahan, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika.

BAB II. TEORI DASAR

Pada bab ini penulis menguraikan teori-teori dasar yang digunakan pada penulisan, simulasi dan analisa eksperimen dalam skripsi ini.

BAB III. RANCAN BANGUN SISTEM

Bab ini berisi tahapan-tahapan simulasi dan pembuatan alat untuk memperoleh hasil data eksperimen yang diinginkan

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan yang telah dilakukan memberikan hasil dan dijelaskan dalam bab ini, serta penjelasan mengenai hasil yang telah dicapai yaitu rekonstruksi gambar.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan simulasi dan eksperimen maka pada bab ini penulis menarik kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilakukan, ditambahkan saran-saran yang berguna untuk pengembangan sistem lebih lanjut

BAB II

TEORI DASAR

Pada Penelitian sistem yang penulis kembangkan didukung oleh perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras yang digunakan berupa sebuah piranti EIT. Teknologi EIT adalah metode pencitraan distribusi resistiviti listrik suatu objek berdasarkan pengukuran beda potensial pada bidang batas. Pada EIT arus listrik diinjeksikan ke objek melalui sejumlah elektroda yang dipasang pada bidang batas objek, dan dilakukan pengukuran beda potensial yang pada elektroda lainnya. Selanjutnya dengan program EIDORS dapat dihasilkan rekonstruksi citra dari objek yang diamati.

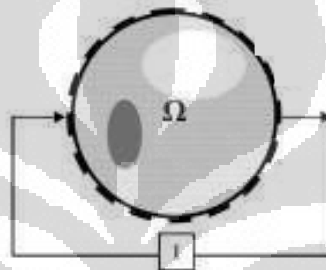
2.1 *Electrical Impedance Tomography (EIT)*

Elektrical Impedance Tomography (EIT) atau Tomografi Elektrik adalah suatu metoda pencitraan distribusi resistivitas listrik suatu objek berdasarkan pengukuran potensial pada bidang batas objek [1,2]. Pada EIT arus listrik diinjeksikan melalui sebuah elektroda lempengan yang dipasang pada bidang batas objek dan dilakukan pengukuran beda potensial yang muncul. Selanjutnya dengan suatu algoritma rekonstruksi citra dengan menggunakan program berdasarkan informasi pengukuran arus dan tegangan maka citra distribusi resistivitas dapat direkonstruksi.

2.1.1 Konfigurasi Umum EIT

Pada EIT secara umum memiliki konfigurasi seperti Gambar 2.2 yang terdiri dari objek yang diamati hingga proses rekonstruksi. Secara umum sistem EIT terdiri atas sejumlah elektroda yang ditempatkan di periferi objek, sistem akuisisi data yang terdiri atas sumber arus dan pengukur tegangan serta komputer sebagai unit komputasi dan display.

Pada Gambar 2.1 menunjukkan salah satu contoh diagram simple EIT dengan 16 elektroda yang berbentuk lingkaran yang mengelilingi suatu objek dengan medium lingkaran. Dalam pengaturan tersebut arus I , diinjeksikan kedalam pasangan elektroda yang memiliki posisi berlawanan, sementara itu Tegangan disekitar setiap elektroda diukur. Setelah Tegangan sekitar telah diukur, arus dikirim kembali ke elektroda sebelahnya. Proses ini berlangsung hingga mendapatkan 256 sets pengukuran tegangan.



Gambar 2.1 Diagram Eksperimen EIT dengan 16 elektroda



Gambar 2.2 Konfigurasi Umum EIT

Pada Gambar 2.2 menunjukkan konfigurasi umum sistem EIT dengan design. Sumber arus bolak – balik menginjeksikan arus melalui elektroda ke objek, kemudian tegangan listrik yang muncul dideteksi di elektroda. Kemudian data tersebut diolah dengan suatu algoritma atau program rekonstruksi untuk mendapatkan citra pola dishibusi resistivitas objek. Dari tegangan dan arus yang diperoleh dapat dijadikan parameter untuk rekonstruksi distribusi resistivity dari objek yang diamati.

2.1.2 Pendahuluan EIT

Dalam Jaringan Biologi memiliki Impedansi Elektrik yang kompleks, struktur dan susunan dari sel-sel penyusunnya. Oleh karena itu, Elektrik Impedansi dapat digunakan untuk memperoleh informasi dari struktur jaringan yang heterogen dalam struktur jaringan tubuh. Dalam jaringan biologis konduktivitas listrik dan permitivitas bervariasi antara jenis jaringan juga tergantung pada suhu dan faktor-faktor fisiologis. Misalnya paru-paru yang kurang konduktif ketika alveoli dipenuhi dengan udara. Dalam elektroda piranti EIT diterapkan pada kulit dan arus listrik, biasanya beberapa mili-Ampere arus bolak-balik pada frekuensi 10-100 kHz, diterapkan di dua atau lebih elektroda. Elektroda lainnya digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan. Ini diulang untuk banyak "pola stimulasi", seperti pasangan berurutan dari elektroda yang berdekatan.

Arus yang digunakan relatif kecil, dan tentu saja di bawah ambang batas di mana mereka akan menyebabkan stimulasi saraf. Frekuensi arus bolak-balik cukup tinggi tidak menimbulkan elektrolitik efek dalam tubuh dan daya ohmik dihamburkan cukup kecil dan menyebar seluruh tubuh untuk dapat dengan mudah ditangani oleh sistem thermoregulatory tubuh.

2.1.3 Aplikasi EIT

Electrical Impedance Tomography (EIT) merupakan teknik pencitraan medis di mana sebuah gambar dari konduktivitas atau permitivitas bagian tubuh yang disimpulkan dari pengukuran biasanya permukaan listrik. Biasanya, Elektroda dilekatkan pada kulit dan dialiri dengan arus bolak yang kecil untuk beberapa atau semua elektroda.. Potensi listrik yang diukur, dan proses dapat diulang untuk konfigurasi berbeda-beda saat ini diterapkan. Aplikasi yang diusulkan mencakup pemantauan paru fungsi, deteksi kanker pada kulit dan payudara dan lokasi fokus epilepsi [3]. Sampai saat ini, semua aplikasi telah dianggap eksperimental. Namun pada tahun 2011 perangkat komersial pertama EIT untuk pemantauan fungsi paru-paru dalam perawatan intensif pasien

diperkenalkan. Penemuan EIT sebagai teknik pencitraan medis sebagai penghargaan atas penemuan John G. Webster atas publikasinya di tahun 1978, meskipun realisasi praktis pertama dari sistem EIT medis pada tahun 1984 karya David C. Barber dan Brian H. Brown[4-6].

Secara Matematis, masalah dari pengukuran konduktivitas permukaan yang dilewati arus dan pengukuran potensial adalah ketidak linieran inverse data persoalan ill,posed pada rekonstruksi data. Masalah *ill-posed* yang terjadi disebabkan antara lain jumlah data pengukuran yang sangat terbatas, masalah ketidakliieran pada algoritma rekonstruksi, dan *noise* pengukuran yang relatif tinggi. Saat ini beberapa algoritma rekonstruksi telah dikembangkan pada EIT. Algoritma-algoritma tersebut dapat dielompokkan menjadi dua, yaitu algoritma langsung melalui pendekatan linierisasi persoalan rekonstruksi dan algoritma iteratif yang menggunakan model dari objek.

Dalam Bidang Geofisika teknik yang sama yaitu EIT juga digunakan dengan menggunakan elektroda di permukaan bumi atau di lubang bor untuk mencari anomali resistivitas, dan dalam proses industri pemantauan array dari elektroda yang digunakan misalnya untuk memantau campuran cairan konduktif di pembuluh atau pipa. Metode ini digunakan dalam pencitraan proses industri [7] untuk cairan konduktif pencitraan. Dalam konteks bahwa teknik ini biasanya disebut resistensi tomografi listrik (nama yang digunakan dalam geofisika). Elektroda logam umumnya dalam kontak langsung dengan cairan tapi elektronik dan teknik rekonstruksi secara umum mirip dengan kasus medis.. Dalam geofisika, ide berasal dari tahun 1930-an.

2.1.4 Kelebihan EIT

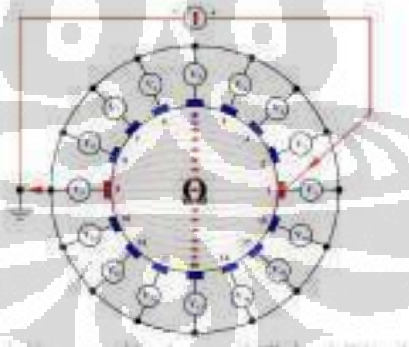
Jika dibandingkan dengan teknik pencitraan lain seperti Tomografi sinar-X (*X-ray Computerized Tomography Scanner*) dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), Resolusi citra TE relatif rendah, tetapi terdapat beberapa kelebihan antara lain:

1. Aman karena menggunakan listrik lemah dalam orde miliamper sehingga tidak menimbulkan dampak radiasi pada tubuh.

2. Mudah karena desain perangkat keras TE relative sederhana dan mudah diimplementasikan.
3. Ringkas karena ukuran fisik perangkat yang relative kecil sehingga mudah untuk dipindah tempatkan.
4. Murah dalam pembuatan dan penerapan jika dibandingkan dengan perangkat tomograf lainnya.
5. Beberapa bidang aplikasi saat ini terus dikembangkan seperti bidang kedokteran untuk keperluan diagnosa, pencitraan aliran fluida multifasa untuk pemantauan proses, pencitraan bawah tanah untuk keperluan eksplorasi migas dan sebagainya [1,5]

2.1.5 Metoda Koleksi Data

Terdapat beberapa metoda koleksi data yang digunakan pada TE seperti metoda berpasangan (*adjacent method*), metoda bersilangan (*cross method*), metoda berlawanan (*opposite method*), metoda multireferensi (*multireference method*), dan metoda adaptif (*adaptive method*).



Gambar 2.3 Metode Koleksi Data

Pada studi ini digunakan metoda berlawananan. Pada metoda ini distribusi arus yang terjadi cukup merata, karena kemungkinan sebagian besar akan mengalir di sekitar elektroda. Sehingga, rapat arus pada pusat objek relatif rendah dan data pengukuran pada elektroda tidak sensitif pada perbedaan resistivitas di tengah objek. Tetapi metoda ini relatif sederhana dan mudah dalam implemmentasi.

2.2 Instrumen Akuisi Data

Pada Penelitian ini didesain suatu prototype system EIT yang bertujuan untuk merekonstruksi objek yang ingin diamati. Sistem Pengambilan Data atau akuisi data ini terdiri dari beberapa instrument dan rangkaian sederhana. Sistem ini tersusun atas komponen - komponen berikut yaitu Probe sebagai Elektroda, VCO sebagai sumber gelombang sinusoidal dan LF356 sebagai fungsi Summing Amplifier gelombang sinusodial, AD829 digunakan sebagai VCCS untuk menstabilkan arus, Multiplexer / Demultiplexer dan mikrokontroller Atmel ATmega128 sebagai pengaturan Mux-Demux, kartu memori (mikro SD), RMS to DC converter dan Instrumentasi amplifier. Namun dalam kenyataan untuk proses penyimpanan data penulis menggunakan Digital Osiloskop dan menyimpannya dalam komputer dengan menggunakan program LabView dikarenakan Mikro RMS to DC yang tidak berfungsi sehingga penulis tidak menggunakan mikro SD dan RMS DC Converter.

2.2.1 *Power Supply*

Power Supply (Catu Daya) merupakan pemberi sumber daya bagi perangkat elektronika. Perangkat elektronika mestinya dicatu oleh *power supply* arus searah DC (Direct Current) agar dapat dengan baik. Batere atau Accu adalah sumber daya dc yang paling baik. Namun untuk aplikasi membutuhkan catu daya yang lebih besar, sumber dari batere tidak cukup. Sumber catu daya yang besar adalah dari Sumber bolak-balik AC (Alternating Current) dari pembangkit listrik. Untuk itu diperlukan suatu perangkat yang dapat mengubah arus AC menjadi DC. Pada tulisan ini disajikan prinsip rangkaian catu daya linier mulai dari rangkaian penyearah yang paling sederhana sampai pada power supply dengan regulator 7812 dan 7912.

2.2.2 *Voltage Controlled Oscillator (VCO)*

Merupakan rangkaian osilator elektronik yang menghasilkan osilasi yang dikontrol oleh tegangan. Tegangan pengontrol dari rangkaian ini berupa tegangan

DC. Pemberian tegangan DC ini sebagai pengontrol dari frekuensi yang dihasilkan. Jadi sebuah VCO akan menghasilkan frekuensi yang berbeda jika tegangan DC yang dihasilkan berbeda pula. Disamping itu sebuah VCO mempunyai pin khusus yang disebut FSK. Fungsinya berkaitan dengan pengaturan arus pensaklaran (current switches) untuk timing resistor. Arus ini nantinya akan dialihkan ke VCO. Ini juga merupakan salah satu cara mengatur frekuensi keluaran disamping menggunakan tegangan.

2.2.2.1 Generaotor fungsi MonolitikXR-2206

XR-2206 merupakan suatu rangkaian terintegrasi generator fungsi yang mampu menghasilkan gelombang sinus berkualitas tinggi, square, triangle serta ramp dengan stabilitas dan akurasi tinggi dari pulsa bentuk gelombangnya [8]. Keluaran dari bentuk gelombang yang dihasilkan dapat merupakan amplitude dan termodulasi frekuensi oleh tegangan eksternal. Frekuensi Operasinya dapat dipilih dari 0.01 Hz hingga 1-MHz. Rangkaian dengan XR 2206 sangat ideal untuk komunikasi, instrumentasi dan aplikasi genenerator fungsi yang membutuhkan gelombang sinusoidal,AM,FM atau pembangkit FSK.XR-2206 memilki penyimpangan tipikal sebesar 20ppm/°C [11]..

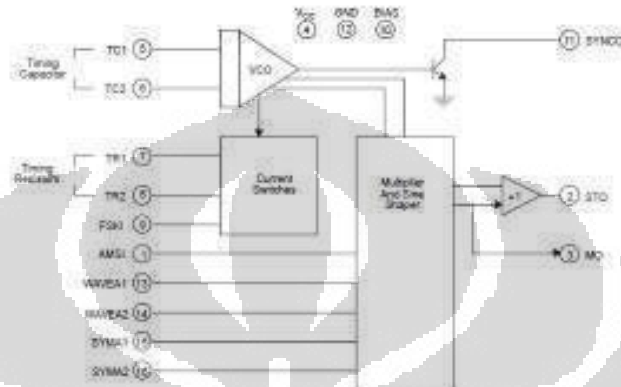
2.2.2.2 Deskripsi Sistem

XR-2206 terdiri dari empat blok fungsional (Gambar 2.6) yaitu sebuah osilator dikontrol Tegangan (VCO, Voltage Controlled Oscilator), sebuah pembagi tegangan(analog multiplier), sebuah sine shaper, sebuah unity gain buffer amplifier serta satu set saklar arus(current switches) .

VCO menghasilkan keluaran frekuensi yang proporsional terhadap arus input, yang mana diatur dengan sarana resistor atau multitone dari terminal timing ke ground. Dengan dua pin timing, dua keluaran frekuensi diskrit dapat dihasilkan secara indenpendent untuk aplikasi pembangkit FSK dengan menggunakan pin kontrol input FSK. Kontrol input ini mengatur saklar arus (current switch) yang mana akan menentukan timing resistor current, dan kemudian dialirkan ke VCO.

2.2.1.2 Blok Diagram XR-2206

Gambar 2.4 di bawah ini merupakan gambar rangkaian blok diagram ekuivalen dari IC VCO XR2206.



Gambar 2.4 Blok Diagram dari VCO XR2206

- Voltage Controlled Oscillator (VCO) : adalah pembangkit frekuensi yang ditentukan oleh tegangan masukannya.
- Analog Multiplier and Sine Shaper sebagai pembentuk gelombang sinus dan pengali untuk berbagai masukan.
- Rangkaian Current Switches berfungsi untuk mentransfer arus ke salah satu dari dua resistor pewaktuan eksternal yang menghasilkan frekuensi terpisah yang dipilih sebagai logic level pada masukan FSK melalui pin 9.
- Sementara Gain Buffer Amplifier melakukan penguatan sinyal sebelum diumpankan ke rangkaian tujuannya.

IC XR-2206 ini dapat diaplikasikan untuk :

- Pembangkit Gelombang Sinus, Kotak (Square), Segitiga dan Ramp.
- Pembangkit FM/AM.
- Pembangkit FSK dan PSK.
- Konverter Tegangan ke Frekuensi (VFC).
- Tone Generation.
- Phase Locked Loops (PLL) atau VCO.

Beberapa karakteristik dan features penting dari IC ini adalah :

- Distorsi gelombang sinusnya rendah, 0,5%.

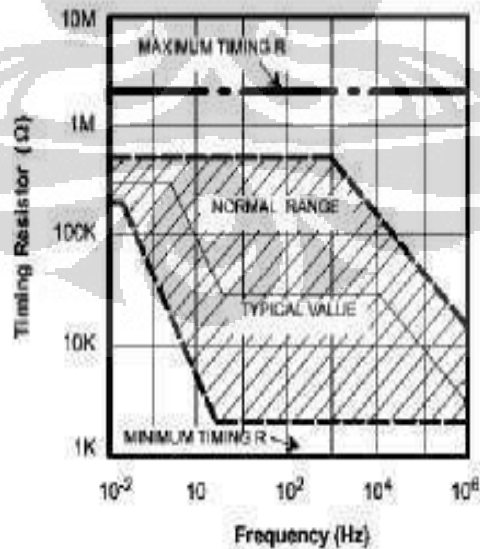
- Mempunyai kestabilan temperatur yang sempurna, 20 ppm⁰C.
- Sweep Range-nya yang luas, 2000:1.
- Sensitifitasnya terhadap tegangan yang rendah , 0,001%Volt.
- Modulasi Amplitudo yang linier.
- Kendali FSK yang kompatibel dengan TTL.
- Tegangan Kerjanya dari 10Volt sampai 26Volt.
- Pengaturan Duty Cycle dari 1% sampai 99%.

