

**PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI  
UNTUK MENGUKUR NILAI IMPEDANSI LISTRIK BAHAN  
SECARA CEPAT**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
CITRA ANGGUN NOORJANNAH  
145090801111011**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



**PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI  
UNTUK MENGUKUR NILAI IMPEDANSI LISTRIK BAHAN  
SECARA CEPAT**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Oleh:

**CITRA ANGGUN NOORJANNAH**  
**145090801111011**



**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**MALANG**  
**2018**



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK MENGUKUR NILAI IMPEDANSI LISTRIK BAHAN SECARA CEPAT

Oleh:

**CITRA ANGGUN NOORJANNAH**  
**145090801111011**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal .....  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr.Eng.Didik Rahadi Santoso, M.Si  
NIP.196906101994021001

Ahmad Nadhir,S.Si,MT.,Ph.D  
NIP.197412031999031002

**Mengetahui,**  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Prof.DR.rer.nat. Muhammad Nurhuda  
NIP196409101990021001



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## LEMBAR PERNYATAAN

**Saya yang bertanda tangan di bawah ini :**

**Nama : Citra Anggun Noorjannah**

**NIM : 145090801111011**

**Jurusan : Fisika**

**Penulisan Skripsi berjudul :**

**PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI  
UNTUK MENGUKUR NILAI IMPEDANSI LISTRIK BAHAN  
SECARA CEPAT**

**Dengan ini menyatakan bahwa:**

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya saya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dan Tugas Akhir ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung resiko yang akan saya terima.

**Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.**

**Malang, 4 Juli 2018**

**Yang menyatakan**

**(Citra Anggun Noorjannah)**

**NIM.145090801111011**



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK MENGUKUR NILAI IMPEDANSI LISTRIK BAHAN SECARA CEPAT

## ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dikembangkan sistem instrumentasi untuk identifikasi impedansi listrik bahan secara cepat pada frekuensi 0,05Hz - 1MHz. Alat ini dapat menginjeksikan arus pada bahan uji dengan menggunakan modul DDS AD9850. Selain itu sistem ini dilengkapi dengan rangkaian *peak detector* yang digunakan untuk mendeteksi amplitudo tegangan dari bahan. Sistem tersebut memanfaatkan mikrokontroler dan PC sebagai akuisisi data. Rangkaian *peak detector* dibangun dengan menggunakan IC komparator LM111. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ini mampu bekerja pada frekuensi DC hingga 1MHz, sedangkan *peak detector* stabil pada frekuensi 10Hz - 1MHz. Amplitudo tegangan yang diperoleh diolah menggunakan *software* untuk menghasilkan grafik sehingga dapat mengidentifikasi nilai impedansinya.

Kata Kunci : Impedansi, DDS, *peak detector*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DEVELOPMENT OF FAST INSTRUMENTATION SYSTEM FOR MEASURE ELECTRICAL IMPEDANCE VALUE

### ABSTRACT

In this research, an instrumentation system has been developed for fast electrical impedance identification at the frequency range of 0.05Hz - 1MHz. This device can inject current on the test substance by using DDS AD9850 module. In addition, this system has been equipped by a peak detectors circuit were used to detect a voltage due to a current injector to the substance. The microcontroller and PC used in the system as data acquisition. The peak detector circuit has built by using comparator IC LM111. The results showed that the device is capable at DC frequency to 1MHz, while the peak detector is stable at frequencies from 10Hz - 1MHz. The voltage amplitude obtained then is plotted in graph using software so it can identify the impedance value.

Keyword : Impedance, DDS, peak detector



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmatNya sehingga Skripsi yang berjudul “*Pengembangan Sistem Instrumentasi Untuk Mengukur Nilai Impedansi Listrik Bahan Secara Cepat*” dapat tersusun dengan baik dan tepat waktu.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dalam bidang Sains jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.

Penulis juga mengucapkan banyak terimakasih atas bantuan dari pihak yang telah berkontribusi dengan memberikan bantuan, saran, kritik, baik selama penyusunan proposal skripsi. Penulis banyak mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ayah, ibu, kakak-kakak, dan adik penulis yang selalu memberikan doa dan memotivasi penulis.
2. Bapak Dr.Eng. Didik Rahadi Santoso, M.Si. selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian serta memotivasi penulis untuk tetap semangat.
3. Bapak Ahmad Nadhir S.Si.,MT.,Ph.D selaku pembimbing kedua yang telah memberikan saran dan motivasi kepada penulis.
4. Rekan satu tim penelitian di laboratorium MCS (Trisna, Erlinda, Mba kiki, Dimmy, Dripani, Mba Acem, Mba Bella, Mas Amry) yang selalu menemani dan memotivasi penulis.
5. Teman-teman Instrumentasi 2014.
6. Abang yang selalu memberikan motivasi kepada penulis.
7. Rizal, Rika, dan Surinah yang selalu menemani penulis selama di Malang.
8. Teman-teman Gedung Biomol Lantai 3.
9. Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam penulisan skripsi ini sehingga kritik dan saran yang membangun penulis dibutuhkan untuk perbaikan kedepannya.

Akhirnya penulis memohon maaf apabila ada kesalahan selama pengerjaan dan penulisan skripsi ini.

Malang, 4 Juli 2018

Penulis



## PENGHARGAAN

Penelitian ini merupakan bagian dari hibah penelitian dari Direktorat dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi sesuai dengan kontrak penelitian nomor: **054/SP2H/LT/DRPM/2018** tanggal 12 Maret 2018 atas nama Ketua Tim : Dr. Eng. Didik R. Santoso, M.Si yang berjudul “**Evaluasi Eksperimental Mekanisme Kerusakan Jaringan Sel Akibat Terkontaminasi Zat Beracun dan Paparan Radiasi Menggunakan Parameter Dispersi Impedansi Kelistrikannya**”.





**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>PENGHARGAAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Sumber Arus dan Sumber Tegangan.....	3
2.2 Impedansi Listrik.....	5
2.1.1 Pengukuran Impedansi Listrik.....	8
2.3 DDS AD9850.....	9
2.4 Arduino UNO.....	12
2.5 <i>Peak Detector</i> .....	13
2.6 Komunikasi Serial.....	15
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2 Tahapan Penelitian.....	17
3.3 Desain Sistem Instrumentasi.....	18
3.3.1 <i>Hardware</i> Sumber Arus DDS AD9850 dan Arduino UNO.....	19
3.3.2 <i>Peak Detector</i> .....	20
3.3.3 Sistem Akuisisi Data.....	22
3.3.5 Desain <i>Software</i> .....	23
3.4 Metode Pengujian Sistem.....	27
3.4.1 Metode Pengujian Sinyal Generator DDS AD9850.....	28
3.4.2 Metode Pengujian <i>Peak Detector</i> .....	28



3.4.3 Pengujian ADC .....	29
3.4.4 Pengujian <i>Software</i> .....	29
3.4.5 Pengujian Keseluruhan Sistem.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1 Sumber Arus Terprogram Berbasis DDS AD9850.....	31
4.1.1 Hasil Pengujian Frekuensi .....	31
4.2 Rangkaian <i>Peak detector</i> .....	34
4.2.1 Rangkaian <i>Peak detector</i> .....	35
4.3 Konfigurasi Penggunaan Alat.....	38
4.4 Sistem Akuisisi Data .....	39
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	45
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	47



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Aliran Elektron.....	3
<b>Gambar 2.2</b> Rangkaian Arus.....	4
<b>Gambar 2.3</b> Sinyal Arus AC.....	5
<b>Gambar 2.4</b> Rangkaian Seri RC.....	7
<b>Gambar 2.5</b> Rangkaian Paralel RC.....	7
<b>Gambar 2.6</b> <i>Parallel Load Frequency/ Phase Update Timing Sequence</i> .....	10
<b>Gambar 2.7</b> Konfigurasi Pin DDS .....	11
<b>Gambar 2.8</b> Board Arduino.....	12
<b>Gambar 2.9</b> Rangkaian <i>Peak Detector</i> dengan menggunakan Dioda dan Kapasitor serta hasilnya.....	14
<b>Gambar 2.10</b> IC LM111.....	14
<b>Gambar 3.1</b> Tahap Penelitian.....	17
<b>Gambar 3.2</b> Desain Sistem Instrumentasi.....	18
<b>Gambar 3.3</b> Rangkaian Sumber Arus Terprogram .....	19
<b>Gambar 3.4</b> Rangkaian <i>Peak Detector</i> terdiri dari Rangkaian <i>Buffer</i> , Rangkaian <i>High Pass Filter</i> (HPF) dan Rangkaian Komparator ....	20
<b>Gambar 3.5</b> Hasil Simulasi Rangkaian <i>Peak Detector</i> 10Hz.....	21
<b>Gambar 3.6</b> Hasil Simulasi Rangkaian <i>Peak Detector</i> 1MHz.....	21
<b>Gambar 3.7</b> Diagram Alir Program Mikrokontroler.....	26
<b>Gambar 3.8</b> Diagram Alir Program <i>Display</i> .....	27
<b>Gambar 3.9</b> Metode Pengujian Sumber Arus .....	28
<b>Gambar 3.10</b> Metode Pengujian <i>Peak Detector</i> .....	29
<b>Gambar 3.11</b> Metode Pengujian Keseluruhan Sistem .....	30
<b>Gambar 4.1</b> Sumber Arus Terprogram .....	31
<b>Gambar 4.2</b> Frekuensi 0,0294Hz .....	32
<b>Gambar 4.3</b> Frekuensi 1MHz.....	32
<b>Gambar 4.4</b> Hubungan Frekuensi DDS dengan Frekuensi yang diinginkan.....	33
<b>Gambar 4.5</b> Rangkaian <i>Peak Detector</i> .....	34
<b>Gambar 4.6</b> Frekuensi 10Hz dengan Filter Kapasitor 20uF.....	35
<b>Gambar 4.7</b> Frekuensi 1MHz dengan Filter Kapasitor 10nF.....	36
<b>Gambar 4.8</b> Respon Frekuensi DDS AD9850 .....	37
<b>Gambar 4.9</b> Respon Waktu dan Frekuensi dengan Beban.....	37



