

**SISTEM INSTRUMENTASI SIFAT ELEKTRIK  
UNTUK SAMPEL KAPASITOR BERBASIS KARBON**

**TESIS**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister di program Magister Fisika

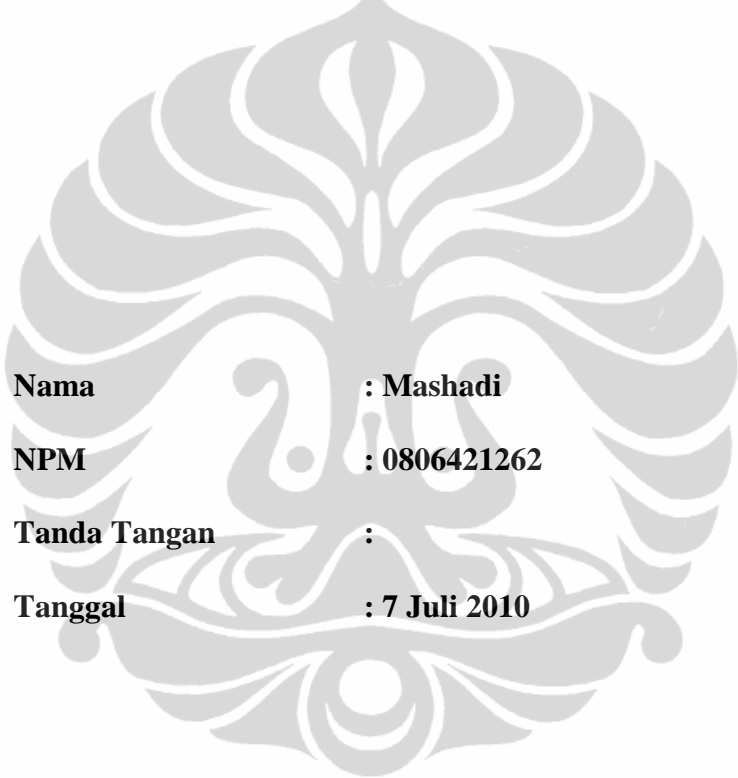
**MASHADI**  
0806421262



UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM MAGISTER FISIKA  
KEKHUSUSAN FISIKA INSTRUMENTASI  
DEPOK  
JULI, 2010

## PERNYATAAN ORISINALITAS

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



**Nama : Mashadi**  
**NPM : 0806421262**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 7 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : **Mashadi**  
NPM : 0806421262  
Program Studi : Pascasarjana Fisika Instrumentasi  
Judul Tesis : **Sistem Instrumentasi Sifat Elektrik Untuk Sampel Kapasitor Berbasis Karbon.**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada program Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Dr. Sastra Kusuma Wijaya** ( )  
Pembimbing : **Dr. Salim Mustofa** ( )  
Penguji : **Dr. Prawito** ( )  
Penguji : **Dr. Martarizal** ( )  
Penguji : **Dr. Setyo Purwanto** ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 07 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian tesis magister ini dengan baik. Shalawat serta salam juga untuk Rosulullah Muhammad SAW beserta keluarga dan seluruh pengikutnya hingga akhir jaman.

Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Fisika program Magister Fisika kekhususan Instrumentasi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulisan tesis ini dimaksudkan untuk memanfaatkan dan meningkatkan unjuk kerja peralatan yang ada di instansi, sehingga akan tercipta suatu sistem instrumentasi yang terkomputerisasi. Dengan penelitian ini semoga sistem instrumentasi ini dapat dimanfaatkan sebagai instrumen yang mendukung dalam Penelitian dan pengembangan ilmu bahan. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk dapat menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, Pada kesempatan yang baik ini Saya ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu sehingga terselesaikannya penelitian ini, terutama ditujukan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta beserta kakak dan adik yang selalu memberikan dorongan semangat dan doa.
2. Istriku Elfiana, Anakku Keisya dan Ghazy yang selalu mendampingi dengan penuh cinta dan sebagai sumber motivasi tersendiri dalam menyelesaikan tesis ini.
3. Dr. Yunus Daud, sebagai Ketua Program Studi Magister Fisika FMIPA UI.
4. Dr. Sastra Kusuma Wijaya, selaku dosen pembimbing pertama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.

5. Dr. Salim Mustofa, selaku dosen pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
6. Ir. Imam Kuntoro, selaku Kepala Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir PTBIN- BATAN yang telah memberikan dukungan dan dorongan moral dalam menyelesaikan tesis ini
7. Kementerian Negara Riset dan Teknologi (KNRT) yang telah memberikan dukungan moral dan material dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Dr. Setyo Purwanto dan seluruh Staff Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir yang telah banyak membantu dalam proses penelitian dan pengujian alat di Laboratorium BKAN – BATAN.
9. Drs. Safei Purnama MSc, selaku penanggung jawab Peralatan LCR Meter, yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
10. Drs. Yunasfi MSc, selaku ketua kelompok penelitian sensor nano komposit dan Seluruh rekan-rekan kerja di Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir, BATAN.
11. Seluruh rekan-rekan seperjuangan di Program Magister Fisika Instrumentasi FMIPA UI angkatan tahun 2008.
12. Seluruh pihak-pihak lain yang tidak mungkin disebutkan satu per satu, namun memiliki peran yang cukup besar dalam penyelesaian penelitian ini.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu dengan Kebaikan yang berlipatganda. Dan Semoga tesis ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu Pengetahuan dan teknologi di masa kini dan akan datang.

Jakarta, 07 Juli 2010

Mashadi

## LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **Mashadi**  
NPM : 0806421262  
Program Studi : Magister Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : "Sistem Instrumentasi Sifat Elektrik Sampel Kapasitor Berbasis Karbon" beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : 07 Juli 2010

Yang menyatakan,

**Mashadi**

## ABSTRAK

Nama : **Mashadi**  
Program Studi : Magister Fisika Instrumentasi  
Judul Tesis : Sistem Instrumentasi Sifat Elektrik Sampel Kapasitor Berbasis Karbon

Telah berhasil dibuat Sistem Instrumentasi untuk pengujian Sifat Elektrik suatu bahan. Sistem instrumentasi ini dikembangkan dengan menghubungkan LCR HiTESTER HIOKI 3522 dengan personal komputer dengan LabView sebagai bahasa pemrogramannya. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur sifat listrik suatu bahan karbon yang dapat diaplikasikan untuk kapasitor. Bahan Karbon ini difungsikan sebagai bahan dielektrik pada kapasitor. Bahan karbon yang memiliki struktur porous, dengan menggunakan teknologi High Energy Milling (HEM) dapat berubah sampai ke ukuran nano porous. Tujuan dari persiapan bahan nano karbon menggunakan HEM juga sebagai langkah awal untuk memproduksi CNT secara sederhana. Bahan Karbon yang merupakan campuran serbuk Fe dan C hasil *milling* ini masing-masing ditimbang sebanyak 0,5 gram, kemudian dibuat menjadi bentuk pelet menggunakan mesin press ENERPAC sampai tekanan 5000 psi ( $400 \text{ kg/cm}^2$ ), yang terdapat di BKAN, PTBIN-BATAN. Pelet yang terbentuk berukuran diameter 1,5 cm dan tebal sekitar 1 mm. Bahan kapasitor Fe-C yang sudah berbentuk pelet, akan dilakukan pengukuran nilai kapasitansi dan konduktansinya dengan parameter frekuensi antara 1 kHz sampai 100 kHz, pada tegangan potensial  $V = 1 \text{ Volt}$  serta pada temperatur ruang, menggunakan LCR Meter HIOKI yang sudah dikembangkan menjadi sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik dengan pemrograman Labview. Data-data hasil pengukuran ini dikirimkan ke komputer melalui GPIB, sehingga didapatkan hasil pengukuran yang cepat, tepat dan akurat. *File* data pengukuran dapat tersimpan dalam bentuk *File SpreadSheet* sehingga memudahkan untuk analisa.

Kata Kunci:

Bahan Fe-C, Sifat elektrik, LCR Meter, *File SpreadSheet*.

## ABSTRACT

Name : **Mashadi**  
Study Program: Master of Physics Instrumentation  
Title : Instrumentation System for Measuring Electrical Properties of Carbon-Based Sample Capacitors

Instrumentation Systems has successfully created for testing electric properties of a material. Instrumentation system was developed by linking HiTESTER HIOKI 3522 LCR with a personal computer with LabView as pemrogramannya language. This tool can be used to measure the electrical properties of a carbon material that can be applied to the capacitor. Carbon materials are used as dielectric material in capacitors. Carbon material which has a porous structure, using the technology High Energy Milling (HEM) can be changed up to the size of the nano-porous. The purpose of the preparation of carbon nano materials using the HEM as well as an initial step to produce CNTs in a simple. Carbon materials which is a powder mixture of Fe and C is the result of milling each weighed as much as 0.5 grams, and then made into pellets using a press machine ENERPAC until pressure 5000 psi (400 kg/cm<sup>2</sup>), contained in BKAN, PTBIN-BATAN . Formed pellets 1.5 cm diameter and thickness of about 1 mm. Capacitor materials Fe-C, which has the form of pellets, will be measured capacitance values and parameters konduktansinya with frequencies between 1 kHz to 100 kHz, the voltage potential  $V = 1$  volt and at room temperature, using HIOKI LCR Meters that have been developed into a system of measuring instruments electrical properties with LabVIEW programming. Measurement result data is transmitted to a computer via GPIB, so we get the measurement results fast, precise and accurate. Measurement data files can be stored in the form of files SpreadSheet making it easier to analyze.

Keywords:

Fe-C materials, electrical properties, LCR Meter, File SpreadSheet.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Tempat Penelitian	6
<b>2. LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Kapasitor	7
2.2 Dielektrik	7
2.3 Kapasitansi	9
2.4 Impedansi	11
2.5 Faktor Disipasi	13
2.6 Faktor Q	14
2.7 Elemen R,L, C dalam tegangan Bolak-balik	15
2.8 Sudut Phasa ( $\theta$ )	17
2.9 Phasor dan Bilangan Kompleks	18
2.10 Admitansi	20
2.11 Konduktansi dan Suseptansi	21
2.12 Pengujian Perhitungan parameter pada LCR HIOKI 3522	21
<b>3. INSTRUMENTASI DAN SISTEM KONTROL PENGUKUR SIFAT ELEKTRIK</b>	
3.1 Prinsip Kerja Pengukur Sifat Elektrik	23
3.1.1 LCR Hitester HIOKI	23
3.1.2 Pengukuran Secara Manual	24
3.2 Diagram Alir Pengujian Sampel	26
3.3 Mode Pengukuran Sampel	29
3.4 Sistem Instrumentasi Pengukur Sifat Elektrik Menggunakan LabView	31

3.4.1 Perangkat antarmuka (Interface) GPIB 9518-01	32
3.4.2 Pengaturan Alamat GPIB	36
3.5 Alur Program Akuisisi dan Kontrol Perangkat Lunak	39
3.6 Perangkat lunak LabView dan Aplikasi dalam Alat LCR Meter	42
3.7 Pengatur Frekuensi	49
3.8 Pengaturan Penyimpanan Data	50
<b>4. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM INSTRUMENTASI PENGUKUR SIFAT ELEKTRIK</b>	
4.1 Hasil Pengujian Parameter Uji	52
4.1.1 Pengukuran Impedansi (Z)	54
4.1.2 Pengukuran Admitansi (Y)	55
4.1.3 Pengukuran Kapasitansi (C)	56
4.1.4 Pengukuran Induktansi (L)	57
4.1.5 Pengukuran Resistansi (R)	58
4.1.6 Pengukuran Konduktansi (G)	59
4.1.7 Pengukuran Reaktansi (X)	60
4.1.8 Pengukuran Suseptansi (B)	61
4.2 Hasil Pengujian Kapasitor	62
4.3 Hasil Pengujian Sampel Bahan Karbon	65
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	69
<b>DAFTAR REFERENSI</b>	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip dasar kapasitor	7
Gambar 2.2.	Pengaruh dielektrik pada kapasitor	8
Gambar 2.3	Cara kerja Kapasitor	10
Gambar 2.4	Vektor Impedansi	11
Gambar 2.5	Representasi Reaktansi Induktif dan Kapasitif	12
Gambar 2.6	Faktor Dissipasi	13
Gambar 2.7	Vektor Impedansi total	14
Gambar 2.8	Karakteristik Resistor Ideal	16
Gambar 2.9	Hubungan Reaktansi induktif terhadap frekuensi	17
Gambar 2.10	Hubungan Reaktansi Kapasitif terhadap frekuensi	18
Gambar 2.11	Diagram Phasor Impedansi	19
Gambar 2.12	Vektor Tegangan dan Arus dalam diagram Phasor	20
Gambar 2.13	Diagram phasor Konduktansi dan admitansi	21
Gambar 3.1	LCR HiTester HIOKI 3522	24
Gambar 3.2	Konfigurasi pengukuran secara manual	25
Gambar 3.3	Prinsip pengukuran sampel dari LCR HIOKI.	26
Gambar 3.4	Diagram alur pengujian sampel Secara manual	26
Gambar 3.5	Pengaturan tampilan dari parameter uji ukur LCR HIOKI	27
Gambar 3.6	Tampilan hasil pemilihan parameter dan hasil pengaturan pengukuran dari alat ukur LCR Meter HIOKI.	28
Gambar 3.7	Tingkat sinyal Uji terhadap sampel yang diuji.	30
Gambar 3.8	Sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik .	32
Gambar 3.9	Perangkat GPIB 9518-01 dari HIOKI.	39
Gambar 3.10	Bus Interface GPIB	33
Gambar 3.11	Diagram alir dari program akuisisi pengukur sifat elektrik bahan.	39
Gambar 3.12	Tampilan menu dari <i>control panel</i> program pengukuran properti elektrik yang dikembangkan dengan program perangkat lunak <i>LabVIEW</i> .	40
Gambar 3.13	Ilustrasi pengaturan frekuensi oleh <i>driver</i> HIOKI.	43
Gambar 3.14	Driver dan Properti sub Vi dari LCR HIOKI 3522.	45
Gambar 3.15	Blok diagram untuk pengaturan inisialisasi GPIB.	46
Gambar 3.16	Blok diagram pengaturan <i>trigger</i> .	47
Gambar 3.17.	Blok diagram untuk pengaturan parameter uji ukur.	47
Gambar 3.18	Blok diagram untuk pengaturan waktu tunda dan kecepatan ukur	48
Gambar 3.19	Blok diagram untuk pengaturan pemilihan mode pengukuran.	48
Gambar 3.19	Blok diagram pengaturan frekuensi	49
Gambar 3.21	Blok diagram pengaturan penyimpanan data.	50
Gambar 3.22	Tampilan hasil pengukuran nilai kapasitansi rangkaian seri.	50
Gambar 3.23	Tampilan hasil pengolahan data dari program <i>Excel</i> .	51
Gambar 4.1	<i>Front panel</i> instrumentasi pengukur sifat elektrik bahan.	52
Gambar 4.2	Tampilan pengukuran Impedansi dan hasilnya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	54

Gambar 4.3	Grafik hasil pengukuran Impedansi.	54
Gambar 4.4	Tampilan pengukuran Admitansi (Y) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	55
Gambar 4.5	Grafik hasil pengukuran Admitansi (Y).	55
Gambar 4.6	Tampilan pengukuran Kapasitansi (C) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	56
Gambar 4.7	Grafik hasil pengukuran Kapasitansi (C).	56
Gambar 4.8	Tampilan pengukuran Induktansi (L) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	57
Gambar 4.9	Grafik hasil pengukuran Induktansi (L).	57
Gambar 4.10	Tampilan pengukuran Resistansi (R) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	58
Gambar 4.11	Grafik hasil pengukuran Resistansi (R).	58
Gambar 4.12	Tampilan pengukuran Konduktansi (G) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	59
Gambar 4.13	Grafik hasil pengukuran Konduktansi (G).	59
Gambar 4.14	Tampilan pengukuran Reaktansi (X) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	60
Gambar 4.15	Grafik hasil pengukuran Reaktansi (X).	60
Gambar 4.16	Tampilan pengukuran Suseptansi (B) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk <i>file spreadsheet</i> .	61
Gambar 4.17	Grafik hasil pengukuran Suseptansi (B).	61
Gambar 4.18	Perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan frekuensi.	62
Gambar 4.19	Perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan frekuensi.	63
Gambar 4.20	Perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan frekuensi.	64
Gambar 4.25	Hubungan antara nilai kapasitansi (C) dan perubahan frekuensi (f) pada berbagai rasio komposit $Fe_xC_{1-x}$ .	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konstanta dielektrik bahan kapasitor
Tabel 2.2	Perhitungan Untuk rangkaian Seri dan Paralel
Tabel 3.1	Parameter uji ukur yang dapat ditampilkan pada LCR HIOKI 3522.
Tabel 3.2	Perbandingan nilai kapasitansi untuk pemilihan mode.
Tabel 3.3	Batas pengaturan Arus dan Tegangan
Tabel 3.4	24 pin pada Konektor GPIB
Tabel 3.5	Pengaturan alamat melalui <i>switch</i> .
Tabel 3.6	Karakteristik driver program VISA
Tabel 3.7	Pengaturan jenis data pada driver HIOKI 3522 frequency.Vi
Tabel 4.1	Pengujian nilai Kapasitansi kapasitor berukuran 10000 uF , 50 V.
Tabel 4.2	Pengujian nilai Kapasitansi kapasitor 10000 uF , 35 V.
Tabel 4.3	Pengujian nilai Kapasitansi Kapasitor 3300 uF , 50 V.
Tabel 4.4	Hasil pengukuran kapasitansi (C) bahan komposisi FeXC1-X pada berbagai frekuensi (f) dengan sistem pengukuran sifat elektrik otomatis.



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran1.* Block diagram Program Sistem Instrumentasi dengan Perangkat Lunak LabView.
- Lampiran2.* Spesifikasi GPIB



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Kapasitor merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik sementara, dan secara sederhana terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Isolator penyekat ini sering disebut dengan istilah bahan dielektrik. Kapasitor banyak diaplikasikan di dalam kehidupan kita sehari-hari, yaitu sebagai komponen penyusun untuk baterai handphone, lampu flash kamera, laptop, TV, komputer dan berbagai macam piranti digital lainnya.

Beberapa tahun belakangan ini penelitian tentang kapasitor telah menarik perhatian dunia sebagai sumber penyimpan energi berkapasitas tinggi di dalam aplikasi-aplikasi peralatan yang membutuhkan energi kapasitas tinggi atau membutuhkan periode siklus *life time* yang cukup panjang. Perkembangan lain yang tidak kalah penting adalah penggunaan CNT (*Carbon Nano Tube*) pada piranti elektronik berskala nano yang sangat menjanjikan untuk terwujudnya impian memperkecil ukuran *chip* dan prosesor untuk aplikasi piranti-piranti digital, seperti komputer, laptop, handphone dan lainnya. Melihat perkembangan yang cukup cepat ini, model yang saat ini sedang dikembangkan adalah apa yang disebut dengan superkapasitor yang memiliki kapasitas raksasa dibandingkan dengan kapasitor yang dibuat dari elektroda biasa. Kemampuan kapasitas yang sangat besar dapat terjadi mengingat besarnya kapasitas suatu kapasitor berbanding terbalik dengan jarak pemisah dua elektroda yang digunakan, serta

berbanding lurus dengan luas permukaan pemisah itu. Dengan menggunakan CNT, maka jarak pemisah yang berorde nanometer akan jauh lebih kecil dari pemisah yang selama ini dipakai. Jarak yang sangat kecil itu ditambah dengan permukaan yang sangat luas dari CNT, akan menghasilkan kemampuan kapasitas yang sangat besar dibandingkan dengan kapasitor yang saat ini ada.

Sifat lain dari CNT adalah konduktivitas listriknya jauh melampaui tembaga, sedangkan kemampuan menghantarkan panas lebih tinggi dari berlian. CNT mampu menghantarkan energi jauh lebih baik dibandingkan dengan seluruh material penghantar energi yang ada. Keunikan lainnya adalah CNT ternyata memiliki daya tahan terhadap temperatur tinggi serta lebih ringan dari aluminium. Super kapasitor merupakan kapasitor tipe baru berkapasitas tinggi, dimana komponen ini memiliki nilai kapasitas untuk menyimpan energi secara elektrik yang tinggi, bila dibandingkan dengan kapasitor-kapasitor konvensional yang lainnya. Berbeda dengan kapasitor konvensional yang sebagian besar memiliki nilai kapasitan dalam order satuan mikro Farad, piranti super kapasitor memiliki nilai kapasitan dalam order satuan Farad (artinya memiliki kapasitas 1000000 kali lebih besar dibanding kapasitor konvensional) <sup>1,2,3</sup>

Super kapasitor tersusun atas 2 (dua) buah elektroda, sebuah separator dan sebuah elektrolit. Elektroda itu sendiri tersusun lagi atas 2 (dua) bagian, yaitu bagian pertama terbuat dari bahan logam (bagian yang memiliki sifat penghantar tinggi), dan bagian yang kedua terbuat dari bahan aktif (bagian dengan luas permukaan besar). Kedua elektroda ini dipisahkan oleh sebuah lapisan membran yang disebut dengan separator. Fungsi dari separator ini adalah untuk memberi keleluasaan bergerak kepada ion pengisi, dan saat yang bersamaan juga mencegah terjadinya penghantaran secara elektrik. Keseluruhan komponen ini ditata ke dalam satu bentuk tabung atau rektangular, dan disimpan dalam sebuah kemasan. Bagian elektrolit dapat terbuat dari bahan padat, organik atau cairan. Metode kerja sistem tegangan dari sebuah super kapasitor ditentukan melalui penguraian tegangan dari elektrolit dan bergantung kepada suhu lingkungan, densitas arus dan *life time* yang dibutuhkan.



Untuk persiapan elektroda tipe ini, bahan karbon merupakan bahan yang sangat pas dan tepat dikarenakan bahan ini relatif tidak terlalu mahal dan bahan karbon memiliki luas permukaan yang sangat besar, yaitu kurang lebih  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ . Apabila kita menggunakan super kapasitor kira-kira seukuran kotak, diperkirakan kita akan bisa mendapatkan nilai kapasitan sebesar 100 F atau bahkan lebih. Sewaktu dilakukan proses pengisian (*charging*), ion positif (kation) akan terakumulasi di elektroda negatif dan ion negatif (anion) akan terakumulasi di elektroda positif, dan seterusnya proses ini akan berjalan secara berurutan. Proses pemisahan ion di saat proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) berlangsung sangat cepat, dan hal inilah yang secara prinsip menjadi alasan dari potensi suatu super kapasitor dapat memiliki nilai kapasitan yang tinggi.

Pada penelitian ini, penulis mencoba untuk mencari terobosan menyiapkan elektroda dari bahan grafit komersial, dan dari bahan karbon *nano tube* yang dipersiapkan memakai teknologi baru **High Energy Milling** (selanjutnya disingkat dengan HEM), serta mencoba pula memanfaatkan bahan karbon alam yang berkarakteristik karbon *nanoporous* sehingga pada akhirnya akan dapat diperoleh suatu teknik pembuatan bahan karbon untuk pembuatan elektroda secara efisien dan ekonomis. Disamping itu untuk menunjang kegiatan penelitian ini dikembangkan sistem instrumentasi yang dapat digunakan untuk mengukur sifat-sifat elektrik dari bahan kapasitor, sehingga didapatkan hasil pengukuran yang cepat, tepat dan akurat. Sistem instrumentasi ini dikembangkan dengan menghubungkan LCR HiTESTER HIOKI 3522 dengan personal komputer dengan LabView sebagai bahasa pemrogramannya. LabView merupakan pemrograman yang berbasis grafik (G-Language) yang dapat digunakan sebagai salah satu alternatif perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai data akuisisi yang dapat memudahkan kegiatan antarmuka. Pemrograman LabView memiliki fitur yang lengkap, fleksibilitas dan kemudahan pemrograman, kemudahan sinkronisasi dan pewaktuan. Dengan pemrograman Labview, dari sisi komunikasi dengan LCR meter menggunakan port paralel pengalamatan dan pewaktuan dapat dilakukan dengan mudah.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Penelitian ini menitik beratkan pada pengembangan sistem instrumentasi dari LCR meter yang ada pada saat ini dan masih dioperasikan secara manual, sehingga memerlukan waktu yang lama dalam melakukan pengukuran. Sehingga perlu meningkatkan kinerja dari alat tersebut, sehingga dapat digunakan untuk mengukur sampel dalam waktu yang relatif cepat dan akurat, serta didapatkan data pengukuran yang tersimpan dalam bentuk *spreadsheet* untuk dianalisa.

## 1.3 TUJUAN

- Melakukan studi/analisa pengujian sampel bahan kapasitor berbasis karbon.
- Dapat mengembangkan dan membangun sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik dari bahan kapasitor yang mampu mengukur dan menyimpan data hasil pengukuran secara terkomputerisasi.
- Melakukan pengujian sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik di laboratorium, sehingga data pengukuran dapat disimpan dalam bentuk file *spreadsheet*.
- Melakukan pengujian sampel bahan kapasitor dengan sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik dan membandingkannya dengan data hasil pengukuran secara manual.

## 1.4 BATASAN MASALAH

Pada tesis ini, penelitian dibatasi pada perancangan dan pengembangan sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik menggunakan peralatan LCR HiTESTER HIOKI 3522 yang sudah ada dengan dihubungkan dengan komputer, sehingga dapat meningkatkan unjuk kerja dari peralatan tersebut.