2.2.2.3 Frekuensi Operasi

Frekuensi osilasi, f_0 , ditentukan oleh kapasitor pewaktuan eksternal (C), yang dipasang pada pin 5 ke pin 6, dan oleh resistor pewaktuan (R), yang dihubungkan pada pin 7 dan pada pin 8. Sehingga frekuensinya dinyatakan dengan :

$$f_0 = \frac{1}{RC} \text{ Hz} \quad (2.1)$$

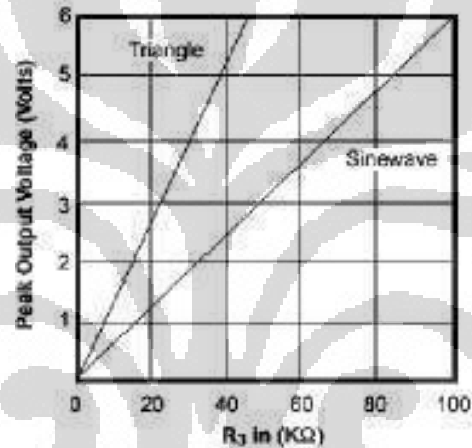
Nilai-nilai yang direkomendasikan untuk R, pada rentang frekuensi osilasi dapat ditentukan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5 . Temperaturnya stabil untuk nilai $4\text{K}\Omega < R < 200\text{K}\Omega$. Nilai yang yang direkomendasikan untuk C adalah dari 1000pF ke 100 μ F.



Gambar 2.5 Resistor Pewaktuan vs Frekuensi Osilasi

2.2.2.4 Amplitudo Keluaran

Amplitudo keluaran maksimum secara langsung adalah proporsional dengan resistor eksternal, R_3 , yang dihubungkan ke pin 3 (lihat Gambar 2.6). Untuk keluaran gelombang sinus amplitudonya adalah kira-kira 60mV peak tiap $K\Omega$ dari R_3 . Untuk gelombang segitiga, amplitudo puncak kira-kira 160mV peak tiap $K\Omega$ R_3 . Sebagai contoh, $R_3 = 50K\Omega$ akan menghasilkan kira-kira ± 3 Volt amplitudo keluaran sinusoidal.



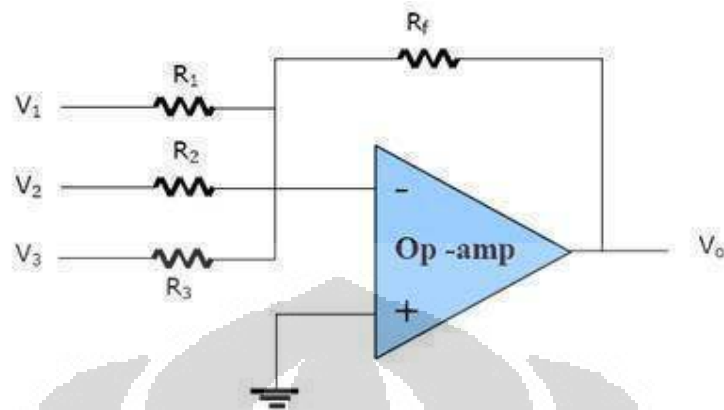
Gambar 2.6 Amplitudo keluaran sebagai fungsi dari R pada pin 3

2.2.3 Summing Amplifier

Rangkaian Summing Amplifier ini digunakan untuk menjumlahkan tegangan input dalam hal ini gelombang sinus dengan frekuensi yang berbeda-beda. Pada Penelitian ini digunakan IC LF356 yang memiliki karakteristik yang baik dalam Amplifier dengan bandwidth yang lebar. Berikut ini adalah rangkaian dasar dari Summing Amplifier yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.

Berdasarkan Teori rangkaian diperoleh bahwa tegangan keluaran dari rangkaian akan menjumlahkan tegangan input yang dihasilkan dari persamaan 2.2 :

$$V_{out} = -\left(\frac{R_f}{R_1}V_1 + \frac{R_f}{R_2}V_2\right) \quad (2.2)$$



Gambar 2.7 Rangkaian Summing Amplifier

2.2.4 Voltage Control current Source (VCCS)

VCCS digunakan agar tegangan diubah menjadi arus listrik oleh rangkaian **Voltage Control Current Source**. VCCS merupakan rangkaian yang digunakan untuk mempertahankan arus konstan pada sebuah system, yang tidak berubah terhadap beban pada system yang akan diukur. Rangkaian VCCS digunakan sebagai sumber arus dengan tidak dipengaruhi hambatan beban yang diukur. Pada penelitian ini IC yang digunakan adalah AD829JN yang merupakan IC dengan kecepatan tinggi. Berikut ini beberapa kelebihan dari IC ini adalah:

- Berkecepatan tinggi
 - o bandwidth 120Mhz, gain -1.
 - o 230 v/us slew rate
 - o 90 ns settling time to 0.1%
- Ideal untuk aplikasi video
 - o 0.02% differential gain
 - o 0.04° differential phase
- Low noise
 - o 1.7nV/√Hz input voltage noise
 - o 1.5pA/√Hz input current noise
- Excellent dc precision
 - o 1 mV maksimum input offset voltage (over 15temperature)

- 0.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ input offset drift
- Flexible operation
 - Specified for $\pm 5\text{V}$ to $\pm 15\text{V}$ operation
 - $\pm 3\text{V}$ output swing into a 150Ω load
 - External compensation for gains 1 to 20

2.2.5 Mikrokontroler Atmega 128

Mikrokontroler adalah sebuah piranti terintegrasi yang ditujukan sebagai pengontrol rangkaian elektronik diluarnya. Mikrokontroler merupakan pengembangan lebih lanjut dari penggunaan mikroprosesor. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU, memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti Analog-to-Digital Converter (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya.

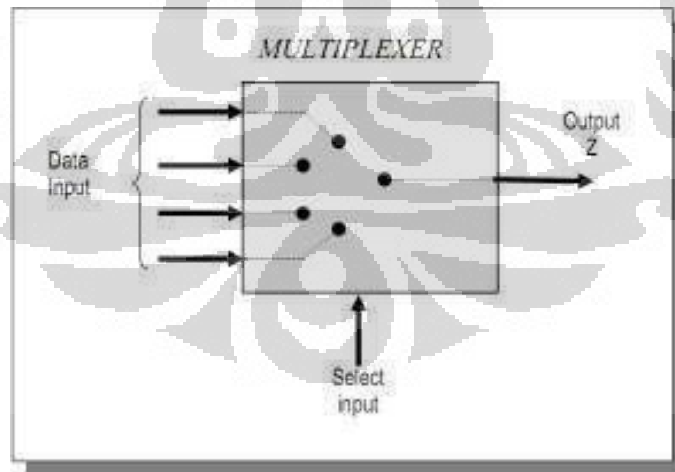
Mikrokontroler AVR, secara umum, dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas, yaitu keluarga ATtiny, keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega, dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, peripheral, dan fungsinya. Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka hampir sama Mikrokontroler yang digunakan pada pembuatan alat ini adalah Atmega128, yang merupakan mikrokontroler 8-bit berdasarkan arsitektur AVR RISC yang dapat menjalankan sebuah intruksi dalam satu clock. Sehingga ATmega128 dapat mencapai kecepatan hampir 1 juta intruksi per detik per MHz. Mikrokontroler ATmega128 memiliki spesifikasi sebagai berikut [9]:

- Catu daya 4.5V- 5.5V
- 128 Kbytes flash memory
- Frekuensi maksimum 16 MHz
- 4Kbytes EEPROM
- 4Kbytes SRAM
- In - System Programming by On-chip boot Programming
- 53 programmable I/O
- Dua buah 16 bit timer dan dua buah 8 bit timer

- Programmable watchdog timer
- Dua 8 bit PWM channel
- On chip analog comparator
- Dua programmable serial USART
- Port antarmuka SPI
- RTC
- 10 bit ADC (8 channel)
- Write/Erase cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM

2.2.6 Multiplexer

Multiplexer adalah suatu sistem elektronik yang mampu menyalurkan sinyal salah satu dari banyak masukan ke sebuah atau satu keluaran. Pemilihan masukan ini dilakukan melalui *selector line*. Yang juga merupakan input dari Multiplexer tersebut. Blok diagram dari sebuah multiplexer ditunjukkan pada gambar 2.8 berikut dibawah ini [11] :



Gambar 2.8 Blok diagram *Multiplexer*

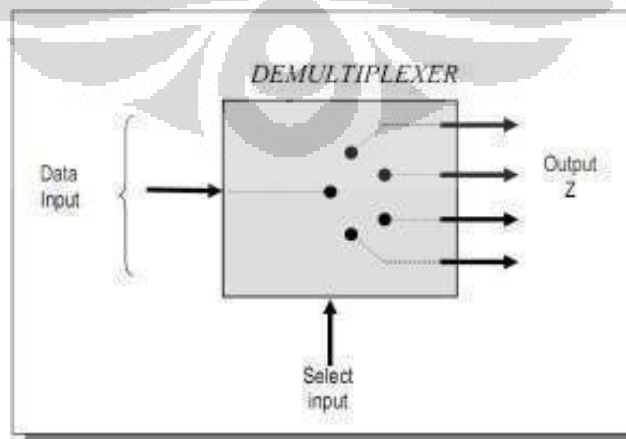
Jumlah data input maksimum pada multiplexer adalah $2^{\text{jumlah Select line}}$. Berikut ini merupakan tabel kebenaran dari Multiplexer 4051 :

Tabel 2.1 tabel kebenaran dari *Multiplexer* 4051

INPUT STATES				"ON" CHANNEL(S)
INHIBIT	C	B	A	
CD4051B				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None

2.2.7 Demultiplexer

Sebuah Demultiplexer adalah rangkaian kebalikan dari MUX yaitu rangkaian logika yang menerima satu input data dan mendistribusikan input tersebut ke beberapa output yang tersedia. Seleksi data-data input dilakukan oleh selector line, yang juga merupakan input dari demultiplexer tersebut. Blok diagram sebuah demultiplexer ditunjukkan pada gambar 2.9 [12].

Gambar 2.9 Blok diagram *Demultiplexer*

Data output maksimum pada demultiplexer adalah $2^{\text{jumlah Select line}}$. Demultiplexer yang digunakan berupa CD4051 yang memiliki tiga buah selector line dan delapan buah channel output. Berikut ini merupakan table kebenaran dari demultiplexer 4051:

Table 2.2 Tabel kebenaran *Demultiplexer*

INPUT STATES				"ON" CHANNEL(S)
INHIBIT	C	B	A	
CD4051B				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None

2.2.8 *Digital Storage Oscilloscop* TDS1002B

Digital storage Oscilloscop TDS1002B merupakan sebuah Osiloskop digital yang dapat mengukur dan melihat bentuk gelombang dari sinyal yang terukur. Salah satu keunggulan Osiloskop ini adalah dapat menyimpan data terukur dan dapat dikomunikasikan/diintegrasikan dengan LabVIEW untuk proses penyimpanan data dalam komputer. Sehingga data yang dihasilkan dapat ditampilkan di dalam Front Panel pada software labview. Berikut ini beberapa kelebihan dari osiloskop ini

- Lebar pita frekuensi hingga 60MHz
- Kecepatan cuplikan sampai 2 GS/s Real time

- Penyimpanan data dapat dipindahkan pada USB port dan dapat dikoneksikan terhadap PC dan diintegrasikan dengan software Labview
- Standar FFT di semua model
- Pengukuran Otomatis (Auto Scale)



Gambar 2.10 *Digital Storage Oscilloscop* TDS1002B

2.3 Elektroda dan Phantom

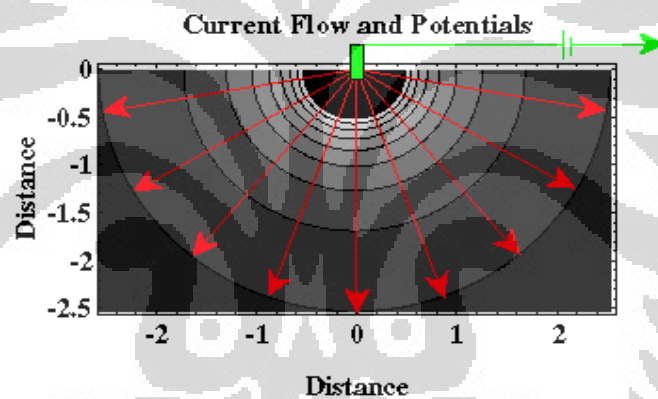
Pada Penelitian ini penulis menggunakan contoh phantom berbentuk lingkaran dengan diameter 13 cm dan memiliki daerah bidang batas pada sekelilingnya. Pada daerah batas phantom tersebut dilekatkan 16 elektroda dengan jarak yang sama antara elektroda. Elektroda atau probe yang penulis gunakan yaitu lempengan tipis tembaga yang berukuran 4x1.2 cm. Elektroda memiliki fungsi yang cukup penting dalam penelitian ini sebagai sensor pengukur arus maupun tegangan dari pengukuran sistem resistivity.

Elektroda ini berfungsi sebagai sensor untuk mengetahui perubahan hambatan dari liquid atau objek yang diukur. Prinsip kerja dari elektroda adalah mengalirkan arus listrik dari satu elektroda ke elektroda lainnya dengan media alirnya adalah zat yang ada di antara kedua elektroda tersebut. Zat tersebut tentunya mempunyai suatu hambatan listrik. Dengan demikian, arus yang keluar akan lebih kecil dibandingkan arus yang masuk. Nilai arus ini menunjukkan nilai hambatan dari zat. Jenis elektroda yang digunakan bermacam-macam. Pemilihan

elektroda yang tepat dapat meningkatkan range efektif (range efektif adalah interval efektif yang dapat diukur oleh suatu Temperatur) dari instrument.

2.4 Resistiviti

Resistivity merupakan sebuah pengukuran yang dilakukan dengan cara menginjeksikan arus kedalam sebuah medium dan akan menghasilkan tegangan di titik lain sehingga akan mendapatkan nilai resistivitynya. Besar nilai resistivity tergantung terhadap medium yang dilewati oleh arus. Resistivity biasa digunakan pada bidang geologi untuk pengukuran keadaan mineral di dalam permukaan tanah. Prinsip dari arus yang dialirkan kedalam sebuah medium ditunjukkan pada gambar 2.9



Gambar 2.11 aliran arus di dalam medium

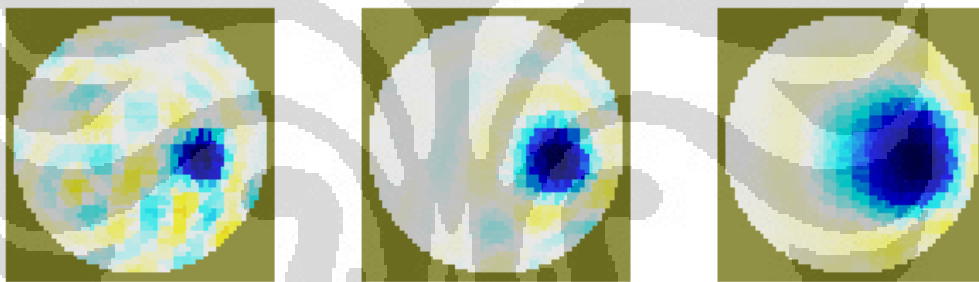
Rumus resistivity dari sebuah medium dapat ditemukan dengan cara mendapatkan nilai tegangan di titik lain. Prinsip utama perhitungan resistivity ditunjukkan pada persamaan 2.1

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho dr}{2\pi r^2} = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.3)$$

Dengan mendapatkan nilai beda potensial kita akan mendapatkan nilai resistivity di EIT-phantom.