**Gambar 4.10** Respon Waktu dan Frekuensi dengan Beban  
(software)..... 38

**Gambar 4.11** Konfigurasi Penggunaan Alat ..... 39

**Gambar 4.12** *Display Software* ..... 40

**Gambar 4.12** *Display Data Grid*..... 41



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Konfigurasi PIN DDS AD9850 .....	11
<b>Tabel 3.1</b> Nilai-nilai Kapasitor pada <i>Range</i> Frekuensi .....	22
<b>Tabel 3.2</b> Nilai <i>Tuning Word</i> Osilator 125MHz .....	24





**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Data Tegangan Keluaran DDS AD9850 .....	47
<b>Lampiran 2</b> Data Perbandingan Nilai Frekuensi yang diinginkan dengan Frekuensi Keluaran DDS .....	48
<b>Lampiran 3.</b> Respon Frekuensi dengan Beban .....	49
<b>Lampiran 4.</b> Tampilan Frekuensi pada <i>Software</i> .....	50
<b>Lampiran 5.</b> Tampilan Data Grid pada <i>Software</i> .....	50
<b>Lampiran 6.</b> Tampilan Respon Frekuensi.....	50
<b>Lampiran 7.</b> Rangkaian <i>Peak Detector</i> .....	51
<b>Lampiran 8.</b> Program Mikrokontroler .....	52
<b>Lampiran 9.</b> Program <i>Display</i> dan Akuisisi Data.....	54
<b>Lampiran 10.</b> Modul DDS AD9850 .....	60
<b>Lampiran 11.</b> Picoscope .....	60
<b>Lampiran 12.</b> Rangkaian <i>Peak Detector</i> .....	60
<b>Lampiran 13</b> Konfigurasi Alat.....	60
<b>Lampiran 14.</b> <i>Data Sheet</i> DDS AD9850 .....	61
<b>Lampiran 15.</b> <i>Data Sheet</i> LM111 .....	62





**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengukuran kerusakan jaringan sel dapat ditentukan dengan menggunakan metode impedansi listrik. Metode ini menggunakan parameter impedansi kelistrikan pada sebaran frekuensi tertentu. Pengukuran nilai impedansi listrik suatu bahan umumnya menggunakan metode injeksi arus listrik dengan mengukur tegangannya sesuai dengan prinsip Hukum Ohm. Pada setiap elektroda, arus AC yang diinjeksikan besarnya harus konstan terhadap perubahan impedansi atau resistivitas dari objek. Pengukuran impedansi listrik suatu bahan seperti jaringan biologi biasanya hanya dilakukan pada nilai injeksi arus dengan rentang 0,1 $\mu$ A sampai dengan 1mA karena bahan uji juga memiliki karakteristik tersendiri terhadap injeksi arus. Untuk dapat menghasilkan arus, dibutuhkan alat yang dapat membangkitkan sinyal. Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan alat yang mampu membangkitkan sinyal untuk proses injeksi arus namun memiliki kelemahan pada *bandwidth* yang hanya mampu bekerja hingga frekuensi 200 kHz (Setiadi, 2015).

Cahya (2016) telah mengembangkan sistem injeksi arus dengan menggunakan Modul DDS AD9850, sistem tersebut berhasil menghasilkan *bandwidth* lebih lebar yang mampu bekerja hingga 15MHz, namun kelemahannya adalah sistem akuisisi data masih dilakukan secara manual sehingga memerlukan waktu yang lama. Modul DDS AD9850 dapat membangkitkan frekuensi secara digital yang berupa gelombang sinus dari frekuensi 0,029Hz sampai dengan 40MHz (Setiadi, 2015).

Pada penelitian sebelumnya telah dikembangkan oleh Azis (2016) sebuah sistem pengukuran impedansi listrik suatu bahan yang dapat dilakukan secara cepat dengan mendeteksi puncak amplitudo nilai tegangan terukur menggunakan rangkaian *peak detector*. Hasil deteksi amplitudo ditampilkan pada *software* sedangkan untuk identifikasi komponen listrik dari nilai impedansi yang terukur tersebut dilakukan dengan menentukan frekuensi pojok (*corner*) atau pada titik -3dB dari kurva respon frekuensi bahan uji. Penentuan

*range* frekuensi yang digunakan berdasar pada kemampuan *IC* yang digunakan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada paragraf sebelumnya, pada penelitian ini akan dikembangkan sistem instrumentasi untuk mengukur nilai impedansi listrik suatu bahan yang dapat digunakan secara cepat dan otomatis. Metode pengembangan dengan menggunakan *software* ini menitikberatkan pada algoritma dalam menjalankan DDS AD9850 untuk dapat mengeluarkan nilai frekuensi dengan cepat, sehingga untuk pengukuran impedansi listrik suatu bahan dapat dilakukan dengan efektif, efisien, dengan biaya yang murah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka didapatkan beberapa pokok rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sumber arus terprogram dengan rentang frekuensi 0,05Hz hingga 1MHz?
2. Bagaimana merancang sistem akuisisi data untuk pengukuran impedansi listrik suatu bahan dapat dilakukan secara cepat?

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi permasalahan diantaranya yaitu bahan uji pada pengukuran nilai impedansi listrik hanya menggunakan komponen elektronika pasif R dan C karena tidak dibutuhkan rangkaian *V to I Converter*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan sistem instrumentasi dalam pengukuran impedansi listrik suatu bahan dapat dilakukan secara cepat.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah tersedianya sistem instrumentasi untuk pengukuran nilai impedansi listrik yang dapat dilakukan secara cepat dan otomatis.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sumber Arus dan Sumber Tegangan

Arus listrik ( $I$ ) adalah jumlah muatan listrik ( $Q$ ), yang mengalir melewati suatu luas penampang tertentu tiap satu satuan waktu ( $t$ ). Secara matematis dituliskan sebagai:

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2.1)$$

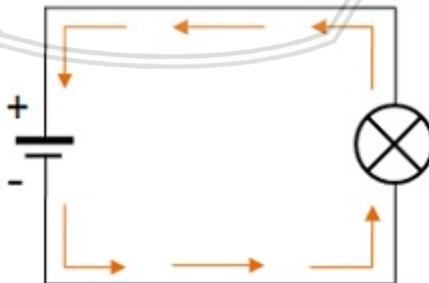
Keterangan :

$I$  : Arus (A)

$Q$  : Muatan (C)

$t$  : Waktu (s)

Satuan arus listrik adalah ampere (A) dimana ampere adalah muatan listrik sebanyak 1C yang mengalir dalam waktu 1 detik. Arus listrik pada dasarnya adalah elektron yang bergerak, artinya muatan ini bergerak dari terminal negatif (kelebihan elektron) menuju terminal positif (kekurangan elektron). Arus listrik yang dalam pemberian arahnya sama dengan arah aliran elektron dinamakan sebagai arus elektron. Gambar 2.1 merupakan gambar arah elektron mengalir.

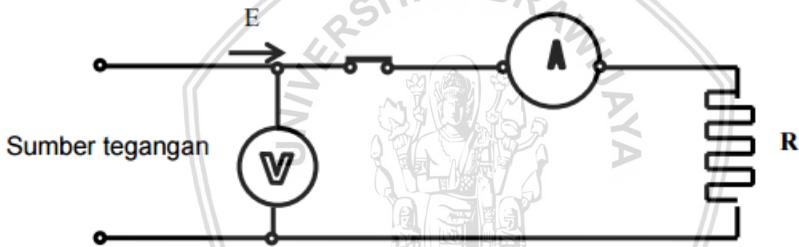


**Gambar 2. 1** Aliran Elektron (Rosetto, Spiazzi dan Tenti,1994)

Tegangan listrik ( $V$ ) adalah beda potensial listrik di antara dua titik dalam rangkaian listrik. Beda potensial listrik didefinisikan sebagai besarnya energi listrik yang diperlukan oleh sebuah muatan listrik untuk bergerak dari satu titik ke titik lain karena pengaruh gaya listrik. Dengan kata lain, tegangan listrik adalah energi ( $W$ ) per satuan muatan ( $Q$ ). persamaan 2.2 menunjukkan tegangan listrik.

$$V = \frac{W}{Q} \tag{2.2}$$

Pada rangkaian tertutup (Gambar 2.2) besarnya arus ( $I$ ) berubah sebanding dengan tegangan ( $V$ ) dan berbanding terbalik dengan beban tahanan ( $R$ ), dinyatakan dengan persamaan 2.3 atau dikenal dengan Hukum Ohm.



**Gambar : Rangkaian arus**

**Gambar 2. 2 Rangkaian Arus (PT.PLN, 2015)**

$$I = \frac{V}{R} \tag{2.3}$$

Keterangan :

$V$  : Beda Potensial (V)

$W$  : Energi/Usaha (J)

$Q$  : Muatan (C)

$R$  : Hambatan ( $\Omega$ )

$I$  : Arus (A)

Jika arus listrik ( $I$ ) mengalir melalui sebuah penghantar yang mempunyai hambatan ( $R$ ), maka pada ujung-ujung hambatan tersebut pasti terdapat beda potensial (tegangan) listrik ( $V$ ) . Jika

harga  $V$  dan  $I$  diketahui, maka besar resistansi ( $R$ ) dapat dihitung. Kita tidak perlu mengetahui konstruksi fisik dari tahanan selama perbandingan  $V$  dan  $I$  diketahui (Santoso, 2013).