## 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

### 1. Penyiapan Bahan Uji

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk besi (Fe) 99,9 % dengan ukuran 10-50  $\mu\text{m}$  dan serbuk grafit (karbon, C) 99,5 % dengan ukuran 10  $\mu\text{m}$ . Pengujian ini dimaksudkan untuk menguji efek dari konsentrasi Karbon terhadap sifat elektrik Bahan Komposit  $\text{Fe}_x\text{C}_{1-x}$ . Bahan komposit  $\text{Fe}_x\text{-C}_{1-x}$  dibuat

dari campuran serbuk Fe dan serbuk karbon, dengan rasio komposisi Fe dan C adalah 20 : 80 (FeC1); 30 : 70 (FeC2) ; 40 : 60 (FeC3); 50 : 50 (FeC4); 60 : 40 (FeC5); 70 : 30 (FeC6); prosen berat dengan berat total 20 gram

Campuran serbuk ini diproses *milling* selama 4,5 jam menggunakan *High Energy Milling* (HEM), *SPEX CertiPrep 8000M Mixer/Mill* yang terdapat di Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), PTBIN-BATAN. Tujuan dari persiapan bahan nano karbon menggunakan HEM adalah untuk mendapatkan bahan karbon yang memiliki struktur nano porous, dan juga sebagai langkah awal untuk memproduksi CNT dengan secara sederhana tanpa pemanasan aniling yang biasa dipakai dalam pembuatan CNT selama ini, Campuran serbuk hasil *milling* ini masing-masing ditimbang sebanyak 0,5 gram, kemudian dibuat menjadi bentuk pelet menggunakan mesin press ENERPAC sampai tekanan 5000 psi ( $400 \text{ kg/cm}^2$ ), yang terdapat di BKAN, PTBIN-BATAN. Dalam proses pembuatan pelet ini daies yang digunakan terbuat dari besi KNL. Pelet yang terbentuk berukuran diameter 1,5 cm dan tebal sekitar 1 mm. Kemudian Pelet Fe-C tersebut dilakukan pengukuran sifat elektriknya dengan Sistem Instrumentasi pengukur sifat elektrik hasil pengembangan LCR meter dengan pemrograman Labview yang digunakan pada penelitian ini dengan parameter frekuensi antara 1 kHz sampai 100 kHz, pada tegangan potensial  $V = 1 \text{ Volt}$  serta pada temperatur ruang.

## 2. Pengujian Sifat Elektrik

Bahan kapasitor Fe-C yang sudah terbentuk pelet, akan diukur sifat elektriknya menggunakan LCR meter secara manual, lalu diukur nilai kapasitansinya dengan mengatur perubahan frekuensi. Melakukan pengujian sampel bahan kapasitor Fe-C yang sudah berbentuk pelet dengan sistem instrumentasi pengukur sifat elektik dengan pemrograman Labview dan memberikan analisis data .

### 1.6 Sistematika Penulisan

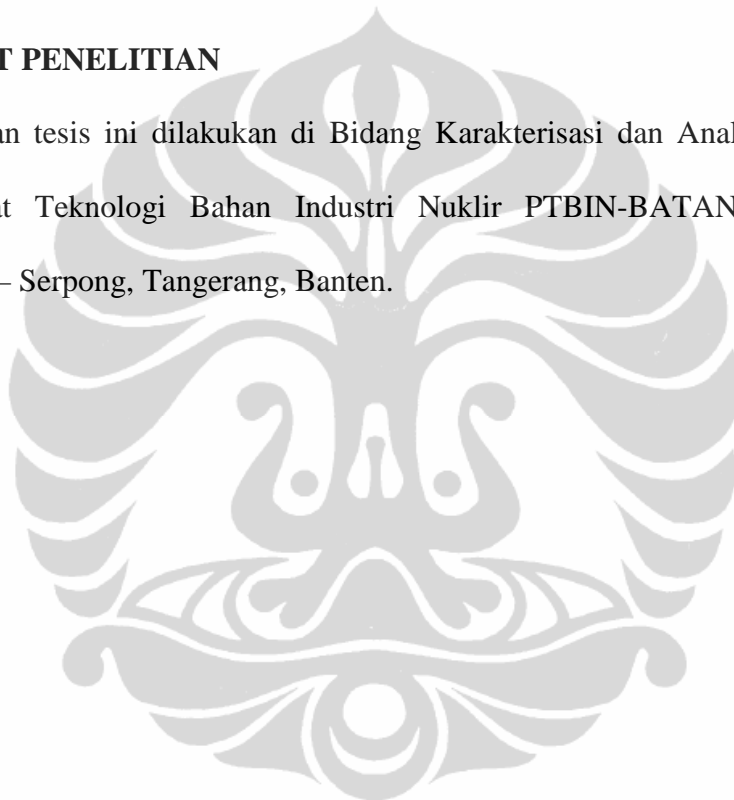
Tesis ini disusun menjadi 5 (lima) Bab dan diurutkan berdasarkan tahapan pengerjaannya. Susunannya adalah sebagai berikut :

- Bab I merupakan pendahuluan yang menjelaskan latar belakang, tujuan penulisan, rumusan dan pembatasan masalah, serta metodologi pelaksanaan pembuatan tesis.

- Bab II membahas landasan teori.
- Bab III berisi tentang instrumentasi dan sistem kontrol pengukur sifat elektrik dengan pemrograman menggunakan LabView.
- Bab IV berisi hasil ujicoba dan analisis terhadap hasil pengukuran yang telah dilakukan.
- Bab V merupakan kesimpulan dan saran yaitu rumusan kesimpulan tesis dan saran-saran untuk perbaikan dan pengembangan lebih lanjut.

### **1.7. TEMPAT PENELITIAN**

Penelitian tesis ini dilakukan di Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir BKAN, Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir PTBIN-BATAN Kawasan PUSPIPTEK – Serpong, Tangerang, Banten.

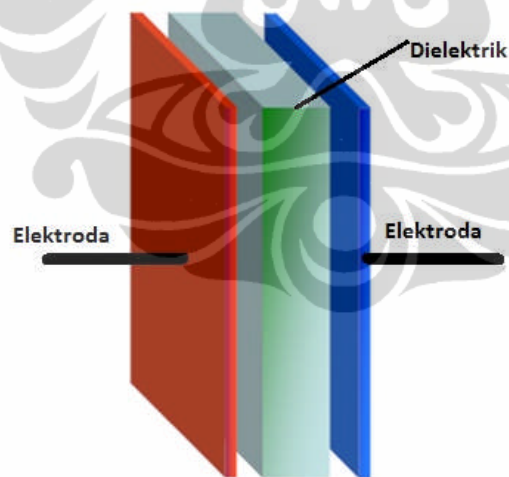


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. KAPASITOR

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini "tersimpan" selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Prinsip kapasitor dapat digambarkan sebagai berikut:

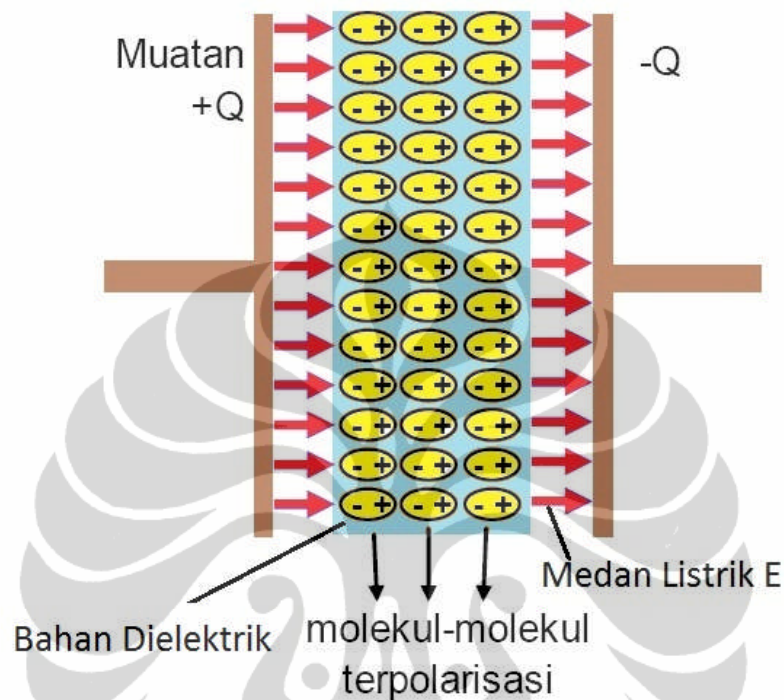


Gambar 2.1. Prinsip dasar kapasitor

#### 2.2. Dielektrik

Dielektrik adalah suatu lempengan tipis yang diletakkan di antara kedua pelat kapasitor. Jika di antara lempengan bermuatan + dan lempengan bermuatan – diisi

dengan bahan dielektrik (isolator), kuat medan listrik di antara lempengan akan menurun dan kapasitansi akan naik. Pengaruh penggunaan bahan dielektrik seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pengaruh dielektrik pada kapasitor

Manfaat pemilihan dan penggunaan bahan dielektrik yang unggul pada kapasitor adalah:

- menghambat *break down*
- menaikkan nilai kapasitansi kapasitor

#### Alasan pemilihan dan penggunaan dielektrik

- Memungkinkan untuk aplikasi tegangan yang lebih tinggi, sehingga dapat lebih banyak menyimpan muatan.
- Memungkinkan untuk memasang lempengan menjadi lebih dekat, atau dengan kata lain adalah membuat jarak antar lempengan ( $d$ ) lebih kecil.
- Memperbesar nilai kapasitansi  $C$  karena nilai konstanta dielektrik ( $K$ ) lebih besar dari 1.

Dengan adanya suatu dielektrik yang ditempatkan di antara kedua lempengan, kapasitansi akan meningkat dengan faktor konstanta (K), yang bergantung pada material di dalam lempengan. Konstanta K disebut sebagai konstanta dielektrik dari material. Formula untuk menghitung nilai kapasitan (C) dapat dituliskan sebagai berikut ini :

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{d} = K C_0 \quad (2.1)$$

Karenanya  $C = \kappa\epsilon_0 A / d$  secara umum adalah benar, dimana konstanta K bernilai 1 untuk kondisi hampa udara, dan mendekati 1 untuk udara (lihat Tabel 1). Dapat juga dengan mendefinisikan  $\epsilon = \kappa\epsilon_0$ , dan menuliskan  $C = \epsilon A / d$ . Nilai  $\epsilon$  disebut dengan istilah nilai *permitivitas dari bahan/material*, sehingga formula  $C = \kappa\epsilon_0 A / d$ . Berikut ini merupakan nilai konstanta dielektrik bahan yang biasa digunakan dalam kapasitor.

Tabel 2.1 Konstanta dielektrik bahan kapasitor

Bahan	Nilai K
Vakuum	1,000
Udara	1,0006
Parafin	2,2
Karet keras	2,8
Vinyl (plastik)	2,8 - 4,5
Kertas	3 - 7
Air	80
<i>Calcium Titanate</i>	168

### 2.3. Kapasitansi

Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. *Coulombs* pada abad 18 menghitung bahwa 1 *coulomb* =  $6.25 \times 10^{18}$  elektron. Kemudian *Michael Faraday* membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 Farad, bila dengan

tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulombs. Dengan rumus dapat ditulis :

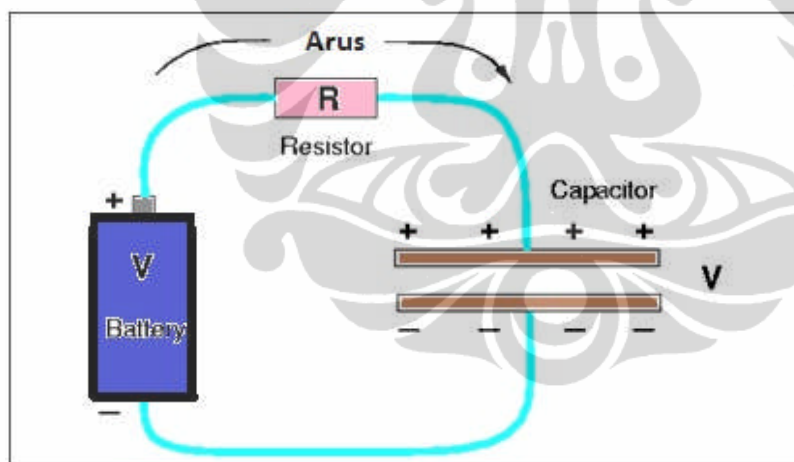
$$Q = C.V \quad (2.2)$$

$Q$  = muatan elektron dalam  $C$  (*Coulombs*)

$C$  = nilai kapasitansi dalam  $F$  (*Farads*)

$V$  = besar tegangan dalam  $V$  (*Volt*)

Dalam praktek pembuatan kapasitor, kapasitansi dihitung dengan mengetahui luas area plat metal ( $A$ ), jarak ( $d$ ) antara kedua plat metal (atau lebih simpelnya disebut dengan istilah tebal dielektrik) dan konstanta ( $K$ ) bahan dielektrik. Dengan berkembangnya teknologi nano lahirlah pemikiran untuk mengembangkan penelitian bahan kapasitor yang dapat meningkatkan nilai kapasitansi. Dengan kapasitor jenis ini bisa memiliki kapasitansi yang besar namun menjadi lebih kompak dan mini. Selain itu karena seluruhnya padat, maka usia pakainya (*lifetime*) menjadi lebih tahan lama.



Gambar. 2.3. Cara kerja Kapasitor

Cara kerja sebuah kapasitor dengan bahan dielektrik yang disambungkan ke baterai adalah sebagai berikut ini. Medan listrik diantara kedua lempeng kapasitor akan menyebabkan bahan dielektrik menjadi terpolarisasi, sehingga molekul-molekulnya memiliki 2 kutub, dimana kutub positif molekul akan mendekati kutub negatif dari lempeng kapasitor dan sebaliknya kutub negatif dari molekul-molekul akan mendekati sisi lempeng positif kapasitor. Jadi saat lempeng-lempeng kapasitor melepas elektron maka kutub molekul negatif akan menyuplai

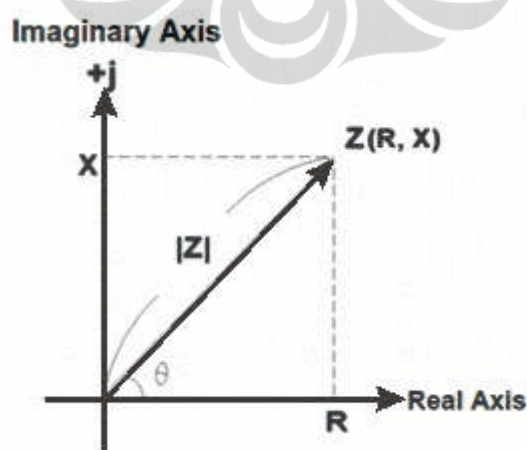


elektron. Sebaliknya jika lempeng kapasitor menerima elektron maka kutub molekul positif akan menerimanya. Artinya semakin banyak elektron yang bisa dilepas maupun diterima oleh kapasitor berkat bantuan bahan dielektrik, dengan kata lain kapasitas dari kapasitor tersebut akan meningkat.

#### 2.4. Impedansi ( $Z$ )

Impedansi adalah hasil gabungan dari nilai resistor dan reaktansi (hambatan dan  $X$ ) dalam sebuah rangkaian AC (*alternating current*). Nilai reaktansi berasal dari nilai hambatan yang ada pada kapasitor dan induktor. Beban kapasitif menyatakan impedansi yang kapasitansinya lebih besar dari induktansinya. Demikian sebaliknya, beban induktif menyatakan bahwa induktansi pada rangkaian itu lebih besar dibandingkan dengan kapasitansinya. Berikut ini dijelaskan jenis-jenis rangkaian yang biasa dijumpai dalam rangkaian elektronik, yaitu R, L, C, RLC seri dan RLC paralel.

Impedansi ( $Z$ ) secara umum didefinisikan sebagai oposisi total perangkat atau menawarkan rangkaian dengan aliran arus bolak (AC) pada frekuensi yang diberikan, dan ditampilkan sebagai kuantitas yang kompleks yang dapat diwakili secara grafis pada diagram vector. Gambar. 2.4. Sebuah vektor impedansi terdiri dari bagian nyata (resistansi,  $R$ ) dan bagian imajiner (reaktansi,  $X$ ).



Gambar.2.4. Vektor Impedansi [1].

Impedansi dapat dinyatakan dengan menggunakan bentuk persegi panjang,

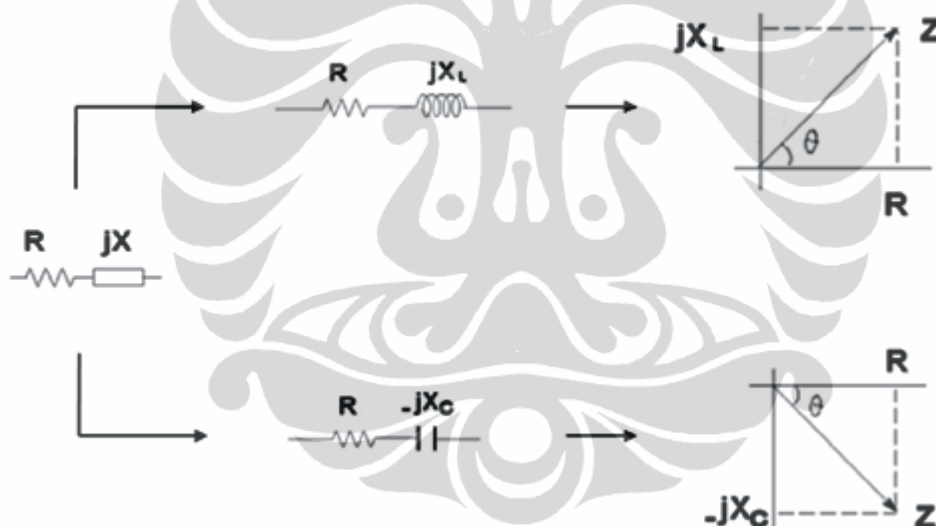
$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{dan} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

$$R = |Z| \cos \theta$$

$$X = |Z| \sin \theta \quad (2.3)$$

### Pengukuran Impedansi

Sistem pengukuran Impedansi digunakan untuk menguji komponen elektronik, sirkuit dan bahan. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengukur output sensor yang diterjemahkan ke dalam besaran fisika impedansi listrik.



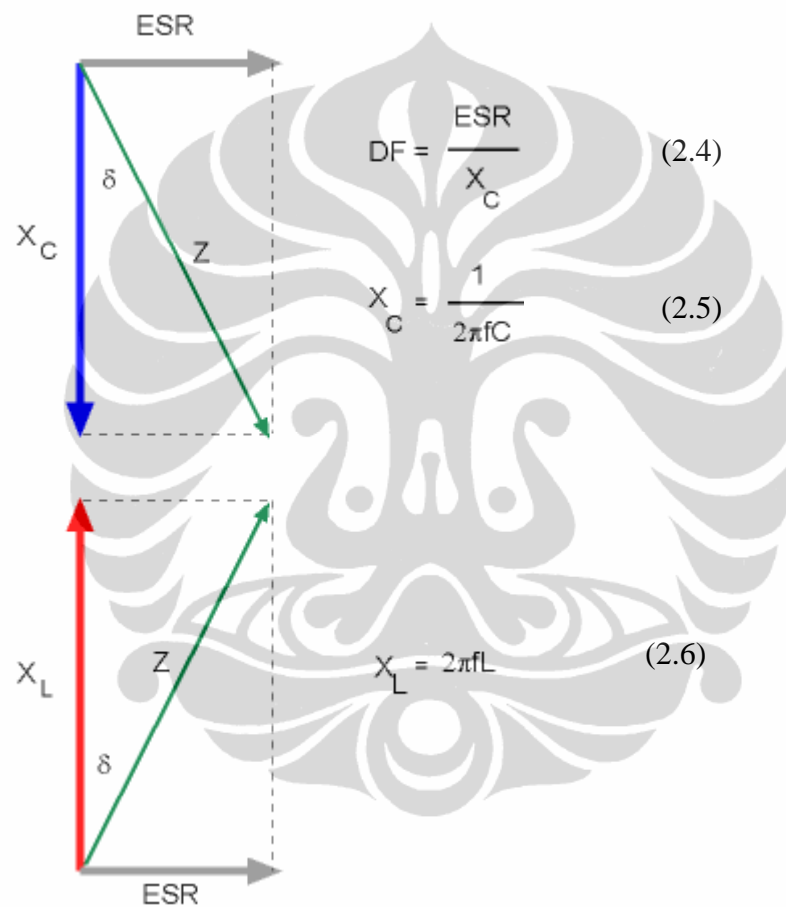
Gambar. 2.5. Representasi reaktansi induktif dan kapasitif pada bidang vektor impedansi.

Reaktansi dapat mengambil dua bentuk: induktif ( $X_L$ ) dan kapasitif ( $X_C$ ). Gambar. 2.5. merupakan dua bentuk kemungkinan reaktansi dan perwakilan koresponden di vektor impedansi untuk frekuensi yang diberikan.

### 2.5. Faktor Disipasi (DF)

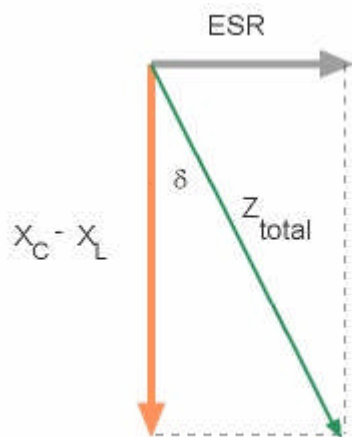
Faktor Disipasi (*Dissipation Factor*) adalah besar persentasi rugi-rugi (*losses*)

kapasitansi jika kapasitor bekerja pada aplikasi frekuensi. Besaran ini menjadi faktor yang diperhitungkan misalnya pada aplikasi motor phasa, rangkaian *ballast*, *tuner* dan lain-lain. Dari model rangkaian kapasitor digambarkan adanya resistansi seri (ESR) dan induktansi (L). Pabrik pembuat biasanya meyertakan data DF dalam persen. Rugi-rugi (*losses*) itu didefinisikan sebagai ESR yang besarnya adalah persentasi dari impedansi kapasitor  $X_C$ . Secara matematis di tulis sebagai berikut :



Gambar 2.6. Faktor Dissipasi

Dari penjelasan di atas dapat dihitung besar total impedansi ( $Z$  total) kapasitor adalah :



$$Z_{total} = \sqrt{ESR^2 + (X_C - X_L)^2} \quad (2.7)$$

Gambar.2.7. Vektor Impendansi Total.

Karakteristik respons frekuensi sangat perlu diperhitungkan terutama jika kapasitor bekerja pada frekuensi tinggi. Untuk perhitungan respons frekuensi dikenal juga satuan faktor kualitas  $Q$  (*quality factor*) yang tak lain sama dengan  $1/DF$ .

## 2.6. Faktor Q

Untuk perhitungan respons frekuensi dikenal juga satuan faktor kualitas  $Q$  (*quality factor*) yang tak lain sama dengan  $1/DF$ . Faktor kualitas  $Q$  dapat diukur secara langsung menggunakan voltmeter ditempatkan di kapasitor tuning. Karakteristik respons frekuensi sangat perlu diperhitungkan terutama jika kapasitor bekerja pada frekuensi tinggi. Faktor  $\cos \theta$  pada persamaan daya disebut dengan faktor daya dari rangkaian biasanya dinyatakan dengan:

$$power\ factor = \cos\theta = FP$$

yang memiliki nilai terbesar satu, yaitu saat rangkaian bersifat resistif murni dimana sudut fasa yang terjadi adalah  $0^\circ$ . sedangkan nilai terkecilnya adalah nol, yaitu saat rangkaian bersifat reaktif murni (kapasitif atau induktif). Untuk rangkaian dengan kombinasi resistor dan elemen reaktif nilai faktor daya adalah antara nol sampai dengan satu.

## RLC paralel

Pada rangkaian RLC paralel, besarnya admitansi dirumuskan dengan persamaan :

$$Y = G + j\omega C + \frac{1}{j\omega L} = G + j\left[\omega C - \frac{1}{\omega L}\right] \quad (2.8)$$

Faktor kualitas (Q) dari rangkaian RLC Paralel dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = \frac{\omega_0 C}{G} = \frac{1}{\omega_0 GL} = \frac{R}{\sqrt{L/C}} \quad (2.9)$$

### RLC Seri

Besarnya Impedansi pada Rangkaian RLC seri adalah:

$$Z_{RLC} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\left[\omega L - \frac{1}{\omega C}\right] \quad (2.10)$$

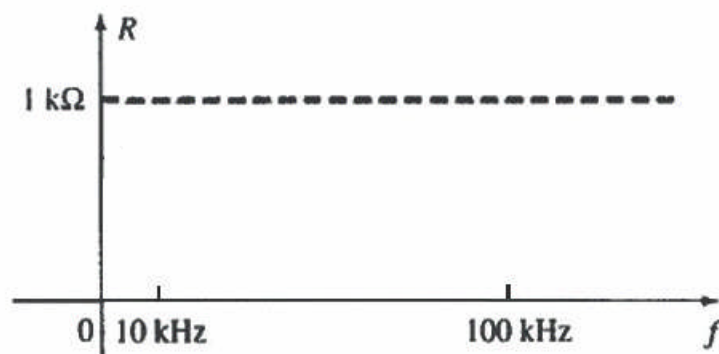
Beberapa parameter digunakan untuk menyatakan resonansi secara lebih detil. Salah satunya adalah faktor kualitas ( Q ) yang didefinisikan sebagai perbandingan antara reaktansi induktif pada saat resonansi dengan resistansinya, karena pada saat resonansi  $|X_L| = |X_C|$ , maka:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} \quad (2.11)$$

Pada frekuensi rendah reaktansi kapasitor akan sangat tinggi dan lebih diperhatikan daripada harga hambatan R, dengan anggapan bahwa impedansi total akan berupa kapasitif yang alami.

### 2.7. Elemen R, L, C dalam tegangan Bolak-Balik

Pengaruh sinyal sinusoidal terhadap elemen R, L dan C pada sistem bolak-balik hampir sama pada sistem searah, perbedaannya hanya pada penambahan nilai efektifnya. Untuk resistor ideal nilai hambatannya tidak terpengaruh oleh frekuensi.