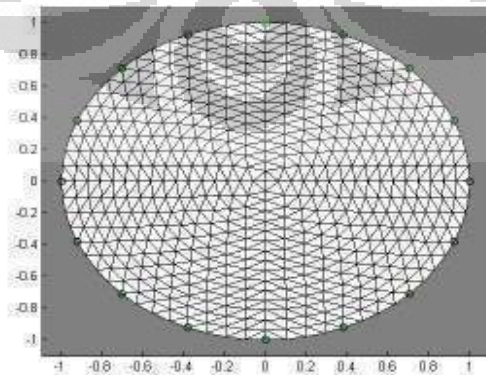
2.5 EIDORS

Eidors merupakan software yang digunakan sebagai tomografi, Eidors pertama kali dikembangkan oleh Manchester university. Software ini digunakan dalam bidang tomografi, baik dalam simulasi maupun percobaan. Software ini dapat dijalankan pada program matlab dan Octave. Software ini dapat digunakan dalam tomografi 2D dan 3D[13]. Software ini dapat dikembangkan oleh setiap pemakainya, karena software ini bertipe open source yang dapat digunakan secara bebas. Prinsip kerja dari software ini adalah dengan cara menentukan distribusi sebaran dari impedansi listrik pada sebuah medium dengan meletakkan beberapa elektroda disekeliling medium pengukuran arus yang diinjeksikan berupa arus bolak-balik di setiap elektroda. Contoh hasil pencitraan pada software eidors ditunjukkan pada Gambar 2.12

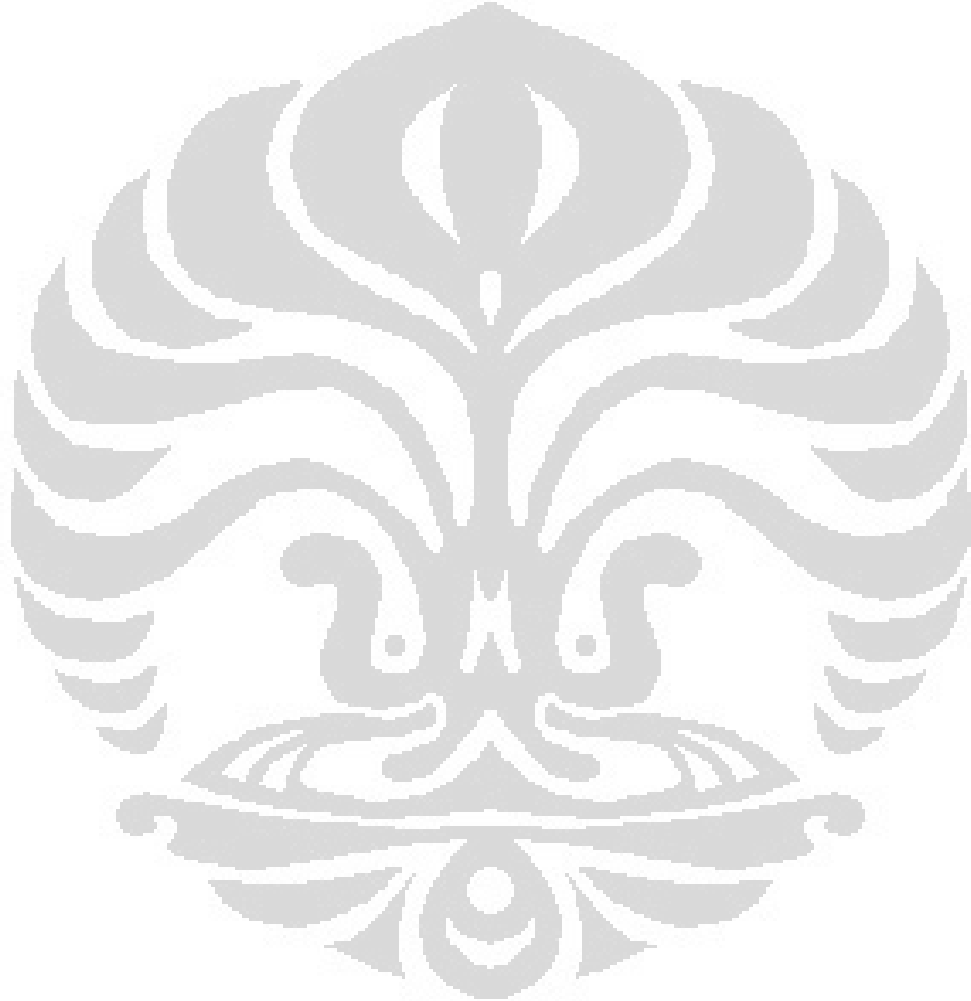


Gambar 2.12 Contoh hasil pencitraan dari software eidors

Eidors memiliki beberapa model dalam bidang tomografi salah satu 2D yang dikenal dengan Metode Finite Elemen seperti pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Model 2D pengukuran pada *Software* Eidors



BAB III

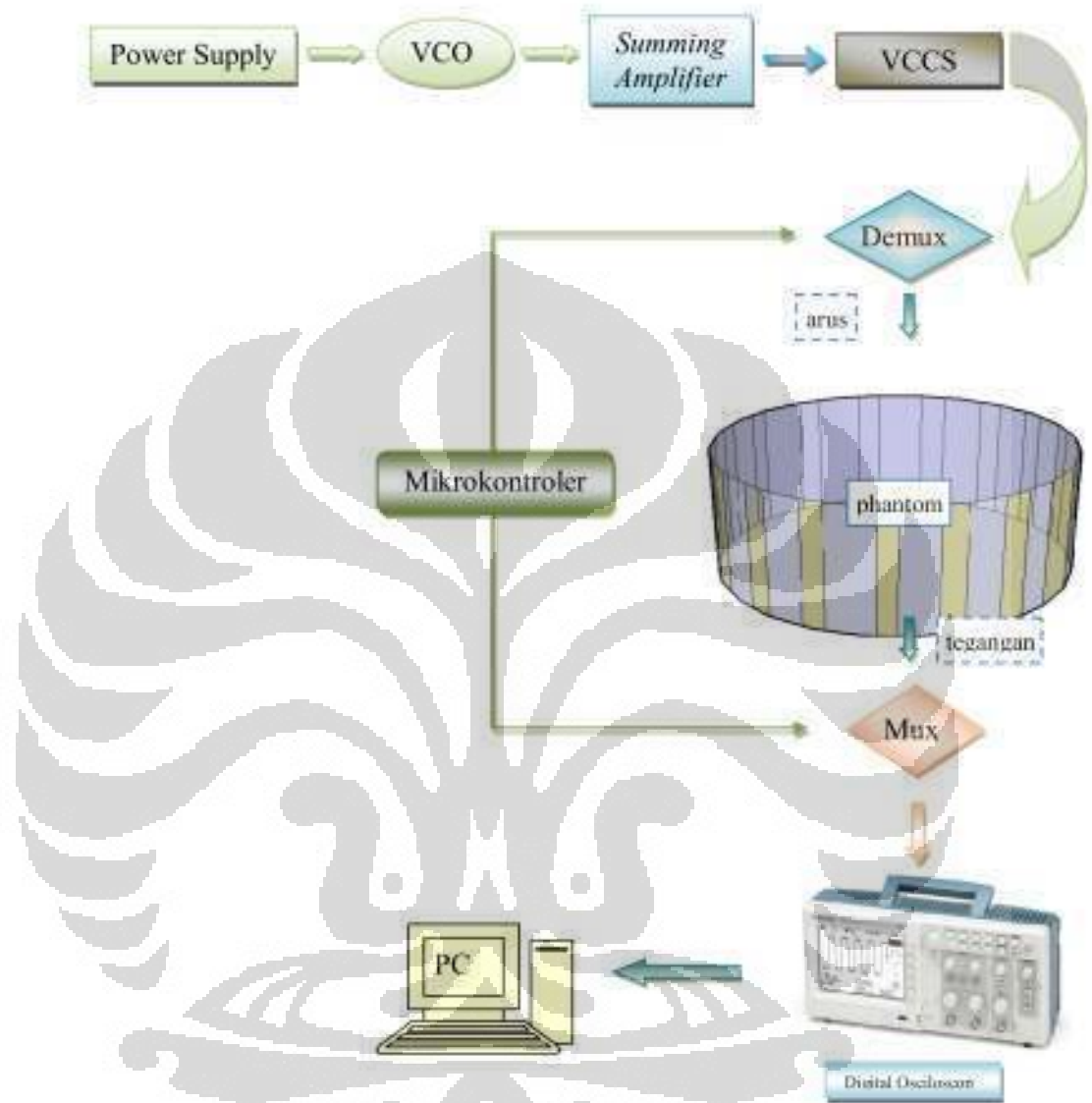
Rancang Bangun Sistem

Bab ini membahas mengenai perancangan sistem. Pembahasan ini dibagi dalam dua bagian pokok yaitu perancangan *hardware* dan *software*.

3.1 *Hardware*

Hardware pada sistem ini meliputi *power supply*, VCO XR 2206 yang dilengkapi summing *amplifier* untuk menghasilkan gelombang superposisi dari tiga *generate* frekuensi. *Voltage Controll Current Source* (VCCS) digunakan agar gelombang sinus yang dihasilkan memiliki nilai arus konstan jika diberi beban. Kemudian elektroda plat tembaga sebagai *probe* yang digunakan untuk mengalirkan arus konstan yang keluar dari VCCS ke sebuah phantom. Untuk Sistem Akuisisi Data digunakan Mikrokontroler AVR AT mega 128 dan Demux dan Mux 4051 B yang mengontrol masuk arus setiap elektroda dan pengukuran tegangan setiap elektroda secara otomatis. Komputer (*Notebook*) yang dilengkapi dengan port USB dan *Digital Osciloscop* TDS 1002B untuk proses pembacaan data dan dimasukkan dalam bentuk excel menggunakan program LabView 2010.

Pada rancangan *hardware* ini, Phantom yang digunakan berbentuk lingkaran dan ditempelkan elektroda sebanyak 16 elektroda. Dalam perancangan pembuatan penelitian ini, sistem perangkat keras *prototype electrical impedance tomografi* menggunakan pemrograman *microcontroller* Atmega 128 yang diintegrasikan dengan *Digital Storage Osciloscop* TDS1002B dan plat tembaga yang digunakan sebagai sensor pada pengukuran *phantom*. Gambar 3.1 merupakan blok diagram secara umum sistem Electrical Impedance Tomography pada perangkat keras atau software [8,9].

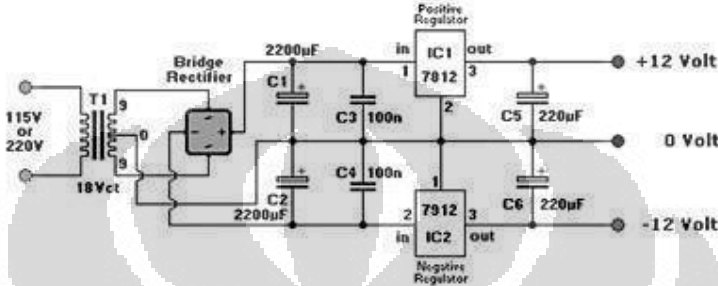


Gambar 3.1 Blok Diagram Rancang Bangun Sistem EIT

Metode yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan arus sinusoidal yang di control oleh demux yang dikendalikan oleh Mikrokontroler AT mega 128 yang akan diinjeksi ke dalam *phantom* kemudian tegangan akan di cuplik oleh multiplekser yang dikendalikan oleh Mikrokontroler kemudian sinyal tersebut akan Diukur dengan menggunakan Digital Osciloscop dan data akan dikirim ke PC melalui Pemrograman LabVIEW.

3.1.1 Symetriic Power Supply

Power Supply merupakan pemberi sumber daya bagi perangkat elektronika. Pada penelitian ini penulis menggunakan rangkaian Symetric Power Supply ± 12 Volt dengan regulator 7912 dan 7812.

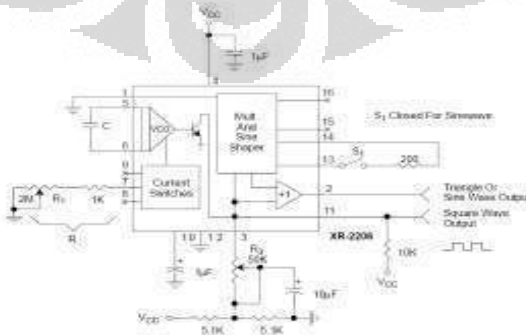


Gambar 3.2 Rangkaian Symetric Power Supply ± 12 V

Rangkaian Power Supply diatas menggunakan Toroid sebagai Transformator yang memiliki CT dan digunakan Rangkaian Jembatan Wheatstone untuk penyearah dan transistor untuk menghasilkan tegangan DC dan diatur dengan regulator 7812 dan 7912 yang digunakan untuk mengatur teganan keluaran konstan jika diberi beban.

3.1.2 Rangkaian VCO XR2206

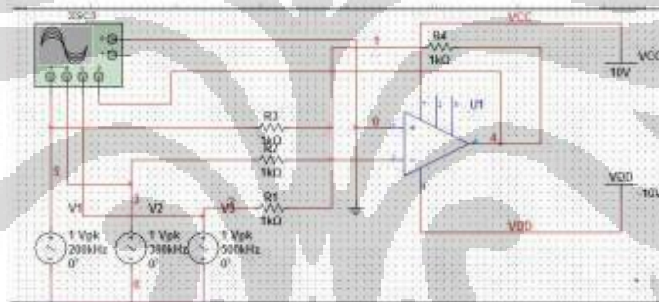
Pada Penelitian ini penulis menggunakan XR2206 untuk menghasilkan gelombang sinus yang dapat diatur besar frekuensi dan Ampiltudonya dengan mengubah nilai Hambatan dan Kapasitor yang digunakan sesuai dengan persamaan 2.1 pada bab 2 [10].



Gambar 3.3 Rangkaian VCO menggunakan XR 2206

3.1.3 Rangkaian *Summing Amplifier* LF356

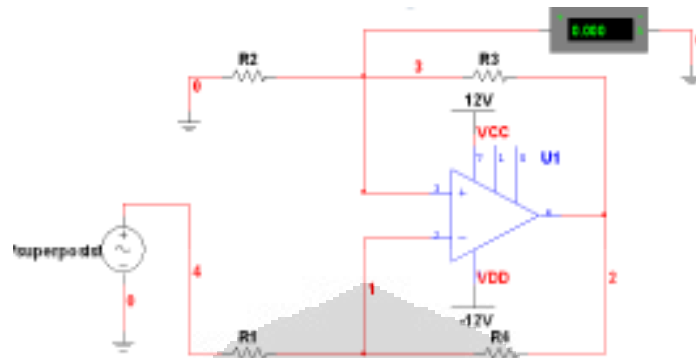
Penguat Operasional (Operational Amplifier – Op Amp) adalah sebuah penguat instan yang bisa langsung dipakai untuk banyak aplikasi penguatan. Sebuah Op amp biasanya berupa IC (Integrated Circuit). Pengemasan Op amp dalam IC bermacam-macam, ada yang berisi satu op amp (contoh : 741), dua op amp (4558, LF356), empat op amp (contoh = LM324, TL084) dll. Perancangan *Summing Amplifier* menggunakan LF 356 yang memiliki operasi bandwidth yang tinggi dan impedansi yang tinggi. Prinsip Rangkaian yang digunakan adalah rangkaian *summing inverting amplifier* menggunakan penguat Operasional amplifier.



Gambar 3.4 Rangkaian *Summing Amplifier*

3.1.4 *Voltage Control Current Source* (VCCS)

VCCS merupakan sebuah rangkaian suplai arus dengan menggunakan IC AD829, prinsip yang digunakan pada rangkaian ini berupa rangkaian Howland. VCCS bekerja untuk mempertahankan arus yang konstant dengan beban yang diberikan kepada rangkaian ini. Pada rangkaian ini jika diberi beban arus tidak mengalami perubahan / penurunan nilai arus yang diukur. Skematik rangkaian VCCS dijelaskan pada Gambar 3.5

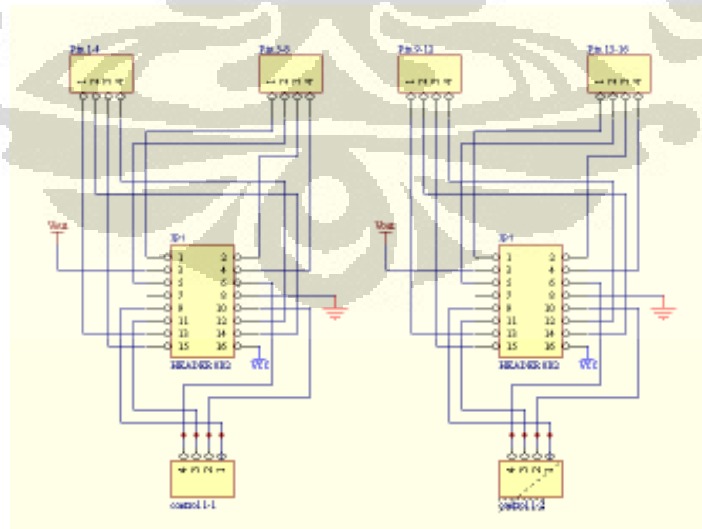


Gambar 3.5 Rangkaian VCCS

3.2 Perancangan Kontrol Akuisisi Data

3.2.1 *Multiplexer 4051*

Rangkaian Multiplexer yang digunakan pada penelitian ini menggunakan IC CD4051BEF yang merupakan salah satu IC yang dapat digunakan sebagai Multiplexer dan juga demultiplexer. Rangkaian multiplexer memiliki 8 input dan satu buah output, pada penelitian ini digunakan 2 buah IC 4051 sebagai Multiplexer karena input yang dibutuhkan sebanyak 16 Konfigurasi dari rangkaian Multiplexer ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Rangkaian Multiplexer

Berikut ini merupakan data yang didapat dari hasil pengujian rangkaian Multiplekser:

Tabel 3.1 Hasil Konfigurasi Multiplekser

A1	B1	C1	A2	B2	C2	Inh 1	Inh 2	Elektroda On
0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1	2
0	1	0	0	0	0	0	1	3
0	1	1	0	0	0	0	1	4
1	0	0	0	0	0	0	1	5
1	0	1	0	0	0	0	1	6
1	1	0	0	0	0	0	1	7
1	1	1	0	0	0	0	1	8
0	0	0	0	0	0	1	0	9
0	0	0	0	0	1	1	0	10
0	0	0	0	1	0	1	0	11
0	0	0	0	1	1	1	0	12
0	0	0	1	0	0	1	0	13
0	0	0	1	0	1	1	0	14
0	0	0	1	1	0	1	0	15
0	0	0	1	1	1	1	0	16

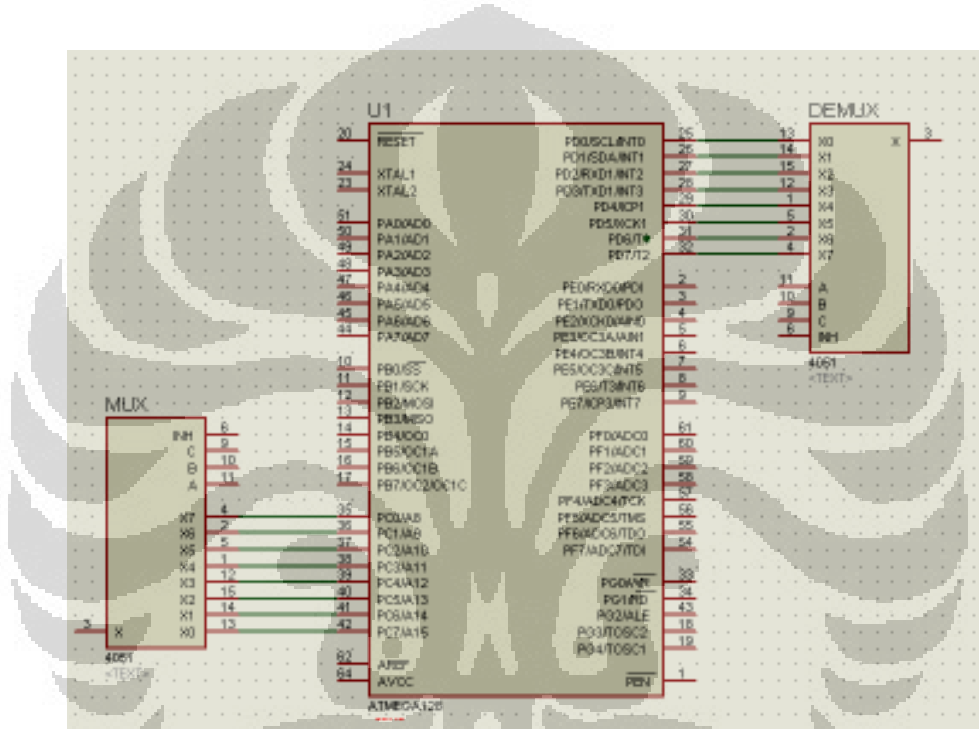
3.2.2 Perancangan Mikrokontroler Atmega128

Pada penelitian ini, pengendali mikro Atmega128 merupakan otak dari keseluruhan sistem, tugas utama mikro yaitu sebagai control dari elektroda. Mikrocontroller mengontrol Multiplekser dan demultiplekser.