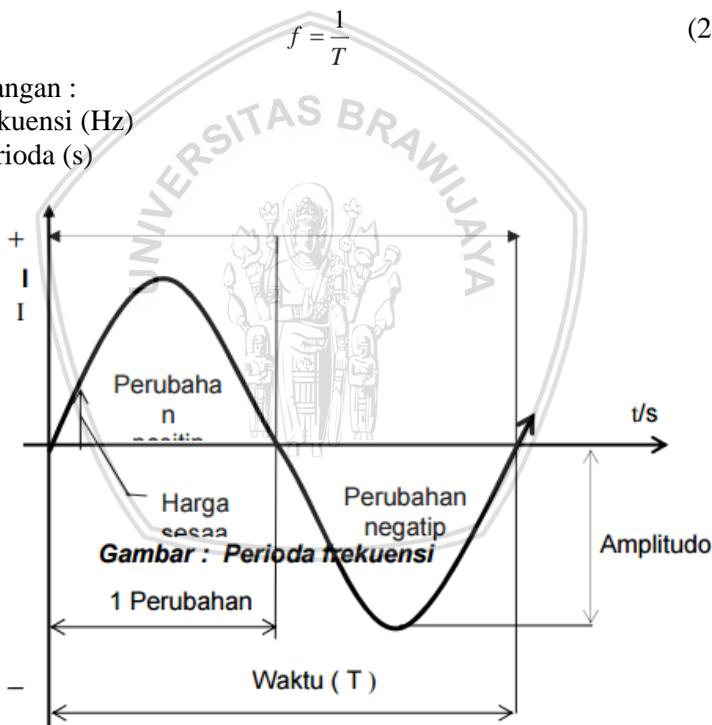
Frekuensi arus bolak-balik (AC) ditunjukkan pada Gambar 2.3. Waktu yang diperlukan oleh arus AC untuk kembali ke harga yang sama (1 cycle) disebut periode ( $T$ ) dan dinyatakan dalam detik/cycle sedangkan amplitudo merupakan harga maksimum arus. Frekuensi arus bolak-balik adalah jumlah perubahan arah arus per detik (Persamaan 2.4) Frekuensi dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz), dimana  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ cycle per detik}$ .

$$f = \frac{1}{T} \tag{2.4}$$

Keterangan :

$f$  : Frekuensi (Hz)

$T$  : Periode (s)



**Gambar 2. 3** Sinyal Arus AC (PT.PLN,2015)

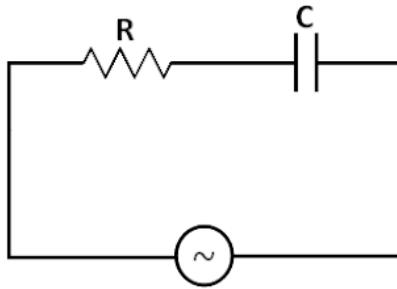
## 2.2 Impedansi Listrik

Identifikasi karakteristik kelistrikan suatu bahan dapat ditentukan dengan menggunakan nilai impedansi listrik bahan

tersebut. Dari nilai impedansi listrik ini dapat ditentukan nilai hambatan jenis bahan, sifat dielektrik bahan dan sifat fisis bahan yang lainnya. Umumnya untuk mengukur impedansi listrik digunakan metode injeksi arus secara langsung. Pengukuran impedansi listrik dilakukan dengan menginjakasikan arus AC pada amplitud tertentu dengan rentang frekuensi tertentu pada bahan yang akan diuji nilai impedansinya. Arus sinus yang diinjeksikan pada permukaan objek akan menghasilkan perubahan tegangan dari elektroda ukur pada permukaan objek (Purwanto dan Sujatmiko, 2009).

Metode impedansi listrik telah dikembangkan pada berbagai penelitian untuk mengetahui kondisi bahan pangan, kadar gula darah dalam tubuh, distribusi volume air dalam tubuh, serta dikembangkan untuk impedansi tomografi. Saat bahan diberi frekuensi tinggi maka nilai impedansinya rendah disebabkan karena nilai impedansi sangat berpengaruh terhadap frekuensi, resistansi dan reaktansi total. Pada frekuensi rendah reaktansi kapasitif akan lebih besar, begitu juga dengan nilai impedansinya tetapi arus listrik akan semakin menurun. Ketika frekuensi naik maka reaktansi kapasitif pada bahan akan rendah (Juansah, 2013).

Impedansi listrik dari suatu bahan didasari oleh kemampuan bahan tersebut saat dilewati arus AC. Sistem bekerja sebagai media resistif jika pada impedansi tidak bergantung dengan frekuensi. Impedansi terdiri dari komponen resistif, kapasitif, dan induktif. Jaringan pada membran sel terdiri dari fasa internal dikelilingi oleh fasa eksternal dengan komposisi berbeda. Membran sel merupakan bahan dielektrik yang bekerja pada frekuensi rendah sebagai isolator, bersifat juga seperti kapasitor (Solecha, 2015). Nilai impedansi bergantung pada frekuensi dimana semakin tinggi frekuensi maka nilai  $X_C$  semakin kecil. Nilai impedansi pada rangkaian seri dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.5. dan 2.6. Gambar 2.4 merupakan rangkaian impedansi listrik seri. Sedangkan impedansi listrik pada rangkaian paralel (Gambar 2.5) dinyatakan dalam admitansi, dimana nilainya dapat ditentukan melalui persamaan 2.7.



**Gambar 2. 4** Rangkaian Seri RC (Giancolli, 2001)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C)^2} \tag{2.5}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \tag{2.6}$$

Keterangan :

$Z$  : Impedansi Listrik ( $\Omega$ )

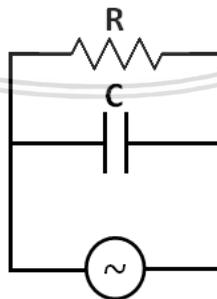
$R$  : Resistor ( $\Omega$ )

$X_C$  : Reaktansi Kapasitansi ( $\Omega$ )

$C$  : Kapasitor (F)

$f$  : Frekuensi (Hz)

$\pi$  : 3,14



**Gambar 2. 5** Rangkaian Paralel RC (Giancolli,2001)

$$Y = Y_R + Y_C$$

$$= \frac{1}{R} + 2\pi fC$$

$$Z = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (2\pi fC)^2}$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (2\pi fC)^2}} \quad (2.7)$$

Terdapat reaktansi kapasitif ( $X_C$ ) yang dihasilkan oleh komponen kapasitor yang menyimpan muatan listrik. Reaktansi kapasitif dapat diketahui melalui persamaan 2.8.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.8)$$

Dimana :

$Z$  : Impedansi ( $\Omega$ )

$Y$  : Admitansi (S)

$f$  : Frekuensi (Hz)

$X_C$  : Reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

$C$  : Kapasitansi (F)

$R$  : Resistansi ( $\Omega$ )

$\pi$  : 3,14

(Giancolli, 2001).

### 2.2.1 Pengukuran Impedansi Listrik

Metode pengukuran impedansi listrik suatu bahan dapat dilakukan dengan menggunakan metode model 2 Probe atau model 4 Probe. Metode menggunakan probe ini menggunakan metode jembatan dengan penyeimbang manual (*manual balancing*). Namun, penentuan titik nol dalam metode jembatan memerlukan waktu yang la karena sulit dilakukan. Metode 2 probe dan 4 probe sangat ampuh untuk frekuensi tinggi dan tidak praktis untuk frekuensi rendah karena metodenya masih manual. Pengukuran nilai impedansi listrik bahan dari tiap frekuensi diperoleh dari perbandingan beda potensial dari nilai arus yang diinjeksikan sehingga pengukuran impedansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9 (Santoso, Widodo dan Juswono, 2017).

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$Z$  : Impedansi Listrik ( $\Omega$ )

$V$  : Tegangan (V)

$I$  : Arus (A)

### 2.3 DDS AD9850

Modul DDS AD9850 merupakan modul yang dapat membangkitkan gelombang sinus dan kotak menggunakan IC DDS AD9850 CMOS 125MHz *DDS Synthesizer* produksi *Analog Devices, Inc.* IC DDS AD9850 menggunakan teknologi *Digital to Analog Converter* untuk mensistesa frekuensi (*frequency synthesizer*). Osilator Kristal 125MHz berfungsi sebagai sumber detak berpresisi sangat tinggi dengan frekuensi yang dapat diprogram. Gelombang yang dihasilkan dapat dikonversi menjadi gelombang kotak digital sebagai pewaktu berakurasi tinggi yang responsif (Putra dan Rochim, 2014).

Spesifikasi yang dimiliki DDS AD9850 antara lain, yaitu :

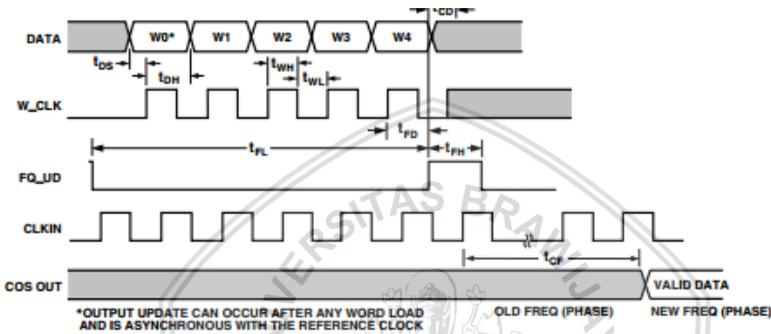
1. Dapat membangkitkan gelombang sinus dan kotak
2. Presisi hingga frekuensi harmonik 20MHz, maksimum 40MHz dan diatas 20MHz gelombang mengalami distorsi
3. Frekuensi maksimum gelombang kotak yaitu 1MHz
4. Sudah terdapat *low pass filter* 70MHz
5. Menggunakan osilator aktif frekuensi tinggi 125MHz dengan kualitas presisi yang sangat baik

(Djaelani, Wardoyo dan Dachlan, 2014)