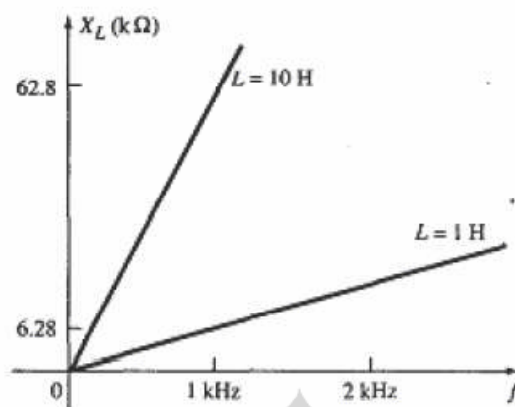


Gambar.2.8. Karakteristik Resistor ideal.

Tetapi pada prakteknya bagaimanapun akan muncul efek kapasitif dan induktif pada setiap resistor, ini akan mempengaruhi karakteristik resistor pada frekuensi sangat tinggi maupun sangat rendah. Untuk saat ini semua resistor dianggap ideal. Reaksi kapasitor dan induktor terhadap sinyal sinusoidal sedikit berbeda dengan reaksi resistor. Keduanya induktor dan kapasitor memang membatasi besaran arus yang akan mengalir, tetapi pada keadaan ideal keduanya tidak menyerap energi yang dialirkan padanya. Pada induktor energi akan disimpan dalam bentuk medan magnet sedangkan pada kapasitor energi akan disimpan dalam bentuk medan listrik, dimana keduanya dapat dikembalikan ke sistem jika diinginkan melalui desain tertentu. Reaktansi mempunyai kemiripan dengan resistansi, yaitu mampu membatasi arus, dengan kata lain reaktansi adalah semacam daya hambat yang dimiliki suatu induktor pada sinyal bolak-balik, yang besarnya (2.6):

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

Perlu diingat kembali bahwa induktor idealnya mempunyai karakter sebagai hubung pendek dalam sinyal searah. Pada frekuensi sangat tinggi induktor memiliki karakter hubung buka, karena induktor mempunyai reaktansi yang sangat tinggi. Pengaruh frekuensi terhadap nilai reaktansi induktif dapat dilihat pada gambar berikut:



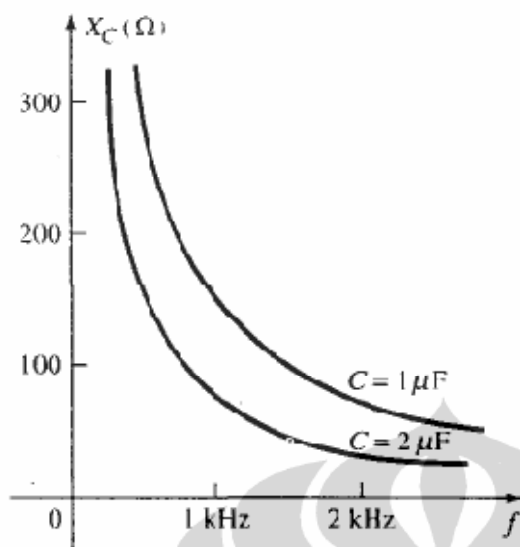
Gambar 2.9. Hubungan Reaktansi Induktif terhadap frekuensi

### 2.8. Sudut Phasa ( $\theta$ )

Sudut  $\theta$  adalah sudut phasa antara tegangan dan arus. Pada kasus resistor murni tegangan dan arus adalah sephasa, sehingga  $\theta$  bernilai nol. Induktor menyebabkan pergeseran phasa antara tegangan dan arus sebesar  $90^\circ$ . Sedangkan pada induktor murni sudut  $\theta$  bernilai  $90^\circ$  sementara  $\cos 90^\circ$  adalah nol sehingga menyebabkan daya yang diserap sama dengan nol watt, ini menunjukkan kepada kita mengenai pernyataan terdahulu bahwa induktor ideal tidak menyerap daya akan tetapi hanya menyimpannya sebagai medan magnet. Suatu rangkaian yang mempunyai resistor dan induktor akan memiliki sudut phasa antara  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ . Disini ditunjukkan bahwa nilai  $X_C$  mempunyai nilai yang sangat besar pada frekuensi mendekati nol dan turun secara cepat dengan kenaikan frekuensi. Untuk kapasitor murni reaktansi dapat ditentukan dengan persamaan (2.5):

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

ini menyatakan bahwa kenaikan frekuensi menyebabkan turunnya reaktansi kapasitor (hal ini berlawanan dengan induktor). Jika  $f=0$  maka,  $X_C = \infty$  ini merupakan nilai yang sangat tinggi sehingga dapat disetarakan dengan hubung buka.



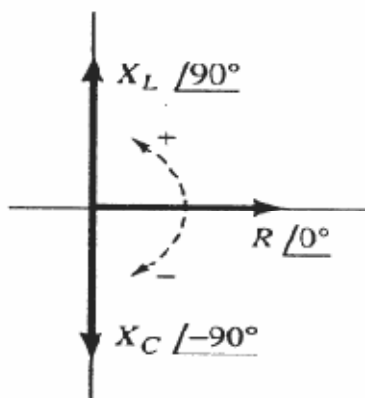
Gambar. 2.10. Kurva hubungan Reaktansi Kapasitif dengan frekuensi.

Disini ditunjukkan bahwa nilai  $X_C$  mempunyai nilai yang sangat besar pada frekuensi mendekati nol dan turun secara cepat dengan kenaikan frekuensi.

### 2.9. Phasor dan Bilangan kompleks

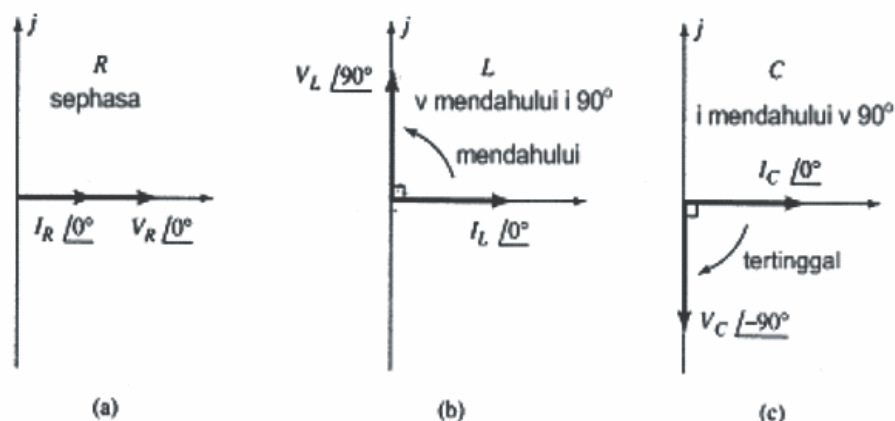
Pada gambar 2.11 ditunjukkan sebuah vektor yang mewakili resistansi, reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Sudut yang ditunjukkan oleh ketiganya masing-masing ditentukan oleh pergeseran fasa antara tegangan dan arus pada setiap elemen. Untuk resistor, tegangan dan arus adalah sefasa, karenanya tidak ada pergeseran fasa, dan sudut antara keduanya adalah  $0^0$ . Karena sudut diukur dari sumbu x horizontal sebelah kanan, vektor resistansi digambarkan pada sumbu x. Panjangnya ditentukan oleh nilai resistansi R. Untuk  $X_L$  dan  $X_C$  sudutnya adalah sudut antara beda tegangan (yang mendahului) dan arusnya. Untuk  $X_L$  sudutnya sebesar  $+90^0$ , dan untuk  $X_C$  sudutnya sebesar  $-90^0$ . Panjang dari vektor ditentukan oleh nilai reaktansi dari setiap elemen. Perhatikan bahwa bahwa sudut selalu diukur dari sumbu x.





Gambar.2.11. Diagram Phasor Impedansi

Kombinasi dari elemen-elemen reaktif dan resistif pada gambar 2.11 disebut impedansi dan diberi simbol  $Z$ . Impedansi adalah suatu ukuran yang menyatakan kemampuan suatu rangkaian AC untuk menghambat arus yang mengalir melalui rangkaian. Diagram pada gambar 2.11 disebut diagram phasor impedansi. Hanya resistansi dan reaktansi yang ditunjukkan pada suatu diagram impedansi. Tegangan dan arus dinyatakan dalam diagram phasor yang ditunjukkan pada gambar 2.12 untuk setiap elemen. Sudut yang terkait adalah sudut fasa pada domain waktu dari suatu gelombang sinusoidal. Besaran yang dipakai adalah nilai RMS nya. Diagram phasor untuk suatu resistor murni menunjukkan bahwa  $V_R$  dan  $I_R$  adalah sefasa karena mereka memiliki sudut yang sama dan arah yang sama. Arah berlawanan dengan arah jarum jam menggambarkan vektor yang mendahului. Pada gambar 2.12(b). Jika  $V_L$  dan  $I_L$  adalah vektor berputar searah jarum jam seperti yang di definisikan pada gambar 2.11.,  $V_L$  mendahului  $I_L$  sebesar  $90^\circ$ . Untuk kapasitor yang terlihat pada gambar 2.12(c)  $I_C$  mendahului  $V_C$  sebesar  $90^\circ$ .



Gambar 2.12. Vektor Tegangan dan arus dalam diagram Phasor.

### 2.10. ADMITANSI, Y

Merupakan Kebalikan dari impedansi Z adalah admitansi Y, atau  $Y = \frac{1}{Z}$ . Karena Z adalah bilangan kompleks, maka Y juga merupakan bilangan kompleks :

$$Y = G + jB \quad (2.12)$$

Dengan:

G = bilangan Real dari Y, disebut konduktansi

B = bilangan Imajiner Y, disebut suseptansi.

Satuan Y, G, dan B adalah Mho ( Siemens)

$$Y = G + jB = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R + jX} \quad G + jB = \frac{1}{R + jX} \cdot \frac{R - jX}{R - jX} \\ = \frac{R - jX}{R^2 + X^2}$$

dengan :

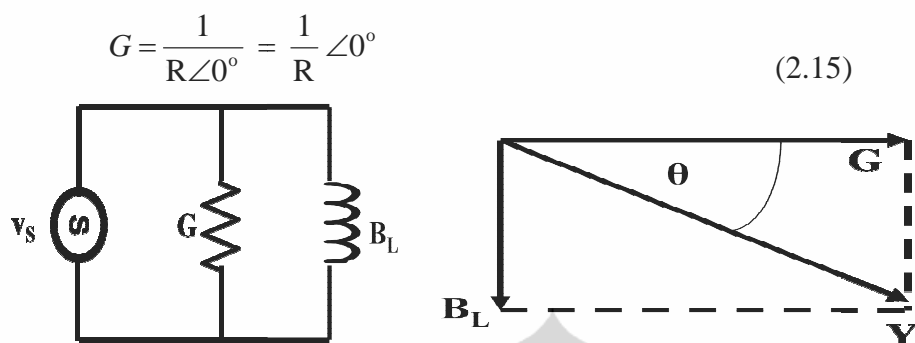
$$G = \frac{R}{R^2 + X^2} \quad \text{bagian nyata} \quad (2.13)$$

$$B = \frac{-X}{R^2 + X^2} \quad \text{bagian khayal} \quad (2.14)$$

Jadi G tidak selalu sama dengan  $1/R$  dan B tidak selalu sama dengan  $1/X$ .

### 2.11. Konduktansi (G) dan Suseptansi (B)

Konduktansi G merupakan kebalikan dari resistansi



Gambar. 2.13. Diagram Phasor konduktansi dan admitansi

Suseptansi Induktif  $B_L$  kebalikan dari reaktansi induktif

$$B_L = \frac{1}{X_L \angle 90^\circ} = \frac{1}{X_L} \angle -90^\circ = -j \left( \frac{1}{X_L} \right) \quad (2.16)$$

Admitansi Y kebalikan dari impedansi Z,

$$Y = \frac{1}{Z \angle \pm \theta} = \frac{1}{Z} \angle \mp \theta \quad (2.17)$$

Satuan dari ketiga besaran ini adalah Siemens (S), kebalikan dari ohm, atau biasa menyebutnya sebagai Mho (Siemens). Untuk rangkaian paralel, lebih mudah menggunakan G,  $B_L$  dan Y. Dalam rangkaian R-L paralel, admitansi total lebih sederhana jumlah fasor dari konduktansi dan suseptansi induktif.

$$Y = G - jB_L \quad (2.18)$$

### 2.12. Pengujian perhitungan parameter pada LCR HIOKI 3522

Selain itu, dimungkinkan untuk menggunakan admitansi Y, sebagai karakteristik komponen sirkuit yang merupakan kebalikan dari impedansi Z. Dengan menampilkan admitansi Y atas bidang kompleks, (seperti dilakukan untuk impedansi Z). Dari tegangan V yang diterapkan antara terminal sampel yang sedang diuji, I arus yang mengalir melalui uji sampel, dan  $\theta$  adalah sudut

fase antara tegangan  $V$  dan arus, dan  $\omega$  adalah kecepatan sudut yang sesuai dengan frekuensi pengujian, Sehingga LCR HIOKI 3522 menghitung komponen-komponen berikut ini dengan menggunakan perhitungan persamaan ditampilkan:  $\phi$  sudut fase ini ditampilkan berdasarkan impedansi  $Z$ . Ketika mengukur berdasarkan pengakuan tersebut, tanda fase  $\theta$  sudut harus dibalik.

Tabel 2.2 Perhitungan Untuk rangkaian Seri dan Paralel

Parameter	Mode Rangkaian seri	Mode Rangkaian Paralel
<b>Z</b>	$ Z  = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + X^2}$	
<b>Y</b>	$ Y  = \frac{1}{ Z } = \sqrt{G^2 + B^2}$	
<b>R</b>	$R_S = ESR$ $=   Z  \sin\theta $	$R_P = \left  \frac{1}{ Y  \cos\theta} \right  = \frac{1}{G} *$
<b>X</b>	$X =   Z  \sin\theta $	-----
<b>G</b>	-----	$G =   Y  \cos\theta  *$
<b>B</b>	-----	$B =   Y  \sin\theta  *$
<b>L</b>	$L_S = \frac{X}{\omega}$	$L_P = \frac{1}{\omega B}$
<b>C</b>	$C_S = \frac{1}{\omega X}$	$C_P = \frac{B}{\omega}$
<b>D</b>	$D = \left  \frac{1}{\tan\theta} \right $	
<b>Q</b>	$Q =  \tan\theta  = \frac{1}{D}$	

\* $\phi$  : sudut fasa dari admitansi  $Y$  ( $\phi = -\theta$ )

$L_s, R_s, C_s$  : Nilai pengukuran dari  $L, C,$  and  $R$  di mode rangkaian seri.

$L_p, R_p, C_p$  : Nilai pengukuran dari  $L, C,$  and  $R$  di mode rangkaian paralel.

### **BAB III INSTRUMENTASI DAN SISTEM KONTROL PENGUKUR SIFAT ELEKTRIK**

#### **3.1 PRINSIP KERJA PENGUKUR SIFAT ELEKTRIK**

##### **3.1.1. LCR HiTESTER HIOKI**

LCR HiTESTER HIOKI 3522 adalah salah satu jenis alat ukur impedansi yang dioperasikan menggunakan layar sentuh (*touch screen*) sebagai media penghubung antara pengguna dengan alat. Layar sentuh interaktif ini memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan alat ini dengan mudah dan simpel, namun disayangkan sekali di dalam proses membaca data pengukuran dan penyimpanannya, alat ukur ini hanya bisa mengambil data pada satu titik pengukuran, serta masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan waktu yang lama. Oleh karena itu dirasakan perlu untuk mengembangkan suatu alat ukur yang dapat mengukur sifat elektrik suatu bahan secara cepat, tepat dan akurat, sehingga dapat diperoleh data yang bisa tersimpan dalam bentuk file *spreadsheet*, tanpa mengurangi fungsi dari LCR HiTESTER HIOKI 3522 yang digunakan selama ini. Melalui pengembangan alat ukur ini, parameter frekuensi ukur dapat diatur nilainya dari 1 mHz sampai 100 kHz pada resolusi tinggi. Alat ukur ini maksimum mampu mengukur setiap empat dari empat belas parameter uji, tidak hanya impedansi  $|Z|$  dan sudut fasa  $\theta$ , tetapi juga nilai induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) dan lain-lain, serta pengukuran dapat dilakukan secara simultan serta ditampilkan pada layar. Selain dari itu, aplikasi alat ukur ini dapat diatur dengan pengaturan tegangan konstan dan arus konstan.

LCR HiTESTER HIOKI 3522 memiliki spesifikasi dan kelebihan sebagai berikut:

##### **1. Rentang frekuensi uji ukur**

Frekuensi uji ukur dapat dipilih sesuai dengan rentang frekuensi yang diinginkan, mulai dari 1 mHz hingga 100 kHz, dengan resolusi tinggi. Pengaturan frekuensi uji ukur ini tergantung pada komponen elektronik serta bahan-bahan yang akan diuji ukur.

## 2. Pengujian tegangan dan arus konstan

Tegangan dan arus dapat diatur secara konstan, sehingga memudahkan untuk pengaturan dalam pengujian bahan yang membutuhkan suatu masukan konstan .

## 3. Posisi pengoperasian

Semua operasi kontrol dimulai dari menu yang ada pada layar sentuh. Semua tombol yang saat ini tersedia ditampilkan pada layar sentuh, dan dapat dioperasikan secara interaktif.

## 4. Simultan pengukuran yang menampilkan empat parameter

Parameter uji ukur yang diinginkan bisa empat parameter uji secara berurutan (seperti L, C, R, dan lain-lain) dan dapat ditampilkan secara bersamaan.

Gambar 3.1 dibawah ini merupakan LCR HiTESTER HIOKI 3522, yang digunakan untuk mengukur sifat elektrik bahan.

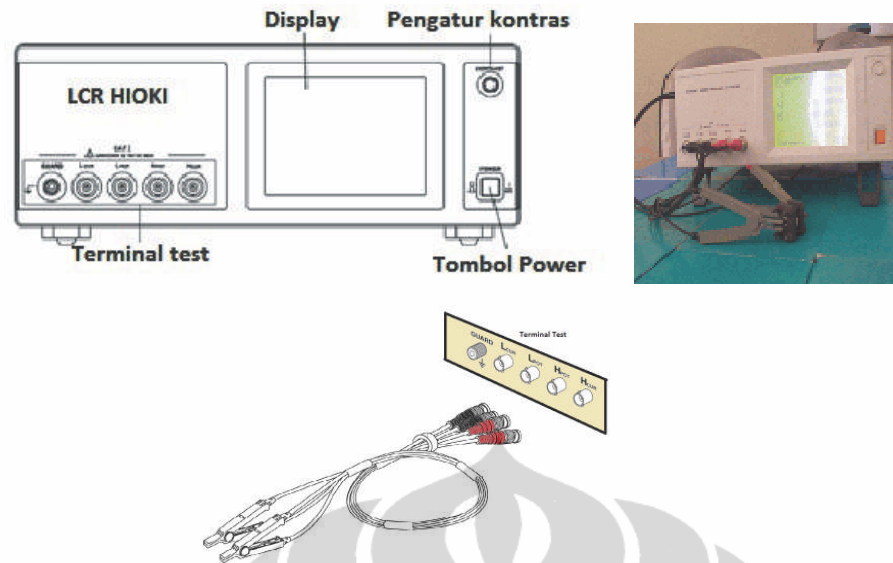


Gambar 3.1 LCR HiTester HIOKI 3522

### 3.1.2. Pengukuran Secara Manual

Pengukuran sifat elektrik bahan selama ini dilakukan dengan mengoperasikan LCR HiTESTER HIOKI 3522 secara manual, dimana setiap pengaturannya dilakukan dengan sistem layar sentuh.

Konfigurasi peralatan untuk pengukuran secara manual seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Pengukur sifat elektri LCR meter HIOKI 3522

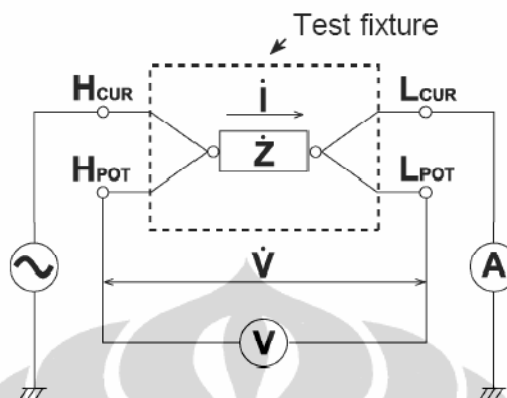
Seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1, LCR HiTESTER HIOKI 3522 mempunyai lima terminal uji ukur yang akan digunakan sebagai *probe* untuk pengujian sampel yaitu :

- a. **HCUR**, Terminal ini digunakan untuk sinyal uji.
- b. **HPOT**, Terminal ini digunakan sebagai pendeteksi tegangan tinggi.
- c. **LPOT**, Terminal ini digunakan sebagai pendeteksi tegangan rendah.
- d. **HCUR**, Terminal ini digunakan sebagai pendeteksi Arus.
- e. **Guard**, Guard terminal, (terminal ini dihubungkan ke *chassis*).

Kabel berwarna merah dihubungkan pada terminal **Hpot** dan **Hcur**, kabel berwarna hitam dihubungkan ke terminal **Lcur** dan **Lpot**. Kabel ini didesain dengan kabel coaxial 75  $\Omega$ , sesuai dengan standart HIOKI.

Prinsip pengukuran ini didasarkan pada prinsip bahwa sebuah arus listrik kecil dikirimkan melalui obyek pengukuran (sampel) dan pada saat yang sama drop tegangan diukur di seluruh objek pengukuran. Dari drop tegangan diukur impedansi  $|Z|$ , konduktansi (G) dan resistansi (R), sehingga nilai kapasitansi dapat dihitung setelah itu. Alat ini dirancang untuk keperluan pengukuran sampel yang berbentuk pelet atau padatan. Hal yang terpenting dari instrumen ini hanya memiliki satu *output* yang memberikan arus bolak-balik. Hubungan **Hcur**, **Lcur**,

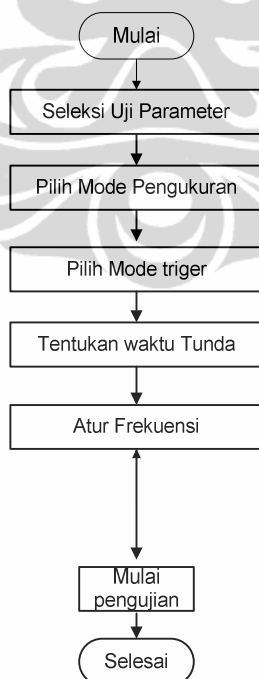
**H<sub>pot</sub>**, dan **L<sub>pot</sub>** semuanya terhubung dengan elektroda terpisah. Koneksi *probe* diatas dapat diilustrasikan seperti pada gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3. Prinsip pengukuran sampel dari LCR HIOKI.

### 3.2. Diagram Alir Pengujian Sampel

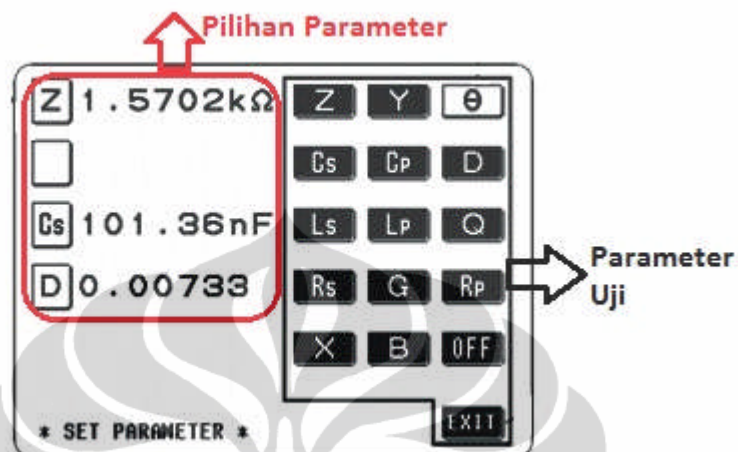
Diagram alir pengujian sampel menggunakan LCR HIOKI dapat ditunjukkan melalui urutan sebagai berikut:



Gambar 3.4. Diagram alir pengujian sampel Secara manual.



Langkah pertama yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian sampel adalah pengaturan parameter yang akan diuji pada layar di LCR meter. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



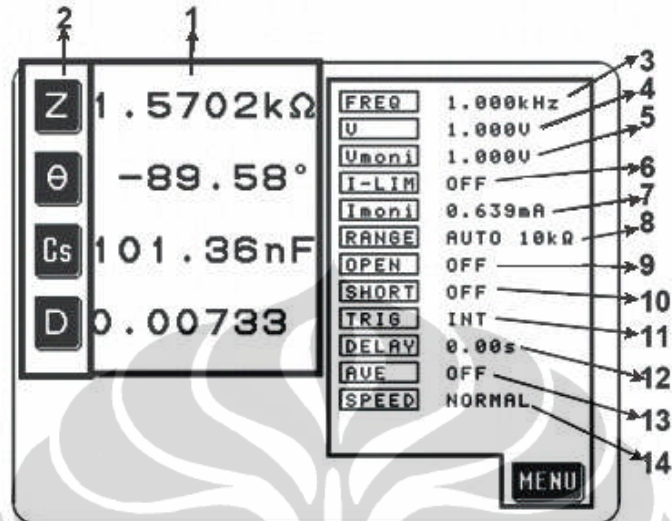
Gambar 3.5. Pengaturan tampilan dari parameter uji ukur LCR HIOKI.