Rangkaian minimum sistem ini terdiri dari 6 port yaitu port A, B, C, D, E dan F, akan tetapi pada penelitian ini hanya tiga port digunakan, dengan fungsi masing-masing dari tiap-tiap port seperti dijelaskan dalam Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Fungsi PORT Atmega 128 yang digunakan

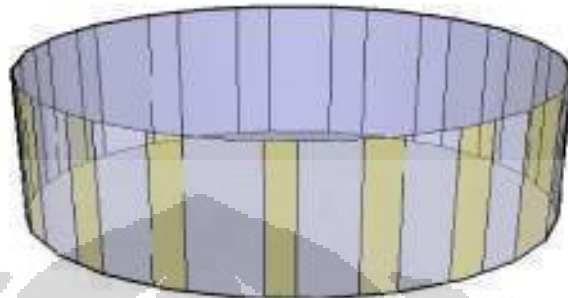
PORT	Fungsi	Interface
PC 0 – PC 7	Output	Multiplexer
PD 0 – PD 7	Output	Demultiplexer



Gambar 3. 7 Skematik Koneksi Port ATmega128

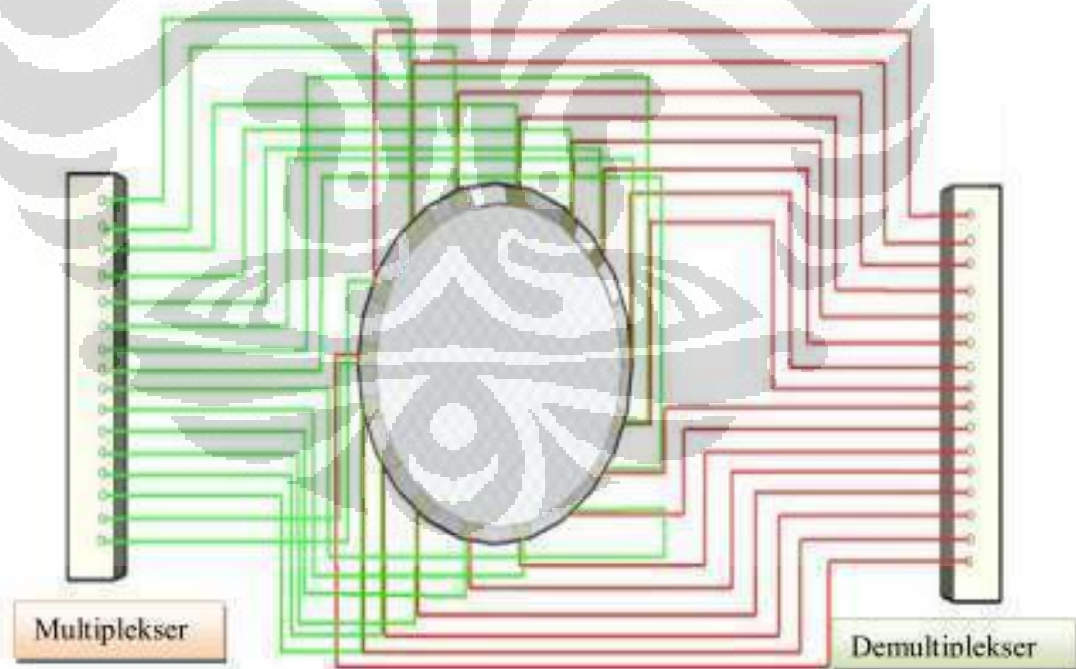
3.2.3 EIT- Phantom

EIT phantom digunakan sebagai wadah pengukuran dengan menggunakan 16 elektroda tembaga. EIT-phantom menggunakan wadah plastic silinder dengan diameter 13cm, dengan tinggi 4.5 cm. plat tembaga yang digunakan dengan panjang 4.x1.2 cm. desain EIT-phantom ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *EIT phantom*

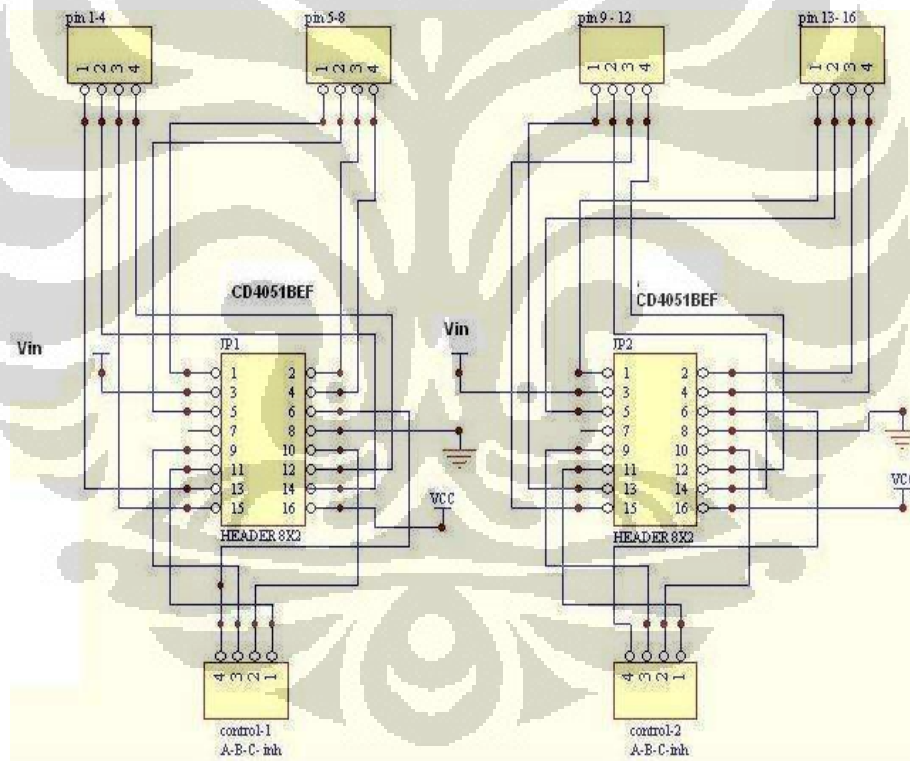
EIT-phantom dihubungkan dengan kabel Coaxial yang akan menuju pada Multiplexer dan Demultiplexer. Kabel Coaxial digunakan untuk mengurangi hambatan dan dapat mengalirkan sinyal dengan baik. Desain phantom yang telah dihubungkan oleh demultiplexer dan multiplexer ditunjukkan pada gambar 3.8



Gambar 3.9 Desain EIT phantom yang dihubungkan dengan Multiplexer dan Demultiplexer

3.2.4 Rangkaian Demultiplexer

Rangkaian Demultiplexer merupakan rangkaian yang digunakan untuk menyalurkan sinyal input kedalam elektroda-elektroda di dalam EIT-phantom. Demultiplexer yang digunakan memanfaatkan IC CD4051BEF dengan menggunakan control yang dikendalikan oleh microcontroller. Demultiplexer akan menyalurkan sinyal dari input ke 16 channel pada EIT phantom. Desain demultiplexer ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Rangkaian Demultiplexer

Hasil pengujian demultiplekser di gambarkan pada table 3.3

Tabel 3.3 Hasil Konfigurasi Demultiplekser

A1	B1	C1	A2	B2	C2	Inh 1	Inh 2	Pin On
0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0	0	1	2
0	1	0	0	0	0	0	1	3
0	1	1	0	0	0	0	1	4
1	0	0	0	0	0	0	1	5
1	0	1	0	0	0	0	1	6
1	1	0	0	0	0	0	1	7
1	1	1	0	0	0	0	1	8
0	0	0	0	0	0	1	0	9
0	0	0	0	0	1	1	0	10
0	0	0	0	1	0	1	0	11
0	0	0	0	1	1	1	0	12
0	0	0	1	0	0	1	0	13
0	0	0	1	0	1	1	0	14
0	0	0	1	1	0	1	0	15
0	0	0	1	1	1	1	0	16

3.3 Software

Pada bagian pemrograman digunakan 3 jenis Software diantaranya :

1. BASCOM AVR : Digunakan untuk mengatur proses control Demux dan Mux dalam proses injeksi arus dan proses pengambilan Data Tegangan. Bascom AVR digunakan untuk pemrogram Mikrokontroler AT mega 128

2. LabVIEW™ 10 adalah bahasa pemrograman perangkat lunak yang digunakan untuk pengambilan data tegangan dari Digital Storage TDS 1002B yang dapat secara otomatis dapat mengunduh data tegangan dalam bentuk excel. Program Ini dipilih untuk menggantikan fungsi RMS-DC yang dapat diganti dengan menggunakan vi RMS to DC pada LabView.
3. Matlab 2009 atau EIDORS (Toolkit Matlab) ini digunakan untuk proses tomografi atau rekonstruksi data dari phantom yang telah diberikan objek untuk. EIDORS memiliki fungsi matematika tersendiri yang dapat menghasilkan citra 2 Dimensi

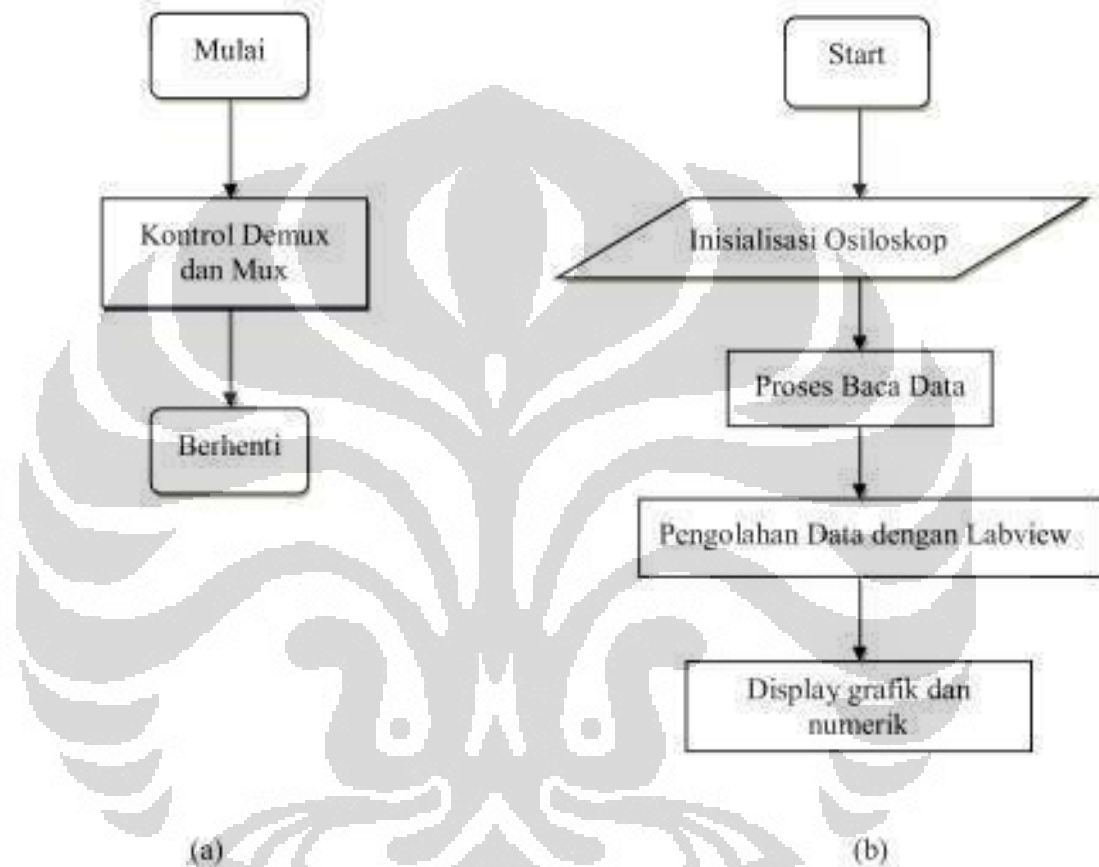
3.3.1 Perancangan Program

Pada penelitian ini bahasa pemrograman perangkat lunak yang digunakan adalah bahasa Basic yaitu BASCOM AVR dan LabVIEW.

Program BASCOM-AVR digunakan untuk membuat program yang akan digunakan oleh pengendali mikro untuk mengatur dan mengendalikan sensor. Sedangkan LabVIEW 10 merupakan sebuah bahasa pemrograman grafis yang menggunakan sistem icon sebagai pengganti barisan teks untuk membuat program aplikasi di bidang pengujian dan pengukuran [14].

LabView™ digunakan sebagai user interface pada komputer. Dalam membuat program, ada baiknya kita membuat langkah-langkahnya terlebih dahulu, agar program yang dibuat akan lebih baik. Untuk itu dirancanglah sebuah diagram alir, agar setiap langkah yang akan dilakukan kita lebih gampang mengetahui instruksi yang digunakan dalam program. Diagram alir alat ini dapat dilihat pada Error! Reference source not found.. Tahap selanjutnya setelah pembuatan diagram alir program adalah pembuatan program dengan perangkat lunak di komputer.

Secara umum diagram alir dari perancangan pengambilan data resistivity digambarkan pada gambar 3.11



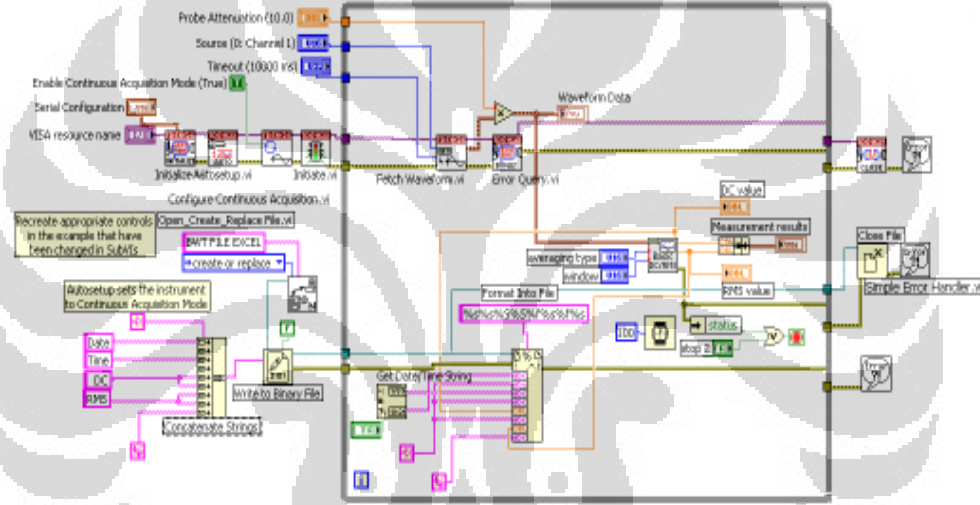
Gambar 3.11 a. Pemrograman Mikrokontroler b. Pemrograman LabVIEW

Pada sistem ini elektroda plat tembaga yang digunakan sebanyak 16 buah yang di potong dengan lebar 1.2cm dan tinggi 4.5 cm, elektroda ini dipasang pada phantom dengan jarak 1cm antar elektroda. Dan ditambahkan ground pada daerah tengah elektroda, phantom yang telah terisi elektroda ini dihubungkan dengan Multiplexer dan demultiplexer yang dikendalikan oleh microcontroller Atmega 128.