Metode untuk mengontrol DDS AD9850 menggunakan komunikasi serial dari mikrokontroler untuk pulsa pembangkit. Digunakan beberapa pin untuk mengontrol sinyal serial yang diberikan oleh mikrokontroler. Adapun pin yang digunakan yaitu pin  $W\_CLK$ ,  $FQ\_UP$ ,  $DATA$  dan *Reset* (Putra dan Rochim, 2014). Adapun penjelasan dari konfigurasi pin DDS AD9850 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

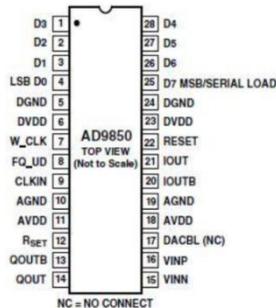
Modul IC DDS AD9850 memiliki 40 bit register yang digunakan untuk program 32 bit frekuensi kontrol *word*, 5 bit fase

modulasi *word*, dan fungsi *power down*. Data *parallel load register* dimuat dengan 8 bit bus, 40 bit *word* dan disediakan dalam 5 iterasi dari 8 bit *word*. W\_CLK dan FQ\_UP digunakan untuk alamat dan muatan register. Frekuensi akan diperbaharui ketika data *word0* sampai *word4* dikirimkan dalam 5 iterasi yang ditandai dengan W\_CLK memberikan *clock* 5 kali untuk 5 *word* yang setiap *word* berisi 8 bit data dan berpindah ke *pointer* selanjutnya, untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2. 6** *Parallel Load Frequency/ Phase Update Timing Sequence* (Analog Devices, 2004)

Modul DDS AD9850 memiliki *internal high speed, high performance*, dan komparator untuk melengkapi frekuensi digital terprogram dan fungsi *clock* generator. Modul DDS AD9850 menghasilkan sinyal analog dengan sistem digital. DDS AD9850 memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknik membangkitkan sinyal lainnya yakni dalam hal *reducibility, repeatability, reliability*, akurasi, dan presisi. Variabel yang paling signifikan dalam pembuatansinyal generator dengan konsep DDS adalah frekuensi. Secara umum arsitektur dasar dari DDS terdiri dari sumber *clock*, *counter*, *table look up*, *register* (memori), DAC, dan filter. Modul DDS AD9850 memiliki konfigurasi pin yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7. dan Keterangan konfigurasi Pin dapat dilihat pada Tabel 2.1.



**Gambar 2.7** Konfigurasi Pin DDS AD9850 (Analog Devices, 2004)

**Tabel 2.1** Konfigurasi Pin DDS AD9850 (Analog Devices, 2004)

No. pin	Mnemonik	Fungsi
4 s/d 1, dan 28 s/d 25	D0 s/d D7	8 bit data input data port untuk pembuatan berulang 32 – bit frekuensi dan 8 bit fase / kontrol <i>word</i> . D7 = MSB; D0 = LSB. D7 (Pin 25) juga disediakan sebagai pin input untuk 40 – bit <i>serial data word</i> .
5, 24	DGND	<i>Ground digital</i> .
6, 23	DVDD	<i>Supply tegangan digital</i>
7	W_CLK	<i>Word Load Clock</i> . <i>Clock</i> ini digunakan untuk memuat frekuensi / fase/ kontrol <i>word</i> secara <i>serial</i> atau <i>parallel</i> .
8	FQ_UD	<i>Frequency Update</i> . Pada saat <i>clock</i> naik, <i>DDS</i> memperbaharui frekuensi (atau fase) dimuat dalam <i>register</i> data input; kemudian <i>mereset</i> pointer ke <i>Word 0</i> .



No. pin	Mnemonik	Fungsi
9	CLKIN	Referensi <i>clock</i> input. Memungkinkan deretan level pulsa CMOS terus – menerus atau input bias sinus pada suplai $\frac{1}{2}$ V. <i>Clock</i> naik adalah permulaan operasi.
10, 19	AGND	<i>Analog Ground. Ground</i> yang digunakan untuk lintasan analog ( <i>DAC</i> dan <i>Comparator</i> ).

### 2.4 Arduino UNO

*Arduino* adalah *board* berbasis mikrokontroler pada ATmega328. *Board* ini memiliki 14 digital *input/output* pin dimana 6 pin digunakan sebagai *output* PWM, 6 *input analog*, 16 MHz osilator Kristal, koneksi USB, jack listrik tombol *reset*. Semua pin yang digunakan dapat terhubung ke komputer menggunakan kabel USB. Sumber tegangan didapatkan dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya (Saputri, 2014). Adapun Board *Arduino* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** *Board* *Arduino* (Saputri, 2014)

*Software* IDE dapat dijalankan pada sistem operasi berbasis windows maupun linux. IDE juga berguna untuk *uploading sketch* kepada *board* *Arduino* dengan perantara USB *port* yang ada pada *board*. Komunikasi *Arduino* dapat dilakukan dengan serial yaitu merupakan komunikasi data dengan pengiriman satu per satu pada satuan waktu. Transmisi data pada komunikasi serial dilakukan per bit. Komunikasi serial membutuhkan dua jalur yaitu *Transmit (Tx)* dan *Receive (Rx)* (Noviardi, 2016).



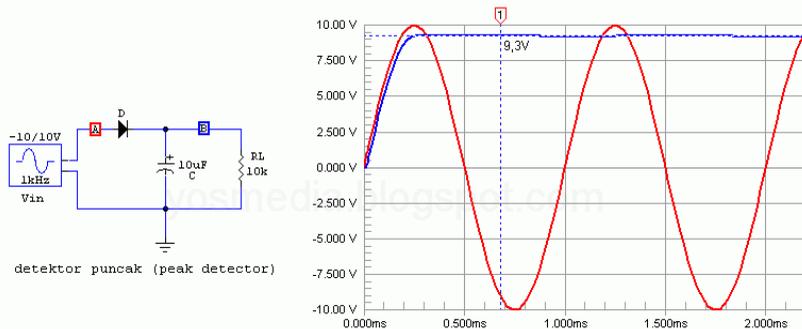
## 2.5 Peak detector

*Peak detector* atau biasa disebut sebagai penyearah gelombang penuh (*full wave rectifier*) yang terdiri dari kumpulan dioda dan kapasitor. *Peak detector* mendeteksi dan menahan nilai paling positif oleh sinyal input sebelum waktu saklar ditutup. Idealnya *output* dari sirkuit *peak detector* mengikuti tegangan masukan sampai titik ekstrim tercapai. *Peak detector* ideal melakukan fungsinya terlepas dari kecepatan sinyal input. Kinerja fisik *peak detector* dibatasi oleh *bandwidth* sinyal input. Secara umum rangkaian *peak detector* dapat digunakan untuk *voltmeter* dan *amperemeter* AC, detektor polaritas tunggal, rangkaian *sample and hold*, *peak detector*, rangkaian penjepit dan lainnya (Petrovic, 2013). Gambar 2.9 merupakan rangkaian *peak detector* dengan dioda sebagai penyearah setengah gelombang.

*Peak detector* yang digunakan untuk mengukur amplitudo sinyal tegangan dari bahan uji pada prinsipnya yaitu dibangun hanya dengan resistor dioda, dan kapasitor. Tujuan utama *peak detector* sinyal sinus adalah untuk menghasilkan tegangan DC yang senilai dengan *input* puncak sinus (Aziz, 2016). Rangkaian detektor puncak (*peak detector*) adalah rangkaian yang terdiri dari hubungan seri sebuah dioda dengan kapasitor yang menghasilkan *output*, secara teori, berupa tegangan DC yang sama dengan amplitudo puncak ( $V_p$ ) tegangan AC sebagai *input*. Tetapi karena dioda yang ada tidaklah ideal maka tegangan *output* DC yang dihasilkan adalah hasil pengurangan dari amplitudo puncak tegangan AC sebagai input dengan tegangan buka dioda sebesar 0,7V. Dari grafik rangkaian *peak detector* diatas jelas terlihat bahwa besar tegangan DC ouputnya tidak sama dengan amplitude puncak besar  $V_p$  sinyal masukan, yaitu :

$$V_{out} = V_p - V_D = 10 - 0,7 = 9,3 \text{ volt}$$

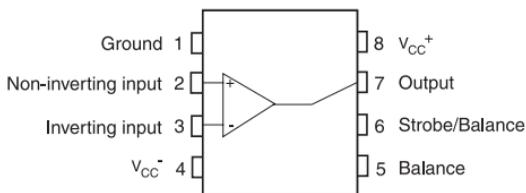
Gambar 2.9 merupakan rangkaian *peak detector* dengan dioda sebagai penyearah setengah gelombang (Azis, 2016).



**Gambar 2. 9** Rangkaian *Peak Detector* dengan menggunakan Dioda dan Kapasitor serta Hasilnya (Azis, 2016)

*Peak detector* dengan menggunakan dioda sebagai penyearah hasilnya akan selalu dikurang tegangan dioda yang digunakan yaitu 0,7V atau 0,3V.

Selain menggunakan komponen dioda untuk mendeteksi puncak, rangkaian peak detector juga dapat dibangun dengan menggunakan IC komparator LM111. IC LM111 merupakan tegangan komparator yang mempunyai arus *input* rendah. IC ini dirancang untuk beroperasi secara luas pada kisaran tegangan suplai dari standar  $\pm 15V$  persediaan penguat operasional turun ke *single* +5V yang digunakan untuk logika IC. Keluaran IC ini kompatibel dengan RTL-DTL dan TTL serta rangkaian MOS dan dapat mengganti voltase sampai +50V pada arus keluaran setinggi 50mA (Texas Instrument, 2013). Adapun Gambar 2.10 merupakan konfigurasi IC LM111.