Pada pengaturan parameter yang ditampilkan, dari total 14 parameter uji, hanya maksimum empat parameter yang dapat dipilih dan ditampilkan nilai-nilainya secara simultan pada layar, dan dapat diatur dalam urutan yang diinginkan. Dengan menekan tombol parameter pada posisi yang sesuai, layar kemudian akan secara otomatis kembali ke layar awal, dengan parameter baru yang diinginkan ditampilkan di posisi yang sesuai, Seperti terlihat pada gambar 3.5.

Tabel 3.1 Parameter uji ukur yang dapat ditampilkan pada LCR HIOKI 3522.

Parameter	Keterangan	Parameter	Keterangan
<b>Z</b>	Impedansi ( $\Omega$ )	<b>Ls</b>	Induktansi Seri
<b>Y</b>	Admitansi (S)	<b>Lp</b>	Induktansi Paralel
<b><math>\theta</math></b>	Sudut fasa	<b>Rs</b>	Resistansi seri
<b>Cs</b>	Kapasitansi Seri	<b>Rp</b>	Resistansi Paralel
<b>Cp</b>	Kapasitansi paralel	<b>G</b>	Konduktansi
<b>D</b>	Koefisien Rugi	<b>X</b>	reaktansi
<b>Q</b>	Faktor kualitas	<b>B</b>	Suseptansi

Setelah pengaturan pemilihan parameter ukur, pengukuran sampel dapat segera dilakukan. Seperti terlihat pada Gambar 3.6 merupakan tampilan hasil pengukuran dari pengukuran menggunakan LCR Hitester HIOKI 3522.



Gambar 3.6. Tampilan hasil pemilihan parameter dan hasil pengaturan pengukuran dari alat ukur LCR Meter HIOKI.

**Keterangan:**

1. Nilai ukur / hasil pengukuran.
2. Pilihan parameter Uji.
3. Test frekuensi.
4. Sinyal level kontrol.
5. Nilai tegangan antara terminal dan sampel.
6. Pengukuran nilai batas arus.
7. Nilai arus yang mengalir melalui sampel.
8. Test range.
9. Pengaturan kompensasi open circuit.
10. Pengaturan kompensasi short circuit.
11. Mode *triger*.
12. Pengaturan waktu *delay*.
13. Waktu rata-rata.
14. Kecepatan pengukuran.

### 3.3. Mode Pengukuran sampel

LCR HiTESTER HIOKI 3522 menganalisa sampel uji dalam bentuk murni komponen induktif (L), komponen kapasitif murni (C), dan komponen resistif murni (R), dan menghitung seakan komponen ini dihubungkan secara seri atau secara paralel. Oleh karena itu, sangat memungkinkan bagi pengguna untuk memilih, baik mode rangkaian seri atau mode rangkaian paralel, atau kombinasi keduanya yaitu rangkaian koneksi bersama-sama dari L, C, dan R. Ketika impedansi sampel yang diuji relatif tinggi, parameter  $L_p$ ,  $C_p$ , dan  $R_p$  untuk mode rangkaiian paralel harus dipilih. Sebaliknya, ketika impedansi sampel diuji relatif rendah, parameter  $L_s$ ,  $C_s$ , dan  $R_s$  untuk mode rangkaiian seri harus dipilih. Secara umum, untuk suatu komponen seperti kapasitor elektrolisis atau sejenisnya dengan nilai koefisien rugi (D) tinggi atau nilai faktor kualitas (Q) rendah, uji nilai diperoleh saat pengujian menggunakan modus rangkaian seri berbeda dari yang diperoleh saat pengujian menggunakan modus rangkaian paralel. Semakin besar daya tahan komponen dalam sampel yang diuji, semakin banyak perbedaan dalam nilai hasil pengukuran yang muncul. Perbedaan pengukuran kapasitansi untuk nilai koefisien rugi (D) yang berbeda dapat dilihat pada tabel 3.1. berikut:

Tabel 3.2. Perbandingan nilai kapasitansi untuk pemilihan mode.

	<b>Mode Rangkaian seri</b>	<b>Mode Rangkaian Paralel</b>
D = 0	C	C
D = 0.1	1.005C	0.995C
D = 0.5	1.118C	0.8944C

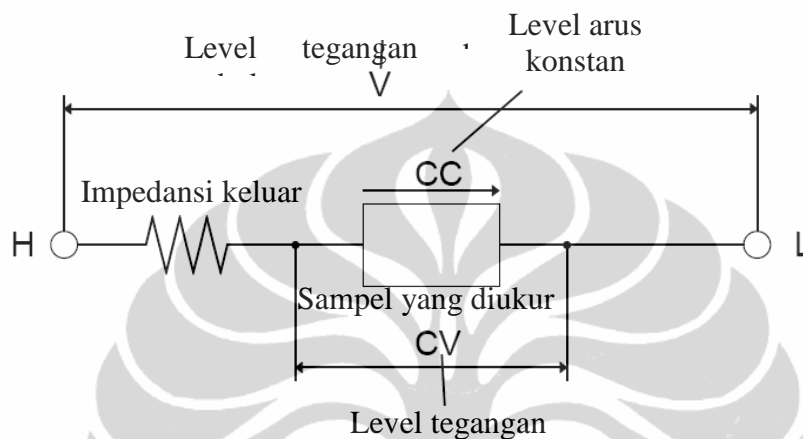
- Dimana C adalah kapasitansi statis.

Oleh karena itu perlu bagi pengguna untuk memahami dengan jelas pengaturan cara uji ini, agar dapat dengan benar dalam menilai sampel uji. Secara umum, mode rangkaian paralel harus digunakan untuk elemen yang memiliki kapasitansi yang relatif rendah dan impedansi tinggi seperti film kapasitor dan kapasitor keramik, karena resistansi paralel dapat menyebabkan besar rugi (*loss factor*). Sedangkan mode rangkaian seri harus digunakan untuk unsur-unsur yang

memiliki kapasitansi yang relatif tinggi dan impedansi rendah seperti kapasitor elektrolit, karena resistansi seri dapat menyebabkan faktor rugi yang besar.

### Tingkat sinyal uji terhadap sampel uji

Hubungan antara tingkat sinyal uji untuk LCR HIOKI 3522 dan objek/bahan yang akan diuji, dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.7. Tingkat sinyal Uji terhadap sampel yang diuji.

Ada tiga pilihan dalam menentukan tingkat sinyal uji pada LCR HiTESTER HIOKI 3522 yaitu :

**- Tegangan rangkaian terbuka (*Open Circuit Voltage*) (V).**

Nilai tegangan ini adalah nilai yang diterapkan di dua terminal kombinasi dari serangkaian objek yang sedang diuji dan impedansi keluar (*output*).

**- Level tegangan konstan (CV).**

Mode ini dipilih jika ingin mengatur tegangan pada terminal objek yang akan diuji untuk nilai tegangan konstan.

**- Level arus konstan (CC).**

Mode ini dipilih jika ingin mengatur arus yang lewat melalui obyek yang akan diuji untuk nilai arus konstan.

### Pengaturan batas tegangan dan arus

Tergantung pada tingkat uji sinyal, menggunakan tegangan atau fungsi batas arus, sangat mungkin untuk menetapkan nilai batas atas tegangan yang diterapkan untuk pengujian sampel. Atau membatasi alternatif arus yang mengalir melalui

sampel tersebut. HIOKI 3522 akan membatasi tegangan atau arus, sehingga tetap di bawah nilai ambang batas yang ditentukan. Ketika tegangan rangkaian terbuka (V) atau tegangan konstan (CV) diatur, sebuah batas arus dapat diatur. Ketika arus konstan (CC) ditetapkan, batas tegangan dapat diatur.

Tabel 3.3 Batas pengaturan Arus dan Tegangan

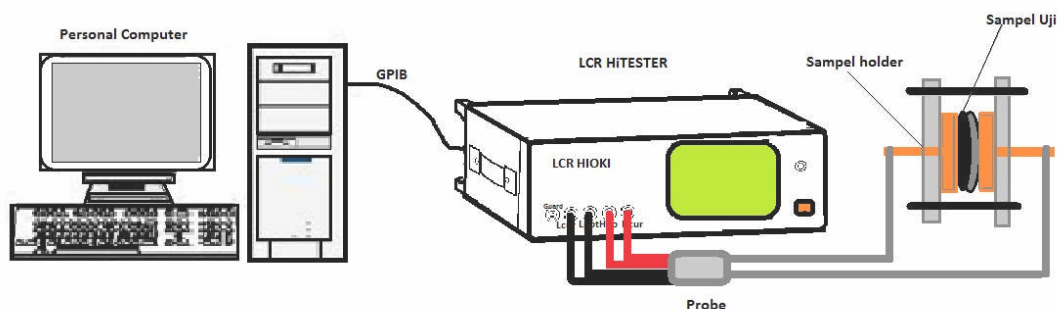
Kontrol Test Sinyal	Batas Pengaturan	Range
V	Batas Arus	0,01 mA – 99,99 mA
CV	Batas Arus	0,01 mA – 99,99 mA
CC	Batas Voltage	0,010 V – 5 V

#### 3.4. Sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik menggunakan LabView.

Pada penelitian ini menggunakan metode dengan mengembangkan LCR Hitester HIOKI 3522 menjadi sebuah Sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik. Dengan cara mengkoneksikan alat ukur LCR meter ke sebuah personal komputer (PC) dengan menggunakan bahasa pemrograman LabView. Pengembangan sistem instrumentasi ini tetap mengacu pada parameter dan fungsi yang ada pada LCR Hitester HIOKI 3522. Sistematika Pengembangan instrumentasi pada penelitian ini secara garis besar terdiri dari:

1. LCR HiTESTER HIOKI 3522-50
2. Personal komputer
3. GPIB
4. Perangkat lunak LabView
5. Sampel *holder*

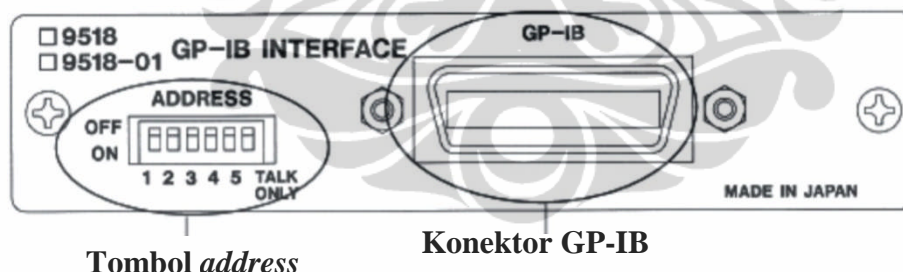
Pada gambar 3.8 dapat dilihat sistematika dan rancangan sistem instrumentasi untuk mengukur sifat elektrik bahan yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.8. Sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik .

### 3.4.1. Perangkat antarmuka (*interface*) GP-IB 9518-01

GPIB adalah antarmuka (*interface*) standar yang memungkinkan untuk menghubungkan dan mengendalikan berbagai perangkat elektronik dari berbagai vendor dengan personal komputer (PC). Dengan menghubungkan perangkat GP-IB 9518-01 ke LCR HiTESTER 3522, sangat memungkinkan bagi pengguna untuk mengendalikan semua fungsi dari unit utama (kecuali untuk menyalakan dan mematikan LCR HiTESTER) melalui konektor *bus* GPIB 9518-01. GPIB 9518-01 ini merupakan keluaran dari HIOKI, dimana perangkat ini sesuai dengan standar IEEE 488,1-1.987.



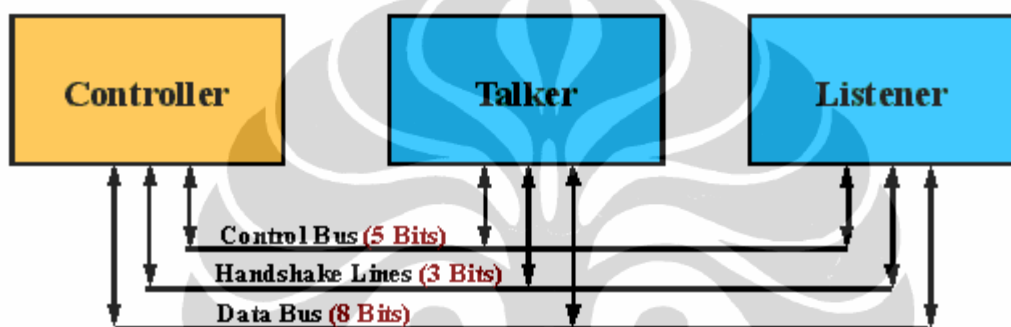
Gambar 3.9. Perangkat GPIB 9518-01 dari HIOKI.

Bus-488 interface IEEE, juga dikenal sebagai General Purpose Interface Bus "GPIB" adalah lebar 8 bit byte serial, bit sistem antarmuka paralel yang mencakup:

- 5 saluran kontrol
- 3 baris Handshake
- 8 bi-directional data baris.

Seluruh bus terdiri dari 24 baris (Konektor GPIB), dengan garis-garis sisa ditempati oleh *grounded* kabel. Fitur tambahan termasuk: TTL tingkat logika (logika benar negatif), yang kemampuan untuk berkomunikasi dalam beberapa format bahasa yang berbeda, dan tidak ada minimum operasional transfer limit. Tingkat transfer data maksimum ditentukan oleh sejumlah faktor, tetapi diasumsikan 1Mb/s. Perangkat ada di bus di salah satu dari 3 bentuk umum:

1. **Controller** (Pengawas)
2. **Talker** (Pembicara)
3. **Listener** (Pendengar)



Gambar 3.10 *Bus Interface GPIB*

Sebuah perangkat tunggal dapat menggabungkan semua tiga pilihan, meskipun hanya satu pilihan mungkin aktif pada suatu waktu. *Controller* membuat tekad untuk yang perangkat menjadi aktif di bus. GPIB hanya dapat menangani 1 'aktif' *controller* di bus, meskipun mungkin lewat operasi untuk kontroler lain. Apa pun jumlah *listener* aktif bisa berada pada bus dengan pembicara aktif selama tidak lebih dari 15 perangkat yang terhubung ke bus. *Controller* menentukan perangkat menjadi aktif dengan mengirimkan *pesan antarmuka* di bus ke instrumen tertentu. Setiap perangkat terkait dengan kode BCD 5 bit yang unik untuk masing-masing perangkat tersebut. Dengan menggunakan kode ini, controller dapat mengkoordinasikan aktivitas di bus dan masing-masing perangkat dapat dibuat untuk *Talker*, *listener* sebagaimana ditetapkan oleh controller. controller hanya bisa memilih fungsi tertentu dari sebuah perangkat, jika fungsi yang dimasukkan dalam perangkat, misalnya *listener* perangkat tidak dapat dibuat untuk berbicara dengan kontroler.

- Talker (Pembicara) mengirimkan data ke perangkat lain.
- Listener (Pendengar) menerima informasi dari pembicara.
- Di samping 3 fungsi dasar controller, pembicara, dan pendengar sistem juga menggabungkan sejumlah fitur operasional, seperti; *serial Poll*, *Parallel Poll*, *secondary talk* dan *listen addresses*, *remote/local capability*, dan *device clear* (trigger).

**Pesan Device dependent** dipindahkan selama GPIB dalam hubungannya dengan baris data transfer byte kontrol. Ketiga baris (DAV, NRFD, dan NDAC) adalah digunakan untuk membentuk sebuah 3 bit *line handshaking* yang mengontrol bagian data. Para pembicara yang aktif akan mengontrol 'DAV' (Data Valid) dan pendengar akan mengontrol baris 'NRFD' (Tidak Siap Data), dan 'NDAC' (Tidak Data Diterima). Dalam modus kondisi mapan pembicara akan terus *high* 'DAV' (tidak ada data tersedia) sementara pendengar akan terus *high* 'NRFD' (siap untuk data) dan 'NDAC' *low*. Setelah pembicara menempatkan data pada bus itu kemudian akan mengambil 'DAV' *low*. Para pendengar kemudian akan mengirim 'NRFD' *low* dan mengirim 'NDAC' *high*. Sebelum pembicara meninggalkan data dari bus, 'DAV' akan diambil *high* menandakan bahwa data tidak berlaku lagi. Jika 'ATN' *high* sedangkan proses ini terjadi informasi yang dianggap data, tetapi dengan ATN *low* informasi tersebut dianggap sebagai pesan antarmuka. Lima *line* lainnya pada bus (termasuk 'ATN') adalah bus *line* manajemen. Garis-garis ini memungkinkan controller dan perangkat lain di bus untuk *enable*, *interrupt*, *flag* dan *halt operation* bus. Semua baris dalam GPIB adalah *tri-state* kecuali untuk 'SQR', 'NRFD', dan 'NDAC' yang terbuka untuk kolektor. *halt operation* bus adalah resistor 3K yang terhubung ke 5 volt secara seri dengan sebuah resistor 6.2K ke *ground* semua nilai memiliki toleransi 5%. Standar ini juga memungkinkan untuk identifikasi perangkat pada bus. Tabel 3.4 Berikut ini merupakan tabel dari 24 pin pada konektor GPIB.



Tabel 3.4 24 pin pada Konektor GPIB

24-Pin GPIB Bus PinOut [IEEE488 Pinout]					
Pin #	Signal Names	Signal Description	Pin #	Signal Names	Signal Description
1	DIO1	Data Input/Output Bit 1	13	DIO5	Data Input/Output Bit 5
2	DIO2	Data Input/Output Bit 2	14	DIO6	Data Input/Output Bit 6
3	DIO3	Data Input/Output Bit 3	15	DIO7	Data Input/Output Bit 7
4	DIO4	Data Input/Output Bit 4	16	DIO8	Data Input/Output Bit 8
5	EIO	End-Or-Identify	17	REN	Remote Enable
6	DAV	Data Valid	18	Shield	Ground (DAV)
7	NRFD	Not Ready For Data	19	Shield	Ground (NRFD)
8	NDAC	Not Data Accepted	20	Shield	Ground (NDAC)
9	IFC	Interface Clear	21	Shield	Ground (IFC)
10	SRQ	Service Request	22	Shield	Ground (SRQ)
11	ATN	Attention	23	Shield	Ground (ATN)
12	Shield	Chassis Ground	24	Single GND	Single Ground

**ATN**, *Attention* ; Ketika rendah (true) sistem tempat semua perangkat pada Command Mode, ketika tinggi (false) sistem tempat semua perangkat di Mode Data. Dalam Command Mode Controller melewati data ke perangkat, dalam Data Mode yang berbicara lewat data untuk Pendengar tersebut. Semua perangkat harus memantau garis ATN dan merespon dalam 200nS.

**EIO**, *End or Identify*; Menunjukkan transfer data terakhir dari urutan multi-byte atau digunakan oleh sistem pengendali untuk menunjukkan Poll Paralel ke perangkat (dalam bersama dengan baris ATN).

**IFC**, *Interface Clear*; Digunakan hanya oleh pengontrol sistem untuk menghentikan saat ini operasi. Menempatkan semua perangkat dalam keadaan siaga. Semua pembicara yang ditetapkan untuk Un-bicara dan semua Pendengar ditetapkan untuk Un-mendengarkan. Serial Poll dinonaktifkan. Semua perangkat akan memantau IFC, dan merespon dalam 100uS.

**REN**, *Remote Enable* ; Digunakan oleh pengontrol sistem untuk menempatkan perangkat dalam pemrograman modus. Semua Pendengar Remote mampu

ditetapkan untuk operasi remote (jika mereka ditujukan untuk Mendengarkan), ketika REN benar (rendah). Ketika rendah, perangkat diatur ke Lokal kontrol. Semua perangkat harus memantau garis REN, dan merespon dalam 100uS.

**SRQ**, *Service Request*; Permintaan Layanan; Digunakan oleh perangkat apapun untuk menunjukkan bahwa perangkat kebutuhan layanan.,Setiap perangkat dapat menggunakan baris ini. Biasanya digunakan sebagai jalur interrupt.Controller mungkin bertopeng baris ini, demi Polling. Garis SRQ akan dihapus oleh Poll Serial.

**DIO1 sampai DIO8**: *Data Input-Output bus; Bi-directional, Paralel Serial-Byte Bite*. Per data garis, bit serial, data ASCII dikirim sebagai data paralel. Standar data 7 bit ASCII. Tapi tidak ada format pengkodean didefinisikan dengan IEEE-488.

**NRFD**, *Not Ready For Data*: Merupakan bagian dari tiga *line handshake*. Digunakan untuk menunjukkan perangkat siap untuk data, aktif rendah.

**DAV**, *Data Valid*; Merupakan bagian dari tiga *line handshake*. Digunakan untuk menunjukkan data yang valid pada bus, aktif rendah.

**NDAC**, *Not Data Accepted Data Tidak Diterima*; Merupakan bagian dari tiga *line handshake*. . Digunakan untuk menunjukkan perangkat belum menerima data, aktif rendah

#### 3.4.2. Pengaturan alamat (*address*) GPIB

- Pengaturan alamat (*address*) pada perangkat bus GPIB 9518-01 di LCR HiTESTER dapat ditetapkan untuk setiap nomor 0-30.
- Untuk menetapkan alamat (*address*) perangkat digunakan alamat tombol (*switch*) di panel GPIB 9518-01.
- Biasanya setingan awal alamat (*address*) ini adalah 1, yang merupakan setingan awal dari pabrik.
- Bila alamat (*address*) ini diset ke no. 31, yaitu semua saklar dalam posisi ON, maka jalur *bus* dari LCR Hitester dinon-aktifkan.

Tabel 3.5 Pengaturan alamat melalui *switch*.

Alamat	Pengaturan Switch	Alamat	Pengaturan Switch	Alamat	Pengaturan Switch
	12345		12345		12345
0	00000	10	01010	20	00101
1	10000	11	11010	21	10101
2	01000	12	00110	22	01101
3	11000	13	10110	23	11101
4	00100	14	01110	24	00011
5	10100	15	11110	25	10011
6	01100	16	00001	26	01011
7	11100	17	10001	27	11011
8	00010	18	01001	28	00111
9	10010	19	11001	29	10111
		0: OFF	1: ON	30	01111

*Bus* GPIB adalah kabel dengan dua konektor 24-pin yang memungkinkan untuk menghubungkan beberapa perangkat satu sama lain. Bus dan konektor memiliki fitur-fitur dan keterbatasan, contohnya tingkat transfer data maksimum adalah terbatas, panjang kabel tidak boleh melebihi 20 meter. Ada dua jenis data yang dapat ditransfer melalui perangkat GPIB, yaitu Device-dependent dan Pesan antarmuka.

- **Pesan Device-dependent**

Sering disebut data atau pesan data, berisi informasi perangkat-spesifik, seperti instruksi pemrograman, pengukuran hasil, mesin status, dan file data.

- **Pesan Antarmuka**

Digunakan untuk mengelola bus, pesan antarmuka melakukan fungsi seperti menginisialisasi bus, menangani dan unaddressing perangkat, dan pengaturan mode perangkat untuk pemrograman jauh atau lokal.

Pesan atau perintah sebagaimana digunakan di sini tidak harus bingung dengan beberapa petunjuk perangkat, perintah khusus tersebut sebenarnya merupakan pesan data sistem antarmuka GPIB sendiri. Perangkat GPIB dapat terdiri dari pembicara, pendengar, dan atau Controller. Pembicara mengirimkan pesan data ke

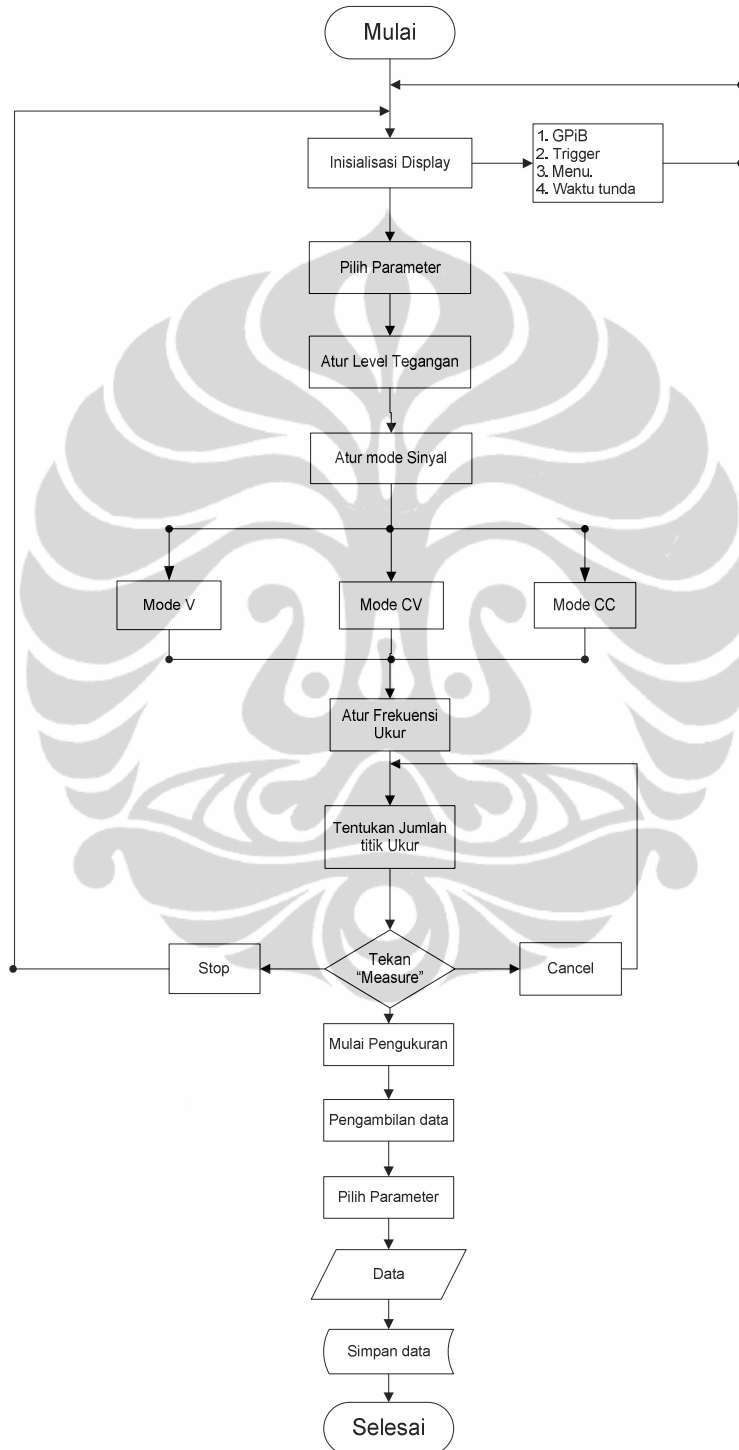
satu atau lebih Pendengar, yang menerima data. Controller mengelola arus informasi pada GPIB dengan mengirimkan perintah ke semua perangkat. Sebuah LCR meter, misalnya, adalah pembicara dan juga merupakan Pendengar. GPIB adalah seperti bus komputer biasa, kecuali bahwa komputer memiliki kartu sirkuit yang saling berhubungan melalui suatu backplane – GPIB memiliki perangkat yang berdiri sendiri interkoneksi oleh kabel standar.