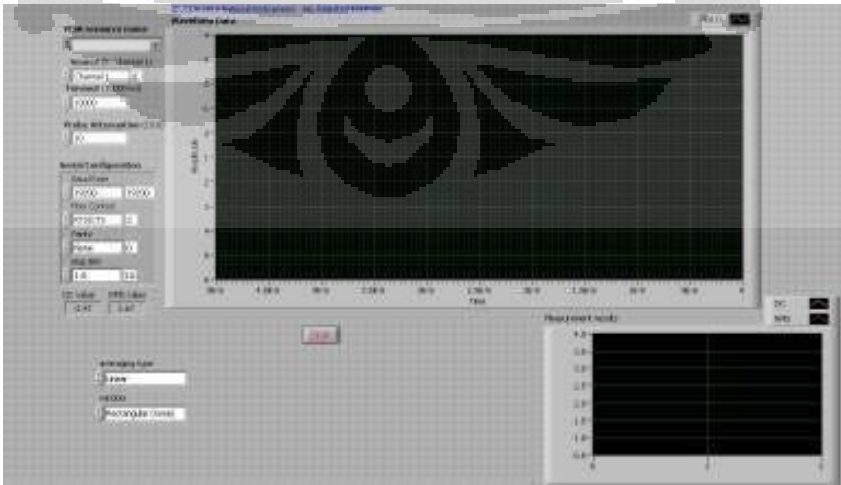
Sinyal sinusoidal yang dihasilkan oleh VCO akan disambungkan ke rangkaian VCCS dan kemudian masuk kedalam rangkaian Demultiplexer. Demultiplexer akan mengalirkan arus ke elektroda dan di kendalikan oleh

microcontroller. Kemudian elektroda akan mengalirkan arus dan elektroda lain akan mencuplik tegangan dengan dikendalikan oleh Multiplexer. Kemudian data akan akan disalurkan kedalam digital storage oscilloskop yang telah diintegrasikan dalam Program Labview. Kemudian data yang masuk kedalam Labview akan diolah hingga mendapatkan tegangan DC dan RMS.

3.3.2 Program LabVIEW dan EIDORS



Gambar 3.12 Blok Diagram Desain LabVIEW



Gambar 3.13 Front Panel Desain LabVIEW

Perancangan Software Eiders, dilakukan dengan cara menggunakan model yang telah disediakan oleh Eiders sehingga kita hanya cukup memasukan data yang telah kita dapatkan dari hasil pengukuran, dan disesuaikan dengan model tomografi yang akan kita gunakan, yaitu dengan 2D maupun 3D, software EIDORS memberikan beberapa contoh hasil pengukuran baik dari data simulasi maupun dari data eksperimen untuk menjalankan software ini sebelumnya kita harus set path yang telah diberikan oleh EIDORS di program yang digunakan. Untuk setiap *running* program diperlukan startup terlebih dahulu, hal ini berguna untuk mengenali fungsi-fungsi yang berada pada EIDORS, apabila tidak melakukan startup maka fungsi yang kita jalankan akan error, hasil pengukuran yang digunakan berupa tegangan pada elektroda, pengukuran elektroda yaitu sebanyak 256 data, untuk data pertama injeksi arus berada di elektroda 1, kemudian elektroda 1 akan mengukur tegangan dielektroda 1, kemudian pengukuran tegangan dilanjutkan ke elektroda 2 sampai ke elektroda 16. Kemudian injeksi arus yang kedua berada pada elektroda 2, kemudian pengukuran tegangan dimulai di elektroda dua, dalam pengukuran elektroda 2 dapat ditulis dalam pengukuran elektroda 17, kemudian dilanjutkan ke pengukuran tegangan dielektroda 3 atau dapat ditulis menjadi elektroda 18. Kemudian proses berlanjut hingga injeksi arus di elektroda 16 dan pengukuran tegangan pada elektroda 256. Langkah-langka perancangan EIDORS sebagai berikut[13] :

- Load Data (Data yang akan diproses)

```
load data_model
```

- Model Phantom (Model 16 Elektroda dengan resolusi tertentu)

```
imdl = mk_common_model('e2c0',16);
```

- Struktur Inversi

```
imdl.fwd_model.normalize_measurements=1;
imdl.RtR_prior= @gaussian_HPF_prior;
```

- Pemecahan Masalah

```
img = inv_solve(imdl,zc_a(:,1),zc_a(:,9));
```

- Proses Pencitraan

```
figure
show_fem(img, [1,1]);
axis equal; axis off;
figure
img.calc_colours.ref_level = 0.1;
show_fem(img, [1,1]);
axis equal; axis off;
```

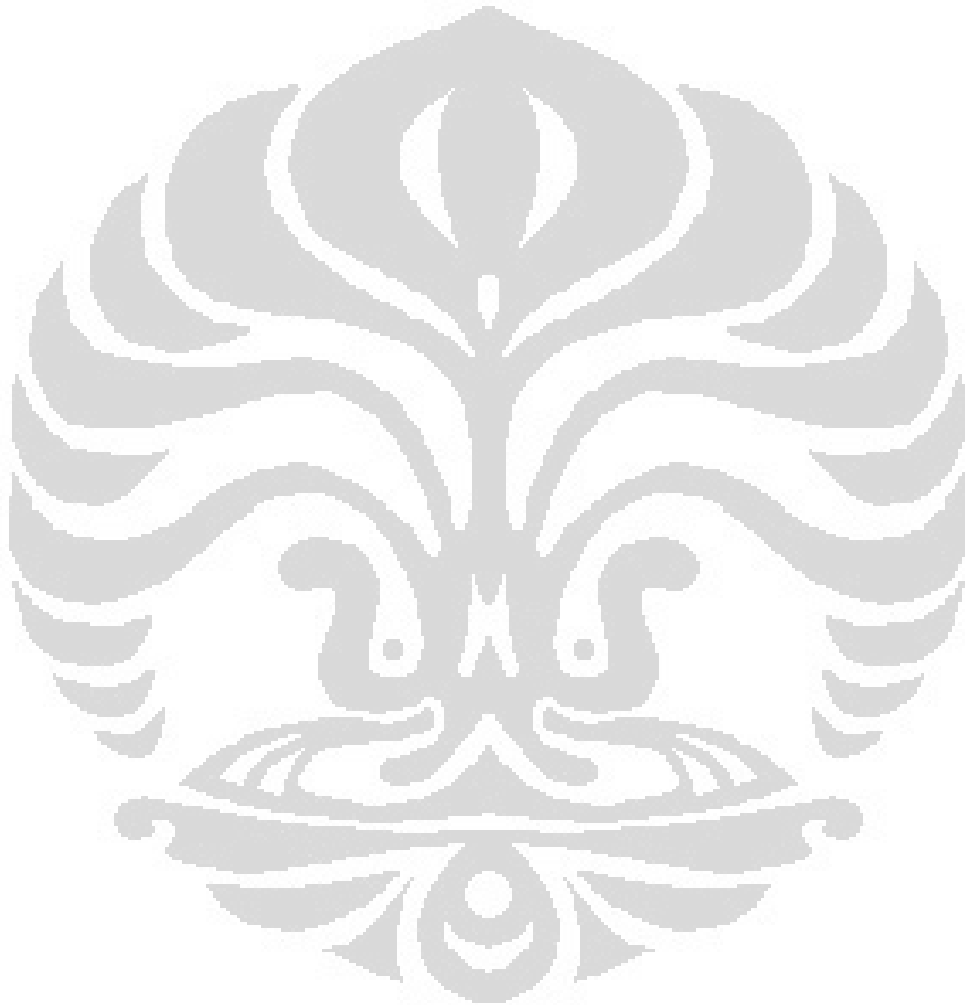
Pada processing data yang dilakukan oleh software EIDORS terdiri dari beberapa tahapan diawali dengan pengambilan data yang telah dilakukan oleh alat, kemudian dilanjutkan dengan modeling, pada modeling dilakukan pemilihan jumlah elektroda, Bentuk phantom, jumlah element dan tipe pencitraan. Data yang didapatkan strukturnya akan dirubah kedalam struktur inverse yang kemudian dilanjutkan dengan pemecahan masalah pada inverse kemudian dilanjutkan dengan proses pencitraan.

3.3.3 Sistem EIT secara Umum

Pada system ini elektroda plat tembaga yang digunakan sebanyak 16 buah yang di potong dengan lebar 1.2cm dan tinggi 4.5 cm, elektroda ini dipasang pada phantom dengan jarak 1cm antar elektroda. Dan ditambahkan ground pada daerah tengah elektroda, phantom yang telah terisi elektroda ini dihubungkan dengan Multiplexer dan demultiplexer yang dikendalikan oleh microcontroller Atmega 128, penghubung antara Multiplexer ke phantom dan Demultiplexer ke phantom dengan menggunakan kabel coaxial dengan panjang 25cm, dan memiliki panjang yang sama untuk setiap elektroda.

Sinyal sinusoidal yang dihasilkan oleh VCO akan disambungkan ke rangkaian VCCS dan kemudian masuk kedalam rangkaian Demultiplexer. Demultiplexer akan mengalirkan arus ke elektroda dan di kendalikan oleh *microcontroller* yang telah terprogram oleh program BASCOM. Kemudian elektroda akan mengalirkan arus dan elektroda lain akan mencuplik tegangan dengan dikendalikan oleh Multiplexer yang dikendalikan oleh *mikrocontroller*. Kemudian data akan akan disalurkan kedalam digital storage oscilloskop yang

telah diintegrasikan dalam Program Labview. Kemudian data yang masuk kedalam Labview akan diolah hingga mendapatkan tegangan DC dan RMS. Kemudian dilanjutkan dengan proses penggambaran atau tomografi dengan *software* Eidors, yaitu menggunakan model yang disesuaikan dengan pengukuran yang kita lakukan dan memilih pencitraan yang akan digunakan yaitu 2D dan 3D.



BAB IV

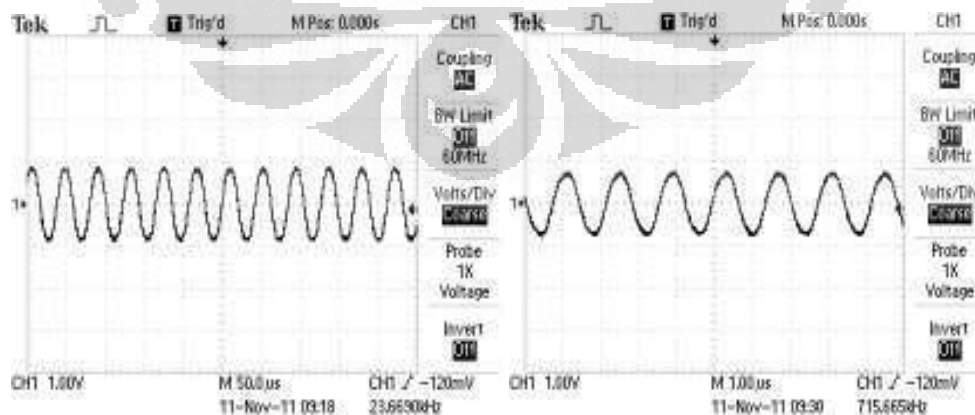
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil pengujian sistem dan pembahasannya. Pengujian ini dilakukan untuk setiap modul pada program seperti yang telah dijelaskan pada BAB III. Namun Data yang penulis akuisisi belum sempurna karena hanya data kalibrasi saja.

4.1 DATA

4.1.1 Data VCO (XR2206)

Untuk data pengujian, penulis menggunakan 3 VCO dengan frekuensi yang berbeda-beda. Dari tiap frekuensi memiliki amplitudo yang sama dengan nilai 2 Vpp. Kemudian rangkaian tersebut digabungkan menjadi satu menggunakan summing amplifier. Dari hasil pengujian XR2206 diperoleh nilai besar lebar frekuensi yang dapat dicapai dari rentang 20 kHz-700kHz dari nilai kapasitor nonpolar sebesar 1 nF seperti pada Gambar 4.1 di bawah ini yang penulis ambil dalam bentuk JPEG Image menggunakan Digital Storage Oscilloskop TDS1002B;



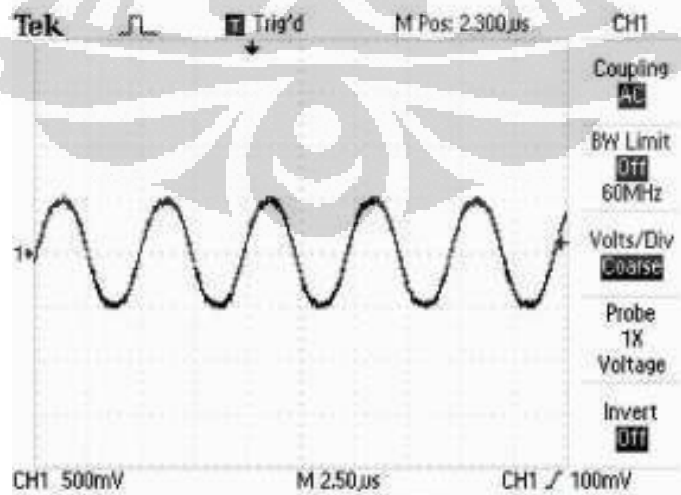
Gambar 4.1 Gelombang sinus dengan rentang frekuensi min max

Dari Pengujian XR2206 dengan mengatur nilai potensiometer dalam bentuk multitone penulis dapat mengatur lebar frekuensi yang diperoleh dan pengaturan amplitudonya yang nanti akan diteruskan dengan proses rangkaian penjumlahan 3 gelombang sinus dengan nilai yang berbeda (bilangan prima) dengan menggunakan penguat IC LF356.

4.1.2 Data *Summing Amplifier*

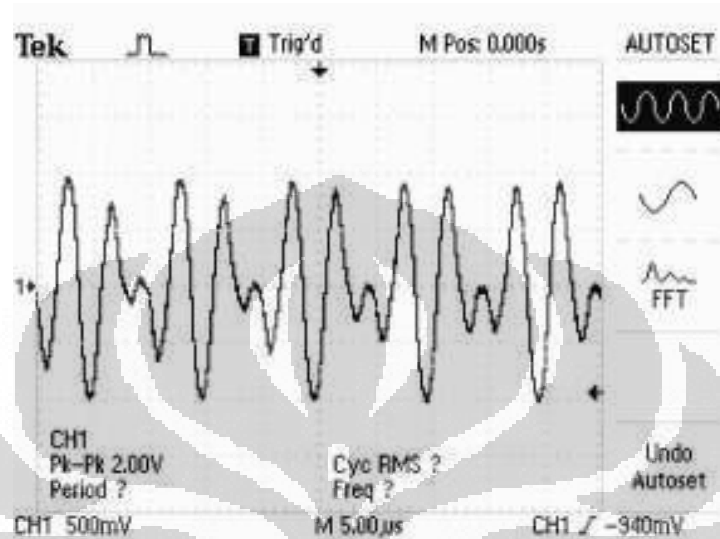
Pada *Summing Amplifier* ini penulis menggunakan IC LF356 yang akan menjumlahkan tegangan masukan. Adapun frekuensinya berbeda-beda dengan nilai bilangan prima 2,3,5 sehingga penulis menggunakan frekuensi 200kHz, 300 kHz dan 500 kHz yang tertera pada Halaman Lampiran.

Gelombang superposisi yang akan diperoleh digunakan sebagai fungsi untuk melihat respon dari tegangan diperoleh. Penulis mengasumsikan data akan semakin baik karena ada proses penggabungan sehingga setiap elektroda akan dapat memilih lebih cenderung ke frekuensi tertentu. Proses Penjumlahan ini dapat dianalogikan dalam proses *ssweeping* dimana sekaligus tiga frekuensi dikirim ke satu elektroda. Gambar dibawah ini adalah keluaran VCO dengan menggunakan XR2206 yang akan dijumlahkan dengan 3 frekuensi berbeda. Pada Proses *Summing* penulis menjumlah 3 sinyal dengan frekuensi 200,300,500 kHz.



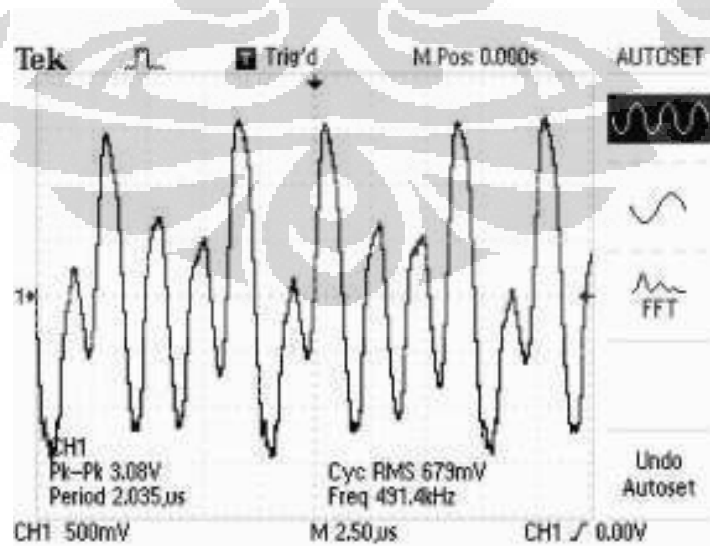
Gambar 4.2 Gelombang sinus dengan Amplitudo 1Vpp

Berikut ini adalah Gambar Penjumlahan dari Gelombang sinus dengan amplitudo yang sama dan frekuensi yang berbeda yaitu frekuensi 200 kHz dan 300 kHz

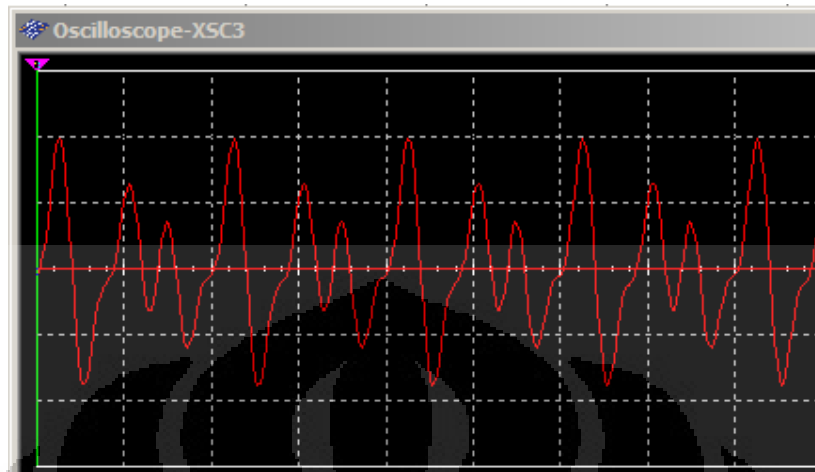


Gambar 4.3 Hasil Gelombang Superposisi dari frekuensi 200 dan 300 kHz

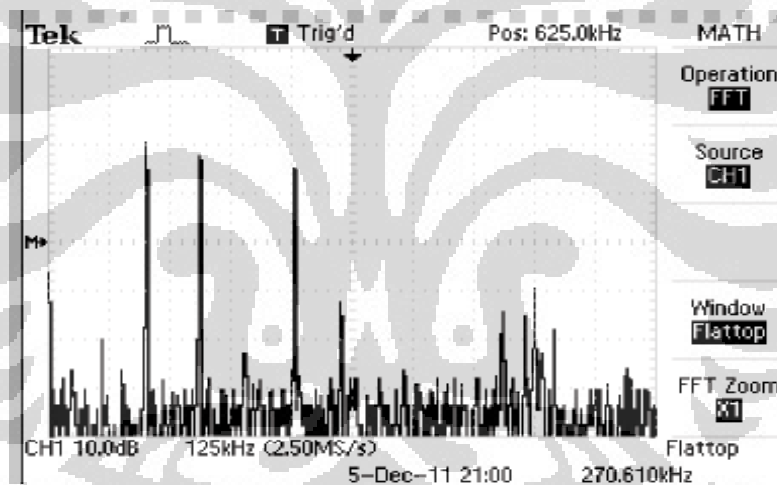
Dalam Pengujiannya Summing Amplifier diperoleh penjumlahan yang baik diantaranya dari proses penjumlah menggunakan simulasi multsim dan menggunakan eksperimen diperoleh pengujian yang baik dari 3 frekuensi yaitu 200 kHz, 300 kHz, dan 500 kHz sebagai berikut..