**Gambar 2. 10** IC LM111(Texas Instrument, 2013)

## 2.6 Komukasi Serial

Komunikasi serial adalah pengiriman data secara serial atau data dikirim satu persatu secara berurutan. Transmisi data pada komunikasi serial dilakukan per bit. Komunikasi serial membutuhkan dua jalur yaitu *transmit (Tx)* dan *receive (Rx)*. Komunikasi serial dibagi menjadi dua mode yaitu komunikasi sinkron dan Asinkron. Mode sinkron proses pengiriman data bersamaan dengan sinyal *clock*, sehingga pengiriman satu karakter dengan karakter lainnya memiliki jeda waktu yang sama. Sedangkan mode Asinkron, proses pengiriman data dilakukan tanpa sinyal *clock*. *Transmitter* yang mengirim data harus menyepakati suatu standar *Universal Asynchronous Receive Transmit (UART)*. ATmega 328 menyediakan serial komunikasi UART TTL (5V). *software* Arduino dilengkapi dengan serial monitor yang dapat digunakan untuk mengirim data dari *board* Arduino (Noviardi, 2016).

Port Universal Serial Bus (USB) yang terdapat pada Arduino adalah *hardware* yang berupa port masukan/keluaran baru yang dibuat untuk mengatasi kekurangan-kekurangan port serial maupun paralel yang sudah ada. USB digunakan sebagai port komunikasi serial dengan PC sehingga dapat lebih mudah dihubungkan dengan aplikasi antarmuka (*interfaces*) apapun baik yang dirancang melalui website menggunakan PHP dan MySql maupun antarmuka berbasis desktop menggunakan Microsoft Visual Studio (Noviardi, 2016).

Komunikasi serial dapat bekerja dengan baik dengan mengubah data byte menjadi bit-bit serial menggunakan peralatan yang disebut shift register *parallel-in serial-out*, kemudian data dikirimkan hanya dengan satu jalur saja. Hal yang serupa dikerjakan pada penerima, dimana penerima harus mengubah bit-bit serial yang diterimanya menjadi data byte yang persis seperti data semula pada pengirim, dengan menggunakan shift register *serial-in parallel-out* (Cahya, 2016).



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## BAB III

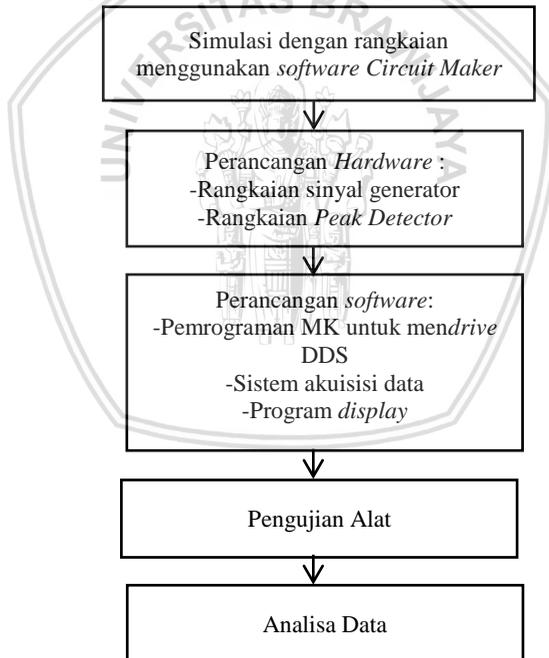
### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari sampai Mei 2018 di Laboratorium *Measurement Circuit and System* Gedung Biomol lantai 3, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Agar penelitian berjalan dengan baik maka perlu adanya perencanaan dalam setiap pelaksanaan kegiatan. Proses pelaksanaan penelitian ini dapat di gambarkan seperti pada Gambar 3.1



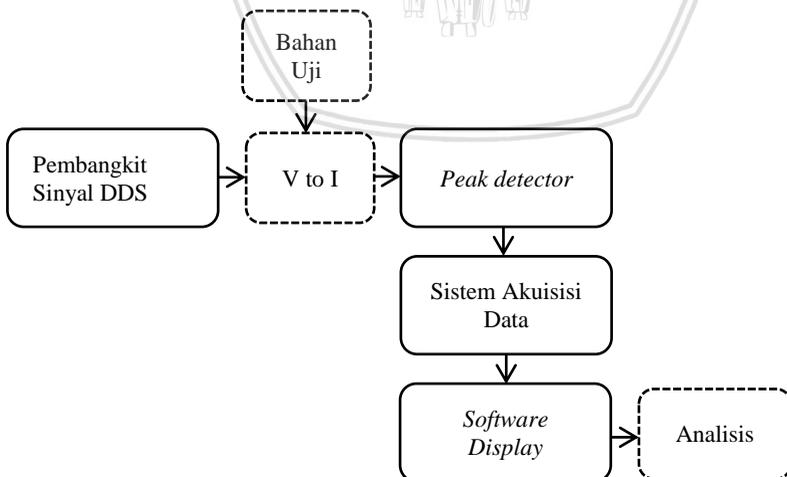
**Gambar 3. 1** Tahap Penelitian

Tahapan yang dilakukan pertama kali adalah membuat dan mensimulasikan rangkaian *peak detector* menggunakan *software*

*Circuit Maker*. Kemudian tahapan selanjutnya adalah pembuatan *hardware* sumber arus berbasis DDS AD9850 dan membuat rangkaian *peak detector*. Perancangan *software* dilakukan untuk menjalankan rangkaian sumber arus terprogram berbasis DDS AD9850 dan Arduino UNO, program Delphi digunakan untuk akuisisi data serta sebagai *display* dari sistem pengukuran impedansi listrik bahan. Setelah dilakukan tahap perancangan *hardware* dan *software* maka dilakukan pengujian alat untuk memastikan alat dapat berjalan dengan benar, tahapan terakhir adalah analisa data.

### 3.3 Desain Sistem Instrumentasi

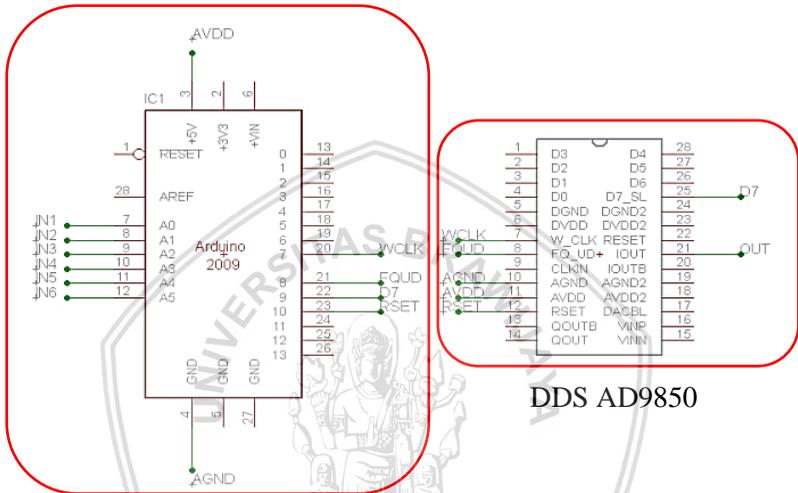
Pada penelitian ini akan dirancang sebuah pengembangan sistem instrumentasi untuk identifikasi impedansi listrik suatu bahan. Penelitian ini diawali dengan dibuatnya sistem pembangkit gelombang berbasis DDS AD9850 yang kemudian puncak tegangan dari tiap frekuensi akan dideteksi menggunakan *rangkaian peak detector*. Sistem akuisisi data pengukuran ini dibuat dengan menggunakan mikrokontroler ATmega328 dan data yang dihasilkan akan ditampilkan melalui *software display*. Diagram sistem pengukuran impedansi dapat dilihat dari Gambar 3.2. Penelitian ini akan membahas mulai dari rangkaian sinyal generator berbasis DDS AD9850 hingga analisa respon frekuensi. Pada penelitian ini tidak dilakukan perancangan *V to I converter*.



**Gambar 3. 2** Desain Sistem Instrumentasi

### 3.3.1 Hardware Sumber Arus DDS AD9850 dan Arduino UNO

Perancangan *hardware* rangkaian sumber arus adalah dengan menghubungkan pin-pin DDS AD9850 ke pin Arduino UNO. Untuk mengatur frekuensi pada DDS digunakan pin W\_CLK, REST, FQ\_UP, Data, VCC, dan ground yang dihubungkan pada *board* Arduino. Adapun rangkaian sumber arus berbasis DDS AD9850 ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Arduino UNO  
**Gambar 3. 3** Rangkaian Sumber Arus Terprogram

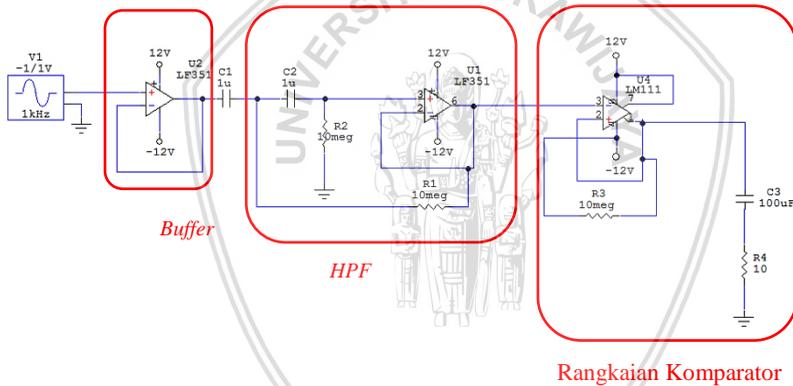
1. Pin WCLK pada DDS AD9850 dihubungkan ke pin 7 Arduino UNO
2. Pin FQUP pada DDS AD9850 dihubungkan ke pin 8 Arduino UNO
3. Pin D7 pada DDS AD9850 dihubungkan ke pin 9 Arduino UNO
4. Pin REST pada DDS AD9850 dihubungkan ke pin 10 Arduino UNO
5. Pin VCC pada DDS AD9850 dihubungkan ke pin VCC Arduino UNO
6. Pin GND pada DDS AD9850 dihubungkan ke pin GND Arduino UNO.