Peran GPIB Controller sebanding dengan peran CPU komputer, tetapi analogi yang lebih baik adalah untuk membandingkan Controller ke pusat beralih dari sistem telepon kota. Pusat switching (Controller) memonitor jaringan komunikasi (GPIB). Ketika pusat (Controller) memberitahukan bahwa pesta (perangkat) ingin membuat panggilan (mengirim pesan data), menghubungkan pemanggil (pembicara) ke penerima (Listener). Controller biasanya mengaktifkan alamat pembicara dan pendengar, sebelum pembicara mengirim pesan kepada pendengar. Setelah pesan dikirim, Controller dapat alamat pembicara lain dan Pendengar.

Beberapa konfigurasi GPIB tidak memerlukan Controller. Sebagai contoh, sebuah perangkat yang selalu pembicara, disebut perangkat hanya bicara, terhubung ke satu atau lebih perangkat hanya mendengarkan. Sebuah Controller diperlukan saat aktif atau ditujukan pembicara atau Pendengar harus diubah. Fungsi Controller biasanya ditangani oleh komputer. Sebuah komputer dengan perangkat keras dan perangkat lunak yang sesuai bisa melakukan peran pembicara / Pendengar dan Controller.

### 3.5. Alur Program Akuisisi dan kontrol perangkat lunak

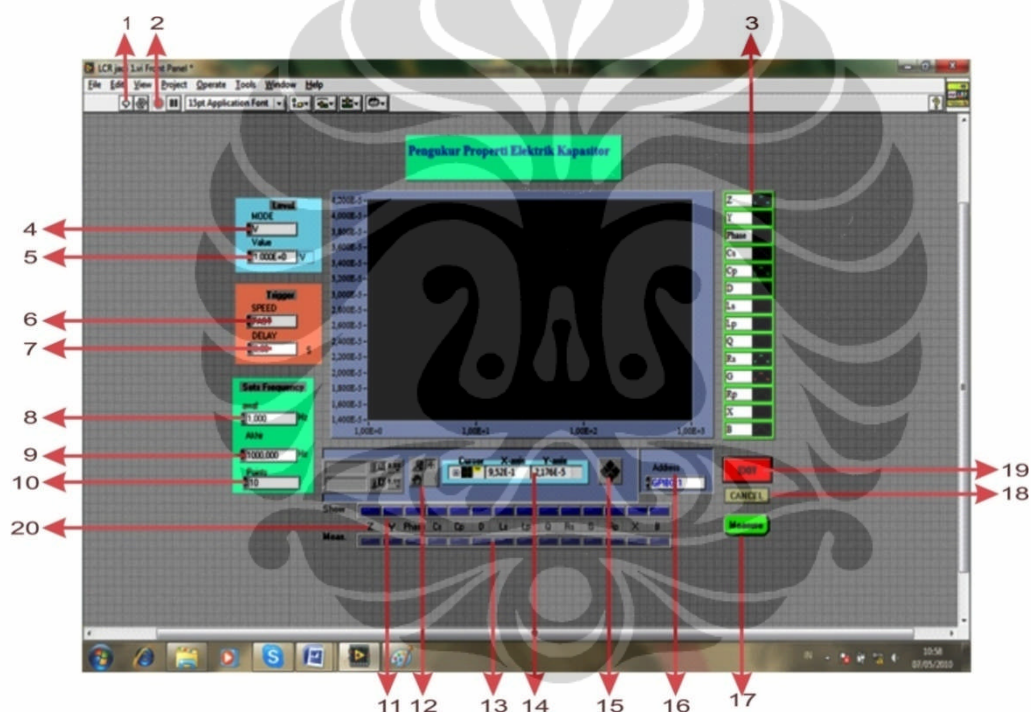
Alur Pemrograman merupakan bagian yang terpenting dalam merancang program sistem instrumentasi. Gambar 3. 11 merupakan diagram alir untuk sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik bahan.



Gambar 3.11 Diagram alir dari program akuisisi pengukur sifat elektrik bahan.

Alur pemrograman ini bertujuan untuk mengatur urutan dari rangkaian instruksi yang saling terkait satu dengan lainnya (membentuk alur proses) dan tersusun secara terstruktur sedemikian hingga apabila program tersebut dijalankan akan dapat menghasilkan output seperti yang diharapkan. Karena alur dan bentuk rangkaian instruksi itulah yang mewakili logika pemikiran dalam menyelesaikan masalah tersebut dan karena alur pemikiran tersebut ditulis dalam bentuk yang terstruktur sedemikian hingga mudah untuk diimplementasikan menjadi sebuah program melalui bahasa pemrograman.

Gambar 3.12 dibawah ini merupakan tampilan menu dari pengembangan sistem pengukuran sifat elektrik pada penelitian kali ini.



Gambar 3.12 Tampilan menu dari *control panel* program pengukuran sifat elektrik yang dikembangkan dengan program perangkat lunak *LabVIEW*.

Keterangan:

1. Memulai/mengeksekusi program aplikasi.
2. Membatalkan program aplikasi.
3. Mengatur bentuk gelombang, warna gelombang dan lainnya.
4. Mengatur mode level sinyal uji ukur (V / CV / CC).
5. Menentukan nilai untuk mode level sinyal uji ukur.
6. Mengatur kecepatan pengujian.

7. Mengatur waktu tunda (*delay*) dari *triger*.
8. Menentukan nilai mulai frekuensi uji ukur.
9. Menentukan nilai akhir frekuensi uji ukur.
10. Menentukan titik pengukuran, nilai jangkauannya 1-1000 *point*.
11. Perubahan grafik tampilan (pembesaran dan sebagainya).
12. Memilih parameter yang diukur untuk ditampilkan pada grafik.
13. Mengatur/memilih parameter ukur sesuai dengan menu LCR HIOKI.
14. Menentukan jenis kursor, dan seterusnya.
15. Mengatur gerak kursor.
16. Mengatur jenis komunikasi. Untuk GPIB, perlu seting alamat GPIB.
17. Mulai pengukuran. Semua tombol tidak valid kecuali tombol CANCEL ketika mengukur.
18. Membatalkan Pengukuran
19. Keluar dari program aplikasi
20. Parameter ukur

Parameter yang akan diuji adalah sebagai berikut :

**Z**: Impedansi, **Y**: Admitans, **( $\theta$ )**: Fase sudut, **Cs**: Kapasitansi seri,  
**Cp** : Kapasitansi paralel, **D**: Rugi koefisien (*Loss Coefficien*),  
**Ls**: Induktansi seri, **Lp**: induktansi Paralel, **Q**: Faktor kualitas,  
**Rs**: Resistansi seri, **G**: Konduktansi, **Rp**: Resistansi paralel,  
**X**: Reaktansi, **B**: Kerentanan (Supsestansi).

Penggunaan perangkat lunak *LabVIEW* digunakan untuk mengendalikan LCR HiTESTER 3522 yang masih dioperasikan manual dengan cara menyentuh layar pada alat (*touch screen*). Dengan perangkat lunak *LabVIEW* dapat digunakan untuk mengkonfigurasi komponen perangkat keras dalam hal ini LCR meter dengan sebuah Personal Komputer (PC), melalui perangkat penghubung GPIB, sehingga semua perintah dari LCR meter dapat dikendalikan melalui PC. Sehingga dengan konfigurasi ini dapat memberikan peningkatan fungsionalitas dan kualitas aplikasi, serta dapat meningkatkan unjuk kerja sistem instrumentasi

pengukuran sifat elektrik bahan/sampel. Pengembangan perangkat lunak *LabVIEW* dari *National Instruments* digunakan dalam penelitian ini untuk mengontrol program dari LCR HiTESTER HIOKI 3522, dan diharapkan tidak mengurangi fungsi dari alat tersebut. Selain perangkat lunak *LabVIEW*, *driver* khusus dari manufaktur HIOKI diperlukan untuk masing-masing pengendalian. Serangkaian perangkat lunak terprogramkan di dalam sebuah aplikasi memakai program *LabVIEW*, dan aplikasi rancangan tersebut disebut dengan *Virtual Instrument* (VI). Pengaturan aplikasi kontrol dalam *driver* HIOKI juga menggunakan pemrograman VISA. Biasanya sebuah aplikasi *LabVIEW* dikembangkan dengan menggunakan satu set *sub program* atau sub rutin yang disebut dengan *sub Vis*. VISA merupakan standar I/O untuk bahasa pemrograman instrumentasi. VISA dengan sendirinya tidak memberikan kemampuan instrumentasi pemrograman. VISA adalah sebuah *driver Application Programming Interface* (API) tingkat tinggi ke tingkat yang lebih rendah. Sebuah VISA merupakan antarmuka yang dilaksanakan oleh sebuah program perangkat lunak yang memungkinkan untuk berinteraksi dengan perangkat lunak lain. VISA mampu mengendalikan VXI, GPIB, atau instrumen-instrumen serial lainnya, dan membuat *driver* yang sesuai panggilan tergantung pada jenis instrumen yang digunakan. Salah satu keuntungan VISA adalah banyak menggunakan operasi yang sama untuk berkomunikasi dengan instrumen terlepas dari jenis antarmuka. Keuntungan lain VISA adalah sebuah bahasa pemrograman yang berorientasi pada objek, yang akan dengan mudah beradaptasi dengan antarmuka instrumentasi baru seperti yang dikembangkan di masa mendatang.

### **3.6. Perangkat lunak *LabVIEW* dan aplikasi dalam alat ukur LCR meter.**

Aplikasi perangkat lunak *LabVIEW* ini dimaksudkan untuk memudahkan pengoperasian LCR meter sehingga pengukuran dapat berlangsung cepat, akurat dan dapat memperoleh data yang bisa terekam dan dapat disimpan dalam bentuk file format *spreadsheet*. Sehingga sangat memudahkan pengguna untuk analisa dan menyimpan hasil pengukuran. *LabVIEW* merupakan bahasa pemrograman berbasis grafik untuk aplikasi instrumentasi, dimana di support tidak hanya oleh



*National Instrument* tetapi juga manufaktur lainnya. Sumber kode *LabVIEW* disajikan dalam jendela terpisah untuk menu depan, dalam bentuk blok diagram. Dalam tesis ini, pengembangan sistem instrumentasi dengan cara mengintegrasikan atau menghubungkan alat ukur LCR HIOKI 3522 dengan PC (*Personal Computer*), dimana untuk mewujudkan hal ini diperlukan *driver* dari manufaktur LCR HIOKI. *Driver* HIOKI ini menggunakan pemrograman VISA, yang dapat mengubah setting LCR HiTESTER 3522 serta dapat membaca data keluaran LCR HiTESTER 3522 melalui GPIB. Dalam merancang bangun sistem instrumentasi ini diperlukan prasyarat yaitu, pengguna (*User*) harus memiliki pengetahuan *LabVIEW*. Dari perpustakaan (*library*) *LabVIEW* berkaitan dengan *driver* HIOKI, diketahui bahwa sebuah sistem instrumentasi dapat dibangun dengan cara menghubungkan beberapa sifat *driver* program VISA yang digunakan untuk mengontrol sistem instrumentasi tersebut. Pengaturan *set/query*, diperlukan untuk memilih parameter yang tepat ketika melakukan pengaturan. Semua *driver* VISA yang terdapat pada LCR HIOKI 3522 mempunyai dua buah input dan dua buah output, dimana secara umum digambarkan seperti pada tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3.6. Karakteristik driver program VISA

Input	Letak
Sesi VISA	Kiri Atas
<i>Error in (No error)</i>	Kiri Bawah
Output	Letak
Duplicate sesi VISA	Kanan atas
<i>Error Out</i>	Kanan Bawah




Misalnya untuk pengaturan frekuensi (lihat Gambar 3.12), *driver* HIOKI yang merupakan program VISA adalah **HIOKI 3522 Frequency.Vi** dan dapat digambarkan sebagai berikut:



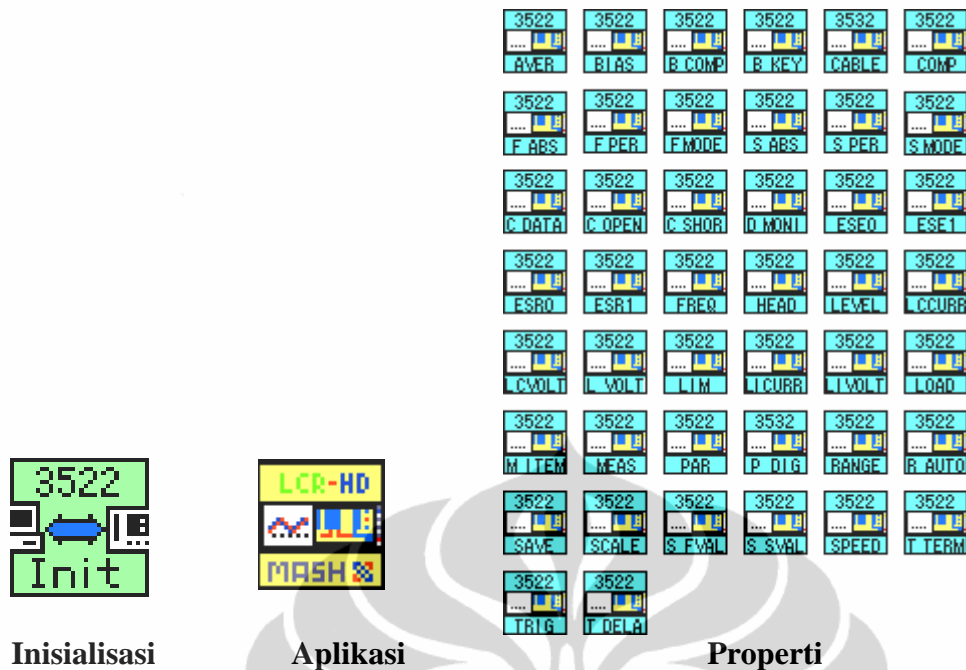
Gambar 3.13. Ilustrasi pengaturan frekuensi oleh *driver* HIOKI.

Untuk driver Hioki 3522 frequency.vi , pengaturan masukan dan keluarannya dapat dijelaskan pada tabel 3.7.

Tabel 3.7 Pengaturan jenis data pada driver HIOKI 3522 frequency.Vi

Nama	Jenis data	Penjelasan
Set/Query(F:Set)		Memilih pengaturan atau fungsi query Valid range: False(=set: Default), True(=Query)
<Data> Set		Menentukan frekuensi uji. Batas ukur : 0 - 100.0E+03
<Data>		Menyatakan hasil frekuensi uji

Gambar 3.14 menjelaskan *driver* HIOKI beserta sifatnya untuk membangun program aplikasi guna mengontrol alat ukur LCR Meter melalui Personal Komputer (PC) memanfaatkan perangkat lunak LabVIEW. Secara umum sistem instrumentasi yang dikembangkan ini dapat dijalankan bila sebuah program aplikasi dibuat dengan memanfaatkan sifat yang ada pada alat ukur LCR meter. Dengan catatan disini, untuk menghubungkan ke personal komputer diperlukan sebuah program inisialisasi, yang merupakan program untuk berkomunikasi dan mengatur konfigurasi dengan antarmuka (*interface*) perangkat GPIB.



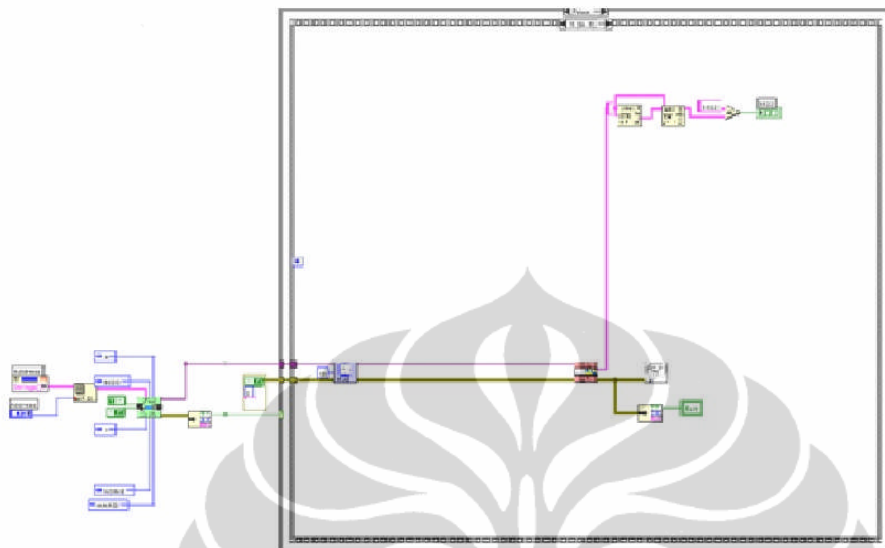
Gambar 3.14. Driver dan Properti sub Vi dari LCR HIOKI 3522.

Aplikasi perangkat lunak *LabVIEW* dalam program sistem pengukuran sifat elektrik sampel oleh alat ukur LCR Meter merk HIOKI secara garis besar dapat di kelompokkan sebagai berikut :

- Pengaturan inisialisasi
- Pengaturan level
- Pengaturan *trigger*
- Pengaturan frekuensi
- Pengaturan parameter uji ukur
- Pengaturan tampilan parameter uji
- Penyimpanan hasil pengukuran

Sumber kode *LabVIEW* disajikan dalam jendela terpisah untuk panel depan, yang biasa disebut disebut blok diagram. Sumber kode atau blok diagram untuk aplikasi relatif besar, oleh karena itu sangat penting untuk memperhatikan penggunaan sub VIs dalam aplikasi kontrol ini. Dengan adanya *driver* dari LCR HIOKI 3522, maka selanjutnya akan bisa dilakukan pengaturan inisialisasi memakai sub Vi program HIOKI3522 (nama file Initialize.vi), yaitu suatu proses berisikan

membuka sesi VISA, menginisialisasi antarmuka GPIB, mendefinisi alamat, kecepatan data dan data bits dari unit LCR HiTESTER 3522.



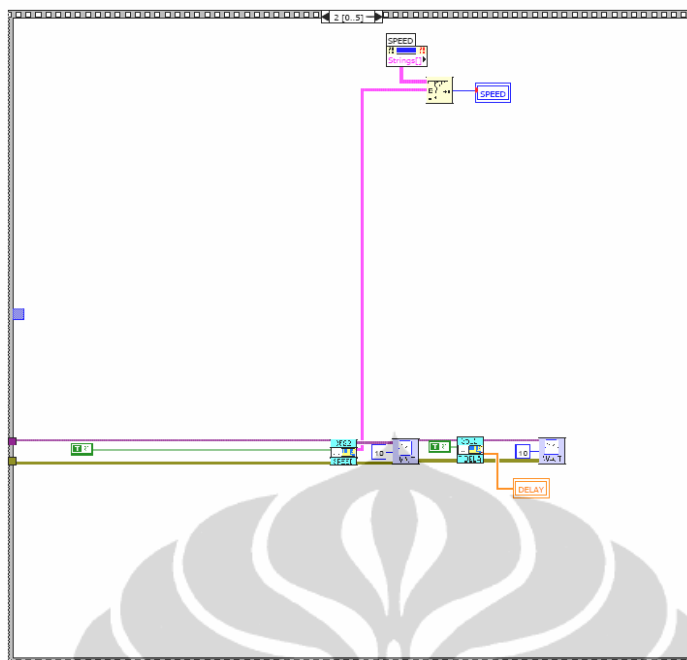
Gambar 3.15. Blok diagram untuk pengaturan inisialisasi GPIB.

Setelah inisialisasi GPIB selesai, *sub-diagram* masuk dalam struktur *case*, yang mana sesuai dengan nilai yang ada pada strukturnya, maka kemudian semua instruksi yang ada didalamnya akan di eksekusi. Di dalam struktur *case* terdapat beberapa struktur *sequence* bertumpuk yang berisi beberapa *sub-diagram*.

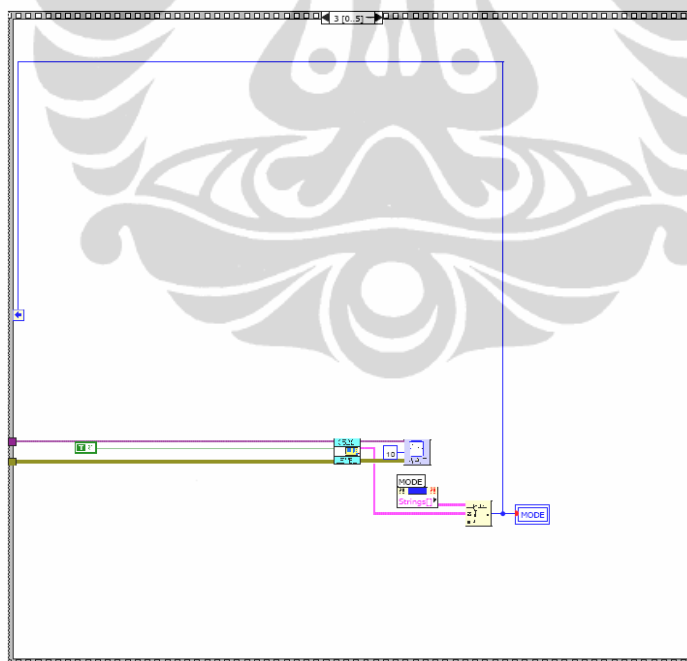
Struktur *sequence* bertumpuk (*stacked sequence structure*) terdiri dari satu atau lebih *sub-diagram*, yang melaksanakan pengekseskuan secara berurutan. Penggunaan struktur *sequence* bertumpuk (*stacked sequence structure*) adalah dengan tujuan untuk memastikan *sub-diagram* yang mengeksekusi sebelum atau setelah *sub-diagram* lain, serta untuk menghemat ruang pada blok diagram.

Pada Struktur *sequence* bertumpuk (*stacked sequence structure*) setelah inisialisasi GPIB, selanjutnya program akan mengeksekusi sesuai urutannya, seperti terlihat pada blok diagram pengaturan trigger, pengaturan parameter uji ukur, waktu tunda dan kecepatan ukur serta pemilihan mode pengukuran.





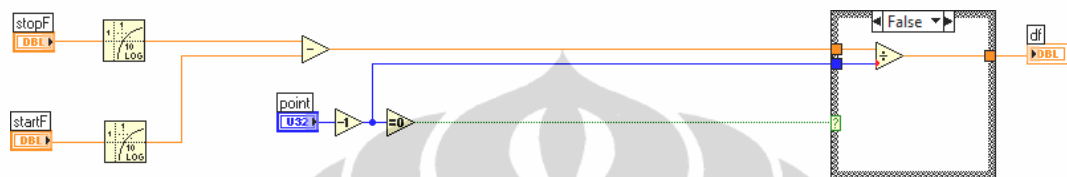
Gambar 3.18. Blok diagram untuk pengaturan waktu tunda dan kecepatan ukur.



Gambar 3.19. Blok diagram untuk pengaturan pemilihan mode pengukuran.

### 3.7. Pengaturan frekuensi

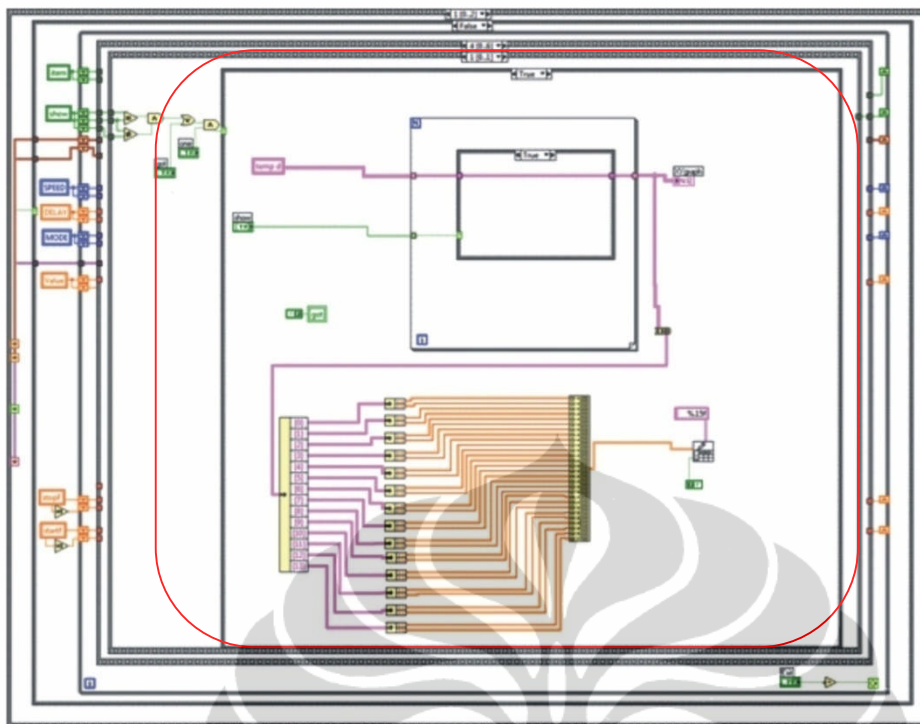
Digunakan untuk mengatur permintaan frekuensi yang akan digunakan untuk pengujian sampel. Yaitu dengan memasukkan nilai frekuensi awal pengukuran dan frekuensi akhir pengukuran, kenaikan frekuensi pengukuran bersifat logaritmis. Dalam pengujian sampel ini dapat ditentukan pula berapa titik pengukuran sesuai dengan yang diinginkan.