Gambar 4.4 Gelombang Superposisi dari *Summing Amplifier*



Gambar 4.5 Gelombang superposisi pada simulasi multisim



Gambar 4.6 FFT dari Gelombang Superposisi

Pada Gambar 4.3 adalah bentuk gelombang superposisi menggunakan simulasi Multisim. Simulasi ini menggunakan tiga frekuensi yang sesuai dengan eksperimen yaitu 200,300, dan 500 kHz. Dari Gambar tersebut penulis dapat membandingkannya dengan eksperimen bahwa bentuk gelombang keluaran superposisi dari LF356 yang hampir sesuai dengan simulasi. Pada Gambar 4.4 merupakan FFT (Fast Fourier Transform) dari Gelombang Summing yang diperoleh dari Digital Osiloskop yang menunjukkan bahwa tiga frekuensi dapat terlihat dan menunjukkan hasil yang cukup baik.

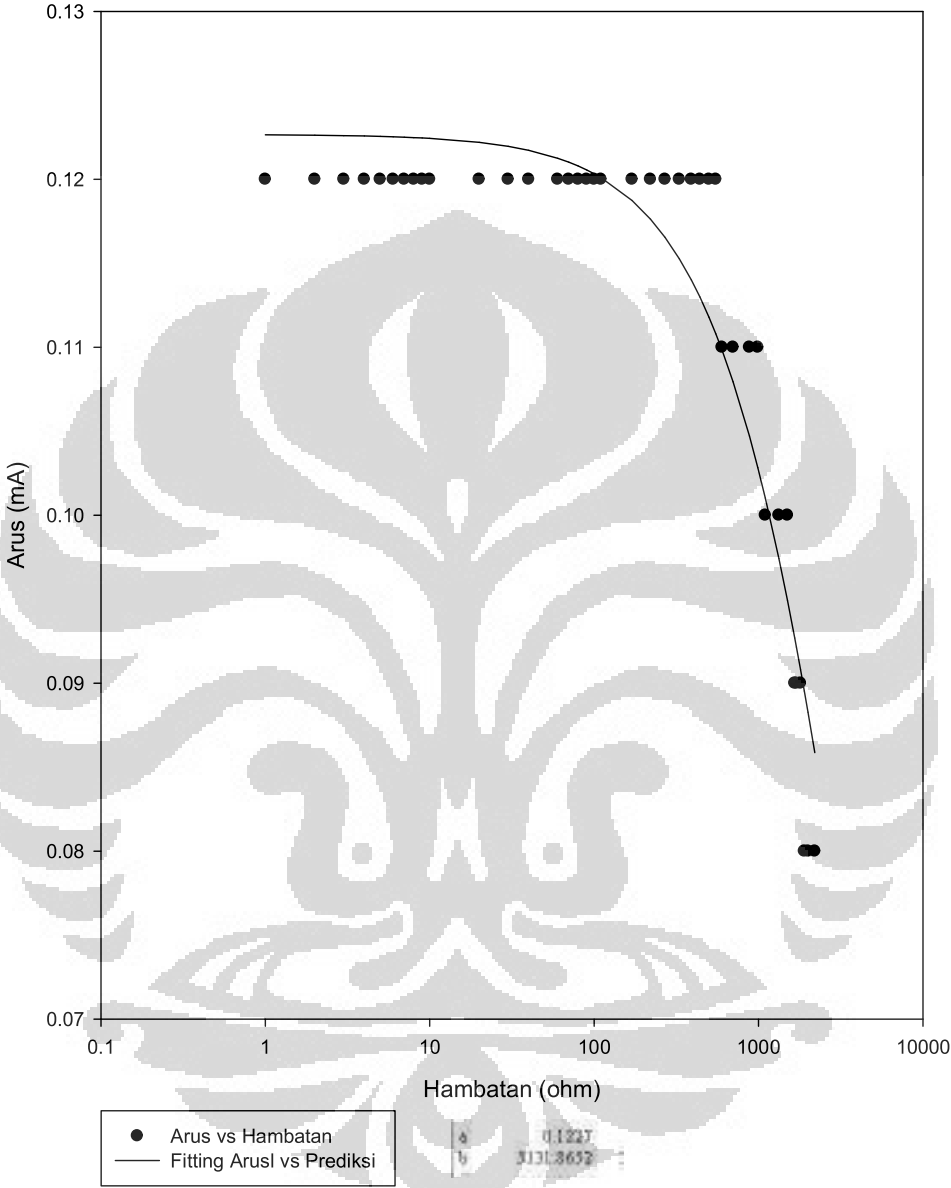
4.1.3 Data VCCS

VCCS menggunakan IC AD829 (high speed Op-Amp). VCCS bertujuan untuk menghasilkan arus AC yang konstan dengan hambatan beban yang bervariasi yang diberikan.

Dengan menggunakan AD829 dan merangkai seperti pada Gambar Rancang Bangun VCCS diperoleh nilai arus yang konstan hingga 550 ohm. Berikut ini data VCCS yaitu arus yang terukur pada saat tidak diberi beban hingga diberikan beban hingga 2,2 k Ω yang ditampilkan pada tabel 4.1 berikut ini :

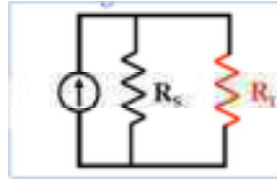
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Arus VCCS terhadap beban

Hambatan (ohm)	Arus (mA)	Hambatan (ohm)	Arus (mA)
1	0.12	220	0.12
2	0.12	270	0.12
3	0.12	330	0.12
4	0.12	390	0.12
5	0.12	440	0.12
6	0.12	500	0.12
7	0.12	550	0.12
8	0.12	600	0.11
9	0.12	700	0.11
10	0.12	880	0.11
20	0.12	990	0.11
30	0.12	1100	0.1
40	0.12	1330	0.1
60	0.12	1500	0.1
70	0.12	1660	0.09
80	0.12	1700	0.09
90	0.12	1800	0.09
100	0.12	1900	0.08
110	0.12	2000	0.08
170	0.12	2200	0.08



Gambar 4.7 Grafik Fitting Arus VCCS Terhadap Hambatan

Pada Grafik diatas menunjukkan respon VCCS terhadap beban yang bervariasi. Apabila di cocokkan dengan persamaan sumber arus seperti pada model dibawah ini yaitu sumber arus ideal yang diberikan pada variasi Hambatan R_L maka didapatkan arus I dari proses Fitting sebesar 0.1227 dan R_s 5.131k Ω



$$I_L = \frac{I R_s}{R_s + R_L}$$

Gambar 4.8 Model Rangkaian Sumber Arus dan persamaan fittingnya

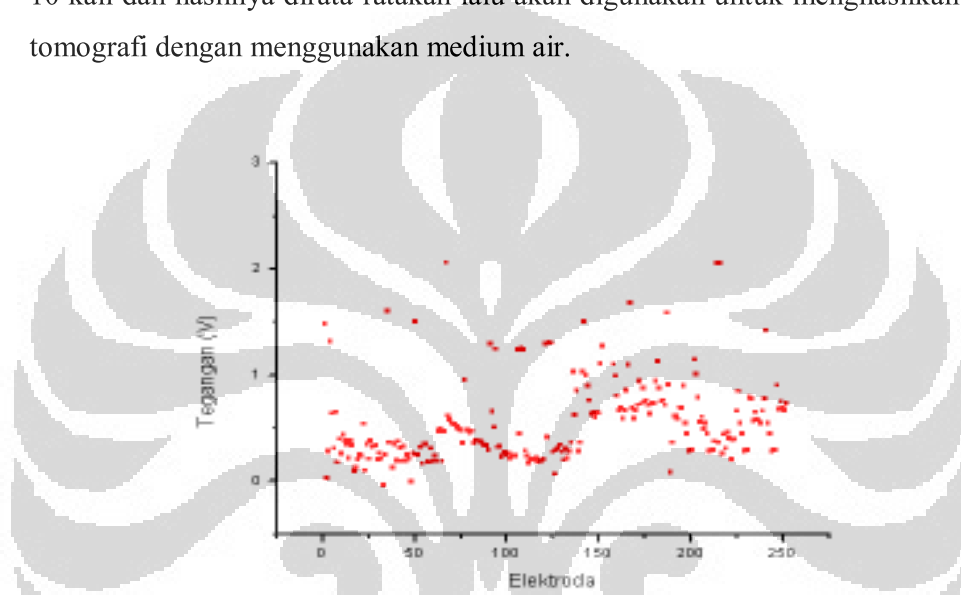
Berdasarkan Tabel 4.1 Arus konstan ketika diberi beban hingga sekitar 550 k Ω . Namun pada saat mulai 660 k Ω arus menurun sebesar 0.01 mA yaitu nilai ralat dari pengukuran arus. Berdasarkan data tabel tersebut dapat dilihat hasil fitting dari sumber arus VCCS ini sudah memiliki hasil Fitting yang baik seperti pada modeling sumber arus ideal

4.2 Hasil Percobaan

Berdasarkan Sinyal masukan arus yang akan diinjeksi pada gambar 4.6 menunjukkan gelombang superposisi yang akan diinjeksi ke salah satu elektroda Dengan menggunakan Demux dan Mux yang dikendalikan mikrokontroler akan diukur data tegangan sebanyak 256 data yang diambil atau dicuplik menggunakan interface Digital Oscilloskop menggunakan program LabVIEW. Pengambilan data sebanyak 256 data, dengan jumlah elektroda sebanyak 16 buah maka pada sat injeksi arus yang pertama yaitu pada elektroda 1 maka elektroda 1 sampai elektroda 16 akan membaca tegangan kemudian pada injeksi arus yang kedua yaitu pada elektroda 2 maka tegangan yang dibaca pada elektroda dua adalah elektroda 17, begitu juga pada elektroda 3 maka dibaca dengan elektroda 18, proses ini berlanjut hingga injeksi arus yang ke 16, maka data akan seledai terbaca pada elektroda ke 256. Tomografi merupakan sebuah proses pencitraan dari hasil pengukuran, data-data yang didapatkan pada penelitian ini berupa data tegangan hasil dari pengukuran. Pengukuran data keluaran VCO yang memiliki tegangan offset dapat dihilangkan dengan memberikan kapasitor polar sebesar 10 uF yang akan menghalangi tegangan DC yang masuk dan meneruskan sinyal

gelombang sinus dari masing-masing VCO kedalam Penguat Instrumentasi Amplifier yaitu LF356 untuk menghasilkan gelombang superposisi.

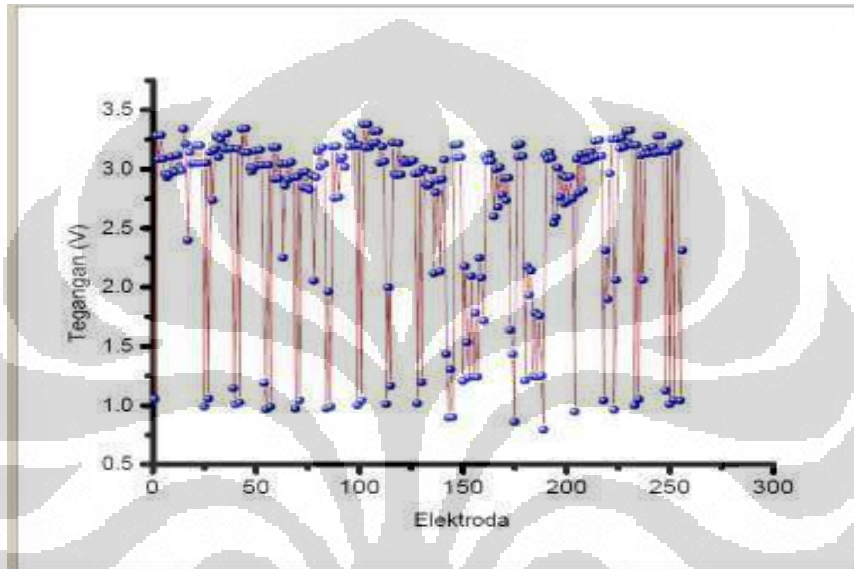
Adapun Pengukuran pertama kali yang dilakukan yaitu dengan menggunakan Phantom Kosong atau yang belum terisi dengan air. Pada Pengambilan Data Pertama ini Data Tegangan yang diperoleh diambil sebanyak 10 kali dan hasilnya dirata-ratakan lalu akan digunakan untuk menghasilkan hasil tomografi dengan menggunakan medium air.



Gambar 4.9 Grafik Phantom dalam keadaan kosong

Pada saat keadaan phantom kosong terlihat bahwa data-data memiliki nilai tertinggi pada nilai 2.1 V dan nilai terkecil sebesar 0.1V. hal ini kemungkinan dapat disebabkan karena adanya distribusi muatan yang melewati medium udara pada bagian dalam phantom yang memungkinkan adanya aliran muatan disetiap elektrodanya. Pada Gambar 4.10 digambarkan data pada pengukuran phantom berisi air. Pada data kalibrasi ini penulis mengambil sample air saja dan melakukan eksperimen dengan mengukur distribusi tegangan pada setiap elektroda dengan model pertama . Pada distribusi homogen dari air tersebut diperoleh citra distribusi tegangan dengan kenaikan yang cukup signifikan akibat diberikan medium air tanah yang penulis gunakan:

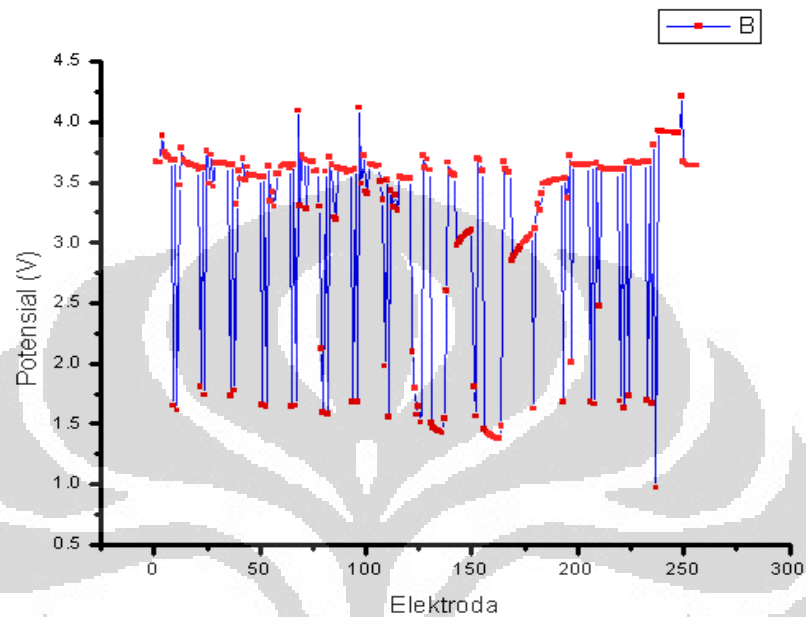
Adanya tegangan yang dihasilkan dari Phantom Kosong dapat disebabkan tegangan Half Potensial dari Besi yang digunakan sebagai Ground dan Plat Tembaga sebagai Elektroda. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tegangan offset yang diberikan oleh multiplexer.