### 3.3.2 Peak Detector

Rangkaian *peak detector* digunakan untuk pengukuran puncak tegangan hasil pengujian bahan yang memiliki frekuensi tinggi dan dapat menyulitkan dalam pembacaan sinyal. Penggunaan *peak detector* ini juga diharapkan dapat mendeteksi nilai amplitudo sinyal ketika frekuensinya berubah-ubah sesuai dengan yang diberikan oleh pembangkit sinyal.

Rangkaian *peak detector* (Gambar 3.4) dibuat dengan menggunakan komponen komparator op-amp LM111. IC LM111 digunakan untuk mengatasi *voltage drop* yang biasanya terjadi pada IC seperti LF353. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dirancang sebuah rangkaian *peak detector* dengan menggunakan IC LM111 untuk mengatasi *voltage drop* yang terjadi. Rangkaian *peak detector* dapat dilihat pada Gambar 3.4.

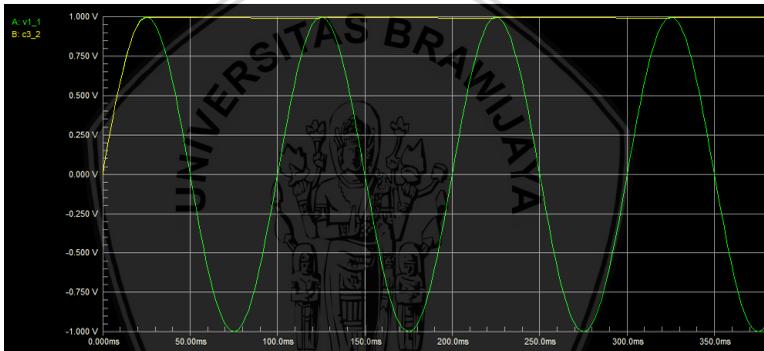


**Gambar 3. 4** Rangkaian *Peak Detector* terdiri dari Rangkaian *Buffer*, Rangkaian *High Pass Filter* (HPF) dan Rangkaian *Komparator*

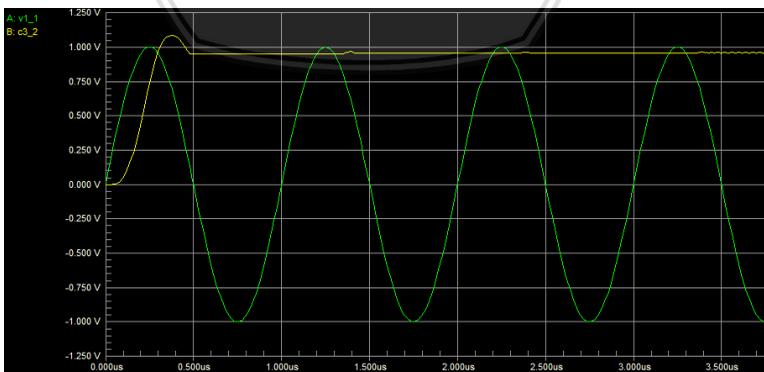
Rangkaian *peak detector* terdiri dari rangkaian *buffer*, *High pass Filter* (HPF), dan rangkaian komparator. Rangkaian *buffer* digunakan untuk memperbesar impedansi masukan sebelum sinyal input masuk ke rangkaian HPF. Rangkaian *buffer* juga dapat digunakan untuk memperbesar impedansi masukan agar sinyal-sinyal yang kecil dapat terbaca. Rangkaian HPF berfungsi untuk meloloskan frekuensi yang berada di atas frekuensi *cut off* ( $f_c$ ) dan

melemahkan frekuensi di bawah  $f_c$ . Rangkaian *peak detector* berfungsi untuk mendeteksi nilai amplitudo sinyal input.

Prinsip komparator adalah membandingkan nilai *input* yang masuk dengan nilai *output*nya sehingga apabila nilai input yang masuk kurang dari nilai *output* yang telah masuk ke dalam kapasitor artinya puncak tegangan sinyal telah tercapai. Sebaliknya apabila nilai tegangan *input* yang masuk melebihi nilai *output*, maka puncak tegangan sinyalnya belum tercapai dan akan diisi senilai dengan nilai input yang baru. Pengaruh dari nilai kapasitor yang digunakan juga mempengaruhi besar tegangan yang dapat disimpan. Rangkaian *peak detector* juga akan memiliki pilihan nilai kapasitor untuk digunakan pada frekuensi tinggi atau rendah. Adapun hasil simulasi rangkaian *peak detector* dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3. 5 Hasil Simulasi Rangkaian *Peak Detector* 10Hz



Gambar 3. 6 Hasil Simulasi Rangkaian *Peak Detector* 1MHz

Nilai-nilai kapasitor yang digunakan pada rangkaian *peak detector* berbeda-beda untuk setiap *range* frekuensinya. Nilai-nilai tersebut didapatkan berdasarkan hasil uji coba untuk setiap frekuensi. Jika nilai kapasitor tidak sesuai, puncak tegangan tidak dapat terdeteksi karena nilai kapasitor sangat berpengaruh untuk mendeteksi puncak tegangan. Adapun nilai-nilai kapasitor untuk setiap *range* frekuensi dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Nilai-nilai Kapasitor pada *Range* Frekuensi

Kapasitor	Frekuensi
110uF	0,05Hz - 0,5Hz
20uF	1Hz - 10Hz
10uF	20Hz - 200Hz
100nF	500Hz - 10kHz
10nF	20kHz - 1MHz

### 3.3.3 Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega328. Sistem akuisisi berfungsi untuk mengolah tegangan serta frekuensi yang masuk sehingga dapat dilakukan identifikasi lebih lanjut. Sistem minimum Arduino sudah dilengkapi dengan kristal *oscillator* sebagai sumber *clock* internal dan LED sebagai *indicator power*. Tahap akuisisi data ini meliputi pengubahan sinyal analog menjadi data-data digital oleh ADC sehingga dapat ditampilkan melalui PC.

*Analog to Digital Converter* (ADC) dapat mengubah suatu data yang kontinu terhadap waktu (analog) menjadi data yang diskrit terhadap waktu (digital). Konversi ADC yang digunakan adalah ADC internal dari Arduino sendiri yang terdiri dari ADC 10 bit. *Channel* ADC pada mikrokontroler ini berada pada pin A0 sampai A5. Pin-pin ADC digunakan untuk mengubah sinyal analog yang sudah diprogram menjadi data-data digital. Pin A0 digunakan untuk data gelombang dengan frekuensi dari 0.05Hz sampai dengan 1MHz, pin A1 digunakan untuk *peak detector* 1Hz sampai dengan 10Hz, pin A2 digunakan untuk *peak detector* 20Hz sampai dengan 200Hz, pin A3 digunakan untuk frekuensi 500Hz sampai dengan

10kHz, pin A4 digunakan untuk frekuensi 20kHz sampai dengan 1 MHz, dan pin A5 digunakan untuk frekuensi 0,05Hz sampai dengan frekuensi 0,5Hz. Selanjutnya untuk mengetahui program ADC ini berjalan dengan baik, maka digunakan serial monitor yang sudah disediakan oleh *software* Arduino. Bit bus DDS AD9850 sehingga data digital output DDS yaitu 110011. Hasil data digital dari ADC selanjutnya akan dikirim secara serial ke komputer untuk selanjutnya ditampilkan dengan grafik pada PC.

### 3.3.4 Desain *Software*

Untuk bagian *software* dibagi menjadi dua yaitu menggunakan *software* Arduino dan Delphi7. *Software* Arduino digunakan untuk memprogram mikrokontroler dengan menggunakan bahasa C, kemudian untuk *interface* digital dan kontrol frekuensinya menggunakan *software* Delphi7. Program yang diisikan berupa perintah untuk mengatur komunikasi serial dengan *UART* yang digunakan untuk komunikasi antara PC dengan mikrokontroler.

Perancangan *software* sumber arus yaitu dengan memprogramnya pada *software* Arduino. Parameter yang dibutuhkan pada program Arduino seperti fase, *clock* DDS AD9850 (125 MHz), frekuensi yang dibutuhkan, dan pin yang dihubungkan antara arduino dengan DDS AD9850 ditulis pada program Arduino. Setelah program tersebut selesai maka dibutuhkan proses *compile*, jika terdapat *error* maka dibutuhkan perbaikan terhadap program, saat proses *compile* berhasil, proses selanjutnya adalah menghubungkan rangkaian sumber arus terprogram dengan PC. Kemudian *Upload* program yang terdapat pada *software* Arduino ke *hardware* yang telah dirangkai.

Digunakan persamaan *tuning word* untuk mendapatkan nilai frekuensi keluaran dari modul DDS AD9850. Desain secara *software* ini menitikberatkan pada algoritma menjalankan DDS untuk mengeluarkan frekuensi. Nilai frekuensi keluaran dapat ditentukan dengan persamaan 3.1. *clock* referensi dan resolusi atau jumlah data menjadi faktor penentuan nilai frekuensi keluaran.

$$f_{out} = \frac{\text{tuning word} \times \text{clock freq}}{2^{32}} \quad (3.1)$$

Karena  $f_{out}$  merupakan nilai frekuensi yang diinginkan, maka kita dapat menghitung nilai *tuning word*-nya. Nilai *tuning word* merupakan nilai digital heksadesimal dalam *format word*. *Tuning word* terdiri dari 5 urutan mulai dari *word0* sampai dengan *word4*. *Word0* digunakan sebagai kontrol fase kemudian *word1* sampai *word4* digunakan untuk data *word0* akan dikirimkan pertama kali yang merupakan *MSB* dalam 1 *word*. *word* yang terkirim berisi 8 bit data.