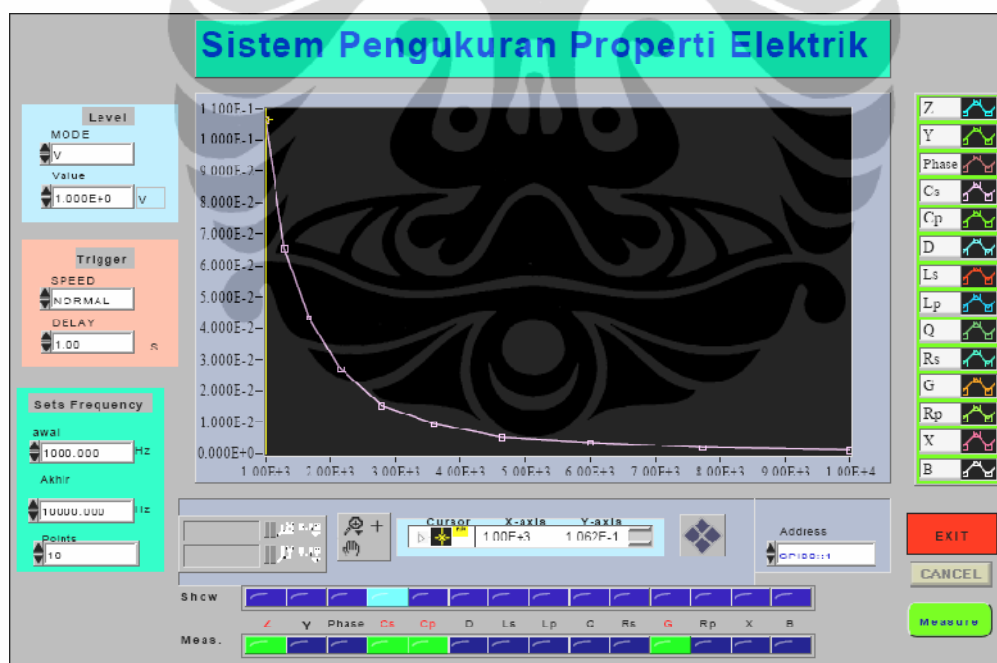
Gambar 3.20 Blok diagram pengaturan frekuensi.

### 3.8. Pengaturan penyimpanan data

Setelah pengaturan untuk pengujian sampel dilakukan, berikutnya dilakukan pengaturan pemilihan mode pengukuran, pengaturan parameter dan sebagainya (lihat Gambar 3.20). Sehingga setelah pengujian terhadap sampel selesai dilakukan, akan diperoleh hasil ukur sifat elektrik, yang bisa ditampilkan melalui menu depan dari program aplikasi (lihat Gambar 3.20.), untuk selanjutnya data hasil ukur tersebut disimpan dalam bentuk file format *spreadsheet*.



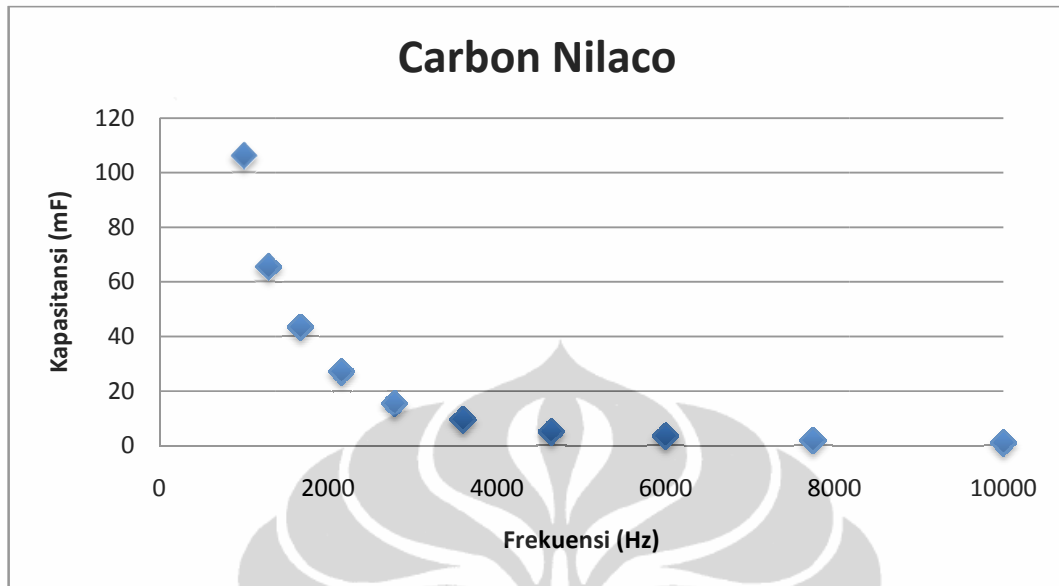
Gambar 3.21 Blok diagram pengaturan penyimpanan data.



Gambar 3.22 Tampilan hasil pengukuran nilai kapasitansi rangkaian seri.

Data pengukuran yang sudah disimpan dapat dibaca dan ditampilkan kembali dalam bentuk tabel dan grafik dengan menggunakan prosedur buka file. Pada penelitian ini, digunakan program tabel *EXCEL* untuk membuka file data pengukuran ini, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.23. dibawah ini.





Gambar 3.23 Tampilan hasil pengolahan data dari program *Excel*

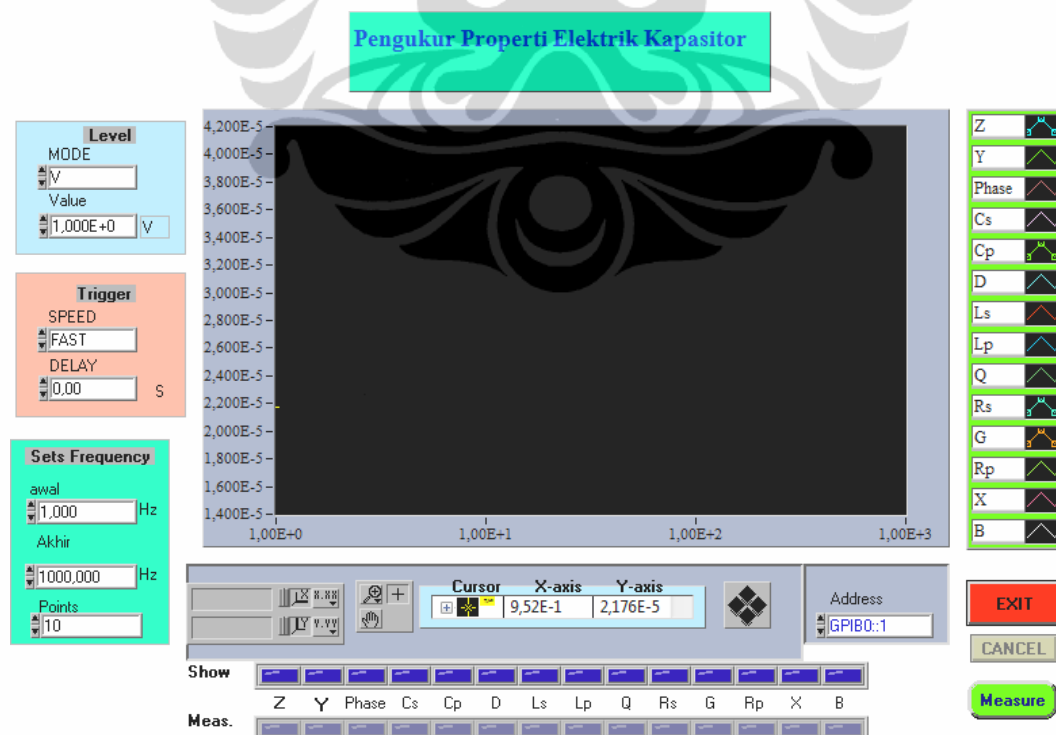
## BAB IV

### HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM INSTRUMENTASI PENGUKUR SIFAT ELEKTRIK

Pada penelitian kali ini, telah dilakukan suatu perancangan perangkat keras dan perangkat lunak sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik untuk sampel bahan kapasitor berbasis karbon. Uji pengukuran dilakukan terhadap semua parameter-parameter yang terdapat pada alat ukur LCR HITESTER HIOKI 3522 dengan menggunakan sampel karbon standar (keluaran *Nilaco Co.*). Untuk membandingkan pengujian secara manual dan komputer, digunakan bahan elektrolit kapasitor.

#### 4.1 Hasil Pengujian Parameter Uji

Pengujian ini dimulai dengan menguji semua parameter yang terdapat pada alat ukur LCR HITESTER HIOKI 3522 dengan menggunakan perangkat lunak *LabView 8.5*. Gambar 4.1 dibawah ini memperlihatkan tampilan dari sistem instrumentasi untuk mengukur sifat elektrik bahan yang dibuat pada penelitian ini.



Gambar 4.1. *Front panel* instrumentasi pengukur sifat elektrik bahan.

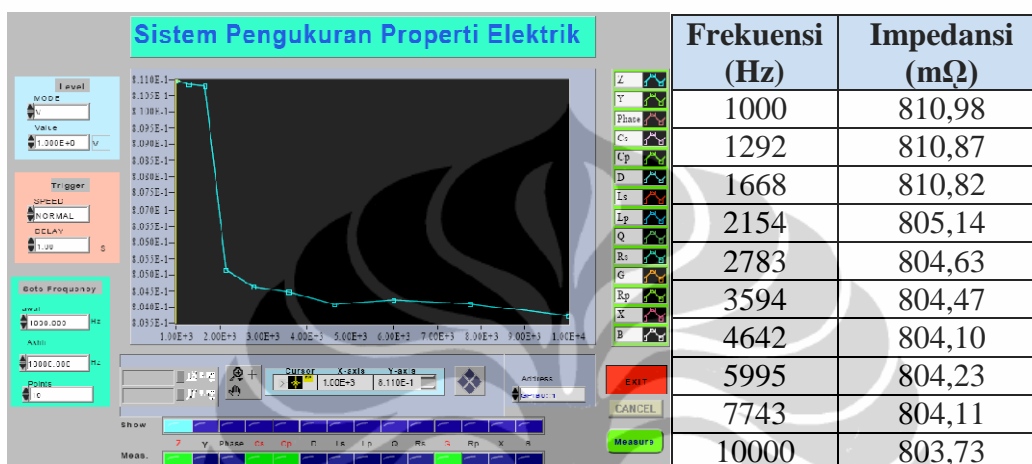
Melalui *Front panel* ini pengukuran sifat elektrik sampel kapasitor dapat dikendalikan penuh. Pengendalian tersebut mulai dari pengaturan level, pengaturan *trigger* dan pengaturan frekuensi yang diinginkan. Pengaturan format sumbu X dan sumbu Y adalah mengacu kepada standart *LabView* 8.5, yaitu dapat menggunakan format desimal, *scientific*, *engineering*, *binary* dan *hexadesimal*. Bentuk grafik juga dapat dipilih sesuai dengan standart yang ada pada perangkat lunak *LabView*. Pengujian menggunakan perangkat lunak ini diawali dengan pengaturan level, yang meliputi pengaturan mode tegangan (*Voltage* : V) dengan nilai setingan 1 *Volt*.

Pada tahapan pertama, seperti dijelaskan pada paragraf diatas, dilakukan pengujian sistem instrumentasi terhadap parameter uji yang terdapat pada alat ukur LCR HIOKI 3522. Sebagai hasilnya, semua paramater uji dapat berfungsi dengan baik dan dapat ditampilkan sesuai dengan parameter yang dipilih. Pada prinsipnya, sistem instrumentasi ini dapat melakukan 4 (empat) pengukuran parameter uji secara bersama atau simultan. Selanjutnya, hasil pengukuran dapat ditampilkan dan disimpan dalam bentuk file tabel (*spreadsheet*), sehingga sangat memudahkan bagi pengguna (*user*) untuk menganalisa hasil pengujian dengan program-program sejenis lainnya.

Untuk pengujian tampilan instrumen, digunakan sampel karbon glassy buatan *Nilaco Co.*, yang merupakan bahan karbon standar. Mengapa dipilih bahan karbon, sebagai alasannya adalah disamping harganya murah, karena karbon dalam bentuk grafit memiliki sifat sebagai konduktor yang baik dan unggul. Secara teori ilmu fisika dan kelistrikan, dikatakan bahwa sebuah konduktor adalah suatu bahan yang mengandung muatan listrik yang bergerak. Semua konduktor mengandung muatan listrik yang akan bergerak saat terjadi perbedaan potensial listrik yang diukur dalam satuan *Volt*, dan potensial tersebut diterapkan di seluruh titik terpisah pada bahan tersebut. Oleh karena itu, terkait dengan sifat konduktor ini, maka bahan karbon sangat memungkinkan untuk diaplikasikan sebagai bahan dielektrik pada pembuatan kapasitor dalam rangka untuk meningkatkan nilai kapasitansinya. Salah satu sifat utama dari kapasitor adalah mampu menerima tegangan sampai ribuan *Volt* pada rangkaian frekuensi tinggi. Dimana kapasitor untuk frekuensi tinggi, elektron- elektron harus mengisi plat-plat logam dan

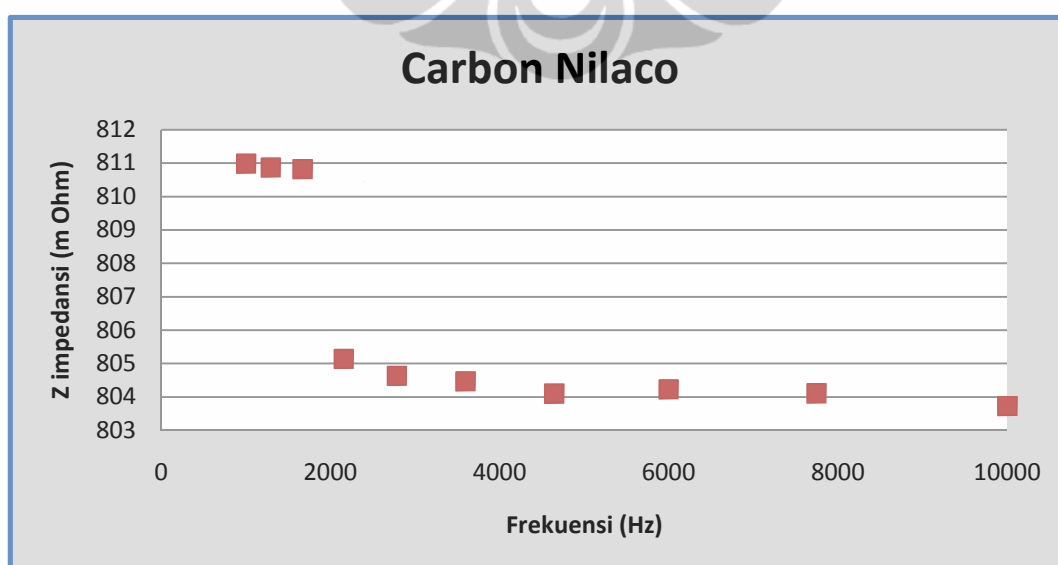
mengisi dielektriknya. Pada saat arus berubah arah alirannya, elektron–elektron harus meningkatkan dielektrikum. Berikut ini adalah beberapa tampilan parameter uji dan hasil pengukuran dalam bentuk tabel yang dilakukan untuk menguji sistem instrumentasi yang telah dibuat.

#### 4.1.1 Pengukuran Impedansi (Z)



Gambar 4.2. Tampilan pengukuran Impedansi dan hasilnya dalam bentuk *file spreadsheet*.

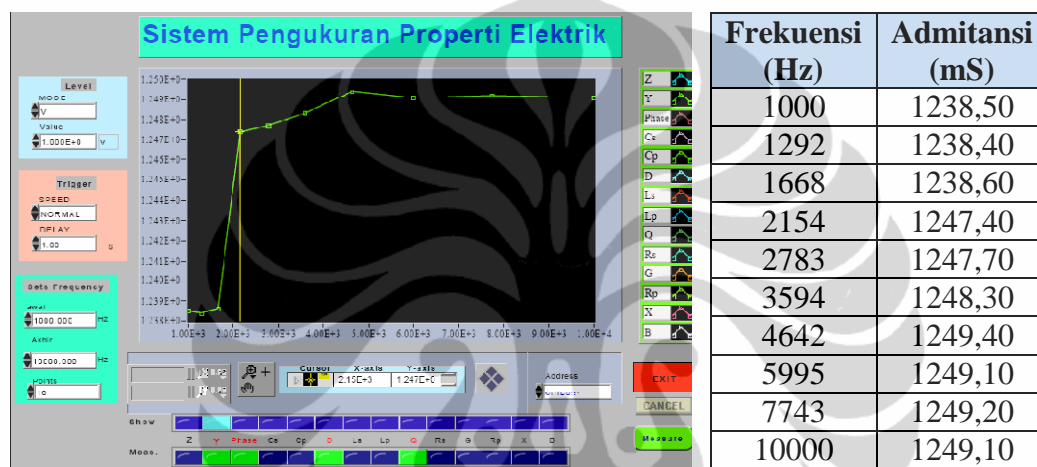
Hasil dari pengukuran yang disimpan dalam bentuk *file spreadsheet* selanjutnya dianalisa dengan program *Microsoft Excel* dan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



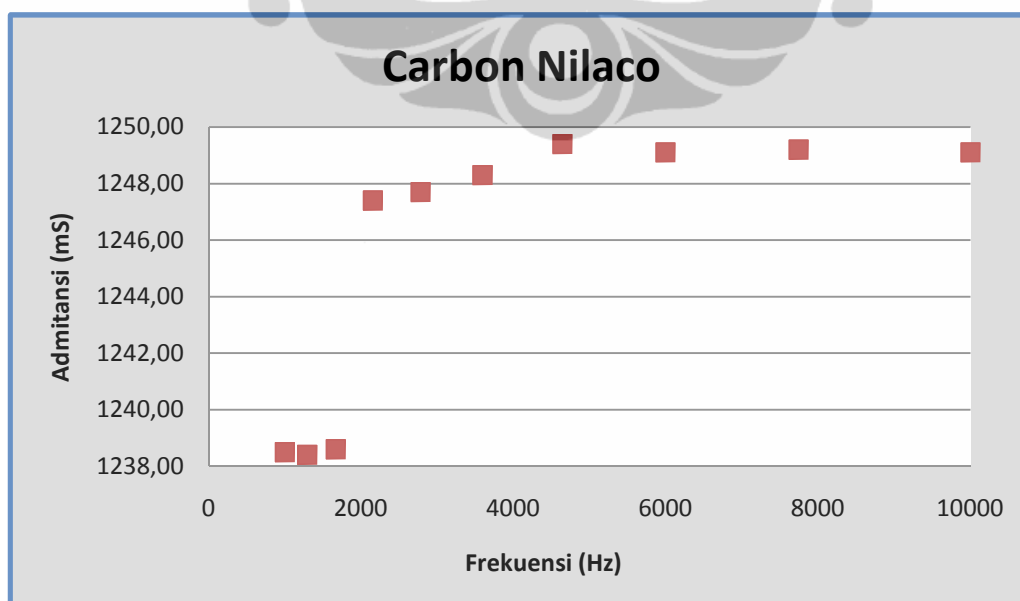
Gambar 4.3. Grafik hasil pengukuran Impedansi.

Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran impedansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*. Nilai impedansi dari bahan karbon nilaco mengalami penurunan dengan adanya kenaikan perubahan frekuensi, hal ini disebabkan sifat dari karbon nilaco yang bersifat kapasitif.

#### 4.1.2 Pengukuran Admitansi (Y)



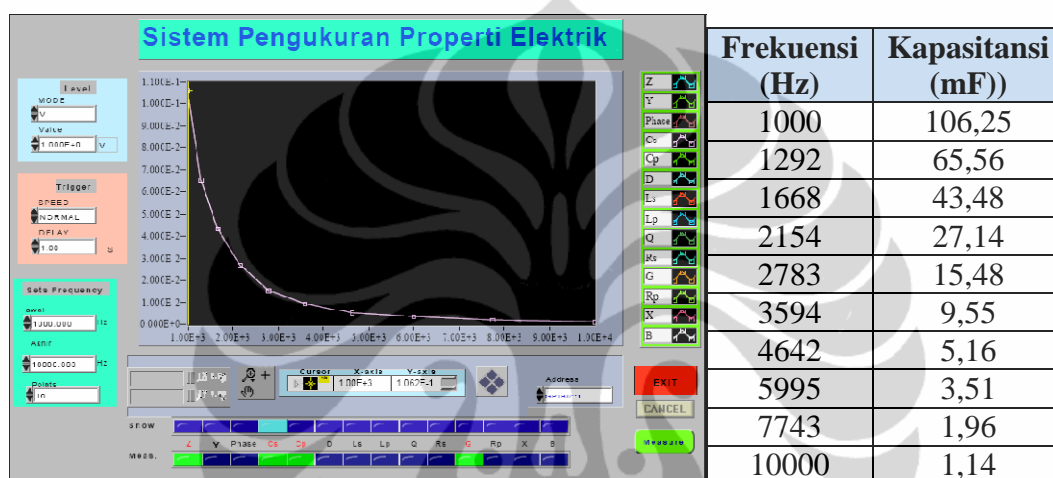
Gambar 4.4. Tampilan pengukuran Admitansi (Y) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk *file spreadsheet*.



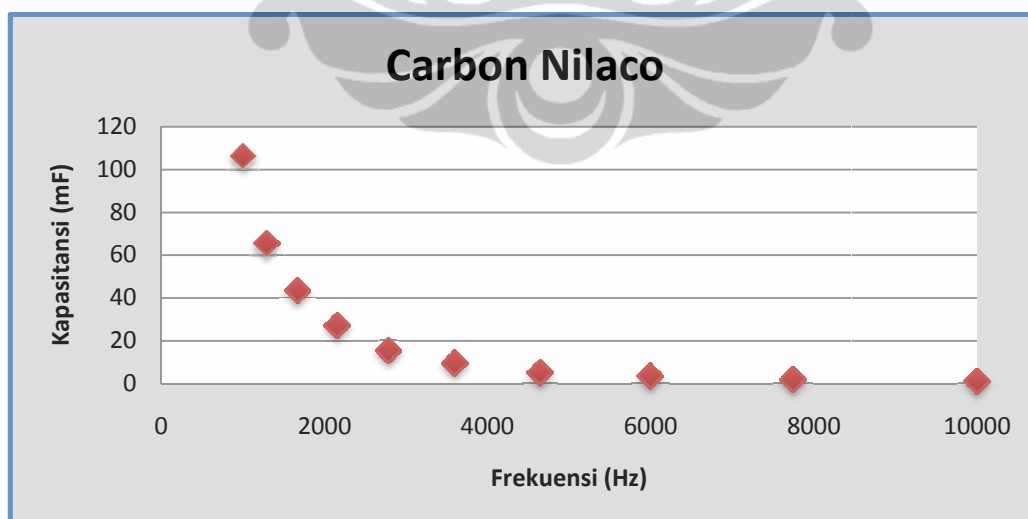
Gambar 4.5. Grafik hasil pengukuran Admitansi (Y).

Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran admitansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*. Nilai Admitansi merupakan kebalikan Impedansi, Nilai admitansi bahan karbon nilaco mengalami kenaikan dengan adanya kenaikan perubahan frekuensi.

#### 4.1.3 Pengukuran Kapasitansi (C)



Gambar 4.6. Tampilan pengukuran Kapasitansi (C) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk *file spreadsheet*.

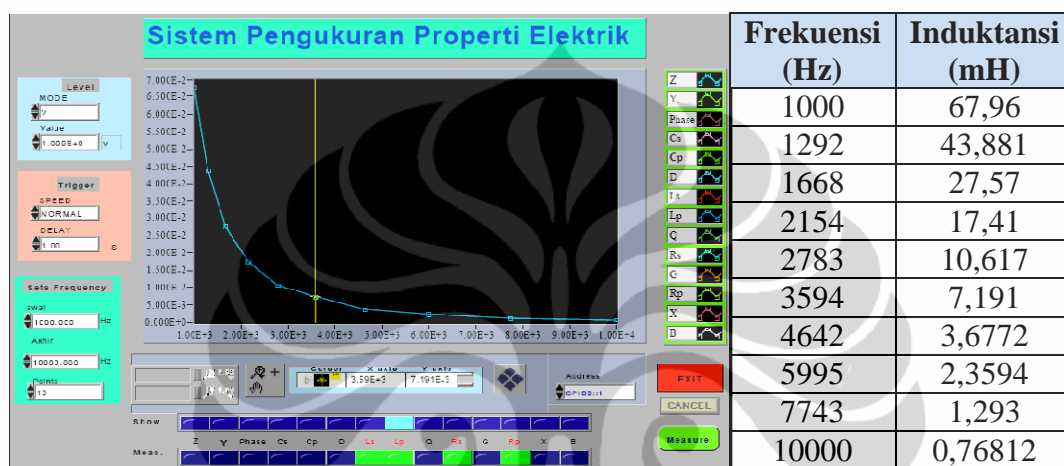


Gambar 4.7. Grafik hasil pengukuran Kapasitansi (C).