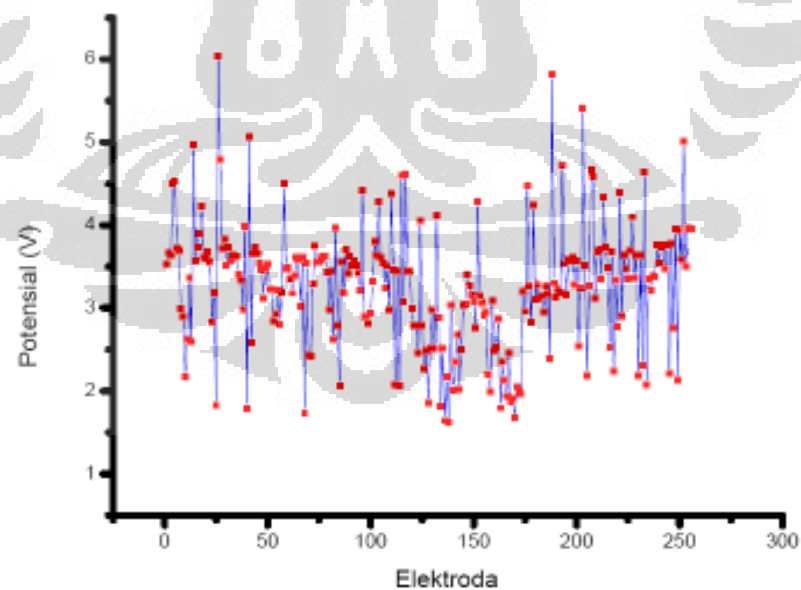
Gambar 4.10 Grafik dari Phantom yang berisi air

Pada Grafik diatas dapat dihasilkan bahwa data yang dihasilkan menghasilkan distribusi tegangan masing-masing elektroda saat diberi sumber arus. Berdasarkan Grafik pertama yaitu phantom hanya diisi air saja diperoleh bahwa terjadi distribusi tegangan yang hampir rata di setiap elektroda yang memiliki nilai yang lebih besar dari Tegangan pada phantom kosong karena menggunakan medium air yang lebih baik dari udara untuk mengalirkan arus listrik. Dari grafik diatas digambarkan tegangan terhadap posisi 256 elektroda pada keadaan phantom berisi air, apabila dilihat dari nilai tegangan yang di dapat yaitu tegangan maksimal sebesar 3.6 dan tegangan terendah sebesar 0.5V maka terlihat bahwa adanya perbedaan distribusi tegangan pada medium udara dan air. Kemudian pemodelan selanjutnya yaitu dengan menambahkan material atau objek

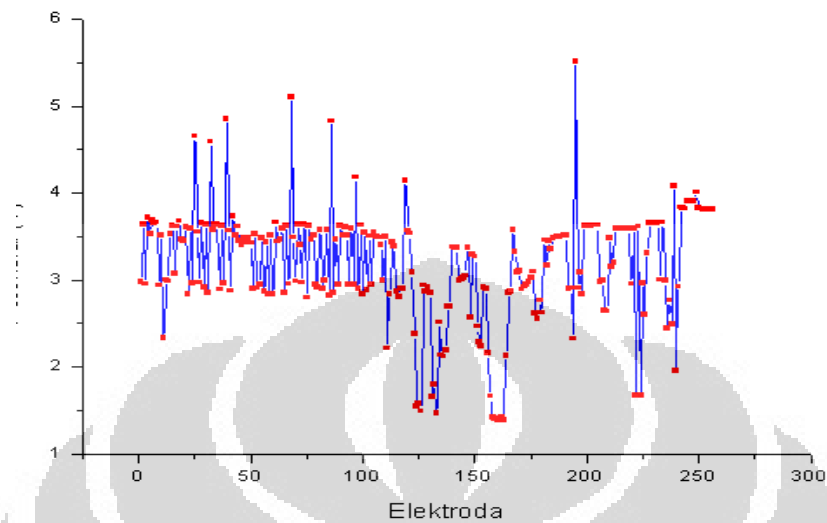
lain didalam sistem phantom berupa gelas kaca yang diletkaan pada elektroda tertentu. 15 dan 16.



Gambar 4.11 Grafik dari Phantom yang berisi air dan Gelas Kaca



Gambar 4.12 Data dari Phantom yang berisi air dan Plastik Padat (PP)

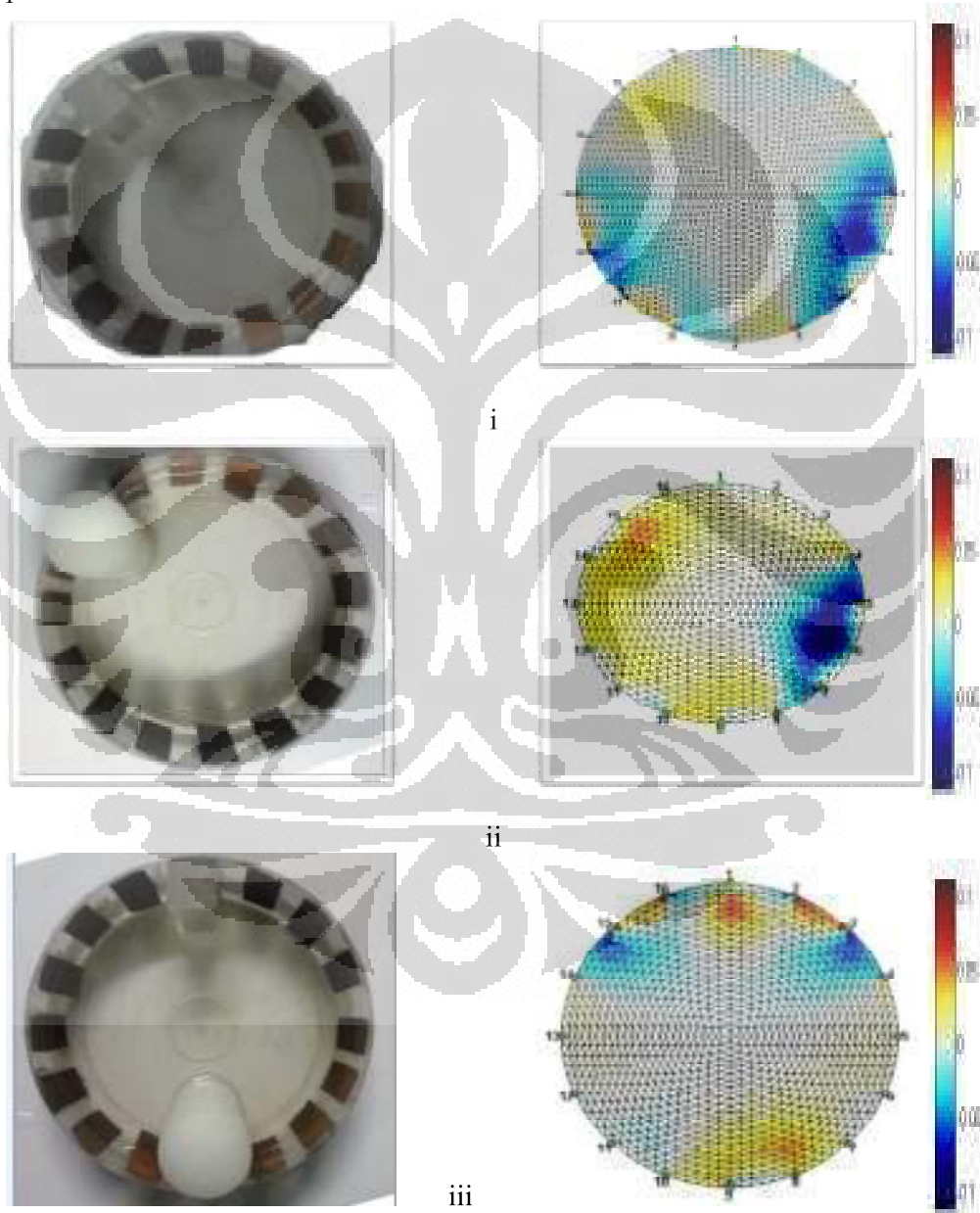


Gambar 4.13 Grafik dari Phantom yang berisi Gelas Kaca dan Plastik

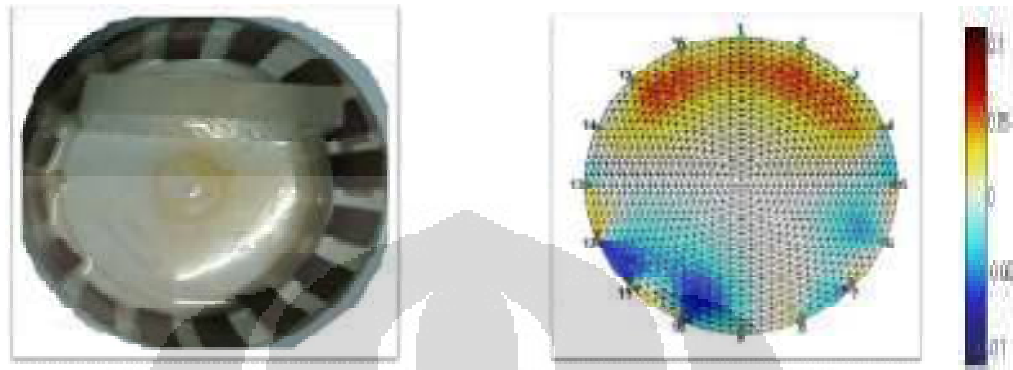
Pada grafik diatas terlihat adanya perbedaan distribusi muatan antara medium air dan medium air yang telah ditambahkan glass, hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan distribusi muatan pada data air dan model. Kemudian pengukuran selanjutnya adalah dengan merubah posisi dari model, data pada model selanjutnya ditunjukkan pada Grafik 4.13

4.3 Rekonstruksi Citra

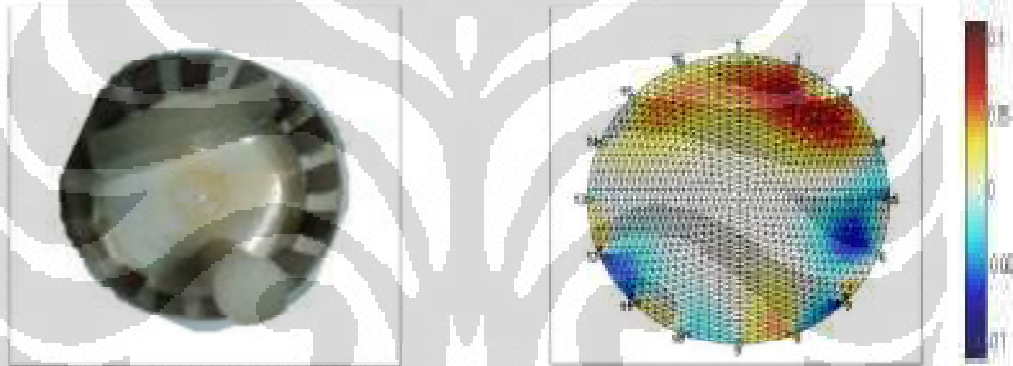
Pada studi ini digunakan perangkat lunak EIDORS untuk rekonstruksi citra. Perangkat lunak ini menggunakan model 16 probe sesuai perancangan pada bagian bab3. Sebagai uji coba pertama yaitu dengan menempatkan gelas kaca pada salah satu elektroda



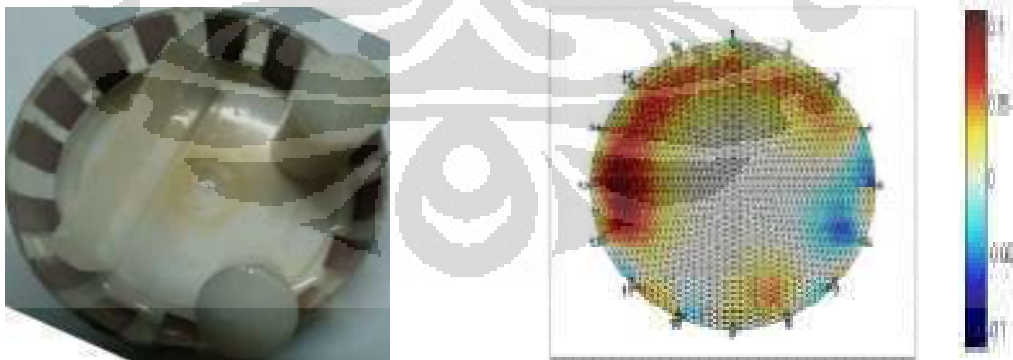
Gambar 4.14 Hasil Rekonstruksi Objek Uji model 1,2,3



iv



v



vi

Gambar 4.15 Hasil Rekonstruksi Objek Uji model model 4,5,6

4.4 Pembahasan dan Analisa

Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dimungkinkan untuk merekonstruksi citra objek dari kaca dan plastic berdasarkan pola dishibusi resistivitas dengan menggunakan tomografi elektrik. Kemudian dilakukan eksperimen dengan perangkat yang dikembangkan untuk rekonstruksi citra. Objek uji yang digunakan disebut phantom yang merupakan objek yang berbentuk lingkaran yang diisi dengan campuran bahan tertentu dengan resistivitas yang homogeny atau dapat pula berupa kumpulan bahan yang memilki resistivitas yang homogeny atau dapat pula beberapa bahan yang memilki resistivitas.

Phantom yang digunakan ditunjukkan Gambar 4.9 pada bagian kiri dengan diameter 13 cm dan disekelilingnya dipasang 16 buah elektroda dari lempengan tembaga dengan jari-jari 0.1 mm. Kemudian Phantom diisi dengan Potongan Gelas Kaca dan padatan plastik. Hasil rekonstruksi ciha dishibusi resistivitas dari phantom untuk nilai parameter regularisasi konstan dan berubah-ubah ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Dari Gambar4.9 menjelaskan nilai impedansi dari glass yang terukur, hal ini menunjukkan bahwa adanya distribusi muatan yang berbeda untuk beberapa bagian pada phantom. Untuk data glass yang terukur, terdapat distribusi yang berbeda yang menunjukkan bahwa, nilai impedance dari glass lebih tinggi dari sistem pengukuran. Hal sama pada model 2 dan 3 dimana hasil rekonstruksi citra pada masing-masing objek yang diamati

Hasil rekonstruksi distribusi resistivita objek Hasil rekonshuksi dishibusi resistivitas objek diperoleh dari struktur inversi pada EIDORS dan digambarkan dengan skala warna warni yang mewakili nilai resistivitas objek. Warna cenderung merah atau kuning memiliki resistivitas yang lebih tinggi dari warna lainnya. Dari eksperimen ini telah ditunjukkan bahwa citra objek dapat direkonstruksi berdasarkan pola dishibusi resistivitas.

Analisa Kesalahan

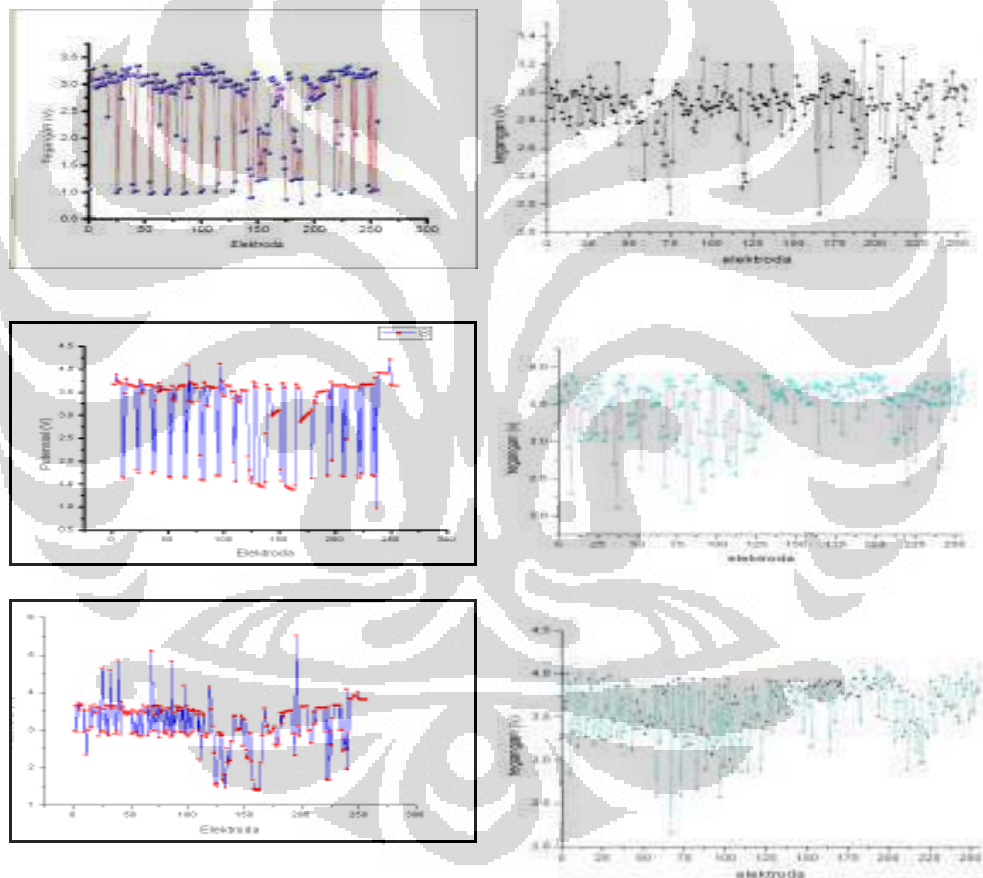
Beberapa hal yang dapat dikemukakan yang memungkinkan adanya kesalahan dalam rekonstruksi antara lain diskritisasi objek dengan menggunakan elemen segitiga yang relatif besar pada model tersebut. Penggunaan resolusi atau segitiga yang lebih kecil akan mampu mengurangi kesalahan, tetapi akan mengakibatkan proses komputasi yang relative berat. Selain itu penempatan posisi elektroda. pada *phantom* yang berbeda dengan penempatan elektroda pada model juga menyebabkan kesalahan penggambaran letak posisi objek yang sesungguhnya.