*WCLK* adalah *clock* yang digunakan untuk memuat atau memperbarui data paralel atau serial frekuensi/fase/kontrol *word*. *FQUP* merupakan frekuensi *update* yang akan memperbarui nilai frekuensinya apabila 5 *word* pada *data load* telah terkirim semua. *REST* digunakan untuk mereset frekuensi ke semula sehingga dimulai dari pengiriman *word0* lagi. Nilai *tuning word* untuk osilator 125 MHz untuk frekuensi keluaran logaritmik ditunjukkan pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2** Nilai *Tuning Word* Osilator 125 MHz

Frekuensi( $f_{out}$ )	DEC	HEX
0,01	0,343597384	0
0,02	0,687194767	0
0,05	1,717986918	1
0,1	3,435973837	3
0,2	6,871947674	6
0,5	17,17986918	11
1	34,35973837	22
2	68,71947674	44
5	171,7986918	AB
10	343,5973837	157
20	687,1947674	2AF
50	1717,986918	6B5
100	3435,973837	D6B
200	6871,947674	1AD7
500	17179,86918	431B

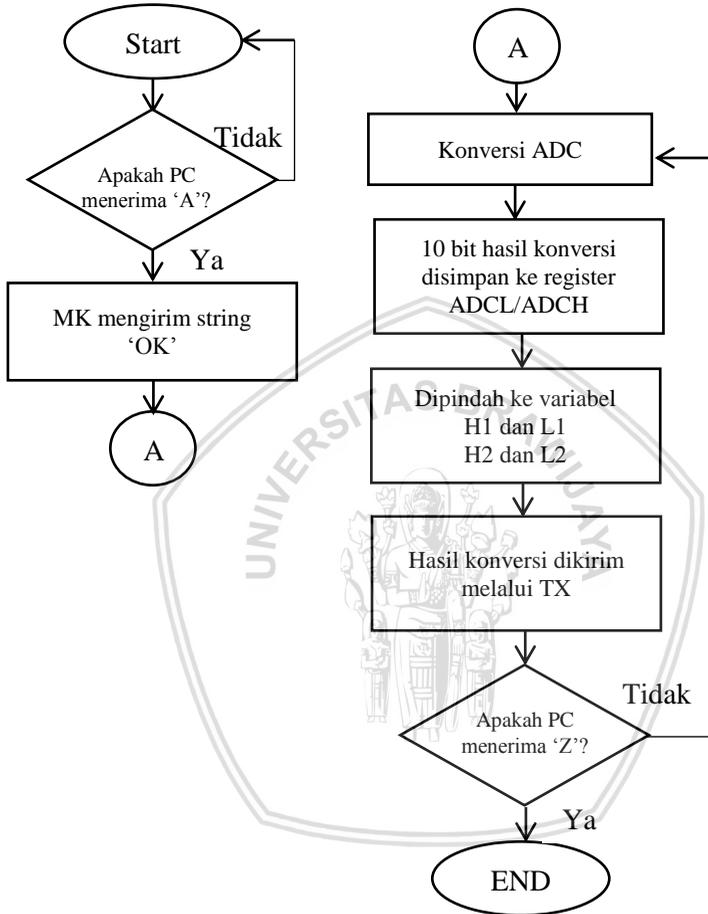
Frekuensi( $f_{out}$ )	DEC	HEX
1000	34359,73837	8637
2000	68719,47674	10C6F
5000	171798,6918	29F16
10000	343597,3837	53E2D
20000	687194,7674	A7C5A
50000	1717986,918	1A36E2
100000	3435973,837	346DC5
200000	6871947,674	68DB8B
500000	17179869,18	10624DD
1000000	34359738,37	20C49BA

Alur komunikasi Arduino dengan PC dimulai apabila Arduino telah mendapatkan perintah mulai dengan menerima karakter "A". Setelah mikrokontroler mendapat perintah tersebut, mikrokontroler akan mengirim data hasil digitalisasi yang disimpan pada register penyimpanan. Apabila mikrokontroler mendapatkan perintah baru maka pengiriman akan berganti dengan data yang baru diperintahkan ke mikrokontroler.

Untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital oleh mikrokontroler diperlukan program ADC. Program ADC ini diawali dengan mengatur register A0, A1, A2, A3, A4, dan A5 sebagai register yang digunakan untuk inisialisasi program ADC. Pada program ADC juga diperlukan pengaturan timer untuk mengatur *prescaler* ADC dan penggunaan osilator. Hasil data digital dari ADC tidak langsung dikirimkan melainkan disimpan dahulu dalam register ADCL/ADCH sampai mikrokontroler mendapat perintah untuk mengirim. Diagram alir program konversi ADC dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Selanjutnya digunakan PC dengan *software* penampil yang dibuat menggunakan Delphi7 sebagai *display* dari sistem pengukuran impedansi. *Display* dibuat sebagai *user interface* serta *user control* dari frekuensi dan tegangan yang diukur. Untuk menghubungkan antara PC dengan Arduino maka dibuat program *comport* dimana arduino terhubung pada *port* PC. Hal ini dilakukan agar komunikasi

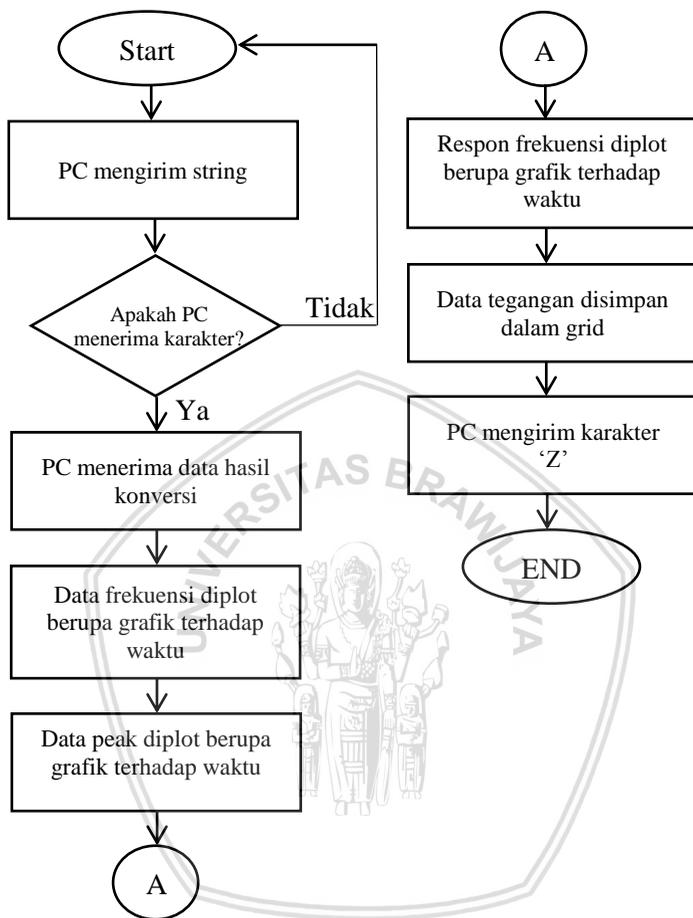
antara PC dengan Arduino memiliki *baudrate* yang sama sehingga komunikasi dapat berjalan.



**Gambar 3. 7** Diagram Alir Program Mikrokontroler

Diagram alir program *display* dapat dilihat pada Gambar 3.8. pada program data yang masuk akan diplot ke dalam grafik berdasarkan waktu dan dimasukkan ke dalam tabel untuk setiap frekuensi. Dari tabel tersebut akan diplot respon frekuensinya dan selanjutnya dari titik tegangan *cut off* dapat dihitung pula nilai R dan C.





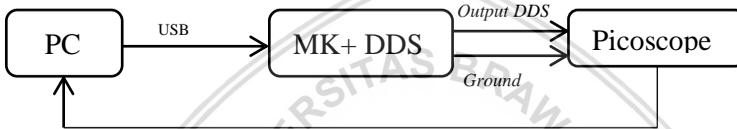
**Gambar 3. 8** Diagram Alir Program *Display*

### 3.4 Metode Pengujian Sistem

Diperlukannya pengujian sistem untuk mengetahui karakteristik dan kelayakan dari sistem tersebut. Pengujian sistem sendiri meliputi pengujian pada tiap bagian alat dan komponen sehingga sistem ini dapat menghasilkan keluaran yang benar yang berfungsi untuk keakuratan sistem.

### 3.4.1 Metode Pengujian Sinyal Generator DDS AD9850

Metode pengujian rangkaian sinyal generator berbasis DDS AD9850 dilakukan dengan menggunakan *picoscope*. Frekuensi akan dikontrol melalui *software* dari PC yaitu melalui *software* Arduino yang telah diprogram. *Output* dari rangkaian sinyal generator yang telah dibuat disambungkan dengan konektor BNC. Sinyal generator akan mengeluarkan frekuensi sesuai dengan nilai frekuensi yang telah diprogram dan sinyal yang keluar melalui PC dideteksi kembali dengan menggunakan komunikasi USART. Pengujian sinyal generator DDS AD9850 juga dapat dilakukan dengan menggunakan osiloskop. Gambar pengujian sinyal generator dapat dilihat pada Gambar 3.9.

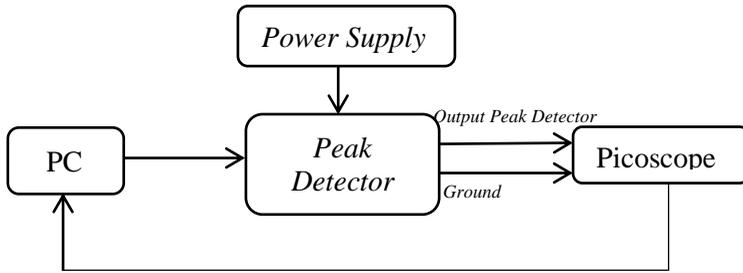


**Gambar 3. 9** Metode Pengujian Sumber Arus

### 3.4.2 Metode Pengujian Rangkaian *Peak detector*

Pengujian rangkaian *peak detector* dilakukan dengan menggunakan *picoscope* untuk mendeteksi pada frekuensi yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan masukan berupa sinyal sinus 1V yang dibangkitkan oleh sinyal generator *picoscope*. Pengujian untuk setiap *range* frekuensi dilakukan dengan menggunakan rangkaian komparator LM111 dimana diuji dengan menggunakan kapasitor yang berbeda-beda bergantung pada frekuensi yang diinginkan. Metode pengujian *peak detector* dapat dilihat pada Gambar 3.10.