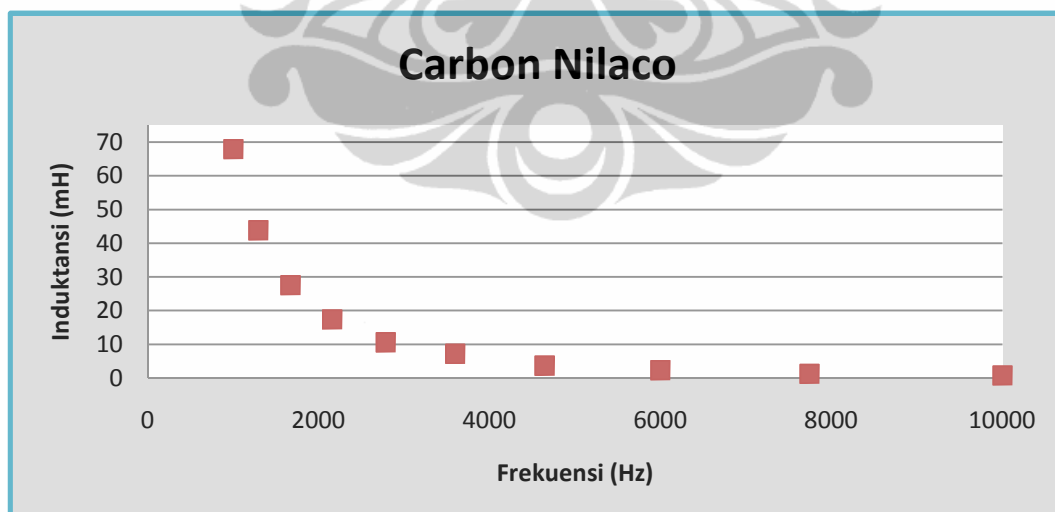
Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran Kapasitansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai

dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*. Nilai Kapasitansi bahan karbon nilaco mengalami penurunan dengan adanya kenaikan perubahan frekuensi. Hal ini disebabkan bahan karbon nilaco pada saat diberikan tegangan dan arus bolak-balik bersifat kapasitif.

#### 4.1.4 Pengukuran Induktansi (L)



Gambar 4.8. Tampilan pengukuran Induktansi (L) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk *file spreadsheet*.

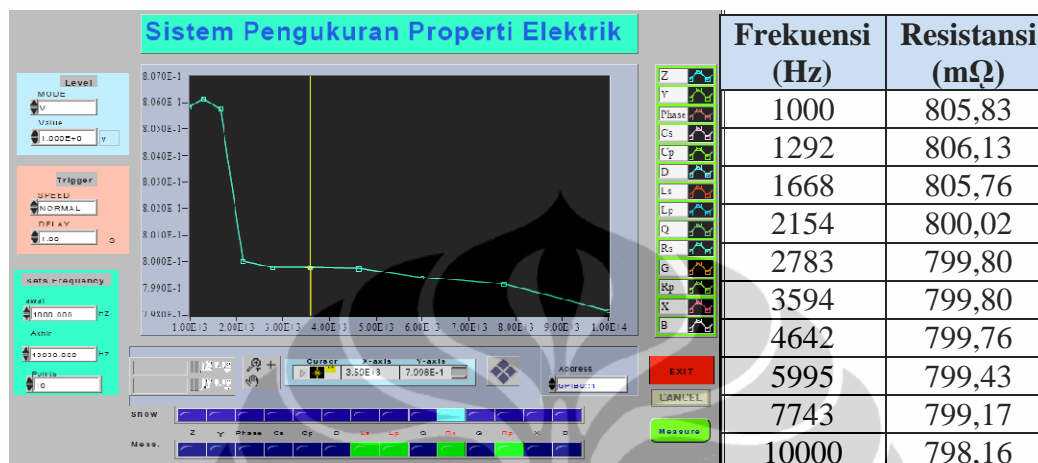


Gambar 4.9. Grafik hasil pengukuran Induktansi (L).

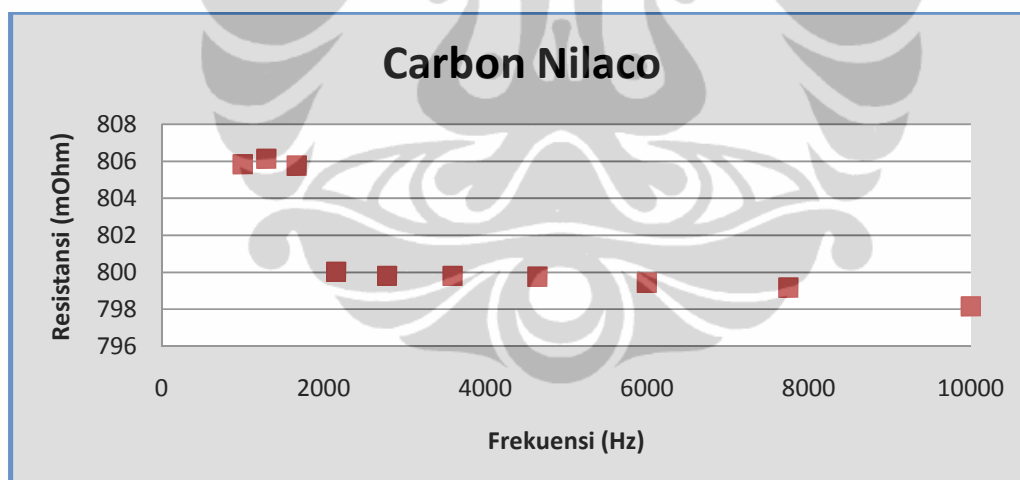
Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran Induktansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai

dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*.

#### 4.1.5 Pengukuran Resistansi (R)



Gambar 4.10. Tampilan pengukuran Resistansi (R) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk *file spreadsheet*.

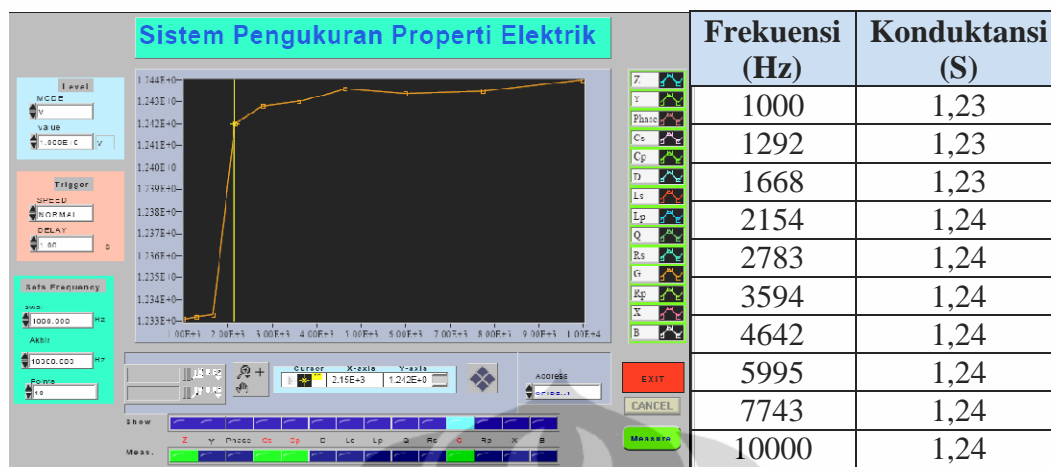


Gambar 4.11. Grafik hasil pengukuran Resistansi (R).

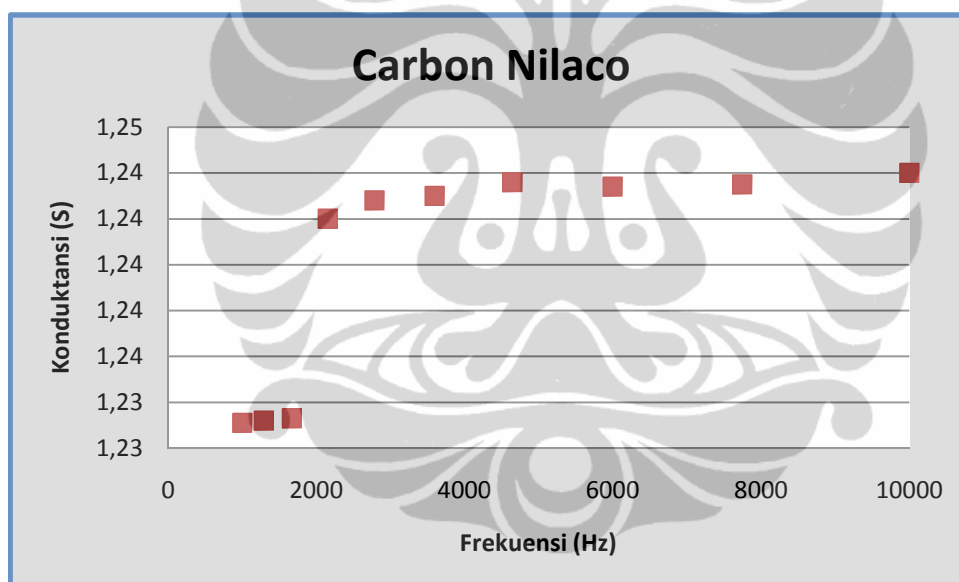
Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran Resistansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*.



#### 4.1.6 Pengukuran Konduktansi (G)



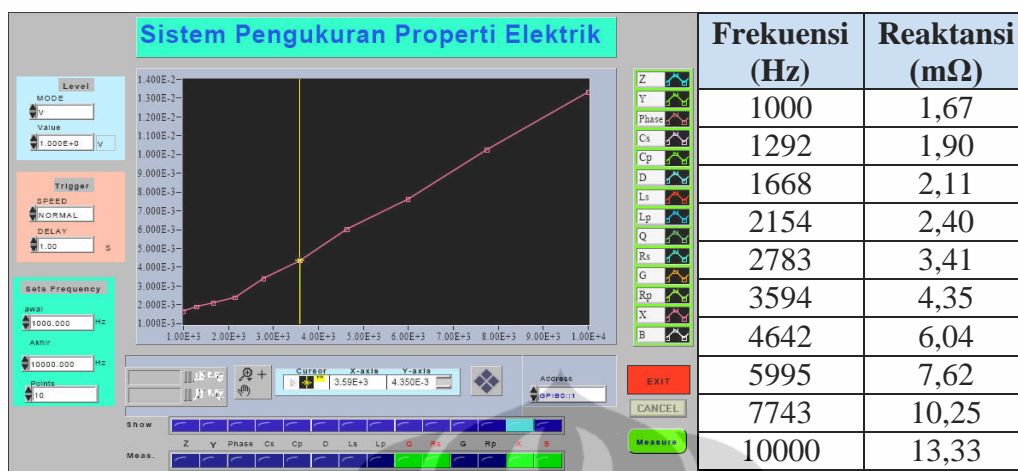
Gambar 4.12. Tampilan pengukuran Konduktansi (G) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk *file spreadsheet*.



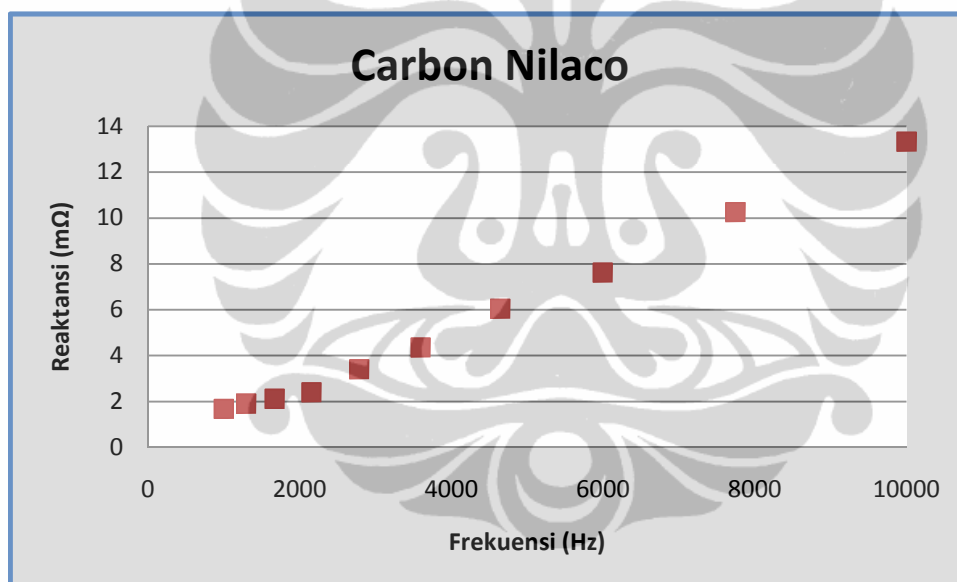
Gambar 4.13. Grafik hasil pengukuran Konduktansi (G).

Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran Konduktansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*.

#### 4.1.7 Pengukuran Reaktansi (X)



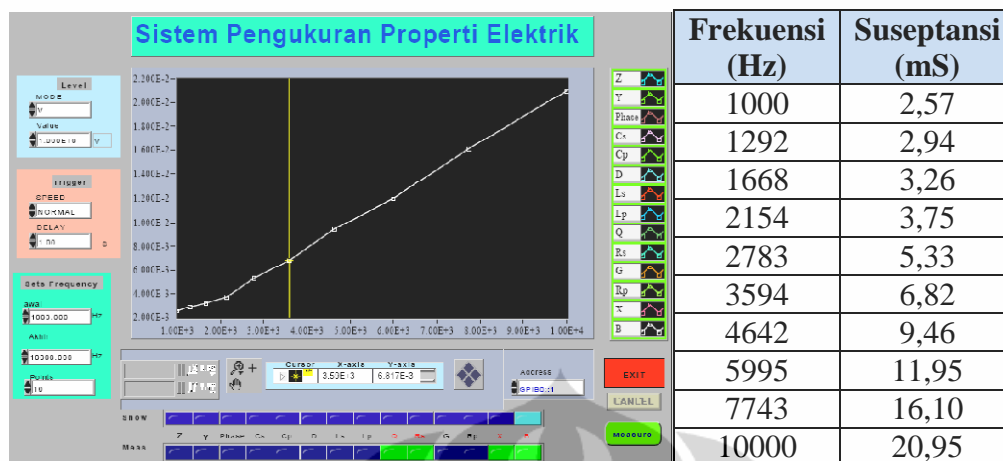
Gambar 4.14. Tampilan pengukuran Reaktansi (X) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk *file spreadsheet*.



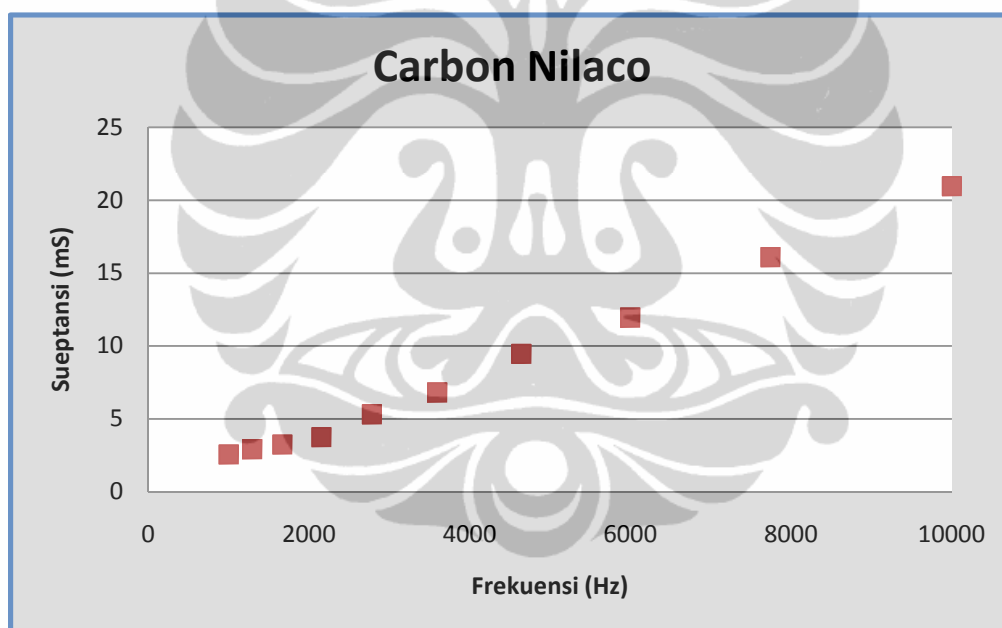
Gambar 4.15. Grafik hasil pengukuran Reaktansi (X).

Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran Reaktansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*.

#### 4.1.8 Pengukuran Suseptansi (B)



Gambar 4.16. Tampilan pengukuran Suseptansi (B) dan tabel hasil pengukurannya dalam bentuk *file spreadsheet*.



Gambar 4.17. Grafik hasil pengukuran Suseptansi (B).

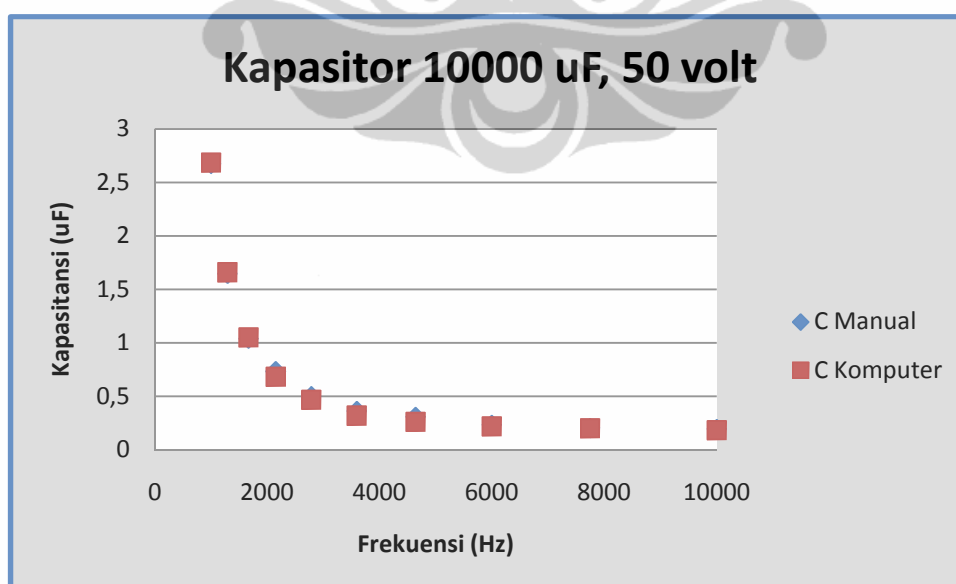
Dari hasil pengujian tampilan untuk pengukuran Suseptansi dari bahan karbon nilaco ini sistem instrumentasi dapat berfungsi dengan baik, hal ini ditandai dengan adanya data yang dapat ditampilkan dalam sistem instrumentasi dan data yang diukur dapat disimpan dalam *file spreadsheet*.

## 4.2. Hasil Pengujian Kapasitor

Pengujian ini menggunakan mode V dengan nilai 1 Volt, kecepatan ukur normal, waktu tunda (*delay time*) 1 detik dengan rentang frekuensi 1 kHz - 10 kHz. Pengujian ini dilakukan terhadap Kapasitor yang sudah jadi yaitu elektrolit kapasitor (Elco) untuk membandingkan pengukuran parameter uji secara manual dengan pengukuran parameter uji secara otomatis menggunakan program di dalam sebuah personal komputer. Pengujian yang dimaksudkan disini adalah dilakukan hanya untuk menguji nilai kapasitansinya (C).

Tabel 4.1 Pengujian nilai kapasitansi kapasitor berukuran 10000 uF , 50 V.

Frekuensi (Hz)	C Manual (uF)	C Komputer (uF)	Koreksi
1000	2,674	2,685	0,012
1291	1,645	1,660	0,015
1668	1,038	1,052	0,013
2154	0,732	0,684	0,048
2783	0,499	0,469	0,030
3594	0,361	0,320	0,041
4642	0,309	0,261	0,048
5995	0,235	0,220	0,015
7743	0,204	0,202	0,002
10000	0,195	0,183	0,012
Rata-rata Koreksi			<b>0,024</b>

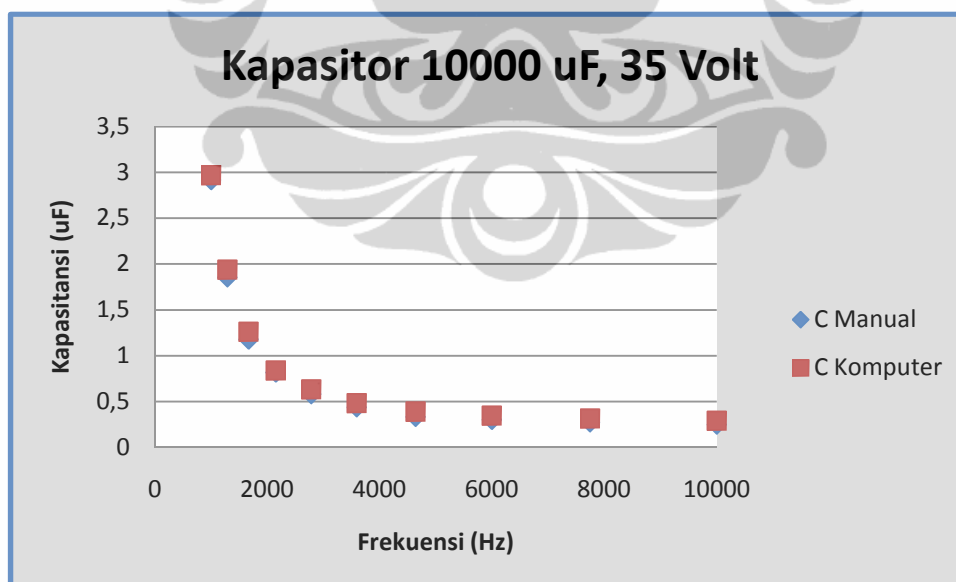


Gambar 4.18 Perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan frekuensi.

Dari hasil pengujian nilai kapasitansi pada kapasitor 10000 uF , 50 Volt yang dilakukan secara manual maupun dengan komputer, hasil pengukuran mempunyai perbedaan yang tidak terlalu signifikan dan mempunyai rata-rata koreksi sebesar 0,024. Dan masih dalam batas toleransi dari LCR meter Hioki yaitu 10 %, Artinya sistem instrumentasi ini dapat bekerja dengan baik.

Tabel 4.2 Pengujian nilai kapasitansi kapasitor 10000 uF , 35 V.

Frekuensi (Hz)	C Manual (uF)	C Komputer (uF)	Koreksi
1000	2,914	2,970	0,056
1291	1,856	1,939	0,083
1668	1,176	1,260	0,085
2154	0,819	0,839	0,020
2783	0,580	0,634	0,054
3594	0,437	0,483	0,046
4642	0,334	0,390	0,057
5995	0,300	0,346	0,046
7743	0,274	0,316	0,042
10000	0,248	0,291	0,043
Rata-rata Koreksi			<b>0,053</b>



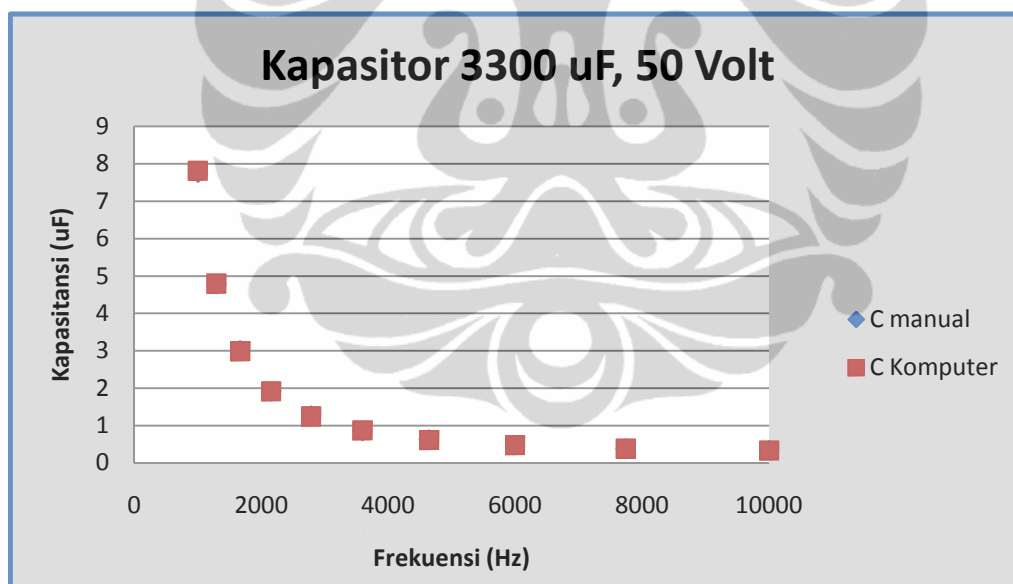
Gambar 4.19 Perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan frekuensi.

Dari hasil pengujian nilai kapasitansi pada kapasitor 10000 uF , 35 Volt yang dilakukan secara manual maupun dengan komputer, hasil pengukuran mempunyai

perbedaan yang tidak terlalu signifikan dan mempunyai rata-rata koreksi sebesar 0,053. Dan masih dalam batas toleransi dari LCR meter Hioki yaitu 10 %, Artinya sistem instrumentasi ini dapat bekerja dengan baik.

Tabel 4.3 Pengujian nilai Kapasitansi Kapasitor 3300 uF , 50 V.

Frekuensi (Hz)	C Manual (uF)	C Komputer (uF)	Koreksi
1000	7,755	7,808	0,053
1291	4,782	4,795	0,013
1668	3,009	2,989	0,019
2154	1,920	1,918	0,002
2783	1,264	1,246	0,018
3594	0,858	0,875	0,017
4642	0,632	0,619	0,013
5995	0,479	0,482	0,003
7743	0,396	0,383	0,013
10000	0,340	0,333	0,007
Rata-rata Koreksi			<b>0,016</b>



Gambar 4.20 Perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan frekuensi.