Pada Gambar 4.15 didapatkan adanya data yang tidak sesuai pada elektroda 11, 12, 13 dan 14 yang memiliki nilai konduktansi yang berbeda dengan sekelilingnya tanpa ada material lain hal ini kemungkinan disebabkan karena adanya beberapa faktor yang pertama kemungkinan adanya korosi pada elektroda-elektroda tersebut hal ini akan mempengaruhi plat untuk menginjeksikan arus maupun mencuplik tegangan, sehingga menyebabkan terjadinya kesalahan pada proses tomografi. Hal kedua yang mungkin menyebabkan terjadinya kesalahan pada pengambilan data adalah pada sistem grounding, grounding yang digunakan yaitu dengan meletakkan silinder besi pada pusat sistem, kemungkinan terjadinya korosi pada bagian ground dapat menyebabkan kesalahan pengukuran, karena seharusnya pada sistem, muatan yang masuk harus sama dengan muatan yang keluar sehingga apabila terjadinya korosi pada bagian ground maka akan mempengaruhi hasil pengukuran karena adanya kesalahan pada distribusi muatan pada sistem. Pada percobaan ini air yang digunakan berupa air tanah, kemungkinan air ini memiliki kandungan-kandungan mineral lain yang menyebabkan terjadinya kesalahan distribusi muatan, hal ini memungkinkan terjadinya kesalahan pengukuran. Pada Model 4-6 pengukuran terutama pada elektroda 2, pada elektroda 2 seharusnya didepan elektroda berada *glass*, namun pada hasil pencitraan *glass* ini tidak memperlihatkan adanya perbedaan konduktansi pada sistem di elektroda 2. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh distribusi muatan yang diterima oleh elektroda 2 yang berperan sebagai pencuplik tegangan, pada saat data dicuplik kemungkinan ada hambatan yang menyebabkan

distribusi muatan pada elektroda 2 terganggu sehingga menyebabkan data yang terbaca tidak sesuai dengan keadaan sebenarnya.

4.5 Hipotesa

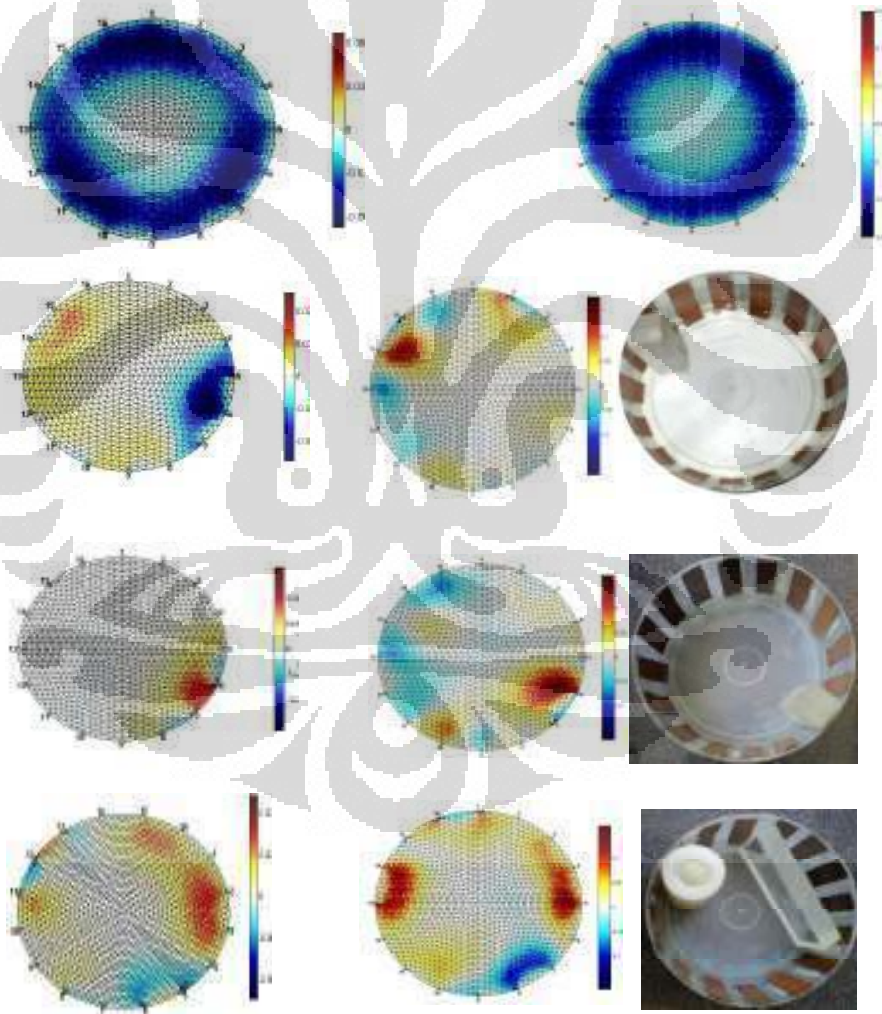
Pada Eksperimen ini penulis mencoba membuat dugaan atau hipotesa sementara tentang sistem prototype menggunakan multi frekuensi atau superposisi dibandingkan dengan sinyal single frekuensi.



Gambar4.15 Grafik Perbandingan Multifrekuensi (Superposisi) dan Single Frekuensi

Pada Grafik Gambar 4.15 Terjadi perbedaan Distribusi Potensial yang terukur pada elektroda yang diukur sebanyak 256 data. Dari ketiga Grafik tersebut yaitu pertama adalah Grafik Kolom 1 merupakan Phantom yang berisi air saja,

kedua Berisi model pertama yang berisi air yang berisi gelas kaca dan kolom ketiga saat diisi air yang berisi plastik padat (PP). Berdasarkan Grafik tersebut terdapat perbedaan dan kesamaan dalam sistem EIT ini. Pada Grafik keduanya memiliki distribusi potensial yang hampir sama di setiap elektroda yang dialiri arus bergantian. Perbedaan Tegangan Maximum dan Minimum dari potensial yang diukur akibat keluaran VCO yang berbeda pada tegangan peaknya. Pada Superposisi dari VCO dapat menghasilkan tegangan peak hingga 3V sedangkan pada single yang hanya 1 Volt.



Gambar.4.16 Perbandingan Rekonstruksi menggunakan Superposisi (kiri) dan Single Frekuensi (kanan)

Dari Gambar diatas diperoleh hasil rekonstruksi dari Phantom yang berisi air saja kemudian diisi dengan air yang berisi kaca pada elektroda 15 dan 6 kemudian yang terakhir air yang berisi kaca dan plastik padat (PP). Pada bagian kiri menggunakan superposisi dan sebelah kanan menggunakan single frekuensi. Berdasarkan Gambar tersebut dengan program Eiders dengan menggunakan cara normalisasi diperoleh hasil rekonstruksi yang hampir sama namun memiliki perbedaan yang berbeda dari error yang dihasilkan.

Berdasarkan eksperimen ini penulis membuat hipotesis atau dugaan sementara :

Ketika digunakan single dan multi frekuensi superposisi diperoleh rekonstruksi yang hampir sama dalam bentuk grafik dan pencitraan gambar yaitu distribusi resistivitnya pada masing-masing elektroda namun memiliki nilai yang berbeda-beda pada nilai potensial yang tersebar pada grafik.

Hasil Rekonstruksi Citra yang hampir sama Penulis tidak dapat membuat rekonstruksi citra yang lebih baik dari single karena menggunakan pemrograman normalisasi yang sama. Mungkin dengan Memahami processing rekonstruksi citra (algoritama inversi) dalam pencitraan tomografi akan menghasilkan data yang lebih baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Tujuan dari sistem ini yaitu Membuat prototipe sistem tomografi elektrik impedansi menggunakan *multi* frekuensi dan Mempelajari proses kerja sistem EIT dan menganalisa respon dari materi yang diamati. Hasil Akhirnya adalah menampilkan Bentuk Tomografi materi dari sistem EIT menggunakan software EIDORS.

Dalam membuat prototipe penulis berhasil membuat model prototipe EIT *phantom* menggunakan bentuk lingkaran dengan sekeliling diberikan elektroda sebanyak 16 *probe* untuk mengukur potensial pada masing-masing elektroda saat arus diinjeksikan pada salah satu elektroda. Desain *Phantom* telah bekerja dengan menghasilkan data sebanyak 256 data potensial terhadap pengambilan pada masing-masing elektroda.

Berdasarkan percobaan hasil rekonstruksi dengan sistem EIT dapat disimpulkan:

1. Permodelan Rekonstruksi Citra pada suatu objek dapat dilakukan dengan metode EIT dengan menggambarkan distribusi resistivitasnya dengan menggunakan program EIDORS.
2. Pada Eksperimen sistem EIT dapat mendeteksi distribusi resistivitas berdasarkan perbedaan warna dari hasil tomografi pada citra berdasarkan potensial sekeliling dari konfigurasi phantom dengan menggunakan multifrekuensi (gelombang superposisi).
3. Hanya diperoleh Rekonstruksi Citra disistribusi warna hasil Tomografi posisi objek yang diamati namun hasil yang diperoleh belum menunjukkan posisi dan bentuk citra yang persis dan nilai resistivitasnya.

5.2 Saran

Saran Penulis berkaitan dengan penelitian diantaranya.

- Pemodelan dengan elektroda yang lebih banyak dan model yang berbeda dapat dilakukan sebagai bahan perbandingan atau studi literatur.
- Memahami proses rekonstruksi citra (algoritama inversi) dalam pencitraan tomografi.
- Penggunaan plat elektroda seperti stainless steel, perak, atau emas lebih baik karena terhindar dari korosi karena aplikasi dalam bidang medis yang digunakan pada permukaan kulit.
- Pengukuran untuk mendapatkan pencitraan yang lebih baik dengan menggunakan modul FPGA atau Lock in Amplifier.

Sistem ini bergantung pada model elektroda sehingga diperlukan elektroda yang lebih banyak dengan model yang berbeda-beda lagi. Selain itu perlu menambah studi literatur lagi dengan variasi model yang lebih banyak sehingga dapat aplikatif untuk model pencitraan objek yang ingin ditomografikan. Pada Sistem EIT dengan multifrekuensi yaitu pada penelitian ini menggunakan multifrekuensi (superposisi) secara sekaligus dapat diganti dengan menggeser beberapa frekuensi sehingga dapat dihasilkan perbandingan pada rentang frekuensi yang dilakukan. Proses Pengambilan atau Pencuplikan data dapat digunakan modul FPGA yang memiliki function generator sendiri agar data yang dihasilkan tidak memiliki beda fase.karena pengambilan data dilakukan secara serentak atau bisa juga menggunakan Lock in Amplifier.

DAFTAR ACUAN

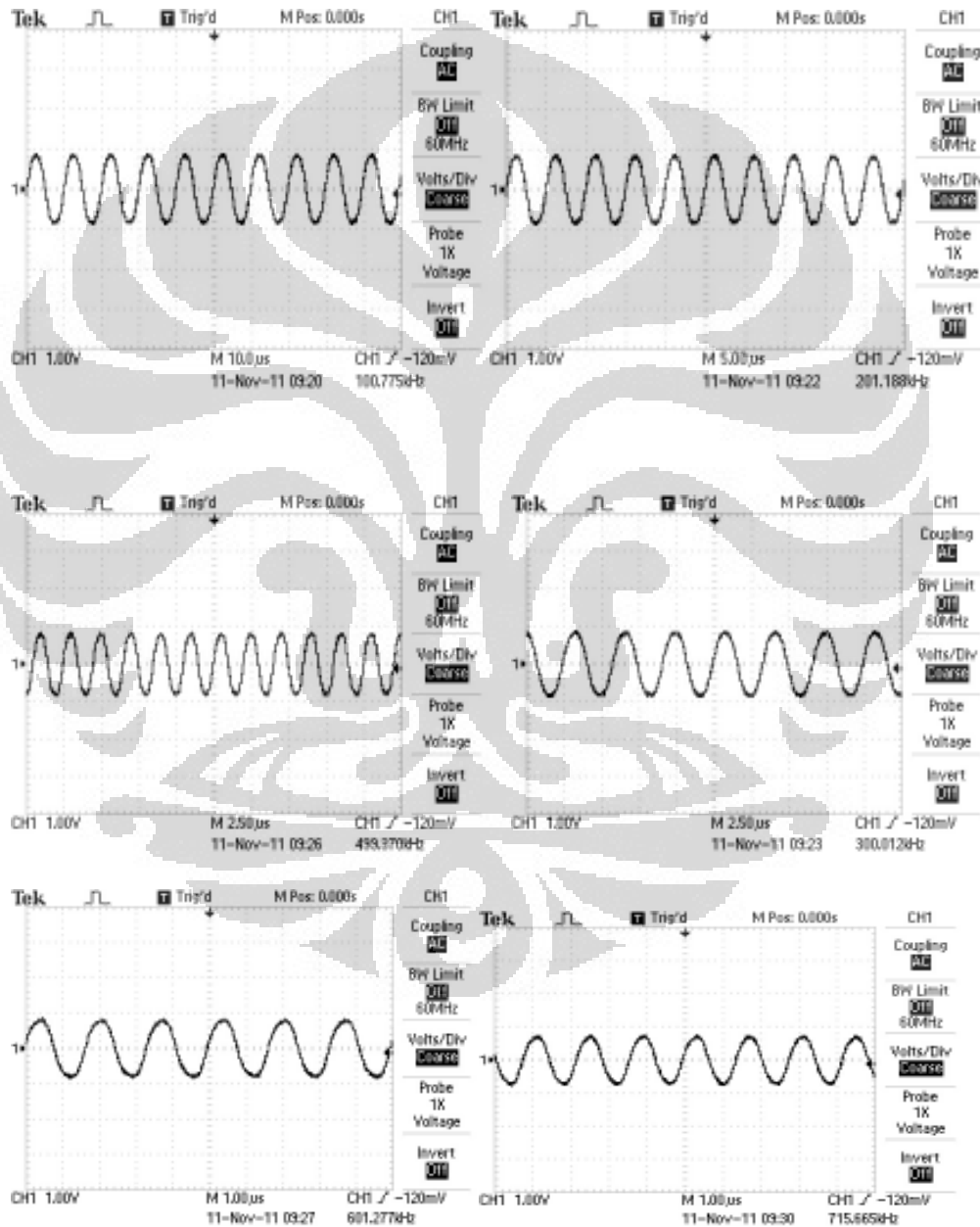
- [1] M. Cheney, D. Isaacson & J.C. Newell, “*Electrical Impedance Tomography*,” SIAM Review Vol. 41-1, p. 85 - 101,1999
- [2] D. Kumiadi, “*Electrical Impedance Tomography and Its Application in Medical Imaging*,” Proc. International Conference on BioMedical Engineering, Bandung, p. 53 - 58,2006.
- [3] Holder D.S., “*Electrical Impedance Tomography: Methods, History and Applications*,” Institute of Physics, 2004
- [4] Henderson, R.P.; Webster, J.GA, “*Impedance Camera for Spatially Specific Measurements of the Thorax*,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*1978
- [5] V.A. Cherepenin, A.Y. Karpov, A.V. Kojenevsky, V.N. Kornienko, Y.S. Kultiasov, M.B. Ochapkin, O.V. Trochanova & J.D. Meister, “*Three-Dimensional EIT Imaging of Breast Tissues : System Design and Clinical Testing*,” *IEEE Trans. Medical Imaging* Vol21-6, p. 662 -667,2002
- [6] Barber, D.C.; Brown, B.H. , “*Applied Potential Tomography*,” *J. Phys. E:Sci. Instrum* 17 (9): 723–733,1978
- [7] M.S. Beck and R. Williams, “*Process Tomography: Principles, Techniques and Applications*,” *Butterworth-Heinemann* (July 19, 1995).
- [8] T.K. Bera and J. Nagaraju, “*Resistivity imaging of reconfigurable phantom with circular inhomogeneities in 2D-electrical impedance tomography*,” Bangalore.India,2010
- [9] T.K. Bera and J. Nagaraju, “*A Multifrequency Constant Current Source Suitable for Electrical Impedance Tomography (EIT)*,” Bangalore.India,2010

- [10] EXAR, “Monolithic Function Generator,” *XR2206CP datasheet*, 1997
- [11] ATMEL, “Microcontroller with 128 KBytes In-System Programmable,” *ATMEGA 128 datasheet*, 2002.
- [12] Texas Instrument, “CMOS Analog Multiplexers/Demultiplexers with Logic Level Conversion,” *CD4051BE datasheet*, 1998
- [13] Analog Device, “High Speed, Low Noise Video Op Amp,” *AD829JN datasheet*, 2009
- [14] Tektronik Enabling Motivation, “Digital Storage Oscilloskop,” *TDS1002B Datasheet*.

LAMPIRAN

Data VCO

DATA VCO menggunakan XR 2206



Pemrograman BASCOM

```
$regfile = "m128def.dat"           ' specify the used micro
$crystal = 16000000
$baud = 19200                       ' use baud rate
$swstack = 64
$hwstack = 128
$framesize = 128

                                     ' use baud rate
Config Porta = Output
Config Portb = Output
Config Portc = Output
C Alias Portc
A Alias Porta
B Alias Portb

Portc = &B00000000
'pengukuran arus 1'

A = &B10000000
B = &B10000000
Waitms 1000
B = &B10000001
Waitms 1000
B = &B10000010
Waitms 1000
B = &B10000011
Waitms 1000
B = &B10000100
Waitms 1000
B = &B10000101
Waitms 1000
B = &B10000110
Waitms 1000
B = &B10000111
Waitms 1000
B = &B00001000
Waitms 1000
B = &B00011000
Waitms 1000
B = &B00101000
Waitms 1000
B = &B00111000
Waitms 1000
B = &B01001000
Waitms 1000
```

```
B = &B01011000
Waitms 1000
B = &B01101000
Waitms 1000
B = &B01111000
C = &B00000001
```

'pengukuran I2'

```
A = &B10000001
B = &B10000001
Waitms 1000
B = &B10000010
Waitms 1000
B = &B10000011
Waitms 1000
B = &B10000100
Waitms 1000
B = &B10000101
Waitms 1000
B = &B10000110
Waitms 1000
B = &B10000111
Waitms 1000
B = &B00001000
Waitms 1000
B = &B00011000
Waitms 1000
B = &B00101000
Waitms 1000
B = &B00111000
Waitms 1000
B = &B01001000
Waitms 1000
B = &B01011000
Waitms 1000
B = &B01101000
Waitms 1000
B = &B01111000
Waitms 1000
B = &B10000000
C = &B00000001
```

'Pengukuran I3 hingga I6'
end