Pengujian respon frekuensi dilakukan dengan memberi tegangan masukan dari frekuensi yang diinginkan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan dari frekuensi kerja rangkaian. *Power supply* digunakan untuk memberi tegangan pada rangkaian *peak detector*. Hasil dari tegangan yang telah dideteksi oleh *peak detector* akan direkam dan diolah menggunakan *software* Ms.Excel yang kemudian akan diplot respon frekuensinya.



**Gambar 3. 10** Metode Pengujian Rangkaian *Peak Detector*

### 3.4.3 Pengujian ADC

Pengujian ADC dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sistem ADC pada mikrokontroler bekerja dengan baik serta bertujuan untuk menguji program konversi ke bentuk sinyal digital yang dilakukan oleh mikrokontroler berjalan dengan benar. Pengujian ADC dilakukan dengan memberi tegangan masukan pada A0. Tegangan yang masuk dikonversi terlebih dahulu menjadi data digital. Pin analog Arduino dapat menerima nilai hingga 10 bit sehingga dapat mengkonversi data analog menjadi 1024 keadaan. Hasil konversi tegangan menjadi data-digital ditampilkan pada serial monitor *software* Arduino atau picoscope.

### 3.4.4 Pengujian Software

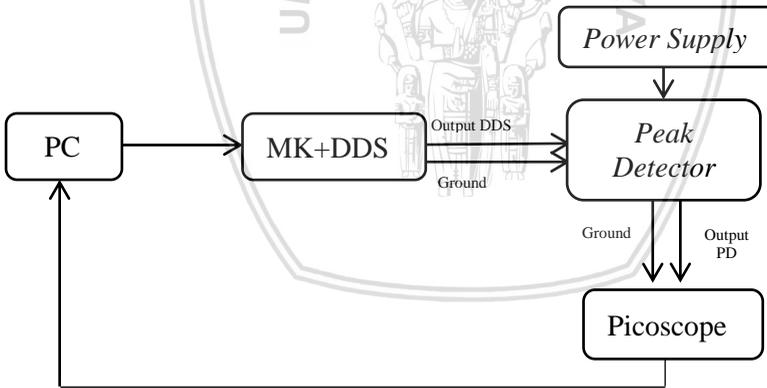
Pengujian software dilakukan untuk mengetahui apakah software yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik. *Software* yang dibuat adalah *software* penampil nilai frekuensi dan keluaran rangkaian *peak detector* yang dibuat menggunakan program Delphi7.

Pengujian dilakukan menggunakan rangkaian sinyal generator DDS AD9850 serta rangkaian *peak detector* lengkap dengan sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler ATMEGA 328 dan *power supply*. Masukan rangkaian *peak detector* berasal dari keluaran DDS AD9850 dengan tegangan yang telah diatur sebesar 1Volt. Masukan diatur dengan frekuensi tertentu kemudian dikirimkan ke PC dan ditampilkan melalui *software* yang telah dibuat. Setelah data diterima data akan ditampilkan dalam bentuk grafik berupa nilai frekuensi dan grafik nilai puncak tegangan dari beberapa frekuensi yang telah diprogram. Apabila bentuk grafik yang

muncul pada *software display* sesuai dengan bentuk yang muncul pada *picoscope* maka dapat disimpulkan bahwa *software* yang telah dibuat dapat berjalan dengan baik dan benar.

### 3.4.5 Metode Pengujian Keseluruhan Sistem

Setelah dilakukan pengujian pada tiap alat, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan keseluruhan sistem di laboratorium untuk mengetahui karakteristik dan *range* kerja sistem. Pengujian dilakukan dengan membuat grafik respon frekuensi. Grafik respon frekuensi pada pengujian ini dibuat menggunakan rangkaian *peak detector* dengan berbagai nilai kapasitor yang berbeda untuk frekuensi rendah dan tinggi. Frekuensi diubah untuk dilihat respon tegangan dari frekuensi tersebut. Kemudian respon frekuensi tegangan masukan ditampilkan pada *software display* berupa grafik respon frekuensi dan juga berupa data dalam bentuk grid, sehingga data grid tersebut dapat disimpan dalam bentuk Ms.Excel dan di plot dengan menggunakan Ms.Excel. Metode pengujian keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.11.



**Gambar 3. 11** Metode Pengujian Keseluruhan Sistem

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dikembangkan sebuah sistem instrumentasi untuk identifikasi impedansi listrik secara cepat. Sistem yang dibangun menggunakan DDS AD9850 untuk membangkitkan sinyal. Sinyal tersebut diubah menjadi arus AC menggunakan *V to I Converter* yang kemudian diinjeksikan pada bahan uji. Sistem pembangkit sinyal DDS dapat membangkitkan frekuensi dengan tegangan stabil 0,05Hz hingga 1MHz. *Peak detector* digunakan untuk mendeteksi amplitudo-amplitudo tegangan dari bahan uji yang diukur. *Peak detector* yang telah dibuat mampu bekerja stabil pada frekuensi 10Hz hingga 1MHz. *Software* pengukuran nilai impedansi listrik yang telah dibuat mampu menampilkan sinyal, puncak tegangan, respon frekuensi dalam nilai tegangan, dan mampu menampilkan respon frekuensi dalam bentuk logaritmik. Data yang dihasilkan dapat disimpan dalam Ms.Excel untuk identifikasi impedansi listrik lebih lanjut. Dibutuhkan waktu sekitar 132 detik untuk mendapatkan respon frekuensi dari 0,0294Hz hingga 1 MHz.

### 5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diperlukan pengembangan untuk dapat mendeteksi puncak tegangan secara cepat pada frekuensi di bawah 10Hz.



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DAFTAR PUSTAKA

- Analog Devices. 2004. *Datasheet AD9850 - CMOS 125 MHz complete DDS synthesizer*.
- Azis, Nadana Ayzah. 2016. *Pengembangan Sistem Instrumentasi Untuk Identifikasi Nilai Impedansi Listrik Secara Cepat Pada Frekuensi 1kHz-1MHz. Skripsi Fisika FMIPA Universitas Brawijaya*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Cahaya, Guntur Dwi. 2016. *Pembuatan Sumber Arus AC Terprogram Presisi Berbasis DDS AD9850. Skripsi Fisika FMIPA Universitas Brawijaya*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Djaelani, Elan., R. Wardoyo, R. Dachlan. 2014. Simulator Direct Digital Synthesizer (DDS) 8 Bit : Cara Kerja. Vol.13, No 1.
- Giancolli, Douglas C. 2001. *Fisika Edisi Kelima Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Hartanto, P. 2012. Aplikasi SMS GATEWAY dan Administrasi Siswa SMA. *Studi Kasus : SMAN Ky Ageng Giri*. Vol.6, No.1:1-7.
- Juansah, J. 2013. *Kajian Spektroskopi Impedansi Listrik untuk Evaluasi Kualitas Buah Jeruk Keprok Garut secara Nondestruktif*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Noviardi. Aplikasi Kominikasi Serial Arduino Uno R3 Pada Pengontrolan Dengan Menggunakan Visual Studio 2012 Dan Sql Server 2008. *Teknik Elektro ITP*. Vol.5, No.1:57-64.
- Petrovic, Pedrag B. 2013. A New Precision Peak detector/Full-Wave Rectifier. *Signal and Information Processing*. Vol.4, No.1:72-81.
- PT. PLN. 2015. *Teori Dasar Listrik*. Bali:PT. PLN
- Purwanto R.E, A. Sujatmiko. 2009. *Identifikasi Kerusakan Sel Melalui Pengamatan Perubahan Distribusi Impedansi Elektris*. SENTIA. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- Putra, P., Ardian F. Rochim. 2014. Alat Pembangkit Suara Ultrasonik Otomatis untuk Merangsang Pembukaan Stomata Tanaman Menggunakan Mikrokontroler ATmega328P yang Dilengkapi dengan Panel Surya. *Teknologi dan Sistem Komputer*. Vol.4, No.4:288-297

- Rosetto, L., G. Spiazzi, , P. Tenti. 1994. Control Techniques for Power Factor Correction Converter. *International Conference on PEMC proceeding* Hal.1310-1318. Italy: PEMC
- Santoso, Didik R. 2013. *Perancangan Sistem Elektronika Analog: Modul-1 Pendahuluan*. Malang : Fisika Universitas Brawijaya
- Santoso, Didik. R., Chomsin S.W., Unggul P.J. 2017. *Evaluasi Eksperimental Mekanisme Kerusakan Jaringan Sel Akibat Terkontaminasi Zat Beracun dan Paparan Radiasi menggunakan Parameter Dispersi Impedansi Kelistrikannya*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Saputri, Z. N. 2014. Aplikasi Pengenalan Suara Sebagai Pengendali Peralatan Listrik Berbasis Arduino Uno.Vol.8,No.1.
- Setiadi, I. C. 2015. Desain Sumber Arus untuk Electrical Impedance. *Instrumentation System and Tomography ( EIT )*.Vol.10,No.1: 27–33.
- Solecha, L. 2015. Kajian Spektroskopi Impedansi Listrik pada Udang Galah (*macrobracium rosenbergii*) Berformalin. IPB. *Instrumentation System and Tomography*.Vol.1,No.1: 27–33.
- Texas Instrument, C. S. 2013. *Datasheet LM111-N / LM211-N / LM311-N Voltage Comparator*. Texas: Texas Instruments Incorporated.