Dari hasil pengujian nilai kapasitansi pada kapasitor 3300 uF , 50 Volt yang dilakukan secara manual maupun dengan komputer, hasil pengukuran mempunyai perbedaan yang tidak terlalu signifikan dan mempunyai rata-rata koreksi sebesar 0,016. Dan masih dalam batas toleransi dari LCR meter Hioki yaitu 10 %, Artinya sistem instrumentasi ini dapat bekerja dengan baik.

Dari ketiga pengukuran terhadap kapasitor elektrolit diatas didapatkan rata-rata koreksi hasil pengukuran sebesar 0,031 atau 3,1%. Sehingga sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik ini dapat berfungsi sebagai alat ukur sifat elektrik bahan yang cepat, tepat, akurat dan dapat digunakan sebagai instrumen untuk mendukung penelitian dan pengembangan ilmu bahan.

### 4.3. Hasil Pengujian Sampel Bahan Karbon

Pengujian ini dimaksudkan untuk menguji efek dari konsentrasi karbon terhadap sifat elektrik bahan komposit  $Fe_xC_{1-x}$ . Pada bab ini dibahas tentang tentang efek konsentrasi karbon terhadap sifat elektrik bahan komposit  $Fe_xC_{1-x}$ . Bahan komposit  $Fe_x-C_{1-x}$  dibuat dari campuran serbuk Fe dan serbuk karbon, dengan rasio komposisi Fe dan C adalah 20 : 80 (FeC1); 30 : 70 (FeC2) ; 40 : 60 (FeC3); 50 : 50 (FeC4); 60 : 40 (FeC5) dan 70 : 30 (FeC6), dengan berat total campuran adalah 20 gram. Campuran masing-masing bahan komposit ini diproses miling selama 4,5 jam, setelah itu dikompaksi berbentuk pelet dengan tekanan 5000 psi. Pelet yang terbentuk kemudian diukur sifat elektriknya menggunakan sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik yang telah dibuat.

Dari pengukuran sifat elektrik menggunakan sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik diperoleh kapasitansi (C) bahan komposit  $Fe_xC_{1-x}$  terhadap perubahan parameter frekuensi (f) yang divariasikan secara berurutan dari 1 Hz - 100 kHz. Tegangan (V) saat pengukuran adalah 1 Volt. Nilai hasil pengukuran Kapasitansi diperlihatkan pada Tabel 4.4 di bawah ini.

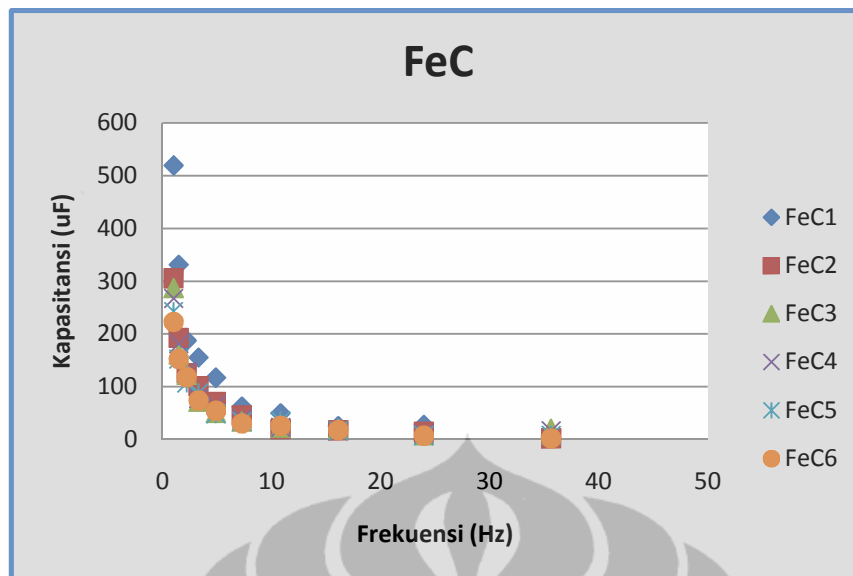
Dari hasil pengukuran nilai kapasitansi diperlihatkan pada Gambar 4.21 diketahui bahwa nilai kapasitansi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan nilai frekuensi. dan dilihat pada nilai frekuensi yang sama terlihat bahwa nilai kapasitansi meningkat seiring dengan meningkatnya rasio kandungan karbon di dalam bahan komposit Fe-C tersebut.

Tabel 4.4. Hasil pengukuran kapasitansi (C) bahan komposit  $Fe_xC_{1-x}$  pada berbagai frekuensi (f) dengan sistem pengukuran sifat elektrik otomatis.

Frekuensi (Hz)	FeC1 (uF)	FeC2 (uF)	FeC3 (uF)	FeC4 (uF)	FeC5 (uF)	FeC6 (uF)
1,00	518,92	305,43	286,59	267,22	242,88	222,54
1,49	331,45	192,23	161,24	181,79	152,3	152,74
2,21	187,31	125,98	122,44	128,94	106,86	118,11
3,29	155,46	101,12	71,744	77,778	88,452	73,812
4,89	117	71,283	50,369	65,147	49,063	54,419
7,28	62,77	45,40	33,86	39,30	34,11	30,41
10,83	49,73	19,57	22,73	23,21	35,04	25,94
16,10	25,69	17,45	20,31	16,67	16,55	17,65
23,95	27,94	14,54	8,14	10,46	7,61	7,24
35,62	6,77	2,34	20,72	16,42	8,17	2,04
52,98	7,04	2,26	5,24	9,88	1,19	1,50
78,80	5,50	1,46	1,54	1,31	0,89	1,13
117,21	1,54	0,80	0,39	1,37	3,82	0,34
174,33	1,47	0,39	1,85	2,62	0,83	0,40
259,29	1,36	1,61	0,37	0,55	0,29	2,14
385,66	1,67	1,77	2,05	0,90	0,98	0,30
573,62	0,50	0,42	0,93	3,52	2,14	0,29
853,17	0,12	0,12	0,17	0,12	0,16	0,14
1268,96	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,07
1887,39	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
2807,22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4175,32	6,41E-03	5,64E-03	6,31E-03	5,07E-03	5,04E-03	6,17E-03
6210,17	2,68E-03	2,51E-03	2,65E-03	2,33E-03	2,38E-03	2,83E-03
9236,71	1,13E-03	1,12E-03	1,09E-03	1,00E-03	1,03E-03	1,19E-03
13738,24	4,94E-04	4,76E-04	4,97E-04	4,47E-04	4,57E-04	5,12E-04
20433,60	2,15E-04	2,12E-04	2,17E-04	1,97E-04	2,00E-04	2,29E-04
30391,95	9,39E-05	9,36E-05	9,71E-05	8,61E-05	8,98E-05	1,00E-04
45203,54	4,23E-05	4,15E-05	4,34E-05	3,88E-05	4,02E-05	4,48E-05
67233,58	1,91E-05	1,87E-05	1,93E-05	1,75E-05	1,81E-05	2,02E-05
100000,00	8,56E-06	8,45E-06	8,75E-06	7,89E-06	8,18E-06	9,15E-06

Seperti diperlihatkan pada Gambar 4.21 maka disini diketahui bahwa dengan semakin tinggi frekuensi maka nilai kapasitansi bahan komposit  $Fe_xC_{1-x}$  juga mengalami perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitansi bahan merupakan fungsi dari frekuensi. Semakin besar konsentrasi (%) berat karbon dalam bahan komposit  $Fe_xC_{1-x}$  maka nilai kapasitansi bahan juga berubah.





Gambar 4.21 Hubungan antara nilai kapasitansi (C) dan perubahan frekuensi (f) pada berbagai rasio komposit  $\text{Fe}_x\text{C}_{1-x}$ .

Hasil pengukuran dengan sistem instrumentasi pengukur sifat elektrik yang telah dibuat menunjukkan bahwa nilai kapasitansi semakin tinggi seiring dengan naiknya konsentrasi berat karbon dalam campuran komposit  $\text{Fe}_x\text{C}_{1-x}$ . Semakin besar kandungan C dalam dalam campuran bahan komposit ini maka nilai kapasitansinya semakin besar pula.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 KESIMPULAN

- Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pengujian instrumentasi pengukuran sifat elektrik untuk sampel bahan kapasitor dengan menggunakan perangkat lunak *LabView*. Alat ini dapat berfungsi dengan baik untuk menunjang kegiatan penelitian dan lebih meningkatkan unjuk kerja dibandingkan kondisi sebelumnya yang masih manual.
- Dari hasil pengujian sistem instrumentasi semua parameter ukur yang ada pada LCR HiTESTER HIOKI 3522 dapat ditampilkan dan dikendalikan melalui Personal Komputer, dan data hasil pengukuran dapat disimpan dalam *file Spreadsheet*.
- Hasil pengujian sistem instrumentasi pengukuran kapasitansi menggunakan cara manual dan personal komputer didapatkan penyimpangan (koreksi) untuk nilai kapasitansi sebesar 0,03.
- Dari hasil pengujian terhadap sampel bahan kapasitor berbasis karbon sebagai uji coba pemanfaatan sistem instrumentasi pengukuran hasil dari riset, dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi berat karbon dalam bahan komposit  $Fe_xC_{1-x}$  maka sifat elektrik bahan tersebut semakin mengalami peningkatan yang ditandai dengan meningkatnya nilai kapasitansi bahan komposit tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa unsur karbon dapat dipakai sebagai unsur aditif guna meningkatkan sifat elektrik dari bahan komposit.
- Dari hasil pengujian terhadap sampel bahan kapasitor berbasis karbon Komposit Fe 20% dan C 80% ( $FeC_1$ ) mempunyai nilai Kapasitansi yang tinggi dibandingkan komposit dengan komposisi yang lainnya.

#### 5.2 SARAN

Pada penelitian selanjutnya, sistem instrumentasi pengukuran sifat elektrik ini perlu pengembangan, untuk dapat mengukur sampel dalam jumlah banyak. Oleh karena itu perlu merancang dan menyiapkan sampel *holder* yang bisa

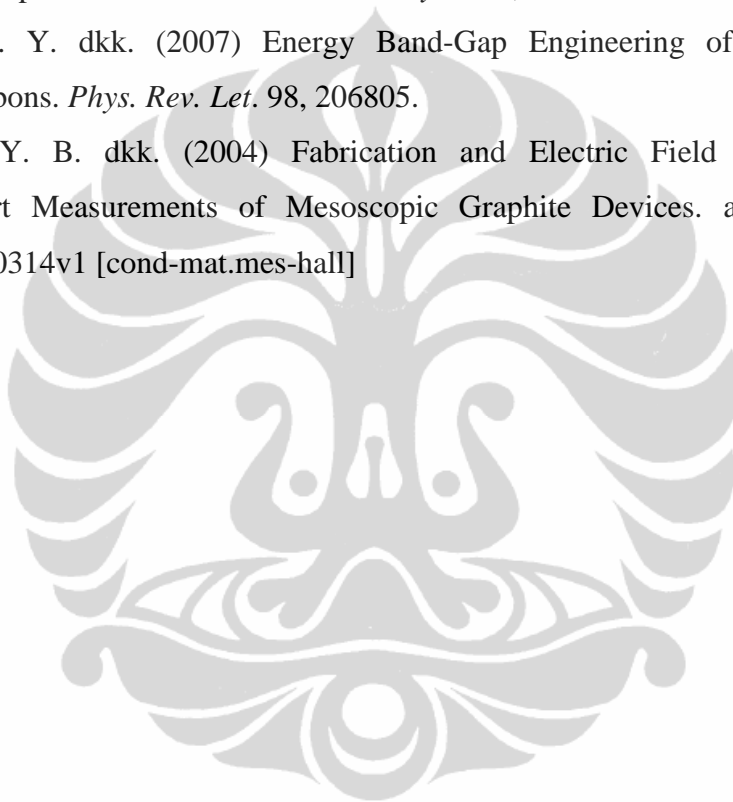
memenuhi kebutuhan untuk mengukur lebih banyak sampel. Selain itu, pada penelitian bahan dibutuhkan variasi dan perlakuan bahan karbon sehingga dapat diaplikasikan sebagai super kapasitor. Dalam pengujian ini sangat dibutuhkan sampel standar dari bahan uji, sehingga dapat digunakan untuk kalibrasi sistem instrumentasi ini ke depan.



### DAFTAR REFERENSI

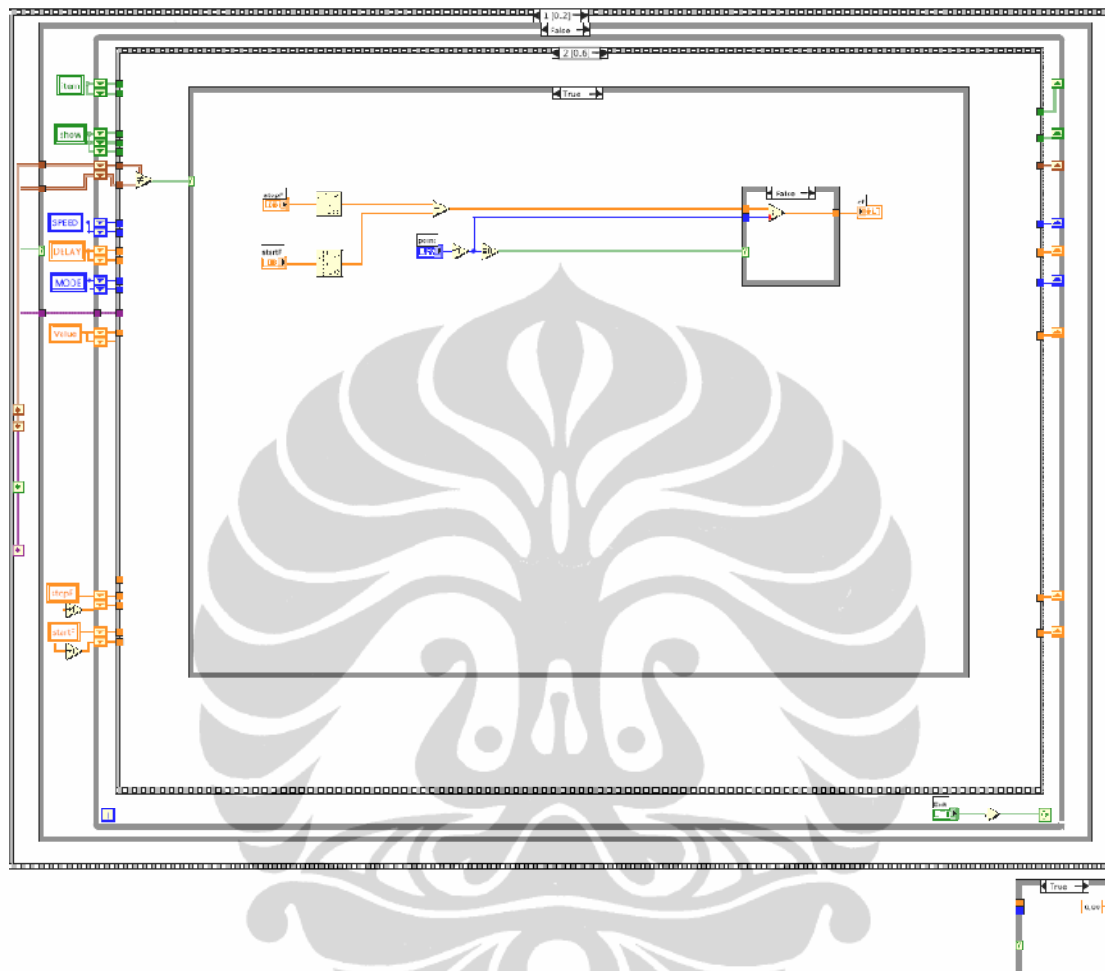
1. Elzbieta Frackowiak, (2002) Francois Beguin, Electrochemical storage of energy in carbon nanotubes and Nanostructured carbons, Carbon 40, 1775-1787
2. Q.Jiang, M.Z Qu, G.M. Zhou, B.L. Zhang, Z.L. Yu, (2002) A study of activated carbon nanotubes as electrochemical Supercapacitors electrode materials, Materials Letters 57 988-991
3. Heon-Cheol Shin, Meilin Liu, B. Sadanandan, Apparao M. Rao, (2002) Electrochemical insertion of lithium into multi-walled carbon nanotubes prepared by catalytic decomposition, Journal Of Power Sources, 112 216-221.
4. HIOKI EE corporation, (2001), Instruction manual LCR HiTESTER 3522 (Edition 1), Nagano, Japan.
5. National Instruments. (2003). *Introduction to LabVIEW™ Six-Hour Course*. Texas, US.
6. Clark, Cory L. (2005). *LabVIEW digital signal processing and digital communication*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
7. A. M. BONDAR, I. IORDACHE, (2006) *Carbon/Ceramic Composites Designed for Electrical Application*, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 8, No. 2, p. 631-637.
8. H. SIRRINGHAUS, SIR R FRIEND, W. HUCK, (2006) *Carbon Based Electronics : a National Consortium*, Engineering and Physical Sciences Research Council,
9. SETYO PURWANTO, WISNU A.A., ARI HANDAYANI, MASHADI, (2007) “Evolusi Sifat Magnetoresistance pada Cuplikan Komposit Fe-C (Grafit) Hasil Sintesa dengan Metode Mechanical Alloy, Jurnal Sains Materi, Vo. 9, No. 1.
10. YUNASFI, SALIM MUSTOFA, SETYO PURWANTO, MASHADI, TRIA MADESA, (2007) “Perubahan Sifat Magnetik Bahan Komposit Fe-C oleh Radiasi Sinar Gamma“, Jurnal Sains Materi, Vol. Spesial Ed..
11. Novoselov, K. S. dkk. (2004) Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. *Science* 306: 666.

12. Castro Neto, A. H. dkk. (2009) The electronic properties of graphene. *Rev. Mod. Phys.* 81, 109-162.
13. Yu, S. S. dkk. Q.(2008) 'Electronic properties of graphene nanoribbons with armchair-shaped edges', *Molecular Simulation*, 34: 10, 1085-1090
14. Yang, Y. X., Murali, R. (2010) Impact of Size Effect on Graphene Nanoribbon Transport. arXiv:1001.2318v1[cond-mat.mes-hall]
15. Owens, F. J. (2008) Electronic and magnetic properties of armchair and zigzag graphite nanoribbons. *J. Chem. Phys.* 128, 194701.
16. Han, M. Y. dkk. (2007) Energy Band-Gap Engineering of Graphene Nanoribbons. *Phys. Rev. Let.* 98, 206805.
17. Zhang, Y. B. dkk. (2004) Fabrication and Electric Field Dependent Transport Measurements of Mesoscopic Graphite Devices. arXiv:cond-mat/0410314v1 [cond-mat.mes-hall]

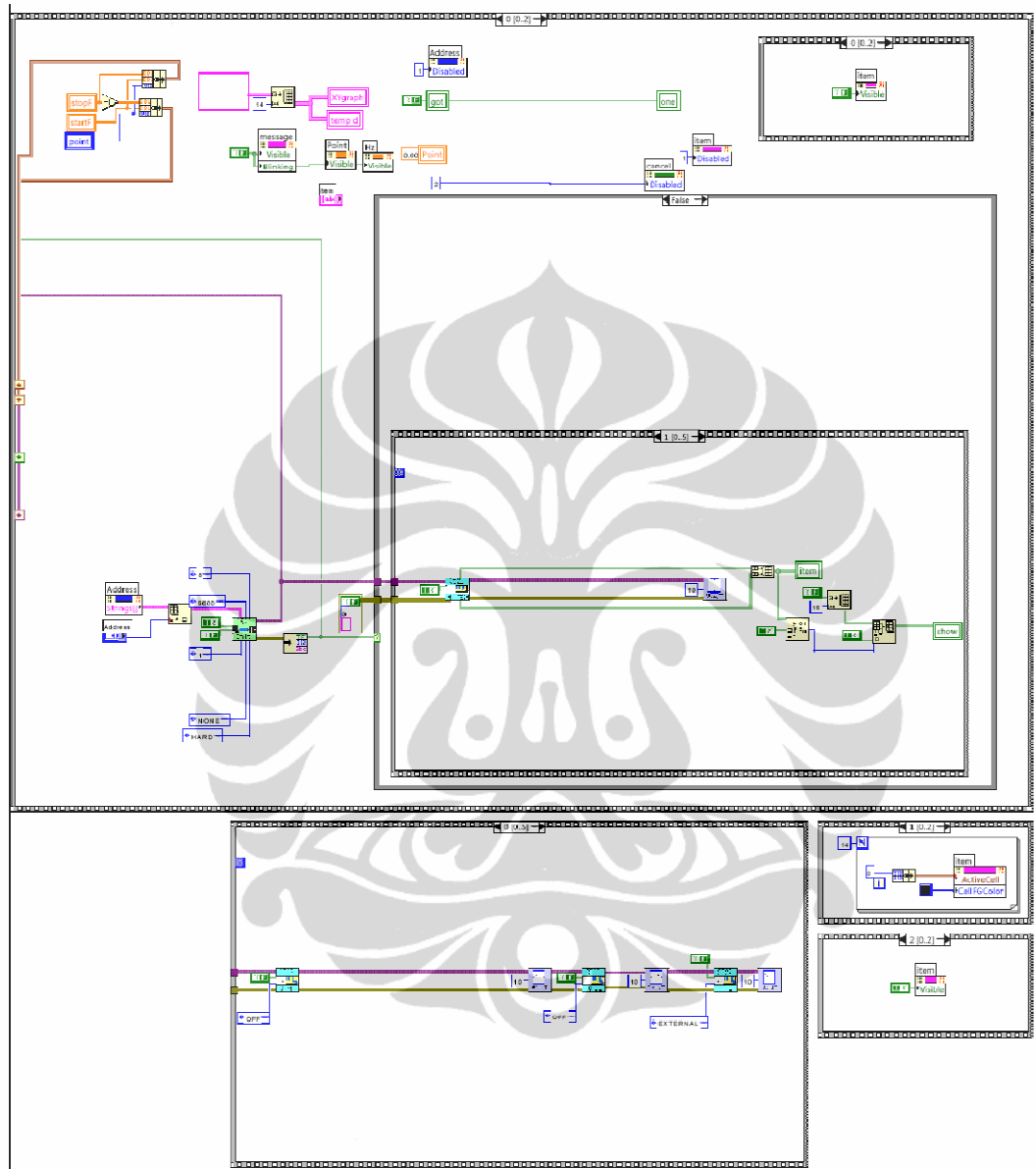


## DAFTAR LAMPIRAN

## Lampiran 1



## Lampiran 1 (lanjutan)



## Lampiran 2.

## High-Performance GPIB Interfaces for PCI and PXI

## Specifications

## IEEE 488 Compatibility

IEEE 488.1 and IEEE 488.2 compatible

Capability Code	Description
SH1	Source handshake
AH1	Acceptor handshake
T5, TE5	Talker, extender talker
L3, LE3	Listener, extender listener
SR1	Service request
PP1, PP2	Local/remote parallel poll
RL1	Remote/local
C1, C2, C3, C4, C5	Controller
E1, E2	Three-state bus drivers with automatic switch to open collector during parallel poll

## Maximum IEEE 488 Bus Transfer Rates

IEEE 488 interlocked handshake.....	1.5 MB/s
IEEE 488 noninterlocked (HS488) handshake.....	7.7 MB/s

*(actual rates depend on system configuration and instrument capabilities)*

## GPIB Analyzer Performance

Sampling rate.....	20 MHz
Timestamp resolution.....	50 ns

## Ethernet Performance

10BASE-T.....	10 Mb/s, full-duplex
100BASE-TX.....	100 Mb/s, full-duplex
1000BASE-T.....	1000 Mb/s, full-duplex

## Power Requirements

PCI-GPIB, PXI-GPIB, PCI-GPIB/LP (183617x-01-based board)	
+5 VDC.....	1.5 W typical, 2.25 W maximum
PCI-GPIB, PXI-GPIB (188513x-01-based board)	
+3.3 VDC.....	0.4 W typical, 0.6 W maximum
PCI-GPIB+	
+3.3 VDC.....	0.6 W typical, 1.9 W maximum
PCI-8232	
+5 VDC.....	4.4 W typical, 5.8 W maximum
PXI-8232	
+3.3 VDC.....	3.0 W typical, 4.0 W maximum
PCI signaling level.....	Universal

## Physical Dimensions

PCI (183617x-01-based board).....	13.3 by 10.7 cm (5.3 by 4.2 in)
PCI (188513x-01-based board).....	12.0 by 6.44 cm (4.72 by 2.53 in)
PCI (low-profile).....	12.0 by 6.44 cm (4.72 by 2.53 in)
PXI.....	16 by 10 cm (6.3 by 3.9 in)

## I/O Connectors

GPIB.....	IEEE 488 standard 24-pi
Ethernet.....	RJ45

## Operating Environment

Ambient temperature.....	0 to 55 °C
Relative humidity.....	10 to 90%, noncondens (tested in accordance w IEC-60068-2-1, IEC-60068-2-2, IEC-60068-2-56)

## Storage Environment

Ambient temperature.....	-20 to 70 °C
Relative humidity.....	5 to 95%, noncondensir (tested in accordance w IEC-60068-2-1, IEC-60068-2-2, IEC-60068-2-56)

## Shock and Vibration

PXI-GPIB, PXI-8232	
Functional shock.....	30 g peak, half-sine, 11 ms (tested in accordance w IEC-60068-2-27; test procedure developed in accordance with MIL-PRF-28800F)
Random vibration	
Operating.....	5 to 500 Hz, 0.3 grms
Nonoperating.....	5 to 500 Hz, 2.4 grms (tested in accordance with IEC-60068-2-64; nonoperating test profile exceeds the requirements of MIL-PRF-28800F, Class B)

## Compliance and Safety

Visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification).